



โครงการออกแบบปรับปรุงเครื่องเอ็กซเรย์ รุ่น LOW ENERGY X-RAY KS 01
บริษัทungskศักดิ์เอ็กซเรย์การแพทย์อุตสาหกรรมจำกัด
INDUSTRIAL EDUCATION REDESIGN PROJECT : LOW ENERGY X-RAY KS 01
FOR KONGSAK X-RAY MEDICAL INDUSTRY CO;LTD.

นางชตวรรษ์ เล่าหะเพ็ญแสง
MR. CHATURONG LOUHAPENSANG



A021658

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 01889 021658
-7 กค. 2540
วัน เดือน ปี.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรอุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาศิลปอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์สถาปัตยกรรม
คณะครุศาสตรอุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ท.ศ.2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**INDUSTRIAL EDUCATION REDESIGN PROJECT : LOW ENERGY X-RAY KS 01
FOR KONGSAK X-RAY MEDICAL INDUSTRY CO;LTD.**

MR. CHATURONG LOUHAPENSANG

**A THESIS SUBMITTEN IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIMENT
FOR THE DEGREE
BACHELOR OF SCIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION
DEPARTMENT OF ARCHITECTURAL EDUCATION
FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION
KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRBANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



INDUSTRIAL DESIGN ๕๓

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ โครงการออกแบบปรับปรุงเครื่องเอกซเรย์ รุ่น LOW ENERGY X-RAY KSO1
บริษัทองค์ดี เอกซเรย์ การแพทย์อุตสาหกรรม จำกัด
นักศึกษา นายจตุรงค์ เลหาพะเพ็ญแสง

หลักสูตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาศิลปอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลงนาม
อาจารย์อุดมศักดิ์	สาริบุตร	
อาจารย์สถาพร	ติบุญมี ณ ชุมแพ	
อาจารย์ธเนศ	ภิรมย์การ	
อาจารย์พิศุทธิ์	ศิริพันธ์ุ	
อาจารย์ดารณี	เพ็งสะและ	
อาจารย์นิรัช	สุดสังข์	
อาจารย์ประวิทย์	เหลียงกอบกิจ	
อาจารย์เอกชัย	เลิศชาของ	
รศ.นพคุณ	สุขสถาน	
อาจารย์มงคล	นภัชยเทพ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 7 มีนาคม 2540

สถานที่สอบ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

รศ.ดร.ปริยาพร วงศ์อนุตรโรจน์

(รศ.ดร.ปริยาพร วงศ์อนุตรโรจน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ : โครงการออกแบบปรับปรุงเครื่องเอกซเรย์ รุ่น LOW ENERGY X-RAY
KSO1 บริษัททงศักดิ์ เอกซเรย์ การแพทย์อุตสาหกรรม จำกัด
นักศึกษา : นายจตุรงค์ เลาหะเพ็ญแสง
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ : อาจารย์นิรัช สุตสังข์
ระดับการศึกษา : วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาศิลปอุตสาหกรรม
ภาควิชา : วิศวกรรมสถาปัตยกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
พุทธศักราช : 2540

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบปรับปรุงเครื่องเอกซเรย์ รุ่น LOW ENERGY X-RAY KSO1 บริษัท ทงศักดิ์ เอกซเรย์ การแพทย์อุตสาหกรรม จำกัด ให้มีลักษณะการใช้งานที่เหมาะสมกับสัดส่วนร่างกายมนุษย์ โดยการออกแบบโครงสร้างให้มีวัสดุที่ง่ายต่อการผลิตในระบบอุตสาหกรรมและมีคุณสมบัติเหมาะสมกับงานทางด้านรังสีเทคนิค

วิธีการดำเนินการวิจัย โดยการสำรวจและรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์ จากเอกสาร และการศึกษาจากของจริง เพื่อเสนอหัวข้อข้อมูลเบื้องต้นวิเคราะห์ ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุและกรรมวิธีการผลิต การวิเคราะห์โครงสร้างและหลักใช้งาน เพื่อสรุปผลการวิเคราะห์สู่การออกแบบการเขียนแบบเพื่อการผลิต การนำเสนอผลงานข้อมูลฉบับสมบูรณ์ บทคัดย่อและต้นแบบ/หุ่นจำลอง

ผลการวิจัยปรากฏว่าในการออกแบบปรับปรุงเครื่องเอกซเรย์ รุ่น LOW ENERGY X-RAY KSO1 ผู้วิจัยได้ออกแบบทางด้านโครงสร้างการจัดวางระบบเครื่องไว้ดังเดิม เพราะถ้ามีการเปลี่ยนแปลงอาจทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบการทำงานและอัตราการสูญเสียในการใช้งานเพิ่มมากขึ้น วัตถุประสงค์ในการออกแบบเน้นเรื่องความปลอดภัยของผู้ใช้งานตามมาตรฐานของอุปกรณ์ในการใช้งานด้านรังสีเทคนิคและเน้นต้นทุนการผลิตที่จะต้องมีความเหมาะสมสามารถผลิตได้ในประเทศ เพื่อที่จะสามารถสู้กับสินค้าต่างประเทศในด้านการตลาดได้โดยที่คุณภาพของเครื่องเอกซเรย์ยังคงมีมาตรฐานเทียบเท่ากับนานาชาติ สามารถช่วยลดการขาดดุลทางการค้าและเพื่อเพิ่มรายได้ให้กับประเทศในการส่งออก

THESIS TITLE LOW ENERGY X-RAY KSO1 REDESIGN PROJECT FOR
KONGSAK X-RAY MEDICAL INDUSTRY CO.,LTD.
STUDENT MR. CHATURONG LOUHAPENSANG
THESIS ADVISOR MR. NIRAT SOODSANG
LEVEL OF STUDY BACHELOR OF SCIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION
B.S.IEd. (INDUSTRIAL DESIGN)
DEPARTMENT ARCHITECTURE EDUCATION KING MONGKUT'S INSTITUTE OF
TECHNOLOGY LADKRABANG
YEAR 1997

ABSTRACT

This research work has the objective to produce the improved design of the x-ray machine LOW ENERGY X-RAY KSO1 KONGSAK X-RAY MEDICAL INDUSTRY CO.,LTD. to make it more suitable to the dimension of human body. The mechanism of the x-ray machine will be made of easily obtainable materials to make it convenient for production in the industrial system.

Method of the research. The project will conduct a survey and collect the information by means of interviews relevant literature or documents and actual observations, with the objective to propose a topic, basic data, data analysis relating to materials and production process, the structural analysis and operation procedures. The proposal of the complete information, the extract and the prototype module.

The result of the research work show that the x-ray machine LOW ENERGY X-RAY KSO1. The researcher had produced the structural design with protective cover and suitable operating system while retaining the original mechanism of the machine if any basic change is to be made to the machine, it would affect its operating system with increased rate of loss of x-ray wave. The objective of the design emphasized the safety of the machine using accordance industrial standard SOR. MOR. OR. its have been international quality. control and it's can be export to the international for safe and make money to Thailand.

กิติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เพราะได้รับความเมตตาจาก อาจารย์อุดมศักดิ์ สาริบุตร และ อาจารย์นิรัช สุตสังข์ ที่ได้ให้ความกรุณาแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดมาผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ประวิทย์ เหลียงกอบกิจ และ อาจารย์เอกชัย เลิศชำซอง ที่กรุณาแนะแนวทางและคอยให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยอย่างสม่ำเสมอ

ขอขอบพระคุณ บริษัท คงศักดิ์ เอ็กเซอร์ชี่ การแพทย์อุตสาหกรรม จำกัด

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณจาตุรนต์ เลาหะเพ็ญแสง ที่ได้มอบทุนอุดหนุนการวิจัยจนโครงการฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี

นายจตุรงค์ เลาหะเพ็ญแสง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	V
สารบัญภาพ	VI
คำนิยามศัพท์ที่ใช้	VII
บทที่	
1.บทนำ	1
เหตุผลในการนำเสนอ	1
วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
ที่มาของปัญหา	2
ปัญหาที่เกิดขึ้น	2
แนวทางแก้ไขปัญหา	3
วิธีดำเนินการวิจัย	9
ขอบเขตการศึกษาข้อมูล	9
ขอบเขตการออกแบบ	9
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	10
2.เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
กรมประมง	12
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับปลา	18
ห้องปฏิบัติการในการใช้เครื่องเอ็กซเรย์	69
เครื่องเอ็กซเรย์กับงานทางด้านรังสีเทคนิค	100
ความสัมพันธ์เรื่องขนาดสัดส่วนมนุษย์	163
ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุโครงสร้าง	173
ข้อมูลอุปกรณ์และกรรมวิธีประกอบชิ้นงาน	186

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
กรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติวัสดุชิ้นงานทางกายภาพ	193
ไฟฟ้าและสื่อนำไฟฟ้า	201
สีกับการออกแบบ	212
บริษัทคงศักดิ์เอ็กซ์เรย์การแพทย์อุตสาหกรรมจำกัด	216
3.วิธีการดำเนินงานวิจัย	226
วิธีสำรวจและรวบรวมข้อมูล	226
แหล่งที่มาของข้อมูล	227
วิธีการสร้างเครื่องมือวิจัย	229
สถิติที่ใช้ในการวิจัย	230
วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	231
4.ผลการวิเคราะห์	232
ผลการวิเคราะห์จากแบบสอบถาม	232
ผลการวิเคราะห์จากงานวิจัยม.เกษตรศาสตร์	233
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากงานวิจัย ม.มหิดล	234
แนวทางออกแบบ	235
แบบถ่ายย่อ	251
5.สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	263
สรุปการวิจัย	264
ข้อเสนอแนะ	264
บรรณานุกรม	265
ภาคผนวก	
ก.ตัวอย่างเครื่องมือการวิจัย	267
ประวัติผู้เขียน	271

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. แสดงข้อมูลเกี่ยวกับขนาดสัดส่วนและความสามารถในการมอง	170
2. แสดงขั้นตอนการทำผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส	182
3. แสดงรายละเอียดตะปูควงนอตใช้ในงานไม้เหล็กเครื่องจักร	189
4. แสดงส่วนต่างๆของนอต	190
5. แสดงขนาดมาตรฐานของสลักเกลียวและแป้นเกลียว	191
6. แสดงข้อเปรียบเทียบระหว่างสายไฟฟ้าที่มีตัวนำเป็นทองแดงกับอลูมิเนียม	204
7. แสดงชนิดของสายไฟเกลียวและการใช้งาน	210
8. แสดงการสะท้อนของแสง	215
9. แสดงการวิเคราะห์วัสดุที่ใช้ผลิตโครงสร้างภายนอก	239
10. แสดงการวิเคราะห์วัสดุโครงสร้างภายใน	240
11. แสดงการวิเคราะห์ทิศทางช่องใส่ปลา	241
12. แสดงการวิเคราะห์การเปิดปิดช่องใส่ปลา	242
13. แสดงการวิเคราะห์รูปทรงภายนอก	243
14. แสดงการวิเคราะห์ตำแหน่งการจัดวางแผงควบคุม	244
15. แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างภายใน	245
16. แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างภายนอก	246
17. แสดงการวิเคราะห์ระบบเบรคการเคลื่อนที่	247
18. แสดงการวิเคราะห์ล้อ	248
19. แสดงการวิเคราะห์วัสดุที่ใช้ผลิตแท่นวางอุปกรณ์เสริม	249
20. แสดงการวิเคราะห์รูปแบบการจัดเก็บแท่นวางอุปกรณ์เสริม	250

สารบัญภาพ

	หน้า
1. แสดงลักษณะการใช้ล้อในการเคลื่อนที่	2
2. แสดงลักษณะรูปทรงของผลิตภัณฑ์	3
3. แสดงลักษณะการจัดเก็บสายไฟ	4
4. แสดงลักษณะด้านบนของตัวเครื่อง	5
5. แสดงลักษณะฝาครอบด้านหลัง	6
6. แสดงการจัดวางแผงควบคุมการทำงาน	7
7. แสดงลักษณะแท่นวางอุปกรณ์	8
8. แสดงภาพกรมประมง	15
9. แสดงภาพกรมประมง	16
10. แสดงภาพกราฟความยาวปลาสัมพันธ์กับความนานของเวลา	17
11. แสดงลักษณะสัตว์ใน subphylum Urochordata	20
12. แสดงกะโหลกศีรษะของปลา	26
13. แสดงกะโหลกศีรษะของปลา	27
14. แสดงกะโหลกศีรษะของปลา	28
15. แสดงลักษณะข้อกระดูกและกระดูก	31
16. แสดงลักษณะข้อกระดูกสันหลัง	32
17. แสดงกระดูกค้ำจุนครีบท่อน	35
18. แสดงกระดูกค้ำจุนหาง	36
19. แสดงกระดูกค้ำจุนหาง	38
20. แสดงกระดูกค้ำจุนครีบท่อน	39
21. แสดงลักษณะกล้ามเนื้อข้างลำตัว	41
22. แสดงลักษณะกล้ามเนื้อ	42
23. แสดงลักษณะกล้ามเนื้อ	43
24. แสดงลักษณะกล้ามเนื้อ	46
25. แสดงลักษณะกล้ามเนื้อ	47
26. แสดงลักษณะกล้ามเนื้อ	49
27. แสดงลักษณะกล้ามเนื้อกระบัง	53

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
28. แสดงลักษณะอวัยวะสร้างประจุไฟฟ้าภายในปลา	56
29. แสดงลักษณะอวัยวะภายในปลากระดูกอ่อน	59
30. แสดงลักษณะภายในปลากระดูกแข็ง	60
31. แสดงตำแหน่งปากปลา	62
32. แสดงลักษณะปากปลาบางชนิด	65
33. แสดงลักษณะของฟันปลา	66
34. แสดงภาพคณะประมงม.เกษตรศาสตร์	69
35. แสดงภาพห้องปฏิบัติการ	69
36. แสดงภาพห้องปฏิบัติการ	70
37. แสดงภาพห้องปฏิบัติการ	70
38. แสดงตัวอย่างผังห้องปฏิบัติการ	91
39. แสดงผังห้องปฏิบัติการทั่วไป	92
40. แสดงผังห้องปฏิบัติการทั่วไป	93
41. แสดงห้องปฏิบัติการทั่วไป	94
42. แสดงห้องปฏิบัติการสำหรับสัตว์ทดลอง	95
43. แสดงการวางตำแหน่งตู้ดูดควัน	98
44. แสดงภาพการระบายอากาศ	99
45. แสดงภาพเครื่องเอกซเรย์แบบเคลื่อนที่	100
46. แสดงภาพเครื่องเอกซเรย์ปลา	101
47. แสดงภาพเครื่องเอกซเรย์ค่าKv สูง	101
48. แสดงภาพเครื่องเอกซเรย์	102
49. แสดงภาพเครื่องเอกซเรย์	102
50. แสดงภาพหลอดเอกซเรย์	113
51. แสดงภาพหลอดเอกซเรย์	113
52. แสดงลำรังสีX	113
53. แสดงลำรังสีXที่ปล่อยจากแวนไดนอไดมัมต่างกัน	116

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
54. แสดงภาพวงจรไฟฟ้า	116
55. แสดงภาพหลอดอิเล็กทรอนิกส์ในดอยอยู่กับที่	117
56. แสดงภาพหลอดอิเล็กทรอนิกส์ในดอยหมุนได้	117
57. แสดงผังวงจรเครื่องอิเล็กทรอนิกส์	121
58. แสดงส่วนประกอบภายในของHIGH TENSION TRANSFORMER	121
59. แสดงภาพตัดของทรานส์ฟอร์มเมอร์	124
60. แสดงการควบคุมกิโลโวลต์เตท	128
61. แสดงการใช้ข้อต่อทรานส์ฟอร์มเมอร์	128
62. แสดงแกนทรานส์ฟอร์มเมอร์	128
63. แสดงฟิวส์ที่ใช้ในเครื่องอิเล็กทรอนิกส์	137
64. แสดงสวิต 3 ขั้ว	137
65. แสดงภาพของรีเลย์	139
66. แสดงภาพของรีเลย์	139
67. แสดงภาพรีดสวิต	139
68. แสดงผังวงจร	144
69. แสดงผังวงจร	145
70. แสดงผังวงจร	145
71. แสดงภาพถ่ายคอนแทคเตอร์ที่แยกกัน	146
72. แสดงภาพการกระจายของรังสี	150
73. แสดงการลดของการกระจายรังสีด้วยแผ่นตะกั่ว	150
74. แสดงภาพขนาดสัดส่วนของผู้ชาย	164
75. แสดงภาพขณะยื่น	165

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
76. แสดงการเคลื่อนไหวของมือ	166
77. แสดงสัดส่วนของมือ	167
78. แสดงลักษณะสัดส่วนของมุมการพับข้อแขน	168
79. แสดงมุมมองต่างๆในระนาบด้านข้าง	171
80. แสดงมุมมองต่างๆในระนาบจากด้านบน	172
81. แสดงลักษณะหัวตะปู	186
82. แสดงลักษณะตะปูควงที่ใช้กับงานโลหะ	186
83. แสดงลักษณะตะปูควงที่ใช้สำหรับแต่งเครื่อง	187
84. แสดงลักษณะของนอตเกลียวปล่อย	188
85. แสดงลักษณะวงแหวนชนิดต่างๆ	188
86. แสดงลักษณะต่างๆของแป้นเกลียว	189
87. แสดงลักษณะสลักเกลียวและแป้นเกลียว	190
88. แสดงลักษณะของสายไฟดิน	205
89. แสดงสายไฟสำหรับดวงโคมแบบแบน	206
90. แสดงสายไฟสำหรับดวงโคมแบบเกลียว	206
91. แสดงสายไฟสำหรับอุปกรณ์ประเภทให้ความร้อน	207
92. แสดงสายไฟสำหรับเครื่องกล	207
93. แสดงสายไฟอื่นๆที่ใช้ทั่วไป	208
94. แสดงสายไฟใช้งานประเภทต่างๆ	209
95. แสดงปลั๊กใช้งานแบบต่างๆ	209
96. แสดงใบสำคัญการจดทะเบียนบริษัท	217
97. แสดงการทำงานในแผนกหลัก	217
98. แสดงการทำงานในแผนกหลัก	218
99. แสดงการทำงานในแผนกเตียง	218
100. แสดงการทำงานในแผนกเตียง	219
101. แสดงการทำงานแผนกเสาเข็มขเรย์	219
102. แสดงการทำงานในแผนกเสาเข็มขเรย์	220
103. แสดงการทำงานแผนกวายรังคอนโทรล	220
104. แสดงการทำงานแผนกวายรังคอนโทรล	221

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
105. แสดงการทำงานแผนกปริญ์เซอร์กิตบอร์ค	221
106. แสดงการทำงานแผนกปริญ์เซอร์กิตบอร์ค	222
107. แสดงภาพแผนกวิจัย	222
108. แสดงภาพแผนกวิจัย	223
109. แสดงการตกแต่งขึ้นงาน	223
110. แสดงการตกแต่งขึ้นงาน	224
111. แสดงการตกแต่งขึ้นงาน	224
112. แสดงการตกแต่งขึ้นงาน	225
113. แสดงการออกแบบ	237
114. แสดงการตกแต่งประกอบ	237
115. แสดงการติดตั้งระบบ	238
116. แสดงการตรวจสอบ	238
117. แสดงภาพ SKETCH DESIGN	251
118. แสดงภาพ PRESENTATION	251
119. แสดงภาพ PRESENTATION	252
120. แสดงภาพ PRESENTATION	252
121. แสดงภาพ PRESENTATION	253
122. แสดงภาพ PRESENTATION	253
123. แสดงภาพ MODEL	254
124. แสดงภาพ MODEL	254
125. แสดงภาพ MODEL	255
126. แสดงภาพ MODEL	255

คำนิยามศัพท์

KILOVOLTAGE (K.V.) หมายถึง คุณภาพหรืออำนาจทะลุทะลวงของเอ็กซเรย์นั่นเอง การใช้ K.V. สูงมีผลทำให้ภาพมีความดำมากกว่าเมื่อใช้ K.V. ต่ำ

MILLIAMPERAGE (mA) หมายถึง ปริมาณหรือจำนวนของเอ็กซเรย์ที่ใช้ ถ้าใช้ mA มากฟิล์มจะมีความดำมาก ถ้าใช้ mA น้อยภาพก็จะค่าน้อย

รังสีเทคนิค หมายถึง วิชาที่ว่าด้วยการถ่ายภาพเพื่อการศึกษาถึงโครงสร้างต่าง ๆ ภายในร่างกายของมนุษย์หรือสัตว์ การถ่ายภาพนี้อาศัยรังสีเอ็กซ์ หรือเอ็กซเรย์ เป็นสิ่งทำให้เกิดภาพภาพที่ได้นั้นเรียกกันง่าย ๆ ว่าภาพเอ็กซเรย์ หรือภาพรังสี

เอ็กซเรย์ หมายถึง รังสีหรือแสงชนิดหนึ่งที่เราไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าเช่นเดียวกับแสงสว่างธรรมดาเอ็กซเรย์นี้มีลักษณะเป็นทั้งคลื่นและอนุภาคของแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีช่วงคลื่นสั้นมากคือ อยู่ระหว่างรังสีแกมมากับรังสีอัลตราไวโอเลต คุณสมบัติของเอ็กซเรย์นั้นคล้ายคลึงกับแสงสว่างธรรมดาคือเป็นส่วนใหญ่ แต่คุณสมบัติพิเศษของมันคือ มีอำนาจทะลุทะลวงผ่านวัตถุต่าง ๆ ได้มากบ้างน้อยบ้าง ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นทึบและน้ำหนักอะตอมของวัตถุที่มันผ่าน นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางเคมีชีวและอื่น ๆ อีกด้วย

บทที่ 1

บทนำ

เหตุผลในการนำเสนอ

ในปัจจุบันวิชาการความรู้และงานทางด้านรังสีเทคนิคได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์เรามากขึ้น โดยที่เราไม่รู้ตัวหรือรู้สึกถึงความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังกล่าว จึงทำให้มองข้ามประโยชน์อันมหาศาลของงานทางด้านรังสีเทคนิค แต่ทางผู้ทำวิจัยได้มองเห็นถึงความสำคัญและแนวทางที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ อุปกรณ์สำคัญในงานรังสีเทคนิคอย่างหนึ่งคือ เครื่องเอ็กซเรย์ รุ่น LOW ENERGY X-RAY KSO1 ซึ่งเป็นเครื่องเอ็กซเรย์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในงานรังสีเทคนิคโดยใช้ค่า mA ในการฉายรังสีต่ำมากเพียง 4-5 เท่านั้นอันตรายจากรังสีจึงมีน้อย เครื่องเอ็กซเรย์ชนิดนี้ในประเทศไทยยังไม่มีผู้ผลิต แต่ด้วยความพิเศษของลักษณะการทำงาน คือสามารถเอ็กซเรย์สิ่งที่มีความหนาขนาดไม่มากนักได้โดยเฉพาะการเอ็กซเรย์ปลา เพื่อใช้สำหรับการรักษา การผสมพันธุ์หรือเพื่อการศึกษาค้นคว้า นอกจากนี้ยังสามารถเอ็กซเรย์ผลไม้เพื่อการตรวจสอบคุณภาพได้เป็นอย่างดีอีกด้วย และที่สำคัญทางผู้วิจัยได้มีโอกาสร่วมมือกับทางบริษัท คงศักดิ์ เอ็กซเรย์ การแพทย์อุตสาหกรรม จำกัด ซึ่งเป็นผู้ผลิตและจำหน่ายเครื่องเอ็กซเรย์ชั้นนำของเมืองไทย ในการพัฒนาปรับปรุงผลิตภัณฑ์เครื่องเอ็กซเรย์รุ่นดังกล่าว เพื่อเป็นการสนับสนุนให้ผลิตภัณฑ์สินค้าไทยได้มีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มสูงขึ้นและลดปริมาณสินค้านำเข้าจากต่างประเทศ แต่หันมาให้ความสำคัญกับสินค้าในประเทศเมื่อมีเหตุผลในการทำวิจัยที่เพียงพอและผู้วิจัยมีความสนใจที่จะทำงานวิจัยอย่างมุ่งมั่น ผู้วิจัยจึงเสนอโครงการออกแบบปรับปรุงเครื่องเอ็กซเรย์ รุ่น LOW ENERGY X-RAY KSO1 บริษัท คงศักดิ์ เอ็กซเรย์ การแพทย์อุตสาหกรรม จำกัด มาเพื่อพิจารณา

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อออกแบบปรับปรุงเครื่องเอ็กซเรย์ รุ่น LOW ENERGY X-RAY KSO1 บริษัท คงศักดิ์ เอ็กซเรย์ การแพทย์อุตสาหกรรม จำกัด
 2. เพื่อออกแบบให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สอดคล้องกับสภาพการใช้งานด้านรังสีเทคนิค
- วินิจฉัยสัตว์น้ำประเภทปลา เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านพันธุวิศวกรรม

ที่มาของปัญหา

เนื่องจากในการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องเอกซเรย์ LOW ENERGY X-RAY KSOI บริษัท กงศักดิ์ เอกซเรย์ การแพทย์อุตสาหกรรม จำกัด พบว่าทางด้านพฤติกรรมการใช้งานยังมีปัญหาที่ทางผู้ออกแบบได้มองเห็นถึง ไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนย้ายเครื่องที่เป็นไปอย่างลำบากในการขนส่งทางบก ส่วนทางโครงสร้างด้านบนของตัวเครื่องไม่มีการป้องกันเศษหรือสิ่งสกปรกที่จะเข้ามาจากช่องด้านบนโดยตรง และด้วยควมที่มีโครงสร้างที่เทอะทะ จึงทำให้ลักษณะการใช้งานไม่สอดคล้องกับผู้ใช้งาน

ปัญหาที่เกิดขึ้น

1. ปัญหาเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายตัวเครื่องเอกซเรย์ ซึ่งทำการเคลื่อนย้ายได้ไม่สะดวก โดยไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ได้เพราะขนาดของเครื่องไม่สอดคล้องกับล้อและไม่มีส่วนประกอบอื่นที่ช่วยในการควบคุม

ภาพที่ 1
แสดงลักษณะการใช้ล้อในการเคลื่อนที่



แนวทางแก้ไขปัญหา 1. ศึกษาและออกแบบให้สามารถเคลื่อนย้ายได้อย่างสะดวก

เหมาะสมกับการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปัญหาเกี่ยวกับรูปทรงของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีโครงสร้างใหญ่โตเกินความจำเป็น และมีความเป็นเหลี่ยม เป็นมุมมาก แต่ไม่มีการลบเหลี่ยมมุมหรือตัดทอนบางส่วนที่ไม่จำเป็นออกไป ทำให้ไม่เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน

ภาพที่ 2
แสดงลักษณะรูปทรงของผลิตภัณฑ์



แนวทางการแก้ไขปัญหา 2. ศึกษาและออกแบบให้มีโครงสร้างและรูปทรงที่เหมาะสมกับการใช้งานด้านรังสีเทคนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ปัญหาเกี่ยวกับการจัดเก็บสายไฟ ซึ่งยังไม่มีการจัดเก็บที่เป็นสัดส่วน ทำให้เกะกะและอาจเป็นอันตรายในการใช้งานได้

ภาพที่ 3
แสดงลักษณะการจัดเก็บสายไฟ



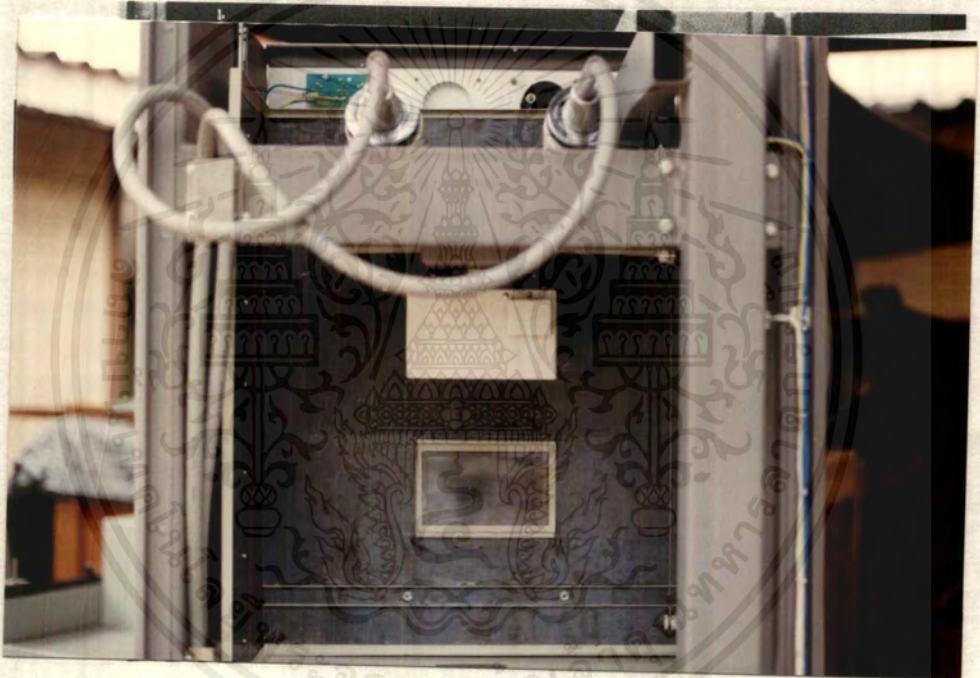
แนวทางการแก้ไขปัญหา 3. ศึกษาและออกแบบให้มีการจัดเก็บสายไฟที่ปลอดภัยต่อการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ปัญหาเกี่ยวกับโครงสร้างโดยทางด้านบนของตัวเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ ยังไม่มีฝาครอบ เพื่อป้องกันฝุ่นละอองหรือเศษสิ่งสกปรกที่จะเข้าไปทำความเสียหายกับระบบการทำงานของเครื่อง

ภาพที่ 4

แสดงลักษณะด้านบนของตัวเครื่อง



แนวทางการแก้ไขปัญหา 4. ศึกษาและออกแบบฝาครอบภายนอกให้มีการป้องกันเศษ
สิ่งสกปรกที่จะเข้าไปเป็นอันตรายต่อระบบการทำงานในตัวเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ปัญหาเกี่ยวกับการผลิตฝากรอบบริเวณตัวเครื่องมีความคมของบริเวณขอบมาก อาจเป็นอันตรายในการทำงานถอดประกอบซ่อมบำรุง

ภาพที่ 5
แสดงลักษณะฝากรอบด้านหลัง



แนวทางการแก้ไขปัญหา 5. ศึกษาและออกแบบฝากรอบให้ปลอดภัยต่อการถอดประกอบซ่อมบำรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ปัญหาเกี่ยวกับมุมมองการทำงานของแผงควบคุมอยู่ในระดับที่ไม่สามารถปฏิบัติ
งานได้สะดวกเท่าที่ควร

ภาพที่ 6

แสดงการจัดวางแผงควบคุมการทำงาน

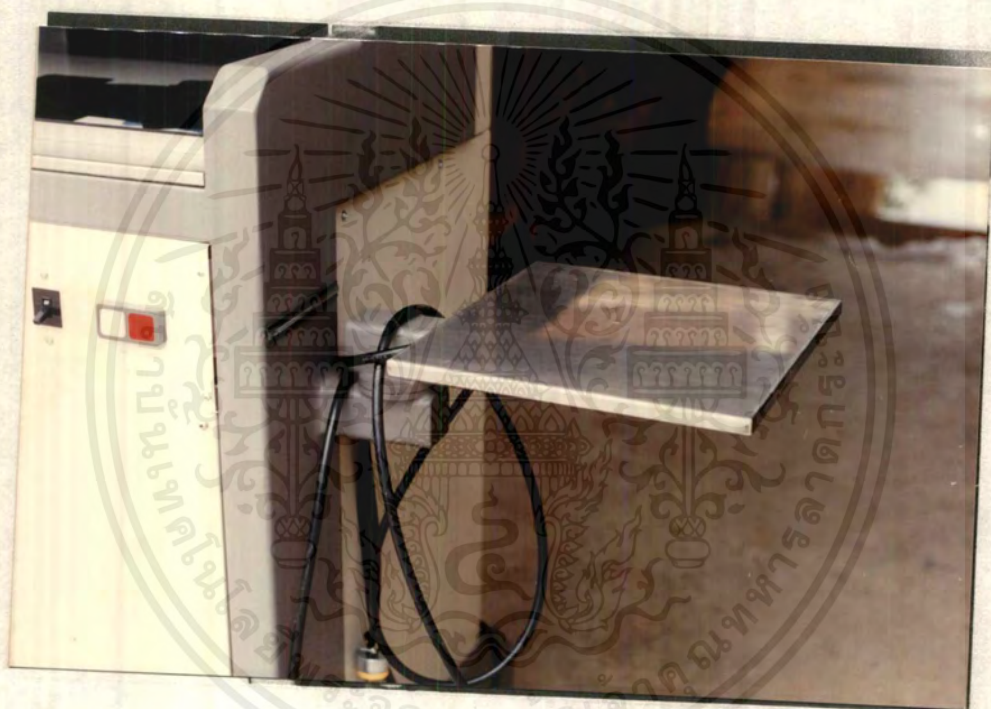


แนวทางการแก้ไขปัญหา 6. ศึกษาและออกแบบการจัดวางแผงควบคุมให้สอดคล้อง
กับพฤติกรรมการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ปัญหาเกี่ยวกับแท่นวางอุปกรณ์มีส่วนยื่นออกมานอกตัวผลิตภัณฑ์มากเกินไปไม่สามารถเก็บเพื่อลดพื้นที่อาจเป็นอันตรายในการเคลื่อนย้ายหรือใช้งาน

ภาพที่ 7
แสดงลักษณะแท่นวางอุปกรณ์



แนวทางการแก้ไขปัญหา 7. ศึกษาและออกแบบแท่นวางอุปกรณ์ให้มีความสะอาดในการใช้งานไม่เกะกะ ขณะเคลื่อนย้ายสามารถเก็บเพื่อลดพื้นที่หลังการใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตการออกแบบ

1. ออกแบบโครงสร้างเครื่องเอ็กซเรย์ ที่ใช้ค่า K.V. และ mA สำหรับใช้ในงานรังสีเทคนิคที่มีลักษณะสอดคล้องกับประสิทธิภาพและคุณสมบัติการทำงาน of เครื่อง
2. ออกแบบให้มีลักษณะสอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้งานด้านรังสีเทคนิคในการวินิจฉัยสัตว์น้ำประเภทปลา เพื่อประโยชน์ในด้านพันธุ์วิศวกรรม

ขอบเขตการศึกษาข้อมูล

1. ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องรังสีเทคนิค
2. ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องเครื่องเอ็กซเรย์และผลิตภัณฑ์ใกล้เคียง
3. ศึกษาเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ในการผลิต
4. ศึกษาเกี่ยวกับกรรมวิธีการผลิต
5. ศึกษาเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมการใช้งาน
6. ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการใช้งาน
7. ศึกษาเกี่ยวกับผู้บริโภค
8. ศึกษาเกี่ยวกับกายวิภาคเชิงกล
9. ศึกษาเกี่ยวกับระบบและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
10. ศึกษาเกี่ยวกับสีและจิตวิทยาการใช้สี
11. ศึกษาเกี่ยวกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาหลักการและเหตุผล
2. เสนอโครงการ
3. ศึกษาวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
4. ศึกษาข้อมูลภาคสนาม
5. วิเคราะห์ข้อมูล
6. นำผลการวิเคราะห์ข้อมูลมาสังเคราะห์เป็นแนวทางในการออกแบบ
7. ปฏิบัติการด้านการออกแบบ
8. สรุปผลการวิจัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1. ได้ผลิตภัณฑ์เครื่องอิเล็กทรอนิกส์ที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับการใช้งาน
- 2. ได้มีส่วนช่วยในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ของไทย
- 3. ได้ใช้ความรู้ความสามารถทางด้านการออกแบบในการปฏิบัติงาน



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษารวบรวมข้อมูลเพื่อสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อนำเอาข้อมูลในส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งหมดมาแล้ว ทำการคัดสรรในส่วนที่สำคัญและสามารถใช้ประโยชน์ในงานวิจัยได้อย่างเต็มที่ในส่วนของข้อมูลภาคเอกสารได้ศึกษาจากเอกสารที่มีความน่าเชื่อถือได้ในหลายสาขา ในส่วนการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องภาคสนามก็ได้ข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือจากแหล่งข้อมูลภายในประเทศที่มีความน่าเชื่อถือมาก และเป็นที่ยอมรับของสังคมและวงการรังสีเทคนิค คือ บริษัท คงศักดิ์ เอ็กเซอร์ การแพทย์อุตสาหกรรม จำกัด และ บริษัท ซอฟท์เท็ก ประเทศไทย จำกัด และในการศึกษาข้อมูลทีละคนละประมวง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ก็ได้สัมภาษณ์นักวิชาการผู้เกี่ยวข้องกับการใช้งานเครื่องเอ็กเซอร์ในการวินิจฉัยตรวจสอบรายละเอียดของปลา ดังนี้

ดร.สิบลินธุ์ สนธิรัตน์ อาจารย์คณะประมง ม.เกษตรศาสตร์ กล่าวว่า “ในการศึกษาหารายละเอียดต่าง ๆ ของปลานั้นทำได้ยากมากและสิ้นเปลืองเวลาในการปฏิบัติการณ์ แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยีได้เจริญก้าวหน้ามาก ทำให้เครื่องเอ็กเซอร์เคลื่อนรังสีต่ำเข้ามามีบทบาทในการตรวจสอบหารายละเอียดของปลา แต่ราคาของเครื่องเอ็กเซอร์ประเภทนี้ยังสูงมาก เพราะเป็นสินค้าที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และในปัจจุบันบริษัท คงศักดิ์ เอ็กเซอร์ การแพทย์อุตสาหกรรม จำกัด ได้มีโครงการออกแบบปรับปรุงเครื่องเอ็กเซอร์ชนิดนี้เพื่อผลิตขึ้นใช้ภายในประเทศ”

และนักวิชาการผู้กล่าวหาว่าในวงการรังสีเทคนิค

คุณคงศักดิ์ ตติยานุกูล ประธานบริษัท คงศักดิ์ เอ็กเซอร์ การแพทย์อุตสาหกรรม จำกัด กล่าวว่า “ทางบริษัทได้จัดทำโครงการออกแบบปรับปรุงเครื่องเอ็กเซอร์เคลื่อนรังสีต่ำ โดยได้ร่วมมือกับนักศึกษาจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม นายจตุรงค์ เลหาะเพ็ญแสง โดยได้ดำเนินการพัฒนาไปด้วยกันโดยทางบริษัทจะเป็นผู้ออกแบบและพัฒนาระบบส่วนนักศึกษา และนักออกแบบเป็นผู้ออกแบบพัฒนารูปทรงและอุปกรณ์เสริมต่าง ๆ โดยเน้นให้มีการทำงานที่สัมพันธ์กัน”

การศึกษาข้อมูล

ในการทำวิจัยเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือครอบคลุมเกี่ยวข้องกับงานวิจัยอย่างเหมาะสม จึงได้มีการจัดแบ่งกลุ่มในการศึกษาหาข้อมูล เพื่อให้อ้างอิงในงานวิจัยเป็นหัวข้อใหญ่ ๆ ดังนี้

หัวข้อที่ 2.1 เรื่องกรมประมง

- 2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับปลา
- 2.3 ห้องปฏิบัติการ
- 2.4 เครื่องมือเกี่ยวกับงานด้านรังสีเทคนิค
- 2.5 ขนาดสัดส่วนมิติของมนุษย์
- 2.6 วิธีการเดินสายไฟและเครื่องประกอบ
- 2.7 ข้อมูลด้านไฟฟ้า
- 2.8 วัสดุในการผลิต
- 2.9 กรรมวิธีการผลิต
- 2.10 จิตวิทยาการใช้สี

ในหัวข้อที่กล่าวมาในข้างต้นสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง เพื่อที่จะทำให้งานวิจัยมีความน่าเชื่อถือได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งสามารถจะใช้ในการเป็นต้นแบบ เพื่อจะนำไปสืบค้นหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่อไปได้

2.1 กรมประมง¹

ตามพระราชกฤษฎีกาแบ่งส่วนราชการกรมประมง ได้แบ่งส่วนราชการออกเป็นดังนี้

ราชการบริหารส่วนกลาง

สำนักงานเลขาธิการกรม

กองคลัง

กองคุ้มครองและส่งเสริม

กองประมงน้ำจืด

กองประมงน้ำกร่อย

¹ กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, สถิติผลผลิตการเลี้ยงสัตว์น้ำจืด 2535 : โรงพิมพ์
สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม, เกษตรศาสตร์, 2535.

กองประมงทะเล

กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

กองสำรวจแหล่งประมง

ราชการบริหารส่วนภูมิภาค

สำนักงานประมงจังหวัด

สำนักงานประมงอำเภอ

ราชการกรมประมงทั้งราชการบริหารส่วนกลางและราชการบริหารส่วนภูมิกานั้น
จำแนกรายละเอียดได้ดังนี้

ราชการบริหารส่วนกลาง

สำนักงานเลขานุการกรม มีหน้าที่และความรับผิดชอบเกี่ยวกับการบริหารงานเลขานุการกรมและการจัดงานธุรการ การบริหารบุคคล งานสถิติการประมง งานเศรษฐกิจ การประมง และแผนงาน ติดต่อกับหน่วยราชการต่าง ๆ ทั้งในประเทศและนอกประเทศ ประมวลรายงาน เสนอแนะต่ออธิบดี กำหนดนโยบายการปฏิบัติงานและพิจารณางบประมาณ ประสานงานและติดตามผลการปฏิบัติงานราชการของส่วนภูมิภาค

กองคลัง มีหน้าที่และความรับผิดชอบเกี่ยวกับงานการรับจ่ายเงินทั้งเงินงบประมาณ และเงินนอกงบประมาณ จัดทำงบประมาณประจำปี และควบคุมการใช้จ่ายเงินตามงบประมาณ ควบคุมและรับผิดชอบการจัดซื้อ จัดทำบัญชีพัสดุ ครุภัณฑ์

กองคุ้มครองและส่งเสริม มีหน้าที่และความรับผิดชอบเกี่ยวกับงานการพิจารณาร่าง และแก้ไขเพิ่มเติม พระราชบัญญัติ พระราชกฤษฎีกา กฎกระทรวง ระเบียบข้อบังคับอื่น ๆ ที่เกี่ยวกับการประมง รวมทั้งศึกษาเกี่ยวกับกฎหมายต่างประเทศ ติดต่อกับประสานงานกับองค์การระหว่างประเทศในปัญหากฎหมายระหว่างประเทศที่เกี่ยวกับการประมง ส่งเสริมและช่วยเหลือการจัดดำเนินการของสมาคมประมง เผยแพร่ความรู้การประกอบอาชีพประมงแก่ราษฎร ตลอดจนอนุรักษ์ชลสมบัติที่จับสัตว์น้ำให้มีสภาพเหมาะสมเป็นที่ยู่อาศัยเพิ่มผลผลิตแก่สัตว์น้ำ

กองประมงน้ำจืด มีหน้าที่และความรับผิดชอบดูแลเกี่ยวกับการทดลองค้นคว้า วิจัยเกี่ยวกับการเพาะเลี้ยงเพิ่มผลผลิตปลาและสัตว์น้ำจืดในแหล่งต่าง ๆ พร้อมทั้งหามาตรการ ป้องกันสภาวะสิ่งแวดล้อมเป็นพิษปรับปรุงบำรุงรักษาแหล่งน้ำจืดต่าง ๆ ให้มีสภาพเหมาะสมเป็นที่เพาะพันธุ์สัตว์น้ำ ทะนุบำรุงปรับปรุงพันธุ์และอนุรักษ์สัตว์น้ำจืดที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจตามหลัก วิชาการให้มีปริมาณชุกชุมตลอดไป เร่งรัดพัฒนาอาชีพการเพาะเลี้ยงและการประมงน้ำจืดแก่ เกษตรกรและบุคคลทั่วไป

กองประมงน้ำกร่อย ที่หน้าที่และความรับผิดชอบเกี่ยวกับงานการเร่งรัดพัฒนาการเพาะเลี้ยงและการประมงน้ำกร่อยให้สามารถเพิ่มผลผลิตสัตว์น้ำได้เพียงพอแก่ความต้องการของผู้บริโภคภายในประเทศและเหลือส่งเป็นสินค้าออก ดำเนินการทดลองคันคว่ำวิจัย เพื่อศึกษาเทคนิคและวิธีการใหม่ ๆ สํารวจแหล่งเพาะเลี้ยงชายฝั่งเพื่อขยายขอบเขตการประมงและการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรให้ได้ผลผลิตสูง พัฒนาและส่งเสริมอาชีพการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกร่อย ปรับปรุงบูรณะแหล่งน้ำกร่อย ตลอดจนพันธุ์สัตว์น้ำให้สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างพอเพียงโดยถาวรตลอดไป

กองประมงทะเล ที่หน้าที่และความรับผิดชอบในงานด้านการบริหารงานการประมงทะเล ศึกษา สํารวจ ทดลอง คันคว่ำวิจัยเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ทางทะเล ชีววิทยาและนิเวศน์วิทยาทางทะเล การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทะเลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เพื่อปรับปรุงส่งเสริมคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำทะเล ศึกษาและพัฒนาเครื่องมือประมงให้มีประสิทธิภาพ แนะนำส่งเสริมให้ชาวประมงนำเครื่องมือประมงแบบใหม่ไปใช้เพื่อพัฒนาอาชีพการประมงทะเล

กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ ที่หน้าที่และความรับผิดชอบงานการพัฒนาอาชีพการประมงในด้านการใช้สัตว์น้ำให้เกิดประโยชน์มากที่สุด ศึกษาคันคว่ำทดลอง และส่งเสริมวิธีการเก็บรักษา การแปรรูปการวิเคราะห์หาคุณค่าทางอาหารและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำที่เหมาะสม เพื่อยกระดับมาตรฐานการผลิตและการบริโภคของประชาชน

กองสํารวจแหล่งประมง ที่หน้าที่และความรับผิดชอบในด้านการสํารวจแหล่งประมงทะเล พัฒนาเทคโนโลยีการจับปลาทะเลลึก ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสภาวะสิ่งแวดล้อมเป็นพิษในทะเล ฝึกอบรมชาวประมงและส่งเสริมอาชีพการประมงทะเลลึก ตลอดจนปรับปรุงงานเรือประมงเพื่อพัฒนาอาชีพการประมงทะเลลึก

ราชการบริหารส่วนภูมิภาค

สำนักงานประมงจังหวัด มีหน้าที่ควบคุมและดำเนินการให้เป็นไปตามกฎหมายประมงส่งเสริมอาชีพการประมงในเขตจังหวัดที่รับผิดชอบ ดำเนินการสำรวจปักหลักเขตที่จับสัตว์น้ำและร่วมมือในการบูรณะที่จับสัตว์น้ำที่มีอยู่ทั้ง 76 จังหวัด

สำนักงานประมงอำเภอ มีหน้าที่ควบคุมและดำเนินการให้เป็นไปตามกฎหมายประมงส่งเสริมอาชีพการประมงในเขตจังหวัดที่รับผิดชอบ ดำเนินการสำรวจปักหลักเขตที่จับสัตว์น้ำและร่วมมือในการบูรณะที่จับสัตว์น้ำที่มีอยู่ทั้ง 303 จังหวัด

เนื่องจากกรมประมงมีภาระกิจหน้าที่และความรับผิดชอบเพิ่มมากขึ้น จึงได้มีการจัดตั้งหน่วยงานระดับกองขึ้นเป็นการภายใน เพื่อให้เกิดความคล่องตัวและปฏิบัติงานได้เต็มที่ จำนวน 7 หน่วยงาน คือ

1. กองการเจ้าหน้าที่
2. กองส่งเสริมประมง
3. กองนโยบายและแผนงานประมง
4. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ
5. สถาบันเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จ.สงขลา
6. ศูนย์ชีววิทยาทางทะเล จ.ภูเก็ต
7. ศูนย์ปฏิบัติการพัฒนาประมงน้ำจืด

ภาพที่ 8

แสดงภาพกรมประมง



ภาพที่ 9
แสดงภาพกรมประมง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความมากน้อยของปลา

ปลาเป็นสัตว์มีกระดูกสันหลังที่มีจำนวนมากที่สุด จากการสำรวจของลาร์เกอร์และคณะพบว่า มีประมาณ 20,000 ชนิดจากการเปรียบเทียบกับสัตว์ที่มีกระดูกสันหลังอื่น ๆ จะได้เป็นสัดส่วนดังนี้

ปลา	42.6 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ	20,000 ชนิด
นก	22.9 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ	8,600 ชนิด
สัตว์เลื้อยคลาน	16.0 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ	6,000 ชนิด
สัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ	6.6 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ	2,500 ชนิด
สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม	12.0 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ	4,500 ชนิด

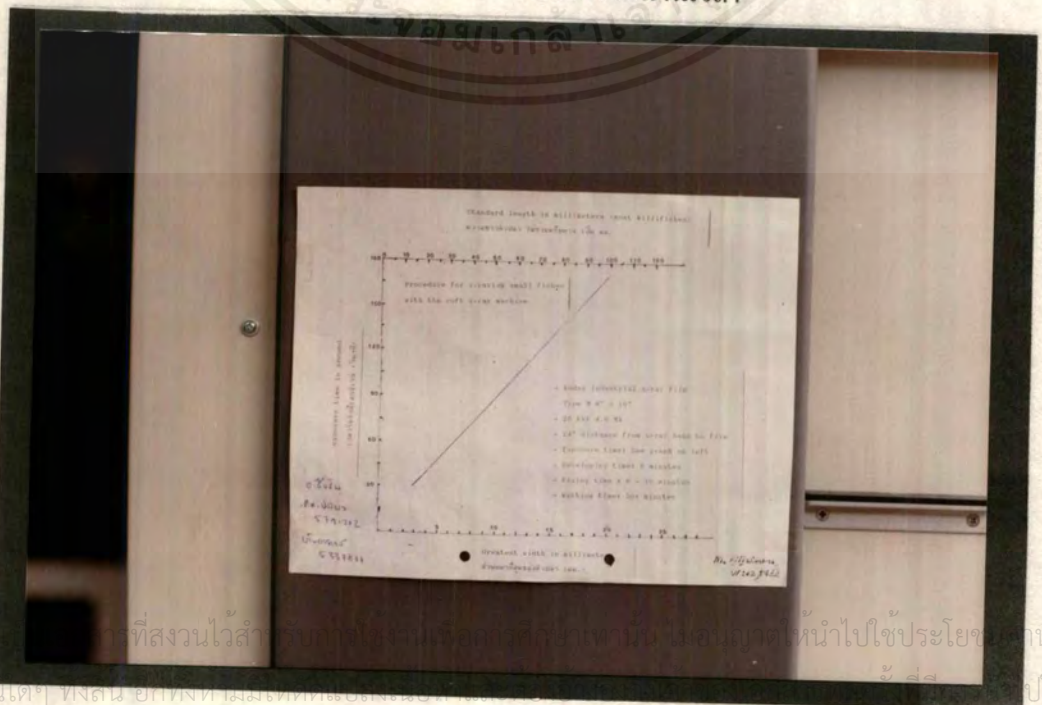
ขนาดของปลา

ขนาดของปลาแตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับชนิดของปลา มีขนาดตั้งแต่เล็กกว่าครึ่งนิ้วจนถึงขนาดยาว 70 ฟุต ปลาที่มีขนาดเล็กที่สุดในโลกคือ ปลาบู๊แคระ อยู่ในประเทศฟิลิปปินส์มีขนาดความยาวไม่ถึงครึ่งนิ้วเมื่อเจริญเต็มที่ สำหรับปลาที่ตัวใหญ่ที่สุดในโลกได้แก่ ปลาฉลามวาฬ มีความยาวประมาณ 70 ฟุต น้ำหนักมากกว่า 25 ตัน อย่างไรก็ตาม ปลาส่วนใหญ่จะมีรูปร่างแบบกระสวย แม้บางชนิดจะมีรูปร่างกลมแบนหรือเป็นเหลี่ยม

ในการใช้รังสีกับตัวปลาใช้ได้กับปลาที่มีขนาดความหนาตั้งแต่ 3-25 มิลลิเมตร และใช้กับปลาที่มีขนาดที่มีความยาวไม่เกิน 1.5 ฟุต ซึ่งในการใช้รังสีจะใช้ได้กับปลาที่เจริญเต็มที่หรือยังเจริญไม่เต็มที่ก็ได้จะให้ผลที่ต่างกันออกไป

ภาพที่ 10

แสดงภาพกราฟความยาวกับความหนาเวลา



เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ มีอายุการใช้งาน 10 ปี นับจากวันที่ออกให้ไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ในทางอื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับปลา¹

ปลาคืออะไร เมื่อเอ่ยถึงปลาทุกคนจะทราบว่าเป็นสัตว์ที่อยู่ในน้ำหายใจด้วยเหงือก ว่ายน้ำโดยใช้ครีบ แต่ความหมายของศัพท์ในพจนานุกรมเก่า ๆ ปลาจะมีความหมายกว้างกว่านั้น โดยหมายถึงสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เช่น ปลาวาฬ แมวน้ำ หอยนางรม ปลาหมึก ปลาฉลาม แมงกะพรุน ฟองน้ำ ตลอดจนคอกบัว ฯลฯ ในภาษาอังกฤษ fish หมายถึงปลาแต่อาจจะมีคำอื่น ๆ มาควมเข้ากลายเป็นสัตว์น้ำชนิดอื่นซึ่งไม่ใช่ปลา เช่น

Shellfish หมายถึง หอย ปู กุ้ง ต่าง ๆ

Cuttlefish หมายถึง หมึกกระดอง

Crayfish หมายถึง กุ้งมังกร

ในภาษาไทยสัตว์บางชนิดใช้คำว่าปลานำหน้าเช่นเดียวกัน แต่จริง ๆ แล้วไม่ใช่ปลา เช่น ปลาฉลาม ปลาหมึก ซึ่งเป็นสัตว์พวกไม่มีกระดูกสันหลัง ปลาวาฬและปลาโลมาเป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม

ในการศึกษาเพื่องานวิจัยจะศึกษาเฉพาะปลาที่อยู่ในคำจำกัดความนี้เท่านั้น คือ

1. เป็นสัตว์ที่อยู่ในน้ำหรืออย่างน้อยต้องเป็นที่ชื้นแฉะ
2. เป็นสัตว์เลือดเย็น หมายถึง อุณหภูมิในร่างกายเปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อม
3. หายใจด้วยเหงือก
4. มีกระดูกสันหลัง
5. เลือดมีสีแดง
6. มีมูกสำหรับคมกลืน
7. ส่วนมากเป็น bilateral symmetry ยกเว้นพวกปลาฉีกเดียว
8. มีระยะκύไม่เกิน 2 คู่
9. ร่างกายแบ่งเป็นส่วนหัว ลำตัว และหางชัดเจน
10. ร่างกายปกคลุมด้วยเกล็ดหรือมีเมือกห่อหุ้ม
11. มีรูทวารอยู่บริเวณสันท้อง
12. มีโนโตคอร์ดีเส้นเดียวภายในกลวง ส่วนมากจะพบในระยะแรกของตัวอ่อน
13. เพศผู้และเพศเมียแยกกันชัดเจน
14. มีฟันบนฟันล่างชัดเจน
15. มีหัวใจ 2 ห้อง

¹ จิน ศรียาภย์, คู่มือวิชาประมง (กรุงเทพฯ: อมรการพิมพ์, 2520) หน้า 17-30.

16. ส่วนมากออกลูกเป็นไข่
17. ระบบประสาทอยู่เหนือทางเดินอาหาร
18. มีระบบอวัยวะต่าง ๆ แยกออกจากกัน
19. โครงกระดูกอาจจะเป็นกระดูกอ่อนหรือกระดูกแข็ง

ที่อยู่อาศัยของปลา

ปลาอยู่ในที่ทุกแห่งของโลกที่มีแหล่งน้ำในธรรมชาติ ตั้งแต่บนภูเขาซึ่งสูงจากระดับน้ำทะเล 15,000 ฟุต จนถึงในมหาสมุทรที่มีความลึกมากกว่า 35,800 ฟุต ปลาแต่ละชนิดจะสามารถปรับตัวเองให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมที่มันต้องอาศัยอยู่ เช่น ในทะเลลึกที่มีความกดดันมาก ๆ (ความกดจะเพิ่มขึ้น 1 บรรยากาศในทุก ๆ ความลึกที่เพิ่มขึ้น 10 เมตร) ในบริเวณขั้วโลกมีน้ำแข็งปกคลุมตลอดปี ในทะเลทรายที่ร้อนระอุและแห้งแล้ง ในบ่อน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิสูงถึง 100 องศาฟาเรนไฮต์ ในที่ ๆ มีความเค็มจัดในน้ำจืดและบางชนิดสามารถฝังตัวในโคลนหรือทรายในทรายในฤดู

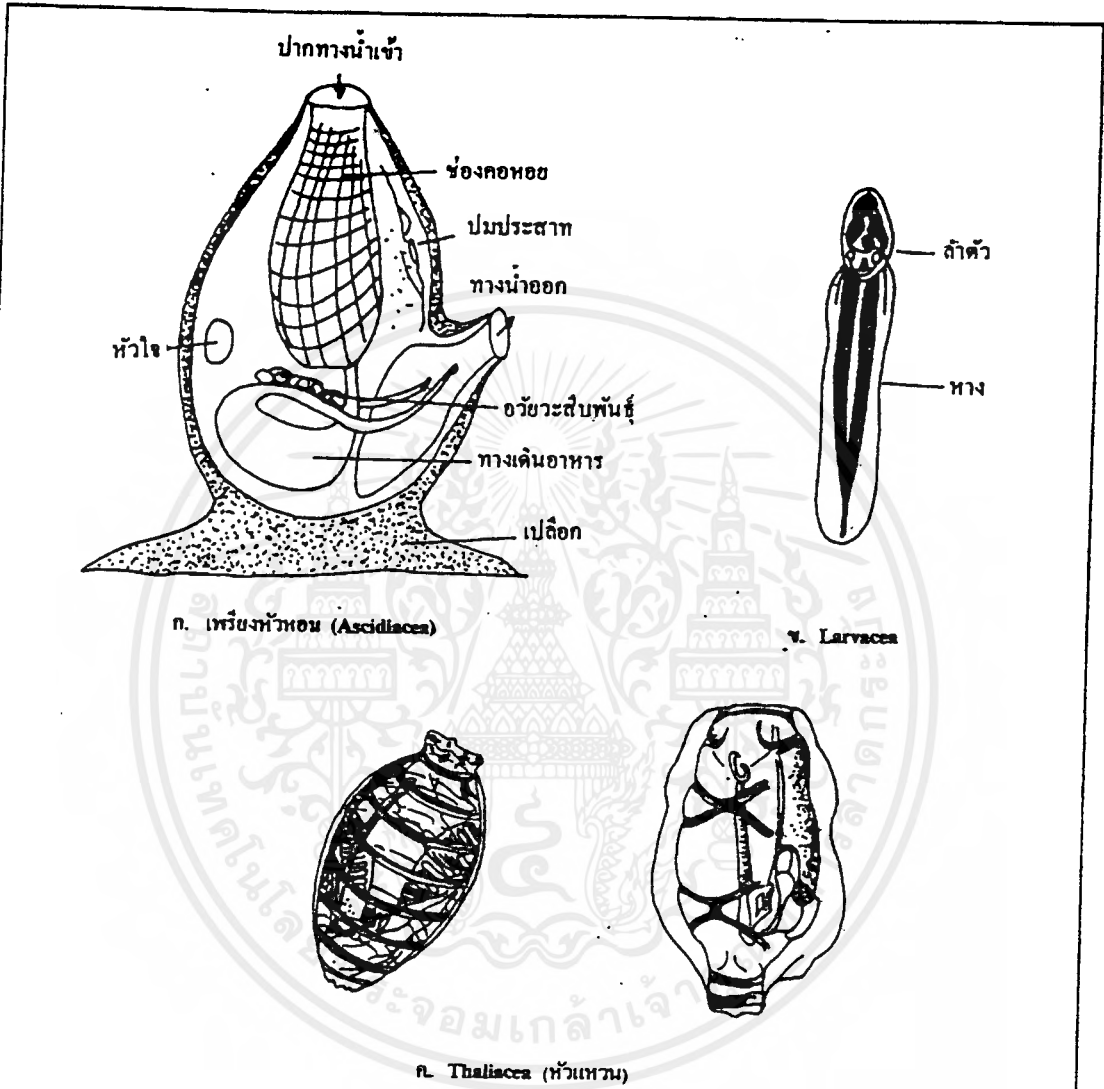
นอกจากนี้ สภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่ปลาต้องเผชิญอยู่ก็มีส่วนสำคัญมาก ซึ่งจะมีทั้งปัจจัยที่ไม่มีชีวิตและปัจจัยที่มีชีวิต โดยครอบคลุมถึงแก๊ส สิ่งที่ย่อยแขวนอยู่ในน้ำ ความกระด้างของน้ำ แสงสว่าง อุณหภูมิ อาหาร เหยื่อ ศัตรู และเชื้อโรคต่าง ๆ เป็นต้น

ความสำคัญและประโยชน์ของปลา

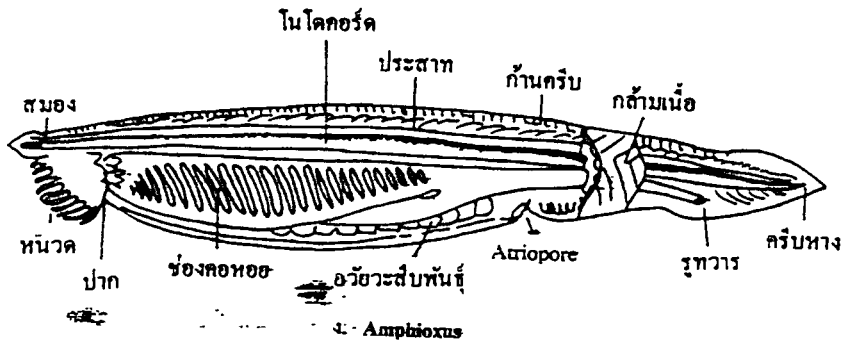
1. เป็นอาหารที่มีคุณค่าทางด้านโปรตีน และมีไขมันเป็นส่วนน้อย
2. มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและบางชนิดใช้เลี้ยงดูเล่นเป็นปลาสวยงาม
3. ใช้ประโยชน์การศึกษาทางด้านการแพทย์ โดยการศึกษาถึงระบบอวัยวะต่าง ๆ ในปลาที่มีลักษณะใสบางชนิด
4. มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับสิ่งแวดล้อมเห็นได้ชัดเจนมาก
5. เหมาะในการใช้ศึกษาด้านพันธุกรรม เนื่องจากการผสมพันธุ์ของปลาเป็นแบบธรรมชาติบางครั้งใช้ทดลองการผสมข้ามพันธุ์ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการเพาะเลี้ยง

ภาพที่ 11

แสดงลักษณะสัตว์ใน Subphylum Urochordata



ภาพที่ 1 สัตว์ชนิดต่างๆ ใน Subphylum Urochordata



ภาพที่ 2 ลักษณะของ Amphioxus ใน Subphylum Cephalochordata

(คัดแปลงมาจาก Hognes and Engmann, 1968)

แบบแผนของร่างกายในสัตว์มีกระดูกสันหลัง

Romer (1965) ได้จำแนกลักษณะสำคัญของร่างกายในสัตว์จำพวกมีกระดูกสันหลัง ออกดังนี้ คือ

1. การมีลำตัวซีกหนึ่งเหมือนกับอีกซีกหนึ่งเช่นเดียวกับภาพที่เกิดในกระจกเงา เรียกว่า ลักษณะสมมาตรกัน สัตว์ที่มีกระดูกสันหลังจะเป็นลักษณะนี้ทั้งหมด ในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง จะพบในพวกไส้เดือน (annelid) และอาร์โทรพอด (arthropod) บางชนิด สัตว์ที่มีลักษณะโครงร่างแบบนี้จะมีการเคลื่อนไหวว่องไว ผิดกับพวกที่มีร่างกายเป็นแบบกลม (radial symmetry) ซึ่งจะมีรูปร่างทื่อๆ เคลื่อนไหวช้า
2. มีการแบ่งส่วนของร่างกายให้เห็นอย่างชัดเจน เช่น ส่วนหัว ลำตัว และหาง
3. ใช้เหงือก (gill) ในการหายใจ ซึ่งถ้าเป็นสัตว์มีกระดูกสันหลังชั้นสูง จะพบในระยะที่เป็นตัวอ่อน มีรูปร่างคล้ายถุง (pouch) อยู่บริเวณส่วนต้นของทางเดินอาหาร ซึ่งต่อมาจะถูกแทนที่ด้วยปอด
4. มีแกนพุงลำตัวเรียกว่า โนโตคอร์ด ลักษณะเป็นท่อนยาว ยึดหยุ่นได้ โดยจะยาวจากส่วนหัวจนถึงหาง สำหรับในสัตว์ชั้นสูงจะถูกแทนที่ด้วยกระดูกสันหลัง (vertebral column หรือ backbone)
5. ระบบประสาทอยู่ตามยาวของส่วนหลัง เหนือโนโตคอร์ดหรือกระดูกสันหลัง ข้างในกลวงไม่มีโครงสร้างของปมประสาท แต่ภายในจะมีของเหลวบรรจุอยู่ ทางส่วนหน้าจะกลายเป็นสมองส่วนต่าง ๆ นอกจากนี้จะมีอวัยวะรับสัมผัสเป็นคู่อยู่ด้วย เช่น ตา หู จมูก เป็นต้น
6. ระบบทางเดินอาหาร จะมีทางเข้าและออกแยกจากกัน ปากจะอยู่ด้านล่างของส่วนหน้า และทวารหนักจะอยู่ทางปลายสุดของส่วนลำตัว และมีส่วนของทางซึ่งไม่มีส่วนของทางเดินอาหารอยู่ ท่อทางเดินอาหาร จะแบ่งออกเป็นลักษณะและส่วนต่าง ๆ เพื่อทำหน้าที่ต่าง ๆ กันเช่น ปาก คอหอย หลอดอาหาร ท้อง และลำไส้
7. ไต จะอยู่เป็นคู่ทางด้านบนของช่องว่างภายในลำตัว และขับถ่ายออกมาสู่ภายนอก โดยท่อไตหรืออาจจะไปรวมกันในกระเพาะปัสสาวะก่อน
8. อวัยวะสืบพันธุ์ ลักษณะเพศแยกออกจากกัน แต่ในพวกชั้นต่ำบางชนิดยังมีระบบของท่อนำไข่หรือน้ำเชื้อออกสู่ภายนอก
9. ระบบทางเดินโลหิต เป็นระบบวงจรปิด สารประกอบภายในเม็ดเลือดจะมีพวกเหล็ก เรียกว่า ฮีโมโกลบิน (haemoglobin)
10. ช่องว่างภายในลำตัว มีการแบ่งช่องว่างภายในลำตัวออกเป็นส่วนตามอวัยวะที่อยู่

เช่น ช่องว่างในท้อง abdominal cavity) มีระบบทางเดินอาหารอยู่ ช่องว่างในทรวงอก (pleural cavity) จะมีปอดอยู่ และช่องว่างรอบหัวใจ (pericardial cavity) จะเป็นที่อยู่ของหัวใจ

11. กล้ามเนื้อแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ กล้ามเนื้อลาย และกล้ามเนื้อเรียบ กล้ามเนื้อลายเป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ เป็นกล้ามเนื้อที่ช่วยในการเคลื่อนไหวของลำตัวและระยางค์ต่าง ๆ กล้ามเนื้อเรียบเป็นกล้ามเนื้อที่อยู่นอกอำนาจจิตใจและบุอวัยวะภายในต่าง ๆ เช่น กระเพาะอาหาร ลำไส้ สำหรับกล้ามเนื้อหัวใจเป็นกล้ามเนื้อที่มีลักษณะอยู่ระหว่าง 2 ชนิดนี้

12. ระบบโครงกระดูก ส่วนมากจะเป็นกระดูกอ่อนในระยะที่เป็นตัวอ่อน (embryo) และถูกแทนที่ด้วยกระดูกแข็งในขณะที่ยังเจริญวัยขึ้น

13. มีระยางค์คู่ไม่เกิน 2 คู่

14. การแบ่งส่วนของร่างกายจะเห็นไม่ชัดเจนจากภายนอก แต่จะเป็นส่วนที่อยู่ภายในที่เห็นชัดเจนคือ กระดูกสันหลัง

2.2.1 ระบบโครงสร้าง (Skeletal system) ¹

โครงสร้างของร่างกายในสัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง ประกอบด้วยส่วนที่เป็นกระดูกชนิดต่าง ๆ โนโตคอร์ด เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เกล็ด ฟัน ส่วนประกอบของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ ทำหน้าที่

1. ให้ร่างกายคงรูปและมีความแข็งแรง
2. ค้ำยันสมอง ไขสันหลัง และอวัยวะภายในอื่น ๆ
3. เป็นฐานยึดเหนี่ยวของกล้ามเนื้อ
4. ช่วยในการเคลื่อนไหว
5. เป็นที่อยู่ของเยื่อสร้างเม็ดเลือด

การศึกษาโครงกระดูกของปลา โดยแบ่งตามตำแหน่งและหน้าที่ออกได้เป็น 3 แบบ คือ

1. Enoskeleton หรือ dermal skeleton หมายถึง ส่วนของกระดูกที่มีกำเนิดมาจากผิวหนังชั้นในอย่างเดียว หรืออาจจะมีผิวหนังชั้นนอกเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ได้แก่ พวงเกล็ดปลา ก้านครีบ และแผ่นแข็ง ๆ บนผิวหนัง

2. Enoskeleton หรือ internal skeleton หมายถึง ส่วนของกระดูกที่อยู่ภายในร่างกาย ได้แก่ กระดูกแกน (axial skeleton) และกระดูกระยางค์ (appendicular skeleton)

¹ ชิน ศรียาภย์, คู่มือวิชาประมง (กรุงเทพฯ: อมรการพิมพ์, 2520) หน้า 37-40.

3. Membranous skeleton ได้แก่ พวกเนื้อเยื่อเกี่ยวพันและเยื่อหุ้มต่าง ๆ
 - peritoneum ปกคลุมอวัยวะภายในช่องท้องและเยื่อช่องท้อง
 - perineurium เยื่อหุ้มเส้นประสาท
 - perineural sheath เยื่อหุ้มระบบประสาทส่วนกลาง
 - perichondrium เยื่อหุ้มกระดูกอ่อน
 - periosteum เยื่อหุ้มกระดูกและยึดติดกับกระดูก
 - perimysium เยื่อหุ้มกล้ามเนื้อ
 - pericardium เยื่อหุ้มหัวใจ และช่องรอบหัวใจ
 - tendon & ligament ช่วยยึดกล้ามเนื้อด้วยกันหรือกล้ามเนื้อและกระดูก
 - mesentery ช่วยพยุงอวัยวะต่าง ๆ ภายในช่องท้อง

การเกิดของกระดูกอ่อน (Cartilage)

เกิดจากเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิดหนึ่ง เปลี่ยนแปลงมาเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของระบบโครงกระดูกในสัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง มีความแข็งแรงและสามารถยืดหยุ่นได้ โดยการที่ cartilage cell หรือ chondrocyte จะสร้างและปล่อยสารพวก polysaccharide ออกมาเป็น matrix และในปลาบางชนิดบริเวณ matrix จะมีเกลือแคลเซียมเข้ามาสะสมด้วย ทำให้ cartilage ส่วนนี้แข็งขึ้น เรียกว่า calcified cartilage ใน cartilage ส่วนใหญ่ไม่มีเส้นเลือด อาหารจะได้จากการแพร่ผ่าน matrix ขึ้นมา cartilage จะพบอยู่ติดตามโครงสร้างภายในร่างกาย โดยเฉพาะในพวกตัวอ่อน ในสัตว์ชั้นสูงจะพบน้อยลง

การเกิดกระดูกแข็ง (Bone) เกิดได้ 2 วิธี

1. เกิดจากการที่ bone cell หรือ osteocyte สร้าง matrix ที่มีเนื้อแน่นในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน โดยตรงเรียกกระดูกพวกนี้ว่า dermal bone หรือ membranous bone ลักษณะของกระดูกจะเรียบเกลี้ยงและแข็งไม่มีเส้นประสาททะลุได้ ส่วนมากเป็นกระดูกชั้นนอก เช่น กระดูกตามส่วนหัว ด้านบนของกล่องสมอง ซึ่งเป็น dermal plate มีต้นกำเนิดมาจากผิวหนังแล้วจมตัวลงได้ผิวหนัง ในบางครั้งมีแคลเซียมฟอสเฟต และแคลเซียมคาร์บอเนตมาสะสมทำให้กระดูกแข็งขึ้น

2. เป็นกระดูกแข็งที่มีต้นกำเนิดมาจาก cartilage เรียกว่า cartilaginous หรือ replacement bone โดยการที่ osteocyte สร้าง matrix ลงใน cartilage ทำให้มีความแข็งแรงขึ้น osteocyte จะมีแขนงเล็ก ๆ ยื่นออกมามากมายตามเนื้อกระดูก มีเส้นเลือดและเส้นประสาทมาหล่อเลี้ยงโดยผ่านทางช่องเล็ก ๆ เรียกว่า Haversian canal ฉะนั้นจะเห็นกระดูกพวกนี้มีรูพรุน

โนโตคอร์ด (Notochord)

พบในพวก chordate อื่น ๆ และในคัพพะของปลา มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอก ยาวอยู่ระหว่างกลางและเส้นแกนกลางของลำตัว เมื่อเจริญเต็มที่แล้ว จะมีเยื่อหุ้มรอบ ๆ ภายในมี เซลล์ที่เต่งและชั้นเหนียว บางชนิดมีโนโตคอร์ดยาวตลอดลำตัว เช่น ปลา sturgeon หรือในบางชนิด อาจมีเป็นจุด ๆ เท่านั้น บางชนิดต่อกันเป็นรูปสร้อย หรือลูกปัด เนื่องจาก cartilage บุกรุกเข้าไป ในส่วนของเยื่อหุ้ม สำหรับในปลาที่มีกระดูกขากรรไกร จะพบในระยะที่เป็นตัวอ่อนเท่านั้น

Axial firm skeleton คือ โครงกระดูกที่เป็นแกนกลางของปลาได้แก่ กระดูกส่วนหัว (skull) กระดูกสันหลัง (vertebral column) กระดูกซี่โครง (rib) และก้างฝอย (intermuscular bone)

กระดูกส่วนหัว

ในปลาปากกลม cyclostome) จะประกอบด้วย cartilage เป็นส่วนใหญ่ในกะโหลกของ lamprey ประกอบด้วย กล่องสมอง (brain-case) และส่วนห่อหุ้มอวัยวะรับความรู้สึกเกี่ยวกับกลิ่น (olfactory capsule) การเห็น (optic capsule) การได้ยิน (otic capsule) และการทรงตัว (balancing organ) มี branchial basket พยุงคอกหอยและถุงเหงือก (gill pouch) มี cartilage อื่น ๆ พยุงส่วนของ หน้าให้คงรูป มี buccal funnel รอบปากและมีลิ้น (ภาพที่ 25) สำหรับกะโหลกของ hagfish จะไม่สมบูรณ์โดยมีส่วนของ branchial basket ลดลงจนกลายเป็นกระดูกอ่อนรูปวงแหวนเท่านั้น

ในปลาฉลาม กะโหลกศีรษะจะประกอบด้วย cartilaginous cranium เพียงอันเดียว เรียกว่า chondrocranium และมี visceral arch เรียกว่า branchiocranium ในส่วนของ chondrocranium จะมี neurocranium ที่บางและไม่สมบูรณ์ มี sensory capsule ของหู และตาอย่าง ละคู่ มีช่องเปิดในบริเวณหัว สำหรับ visceral arch มีทั้งหมด 8 คู่ คู่แรกอาจจะหดหายไปและถูก แทนที่ด้วยกระดูกริมฝีปาก (labial cartilage) คู่ที่ 2 จะเปลี่ยนไปเป็นขากรรไกรบน (pterygoquadrate หรือ maxillary cartilage) และขากรรไกรล่าง (Meckel's หรือ mandibular cartilage) คู่ที่ 3 จะกลายเป็นกระดูกฐานลิ้น (hyoid) ซึ่งช่วยพยุงขากรรไกรและลิ้น คู่ที่ 4 ถึง 8 จะเป็นกระดูกแกนเหงือก (gill arch) ทั้ง 5 คู่ (ภาพที่ 26)

กะโหลกศีรษะของปลากระดูกแข็ง ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ neurocranium หมายถึง ส่วนของกะโหลกศีรษะด้านบนที่อยู่รอบกล่องสมองและห่อหุ้มอวัยวะรับ ความรู้สึกบางส่วน และ branchiocranium หมายถึง ส่วนของกะโหลกศีรษะด้านล่าง ในส่วนของ neurocranium จะแบ่งกระดูกออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นกลุ่มที่หุ้มภายใน (endosteal) ซึ่งเป็น ส่วนของพื้นกล่องสมอง ส่วนที่อยู่รอบและป้องกันอวัยวะรับความรู้สึกต่าง ๆ ได้แก่ olfactory,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

optic และ otic capsule และส่วนหน้าของโนโตคอร์ด์ กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่หุ้มภายนอก (ectosteal) ได้แก่ พวงกระดูก dermal ของหลังคากลองสมอง และส่วนที่พุงรูปหน้า สำหรับส่วนของ branchiocranium จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ขากรรไกรบนและล่าง ส่วนที่พุงขากรรไกร และกระดูกแก้ม และส่วนของกระดูกแกนเหงือก

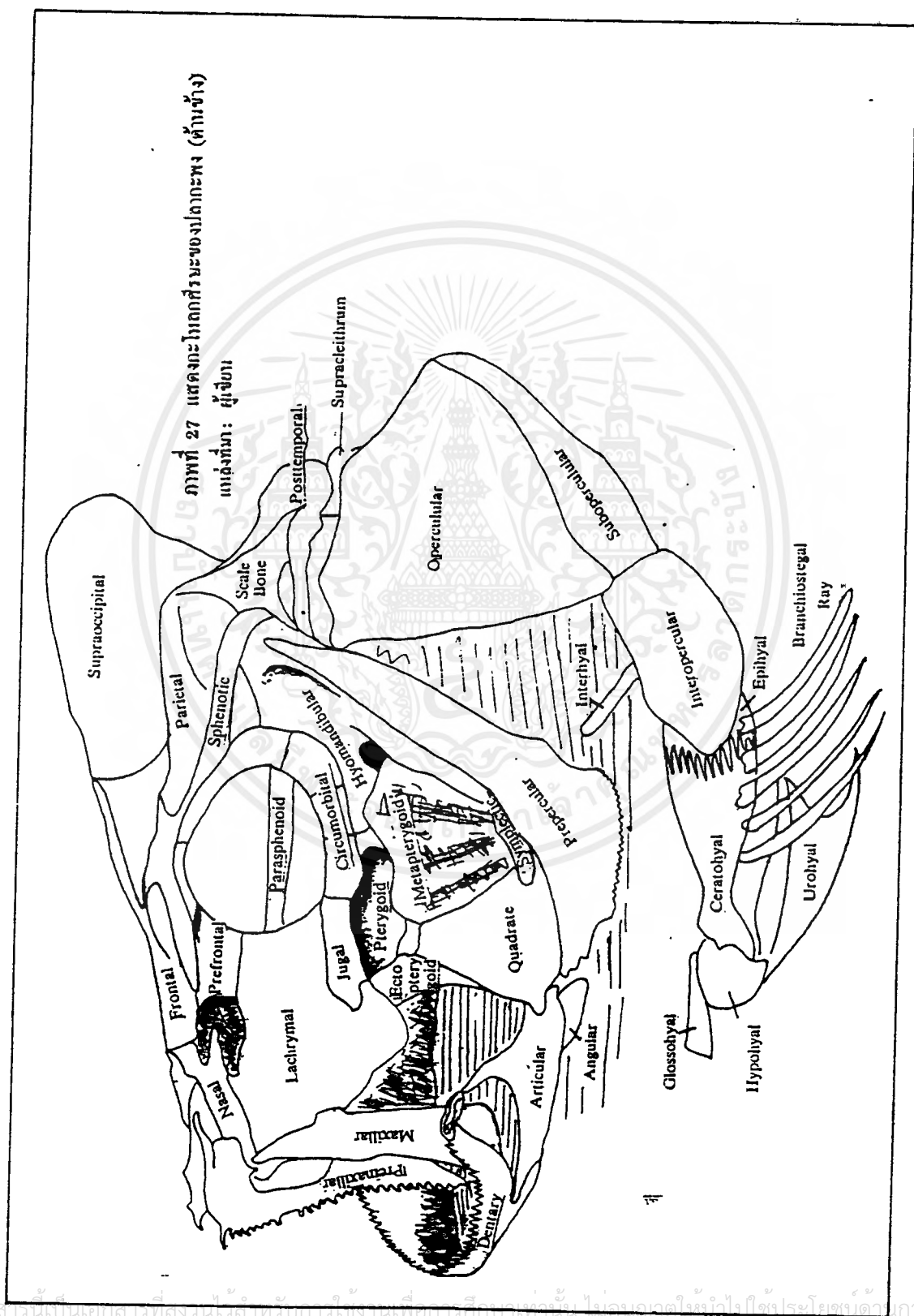
Neurocranium แบ่งกระดูกออกตามกลุ่มที่อยู่ได้ดังนี้ (ดูภาพที่ 27, 28, 29 และ 30 ประกอบ)

Olfactory (nasal area) เป็นส่วนของกระดูกที่อยู่ในบริเวณจมูก มีส่วนที่เป็นกระดูกอ่อนและอยู่เป็นคู่ ได้แก่ parethmoid และ preethmoid และส่วนที่เป็นกระดูกเดี่ยว คือ ethmoid ทางด้านข้างตอนบนของกระดูก parethmoid จะถูกกระดูก prefrontal ปกคลุมไว้ ทางด้านท้องของกระดูก ethmoid และ preethmoid จะถูกปกคลุมด้วยกระดูก vomer และทางด้านข้างตอนบนจะถูกปกคลุมด้วยกระดูก nasal ส่วนที่เป็นกระดูก dermal ที่เป็นคู่ ได้แก่ prefrontal และ nasal และที่เป็นกระดูกเดี่ยว ได้แก่ vomer ซึ่งบางครั้งจะมีฟันอยู่บนกระดูกชิ้นนี้ด้วย

Orbital region เป็นส่วนของกระดูกที่อยู่ในบริเวณตา มีส่วนที่เป็นกระดูกอ่อน ได้แก่ กระดูก median orbitosphenoid และ paired alisphenoid ทางด้านบนของกระดูก 3 ชิ้นนี้จะถูกกระดูก frontal ปกคลุมไว้ ส่วนกระดูกแข็งจะเป็นชิ้นเล็ก ๆ เรียงเป็นแนวเรียกว่า circumorbital หรือ sclerotic bone ซึ่งจะเป็นกระดูกคู่ทั้งหมด กระดูก frontal จะอยู่ทางด้านบน และเป็นส่วนหนึ่งของกระบอกตา จากนั้นจะมีกระดูก supraorbital และ suborbital ซึ่งมีทั้งหมด 6 ชิ้น เรียงตามลำดับคือ กระดูก SO_1 ได้แก่ lachrymal หรือ preorbital กระดูก SO_2 คือ jugal กระดูก SO_3 คือ true suborbital และกระดูก SO_4 ถึง SO_6 คือ dermosphenotic

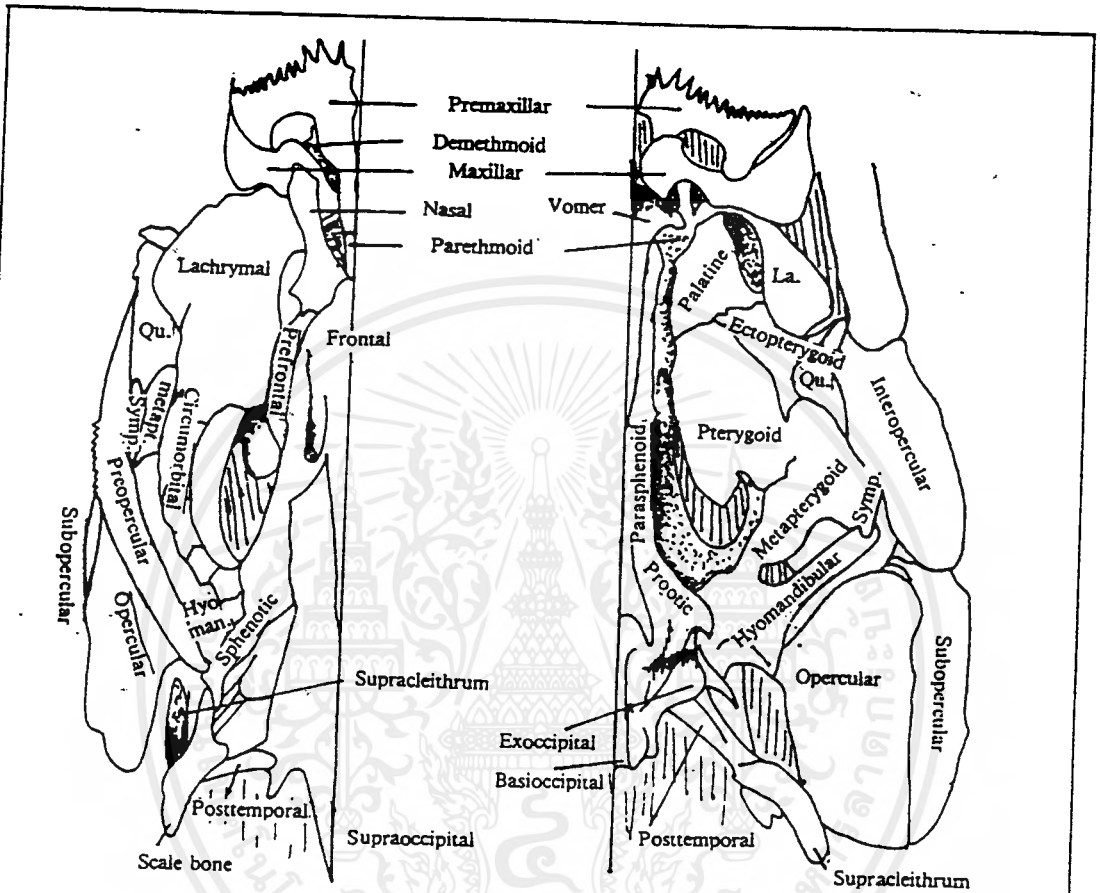
Otic region หมายถึง กลุ่มของกระดูกรอบกล่องหู ประกอบด้วยกระดูกอ่อนหลายชิ้น ได้แก่ กระดูก sphenotic (autosphenotic), pterotic (autopterotic), prootic, epiotic, opisthotic และ exoccipital ซึ่งเป็นกระดูกคู่ทั้งหมด และส่วนที่เป็นกระดูกเดี่ยว คือ supraoccipital ซึ่งตั้งอยู่ด้านบนตรงกลางและยื่นไปทางท้าย สำหรับพวงกระดูก dermal ในบริเวณนี้ ได้แก่ กระดูก parietal, posttemporal และ supracleithrum ซึ่งเป็นกระดูกคู่ทั้งหมด ทางด้านข้างตอนบนของกระดูก sphenotic จะถูกปกคลุมด้วยกระดูก dermosphenotic และกระดูก posttemporal จะติดต่อกับกระดูก pectorial girdle

ภาพที่ 13
แสดงกะโหลกศีรษะของปลา



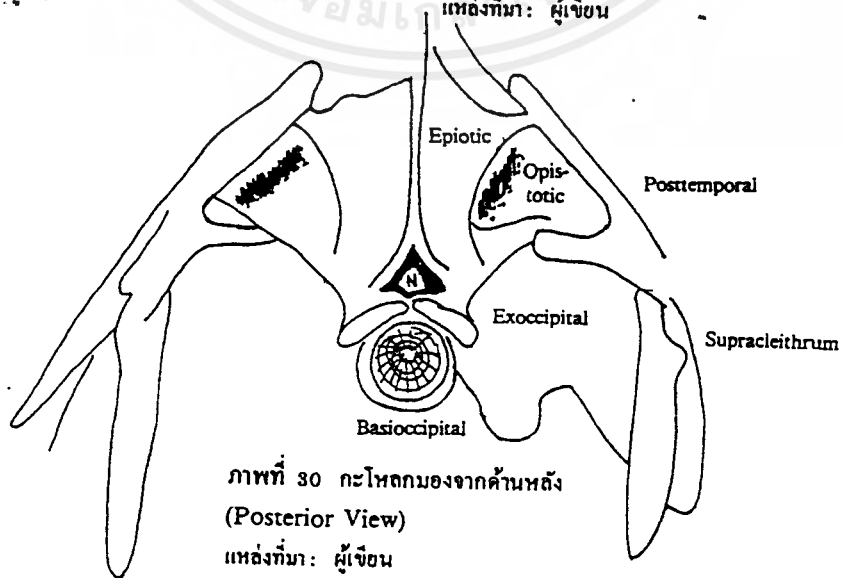
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในห้องเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 14
แสดงกะโหลกศีรษะของปลา



ภาพที่ 28 กะโหลกศีรษะมองจากด้านบน (Dorsal view)
แหล่งที่มา: ผู้เขียน

ภาพที่ 29 กะโหลกมองจากด้านล่างของกล่องสมอง (Ventral-basi Cranial View)
แหล่งที่มา: ผู้เขียน



ภาพที่ 30 กะโหลกมองจากด้านหลัง (Posterior View)
แหล่งที่มา: ผู้เขียน

Basicranial region เป็นส่วนของกระดูกฐานกล่องสมอง มีส่วนที่เป็นกระดูกอ่อน คือ basioccipital ซึ่งเป็นกระดูกเดี่ยวที่มีส่วนเว้าทางด้านหลัง และไปต่อกับกระดูกสันหลังข้อแรก กระดูก dermal มีอันเดียว คือ median parasphenoid มีรูปร่างคล้ายกับไม้กางเขน กระดูกชิ้นนี้จะยื่นยาวจาก olfactory region จนถึงกระดูก basioccipital

Branchiocranium แบ่งส่วนของกระดูกออกได้ดังนี้ คือ

Mandibular region ประกอบด้วยกระดูก oromandibular คือ ขากรรไกรบนและล่าง และกระดูกที่เชื่อมโยกัน กระดูกทั้งหมดมีเป็นคู่ ส่วนของกระดูกอ่อนที่พบทางขากรรไกรบน ได้แก่ palatine, quadrate และ metapterygoid (ภาพที่ 27) กระดูก palatine เป็นกระดูกที่มีฟันอยู่ กระดูก quadrate เป็นจุดรวมของรอยต่อจากกระดูก pterygoid, upper hyoid และขากรรไกรล่าง สำหรับส่วนที่เป็นกระดูก dermal ของขากรรไกรบน ได้แก่ premaxillary, maxillary, pterygoid และ mesopterygoid กระดูก premaxillary ส่วนมากจะมีฟัน ส่วนกระดูก maxillary ไม่มีฟัน ในปลาหลายชนิดจะมี supramaxillary ซึ่งเป็นกระดูก dermal เล็ก ๆ ติดอยู่ทางด้านบนของกระดูก maxillary กระดูกอ่อนในส่วนของขากรรไกรล่างมีอันเดียวคือ articular ซึ่งจะเชื่อมต่อกับกระดูก quadrate ทางด้านหลัง ส่วนทางด้านหน้าจะสอดเข้าเป็นรูปตัววี และสวมพอดีกับทางด้านหลังของกระดูก dentary สำหรับกระดูก dermal ของขากรรไกรล่าง ได้แก่ angular และ dentary กระดูก angular เป็นกระดูกเล็ก ๆ รูปสามเหลี่ยมสำหรับกระดูก dentary ส่วนมากจะมีฟัน

Hyoid region ประกอบด้วยกระดูกที่เป็นคู่และเดี่ยว กระดูกคู่ที่เป็นกระดูกอ่อน ได้แก่ hyomandibular, symplectic, interhyal, epihyal, ceratohyal และ hypohyal ส่วนกระดูกเดี่ยว ได้แก่ basihyal (glossohyal หรือ entoglossal) กระดูก dermal ที่เป็นคู่ ได้แก่ preopercular, subopercular, opercular, interopercular และ branchiostegal ray และกระดูกเดี่ยว คือ urohyal ทางด้านบนของกระดูก hyomandibular จะติดต่อกับกระดูก sphenotic, prootic และ pterotic และทางด้านหน้าของส่วนบนจะติดต่อกับกระดูก metapterygoid นอกจากนี้ มันยังติดต่อกับกระดูก interhyal และ symplectic ด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน และ cartilage และติดต่อกับกระดูก opercular ด้วย symplectic เป็นกระดูกเล็กและต่อพอดีกับช่องแคบ ๆ ใน quadrate กระดูก interhyal จะต่อกับกระดูก epihyal ไปจนถึง hyomandibular และ symplectic กระดูก epihyal เป็นกระดูกสามเหลี่ยม อยู่ระหว่างกระดูก interhyal และ ceratohyal กระดูก ceratohyal และ epihyal จะมีส่วนของกระดูกที่ช่วยเชื่อมให้กระดูก ทั้ง 2 นี้แข็งแรงยิ่งขึ้น กระดูก hypohyal มี 2 ส่วนต่อยึดกับกระดูก ceratohyal ในแต่ละข้างของส่วนหัว จะมีกลุ่มของ opercular bone ซึ่งเป็นกระดูกปิด

เหงือกและเป็นกระดูกแก้มประกอบด้วย preopercular, opercular, interopercular และ subopercular opercular เป็นชิ้นกระดูกที่ใหญ่ที่สุดและยื่นยาวออกไปทางด้านหลังมากที่สุด กระดูก branchiostegal ray จะมีส่วนของ branchiostegal membrane ปิดให้ติดต่อกัน และติดกับส่วนหน้าของกระดูก hyoid ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกระดูก ceratohyal สำหรับจำนวนและกระดูกที่ติดต่อกันจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของปลา กระดูก urohyal เป็นกระดูกที่แข็งแรง มีรูปร่างเหมือนตัวที (T) กลับหัวอยู่ตรงเยื่อขีกระหว่างกลางของคอในส่วนลึกของกล้ามเนื้อ hypobranchial ระหว่างสาขาของกรรไกรล่าง

Branchial region เป็นกระดูกอ่อนทั้งหมด มีประกอบเป็นคู่ (ภาพที่ 33) ได้แก่ pharyngobranchial, epibranchial, ceratobranchial, hypobranchial และกระดูกเดี่ยวคือ basibranchial ส่วนมากในปลากระดูกแข็งจะมี basibranchial 3 อัน hypobranchial 3 คู่ ceratobranchial, epibranchial และ pharyngobranchial อย่างละ 4 คู่ ในปลากระดูกแข็งชั้นสูง จะมี pharyngeal teeth บนกระดูก branchial ต่าง ๆ กัน

กระดูกสันหลัง (Vertabral column)

ในปลาปากกลม กระดูกสันหลังจะเป็นแบบธรรมดา โนโตคอร์ดยังคงเป็นส่วนแกนที่สำคัญ มีกระดูกอ่อนขนาดเล็กเรียงกันเป็นปล้องอยู่ทางด้านบนของโนโตคอร์ด แล้วกลายเป็นส่วนโค้งอยู่เหนือไขสันหลังในปลากระดูกอ่อนจะมีความสลับซับซ้อนขึ้น แต่ก็ยังคงเป็นกระดูกอ่อนอยู่ในปลากระดูกแข็งส่วนนี้จะเป็นกระดูกแกนซึ่งเกิดมาแทนที่โนโตคอร์ดอย่างแท้จริง เพื่อทำหน้าที่ป้องกันอันตรายให้แก่ไขสันหลังและเป็นที่ยึดเกาะของกล้ามเนื้อ

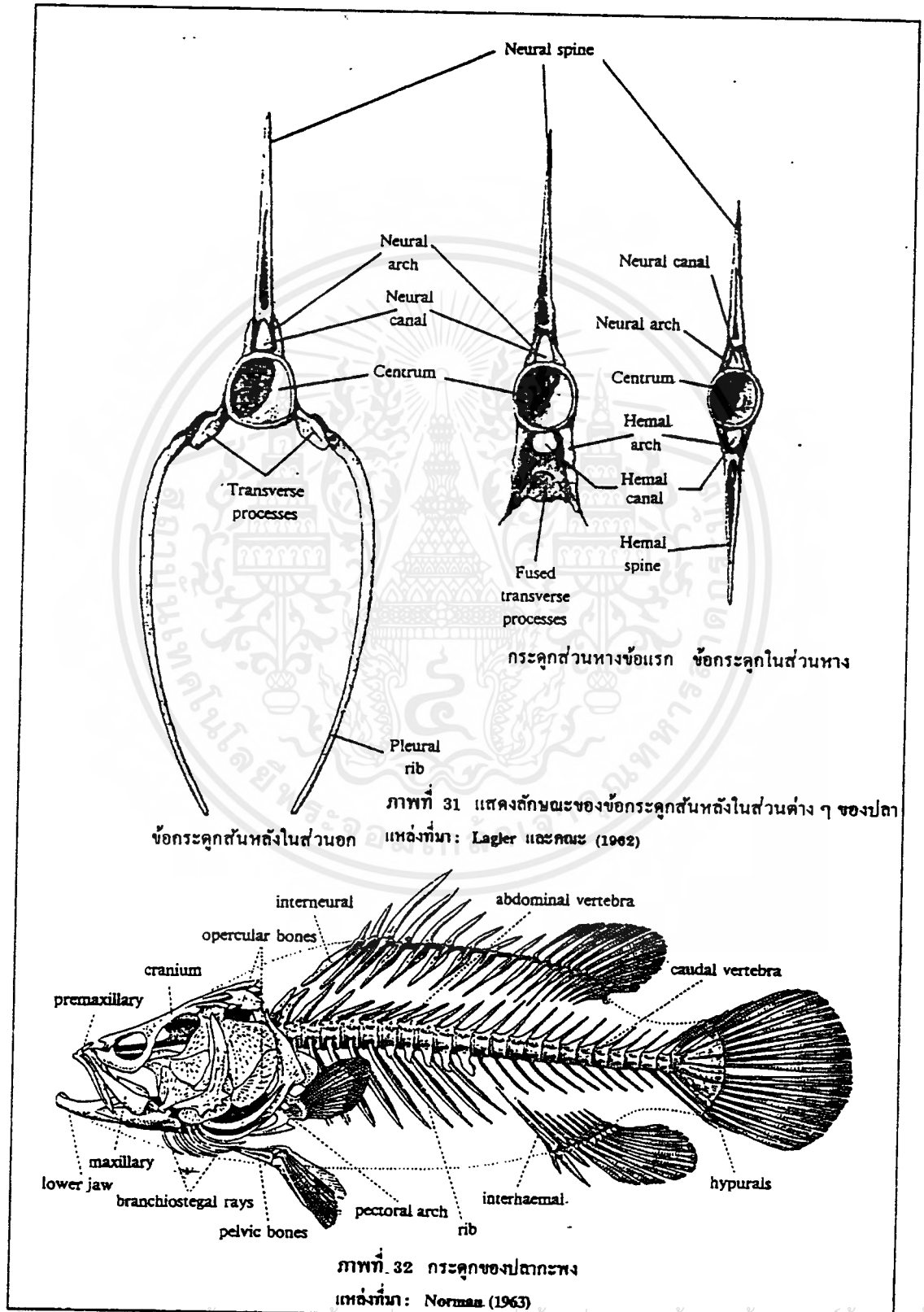
กระดูกสันหลังประกอบด้วยข้อกระดูก เรียกว่า vertebra ต่อกันเป็นข้อ ๆ จากปลายสุดของกะโหลกศีรษะจนถึงส่วนหาง (ภาพที่ 32) ในแต่ละข้อประกอบด้วยแท่งทรงกระบอกล้วน เรียกว่า centrum ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกัน 3 แบบ (ภาพที่ 35 ข.) คือ

Amphicoelous (both side + hollow) มีส่วนเว้าทั้งด้านหน้าและด้านหลัง เมื่อต่อกันเป็นเส้นยาว ตรงส่วนเว้าจะมีโนโตคอร์ดบรรจุอยู่ พบในปลากระดูกอ่อน และปลากระดูกแข็งทั่วไป

Opisthocoelous (in behind + hollow) มีส่วนนูนทางด้านหน้าและเว้าทางด้านหลังเพื่อให้รับกัน พบเฉพาะในปลา gar และปลา pike เท่านั้น

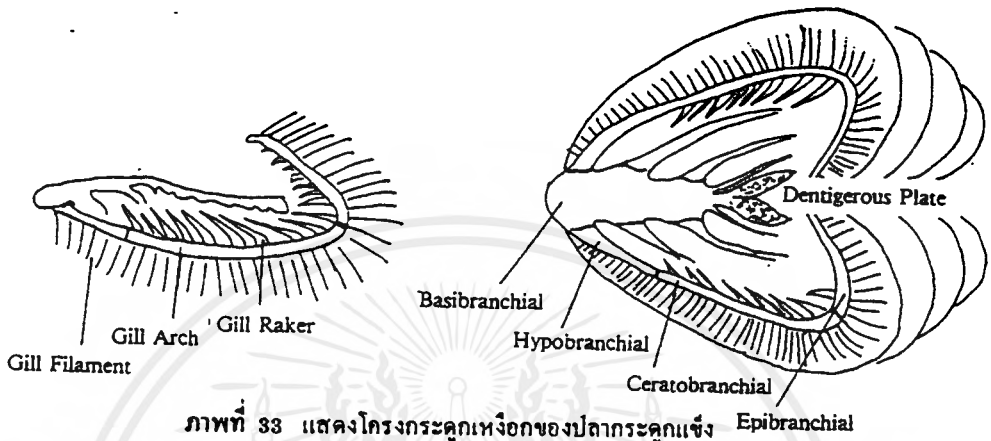
ภาพที่ 15

แสดงลักษณะของข้อกระดูกและกระดูก

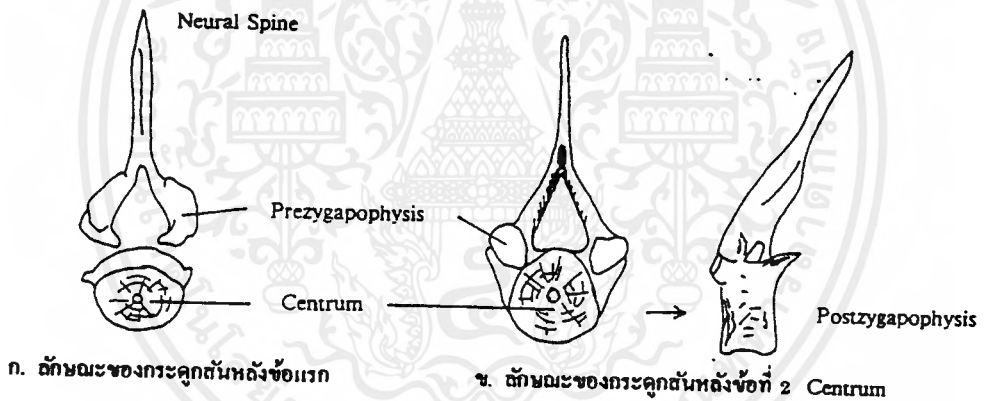


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 16
แสดงลักษณะข้อกระดูกสันหลัง



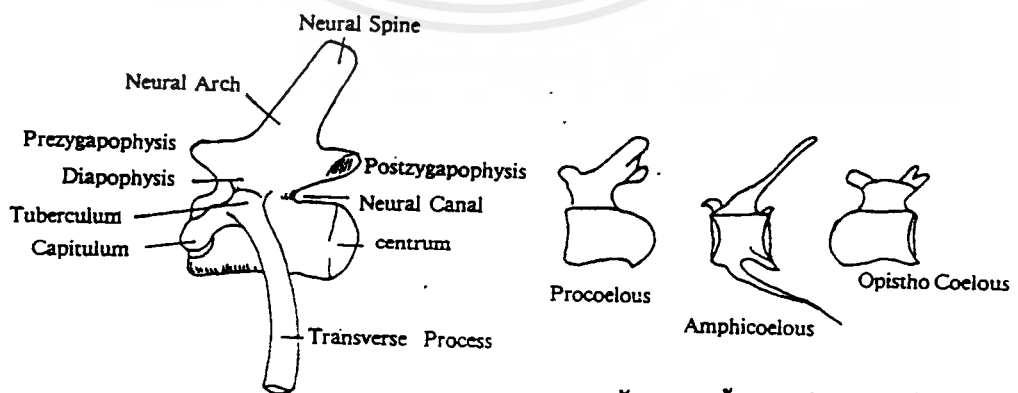
ภาพที่ 33 แสดงโครงสร้างกระดูกเหงือกของปลากระดูกแข็ง
แหล่งที่มา: ผู้เขียน



ก. ลักษณะของกระดูกสันหลังข้อแรก

ข. ลักษณะของกระดูกสันหลังข้อที่ 2

ภาพที่ 34 แสดงลักษณะของข้อกระดูกสันหลังข้อที่ 1 และ 2 ของปลากระดูก
แหล่งที่มา: Chiasson (1974)



ก. รายละเอียด Process ต่างๆ ของกระดูกสันหลัง

ข. ลักษณะของข้อกระดูกสันหลังแบบต่างๆ

ภาพที่ 35 แสดงข้อกระดูกสันหลังต่างๆ

แหล่งที่มา: ก. Hildebrand, 1974
ข. Weichert, 1965

Procoelous (in front + hollow) มีส่วนเว้าทางด้านหน้าและส่วนนูนทางด้านหลัง พบในพวกปลาไหล

ในแต่ละข้อของกระดูกสันหลัง ประกอบด้วย process ต่าง ๆ ขึ้นออกมา เรียกว่า apophysis ซึ่งจะประกอบกันเป็นส่วนห่อหุ้มระบบที่อ่อนแอกว่า ได้แก่ (ดูภาพที่ 35 ก. ประกอบ)

Neurapophysis อยู่ทางด้านบนกลายเป็น neural arch และ neural spine ช่องภายใน neural arch เป็น neural canal สำหรับเป็นที่อยู่ของไขสันหลัง ในปลากระดูกสันหลัง 1 ข้อ จะมี neural arch และ neural spine อย่างละ 1 อัน ตรงส่วนฐานของ neurapophysis จะมี process ที่เรียกว่า prezygapophysis และ postzygapophysis สำหรับติดต่อกับกระดูกสันหลังข้อก่อนและข้อหลังตามลำดับ

Haemapophysis อยู่ทางด้านล่างตรงข้ามกับ neurapophysis ซึ่งจะกลายเป็น haemal arch ภายในเป็นช่อง haemal canal ให้เส้นเลือดผ่าน สำหรับข้อกระดูกที่อยู่ทางส่วนหางของตัวปลาจะมี haemal spine ขึ้นลงมาทางด้านล่างด้วย

Transverse process เป็น process ที่ขึ้นออกมาทางด้านหลัง มีอยู่หลายชนิด ได้แก่ Diapophysis ขึ้นออกมาทางฐานของ neural arch เป็นส่วนที่ช่วยพยุง tuberculum ซึ่งเป็นส่วนบนของซี่โครง (rib) ที่มี 2 หัว Parapophysis ขึ้นออกมาจาก centrum เป็นที่ยึดเกาะของ capitulum ซึ่งเป็นส่วนล่างของก้าง Basapophysis เป็นส่วนที่ขึ้นออกมาจาก centrum แล้วชี้เฉียงลงไปทางด้านล่าง และ Pleurapophysis ขึ้นออกไปทางด้านข้างของ centrum และออกไปเชื่อมรวมกับซี่โครง

ข้อกระดูกสันหลังปลาจะแตกต่างกันไปตามส่วนต่าง ๆ ของตัวปลา (ภาพที่ 31) ทางส่วนหน้าสุดซึ่งเป็นส่วนต่อเชื่อมกับกะโหลกศีรษะ จะมีกระดูกข้อแรก และข้อที่สองแตกต่างกันไป เรียกว่า atlas และ axis (ภาพที่ 34) กระดูก atlas ในปลากระดูกอ่อนจะเป็นกระดูก 2 ชิ้น ขึ้นบนประกอบด้วย neural arch และ neural spine และมี process ใหญ่สำหรับต่อเชื่อมกับด้านหน้าตรงส่วนฐานของ neural arch ชิ้นล่างจะเป็น centrum ซึ่งมีส่วนต่อเชื่อมเป็น process ใหญ่เช่นกันทางด้านหลัง ซึ่งเทียบได้กับ prezygapophysis และ postzygapophysis ของกระดูกข้ออื่น ๆ กระดูก axis เป็นกระดูกชิ้นเดียวมี prezygapophysis ที่ใหญ่มากและ postzygapophysis ขนาดเล็ก กระดูกทั้ง 2 ชิ้นนี้ไม่มี transverse process และกระดูกซี่โครง ข้อกระดูกถัดมาจะอยู่ในส่วนลำตัว ซึ่งมีกระดูกซี่โครงอยู่ แต่ไม่มี haemal arch และกระดูกสันหลังทางส่วนหางซึ่งเริ่มต้นจากกระดูกก้นลงไปไม่มีกระดูกซี่โครง แต่มี haemal arch หุ้มรอบเส้นเลือดและมี haemal spine ด้วย haemal arch

ในส่วนนี้จะมี process ซึ่งคล้ายกับ prezygapophysis และ postzygapophysis แต่ไม่ได้ติดต่อกับชิ้นอื่น ๆ เป็นเพียง basal process เท่านั้น

บริเวณซี่โครงของปลาจะมีก้าง (rib) อยู่ 2 ชนิดคือ plural และ ventral rib ซึ่งจะเจริญอยู่ทางส่วนล่างบริเวณช่องอกและช่องท้องของปลา และ epipleural หรือ dorsal rib ซึ่งเจริญอยู่ในเยื่อชั้นตามแนวราบ และเกาะยึดกับผิวด้านหลังของ pleural rib ด้วยเอ็น ก้างชนิดนี้มีขนาดเล็ก ในบางครั้งเรียกว่า ก้างฝอย หรือ intermuscular bone เนื่องจากเกิดอยู่ระหว่างกล้ามเนื้อ

กระดูกสันหลังใน lamprey ไม่มี centrum และมีบางส่วนเป็น cartilage ในปลา hagfish จะมีเฉพาะเยื่อกระดูกอ่อนหุ้มโนโตคอร์ดเท่านั้น ในปลาฉลามตรงส่วนกลาง ๆ ของกระดูกแกนกลางตรงส่วนลำตัวจะมีลักษณะที่คล้าย neural arch และ transverse process (basapophysis) และในส่วนของกระดูกแกนกลางส่วนหางจะมีทั้ง neural และ haemal arch ในปลา chimaera จะมี centrum ที่เป็นรูปร่างแหวนของ calcified cartilage ซึ่งไม่สมบูรณ์และไม่มีการเชื่อมซี่โครงสำหรับในปลากระดูกแข็งจะเป็นเซลล์กระดูกทั้งหมด

Appendicular firm skeleton

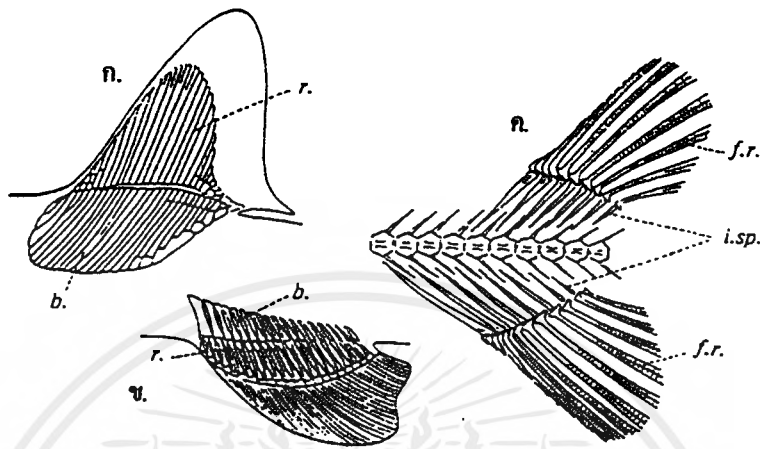
เป็นกระดูกที่ใช้สำหรับค้ำจุนระยางค์และโครงสร้างของระยางค์คู่และเดี่ยว ได้แก่ กระดูกครีบเดี่ยวและครีบกู่ของปลา

กระดูกค้ำจุนครีบหลังและครีบก้น (Dorsal and anal fin support)

กระดูกภายในตัวปลาที่ค้ำจุนครีบเดี่ยวประกอบด้วยกระดูก 3 ชุด ชุดในสุดเป็น median skeletogenous septum อยู่ระหว่าง neural spine 2 อัน เรียกว่า proximal pterygiophore (axanost) ซึ่งเจริญมาจากกระดูก interneural ถัดจากชิ้นนี้จะเป็นกระดูกชุดกลาง เรียกว่า intermediate pterygiophore กระดูกชุดนอกสุด คือ distal pterygiophore (baseost) ซึ่งจะติดกับกระดูกค้ำจุนแผ่นครีบ

ในปลาปากกลม ก้านครีบบีเฉพาะแผ่นเยื่อพุงเอาไว้เท่านั้น ในปลาฉลามครีบหลังจะถูกค้ำจุนด้วย basal cartilage ที่อยู่บน neural spine ของข้อกระดูกสันหลังที่ใกล้ที่สุด และมี radial cartilage ยื่นออกมาข้างนอกค้ำจุนก้านครีบอกอีกต่อหนึ่ง

ภาพที่ 17
แสดงกระดูกค้ำจุนครีบ



ภาพที่ 36 กระดูกค้ำจุนครีบหลังและครีบกัน

ก. ครีบหลังอันแรกของปลาฉลาม ข. ครีบกันของปลา sturgeon ค. ครีบหลังและครีบกันของปลา gar pike

อธิบายคำย่อ: b., basal cartilages; f.r., fin-rays; i.sp., interspinous bones; r., radial cartilages.

แหล่งที่มา: Norman, 1963

กระดูกค้ำจุนครีบหาง (Caudal fin support)

เป็นส่วนปลายสุดของกระดูกสันหลังที่มีวิวัฒนาการไปหลายรูปแบบคือ

Proterocercal (diphycercal) เข้าใจว่าเป็นหางแบบแรกสุดโดยกระดูกสันหลังยังคงเป็นกระดูกค้ำจุนครีบไว้ และแบ่งหางออกเป็นซีกบนและซีกล่างเท่า ๆ กัน

Heterocercal จะมีส่วนปลายของกระดูกสันหลังโค้งงอขึ้นข้างบนช่วยพยุงแพนหางซีกล่างให้คงรูปอยู่

Hypocercal ตรงข้ามกับ heterocercal โดยส่วนปลายของกระดูกสันหลังจะโค้งงอลงมาข้างล่าง ทำให้แพนหางซีกบนคงรูปอยู่

Isocercal เป็นแบบที่กระดูกสันหลังข้อสุดท้ายเปลี่ยนรูปเป็นแผ่นเล็ก ๆ และมีก้านครีบแยกมาจากส่วนของครีบหลังและครีบกัน

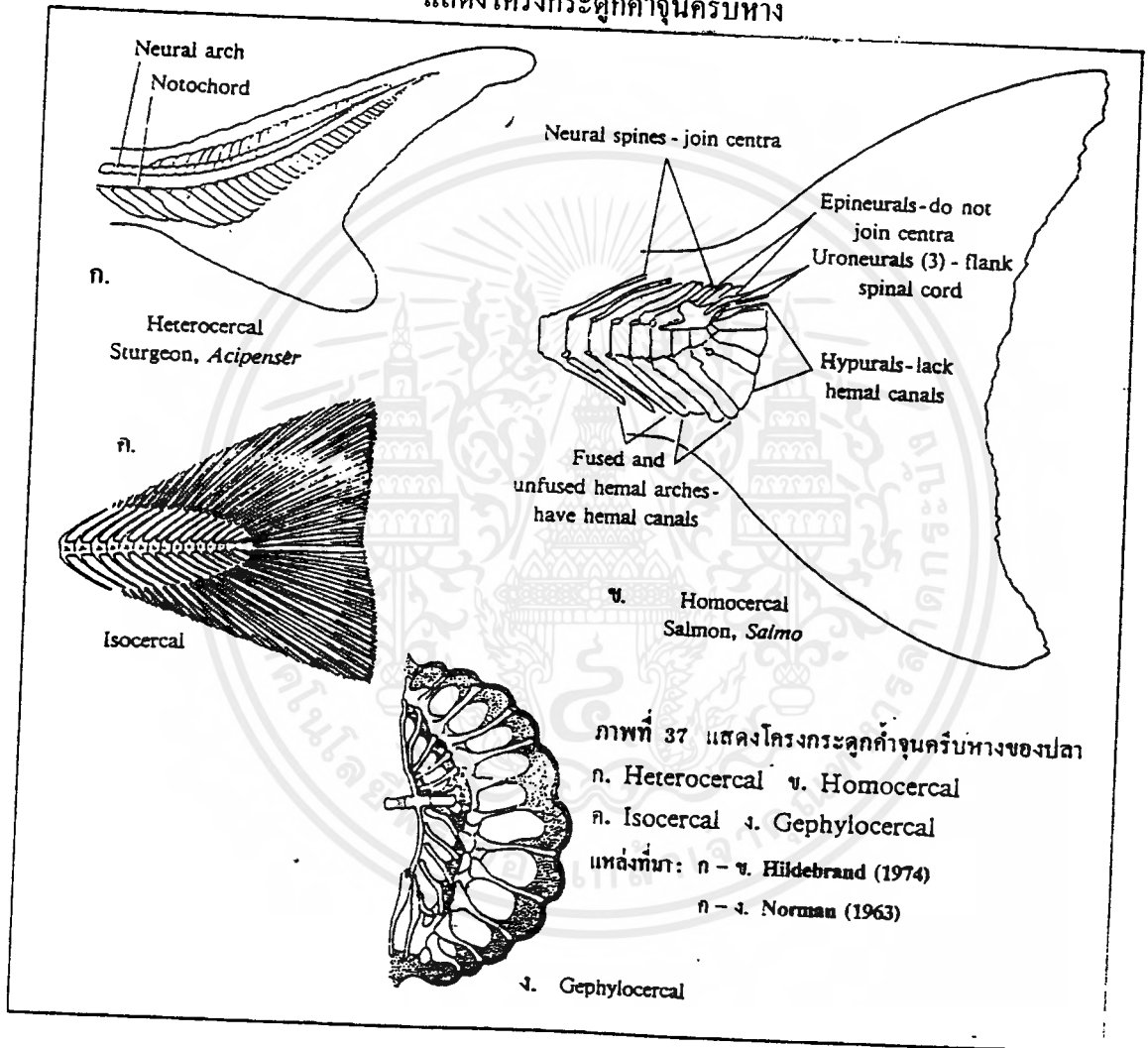
Leptocercal จะมีส่วนปลายของกระดูกสันหลังหดเล็กลงจนกลายเป็นเส้นยาว ในขณะที่แพนหางทั้งซีกบนและซีกล่างก็หดหายไปด้วย

Gephylocercal (bridge tail) จะมีแกนค้ำจุนหางเปลี่ยนแปลงมาจาก dorsal และ ventral interspinous bone

Homocercal จะมีกระดูกสันหลังส่วนปลาย รวมทั้งส่วนประกอบที่เปลี่ยนแปลงไปโดย neural arch และ neural spine เป็นไปเป็น epiural (upper + tail) ส่วน haemal arch และ haemal spine เปลี่ยนรูปไปเป็น hypural (below + tail) ทำให้แนวทางที่เท่ากันทั้งบนและล่างอยู่ในซี่ก้างของส่วนกระดูกสันหลัง

ภาพที่ 18

แสดงโครงกระดูกค้ำจุนครีบหาง



กระดูกค้ำจุนครีบอก (Pectoral fin support)

ในปลาปากกลมไม่มีครีบทูและไม่มีกระดูกค้ำจุนครีบทู ในปลากระดูกอ่อน ฐานของครีบอกจะประกอบด้วย coracoscaphular เป็นกระดูกอ่อนที่แข็งแรงและเป็นรูปตัว U ปากกว้างทางด้านล่างของรูปตัว U จะเป็นส่วนของกระดูก coracoid ซึ่งมีครีบทูมาต่อเข้าตรงมุม และตรงส่วนบนสุดของรูปตัว U จะเป็นส่วนของ scapula ในปลากระดูกแข็ง และ chimaera ส่วน scapula cartilage จะมีด้านบนสิ้นสุดที่แนวกระดูกสันหลัง สำหรับในปลากระดูกแข็ง ฐานครีบทูจะประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยกระดูกอ่อนและกระดูกแข็ง ส่วนที่เป็นกระดูกอ่อน ได้แก่ coracoid และ scapula อย่างละคู่ และกระดูก radial 4 คู่ ส่วนที่เป็นกระดูกแข็ง ได้แก่ posttemporal, supracleithrum, cleithrum และ postcleithrum อย่างละคู่ ฐานครีบอกนี้จะต่อดีกกับกล่องสมองด้วยกระดูก posttemporal ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปส้อม โดยยื่นส่วนของส้อมไปข้างหน้า ขาข้างหนึ่งไปต่อกับกระดูก epiotic และอีกข้างหนึ่งไปต่อกับกระดูก opisthotic ทางส่วนหลังด้านล่างของกระดูก posttemporal จะต่อกับกระดูก supracleithrum ซึ่งจะยื่นลงไปยังกระดูกชิ้นใหญ่ที่เรียกว่า cleithrum กระดูก postcleithrum จะต่อกับกระดูก cleithrum ทางด้านล่างและยื่นเข้าไปยังกล้ามเนื้อด้านข้างของส่วนท้อง กระดูก coracoid เป็นกระดูกสามเหลี่ยมต่อกับกระดูก scapula และ cleithrum โดยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน กระดูก scapula เป็นกระดูกสี่เหลี่ยมซึ่งมีรูใหญ่ตรงกลาง จะต่อกับกระดูก radial ในปลาบางชนิด จะมีก้านครีบอกโดยตรงกับกระดูก scapula แต่ในปลาบางชนิด ฐานครีบอกจะหดหายไป เช่น ในปลาปักเป้า

การติดต่อกับกระดูกฐานครีบอกและก้านครีบอกอาจจะมีหลายแบบ ในปลาฉลามจะมีกระดูกหลายชุด เช่น propterygium, mesopterygium, metapterygium และ radial จำนวนหลายชิ้น ในปลา lobefin จะมีส่วนของ mesopterygium ยื่นยาวออกไปเป็นแกนกลางสำหรับค้ำจุนกระดูก radial ส่วนในปลากระดูกแข็ง ยกเว้นปลาโบราณ กระดูกเหล่านี้จะหดหายไปเหลือเพียง radial เล็ก ๆ ข้างละ 4 อันเท่านั้น

กระดูกค้ำจุนครีบอก (pelvic fin support) ดูภาพที่ 38, 39 และ 40 ประกอบ

ในปลากระดูกอ่อน จะมี cartilagenous bar ธรรมดา เรียกว่า ischiopubic ช่วยค้ำจุนกระดูก radial ไว้ กระดูกนี้จะเป็นคู่ พบในปลา chimaera ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับฐานครีบอกของปลาพวก lobefin และ lungfish

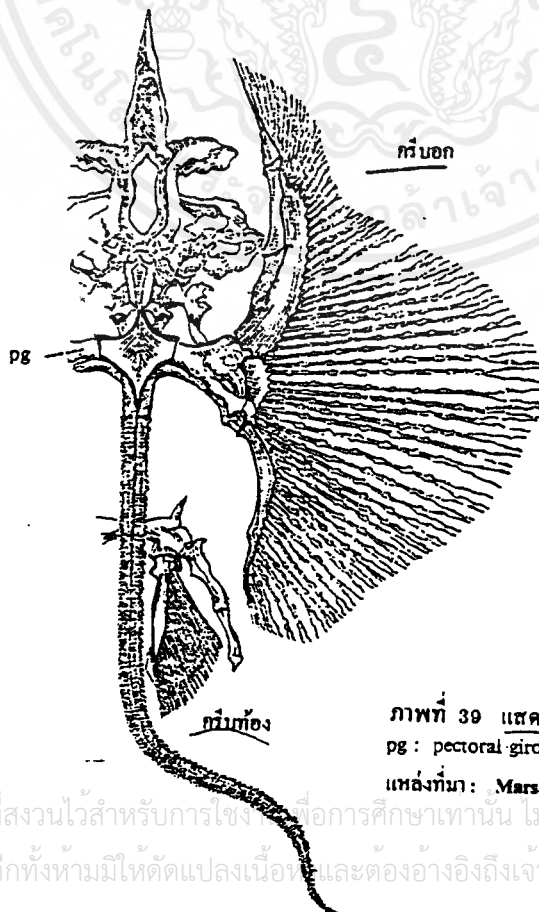
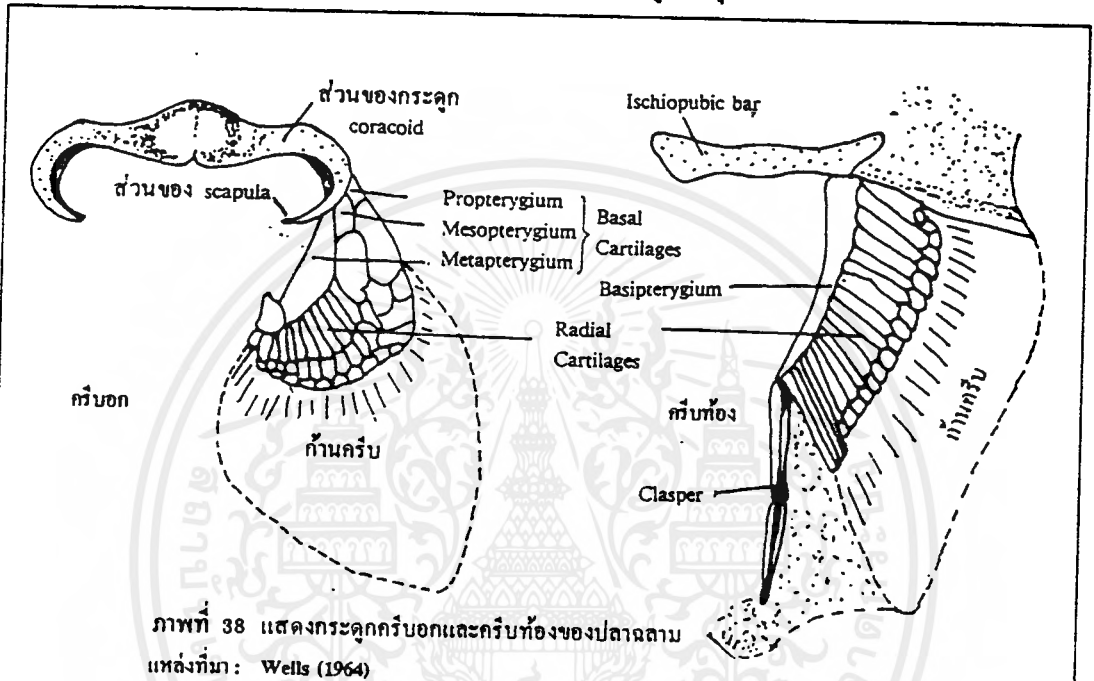
ในปลากระดูกแข็ง ฐานครีบอกจะเป็นกระดูกอ่อนที่เป็นคู่ เรียก basipterygium อาจรวมหรือแยกกันเป็น 2 ชิ้นก็ได้ ทางด้านหลังของ asipterygium จะเป็นกระดูก radial ซึ่งจะพบในปลาพวก holostei สำหรับในปลากระดูกแข็งชั้นสูงส่วนของกระดูก radial จะหดหายไปและก้านครีบอกจะติดต่อดโดยตรงกับ basipterygium จากการวิวัฒนาการพบว่า ในปลาที่มีวิวัฒนาการมาก กระดูกฐานครีบอกจะเคลื่อนจากบริเวณท้องไปติดกับฐานครีบอก และในปลาบางชนิด ฐานครีบอกนี้จะอยู่เลยหน้าครีบอกขึ้นไป

ก้านครีบ (Fin ray)

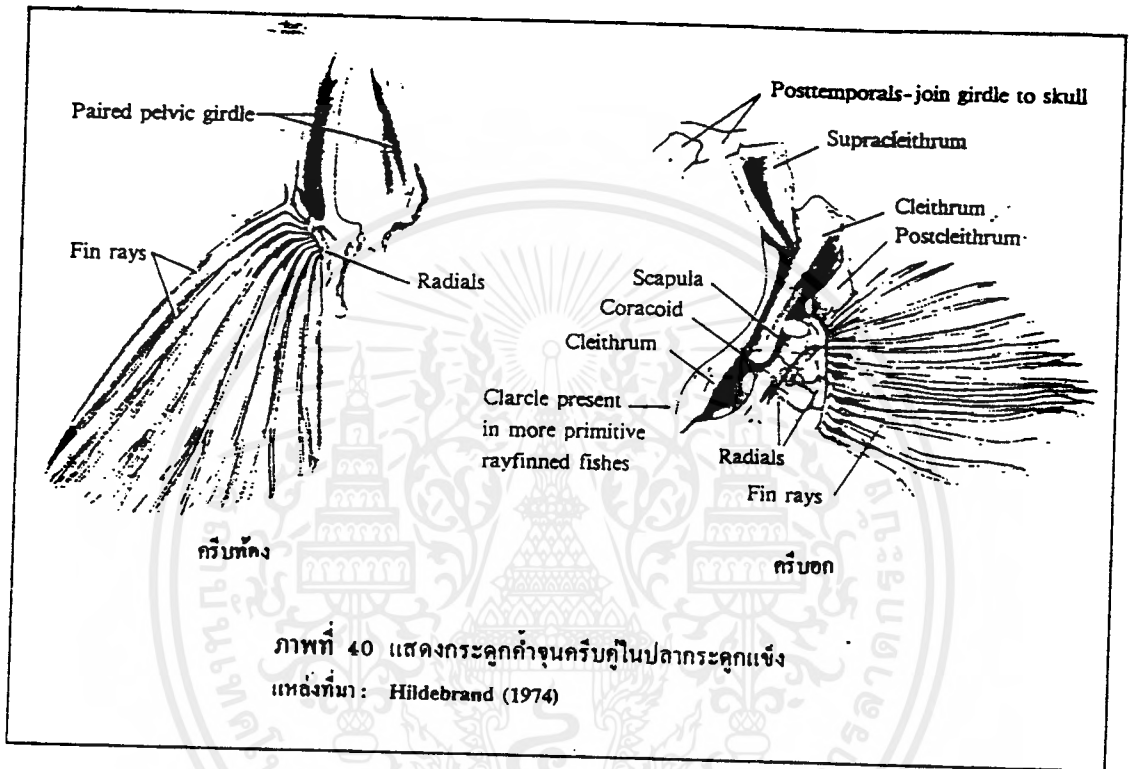
ในปลาปากกลมจะเป็น cartilage มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกยาว ไม่มีข้อ ซึ่งแท่งนี้จะติดต่อกับกระดูกสันหลังด้วย membranous skeletal tissue ซึ่งจะช่วยค้ำจุนครีบเดี่ยว

ภาพที่ 19

แสดงกระดูกครีบและกระดูกค้ำจุน



ภาพที่ 20
แสดงกระดูกคำจุนครีบคู่



ในปลากระดูกอ่อน และปลากระดูกแข็ง ก้านครีบจะวิวัฒนาการมาจากส่วนของผิวหนัง เรียกว่า dermatotrichia ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ

ก. Ceratotrichia (horn + hair) เป็นพวก horny-like substance ไม่มีข้อ และไม่มีส่วนของการต่อ พบเฉพาะในพวกปลากระดูกอ่อน ส่วนนี้เป็นส่วนที่นำมาทำหูดลาม ซึ่งเป็นอาหารชั้นดีราคาแพง

ข. Actinotrichia เป็นพวก horny ray เช่นกัน แต่มีความแข็งในรูปของเงี้ยวหรือหนาม พบในปลากระดูกแข็งพวก Acanthopterygii (spiny-rayfin fish)

ค. Lepidotrichia (scale + hair) เป็นก้านครีบอ่อน มีข้อ ปล้อง วิวัฒนาการมาจากเกล็ด พวกนี้จะเข้าแทนที่ actinotrichia พบในพวก Malacopterygii (soft-rayed fish)

โดยปกติทั่ว ๆ ไป ก้านครีบของปลาแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามลักษณะโครงสร้าง คือ

1. ก้านครีบแข็ง (spine, sjiny หรือ simple ray) มีลักษณะเป็นท่อนเดี่ยว ไม่มีข้อและปล้องเมื่อดูทางด้านตรงจะไม่เห็นรอยต่อระหว่าง 2 ข้าง พบในครอบครัวของปลาเก๋า (Serranidae) และครอบครัวของปลากระพง (Percidae)

2. ก้านครีบอ่อน (soft, segmented หรือ branched ray) มีลักษณะเป็นปล้อง ๆ ต่อกันส่วนมากจะประกบเป็นคู่ตรงกลางเมื่อมองทางด้านตรงทางด้านข้างจะเห็นเป็นเส้น ซึ่งอาจจะแยกออกจากกันเป็นหลายแฉก และมีเยื่อยึดระหว่างแฉก พบในปลากระดูกแข็งทั่ว ๆ ไป

2.2.2 ระบบกล้ามเนื้อ (Muscular system)

กล้ามเนื้อมีความสำคัญเป็นอันดับแรกต่อการเคลื่อนไหวร่างกายของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด สำหรับในปลาซึ่งมีน้ำเป็นตัวกลางช่วยพยุงตัว กล้ามเนื้อจึงไม่มีความสลับซับซ้อนเหมือนในสัตว์บก แต่มีต้นกำเนิดและโครงสร้างเหมือน ๆ กัน โดยกำเนิดมาจากส่วนของ myotome ในคัพภะ กล้ามเนื้อแบ่งออกตามหน้าที่ได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. กล้ามเนื้อเรียบ (smooth muscle) เป็นกล้ามเนื้อในบริเวณทางเดินอาหารและอวัยวะภายในของปลา อยู่นอกอำนาจจิตใจ (involuntary muscle)

2. กล้ามเนื้อลาย (striated muscle) บางครั้งเรียก skeletal muscle เป็นกล้ามเนื้อบริเวณด้านข้างของตัวปลา ช่วยในการเคลื่อนไหวอยู่ภายในอำนาจจิตใจ (voluntary muscle)

3. กล้ามเนื้อหัวใจ (cardiac muscle) มีลักษณะคำข้างหนา สีแดงเข้ม และอยู่นอกอำนาจจิตใจ

ถ้าแบ่งกล้ามเนื้อออกตามการยึดเกาะ จะแบ่งได้ 2 ชนิดคือ

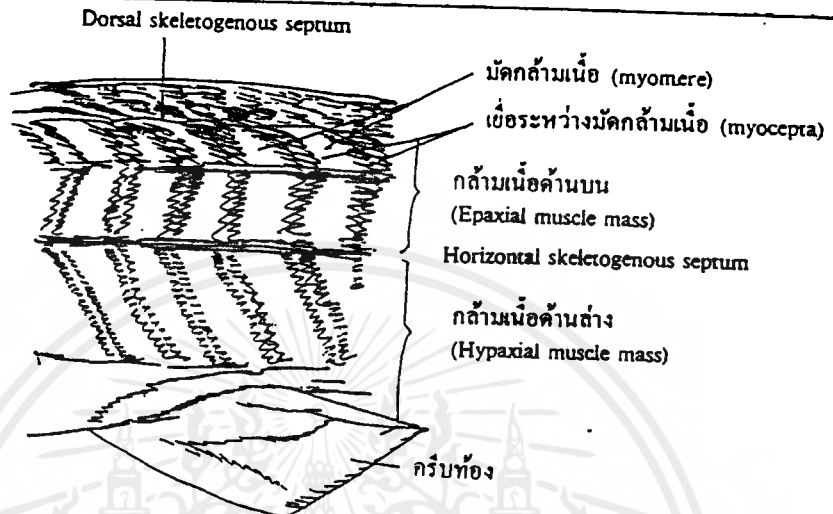
1. skeletal muscle ยึดเกาะติดกับกระดูก ได้แก่ กล้ามเนื้อลาย

2. non-skeletal muscle ไม่ยึดเกาะกับกระดูก ซึ่งได้แก่ กล้ามเนื้อเรียบ และกล้ามเนื้อหัวใจ

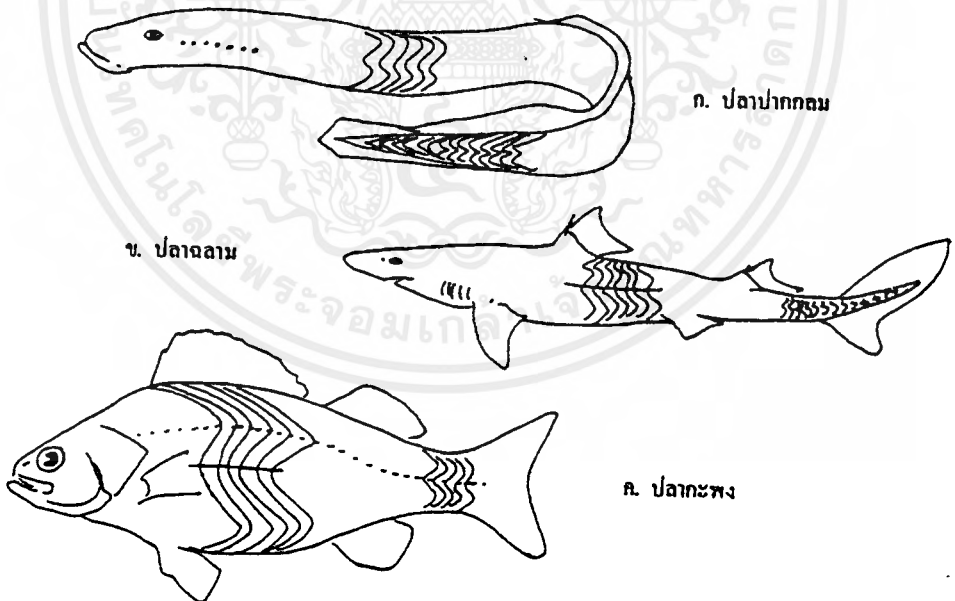
กล้ามเนื้อข้างลำตัว

กล้ามเนื้อที่สำคัญที่สุดของตัวปลา คือ กล้ามเนื้อด้านข้างของตัวปลา และส่วนหางซึ่งช่วยในการเคลื่อนไหว สีของกล้ามเนื้อปลาปกติจะมีสีขาวหรือชมพูอ่อน แต่ในปลาบางชนิด เช่น ปลาทูน่า ที่ว่ายน้ำเร็ว กล้ามเนื้อบางส่วนจะมีสีแดงเข้ม ในปลาแซลมอนก่อนฤดูผสมพันธุ์ กล้าม

ภาพที่ 21
แสดงลักษณะกล้ามเนื้อข้างลำตัวปลา

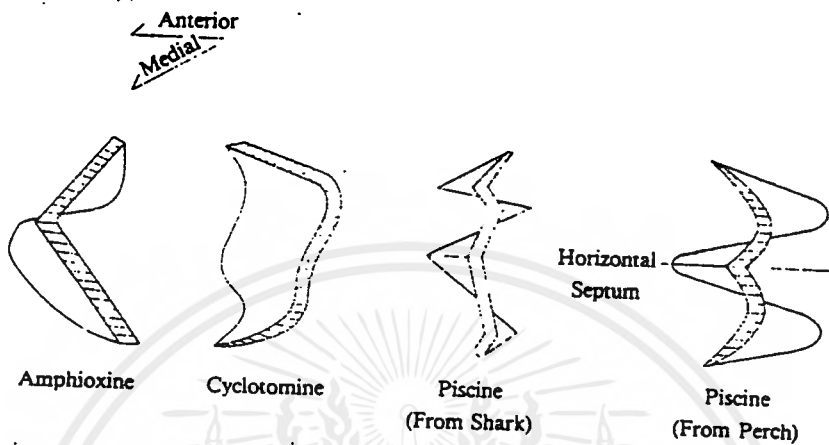


ภาพที่ 42 แสดงกล้ามเนื้อข้างลำตัว
ดัดแปลงมาจาก สุภาพ (2515)

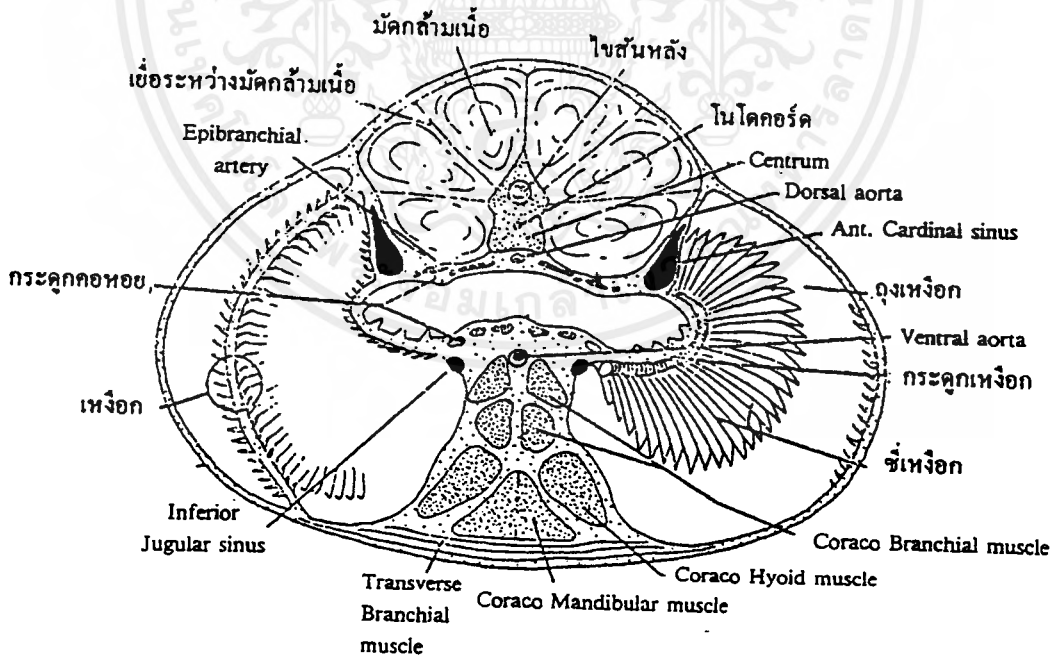


ภาพที่ 43 แสดงลักษณะกล้ามเนื้อข้างลำตัวของปลา
แหล่งที่มา: Lagler และคณะ (1962)

ภาพที่ 22
แสดงลักษณะกล้ามเนื้อ



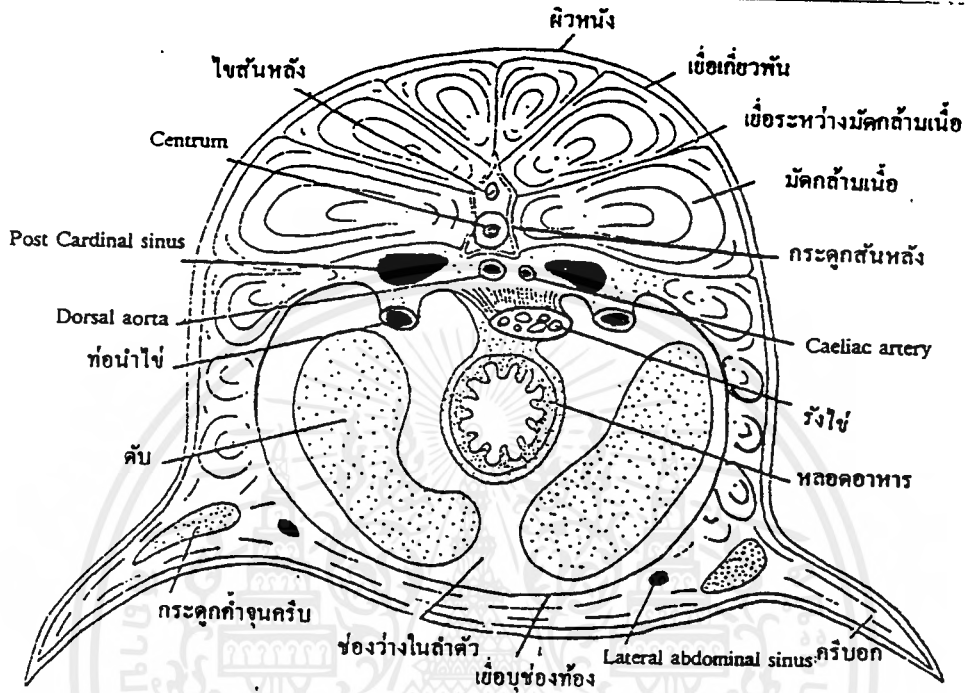
ภาพที่ 44 แสดงลักษณะมัดกล้ามเนื้อชนิดต่าง ๆ (ด้านข้าง)
แหล่งที่มา: Lagler และคณะ (1962)



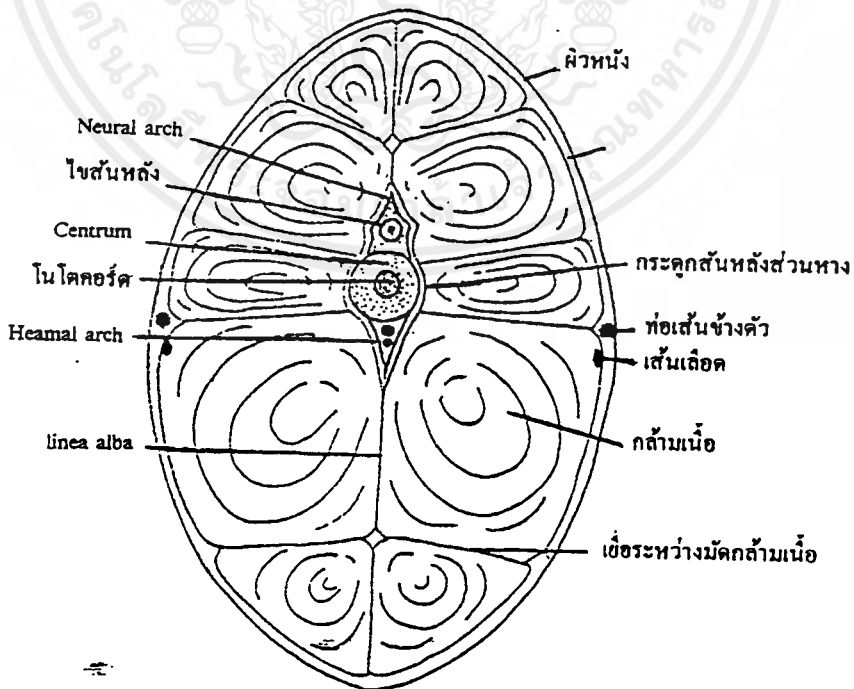
ภาพที่ 45 ลักษณะกล้ามเนื้อและอวัยวะอื่น ๆ บริเวณคอหอยของปลาฉลาม (ตัดขวาง)
คัดแปลงมาจาก Wells (1964)

ภาพที่ 23

แสดงภาพลักษณะกล้ามเนื้อ



ภาพที่ 46 กล้ามเนื้อและอวัยวะบริเวณท้องปลาฉลาม (ตัดขวาง)
คัดแปลงมาจาก Wells (1964)



ภาพที่ 47 กล้ามเนื้อในส่วนหางของปลาฉลาม (ตัดขวาง)
คัดแปลงมาจาก Wells (1964)

เนื้อจะมีสีส้มแดง เนื่องจากมีไขมันอุดมสมบูรณ์ หลังออกไปแล้วกล้ามเนื้อจะซีดและเนื้อเหลว ที่เรียกว่า watery สำหรับรสชาติของเนื้อปลาที่แตกต่างกัน เนื่องจากส่วนประกอบทางเคมีในเนื้อปลาไม่เหมือนกัน

เมื่อลอกหนังปลาออก จะพบลักษณะของกล้ามเนื้อเป็นมัด ๆ กล้ามเนื้อข้างลำตัวของปลา แบ่งออกเป็น 2 ซีก คือ ซีก คือ ซีกบนเรียก epaxial muscle mass และซีกล่างเรียก hypaxial muscle mass โดยมีเยื่อ horizontal skeletogenous septum กั้นกลาง ในปลาที่มี dorsal rib ก้างชนิดนี้จะอยู่ภายในเยื่อชั้นในนี้ จากนั้นจะเห็นกล้ามเนื้อเป็นมัด ๆ กล้ามเนื้อแต่ละมัด เรียกว่า myomere โดยมีเส้นขาว ๆ ซึ่งเป็นเยื่อชั้นระหว่างมัด เรียกว่า myosepta หรือ myocomma ถ้าตัดปลาออกตามขวางแล้วมองตรงไป จะเห็นเส้นขาว ๆ อยู่ตรงกลางระหว่างกล้ามเนื้อซีกซ้ายและขวา เรียกเยื่อนี้ว่า linea alba

กล้ามเนื้อปลามีส่วนสัมพันธ์กับโครงกระดูก ถ้าผ่าปลาออกตามก้าง จะพบจำนวนก้างเท่า ๆ กับจำนวนมัดของกล้ามเนื้อ กล้ามเนื้อในแต่ละบริเวณของปลาจะไม่เหมือนกัน เนื่องจากมีครีบ และยังทำให้ปลา มีรูปร่างต่าง ๆ กัน

การจัดเรียงตัวของกล้ามเนื้อในปลาแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน ในปลาโบราณที่สูญพันธุ์แล้ว (placoderm และ ostracoderm) กล้ามเนื้อจะไม่แบ่งเป็น 2 ตอน และไม่เป็นมัด แต่จะยาวตลอดลำตัว ในปลาปากกลม กล้ามเนื้อจะไม่แบ่งเป็นตอนบนและตอนล่าง และไม่มีเยื่อชั้นแบ่งด้านข้าง แต่เห็นมัดกล้ามเนื้อชัดเจน กล้ามเนื้อข้างลำตัวจะมีลักษณะเหมือนกัน เนื่องจากไม่มีระยางค์คู่ ในปลาชั้นสูงขึ้นมา มีครีบคู่ ทำให้กล้ามเนื้อมัดเล็ก ๆ เกิดขึ้น ลักษณะของมัดกล้ามเนื้อจะเป็นรูป W ตะแคงข้าง โดยหันส่วนก้นไปข้างหน้าและกล้ามเนื้อแต่ละมัดจะเรียงตัวซ้อน ๆ กัน เข้าไปเหมือนกรวย ซึ่งสวมกันได้พอดี

กล้ามเนื้อในส่วนลึกลงไปจากผิวหนังของปลา ได้แก่ supracarinales ซึ่งเริ่มจากส่วนของกระดูก scapula ไปจนถึงครีบกาง เพื่อช่วยในการทรงตัวทางด้านบน และ infracarinale เป็นกล้ามเนื้อตามยาว (longitudinal muscle) ซึ่งอยู่แต่ละข้างของเส้นกลางตัวยาวจากคอถึงครีบกาง ใช้สำหรับองตัวทางด้านล่างและช่วยการเคลื่อนไหวครีบท้องและครีบก้น

ตรงบริเวณเส้นแบ่งครึ่งระหว่างกล้ามเนื้อด้านบนและล่างนั้น ในปลาที่ว่ายน้ำเร็วหรือปลาที่ร่างกายมีอุณหภูมิสูงกว่าน้ำ จะมีกล้ามเนื้อสีแดงคล้ำเจด เรียกว่า dark meat หรือ red muscle อยู่เรียงตามยาวจากครีบกางจนถึงส่วนหาง เป็นกล้ามเนื้อ superficial มีเส้นเลือดมาหล่อเลี้ยงมากมาย ทำให้เนื้อส่วนนี้มีรสชาติไม่คืดนัก เนื่องจากมีส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างจากเนื้อบริเวณอื่น ๆ พบได้ในปลาทุ ปลาทุ่น้ำ

กล้ามเนื้อในส่วนหัว

มีความสำคัญต่อการเคลื่อนไหวของขากรรไกรและกระดูกเหงือก ในปลาแต่ละชนิดจะมีกล้ามเนื้อไม่เหมือนกัน

ในปลาลาตาม ขากรรไกรจะถูกพยุงไว้ด้วย hyoid arch เรียกการติดของขากรรไกรแบบนี้ว่า hyostylic condition กล้ามเนื้อในบริเวณนี้จะประกอบด้วยกล้ามเนื้อตา 6 มัด ซึ่งจะกล่าวในเรื่องของระบบอวัยวะรับความรู้สึก และกล้ามเนื้อบริเวณปากและคอหอย ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1. Constrictor muscle ทำหน้าที่ปิดช่องเหงือกแต่ละช่อง อยู่ระหว่างช่องเหงือก มีทั้งหมด 8 มัดเรียงติดต่อกัน มัดที่ 1 และ 2 แยกจากกันด้วยช่อง spiracle จากนั้นเรียงต่อกันมาตามลำดับ และมัดสุดท้ายจะอยู่หน้าช่องเหงือกช่องสุดท้าย กล้ามเนื้อในกลุ่มนี้มีทั้ง superficial คือ อยู่ที่ผิวและ deep fiber คืออยู่ลึกลงไปทั้งทางด้านบนและด้านล่าง ตรงส่วนหน้าสุดของ dorsal constrictor muscle อันแรกจะมี levator maxilla ซึ่งมีต้นกำเนิดจากส่วนกะโหลกต่ำกว่าระดับของกระดูก postorbital process แล้วทอดต่ำลงไปทางข้างหน้าไปยังกระดูก palatoquadrate ซึ่งแบ่งเป็นมัดบนและมัดล่างเช่นกัน

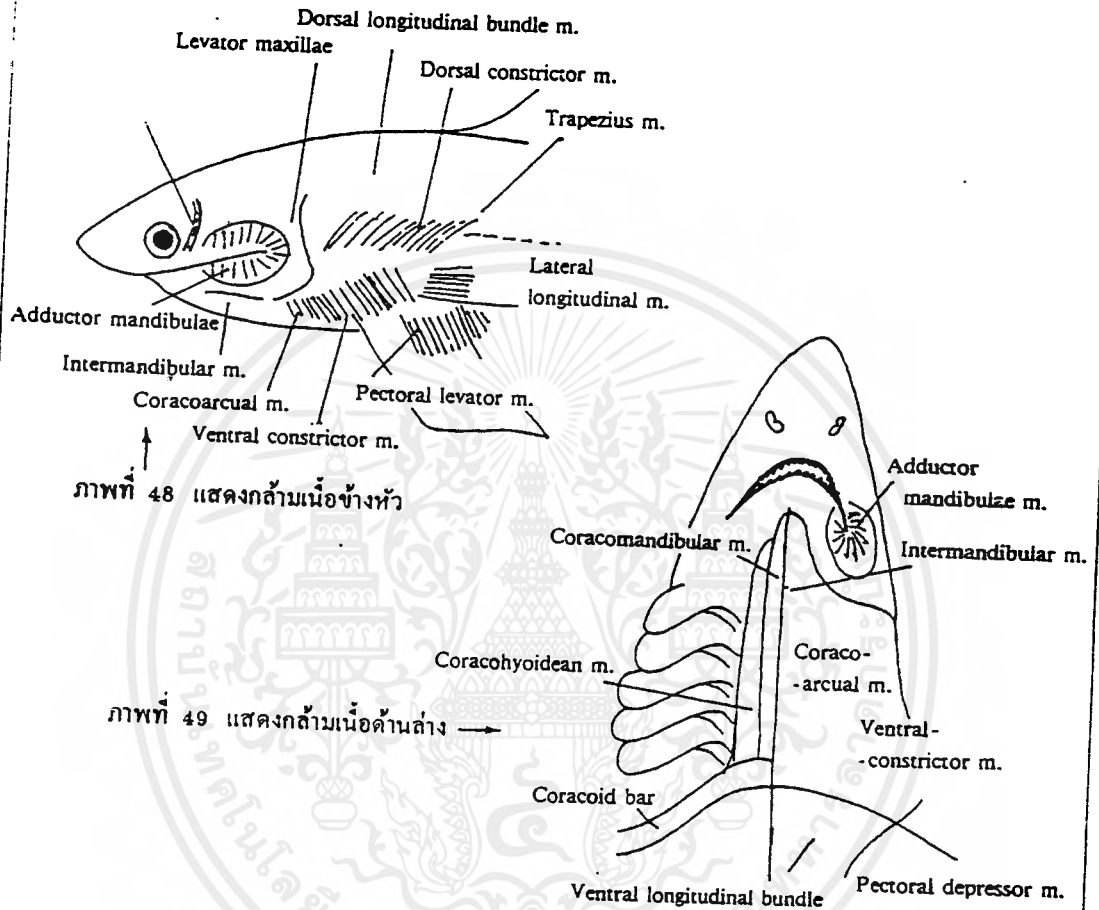
Dorsal constrictor muscle มัดแรกมีต้นกำเนิดจากกระดูก occipital process ของกะโหลก เป็นกล้ามเนื้อแถบบาง ๆ ทอดลงต่ำไปข้างหลัง จนจรดขอบหน้าของช่อง spiracle แล้วไปสิ้นสุดที่ขอบด้านบนส่วนในของกระดูก palatoquadrate ส่วนกล้ามเนื้อด้านบนมัดที่ 2 จะทอดอยู่ระหว่าง spiracle และช่องเหงือกช่องแรก ทางส่วนหน้าของมัดจะติดกับมัดแรกแล้วทอดต่ำลงทางส่วนหน้าจะไปสิ้นสุดที่กระดูก quadrate และส่วนหลังไปรวมกับ ventral constrictor fiber สำหรับกล้ามเนื้อมัดที่ 3 ถึง 8 มีลักษณะแคบและเล็ก กำเนิดมาจากด้านบน superficial fiber จะทอดไปบน ventral constrictor และ deep fiber จะทอดไปยังกระดูกของ branchiostegal ray

Ventral constrictor muscle มีต้นกำเนิดจากเนื้อเยื่อเส้นแบ่งกลางตัว ส่วนของ superficial fiber จะทอดไปบน dorsal constrictor และ deep fiber จะไปสิ้นสุดที่ ceratobranchial segment ของ visceral arch กล้ามเนื้อมัดแรกจะรวมกับมัดที่ 2 แล้วทอดไปสิ้นสุดที่กระดูก mandibular และ hyoid arch สำหรับกล้ามเนื้อมัดที่ 3 ถึง 8 ส่วนของ superficial จะทอดไปรวมกับกล้ามเนื้อมัดที่ 3 ถึง 8 ของ dorsal constrictor และ deep fiber จะไปติดกับ ceratobranchial muscle และไปสิ้นสุดที่ส่วนคอของกระดูก ceratobranchial

2. Interarcuales เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ลึกลงไปช่วยยึดกระดูกแกนเหงือกต่าง ๆ เข้าด้วยกัน แบ่งออกเป็น 2 พวกคือ พวกหนึ่งอยู่ด้านบนและอีกพวกหนึ่งอยู่ด้านข้าง dorsal interarcuales

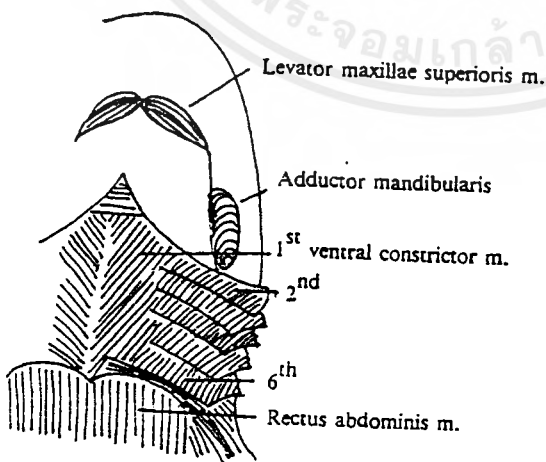
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 24
แสดงกล้ามเนื้อลักษณะต่าง ๆ



ภาพที่ 48 แสดงกล้ามเนื้อข้างหัว

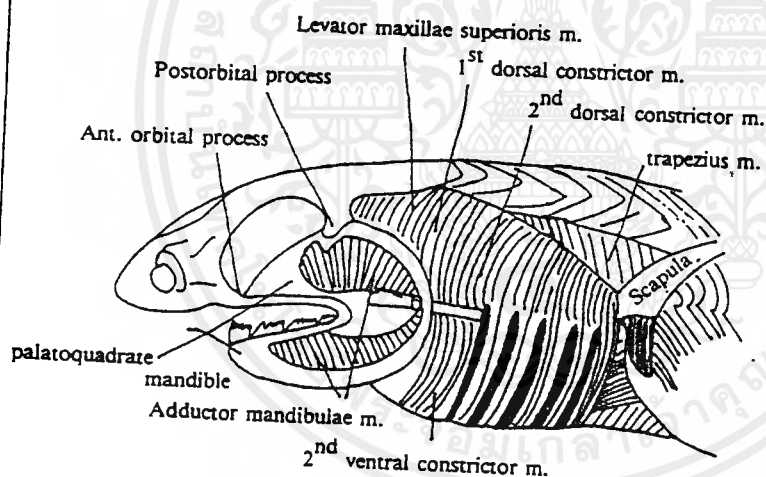
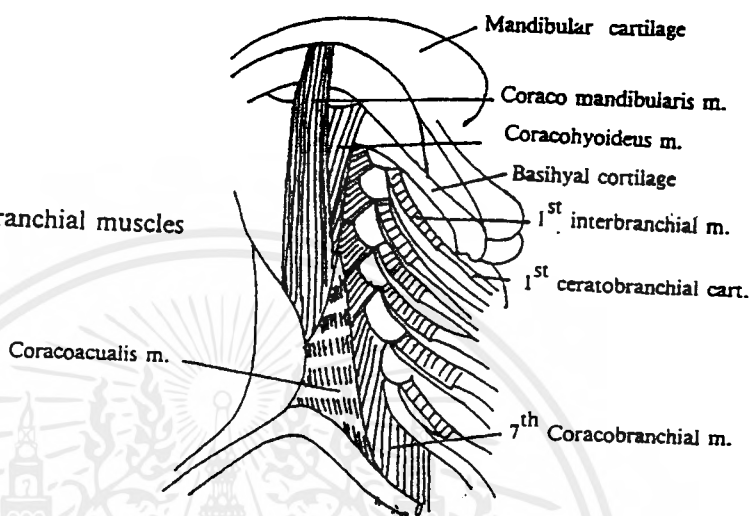
ภาพที่ 49 แสดงกล้ามเนื้อด้านล่าง



ภาพที่ 50 แสดง Ventral constrictors

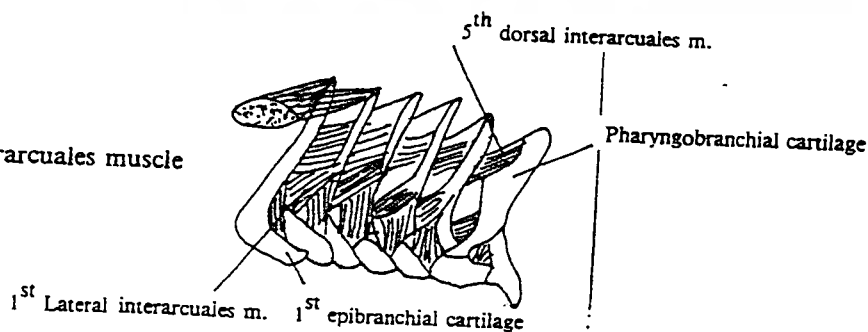
ภาพที่ 25
แสดงลักษณะกล้ามเนื้อ

ภาพที่ 51 แสดง Hypobranchial muscles



ภาพที่ 52 constrictor muscle ด้านข้าง

ภาพที่ 53 Interarcuales muscle



ภาพที่ 48 ถึง 53

คัดแปลงมาจาก นทีและคณะ (2511) และ Daniel (1928)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วยยึด pharyngobranchial cartilage เข้าด้วยกัน มัดแรกจะอยู่ระหว่าง pharyngobranchial cartilage อันแรกและอันที่ 2 ส่วนมัดถัดมาจะมีขนาดเล็กลงจนถึงมัดสุดท้าย คือ มัดที่ 5 จะมีขนาดเล็กที่สุด สำหรับ lateral interarcuales จะเป็นกล้ามเนื้อแถบคู่ (ยกเว้นมัดที่ 6) กล้ามเนื้อแถบหน้าจะอยู่ที่มุมระหว่าง pharyngobranchial และ epibranchial cartilage ของแกนเดียวกัน และกล้ามเนื้อแถบหลังจะเริ่มจาก pharyngobranchial ไปสิ้นสุดที่ส่วนบนของผิวด้านหลังของ epibranchial ตรงกล้ามเนื้อแถบหน้าของมัดถัดไป

3. Adductor ได้แก่ adductor mandibulae เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ทางด้านนอกของขากรรไกร เส้นกล้ามเนื้อตั้งต้นจากกระดูก quadrate แล้วทอดไปสิ้นสุดที่กระดูก mandible กล้ามเนื้อ adductor มีปรากฏในทุก ๆ branchial arch ยกเว้น hyoid arch โดยตั้งต้นจากร่องทางด้านในของกระดูก epibranchial ไปยัง ceratobranchial cartilage ทำหน้าที่ดึง branchial arch เข้ามาชิดกันและช่วยในการแผ่ branchiostegal ray

4. Hypobranchial muscle หรือที่เรียกว่า ventral longitudinal muscle อยู่ทางด้านล่างของคอหอย ประกอบด้วย

ก. Coracoarcuales muscle มีลักษณะเป็นปล้อง เริ่มต้นจาก coracoid cartilage แล้วทอดขึ้นไปสิ้นสุดที่เพดานของช่องว่างรอบหัวใจ

ข. Coracomandibularis muscle เริ่มต้นจากแถบกล้ามเนื้อระหว่าง coracoarcuales ตรง coracoid bar แล้วทอดไปข้างหน้าสิ้นสุดที่รอยต่อของกระดูก mandible

ค. Coracohyoideus muscle เป็นกล้ามเนื้อที่ต่อจาก coracoarcuales ไปทางหน้า ผ่านบน coracomandibularis ไปสิ้นสุดที่ basihyoid และ ceratohyoid cartilage

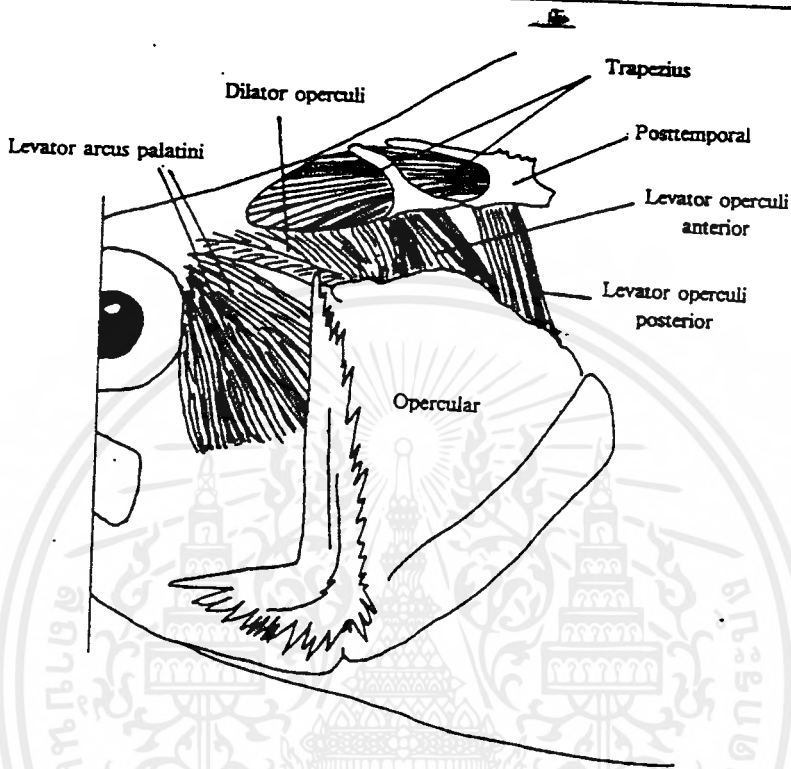
บน coracohyoideus มีกล้ามเนื้ออีกพวกหนึ่ง เรียกว่า coracobranchiales muscle ซึ่งเริ่มต้นจากเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่อยู่บน coracoarcuales แล้วทอดไปข้างหน้าขึ้นไปทางข้าง ๆ ไปสิ้นสุดที่ hypobranchial cartilage สำหรับมัดสุดท้ายจะเริ่มจาก coracoid bar แล้วแผ่กว้างไปยัง ceratobranchial cartilage อันสุดท้าย

ง. Trapezius muscle มีต้นกำเนิดตรงด้านข้างของลำตัวแล้วทอดต่ำลงไปยังหลัง บางส่วนจะทอดไปติดกับส่วนบนของแกนเหงือกอันสุดท้าย แต่ส่วนใหญ่จะไปสิ้นสุดที่กระดูก scapula

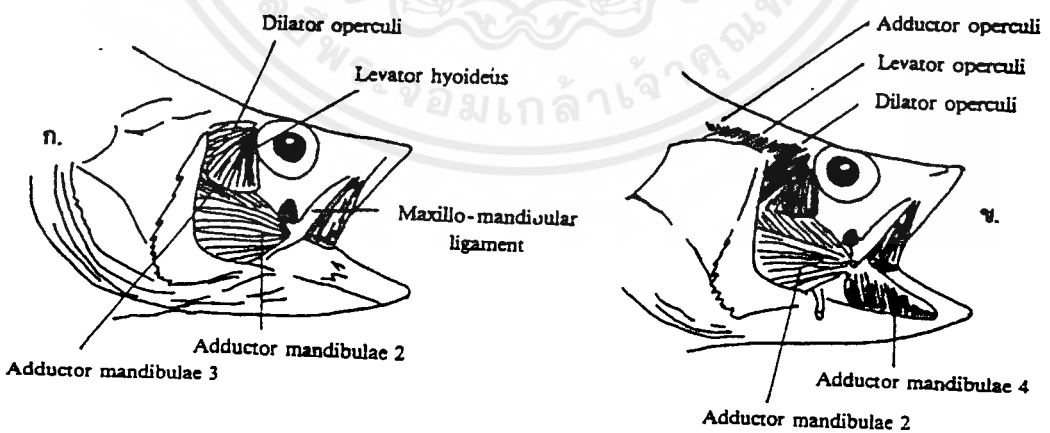
ในปลากระดูกแข็ง ขากรรไกรไม่มีกระดูกพุงไว้ คงอยู่ลอย ๆ เรียกการติดขากรรไกรแบบนี้ว่า autostylic condition กล้ามเนื้อในส่วนต่าง ๆ ของหัวจึงมีความสำคัญ ได้แก่ กล้ามเนื้อที่ช่วยในการเปิดปิดขากรรไกร และช่วยในการเปิดปิดฝาเหงือก ซึ่งมีจำนวนหลายมัดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 26
แสดงลักษณะกล้ามเนื้อปลา



ภาพที่ 54 แสดงกล้ามเนื้อในการปิดเปิดฝาปิดเหงือก (Opercular musculature)
แหล่งที่มา: Chiasson (1974)



ภาพที่ 55 แสดงกล้ามเนื้อในบริเวณขากรรไกรของปลากะพง

ก. ค้างส่วนของ adductor mandibulae 1 ออก

ข. กล้ามเนื้อในส่วนลึก (deep muscle)

แหล่งที่มา: Chiasson (1974)

ในปลากระดูกแข็ง ขากรรไกรไม่มีกระดูกพุงไว้ คงอยู่ลอย ๆ เรียกการติดขากรรไกรแบบนี้ว่า autostylic condition กล้ามเนื้อในส่วนต่าง ๆ ของหัวจึงมีความสำคัญ ได้แก่ กล้ามเนื้อที่ช่วยในการปิดเปิดขากรรไกร และช่วยในการปิดเปิดฝาเหงือก ซึ่งมีจำนวนหลายมัดดังต่อไปนี้

(1) Adductor mandibulae 4 มัด มัดแรกมีต้นกำเนิดตรงครึ่งด้านบนของแนวตั้งของกระดูก preopercular และ hyomandibular ไปสิ้นสุดที่ตรงกลางด้านบนของ maxillo-mandibular ligament ที่ซึ่งระหว่างกระดูก articular และมุมด้านบนส่วนหน้าของกระดูก maxilla มีหน้าที่เกี่ยวกับการกินอาหาร ช่วยในการยื่นขากรรไกรออกไปข้างหน้าและอยู่กับที่ และช่วยในการหุบขากรรไกรในขณะที่ยื่นออกไป กล้ามเนื้อมัดที่ 2 มีจุดเริ่มจากครึ่งด้านล่างของแนวตั้งของกระดูก preopercular และไปสิ้นสุดที่ maxillo-mandibular ligament โดยเข้าไปตรงกลางของมัดแรก มีหน้าที่ช่วยปิดปากและช่วยดึงกระดูกพุงแถมให้เข้าหากันในระหว่างการหายใจและการกินอาหาร กล้ามเนื้อมัดที่ 3 เริ่มจากส่วนบนของกระดูก preopercular ตรงกลางของกล้ามเนื้อมัดแรกและส่วนของกระดูก hyomandibular, metapterygoid และ symplectic และไปสิ้นสุดที่ maxillo-mandibular ligament โดยเข้าไปตรงกลางของกล้ามเนื้อมัดแรก ทำให้แยกออกจากมัดที่ 2 ได้ยาก มีหน้าที่ช่วยกล้ามเนื้อมัดที่ 2 สำหรับกล้ามเนื้อมัดที่ 4 มีจุดเริ่มจากตรงกลางส่วนหน้าของ maxillo-mandibular ligament ตรงข้ามกับจุดสิ้นสุดของ 3 มัดแรก โดยเริ่มจาก ligament ที่อยู่ตรงกลางของผิวส่วนหน้าของกระดูก preopercular และ quadrate และจะไปสิ้นสุดที่กระดูก Meckel's cartilage และ dentary ใกล้เคียงกระดูก symplectic ใต้กล้ามเนื้อ intermandibularis มีหน้าที่ช่วยปิดขากรรไกรระหว่างการกินอาหาร

(2) Intermandibularis เป็นมัดที่ช่วยดึงขากรรไกรให้เข้าหากัน ช่วยในการหายใจออกโดยบีบให้ช่องว่างภายในปากลดลง มีต้นกำเนิดตรงกล้ามเนื้อที่ผิวด้านหน้าตรงกลางของกระดูก dentary ซึ่งอยู่ด้านล่างของกระดูก Meckel's cartilage ใกล้กับกระดูก symplectic และไปสิ้นสุดที่เส้นกลางระหว่างกล้ามเนื้อ geniohyoideus ทั้ง 2 มัด

(3) Levator arcus palatini มีต้นกำเนิดตรงด้านหลังของกระดูก circumorbital และ dermosphenotic ไปสิ้นสุดที่ผิวด้านข้างของ hyomandibular และส่วนบนของผิวด้านข้างของกระดูก metapterygoid มีหน้าที่ช่วยกางกระดูกพุงแถมต่าง ๆ (ได้แก่ กระดูก palatine, ectopterygoid, metapterygoid, symplectic, preopercular, hyomandibular, quadrate และ entopterygoid) ช่วยขยายช่องปากให้กว้างขึ้นและยื่นปากออกกดกระดูกขากรรไกรล่าง

(4) Adductor arcus palatini มีต้นกำเนิดตรงกระดูก parasphenoid และ prootic ไปสิ้นสุดที่ผิวตรงกลางของกระดูก metapterygoid และ hyomandibular มีหน้าที่ช่วยดึงกระดูกพุงแก้มให้หุบลงและลดช่องว่างภายในปาก

(5) Adductor hyomandibular มีต้นกำเนิดตรงด้านหลังส่วนข้างของกระดูก prootic และผิวด้านล่างของกระดูก pterotic ไปสิ้นสุดที่ผิวตรงกลางของกระดูก opercular process ของกระดูก hyomandibular มีหน้าที่ช่วยกลัมนเนื้อมัด adductor arcus palatini

(6) Dilator operculi มีหน้าที่ช่วยถ่างกระดูก opercular ขยายช่องเหงือกและช่องปากขึ้นขากรรไกรและจะทำให้เต็มที่เมื่อถูกช่วยจากกล้ามเนื้อ levator arcus palatini ซึ่งอยู่เริ่มจากกระดูก dermosphenotic, hyomandibular และ pterotic และสิ้นสุดที่ขอบด้านบนตรงกลางของกระดูก opercular

(7) Levator operculi ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ 2 มัดทางด้านหน้าและด้านหลังกล้ามเนื้อมัดหน้า ได้แก่ levator operculi anterior มีจุดกำเนิดตรงด้านหลังของกระดูก pterotic และไปสิ้นสุดที่ผิวตรงกลางของกระดูก opercular แล้วเลยไปทางหลังต่อไปถึงรอยต่อของกระดูก hyomandibular และกระดูก opercular มีหน้าที่ช่วยกดขากรรไกรล่างและช่วยขึ้นปาก สำหรับกล้ามเนื้อมัดหลัง คือ levator operculi posterior นั้น มีหน้าที่ช่วยกลัมนเนื้อมัดแรก โดยเริ่มต้นจากขอบล่างของกระดูก posttemporal และไปสิ้นสุดที่ผิวตรงกลางของกระดูก opercular ตรงส่วนหลังของจุดสิ้นสุดของกล้ามเนื้อมัดหน้า

(8) Adductor operculi มีจุดกำเนิดตรงกระดูก exoccipital และ pterotic ไปสิ้นสุดที่ผิวตรงกลางของกระดูก opercular ตรงด้านล่างของจุดสิ้นสุดของมัด levator operculi มีหน้าที่ช่วยดึงกระดูก opercular ลดช่องเหงือกระหว่างการหายใจออก

(9) Geniohyoideus ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ 2 มัด หน้าและหลัง มัดหน้ามีจุดกำเนิดตรงผิวส่วนหน้าของครึ่งล่างของ myoseptum อันแรก และไปสุดที่ขอบด้านล่างของส่วนหน้าของกระดูก dentary โดยมีเส้นเอ็นสั้นและกลมยึดไว้ ด้านล่างจะติดต่อกับกล้ามเนื้อ intermandibularis มีหน้าที่ช่วยลดช่องปากให้แคบลงระหว่างการหายใจออกและดึง hyoid apparatus ไปข้างหน้า สำหรับกล้ามเนื้อมัดหลังอยู่ตรงกระดูก ceratohyal แต่ถูกแบ่งโดย myoseptum ที่ 1 และ 2 ไปสิ้นสุดที่ผิวตรงกลางด้านหน้าของกระดูก dentary ซึ่งเป็นส่วนบนของกล้ามเนื้อ intermandibularis มีหน้าที่ช่วยขยายช่องปากขณะหายใจเข้า และช่วยกลัมนเนื้อมัด anterior mandibulae และ adductor mandibulae ขณะหายใจออก

(10) Hyohyoideus ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ 2 มัดเช่นกันคือ superior และ inferior สำหรับกล้ามเนื้อมัด superior มีจุดกำเนิดตรงขอบด้านบนของ branchiostegal ray อันที่ 7 ตรง

ด้านบนของ branchiostegal membrane และไปสิ้นสุดที่ตรงกลางของกระดูก subopercular และ opercular ช่วยในการหด branchiostegal ray และลดช่องเหงือกขณะหายใจออก ส่วนกล้ามเนื้อมัด inferior มีต้นกำเนิดตรงกระดูก hypohyal ไปสิ้นสุดที่ branchiostegal ray อันที่ 1 และ 2 ตรงข้ามกับจุดเริ่มต้น ช่วยขยายช่องปากและช่องเหงือกขณะหายใจเข้า

(11) Hyoideus proprius อยู่ตรง dorsal process ของกระดูก ceratohyal และไปสิ้นสุดที่ผิวด้านข้างของกระดูก hypohyal มีหน้าที่ช่วยกล้ามเนื้อ geniohyoideus posterior

(12) Sternohyoideus มีจุดกำเนิดตรงผิวด้านล่างส่วนหน้าของกระดูก cleithrum และด้านล่างของ myoseptum ไปสิ้นสุดที่ผิวด้านข้างของกระดูก urohyal มีหน้าที่ช่วยดึง hyoid กลับคืนขากรรไกรล่างลงล่างและกดไว้

(13) Trapezius มีต้นกำเนิดตรงกระดูก pterotic และ epiotic ด้านบนของขอบกระดูก dermosphenotic ต่อกับกระดูก pterotic และไปสิ้นสุดที่ขอบล่างของผิวด้านข้างของกระดูก posttemporal และด้านบนของกระดูก cleithrum มีหน้าที่ช่วยดึง pectoral girdle ไปข้างหน้าขึ้นไปข้างบนและดึงกล้ามเนื้อ sternohyoideus ไปข้างหลัง

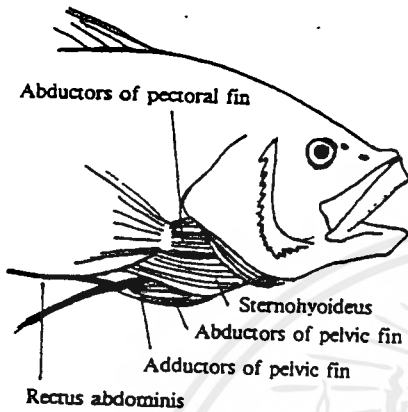
กล้ามเนื้ออย่างค

1. กล้ามเนื้อครีบริบเดียวในปลากระดูกแข็ง ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ 2 ชุดที่ควบคุมเกี่ยวกับการเคลื่อนไหว ชุดแรกเป็นกล้ามเนื้อมัดเล็ก ๆ อยู่พื้นฐานของก้านครีบริบ ซึ่งเริ่มจากเยื่อเกี่ยวพันที่แต่ละข้างของครีบริบและเลียบมาทางด้านหลังแล้วเฉียงมาตรงกลางไปสิ้นสุดที่ก้านครีบริบ กล้ามเนื้ออีกชุดหนึ่งอยู่ลึกกว่าและอยู่ระหว่างกระดูก pterygiophore มีต้นกำเนิดตรงขอบหลังของ supraoccipital spine และเลียบไปที่กระดูก pterygiophore อันแรกของส่วนหน้าสุดของครีบริบ

กล้ามเนื้อชุดแรกซึ่งเป็นกล้ามเนื้อ superficial มีหน้าที่ในการยกตั้งครีบริบ (protractor, erecting) หุบครีบริบ (retractor, depressing) และช่วยในการพับครีบริบ (lateral inclinor, bending) กล้ามเนื้อชุดที่สองเรียกว่า กล้ามเนื้อ internal ประกอบด้วยกล้ามเนื้อหลายมัด เช่น กล้ามเนื้อที่ช่วยในการกางโค้งยกและงอครีบริบ เรียก dorsal flexor กล้ามเนื้อที่ช่วยในการหุบครีบริบเรียก ventral flexor และกล้ามเนื้อที่อยู่ระหว่างก้านครีบริบจะช่วยกางและยึดครีบริบออกเหมือนพัด เรียกว่า interfilament flexor กล้ามเนื้อชุดหลังนี้ส่วนใหญ่จะช่วยทางส่วนหาง

กล้ามเนื้อครีบริบทางเปลี่ยนแปลงมาจากกล้ามเนื้อข้างลำตัว เพื่อควบคุมการกางและหุบของครีบริบ

ภาพที่ 27
แสดงลักษณะกล้ามเนื้อกระบัง

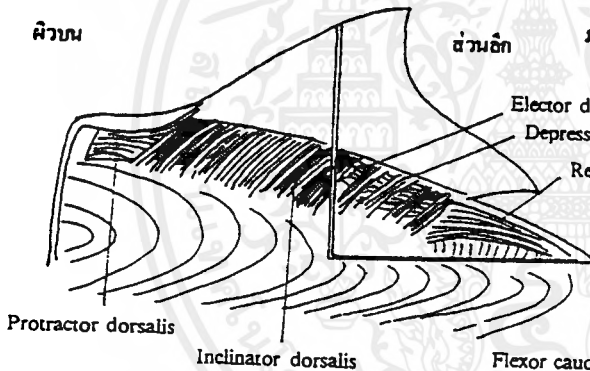
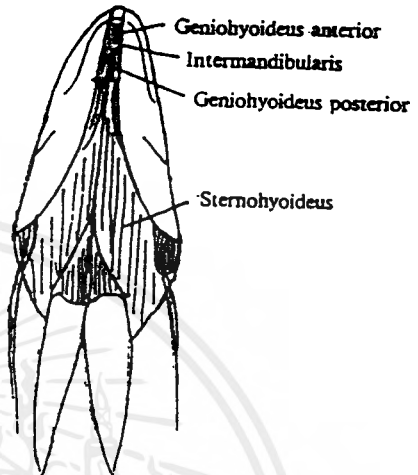


ภาพที่ 56 แสดงกล้ามเนื้อครีบก้นด้านข้าง

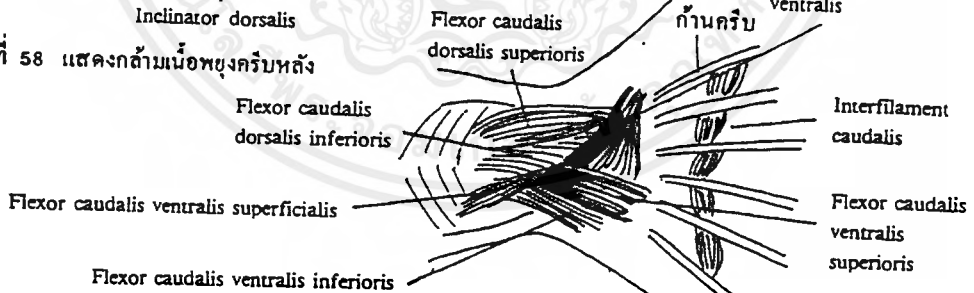
หัว

ส่วนอก

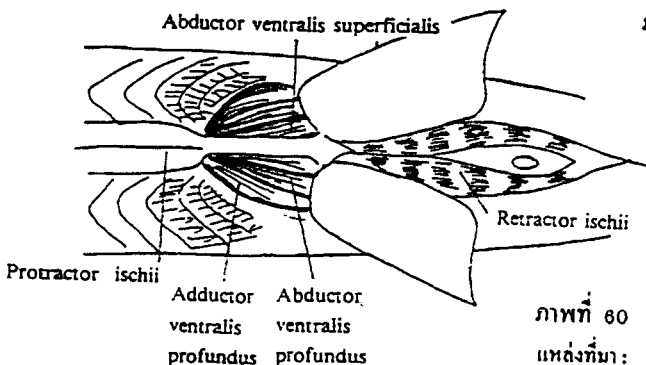
ภาพที่ 57 แสดงกล้ามเนื้อขากรรไกรด้านล่าง



ภาพที่ 58 แสดงกล้ามเนื้อของครีบก้น



ภาพที่ 59 กล้ามเนื้อในส่วนหาง



ภาพแสดงกล้ามเนื้อครีบก้นต่าง ๆ
ในปลากระดุกเข่ง

ภาพที่ 60 กล้ามเนื้อครีบก้น

แหล่งที่มา: ภาพที่ 56, 57 Chiasson, 1974

ภาพที่ 58-60 Lagler และคณะ (1962)

2. กล้ามเนื้อครีบกู้ อยู่ตรงบริเวณฐานของครีบกู้ สำหรับกล้ามเนื้อของครีบกู้ประกอบ ด้วยกล้ามเนื้อ 3 ชุด ได้แก่ adductor muscle ช่วยในการหุบครีบกู้ มีต้นกำเนิดตรงกระดูก scapula และ coracoid แล้วไปสิ้นสุดที่กระดูก radial ฐานของครีบกู้ สำหรับ adductor muscle ช่วยในการกางครีบกู้ มีต้นกำเนิดตรงผิวส่วนกลางของกระดูก scapula และ coracoid แล้วไป สิ้นสุดที่ผิวตรงกลางของกระดูก radial ส่วน rotator muscle ช่วยในการพับครีบกู้ เป็นเส้น กล้ามเนื้อที่ต่อระหว่างส่วนต้นและส่วนปลายของครีบกู้ ซึ่งมักจะต่อเลยออกมาจากเส้นกล้ามเนื้อ ของ 2 ชนิดแรก

กล้ามเนื้อของครีบกู้ทั้ง ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ 2 มัด ได้แก่ adductor muscle มีจุดเริ่ม จากผิวกลางของกระดูก pelvic plate และไปสิ้นสุดที่ผิวตรงกลางของกระดูก radial มีหน้าที่ช่วย ในการหุบครีบกู้ ส่วน adductor muscle มีจุดเริ่มจากผิวด้านนอกของกระดูก pelvic plate และไป สิ้นสุดที่ผิวด้านนอกของกระดูก radial มีหน้าที่ช่วยในการกางครีบกู้ สำหรับกล้ามเนื้อของครีบกู้ทั้ง ไม่มี rotator muscle

กล้ามเนื้อเรียบ

เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่นอกอำนาจจิตใจ อยู่ตามอวัยวะต่าง ๆ ได้แก่

1. ระบบทางเดินอาหาร มีทั้งกล้ามเนื้อตามยาว (longitudinal muscle) และกล้ามเนื้อ ตามขวาง (circular muscle) ช่วยในการเคลื่อนอาหารคดขยวิธีการ peristalsis
2. อวัยวะ
3. เส้นเลือดเป็น circular muscle เพื่อรักษาสภาพของระดับเลือด
4. ระบบสืบพันธุ์และขับถ่าย ช่วยในการเคลื่อนไหลสิ่งขับถ่าย
5. ตา ช่วยในการเคลื่อนไหลเลนส์ และปรับความเข้มของแสงโดยม่านตา (iris)

กล้ามเนื้อหัวใจ

เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่นอกอำนาจจิตใจ มีส่วน ventricle หนา auricle บาง มีเยื่อหุ้มอยู่ภาย นอก เรียกว่า epicardium เยื่อภายในเป็น endocardium กล้ามเนื้อหัวใจมีสีแดงเข้ม

อวัยวะสร้างประจุไฟฟ้า (Electric organ)

มีต้นกำเนิดมาจากกล้ามเนื้อ พบในปลาประมาณ 500 ชนิด ซึ่งอยู่ใน 7 ครอบครัว (Hildebrand, 1974) ทั้งปลากระดูกอ่อนและปลากระดูกแข็งสามารถสร้างประจุไฟฟ้า ลักษณะและ ตำแหน่งของอวัยวะจะแตกต่างกันไปในปลาแต่ละชนิด บางชนิดอยู่ที่หาง (electric skate) บาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดอยู่ที่ครีบ (electric ray) ในปลากระดูกแข็งจะพบอยู่ใต้ผิวหนัง ในปลากระดูกจะอยู่หลังตาและในปลาไหลจะอยู่เกือบตลอดลำตัว แต่มีลักษณะของโครงสร้างเหมือนกัน คอยแต่ละส่วนจะประกอบขึ้นจากการเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอของ multi-nucleate cell ที่มีลักษณะเหมือนจาก เรียก electroplate และจะฝังตัวอยู่ในสารคล้ายวุ้น และอยู่เป็นกลุ่มก้อนโดยมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันยึดไว้จนกลายเป็นท่อยาว Electroplate ด้านหนึ่งจะมีเส้นประสาทมากหล่อเลี้ยงและในสารคล้ายวุ้น จะมีเส้นเลือดมาหล่อเลี้ยง ในขณะที่ไม่ใช่ในการปฏิบัติงาน จะมีการเจริญของความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างภายใน (ขั้วลบ) และภายนอกของแต่ละ electroplate แต่เมื่ออวัยวะนี้ถูกกระตุ้นด้วยระบบประสาท ความต่างศักย์จะเปลี่ยนกลับทำให้กระแสที่สะสมไว้ส่งคลื่นออกมารอบ ๆ ได้ความแรงของกระแสไฟฟ้าขึ้นอยู่กับชนิดของปลา ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในปลาแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน ในปลากระเบนไฟฟ้า เช่น *Tropedo* จะมีอวัยวะใหญ่และและคู่เล็กอยู่ในบริเวณส่วนหัวแต่ละข้างโดยอวัยวะคู่เล็กจะอยู่ภายในคู่ใหญ่ อวัยวะแต่ละอันจะประกอบด้วยท่อรูปหกเหลี่ยมวางในแนวตั้ง กระแสไฟฟ้าจะไหลจากขั้วบวกซึ่งอยู่ด้านบนไปยังขั้วลบซึ่งอยู่ด้านล่าง ในปลาไหลไฟฟ้า (electric eel) จะมีอวัยวะ 3 อันในแต่ละข้างของลำตัว กระแสไฟฟ้าจะวิ่งตลอดลำตัวจากหัวไปหาง ในปลาดุกไฟฟ้า (electric catfish) โครงสร้างของเซลล์จะไม่เป็นรูปหกเหลี่ยม เป็นเพียงแผ่นวุ้นระหว่างผิวหนังและกล้ามเนื้อ และ electroplate จะสม่ำเสมอตลอดลำตัว กระแสไฟฟ้าจะวิ่งจากส่วนหางไปยังส่วนหัว

ประโยชน์ของอวัยวะนี้ช่วยในการป้องกันตัว ช่วยในการหาเหยื่อและคลำทางในน้ำที่ขุ่น

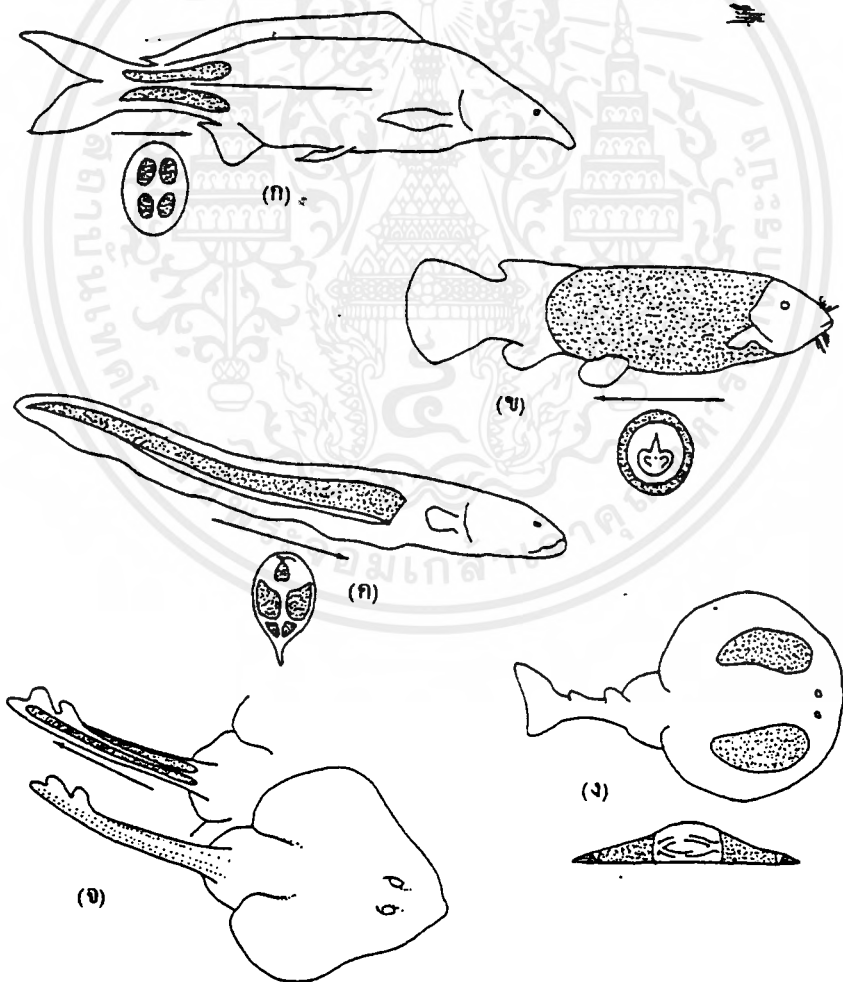
การเคลื่อนที่ของปลา

การเคลื่อนที่ของปลาขึ้นกับการหดตัวของกล้ามเนื้อลำตัว การเคลื่อนไหวของครีบต่าง ๆ และแรงผลักดันน้ำออกจากช่องเหงือก รูปแบบต่าง ๆ ของปลาทำให้การเกิดการเคลื่อนที่แตกต่างกัน โดยขึ้นกับการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม ตามทฤษฎีจะถือว่าปลามีรูปทรงเป็นกระสวย มีรูปร่างเล็กลงไปข้างหลัง มีความกลมกลึงไม่มีเหลี่ยมทำให้ลดความต้านทานของน้ำและปลาบางชนิดมีเมือก ซึ่งทำให้ผิวหนังลื่น ก็ช่วยลดแรงต้านของน้ำไปในตัว จากรูปทรงกระสวยของปลาได้มีการเปลี่ยนรูปร่างแตกต่างออกไปอีกคือ การแบนทางด้านข้าง (compressed) การแบนลง (depressed) และการทำให้ลำตัวยาวขึ้น (elongation) ลักษณะของปลาที่แบนทางด้านข้างส่วนมากจะอยู่ในน้ำนิ่ง ๆ หรือในบริเวณที่มีพืชน้ำมาก ๆ เช่น ในสระหรือทะเลสาบ หรือแม่น้ำ ปลาที่อยู่ตามหินปะการัง ซึ่งจะมีการกลับตัวได้รวดเร็ว และใช้ระยะทางสั้น ๆ นอกจากนี้ ยังพบในปลาที่ลอยอยู่ตามผิวน้ำ เช่น sunfish และปลาที่กบดานอยู่บนท้องทะเล เช่น ปลาลิ้นหมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับปลาที่มีลักษณะแบนลง เช่น ปลากระเบน จะทำตัวให้แบนราบไปกับพื้น และเปลี่ยนสีให้คล้ายกับพื้นเป็นการหลบและลวงตาศัตรู ในบริเวณที่มีกระแสน้ำแรง ๆ ส่วนหัวของปลาจะแบนลงเพื่อให้ด้านกระแสน้ำน้อยลง สำหรับในปลาที่เป็นแบบขายนั้น เพื่อประโยชน์ในการงอไค้ตัว สำหรับการว่ายน้ำผ่านสิ่งกีดขวาง เช่น ปะการังได้ดี นอกจากรูปทรงของปลาที่กล่าวแล้ว มีปลาที่ว่ายน้ำได้ช้า ซึ่งพวกนี้จำเป็นต้องพรางตาศัตรูโดยทำตัวเลียนแบบธรรมชาติ หรือสภาพแวดล้อมที่มันอาศัยอยู่ เช่น ปลาปักเป้าบางชนิดทำตัวพองลอยน้ำ ปลาม้าน้ำบางชนิดมีลักษณะเหมือนใบสาหร่าย (leafly seadragon) และปลาจิ้มฟันจระเข้ทำตัวเหมือนกับกิ่งก้านปังกาที่มันเกาะอยู่

ภาพที่ 28
แสดงอวัยวะสร้างประจุไฟฟ้าในปลา



ภาพที่ ๒๙ อวัยวะสร้างประจุไฟฟ้าในปลาชนิดต่าง ๆ

ก. *Mormyrus* ข. *Malapterurus* ค. *Electrophorus* ง. *Torped* จ. *Raja*

แหล่งที่มา: Waterman, 1972

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้สูงถึง 40 ฟุตในอากาศ ในปลาบางชนิด เช่น ปลากระบอก และปลาตะเพียนจะหนีออกจากแหที่จับโดยการกระโดด หรือดีดตัวขึ้นมา

ผลจากการที่ปลาสามารถกระโดดได้และถ้ามีความเร็วพอเหมาะ จะสามารถทำให้เกิดการดำขึ้นสู่อากาศและผิวหนังได้ โดยการกางครีบอกและครีบท้องออกคล้ายกับปีกนก ซึ่งบางครั้งเรียกว่า การไถลไป (gliding) ไม่ใช่การบินที่แท้จริง ปลาเหล่านี้จะว่ายน้ำขึ้นสู่ผิวหนังโดยทำมุมกับลำตัวในลักษณะที่เป็นมุมแหลมและต้องมีความเร็วสูง เมื่อขึ้นสู่ผิวหนังครีบท้องจะกางออกทางจะสั้นอย่างรวดเร็ว และอยู่พ้นผิวหนัง พบในปลานกกระจอก (flying fish) และปลาผีเสื้อกลางคืน (flying gurnard)

จากการหดตัวของช่องเหงือก ทำให้น้ำผ่านออกจากช่องเปิดเหงือก ทำให้ปลาเคลื่อนตัวไปข้างหน้าในปลาที่พักผ่อน จะป้องกันการเคลื่อนตัวแบบนี้โดยการเคลื่อนไหวครีบออกเป็นบางครั้งบางคราว

การเบนตัวมากน้อยของปลา ขึ้นกับลักษณะโครงสร้างของปลา ปลาที่มีข้อกระดูกสันหลังมากหรือมีเกล็ดเล็ก จะเบนตัวได้มากกว่าปลาที่มีข้อกระดูกสันหลังน้อย หรือมีเกล็ดใหญ่

2.2.3 ส่วนประกอบของทางเดินอาหาร

ริมฝีปาก (lip)

ปลาที่กินอาหารชิ้นใหญ่หรือมีการกัดกิน จะมีริมฝีปาก ปลาที่มีปากดูด ริมฝีปากจะเป็นเนื้อหนาขึ้นมา ซึ่งอาจจะเป็นหนังแข็งและเหนียว หรือเป็น papilla ริมฝีปากจะเคลื่อนไหวได้ ได้แก่ ปลา (sturgeon) ปลาฉลาม พวกนี้ส่วนมากจะมีหนวดรอบปาก ใช้ประโยชน์ในการช่วยหาทิศทาง และตำแหน่งของอาหาร

Suctorial lip ของปลาบางชนิด ใช้เป็นอวัยวะยึดเกาะ (holdfast organ) กับพื้นในขณะที่มีกระแสแรง ๆ ในปลาพวกนี้น้ำเข้าทางปากไม่ได้ จึงทำให้ต้องแบ่งช่องเหงือกออกเป็น 2 ช่อง โดยช่องบนเป็นทางน้ำเข้า สำหรับในปลาที่เป็นตัวเบียน มันจะใช้สำหรับเกาะติดกับ host ในปลาบางชนิดใช้ยึดตัวเมียวเวลาผสมพันธุ์

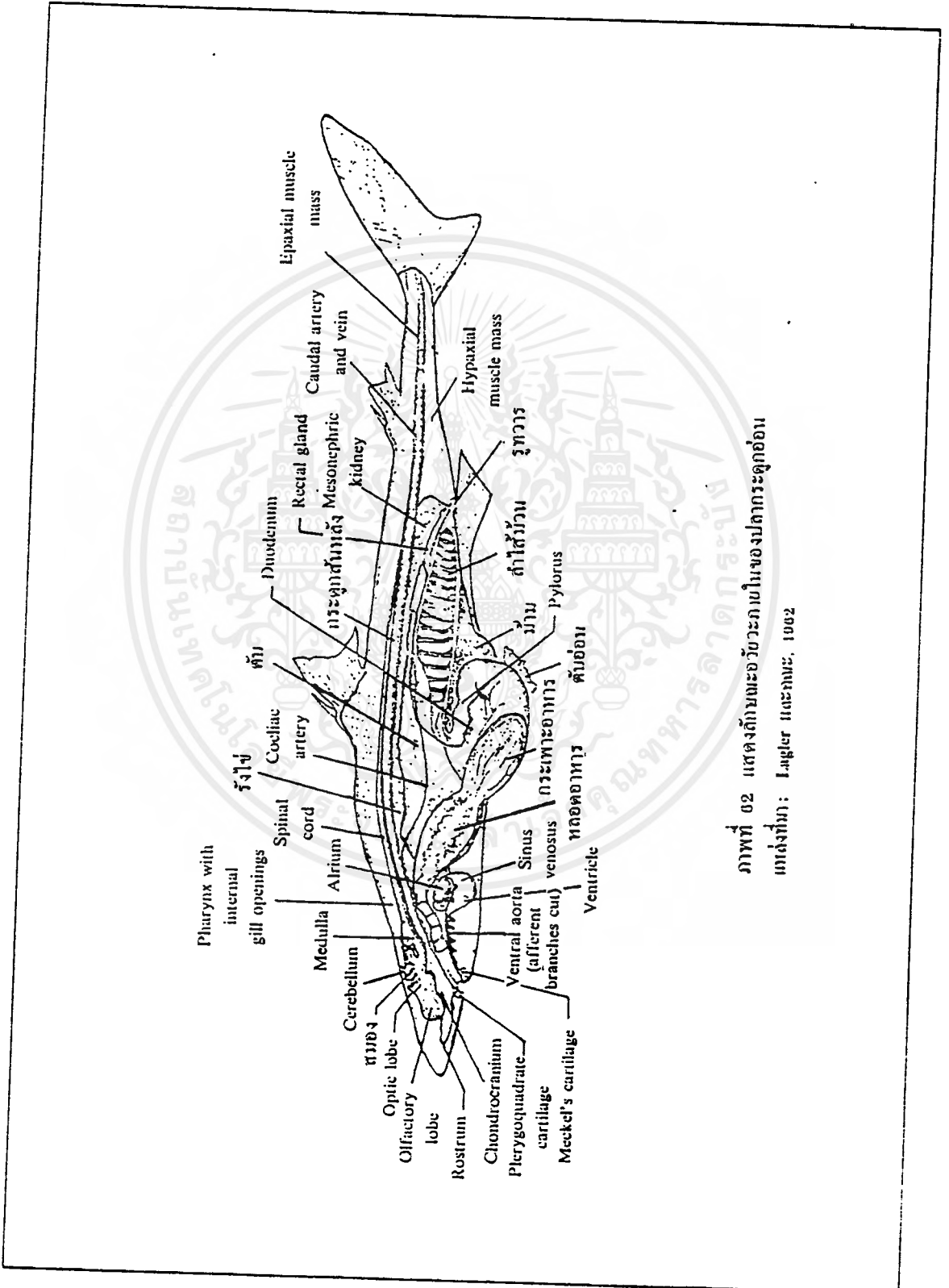
ปาก (mouth)

เป็นช่องเปิดที่ใหญ่ที่สุดในร่างกาย ทำหน้าที่ในการรับอาหาร รับน้ำเพื่อหายใจ ช่วยในการยึดเกาะ บางชนิดใช้ในการต่อสู้ศัตรู บางชนิดใช้ในการหาอาหาร ก่อนถึงปากจะมีส่วนที่เรียกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 29

แสดงลักษณะอวัยวะภายในของปลากระดูกอ่อน



ภาพที่ ๒๒ แสดงลักษณะอวัยวะภายในของปลากระดูกอ่อน
แหล่งที่มา: Jaeger และคณะ, ๒๐๒

ว่า จงอยปากหรือ snout หรือ rostrum โดยเริ่มจาก ปลาหน้าสุดของส่วนหน้าจนถึงหน้าตา ทั้งนี้รวมทั้งริมฝีปากและจมูกด้วย ตัวอย่างของปลาที่มีจงอยปากยาว ได้แก่ ฉลาม กระเบน และกระโทงเทง ตัวอย่างปลาที่มีจงอยปากสั้น ได้แก่ ปลาเข็ม และปลาคางเบื่อน

ปากของปลาจะแตกต่างกันที่ตำแหน่ง ขนาด รูปทรง โดยเทียบขนาดกับความกว้างของส่วนหัวส่วนหนึ่งส่วนใดก็ได้

ปลาที่มีปากขนาดเล็ก ได้แก่ ปลากระดี่ ปลาสลิค ปลาผีเสื้อ

ปลาที่มีปากขนาดปานกลาง ได้แก่ ปลาสวาย ปลาเทโพ

ปลาที่มีปากกว้างมาก ๆ ได้แก่ ปลาช่อน เค้า คางเบื่อน ปลาเก๋า และปลาทะเลลึก

ตำแหน่ง ที่ตั้งของปากปลา แบ่งออกได้เป็น 3 แบบคือ

Terminal mouth ปากอยู่ทางด้านหน้าสุดของส่วนหัว พบในปลาทั่ว ๆ ไป

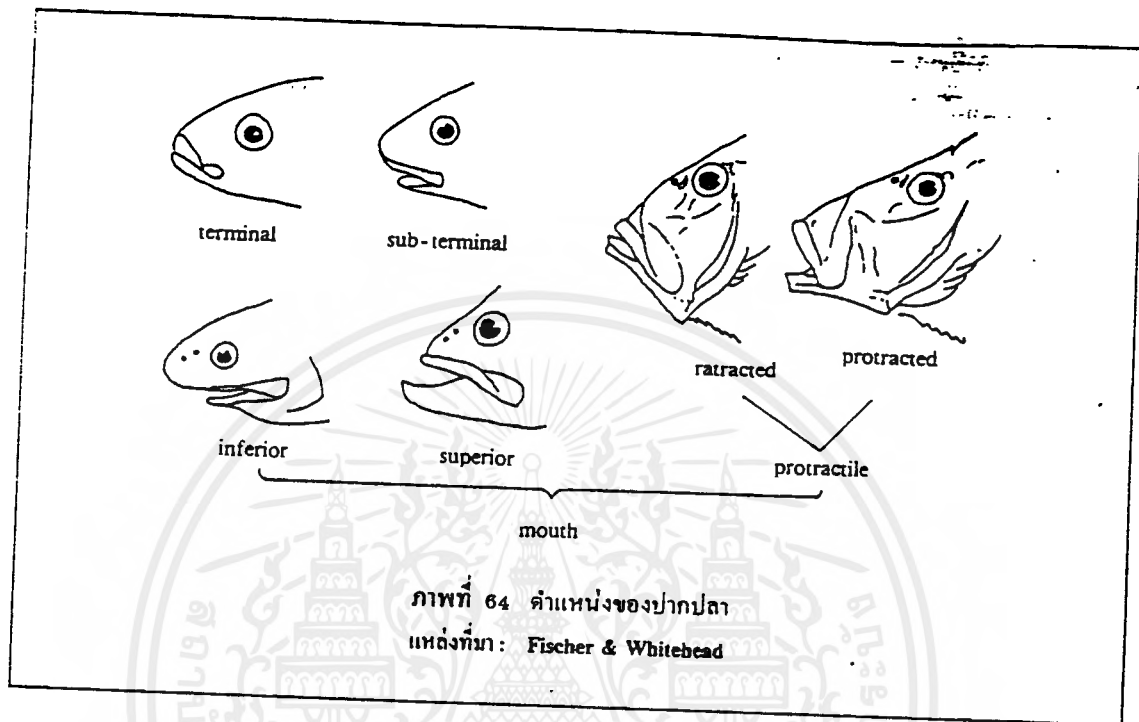
Inferior mouth ปากอยู่ด้านล่างของส่วนหัว ส่วนมากพบในปลากระดูกอ่อนพวก ฉลาม และกระเบน ปลาไส้ตัน และปลากูรา พวกนี้หากินตามพื้น

Superior mouth เป็นลักษณะของปากที่เฉียงลง (oblique) เช่น ปลาคางเบื่อน ปลาเขือ

นอกจาก 3 แบบที่กล่าวแล้ว ถ้าปากอยู่ในแนวราบและมีลักษณะตรง เรียกว่า horizontal mouth ถ้าอยู่ในลักษณะเฉียง เรียกว่า oblique mouth

รูปทรงของปาก จะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะการกินอาหาร ดังนี้

ภาพที่ 31
แสดงตำแหน่งของปากปลา



1. ปากดูด (sucking disc) พวกนี้จะดูดกินอาหาร อาจจะเป็นตัวเบี๊ยะ หรือดูดกินอาหารตามพื้นดิน ได้แก่ ปลา lamprey, hagfish, ปลาลูกผึ้ง, ปลา sturgeon
2. ปากเป็นปล้องยาว (tube) พวกนี้ช่องเปิดของปากอยู่ที่ปลายงอยปาก ส่วนมากปากจะมีขนาดเล็ก เชิดขึ้นเล็กน้อยพบในปลาแม่น้ำ ปากแคระ จิมฟันจะเข้ ปลาผีเสื้อ
3. ปากเป็นฟันเลื่อย (saw-like) มีลักษณะเหมือนใบเลื่อย ส่วนของปลายปากจะเป็นงอยยื่นยาวออกมาพบในปลาฉลาม
4. ปากนก (beak-like) ลักษณะเป็นเหมือนปากนกที่ยื่นยาวออกไป แบ่งออกได้เป็น 2 อย่าง คือ

ขากรรไกรบนสั้น และขากรรไกรล่างยาว ได้แก่ ปลากระทุงเหว ปลาดิบเต่า ปลาเข็ม
ขากรรไกรล่างสั้น และขากรรไกรบนยาว ได้แก่ ปลากระโทงแทง ปลากระโทงดาบ

5. ปากสามารถยืดหดได้ (protractile) เกิดจากส่วนของกระดูก maxilla ทำหน้าที่เป็นคานงัดดึงให้ปากยาวออกมาได้ เนื่องจากมีส่วนของ premaxilla ยาว ปากจะยืดหดได้ ลักษณะการ

ยี่ดอออกอาจจะชี้ขึ้นข้างบน ชี้ลงข้างล่าง หรือตรงออกไป พบในพวกปลาเป็น ปลาหมอคาล ปลา กระเบนไฟฟ้า ปลาสร้อย ปลาโสร่งแขก

ฟัน (tooth)

มีต้นกำเนิดจากเนื้อเยื่อ ectoderm ฝังอยู่ลอย ๆ ในบริเวณขากรรไกร ไม่ใช่ฝังในกระดูกแบบสัตว์เลื้อยลูกด้วยนม ในปลาปากกลมไม่มีฟันที่แท้จริง เป็นเพียง epidermal tooth ที่ติดอยู่บนกรวยปากเท่านั้น ในปลากระดูกอ่อนฟันจะมีขนาดและรูปร่างเหมือนกัน เรียกว่า homodont (same + tooth) ซึ่งจะยึดติดกับผิวหนังของเหงือกด้วยเส้นใยคอลลาเจน เรียกว่า เส้นใยของชาร์ป्ली (Sharply's fiber) ไม่ได้ยึดติดกับกระดูกของขากรรไกร ในปลากระดูกแข็งจะดีขึ้น และฟันจะฝังลึกลงไปในช่วงบนกระดูกขากรรไกร แต่ยังไม่มียากฟัน เรียก acrodont (summit + tooth) ฟันปลาจะมีการหลุดและเกิดขึ้นใหม่ตลอดเวลาในปลาฉลามจะมีการเกิดของฟันเรียงเป็นแถว ๆ ฟันแถวนอกสุดจะมีอายุมากที่สุด เมื่อหลุดไปแถวใหม่ด้านในจะสร้างขึ้นมาทดแทน และแถวที่ถัดจากแถวนอกจะร่นเข้ามาแทนที่ ซึ่งแตกต่างกับในปลาชนิดอื่น ๆ ถ้าฟันหลุดตรงไหนจะสร้างแทนที่เฉพาะตรงนั้น ปลาเป็นสัตว์ที่กินอาหารคดขยไม่เคี้ยว จึงมีฟันเหมือนกันหมด ผิดกับในสัตว์เลื้อยลูกด้วยน้ำนม (เป็น heterodont) แต่ฟันปลาแต่ละชนิดจะมีการจัดระเบียบและเรียงเป็นแนวในตำแหน่งต่าง ๆ กัน อาจจะอยู่โดดเดี่ยวโดยการเรียงเป็นแถวเดียว (series) หรืออาจจะเป็น 2 หรือ 3 แถวก็ได้ หรืออาจจะเบียดแน่นเป็นกลุ่มติดกันเป็นกระดูก (patch) บางชนิดอาจจะเรียงกันเป็นแถบ (band) จำนวนของฟันขึ้นกับชนิดของปลา อาจจะมีมากหรือน้อยก็ได้ แต่ในปลาบางชนิดไม่มีฟัน

ตำแหน่ง ฟันจะเกิดภายในช่องปากตามที่ต่าง ๆ กัน เช่น ที่กระดูก premaxilla เรียกว่า premaxillary tooth ที่กระดูกขากรรไกรล่าง เรียกว่า mandibular tooth ที่กระดูกขากรรไกรบน เรียกว่า premaxillary tooth ที่เพดานบนเรียก palatine และ vomerine tooth ที่กระดูกลิ้นเรียก lingual tooth ที่ช่องคอเรียก pharyngeal tooth บางชนิดพบที่กระดูกแกนเหงือกและหลอดคอด้วย

ชนิดของฟัน ในปลาแต่ละชนิดจะมีฟันที่มีรูปแบบ ขนาด และทำหน้าที่แตกต่างกัน แล้วแต่อาหารที่กิน โดยจำแนกออกได้เป็นชนิดต่าง ๆ ดังนี้ (จินดา, 2506) ๑. ๒. ๓. ๔. ๕. ๖. ๗. ๘. ๙. ๑๐. ๑๑. ๑๒. ๑๓. ๑๔. ๑๕. ๑๖. ๑๗. ๑๘. ๑๙. ๒๐. ๒๑. ๒๒. ๒๓. ๒๔. ๒๕. ๒๖. ๒๗. ๒๘. ๒๙. ๓๐. ๓๑. ๓๒. ๓๓. ๓๔. ๓๕. ๓๖. ๓๗. ๓๘. ๓๙. ๔๐. ๔๑. ๔๒. ๔๓. ๔๔. ๔๕. ๔๖. ๔๗. ๔๘. ๔๙. ๕๐. ๕๑. ๕๒. ๕๓. ๕๔. ๕๕. ๕๖. ๕๗. ๕๘. ๕๙. ๖๐. ๖๑. ๖๒. ๖๓. ๖๔. ๖๕. ๖๖. ๖๗. ๖๘. ๖๙. ๗๐. ๗๑. ๗๒. ๗๓. ๗๔. ๗๕. ๗๖. ๗๗. ๗๘. ๗๙. ๘๐. ๘๑. ๘๒. ๘๓. ๘๔. ๘๕. ๘๖. ๘๗. ๘๘. ๘๙. ๙๐. ๙๑. ๙๒. ๙๓. ๙๔. ๙๕. ๙๖. ๙๗. ๙๘. ๙๙. ๑๐๐.

ฟันละเอียด (citiform หรือ ciliform) เป็นฟันที่มีขนาดเล็กมาก ไม่มีความแข็งแรง และไม่มันคง สามารถโยกได้ รวมอยู่เป็นแถบหรือเป็นกระดูก มีเป็นจำนวนมาก พบในพวกปลาหนัง เจริญและปลาตะลุมพุก

ฟันซี่เล็ก (villiform) มีลักษณะเรียว ชี้ไม่ยาว อยู่ติดกันเรียงเป็นแถวและเรียงอยู่เป็น แถบ ๆ คล้ายกับ villi ในลำไส้เล็ก พบในปลาเข็ม ปลากรด ปลาเขยง ปลาสวาย และปลาเทโพ

ฟันแบบ cardiform มีลักษณะเป็นฟันเล็ก ๆ สั้น ๆ และแหลมมาก อยู่บนฐานที่เป็น กระดุกคล้ายกับฟันบน wool card ของเครื่องสาบใย พบในพวกปลากรด ปลากระพงบางชนิด และ ปลาเก๋า

ฟันเขี้ยว (canine) มีลักษณะคล้ายเขี้ยวของสุนัข เป็นซี่ยาวเรียว ปลายแหลม อาจเป็น รูปกรวยตรง หรือโค้ง ยื่นฟันฟันซี่อื่นขึ้นมา มีความแข็งแรงและมั่นคงมาก ใช้สำหรับกัด จับและ ฉีกสิ่งเนื้อกิน พบในปลาน้ำดอกไม้ ปลาช่อน ปลาชะโด และปลาฉลามบางชนิด

ฟันสิ่ว (chisel-like) เป็นฟันปลายแบนคมแบบปลายสิ่ว ใช้เจาะของแข็ง เช่น หอย ปู พบในปลาวัว ปลาควาย

ฟันตัด (incisor) มีลักษณะปลายตัดอย่างฟันหน้าของสัตว์ทะเล พบในพวกปลาปักเป้า และปลานกแก้ว ใช้สำหรับแทะพวกพืชที่ติดกับหิน

ฟันเป็นแผ่นแบน (tassilated plate) เป็นฟันคู่ อยู่ข้างหน้าใช้สำหรับขบ กัดให้แตกให้ ขาด พบในปลาปักเป้า

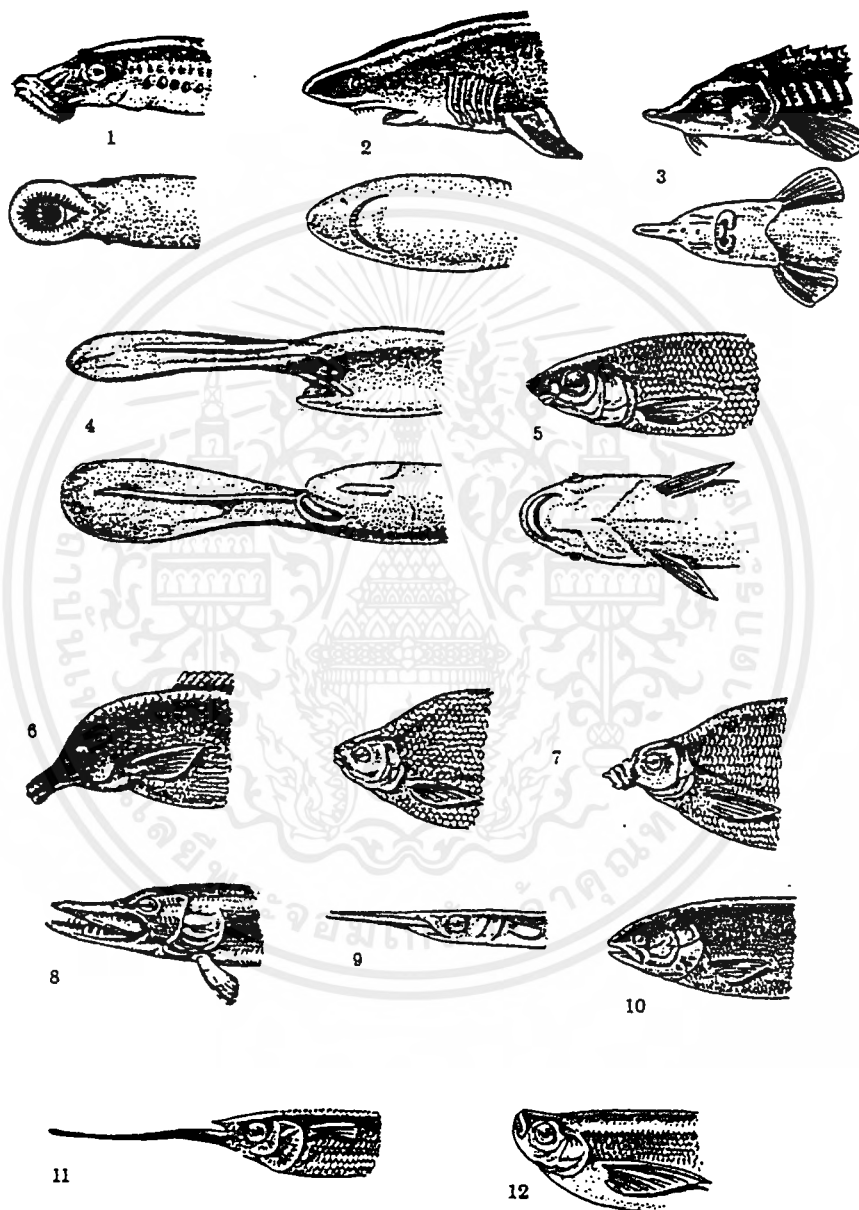
ฟันเป็นปากนก (beak-like) เหมือนปากนก ใช้สำหรับขูด แทะ กินอาหารจำพวกพืชที่ ขึ้นอยู่ตามหน้าผา และโขดหินปะการัง พบในปลานกแก้ว

ฟันกราม (molariform) ใช้สำหรับบด ขบให้แตก เป็นฟันซี่ใหญ่ ปลายตัด ทุ่ อาจเป็น ตุ่มเม็ด พบในปลาฉลาม กระเบน การกินอาหารต้องบดให้ละเอียดก่อนจึงจะกิน

ฟันเป็นเม็ด (granular) คล้ายฟันกราม แต่มีขนาดเล็กกว่า พบในปลานกขุนทอง ปลาที่ไม่มีฟัน ได้แก่ ปลาม้าน้ำ จิมฟันจระเข้ ปลากระบอก และปลานวลจันทร์ทะเล

ปลาแต่ละชนิดจะมีฟันที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะอาหารที่กิน ซึ่งลักษณะของฟันอาจ จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปให้เหมาะสม เช่น ลักษณะของฟันที่เป็นปากนก เป็นแผ่นแบน หรือ แบบเป็นเม็ด เป็นคัน ใบปลาผีเสื้อ ปลาช่อนทะเล ขอบฟันจะมีหยักใช้ในการขูดแทะสาหร่ายตาม ก้อนหิน ในปลาปิรันย่ามีขอบฟันแบนบางและคมกริบ สามารถตัดให้ขาดได้แบบกรรไกร ทำให้ สามารถแทะเนื้อสัตว์ได้อย่างรวดเร็ว ในปลาฉลาม กระเบน และโรมัน มีฟันเล็กที่เรียงต่อกันเป็น พืดและหลาย ๆ แถวซ้อนกัน ใช้ในการขบ บดหอย กุ้ง ปู ในปลาลิ้นหมาบางชนิดก็มีฟันลักษณะนี้ เนื่องจากกินอาหารแบบเดียวกัน ในปลานกแก้วจะมีฟันเหมือนปากนกแก้ว ใช้กัดกินหญ้าและ สาหร่ายทะเล แล้วใช้ฟันในช่องคอบดให้ละเอียดอีกทีหนึ่ง แล้วจึงกลืนเข้าไป ปลาที่กินแพลงตอน ส่วนใหญ่ไม่มีฟันบนขากรรไกร แต่อาจจะมีฟันในช่องคอ

ภาพที่ 32
แสดงลักษณะปากปลาบางชนิด

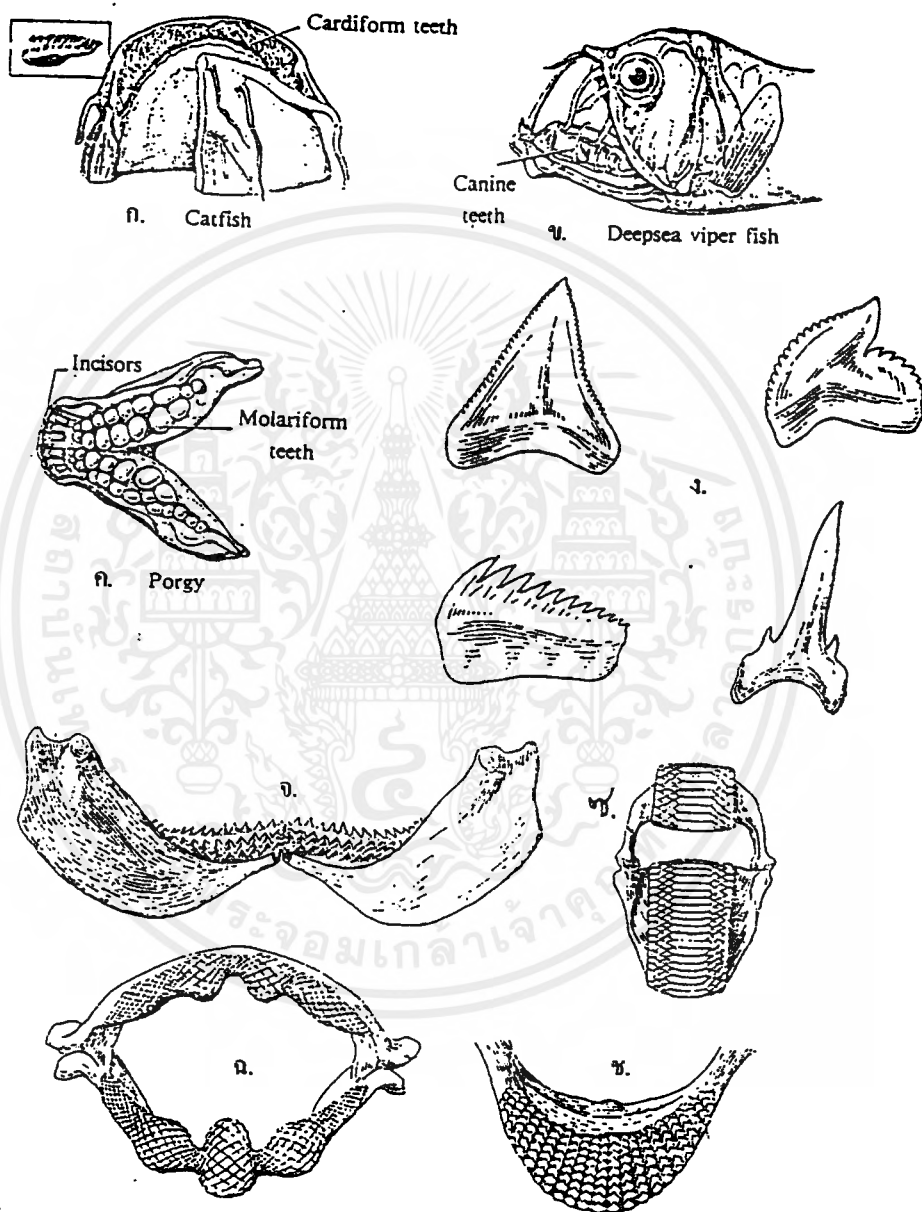


ภาพที่ 65 ลักษณะของปากปลาบางชนิด

1. lamprey; 2. shark; 3. sturgeon; 4. paddlenose; 5. nase (*Chondrostoma nasus* L.);
6. *Mormyrus*; 7. bream; 8. pike; 9. saury pike; 10. salmon; 11. *Hyporhamphus sajori* (Temm. et Schl.); 12. *Pelecus cultratus* (L.).

แหล่งที่มา: Nikolski, 1963

ภาพที่ 33
แสดงลักษณะของฟันปลา



ภาพที่ 33 ลักษณะของฟันปลา

ก. cardiform teeth ในปลาคด ข. ฟันเขี้ยวในปลา viper ค. ฟันตัดและฟันบดในปลา porgy
ง. ฟันเขี้ยวในปลาฉลาม จ, ช. ฟันบนขากรรไกรของปลาฉลาม ฉ. ฟันบดของปลาโรนิน
ซ. ฟันบดของปลากะเบน

แหล่งที่มา: ก-ค. Lagler และคณะ, 1962

ง-ซ. Norman, 1963

สรุปแล้ว ปลาที่กินแพลงตอนขนาดเล็กจะมีฟันขนาดเล็ก ไม่มันคงแข็งแรง ยิ่งปลาที่กินของเน่าเปื่อยอาจจะไม่มีฟันเลยหรือมีฟันซี่เล็กมาก ถ้าเป็นปลาคูหรือปลากินสัตว์ จะมีฟันเขี้ยวไว้ฉีกเนื้อ และถ้าเป็นปลาที่กินพวกของแข็ง ก็จะมีฟันบดไว้บดเปลือกให้แหลกก่อน

ลิ้น (tongue)

ปลาไม่มีลิ้น แต่ยังไม่เจริญ เนื่องจากไม่ได้ใช้ในการคลุกเคล้าอาหาร ลิ้นปลาไม่มีกล้ามเนื้อ เป็นเพียงแกนกระดูกที่มีเยื่อหุ้ม ในปลาบางชนิดจะเห็นเป็นรอยนูนชัดมาก ปลาเสือพ่นน้ำจะอาศัยปลายลิ้นที่ค่อนข้างยาว ช่วยดันเพดานปากให้ฉีกน้ำไปยังเหยื่อได้ ลิ้นปลาเชื่อกันว่ามีต่อมรับรสอยู่ด้วย บางชนิดมีฟัน เช่น ปลาทราย ปลาสลาด

ช่องคอ หรือคอหอย (pharynx)

เป็นส่วนที่ถัดจากช่องปากเข้าไป เป็นช่องแคบสั้นเหมือนปากกรวย ในบริเวณนี้จะมีซี่เหงือก ซึ่งจะสกัดกั้นอาหาร แล้วส่งเข้าหลอดคอ ในปลาบางชนิด ช่องคอจะมีฟันด้วย

ซี่กรอง (gill raker)

ฟันที่อยู่บนแกนเหงือก (gill arch) ของปลาเรียกว่า ซี่กรอง หรือ gill raker เมื่อเปิดกระดูปลาเหงือกของปลาขึ้น จะพบซี่กรองอยู่บนแกนเหงือกอันแรก บนแกนเหงือกอันถัดไป อาจจะมีหรือไม่มีซี่กรองก็ได้

ลักษณะของซี่กรองจะเรียงกันเป็นแถวบนแกนเหงือก โดยแต่ละซี่จะมีขนแยกออกมาคล้ายขนนกและสานกันเป็นแบบตาข่าย ช่วยกรองแพลงตอนและวัสดุชิ้นใหญ่ที่มากับน้ำให้ติดอยู่

ภาพที่ 34

แสดงลักษณะของซี่กรอง



ภาพที่ 67 แสดงลักษณะของซี่กรอง (gill raker) ชนิดต่าง ๆ

แหล่งที่มา: Lagler และคณะ 1962.

ในช่องคอ ส่วนน้ำจะผ่านซี่กรองไปทางช่องเหงือก (gill chamber) เพื่อใช้ในการหายใจ ซึ่งน้ำที่ผ่านจากซี่กรองจะไม่มีวัสดุชิ้นใหญ่ที่จะเป็นที่กีดขวางการหายใจป้อนอยู่

ซี่กรองในปลาแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ปลาที่กินแพลงตอน เช่น ปลาทุบ จะมีซี่กรองยาวและมีจำนวนมากเพื่อใช้กรองแพลงตอนกินเป็นอาหาร ปลาที่กินพืชหรือซากเน่าเปื่อย ซี่กรองจะไม่ละเอียด สั้นและน้อยกว่าพวกที่กินแพลงตอน สำหรับในปลากินเนื้อ ซี่กรองอาจจะมีลักษณะเป็นคุ่มหรือเป็นซี่ฟันสั้น ๆ ปลาบางชนิดไม่มีซี่กรอง เช่น ปลาดาบเงิน

ประโยชน์ของซี่กรองใช้ในการแยกชนิดของปลา โดยการใช้จำนวนซี่กรองจากแกนเหงือกอันแรกของปลา ซึ่งจะแบ่งออกเป็นซี่กรองในส่วนบนของแกนเหงือก (upper arch) และซี่กรองในส่วนหลังของแกนเหงือก (lower arch)

หลอดคอ (esophagus หรือ gullet)

เป็นอวัยวะต่อจากช่องคอ เป็นหลอดหรือท่อที่แท้จริง แต่มีขนาดสั้นมาก เนื่องจากปลาไม่มีคอ ทำให้หลอดคามีขนาดพอ ๆ กับกระเพาะอาหาร ทำให้การแยกอวัยวะ 2 ส่วนนี้เป็นไปได้ยาก แต่ทราบได้จากการขยายตัวของอวัยวะเมื่อมีอาหารผ่านเข้าไป

กระเพาะอาหาร (stomach)

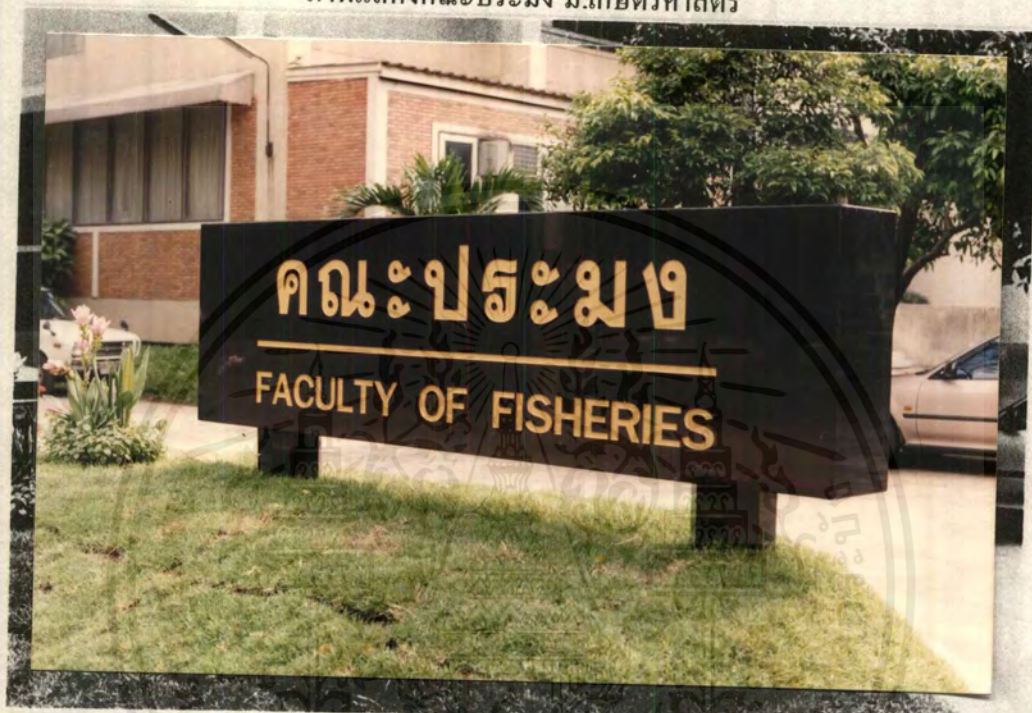
อยู่ต่อลงมาจากหลอดคอ คดมีรอยคอดที่สืบเล็กลง (constriction หรือ sphincter) เป็นส่วนที่ใช้ในการแยกออกจากหลอดคอ ปลาที่มีกระเพาะอาหารเป็นรูปถุงยาว ก้นถุงแคบ มีสีน้ำตาลอ่อน ผิวภายนอกเรียกว่า esophagus กระเพาะอาหารจะทอดไปตามยาวของตัวปลา ผิดกับในสัตว์ชั้นสูงอื่น ๆ ที่มีกระเพาะอาหารขวงลำตัว ผิวภายในกระเพาะอาหารเป็นรอยย่นถี่ และมีต่อมทำหน้าที่ขับน้ำย่อยอยู่เป็นจำนวนมากติดต่อกับกระดูกสันหลังด้วย membranous skeletal tissue ซึ่งจะช่วยค้ำจุนครีบเดี่ยว

2.3 ห้องปฏิบัติการในการใช้เครื่องอิเล็กทรอนิกส์

รูปแบบโดยทั่ว ๆ ไปของห้องปฏิบัติการจะมีส่วนคล้ายคลึงกัน เพราะสร้างตามแบบมาตรฐานในการควบคุมที่กรมประมงและสถานที่ของกรมประมงจะมีห้องปฏิบัติการลักษณะ ดังนี้

ภาพที่ 34

ภาพแสดงคณะประมง ม.เกษตรศาสตร์



ภาพที่ 35

ภาพแสดงห้องปฏิบัติการมาตรฐานกรมประมง



ภาพที่ 36
ภาพแสดงห้องปฏิบัติการ



ภาพที่ 37
ภาพแสดงห้องปฏิบัติการ



2.3.1 การออกแบบ การจัดสภาพ และการปรับปรุงห้องปฏิบัติการ

อาคารสถานที่

อันตรายที่เกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการสามารถลดลงได้หากปฏิบัตินั้นได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสม ซึ่งนอกจากจะต้องคำนึงถึงด้านความมั่นคงและแข็งแรงของอาคารแล้ว จะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน และการป้องกันการปนเปื้อน ซึ่งจะมีผลต่อการทดลอง

ห้องปฏิบัติการที่สมบูรณ์แบบควรเป็นห้องปฏิบัติการซึ่งอยู่ในอาคารชั้นเดียว แยกห่างจากอาคารอื่น (isolated single-storey building) ซึ่งมีข้อดีดังนี้

- (1) ลดความรุนแรงของอันตรายลงเมื่อเกิดอุบัติเหตุ
- (2) สามารถควบคุมการเข้าออกห้องปฏิบัติการได้ง่าย
- (3) ลดจำนวนผู้ที่ได้รับหรือสัมผัส ไอ, ละอองและฟุ้งของสารเคมี
- (4) ลดความยาวของท่อระบายน้ำไปยังท่อใหญ่ ซึ่งมีผลให้สารเคมีไม่ค้างในท่อนานเกินไป
- (5) สามารถทำพื้นห้องปฏิบัติการให้แข็งแรงเพื่อรองรับของหนัก ๆ
- (6) ลดปัญหาที่เกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือน
- (7) มีความคล่องตัวในการขนส่งสารเคมีและกากสารเคมี

อย่างไรก็ตามบางแห่งอาจไม่สามารถตั้งห้องปฏิบัติการในอาคารชั้นเดียวแยกห่างจากอาคารอื่น ๆ ได้ จำเป็นต้องตั้งอยู่ในอาคาร ซึ่งตำแหน่งที่ตั้งของห้องปฏิบัติการมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน กล่าวคือ ถ้าห้องปฏิบัติการอยู่ชั้นล่าง ๆ ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการต่อปล่องระบายอากาศเสียสูง แต่ถ้าอยู่บน ๆ ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการต่อท่อระบายน้ำสูง และอาจเกิดอันตรายจากการขนส่งสารเคมีและกากสารเคมี

ในการออกแบบ จัดสภาพ และปรับปรุงห้องปฏิบัติการต้องคำนึงถึงหลักเกณฑ์ที่ควรยึดถือ ดังต่อไปนี้

สถานที่ตั้งและรูปแบบการก่อสร้าง

- (1) อาคารที่เป็นห้องปฏิบัติการ ต้องอยู่ห่างจากสถานประกอบการที่อยู่อาศัยหรือบริเวณที่เสี่ยงต่ออันตรายพอสมควร ทั้งนี้เพื่อลดอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากไฟไหม้และการระเบิด
- (2) อาคารต้องมั่นคงแข็งแรง โครงสร้างของอาคารควรเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กหรือเหล็ก และผนังตึกควรทำด้วยวัสดุทนไฟ ทั้งนี้ ต้องไม่ต่ำกว่ามาตรฐานที่ทางราชการกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (3) ความสูงจากพื้นถึงเพดานโดยเฉลี่ยไม่ควรน้อยกว่า 3 เมตร
- (4) อาคารที่สูงเกิน 3 ชั้น ต้องมีบันไดหนีไฟที่ได้มาตรฐานและมีจำนวนเพียงพอ
- (5) ต้องมีทางเดินโดยรอบอาคารทุกชั้นกว้างไม่ต่ำกว่า 2 เมตร เพื่อใช้ในกรณีเกิดอัคคีภัยจะได้ใช้เป็นทางหนีไฟ และเพื่อสะดวกในการดับไฟของเจ้าหน้าที่อีกด้วย
- (6) ต้องมีประตูอย่างน้อย 2 ทาง ขนาดควรกว้างไม่น้อยกว่า 110 เซนติเมตร
- (7) อาคารห้องปฏิบัติการประเภทมีทางเดินกลางระหว่างห้องสามารถลดความชื้นหรือละอองฝนที่อาจทำให้ตัวอย่างเสียหายระหว่างการเคลื่อนย้ายจากห้องหนึ่งไปยังอีกห้องหนึ่ง แต่ต้องใช้พื้นที่ในการก่อสร้างมากและควรพิจารณามิให้กิจกรรมจากห้องตรงข้ามก่อให้เกิดการปนเปื้อนต่อการวิเคราะห์

ส่วนอาคารประเภทที่มีระเบียงทางเดินผ่านหน้าห้องเพียงด้านเดียว จะมีการระบายอากาศดี เกิดการปนเปื้อนจากห้องข้างเคียงน้อย แต่ต้องมีหลังคาและระเบียงที่กว้างพอสำหรับป้องกันฝนสาดและสามารถเดินได้สะดวก

คุณลักษณะของห้องปฏิบัติการ

วัสดุก่อสร้างสำหรับผนังเพดาน พื้น และพื้นผิวโต๊ะปฏิบัติการจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับการปฏิบัติงาน ทั้งนี้โดยคำนึงถึงคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาใช้

ผนังและเพดาน

1. ควรเป็นผนังเรียบ ไม่ดูดซับน้ำ ทำความสะอาดง่าย ทนต่อกรดด่าง และสารทำลาย สามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้ (vermin-proof) และติดไฟได้ยาก โดยทั่วไปเป็นคอนกรีตทาทับด้วยสี
2. สีทาผนังและเพดานที่ใช้ควรมีความคงทนต่อสารเคมี ล้างทำความสะอาดได้ง่าย และไม่ติดไฟ (ดูภาคผนวกที่ 1)
3. ส่วนที่เป็นกระจกที่แตกส่องและได้รับความร้อน ควรใช้กระจกตัดแสง ฉาก หรือม่านป้องกันแสงแดด
4. ผนังที่ทำด้วยกระจกควรใช้กระจกนิรภัย

พื้นห้อง

1. ควรเป็นพื้นคอนกรีต เรียบ และผสมวัสดุกันซึม
2. พื้นอาคารบางจุดต้องเสริมความแข็งแรงเป็นพิเศษ สำหรับวางเครื่องมือที่มีน้ำหนักมาและป้องกันการสั่นสะเทือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วัสดุปูพื้นควรทนต่อการรับน้ำหนัก ป้องกันการขีดข่วน ล้างทำความสะอาดได้ รอยต่อต้องเชื่อมต่อให้สนิท (ดูภาคผนวกที่ 1)

พื้นผิวโต๊ะปฏิบัติการ (working surfaces)

1. ต้องแข็งแรง ทนต่อการขีดข่วน
2. มีรูพรุนน้อย ล้างทำความสะอาดง่าย ไม่เป็นรอยด่างหรือเปื้อนง่าย
3. ทนทานต่อความร้อนและสารเคมี
4. เป็นแผ่นใหญ่หรือเป็นแผ่นติดต่อกันตลอดและเรียบ (ดูภาคผนวกที่ 1)

ห้องเก็บสารเคมี

ห้องเก็บสารเคมี ควรแยกจากห้องปฏิบัติการ

ก. ห้องเก็บสารทำลาย ควรมีลักษณะดังนี้

1. ผนังอิฐหนา 23 ซม.
2. หลังคาคอนกรีต หนา 12.5 ซม.
3. ตะแกรงระบายอากาศทั้งในระดับสูงและระดับต่ำ ซึ่งประกอบด้วยลวด flame-arrestor wire gauze ขนาด 28 ช่อง (mesh) ต่อตารางนิ้ว
4. พื้นห้องต้องมีทางระบายและธรณีประตูควรยกสูงเพื่อป้องกันมิให้สารเคมีไหลออก
5. ประตูเป็นแบบเปิดออกด้านนอกทำด้วยเหล็ก (steel) หนา 0.6 ซม. หรือวัสดุอื่นที่ทนทานต่อสารเคมี
6. หลอดไฟเป็นชนิดที่ป้องกันไฟได้ (flame-proof light) และสวิตช์ปิดเปิดไฟควรอยู่นอกห้อง

ข. สถานที่เก็บสารเคมีรวม

กรณีที่ต้องเก็บสารเคมีหลาย ๆ ประเภท ในปริมาณมากควรออกแบบอาคารเก็บสารเคมีที่ยังไม่ได้ใช้และใช้แล้วโดยเฉพาะ (ดูภาคผนวกที่ 2)

การจัดห้องปฏิบัติการ

การจัดแบ่งพื้นที่ปฏิบัติงาน

งานในห้องปฏิบัติการจะต้องเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการวิเคราะห์ทดลองเท่านั้น ดังนั้นจึงไม่ควรมีโต๊ะสำหรับผู้ปฏิบัติงานนั่งทำงานประจำในห้องนั้น ส่วนที่เป็นห้องพัก ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธุรการ ส่วนรับส่งตัวอย่าง และส่วนปฐมพยาบาลควรแยกออกจากส่วนปฏิบัติการ ห้องปฏิบัติการควรมีทางออก 2 ทางเช่นเดียวกับตัวอาคาร

1. ห้องปฏิบัติการทั่วไปควรอยู่ในลักษณะเปิดโล่ง ยกเว้นกิจกรรมบางประเภทที่อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนหรือต้องป้องกันการปนเปื้อน เช่น การเตรียมตัวอย่าง การซั่งการใช้เครื่องมือละเอียด การวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา การวิเคราะห์สารเคมีที่เป็นพิษ ฯลฯ

2. ห้องปฏิบัติการที่มีกิจกรรมเฉพาะ ควรแยกออกไปเป็นสัดส่วน เช่น ห้องปฏิบัติการที่ใช้รังสีควรแยกอาคารต่างหาก ห้องปฏิบัติการที่เสี่ยงอันตราย ควรอยู่ในมุมอับของอาคาร ห้องปฏิบัติการที่มีเชื้อโรคอันตรายต้องมีประตู 2 ชั้น และมีระบบ air lock ก่อนเข้าห้อง

ขนาดพื้นที่ปฏิบัติงาน

การปฏิบัติงานในพื้นที่คับแคบหรือแออัด มีโอกาสเกิดอุบัติเหตุได้ง่าย ห้องปฏิบัติการจึงควรมีขนาดพื้นที่ซึ่งเหมาะสมกับการปฏิบัติงาน ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของตัวอย่างและวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ เช่น การวิเคราะห์ทางเคมี การวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา ฯลฯ

ห้องปฏิบัติการทางเคมีโดยทั่วไปควรมีขนาดพื้นที่ห้อง 6-8 ตารางเมตรต่อคนไม่รวมเครื่องมือ และ 10-20 ตารางเมตรต่อคนรวมเครื่องมือ

โต๊ะปฏิบัติการ

การวางโต๊ะปฏิบัติการอาจทำได้ 3 รูปแบบ คือ วางชิดตามความยาวผนัง (wall bench) กลางห้อง (island bench) และยื่นจากผนัง (peninsular) การวางในรูปแบบใดขึ้นกับกิจกรรมและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงาน ตลอดจนลักษณะของห้องปฏิบัติการ แต่ต้องไม่วางกีดขวางทางออกในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉิน ส่วนระยะห่างระหว่างโต๊ะไม่ควรน้อยกว่า 1.5 เมตร และควรมีช่องหรือที่เก็บเก้าอี้ที่ใช้ในการปฏิบัติงานเพื่อไม่ให้กีดขวางทางเดิน

ขนาดของโต๊ะปฏิบัติการมีผลต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานและอาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุขึ้นได้ โดยทั่วไปขนาดของโต๊ะปฏิบัติการควรมีความลึกของส่วนปฏิบัติงาน 60 ซม. ไม่รวมพื้นที่สำหรับท่อแก๊ส เต้าเสียบไฟฟ้า ฯลฯ ส่วนความสูงควรมีขนาดพอเหมาะกับการปฏิบัติงานประมาณ 85-95 ซม.

การระบายอากาศ

การระบายอากาศโดยทั่วไป

ห้องปฏิบัติการควรมีการถ่ายเทอากาศอย่างทั่วถึงและเพื่อรักษาความชื้นระหว่างร้อยละ 30-60 และอุณหภูมิไม่เกิน 35°C. การระบายอากาศ โดยทั่วไปมีหลักเกณฑ์ดังนี้

1. จัดให้มีการถ่ายเทอากาศในห้องปฏิบัติการอย่างเพียงพอ โดยทั่วไปการระบายอากาศควรอยู่ระหว่าง 4-8 เท่าของขนาดห้องปฏิบัติการต่อชั่วโมง ยกเว้นกรณีที่มีการใช้สารพิษสูงมาก (ดูภาคผนวกที่ 3)

2. การถ่ายเทอากาศในห้องปฏิบัติการต้องให้อากาศที่บริสุทธิ์ผ่านแหล่งกำเนิดสาร แล้วผ่านออกนอกห้องไปเลย (ดูภาคผนวกที่ 3) คดยที่ท่อดูดอากาศออกต้องอยู่ใกล้แหล่งกำเนิดสาร และต้องระวังมิให้อากาศที่ดูดออกไปแล้วหมุนเวียนกลับเข้ามาใหม่ เช่น ช่องดูดอากาศออกต้องไม่อยู่ใกล้ประตูหรือช่องดูดอากาศเข้า

ตู้ดูดควัน

ตู้ดูดควันใช้สำหรับระบายอากาศเฉพาะที่ โดยเฉพาะบริเวณที่มีการใช้สารพิษ การออกแบบและติดตั้งต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเป็นพิษของสารเคมีที่ใช้ สถานที่ติดตั้งระบบการระบายอากาศภายในห้อง ชนิดของตู้ดูดควัน ฯลฯ

คุณสมบัติของตู้ดูดควัน

1. ตู้ดูดควันต้องอยู่ในบริเวณที่อากาศด้านหน้าของตู้ดูดควันไม่ถูกรบกวน เช่น ไม่อยู่ใกล้หน้าต่าง ประตู ทางเดิน ท่อพ่นอากาศ เครื่องทำความร้อนหรือเย็น และต้องสอดคล้องกับตำแหน่งที่ดูดอากาศเข้าห้องปฏิบัติการ (ดูภาคผนวกที่ 4)

2. ต้องเดินท่อระบายอากาศจากตู้ดูดควันให้สูงพ้นตัวอาคาร เพื่อป้องกันอากาศเสียไหลวนเวียนกลับมา และถ้าจำเป็นควรมีวาล์วอุดหรือดักจับอากาศเสีย

3. เพื่อให้การใช้งานมีความปลอดภัยกระจกที่ใช้เป็นประตูตู้ควรเป็นกระจกนิรภัย
ข้อควรระวังและการบำรุงรักษา

1. ก่อนใช้ควรตรวจสอบให้แน่ใจว่าพัดลมในตู้ดูดควันทำงานเป็นปกติ

2. ต้องตรวจสอบประสิทธิภาพของตู้ดูดควันอยู่เสมอ เช่น ตรวจวัดค่าความเร็วทางด้านหน้าตู้ดูดควัน ประมาณ 12 จุด ความเร็วแต่ละจุดต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของความเร็วเฉลี่ยทั้ง 12 จุด

3. ต้องทำความสะอาดตู้ดูดควันอย่างสม่ำเสมอ เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการกัดกร่อนของสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สำหรับอุปกรณ์ที่วางในตู้ดูดควันควรวางให้จุดที่ปล่อยสารอยู่ลึกจากด้านหน้าของตู้ดูดควันอย่างน้อย 15 ซม. เพื่อป้องกันสารเล็ดลอดออกมา

5. ห้ามใช้ตู้ดูดควันเป็นที่เก็บสารเคมีหรือเครื่องมือ เครื่องใช้ต่าง ๆ ที่ไม่ได้ใช้งาน

พัสดุ

พัสดุเป็นอุปกรณ์หนึ่งที่ใช้ในการระบายอากาศซึ่งมีอยู่หลายชนิด การเลือกควรพิจารณาให้เหมาะกับการใช้งาน ตัวอย่างเช่น ชนิดระบายอากาศ ภายในชนิดดูดอากาศ ระบายออกนอกอาคาร ชนิดระบายฝุ่นและควัน ฯลฯ

ข้อควรระวังและการบำรุงรักษา

1. อย่าเดินเครื่องนานเกินไป จะทำให้เครื่องร้อนและเครื่องชนด์เสียเร็ว
2. ทำความสะอาดพัสดุไม่ให้มีฝุ่นสะสม เพื่อป้องกันพัดลมสึกกร่อนและมีความเร็วไม่สม่ำเสมอ
3. ติดตั้งพัสดุให้สะดวกต่อการทำงาน ไม่สูงหรือต่ำจนเกินไป มีทิศทางและความเร็วที่เหมาะสม

สภาพแวดล้อมการทำงาน

นอกจากการระบายอากาศที่ได้กล่าวมาแล้ว ควรจัดสภาพแวดล้อมในห้องปฏิบัติการให้เหมาะสมกับการทำงาน โดยคำนึงถึงสิ่งต่าง ๆ ดังนี้

อุณหภูมิของห้อง

อุณหภูมิของห้องที่เหมาะสมมีผลต่อการทำงานของผู้ปฏิบัติงานและผลการวิเคราะห์ โดยทั่วไปอุณหภูมิห้องไม่ควรเกินกว่า 35°C. สำหรับการทดลอง บางเรื่องที่ต้องควบคุมอุณหภูมิห้องให้คงที่ตลอดเวลาต้องมีการออกแบบเป็นพิเศษ

แสงสว่าง

ห้องปฏิบัติการต้องมีแสงสว่างเพียงพอทุกจุด ความเข้มแสงโดยทั่วไป 540 ลักซ์ ส่วนบริเวณที่ทำงานละเอียด 1,100 ลักซ์ หลอดไฟที่ใช้โดยทั่วไป หลอดฟลูออโรสเซนส์ ยกเว้นในบางแห่งที่จำเป็นควรใช้หลอดที่ป้องกันไฟได้ (flame-proof) หรือหลอดที่สามารถทำความสะอาดได้ง่าย เช่น หลอดชนิด Crompton Clenelite

ระบบไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการมีความสำคัญมาก เนื่องจากให้ทั้งแสงสว่างและพลังงานไฟฟ้า สำหรับเครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนั้น เพื่อความปลอดภัยจึงมีข้อควรคำนึงถึง ดังนี้

1. การเดินสายไฟฟ้า การติดตั้งสวิตช์บอร์ด ปลั๊กเสียบ พิวส์มอเตอร์ หม้อแปลงไฟฟ้า และอุปกรณ์อื่น ต้องดำเนินการโดยผู้มีความรู้ความชำนาญเท่านั้น
2. การเดินสายไฟในห้องปฏิบัติการควรเดินในท่อพีวีซีให้หมด และควรแยกสายไฟสำหรับแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ออกจากกัน
3. เครื่องไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิดในห้องปฏิบัติการ ควรเป็นชนิดป้องกันประกายไฟฟ้าทำให้ระเบิดได้ (explosion proof) และควรมีสายไฟต่อลงดิน ปลั๊กไฟควรใช้ชนิดสามขาสำหรับต่อสายดิน และถ้าใช้ไฟฟ้า 2 ระบบ คือ 110 V และ 220 V ให้ใช้ปลั๊กไฟที่ต่างชนิดกัน เพื่อป้องกันการเสียบผิด นอกจากนี้ได้เสียบควรอยู่ระดับเหนือโต๊ะปฏิบัติการเล็กน้อยและควรอยู่ห่างจากก๊อกน้ำ
4. ระบบไฟฟ้าของห้องปฏิบัติการ ควรติดตั้งระบบอัตโนมัติที่เหมาะสม เช่น breaker หรือเครื่องตัดไฟอัตโนมัติ
5. เครื่องไฟฟ้าที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าต้องมีอุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้าประจำเครื่องมือ
6. ในกรณีที่มีเครื่องไฟฟ้าที่ต้องใช้ไฟฟ้าตลอดเวลา ควรมีเครื่องปั่นไฟสำรองที่ทำงานโดยอัตโนมัติ

ระบบท่อแก๊ส

ในกรณีที่เป็นห้องปฏิบัติการขนาดใหญ่ หรือมีการใช้แก๊สหลายชนิด เช่น แก๊สเชื้อเพลิง แก๊สไนโตรเจน แก๊สไฮโดรเจน และมีการต่อท่อแก๊สเข้ามาในห้องปฏิบัติการ ต้องติดตั้งและวางแผนท่อโดยช่างผู้ชำนาญโดยเฉพาะ ท่อแก๊สและข้อต่อต่าง ๆ ต้องผลิตขึ้นโดยวัสดุที่ได้มาตรฐาน มีการติดตั้งวาล์วชนิด non-return และวาล์วลดความดัน ถ้าเป็นไปได้ควรติดตั้งเครื่องดักจับแก๊ส และสัญญาณเตือนภัย

ลิฟท์ขนของ

ลิฟท์ที่ใช้ขนส่งสำหรับห้องปฏิบัติการจะต้องได้มาตรฐานตามที่ทางการกำหนด

ระบบดับเพลิงและสัญญาณเตือนภัย

การวางแผนเตรียมการด้านการดับเพลิงและการเตือนภัยจะช่วยลดอันตรายและความเสียหายที่เกิดขึ้น

ระบบดับเพลิง

ห้องปฏิบัติการขนาดใหญ่หรือห้องปฏิบัติการมีเงินสนับสนุนอย่างเพียงพอ ควรมีระบบดับเพลิงที่ติดตั้งอยู่กับที่ เช่น ระบบอัตโนมัติ automatic sprinklers หรือหัวท่อน้ำดับเพลิงสำหรับห้องปฏิบัติการที่ไม่สามารถติดตั้งระบบดับเพลิง ดังกล่าว ควรมีเครื่องดับเพลิงที่ดับได้ทั้งไฟประเภท ก, ข, และ ค (ดูภาคผนวกที่ 5) โดยมีเครื่องดับเพลิงประเภท ก 1 เครื่องต่อพื้นที่ 2,500 ตารางฟุต เครื่องดับเพลิงประเภท ข 1 เครื่องต่อพื้นที่ 625 ตารางฟุต ตำแหน่งที่ตั้งของเครื่องดับเพลิงควรอยู่ใกล้ประตู และควรทำสีให้เห็นสะดวกตาพร้อมทั้งติดป้ายวิธีใช้ห้องเก็บวัตถุไวไฟ ของเหลวไวไฟ หรือห้องแคบ ๆ ควรติดตั้งเครื่องดับเพลิงไว้ภายนอกห้อง

ระบบสัญญาณเตือนภัย

ห้องปฏิบัติการควรมีระบบสัญญาณเตือนภัย ซึ่งอาจเป็นระบบสัญญาณเตือนภัยคดขยอัตโนมัติ เช่น ระบบตรวจจับอัคคีภัย หรือระบบกริ่งฉุกเฉินซึ่งผู้ประสบเหตุเป็นผู้กดแจ้งผู้อื่นทราบ สัญญาณเตือนภัยควรจะได้ยินกันทั่วไม่ว่าอยู่ส่วนไหนของห้องปฏิบัติการ

ระบบน้ำใช้

การจัดการระบบน้ำใช้ในห้องปฏิบัติการมีข้อควรคำนึงดังต่อไปนี้

1. ควรสร้างถังพักและจ่ายน้ำไว้ชั้นบนของอาคารหรือที่สูง เพื่อควบคุมแรงดันน้ำให้สม่ำเสมอ
2. ท่อน้ำที่เดินเข้าห้องปฏิบัติการต้องมีอุปกรณ์กันน้ำย้อนกลับ เพราะแรงดันน้ำที่ไม่สม่ำเสมอจะก่อให้เกิดอุบัติเหตุในการกลั่นได้
3. สำหรับงานด้านจุลชีววิทยา สัตว์ทดลอง ซึ่งต้องระมัดระวังเรื่องการติดเชื้อ ระบบน้ำร้อนที่ใช้ล้างภาชนะและฆ่าเชื้อ ควรใช้ก๊อกน้ำชนิดที่ใช้เท้าเหยียบหรือใช้ข้อศอกผลัก
4. ห้ามใช้น้ำจากก๊อกของห้องปฏิบัติการมาดื่ม และไม่ควรวางถังน้ำดื่มในห้องปฏิบัติการ

การ

ระบบสูญญากาศรวม

กรณีที่ต้องใช้ระบบสูญญากาศรวม ต้องมีมาตรการเกี่ยวกับความปลอดภัย ดังนี้

1. การใช้ระบบสูญญากาศรวมควรมี HEPA (High efficiency particulate air filter) เพื่อป้องกันเชื้อครกและสารเคมีปนเปื้อนเข้าในระบบ
2. หากปฏิบัติงานเกี่ยวกับสารก่อมะเร็ง ควรใช้เครื่องทำสูญญากาศแยกต่างหาก

ระบบกำจัดน้ำเสีย

การวางแผนและดำเนินการเกี่ยวกับการกำจัดของเสีย ต้องพิจารณาถึงปริมาณและชนิดของเสียที่ต้องการกำจัด ทั้งนี้ เนื่องจากกากของเสียมักมีคุณสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ ตลอดจนพิษภัยแตกต่างกัน ระบบการกำจัดของเสียจากห้องปฏิบัติการโดยทั่วไปมีดังนี้

ระบบกำจัดน้ำเสีย

ห้องปฏิบัติการควรมีระบบกำจัดน้ำเสียของห้องปฏิบัติการ โดยเฉพาะก่อนที่จะเข้าสู่ระบบกำจัดน้ำเสียรวมของอาคาร หรือท่อระบายน้ำ ระบบกำจัดน้ำเสียของห้องปฏิบัติการ โดยเฉพาะมักเป็นระบบกำจัดแบบเคมี (chemical treatment) ในกรณีที่ไม่มีระบบกำจัดน้ำเสียของห้องปฏิบัติการโดยเฉพาะ แต่มีระบบกำจัดน้ำเสียรวมประเภท activated sludge น้ำทิ้งที่ออกจากห้องปฏิบัติการจะต้องไม่มีความเป็นกรดเป็นด่าง สารพิษ น้ำมัน ฯลฯ ในปริมาณสูง จนทำให้การทำงานของแบคทีเรียล้มเหลว (เกิน bacteriostatic dose) ส่วนห้องปฏิบัติการที่ไม่มีระบบกำจัดน้ำเสียเลยนั้น ต้องระมัดระวังในการปล่อยน้ำเสียเป็นพิษ โดยพยายามกำจัดสารพิษต่าง ๆ ปรับสภาพความเป็นกรดด่างของน้ำทิ้ง และทำการเจือจางก่อนปล่อยลงสู่ท่อระบายน้ำ

ระบบเตาเผา

ห้องปฏิบัติการบางแห่งมีเตาเผาไว้ใช้โดยเฉพาะ เตาเผาดังกล่าวมักเป็นเตาเผาธรรมดาใช้สำหรับกำจัดขยะ ขยะติดเชื้อ และซากสัตว์ทดลอง สถานที่ตั้งต้องอยู่ในที่เหมาะสมไม่ก่อให้เกิดความรำคาญหรือเป็นอันตรายต่อผู้อยู่อาศัย หรือทำงานใกล้เคียง เตาเผานี้ไม่สามารถใช้กำจัดกากสารเคมี เนื่องจากอุณหภูมิไม่สูงพอที่จะเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ จึงอาจปล่อยสารพิษออกสู่ระบบอากาศ เตาเผาสำหรับเผากากสารเคมีต้องมีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 1000°C.

ระบบการเก็บเพื่อส่งไปกำจัด

กากของเสียบางชนิดห้องปฏิบัติการไม่สามารถกำจัดได้เอง จำเป็นต้องเก็บรักษาไว้เพื่อรอการกำจัดโดยวิธีการที่เหมาะสม หากของเสียมีปริมาณมากอาจต้องสร้างห้องหรือแยกเก็บกาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเสียให้เป็นสัดส่วน โดยเฉพาะกากสารเคมี ซึ่งอาจก่อให้เกิดเพลิงไหม้หรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ ดูรายละเอียดวิธีการเก็บในบทที่ 2

อันตรายที่เกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการ กรป้องกันและแก้ไข ไฟฟ้า

ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานที่จำเป็นของห้องปฏิบัติการ แต่ถ้าใช้อย่างไม่ถูกต้องอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ชีวิตและทรัพย์สินได้ อันตรายที่เกิดขึ้นมี 2 ลักษณะ คือ

ไฟฟ้าดูด

เกิดเนื่องจากร่างกายไปแตะหรือสัมผัสกับส่วนของวงจร ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย ถ้ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านอวัยวะที่สำคัญ เช่น ศีรษะและทรวงอก อาจทำให้เกิดอันตรายจนถึงแก่ชีวิตได้

ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าและปฏิกิริยาต่อร่างกายมีดังนี้

ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผ่านร่างกาย (มิลลิแอมแปร์)	ปฏิกิริยาของร่างกาย
< 0.5	ยังไม่รู้สึก
0.5 - 2	กระตุกเล็กน้อย
2 - 10	กล้ามเนื้อหดกระตุก ปานกลางถึงรุนแรง
5 - 25	เจ็บปวด กล้ามเนื้อเกร็ง ไม่สามารถปล่อยให้หลุดออกมาได้
> 25	กล้ามเนื้อเกร็งกระตุกรุนแรง
50 - 200	หัวใจเต้นผิดปกติเสียชีวิต
> 100	หยุดหายใจ เนื้อหนังไหม้

ข้อปฏิบัติในการป้องกันและช่วยเหลือผู้ ถูกไฟฟ้าดูดมีดังนี้

1. เครื่องไฟฟ้าทุกชนิดควรต่อสายดินหรือใช้เต้าเสียบชนิด 3 รู ซึ่งมีสายต่อลงดินแล้ว
2. ไม่ตจ็บต้องเครื่องไฟฟ้าหรือเสียบปลั๊กไฟฟ้าเมื่อร่างกายเปียกชื้น
3. ตรวจสอบเครื่องไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าอยู่เสมอและควรถอดปลั๊กทุกครั้งทีเลิกใช้
4. ควรพิจารณาติดตั้งเครื่องตัดกระแสไฟฟ้าอัตโนมัติ ชนิดป้องกันไฟฟ้าดูดและลัด

วงจรตามความเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กรณีพบผู้ถูกไฟฟ้าดูดให้รีบหาทางตัดกระแสไฟฟ้า โดยการถอดปลั๊กหรือตัดสะพานไฟโดยทันที หรือใช้วัตถุที่ไม่เป็นสื่อไฟฟ้า เช่น ไม้ เชือก สายยาง พลาสติก หรือผ้าแห้ง ดึง ผลัก หรือจุดผู้ถูกไฟฟ้าดูดให้หลุดออกมาโดยเร็ว ผู้ถูกไฟฟ้าดูดรุนแรงให้ช่วยหายใจและนวดหัวใจ

ไฟไหม้

ไฟไหม้ที่เกิดจากไฟฟ้าเกิดขึ้นจากสาเหตุ 2 ประการคือ ประกายไฟและความร้อนที่สูงผิดปกติ ประกายไฟเกิดขึ้นจากไฟฟ้าลัดวงจร การตัดกระแสไฟฟ้าที่สวิตช์ และหัวต่อหรือหัวขั้วสายไฟหลวม ส่วนความร้อนที่สูงผิดปกติเกิดขึ้นเนื่องจากใช้ฟิวส์ หรือสวิตช์อัตโนมัติไม่เหมาะสม กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเครื่องไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้ามากเกินไปจนเกินกว่าที่กำหนด มอเตอร์ไฟฟ้าทำงานเกินกำลังต่ออุปกรณ์ไฟฟ้ากับสายไฟมากเกินไป หรือแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วมอเตอร์ไฟฟ้าต่ำเกินไป ข้อปฏิบัติในการป้องกันและแก้ไขปัญหาไฟไหม้จากไฟฟ้า มีดังนี้

1. ตรวจสอบดูแลรักษาเครื่องไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอ
2. ในบริเวณที่มีการใช้สารที่ติดไฟง่าย ควรใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ป้องกันประกายไฟที่ทำให้ระเบิดได้
3. เมื่อเกิดไฟไหม้จากไฟฟ้า ให้ตัดวงจรไฟฟ้าที่เข้าห้องปฏิบัติการ หรือเครื่องไฟฟ้าที่ไฟไหม้ แล้วดับเพลิงโดยใช้น้ำยาชนิดที่ไม่เป็นสื่อไฟฟ้า เช่น ผงเคมีแห้ง และชนิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

2.3.2 อันตรายจากรังสี

ปัจจุบันได้มีการใช้สารกัมมันตรังสีและอุปกรณ์ที่ก่อให้เกิดรังสีเพิ่มขึ้นมา ทั้งในงานการศึกษาวิจัย และในการปฏิบัติงานต่าง ๆ สารกัมมันตรังสีที่มีทั้งที่อยู่ในภาชนะปิด (sealed sources) และในรูปของสารเคมีที่อาจเปื้อนต่อผู้ปฏิบัติงานได้ (unsealed sources) และอุปกรณ์ที่ก่อให้เกิดรังสีนั้น อาจจะทำให้รังสีในลักษณะที่เป็นรังสีก่อให้เกิดไอออน (ionizing radiation) ซึ่งทั้งหมดนี้จะมีอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานแตกต่างกันไป

กรณีของสารกัมมันตรังสีนั้น โดยทั่วไปจะมีการแผ่รังสีประเภทก่อให้เกิดไอออนออกมาตลอดเวลา และจะก่อให้เกิดอันตรายจากรังสี ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายอย่างเฉียบพลัน ถ้าสารกัมมันตรังสีนั้นมีความแรงรังสีสูงมาก หรืออาจจะเกิดอันตรายอย่างเรื้อรัง ถ้าความแรงรังสีต่ำ แต่ผู้ปฏิบัติงานได้รับอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน

ห้องปฏิบัติการใด ๆ ที่มีการใช้สารกัมมันตรังสี จะต้องมีการออกแบบห้องให้เหมาะสม เพื่อให้การใช้สารรังสีมีประโยชน์ให้มากที่สุดและเกิดอันตรายทางรังสีน้อยที่สุด ควรจะปรึกษาและขอคำแนะนำจากสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ทั้งในเรื่องการออกแบบห้องปฏิบัติการการใช้สารรังสี การกำจัดกากและการป้องกันอันตรายต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน ฯลฯ

2.3.2.1 ข้อปฏิบัติสำหรับผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการที่ใช้รังสี

1. ต้องรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อยของห้องปฏิบัติการอยู่เสมอ ห้ามสูบบุหรี่ รับประทานอาหารหรือดื่ม และเสริมสวยในห้องปฏิบัติการ
2. ผู้ปฏิบัติงานกับสารกัมมันตรังสีต้องสวมเสื้อคลุมป้องกัน ถ้าจำเป็นต้องสวมรองเท้าพิเศษ และต้องสวมถุงมือที่ทำด้วยยางหรือพลาสติกเมื่อจับหรือถือสารกัมมันตรังสี และเมื่อปฏิบัติงานเสร็จสิ้นแล้วก่อนออกจากห้องปฏิบัติการต้องถอดเสื้อคลุม ถอดถุงมือล้างมือให้สะอาด และตรวจให้แน่ใจด้วยเครื่องมือตรวจสอบทางรังสี สิ่งของที่เปราะเปื้อนสารกัมมันตรังสีต้องรวบรวมเก็บในภาชนะที่จัดไว้โดยเฉพาะ และห้ามสวมเสื้อคลุมและถุงมือเข้าห้องวัดรังสี
3. ผู้ปฏิบัติงานต้องมีฟิล์มบันทึกรังสีส่วนบุคคล (film badge) หรือแบบอื่น ๆ ติดตัวตลอดเวลาที่ปฏิบัติงาน หลังเลิกงานแต่ละวันต้องเก็บในที่จัดไว้โดยเฉพาะ
4. การปฏิบัติงานเกี่ยวกับสารกัมมันตรังสีต้องใช้ภาชนะที่ไม่นำไฟฟ้าและเป็นสนิมกระเบื้องเคลือบ หรือฉาไฟฟ้าเบอร์กลาส บริเวณที่จะเปราะเปื้อนได้ต้องคลุมด้วยกระดาษดูดซับเสมอ อุปกรณ์จำพวกปิเปต และแท่งแก้วสำหรับใช้กวาดต้องไม่วางไว้บนพื้นผิวโต๊ะปฏิบัติการ ควรใช้ภาชนะที่ไม่มีรูพรุน หรือที่สำหรับใช้กวาดต้องไม่วางไว้บนพื้นผิวโต๊ะปฏิบัติการ ควรใช้ภาชนะที่ไม่มีรูพรุน หรือที่สำหรับวางหรือตั้งโดยเฉพาะ ควรหลีกเลี่ยงภาชนะบรรจุที่มีคมและไม่ใช้เครื่องแก้วที่แตก การเคลื่อนย้ายเครื่องมือหรือวัสดุใดออกไปจากห้องต้องได้รับอนุญาตจากผู้ควบคุมห้องปฏิบัติการ และการแก้หรือซ่อมบำรุงเครื่องมือต่าง ๆ ในบริเวณรังสีที่ต้องควบคุมจะกระทำได้ดีก็ต่อเมื่อได้รับการยินยอมจากผู้ควบคุมห้องปฏิบัติการเท่านั้น
5. การปฏิบัติงานควรทำในตู้ดูดควันหรือตู้กระจก (glove box) ให้มากที่สุดก่อนปฏิบัติงานดังกล่าวต้องแน่ใจว่าได้เปิดเครื่องดูดอากาศแล้ว ถ้ามีตู้ดูดควันหลายเครื่องหรือมีฝุ่นกัมมันตรังสีฟุ้งกระจายให้เปิดเครื่องดูดอากาศของตู้ดูดควันทุกเครื่อง
6. ผู้ที่มีแผลตามร่างกายไม่ควรปฏิบัติงานกับสารกัมมันตรังสี ยกเว้นได้รับความยินยอมจากผู้ควบคุมห้องปฏิบัติการ

7. หลีกเลียงการปล่อยน้ำไหลทิ้งโดยไม่จำเป็น ก่อนออกจากห้องปฏิบัติการต้องตรวจว่าได้ปิดก๊อกทุกอันแล้ว

8. ถ้ามีการเปราะเปื้อนจากสารกัมมันตรังสีต้องแจ้งผู้ควบคุมห้องปฏิบัติการ ทราบโดยด่วน

9. ทุกครั้งที่มีการปฏิบัติงานเกี่ยวกับสารกัมมันตรังสีนอกเวลาราชการต้องขออนุญาตจากผู้ควบคุมห้องปฏิบัติการก่อน

หมายเหตุ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์มีบริการฟิล์มบันทึกกัมมันตรังสีส่วนบุคคล (film badge)

2.3.2.2 ข้อควรระวังในการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่ก่อให้เกิดรังสี

สำหรับห้องปฏิบัติการที่มีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ก่อให้เกิดรังสี เช่น เครื่องเอกซเรย์ เครื่องเลเซอร์ และอุปกรณ์ที่ทำให้กำเนิดรังสีอัลตราไวโอเลต อาจจะก่อให้เกิดอันตรายขึ้นได้ เช่น

1. เครื่องเอกซเรย์ เครื่องมือชนิดนี้ก่อให้เกิดอันตรายทั้งจากรังสีและความต้านทานไฟฟ้าสูง ดังนั้น ต้องปฏิบัติตามขั้นตอนการใช้อย่างเคร่งครัด และต้องมีป้ายคำเตือนติดใกล้สวิทช์ที่นำไฟฟ้าเข้าเครื่อง

2. เครื่องเลเซอร์ อันตรายจากเครื่องเลเซอร์แตกต่างกันตามความเข้มของรังสีที่ใช้ อย่างไรก็ตามคำแนะนำทั่ว ๆ ไปในการใช้เครื่องเลเซอร์มีดังนี้

(1) ห้ามมองแหล่งกำเนิดลำแสง (beam source) โดยตรงให้มองโดยผ่านภาพสะท้อนหรือวิธีการทางอ้อมอื่น ๆ ที่ปลอดภัย

(2) ไม่ให้วัตถุที่จะทำให้เกิดการสะท้อนอยู่ภายในแนวลำแสง

(3) บริเวณที่ใช้แสงเลเซอร์ต้องให้แสงสว่างอย่างเพียงพอ แสงสว่างน้อยเกินไปทำให้ตาข่ายตาทำให้อันตรายเพิ่มขึ้น

(4) ใช้แว่นตาป้องกันแสงเลเซอร์ที่เหมาะสม

3. หลอดอัลตราไวโอเลต (UV) อันตรายที่เกิดจากหลอดอัลตราไวโอเลตเกิดขึ้นจากสาเหตุ 2 ประการ

(1) เกิดจากรังสี รังสีอัลตราไวโอเลตสามารถทำลายตาและทำให้ผิวหนังไหม้ และทำให้เกิดมะเร็งที่ผิวหนัง จึงควรใส่แว่นตาที่ดูดแสงอัลตราไวโอเลตได้และระวังมิให้แสงดังกล่าวถูกผิวหนัง

(2) เกิดจากหลอดอัลตราไวโอเลต เมื่อใช้งานนาน ๆ จะเกิดแผ่นฟิล์มที่ดูครั่งสีดง กลาวที่ผิวด้านในของหลอด ทำให้อุณหภูมิสูงเกินกว่าระดับความปลอดภัย จึงควรตรวจสอบอายุการใช้งานของหลอดโดยติดเครื่องวัด (running-time meters) นอกจากนี้หลอดอัลตราไวโอเลตควรอยู่ในโครงที่สามารถป้องกันเศษแก้วแตกกระจายเมื่อเกิดการระเบิดและสามารถป้องกันการรั่วไหลของไอปรอท

2.3.3 อันตรายจากเครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการอาจก่อให้เกิดอันตรายขึ้นได้ ดังนั้น จึงต้องระมัดระวังในการใช้โดยการอ่านคู่มือและปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด

2.3.3.1 ดังแก๊ส การใช้ดังแก๊สอย่างไม่ระมัดระวังอาจทำให้เกิดการระเบิดหรือไฟไหม้ขึ้นได้ เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้ควรคำนึงถึงเรื่องต่าง ๆ ดังนี้

(1) การขนย้ายดังแก๊ส ต้องระมัดระวังมิให้ดังแก๊สกระแทกพื้นอย่างรุนแรงไม่ควรขนย้ายโดยการลากหรือหมุน ควรใช้รถเข็นโดยวางดังแก๊สในตำแหน่งตั้งตรง มีโซ่รัดและมีฝาทครอบถึง

(2) สถานที่เก็บดังแก๊ส ควรอยู่นอกห้องปฏิบัติการ แต่ถ้าจำเป็นต้องเก็บในห้องปฏิบัติการควรวางไว้ใกล้ทางออก บริเวณที่เก็บควรมีอุณหภูมิไม่เกิน 50°ซ. มีอากาศถ่ายเทดีและไม่โดนแสงแดดโดยตรง ดังแก๊สควรมีที่ขีดยึดติดกับผนัง และไม่วางดังแก๊สไวไฟ หรือดังแก๊สที่ทำปฏิกิริยากันไวใกล้กัน แยกดังแก๊สไวไฟห่างจากดังแก๊สประเภทออกซิไดซ์ หรือสารไวไฟอื่น เช่น น้ำมัน สี ตัวทำละลายอย่างน้อย 6 เมตร ในห้องปฏิบัติการควรมีดังแก๊สที่กำลังใช้เท่านั้น

(3) การใช้ดังแก๊สไม่ควรใช้จนหมดถัง ให้เหลือไว้บ้างเพื่อรักษาความดันภายในมิให้ดังแก๊สจากภายนอกเข้าไปปนเปื้อนและไม่ควรเปิดตัวดังแก๊สอย่างรวดเร็ว ถ้าไม่มีตัวควบคุมเพราะจะเกิด static charge ทำให้ดังแก๊สบางชนิดติดไฟ เมื่อใช้ดังแก๊สหมดให้ปิดวาล์วแล้วติดฉลากระบุว่างหมด และควรแยกเก็บจากถังที่มีดังแก๊สเต็มเพื่อป้องกันความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นและปิดดังแก๊สให้สนิทหลังจากใช้ทุกครั้ง

(4) การตรวจสอบแก๊สรั่วให้ใช้น้ำสบู่ ห้ามใช้เปลวไฟ หากพบดังแก๊สรั่วให้ปิดวาล์วนำดังแก๊สออกไปยังที่ถ่ายเทอากาศดี และห่างจากแหล่งติดไฟ จากนั้นติดต่อผู้ผลิต และต้องมีการตรวจสอบสภาพของถังดังแก๊สด้วย

(5) อย่าต่อท่อแก๊สจากถังไปยังขวดปฏิกิริยาคอยตรง ควรมี (trap) อยู่ระหว่างกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(6) ใช้ regulator ที่เหมาะกับถังและชนิดของแก๊สในถัง และตรวจสอบความแน่นชำอย่างน้อยปีละครั้ง

(7) regulator ที่ใช้กับออกซิเจนต้องไม่เปื้อนน้ำมัน และไม่นำ regulator ที่ใช้กับแก๊สอื่นมาใช้กับออกซิเจน

(8) regulator มิได้มีไว้เพื่อปิดไม่ให้แก๊สออกจากถัง แต่เป็นตัวควบคุมความดันของแก๊สที่ออกมา เวลาปิดแก๊สจึงควรปิดที่วาล์ว มิฉะนั้น แก๊สจะซึมผ่าน regulator ออกมาทำให้เกิดความดันขึ้นภายในภาชนะ

2.3.3.2 เครื่องให้ความร้อน

(1) หม้อนึ่งความร้อน (autoclaves) อาจเกิดระเบิดขึ้นได้ ถ้าใช้อย่างไม่ถูกต้อง การใส่ของเหลวในขวดที่นำไปนึ่งไม่ควรใส่เกินร้อยละ 75 ของปริมาตรขวด และไม่ควรปิดขวดให้แน่น ตั้งวาล์วความดันไม่ให้เกินความดันที่ระบุ ก่อนเปิดเครื่องต้องรอให้ความดันลดลงก่อนโดยแจ้งประตูปเป็นเวลา 5 นาที การนำขวดหรือภาชนะออกจากหม้อนึ่งความดันให้ใช้ถุงมือกันความร้อน ไม่ควรเปิดขวดหรือภาชนะดังกล่าวจนกว่าอุณหภูมิเย็นลง และควรตรวจสอบท่อระบายน้ำเพื่อป้องกันการอุดตัน

(2) ตู้อบไมโครเวฟ (microwave) อาจเกิดระเบิดหรือไฟไหม้ขึ้นได้หากใช้อย่างไม่ระมัดระวัง การนำขวดหรือภาชนะอื่นใดใส่ในตู้อบไมโครเวฟ จะต้องไม่ปิดฝาขวดให้แน่นและการใช้สาลิปิดจุกขวดต้องระมัดระวัง เนื่องจากสาลิปิดอาจถูกดูดขึ้นไปติดที่ผนังเตา ทำให้เกิดไฟไหม้ขึ้นได้

2.3.3.3 เครื่องให้ความเย็น

(1) ตู้เย็นและตู้แช่แข็ง อันตรายจากตู้เย็นและตู้แช่แข็งมักเกิดจากไฟฟ้าดูด การระเบิด และการปนเปื้อน ตู้เย็นและตู้แช่แข็งต้องมีสายต่อลงดินเสมอ ตู้เย็นที่ใช้เก็บสารทำละลายไวไฟต้องมีอุปกรณ์ป้องกันประกายไฟ และสารเคมีที่เก็บจะต้องห่อหุ้มและติดฉลากเป็นอย่างดี ตู้เย็นประเภทที่ละลายน้ำแข็งในตัวไม่ควรนำมาใช้ในการเก็บสารทำละลายไวไฟ เพราะประตูดของตู้เย็นมี heating wires อยู่ นอกจากนี้ห้ามนำอาหารมาเก็บในตู้เย็นและตู้แช่แข็งดังกล่าว

(2) Cooling bath อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ถ้าใช้สารเคมีให้ความเย็นไม่ถูกต้อง สารเคมีที่ให้ความเย็นร่วมกับน้ำแข็งแห้ง ได้แก่

- acetone

- ethylene glycol หรือ propylene glycol และน้ำในอัตราส่วน 3:2 และเติม isopropyl alcohol (2,5,6)
- butanone (1,3,5,6)
- isopropyl alcohol (3,5,6)
- *Isopar L (6)
- glycol ethers (2,5,6) บางตัว

(3) ของเหลวเย็นเยือก (cryogenic fluids)

ของเหลวเย็นเยือก เช่น อากาศเหลว ไนโตรเจนเหลว หรือ ออกซิเจนเหลว ใช้ในการให้ความเย็นขนาดอุณหภูมิต่ำกว่า -80°C . เป็นอันตรายต่อผิวหนังและตา แม้เมื่อได้รับเป็นระยะสั้น ไฟและการระเบิดอาจเกิดขึ้นได้จากออกซิเจนเหลว และไฮโดรเจนเหลวที่ระเหยออกมา วัสดุที่โดยปกติไม่ลุกติดไฟอาจจะถูกติดไฟได้ ถ้ามีออกซิเจนกลั่นตัวปกคลุมผิวของวัสดุนั้นมากพอ การระเหยอย่างรวดเร็วของของเหลวเย็นเยือกสามารถทำให้บรรยากาศรอบ ๆ ขาดออกซิเจนได้ และต้องระลึกเสมอว่าก๊าซเหลวเพียงเล็กน้อยจะสามารถขยายตัวได้หลายเท่า เมื่อเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊ส และเกิดความกดดันเพิ่มขึ้น ทำให้ภาชนะบรรจุระเบิดได้

ข้อควรปฏิบัติ

1. สวมถุงมือ (insulated gloves) หน้ากาก/แว่นนิรภัย และเสื้อคลุมเมื่อมีการใช้ของเหลวเย็นเยือก ไม่ควรสวมใส่หน้ากาก และเครื่องประดับโลหะ ระวังการเคี้ยวกระเด็นเวลาถ่ายเท
2. บริเวณที่เก็บหรือใช้ของเหลวเย็นเยือก ควรมีอากาศถ่ายเทได้ดี เพื่อป้องกันการระเบิดหรือสภาวะขาดออกซิเจน
3. การเติมของเหลวเย็นเยือกหรือการหย่อนภาชนะลงในของเหลวเย็นเยือก ต้องทำอย่างช้า ๆ เพื่อลดการเคี้ยวกระเด็น
4. ภาชนะที่ใส่ของเหลวเย็นเยือกต้องอยู่ห่างจากแหล่งความร้อน
5. เมื่อใดที่ใช้ของเหลวเย็นเยือก จะมีการเปลี่ยนแปลงความกดดันของอากาศเกิดขึ้น จำเป็นต้องระมัดระวังในการปรับความดันภายในอุปกรณ์ทุกครั้ง โดยการเปิดฝาภาชนะหรือ trap
6. ให้ดูอากาศออกจากเครื่องมืออุปกรณ์ที่จะใช้ก่อนเติมในโตรเจนเหลวลงใน trap เพราะถ้าอากาศควบแน่นขังอยู่ในเครื่องมือออกซิเจนเหลวที่มีอยู่จะเป็นอันตรายได้
7. เมื่อใดที่ใช้ของเหลวเย็นเยือก ต้องเปิดให้แก๊สสามารถสืดลอดออกไปได้เพื่อลดความดัน

2.3.3.4 เครื่องมือที่ใช้แก๊ส

(1) เครื่อง atomic absorption อาจเกิดระเบิด เนื่องจากแก๊สรั่ว จึงต้องมีอุปกรณ์สำหรับดูดแก๊สที่ออกจาก burner โดยเฉพาะเมื่อใช้ในตรัสออกไซด์ และอะเซทิลีน และต้องคอยตรวจสอบการรั่วไหลของแก๊สอยู่เสมอ

2.3.3.5 เครื่องอื่น ๆ

(1) เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifugation) อาจเกิดการระเบิดได้เมื่อกลไกชำรุดวางไม่เหมาะสมและเสียดสีสมดุล และในกรณีที่ใช้งานเกี่ยวกับเชื้อโรคถ้าหลอดแก้วแตกอาจแพร่เชื้อได้ ดังนั้น เครื่องหมุนเหวี่ยงจึงควรวางในที่เรียบและอยู่ในสมดุล มีอุปกรณ์ล็อกอัตโนมัติและฝาปิดขณะใช้งานต้องปิดสนิท

(2) เครื่องมือสุญญากาศ (vacuum equipment) อาจเกิดระเบิดขึ้นได้เช่นเดียวกัน การใช้เครื่องมือสุญญากาศควรสวมแว่นตานิรภัยทุกครั้งและควรใช้เทปพันภาชนะที่เป็นแก้ว เพื่อป้องกันการระเบิด เครื่องแก้วที่ใช้ต้องเป็นชนิดหนา กันลมไม่มีรอยแตกหรือร้าว สำหรับงานลดความดันที่ใช้ Buchner flasks กันแบน และก่อนแยกเครื่องมือออกจากกันให้ลดความดันอย่างช้า ๆ

2.3.4 อันตรายจากชีววัตถุ (biological hazard)

2.3.4.1 สัตว์ทดลอง

สัตว์ทดลองที่ได้รับเชื้อมีอันตรายอย่างแรงต่อคน อาจไม่มีอาการผิดปกติให้เห็นได้และเพื่อความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสัตว์และเชื้อโรค ควรมีประตู 2 ชั้น (ประตูกักอากาศ) เพื่อลดอันตรายจากการแพร่กระจายของเชื้อโรค

อันตราย

สัตว์ทดลองที่ใช้ทดลองกับสารเคมีอันตราย เช่น สารพิษ หรือสารก่อมะเร็ง และเชื้อโรคอาจก่อให้เกิดพิษและติดเชื้อโรคได้

ข้อปฏิบัติ

1. เปลี่ยนรองเท้าและเสื้อกันเปื้อนก่อนเข้าหรือออกบริเวณสัตว์ทดลอง
2. บริเวณเลี้ยง กักกัน หรือทดลองสัตว์ต้องมีอุปกรณ์ป้องกันแมลงและสัตว์จากภายนอก หากพบสัตว์จากภายนอกเข้าไปได้ต้องบันทึกเพื่อติดตามอาการผิดปกติของสัตว์ทดลองและปิดกั้นหรือทำลายช่องทางที่สัตว์อื่นจะเข้าไปได้

3. ล้างมือทุกครั้งหลังจับสัตว์ทดลอง
4. ไม่สัมผัสสัตว์ที่ป่วยหรือตายโดยไม่ทราบสาเหตุจนกว่าจะรายงานผู้ดูแล
5. สัตว์เลี้ยงหลังการทดลองต้องกำจัด โดยเผาซากทิ้งในเตาเผา
6. หากมีแผลหรือรอยขีดข่วน เกิดขึ้นที่ผิวหนังหลังจับสัตว์ ควรรีบคัดเลือดล้างน้ำ และสบู่ แล้วใส่ยาฆ่าเชื้อทันที
7. ผู้ที่ทำงานประจำในห้องสัตว์ทดลองควรได้รับภูมิคุ้มกันเชื้อบาดทะยัก และเชื้ออื่น หากจำเป็น
8. การทำความสะอาดห้องต้องระวังการกระเด็นของเชื้อครจากสิ่งขับถ่ายของสัตว์ สิ่งขับถ่ายแยกไว้เพื่อนำไปทำลาย

2.3.5 ชนิดของสี วัสดุพื้นและวัสดุสำหรับพื้นผิว

2.3.5.1 ชนิดของสีทาผนังและเพดาน

คุณสมบัติของสีทาผนังจะแตกต่างกันตามองค์ประกอบของสารเคมี สีที่ทาแล้วทำความสะอาดได้ง่าย ได้แก่ สีที่มีความเงา (Gloss finishes) เพราะมีสัดส่วนของเม็ดสี (pigment) น้อยและผิวเรียบไม่เป็นรู สีที่มีความคงทนต่อสารเคมีและใช้กันมากในห้องปฏิบัติการ ได้แก่

1. chlorinated-rubber-based paints เป็นส่วนผสมของ chlorinated rubber และ plasticising resins สารที่ใช้เป็น plasticisers ต้องเป็นสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมี ทำให้คงทนต่อสารเคมี สีดังกล่าวมีความคงทนต่อสารละลายส่วนใหญ่ได้ดี แต่มักละลายหรืออ่อนตัว (soften) ในสารละลายเหลวบางชนิด อุณหภูมิสูงสุดในสภาพการทำงานอย่างต่อเนื่อง เท่ากับ 60°ซ.

2. epoxy-resin-based paints มีความคงทนต่อต่างและสารละลายอินทรีย์หลายชนิด แต่จะทำให้พื้นผิวไม่เรียบ (blister) เมื่อสัมผัสกับน้ำบริสุทธิ์ และจะถูกทำลายโดยกรดแร่ (mineral acids) เข้มข้น นอกจากนี้สีดังกล่าวมีความคงทนต่อการถลอก และอุณหภูมิสูงสุดในสภาพการทำงานอย่างต่อเนื่อง เท่ากับ 90°ซ.

3. polyurethane paints มีส่วนผสมมากมายหลายชนิด ดังนั้น คุณสมบัติจะแตกต่างกันไป แต่โดยรวมแล้วมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับ epoxy-resin-based paints

2.3.5.2 ชนิดวัสดุสำหรับพื้น

วัสดุที่นิยมใช้สำหรับพื้นในห้องปฏิบัติการโดยทั่วไป ได้แก่

1. แผ่นไวนิล (vinyl sheel) ควรใช้ชนิดแผ่น ไม่ควรใช้ชนิดกระเบื้องยาง เนื่องจากมีรอยต่อมาก แผ่นไวนิลนี้มีคุณสมบัติในการลดการปนเปื้อนได้ดีเมื่อมีโพลีไวนิล ร้อยละ 50 หรือไม่ควรต่ำกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้พบว่ามีความสมบัติโค้งงอ เมื่อเชื่อมต่อระหว่างผนังและพื้น และสามารถเชื่อมรอยต่อผนวหรือวัสดุอุปกรณ์ที่ยึดติดกับพื้นได้ดีโดยวิธีการพ่นอากาศร้อน (hot-air process) แต่ไม่ควรใช้ร่องอุปกรณ์ที่มีน้ำหนักมากหรือทำให้หลุดลงง่าย และจะอ่อนตัวเมื่อสัมผัสสารอินทรีย์เหลว (organic liquid) เป็นเวลานาน ๆ
2. พรหมน้ำมันปูพื้น (linoleum) หากเป็นพรหมน้ำมันที่ผสมไม้ก๊อกปนที่มีคุณสมบัติดี อาจนำมาใช้ในห้องปฏิบัติการได้ ข้อเสียคือคงอยากรู้ปัญหาของรอยต่อ ไม่แนะนำให้ใช้ในห้องซึ่งล้างทำความสะอาดด้วยสารฆ่าเชื้อ (disinfectant) อยู่เสมอ
3. กระเบื้องเซรามิกแก้ว (vitreous ceramic tiles) มักใช้ในห้องสัตว์ทดลอง และ pilot plants พื้นผิวที่เคลือบแก้วต้องสม่ำเสมอเพื่อลดการดูดซับน้ำ คุณสมบัติในการลดการปนเปื้อนไม่ลดลงแม้ผิวจะถูกลอก
4. เรซินสังเคราะห์ (synthetic resin screeds) screeds ซึ่งประกอบด้วย อีพอกไซด์ (epoxide) และโพลีเอสเตอร์เรซิน และมี fillers ประเภทซิลิกา และอลูมิเนียม เป็นวัสดุสำหรับพื้นที่มีคุณสมบัติเป็นที่น่าพอใจ โดยเฉพาะเมื่อรองของหนักและเมื่อพื้นที่ไม่เรียบ นอกจากนี้คุณสมบัติในการลดปนเปื้อนไม่ลดลง แม้ผิวจะถูกลอกและสามารถดัดโค้งได้
5. ยางอัสปัลต์ (mastic asphalts) ยางอัสปัลต์ประกอบด้วยองค์ประกอบ 2 ชนิดคือ rock aggregate และ bituminous binder ซึ่งมีผลให้คุณสมบัติแตกต่างกัน คุณสมบัติโดยทั่วไปทนทาน (hard-wearing) ไม่เกาะฝุ่น (dustless) ไม่ลื่น (non-slip) และไม่ยอมให้น้ำผ่านหากประกอบด้วย siliceous aggregate และ binder ที่มีความคงทนต่อสารเคมี จะมีความคงทนต่อกรดและด่างอ่อน ปกติใช้ปูพื้นหนา 20 ซม. ข้อเสียคือ เสียรูปทรงเมื่อรับของหนักเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิทำปฏิกิริยาต่อน้ำมันและสารทำละลาย และล้างสารปนเปื้อนในเนื้ออัสปัลต์ออกยาก

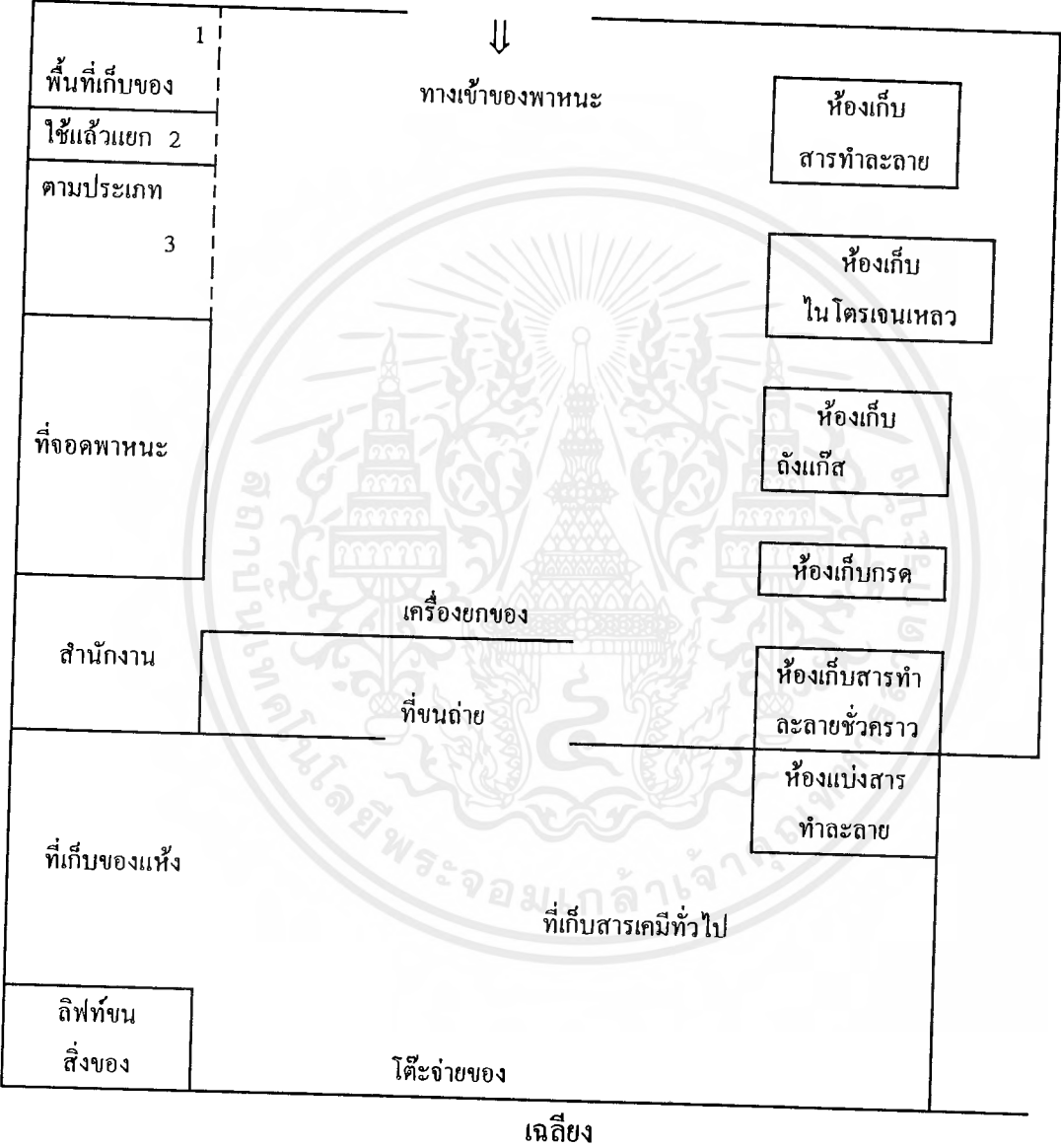
2.3.5.3 ชนิดวัสดุสำหรับพื้นผิวโต๊ะปฏิบัติการ

1. เคลือบเมลามีน (melamine resin plastics laminate) เช่น ฟอร์ไมกา (Formica) ซึ่งทนความร้อนได้ถึง 154°ซ. ควรใช้วัสดุกันน้ำเป็นพื้นรองรับ เช่น ไม้อัดที่เคลือบเรซิน และเชื่อมต่อกับพื้นผิวการทำงานด้วยกาวเรซิน

2. แผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl-chloride) ตัวอย่างเช่น Darvic ทนอุณหภูมิในช่วง -30°C . ถึง 60°C . ไม่เหมาะที่จะวางของร้อน ๆ และเมื่อโดนไฟอาจหลอมละลายและเผาไหม้ให้เกิดที่มีฤทธิ์กัดกร่อน นอกจากนี้มีลักษณะค่อนข้างอ่อนเป็นรอยถลอกง่าย
3. เหล็กสแตนเลสชนิด FMD grade stainless steel เหมาะสำหรับพื้นที่ซึ่งให้ใช้เหล็กได้ทนทานต่อสารเคมีได้ดีกว่าสแตนเลสที่ใช้ในบ้านทั่ว ๆ ไป แต่อาจถูกทำลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกและสารเคมีบางชนิด
4. เรซินเสริมใยแก้ว (glass-fibre-reinforced resin) เช่น bisphenol polyester resin สามารถหลอมเป็นรูปร่างได้และใช้ในอุณหภูมิสูงถึง 95°C . แม้จะอ่อนตัวที่ 135°C . เป็นตัวต้านไฟ (fire-retardant) แต่อาจไหม้ไฟแล้วให้ควันที่มีฤทธิ์กัดกร่อน
5. โพลีโพรไพลีน (polypropylene) อาจหลอมและอ่อนตัวที่อุณหภูมิ 145°C . มีคุณสมบัติทนทานต่อสารเคมี จึงหากาวติดที่เหมาะสมยาก วัสดุนี้ไม่ทนไฟและเมื่อติดไฟจะเผาไหม้ นอกจากนี้ยังทนการขีดข่วนหรือเป็นรอยถลอกได้น้อยกว่าโพลีไวนิลคลอไรด์

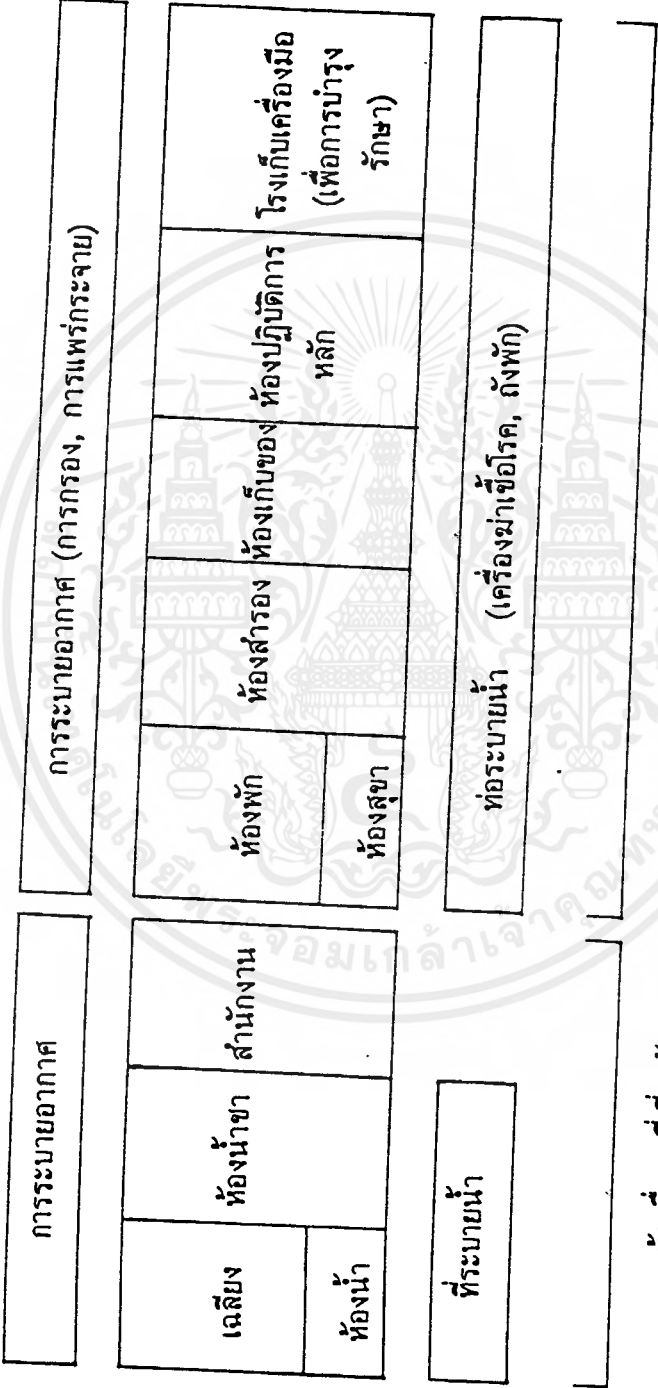
ภาพที่ 38
แสดงตัวอย่างผังห้องปฏิบัติการ

ก. สถานที่เก็บสารเคมี (สำหรับห้องปฏิบัติการขนาดใหญ่)



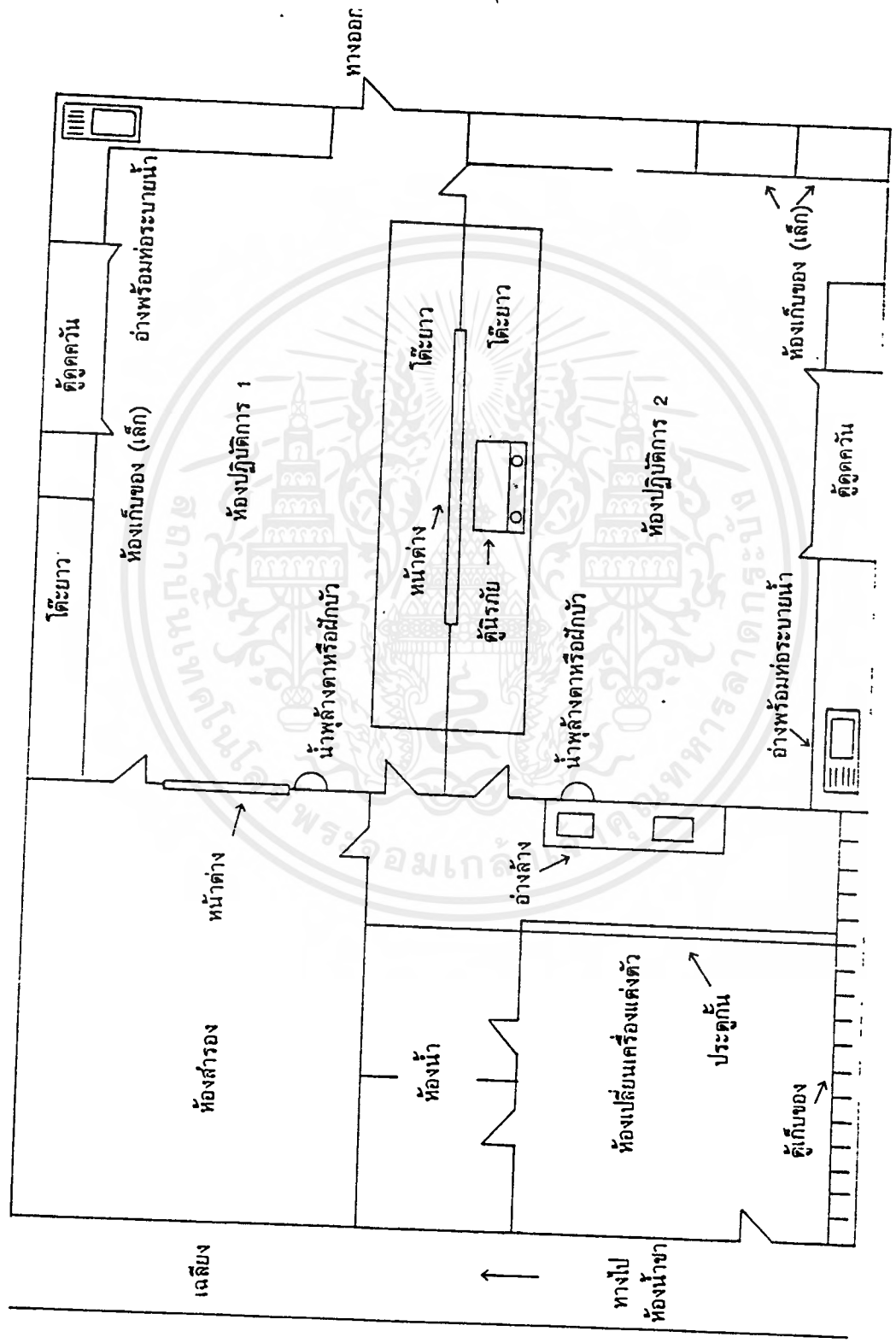
ที่มา : Everett K.,Hugher D.1975. A Guide to Laboratory design. Cold Composition Ltd.,
Tunbridge Wells, Kent, England. P. 5-9.

ภาพที่ 39
แสดงผังการจัดห้องปฏิบัติการทั่วไป



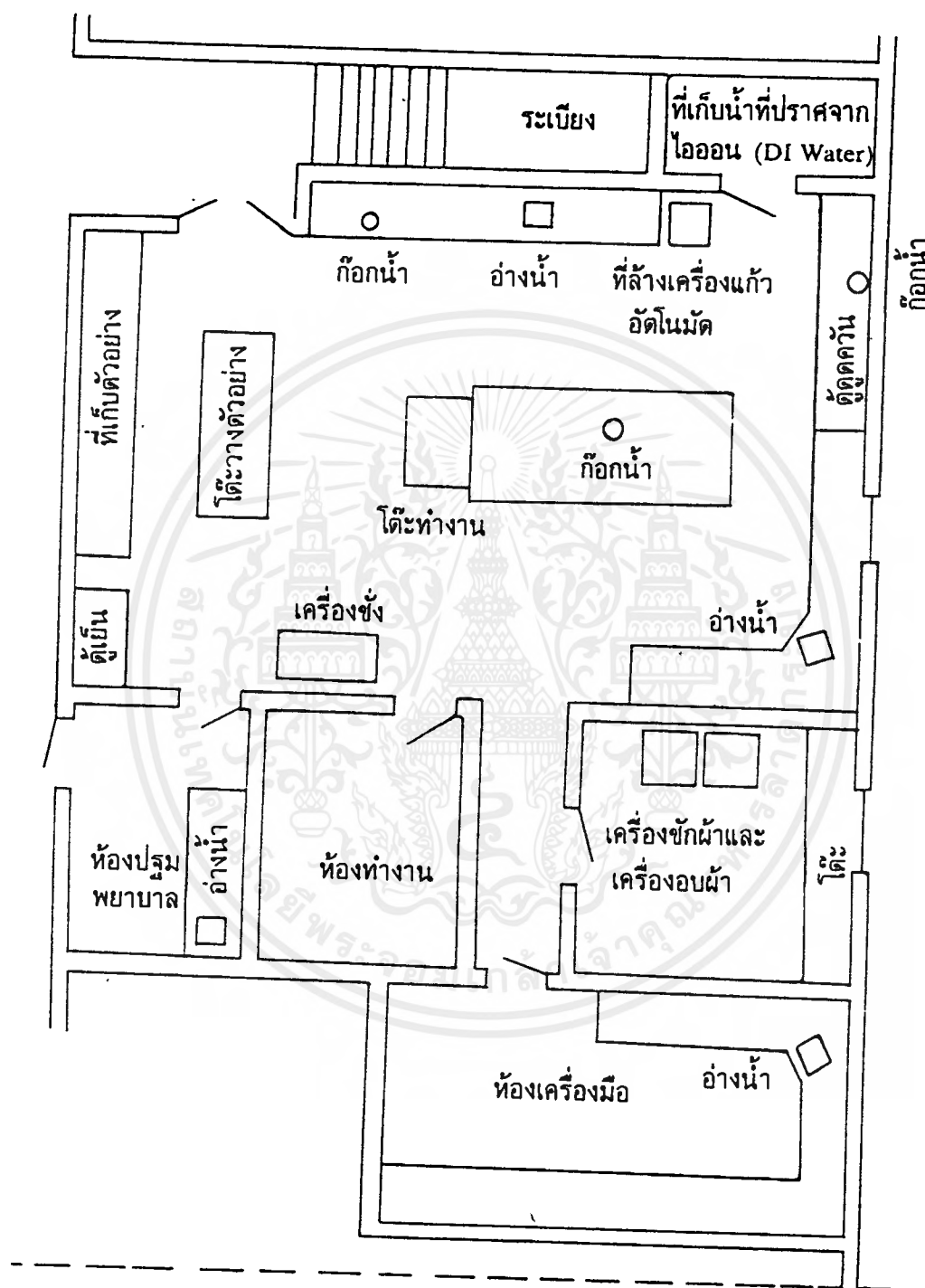
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 40
แสดงการจัดห้องปฏิบัติการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

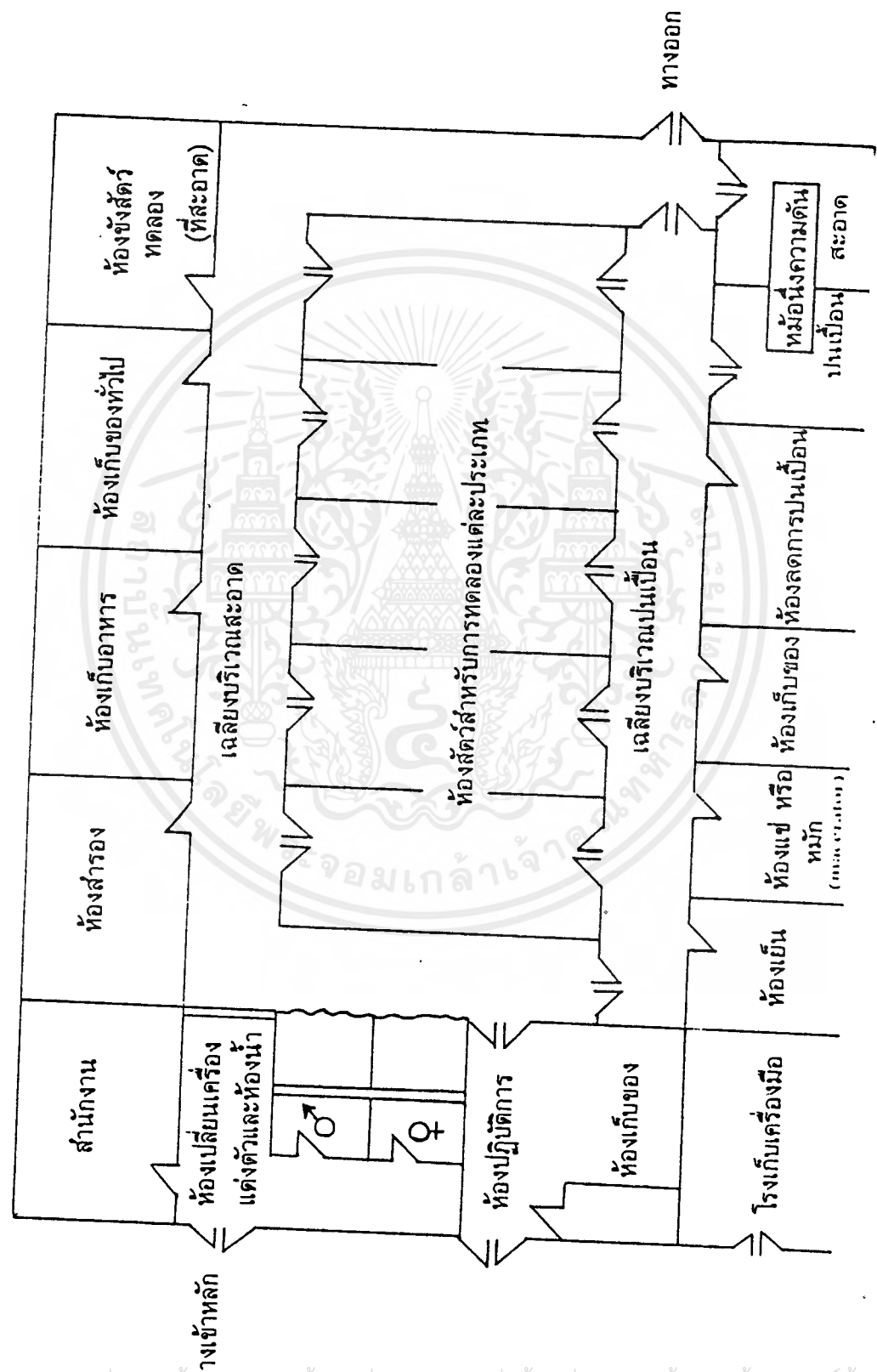
ภาพที่ 41
ห้องปฏิบัติการทั่วไป¹



¹ เจริญ วัชรรังษี, ห้องปฏิบัติการสารเคมีที่ถูกต้องหลักวิชา ในเอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการเชิงปฏิบัติการเรื่อง อันตรายจากสารเคมีและการป้องกัน, 2534.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 42
แสดงห้องปฏิบัติการสำหรับสัตว์ทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 การระบายอากาศทั่วไป

ก. การคำนวณ

$$\text{อัตราการดูด (extraction rate)} = \frac{2.4 \times 10^7 \times (\text{อัตราการระเหยเป็น ก.ก./นาที่}) \times H}{(\text{น้ำหนักโมเลกุล}) \times \text{TLV หน่วย พีพีเอ็ม}} \quad \text{ม}^3/\text{นาที่}$$

เมื่อ H = safety factor ซึ่งขึ้นกับสภาพการระบายอากาศของห้องและความเป็นพิษของสารเคมีที่ใช้ ดังนี้

ความเป็นพิษ*	ระบายอากาศ ไม่ดี	ระบายอากาศ ปานกลาง	ระบายอากาศ 4ดี	ระบายอากาศ ดีมาก
ต่ำ	7	4	3	2
ปานกลาง	8	5	4	3
สูง	11	8	7	6

* ค่าความเป็นพิษพิจารณาจากค่า TLV (Threshold limit values) โดยความเป็นพิษต่ำ ค่า TLV มากกว่า 500 พีพีเอ็ม (โดยปริมาตรในอากาศ) ความเป็นพิษปานกลาง ค่า TLV อยู่ระหว่าง 101-500 พีพีเอ็ม และความเป็นพิษสูง ค่า TLV น้อยกว่า 101 พีพีเอ็ม

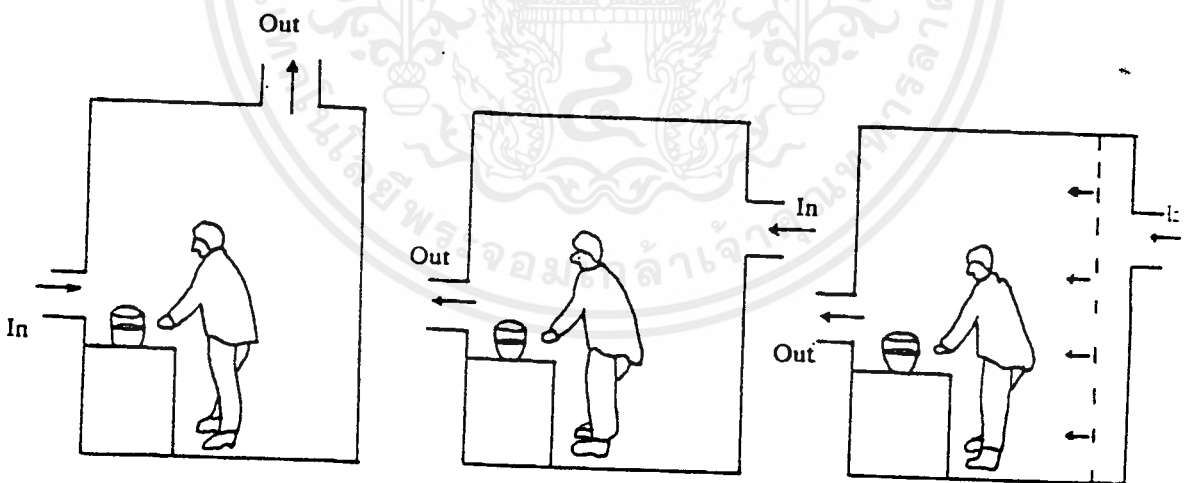
ตัวอย่างการคำนวณ

- ห้องปฏิบัติการใช้ benzene ซึ่งมีพิษสูง
 - การระบายอากาศใช้ $H = 7$
 - ขนาดห้อง 50 ม^3
 - อัตราการระเหย $0.1 \text{ มล./นาที่} = 8.794 \times 10^{-5} \text{ ก.ก./นาที่}$
 - กำหนดความเข้มข้นสูงสุดของ benzene ในห้องปฏิบัติการไม่เกิน 25 พีพีเอ็ม
- $$\text{อัตราดูด} = \frac{2.4 \times 10^7 \times (8.794 \times 10^{-5})}{(78.00) (25)} \text{ ม}^3/\text{นาที่}$$
- $$= 7.57 \text{ ม}^3/\text{นาที่}$$

ต้องระบายอากาศ = $454.2 \text{ ม}^3/\text{ชม.}$ หรือประมาณ 9 เท่าของห้องต่อชั่วโมง

ข. ตัวอย่างการระบายอากาศ¹

แสดงการระบายอากาศโดยการนำอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้ามาภายในห้องปฏิบัติการ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากสารเคมีขณะปฏิบัติงาน ในภาพแสดงถึงระบบการระบายอากาศที่ไม่ดี ดี และดีมาก ตามลำดับ ในแต่ละภาพจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่ทำให้เกิดการปนเปื้อน ผู้ปฏิบัติงานและทิศทางการนำอากาศบริสุทธิ์เข้ามา



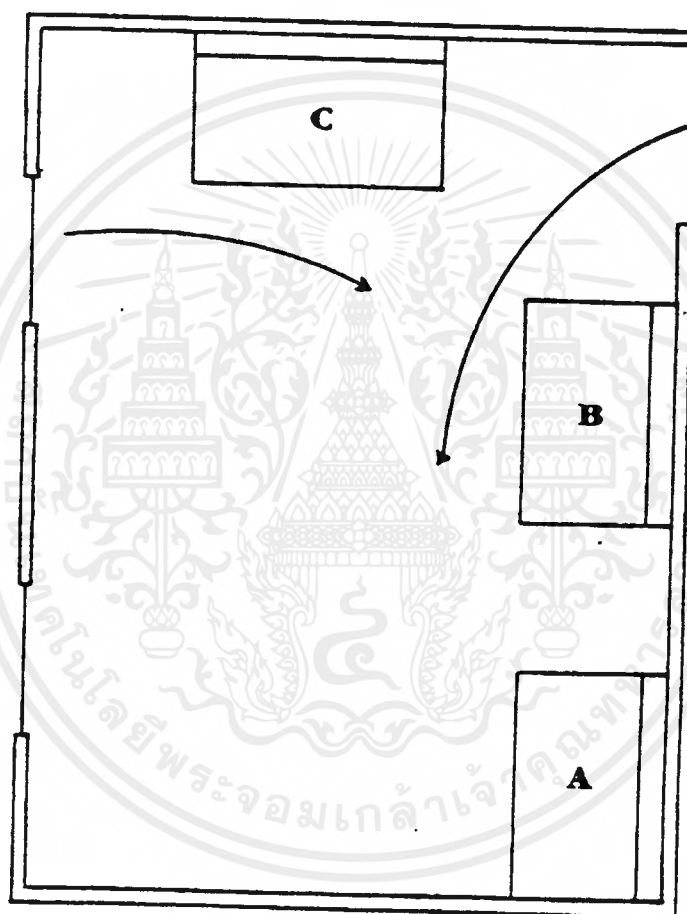
การระบายอากาศไม่ดี

การระบายอากาศดี

การระบายอากาศดีมาก

¹ Everett, K. and Hughes, D.A. Guide to Laboratory Design. Butterworths London and Boston, 1975.

ภาพที่ 43
แสดงการวางตำแหน่งตู้ดูดควัน¹

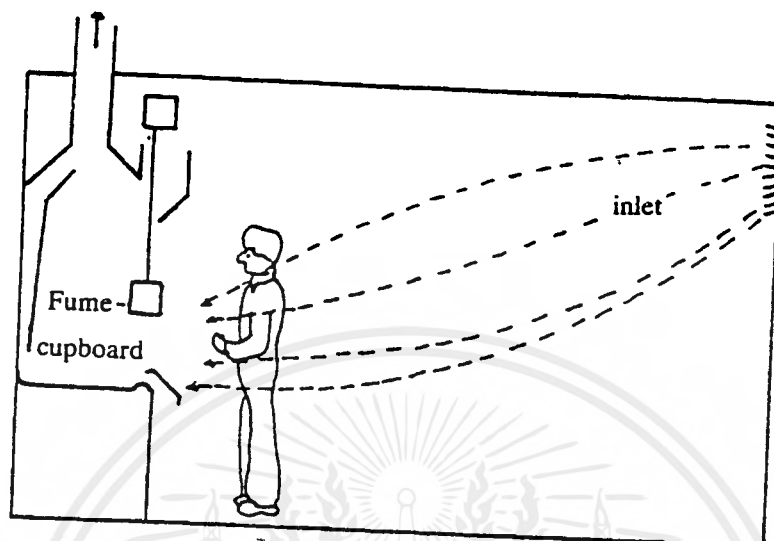


ภาพแสดงตำแหน่งของตู้ดูดควัน
ตำแหน่ง A เป็นตำแหน่งที่ดีที่สุด ตำแหน่ง B และ C เป็นตำแหน่งที่ไม่ดี

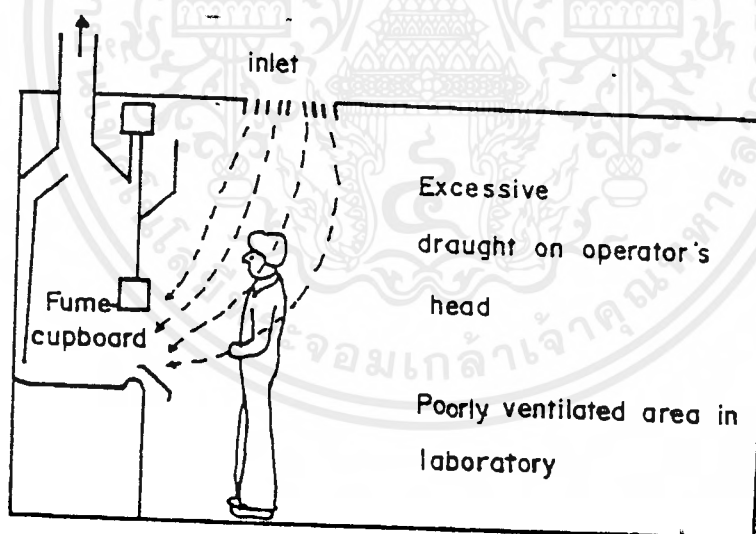
¹ Horman V. Steere, Safety in the Chemical Laboratory Journal of Chemical Education, 1974.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 44
แสดงการระบายอากาศ



ภาพแสดงการระบายอากาศที่ดี กล่าวคือความเร็วของอากาศ บริเวณจุดที่ปฏิบัติงานไม่
มากเกินไป และอากาศถ่ายเทได้ทั่วทั้งห้อง



ภาพแสดงการระบายอากาศที่ไม่ดี กล่าวคือ ความเร็วของอากาศบริเวณที่ปฏิบัติงาน
มากเกินไป และมีมุมที่อับอากาศภายในห้อง

ที่มา : Everett, K. and Hughes, D.A. Guide to Laboratory Design. Butterworths London and
Boston, 1975.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เครื่องเอ็กซเรย์กับงานรังสีเทคนิค

ในปัจจุบันมีเครื่องเอ็กซเรย์ที่ใช้งานอยู่หลายชนิดแบ่งตามค่า kV ได้ 2 ประเภท คือ
kV สูง ใช้สำหรับงานแพทย์

kV ต่ำ ใช้กับงานด้านอุตสาหกรรมและเอ็กซเรย์วัตถุที่มีความหนาไม่มาก

รูปแบบเครื่องเอ็กซเรย์มีมากมาย เช่น

ภาพที่ 45

แสดงเครื่องเอ็กซเรย์แบบเคลื่อนที่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 46
แสดงภาพเครื่องเอ็กซเรย์ปลา



ภาพที่ 47
แสดงภาพเครื่องเอ็กซเรย์ kV สูง

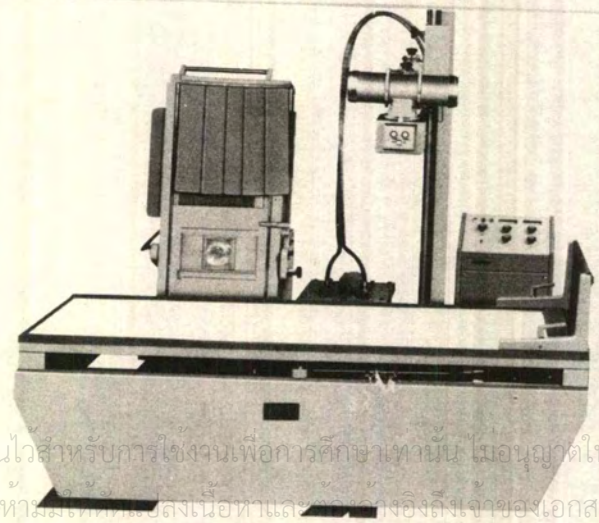


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 48
แสดงภาพเครื่องเอ็กซเรย์ปลา
บริษัท SOFTEX ประเทศไทย จำกัด



ภาพที่ 49
แสดงภาพเครื่องเอ็กซเรย์ kV สูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 หลักของการเกิดและคุณสมบัติของรังสีเอ็กซ์¹

รังสีเอ็กซ์เป็นการสั่นสะเทือนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงมีหลักการเช่นเดียวกับคลื่นแสง, คลื่นความร้อนและคลื่นวิทยุ จะแตกต่างกันที่ความถี่ของคลื่นแต่ละชนิดเท่านั้น รูปที่ 1.1 แสดงรังสีชนิดต่าง ๆ ในช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีความยาวคลื่นเป็นมิลลิเมตร รังสีเอ็กซ์มีความยาวคลื่น $5-0.01 \text{ \AA}$

ต้นตอและการเกิดรังสีเอ็กซ์

เมื่อใดก็ตามที่อิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงไปกระทบกับวัตถุและความเร็วถูกทำให้ลดลง จะทำให้เกิดรังสีเอ็กซ์ขึ้น ช่วงคลื่นของรังสีเอ็กซ์ขึ้นอยู่กับความเร็วของอิเล็กตรอนซึ่งวิ่งไปกระทบเป้า และยังขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่เป็นเป้าด้วย

รังสีเอ็กซ์อาจเกิดจากวิธีการทางกัมมันตรังสีอีกด้วย พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างรังสีเอ็กซ์และรังสีแกมมา นอกจากมีต้นตอที่แตกต่างกันเท่านั้น กล่าวโดยทั่วไปรังสีที่ปล่อยจากนิวเคลียสของอะตอมเรียกว่า รังสีแกมมา และรังสีที่ปล่อยออกจากส่วนภายนอกนิวเคลียส เรียกว่า รังสีเอ็กซ์

คลื่นรังสีเอ็กซ์

คลื่นรังสีเอ็กซ์แผ่กระจายออกเป็นเส้นตรง หักเหไม่ได้และไม่สามารถทำให้เข้มข้นหรือสะท้อนโดยเลนส์หรือกระจกได้ รังสีที่เกิดจากหลอดเอ็กซ์เรย์คล้ายกับแสง ก็อาจมีพลังงานแตกต่างกันได้ ทั้งนี้เนื่องจากความจริงที่ว่าอิเล็กตรอนที่ไปกระทบแอโนด ถึงแม้จะมีความเร็วเท่ากัน แต่ก็สามารถจะให้พลังงานที่แตกต่างกันได้ เมื่อใช้ศักย์ไฟฟ้าที่แอโนดสูงสุด จะได้อิเล็กตรอนที่มีความเร็วมากที่สุด รูปที่ 1.2 เป็นความเข้มของรังสีเอ็กซ์ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับกิโลโวลต์ เมื่อศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะมีขอบเขตของช่วงคลื่นกว้างขึ้น และจะเคลื่อนเข้าไปหาช่วงคลื่นที่สั้นลง อีกทั้งช่วงคลื่นที่ปล่อยรังสีที่มีความเข้มมากที่สุดก็เคลื่อนไปในทิศทางนี้ด้วย รังสีเอ็กซ์ที่ใช้ในการวินิจฉัยโรคจะมีรังสีที่ปล่อยออกมาหลายช่วงคลื่น

¹ ชูศักดิ์ เวชแพทย. วิชาเครื่องเอ็กซ์เรย์ ; ม. มหิดล. 2524.

คุณสมบัติที่สำคัญของรังสีเอ็กซ์

คุณสมบัติของรังสีเอ็กซ์ที่มีประโยชน์มากในด้านการวินิจฉัยโรคและการรักษา มีดังต่อไปนี้

1. มีอำนาจการทะลุทะลวง (Penetrating power)
2. มีผลทำให้สารต่าง ๆ เปล่งแสงได้ (Luminous effect)
3. มีผลทำให้ถ่ายรูปได้ (Photographic effect)
4. มีผลทำให้ก๊าซไอออไนซ์ได้ (Ionizing effect)
5. มีผลในทางชีววิทยา (Biological effect)

รายละเอียดเกี่ยวกับคุณสมบัติของรังสีเอ็กซ์นั้นมีมากมาย แต่ในที่นี้จะกล่าวพอเป็นสังเขป เพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับผู้สนใจทางด้านวิชาเครื่องเอ็กซเรย์เท่านั้น

อำนาจการทะลุทะลวง

ผลต่อสสาร

อำนาจการทะลุทะลวงของรังสีเอ็กซ์มีมาก เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของแสง อาจแบ่งสารออกเป็น 2 ชนิดคือ สารทึบแสงและสารโปร่งแสง แม้แต่สารที่มีขนาดบางก็สามารถกันลำแสงไว้ได้ เช่น แผ่นกระดาษ เป็นต้น แต่เมื่อก้าวถึงรังสีเอ็กซ์ สามารถกล่าวได้ว่ารังสีเอ็กซ์ผ่านทะลุสารทุกอย่างได้ แตกต่างกันอยู่ที่ความหนาแน่น การให้ผ่านของรังสีเอ็กซ์ซึ่งได้ส่วนกลับกับอำนาจการกันของสารนั้นมีความสลับซับซ้อนมาก

สสารมีวิธีการ 3 อย่าง ในการสกัดกั้นรังสีเอ็กซ์คือ การดูด (absorption), การกระจาย (Scatter) และการจับคู่ (pair production)

1.1 การดูด

การดูดรังสีเอ็กซ์ของสสารขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ดังต่อไปนี้

1.1.1 ขึ้นอยู่กับอะตอมมิกนัมเบอร์ (atomic number) ของสารนั้น การดูดรังสีเอ็กซ์ได้ส่วนกับกำลังสมองของอะตอมมิกนัมเบอร์ เมื่อพิจารณาถึงสารที่เป็นส่วนประกอบของร่างกายมนุษย์ ฮัยโดรเจนมีอะตอมมิกนัมเบอร์ (Z) เท่ากับ 1, ส่วนแคลเซียมมีอะตอมมิกนัมเบอร์เท่ากับ 20 เนื่องจากกระดูกมีแคลเซียมอยู่มาก จึงดูดรังสีเอ็กซ์ได้มากกว่าส่วนที่เป็นเนื้ออ่อนของร่างกาย ซึ่งมีอะตอมมิกนัมเบอร์เท่ากับ 7 ซึ่งใกล้เคียงกับอะตอมมิกนัมเบอร์ของน้ำ

1.1.2 ขึ้นอยู่กับความหนาแน่น (density) ของสาร สารที่มีจำนวนอะตอมมากในหน่วยปริมาตร จะมีการดูดรังสีเอ็กซ์ได้มาก ในร่างกายมนุษย์นั้นพบว่าอวัยวะที่มีอากาศอยู่จะดูดรังสีเอ็กซ์ได้น้อยมากเมื่อเทียบกับเนื้ออ่อนส่วนอื่น ถึงแม้ว่าอากาศจะมีอะตอมมีคัมเบอร์เท่ากับ 7 ซึ่งเท่ากับเนื้ออ่อนก็ตาม แต่อากาศมีความหนาแน่นน้อยมาก คือ ความหนาแน่นของอากาศมีค่า 0.001293 ส่วนของเนื้ออ่อนมีค่าเท่ากับ 1 (เทียบเท่ากับน้ำ)

เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของอะตอมมีคัมเบอร์และความหนาแน่นต่อการดูดรังสีเอ็กซ์ของกระดูกและเนื้ออ่อน จะเห็นความแตกต่างได้ชัดเจน คือ อะตอมมีคัมเบอร์ของกระดูกมีค่า 14 และของเนื้ออ่อนมีค่า 7 ส่วนความหนาแน่นของกระดูกมากกว่าเนื้ออ่อน 1.85 เท่า ดังนั้น การดูดรังสีเอ็กซ์ของกระดูกมีค่า $(14)^3 \times 1.85 = 15$ เท่าของเนื้ออ่อน

1.1.3 ขึ้นอยู่กับความหนาของสารนั้น การดูดรังสีเอ็กซ์ของสารขึ้นอยู่กับความหนาและเป็น exponential function ตัวอย่างเช่น สารที่มีความหนา 1 ซม. จะดูดรังสีเอ็กซ์ไปได้ 50% เมื่อความหนาเพิ่มขึ้นเป็น 2 ซม. จะดูดได้อีก 25% และลดลงเช่นนี้เรื่อย ๆ ไปอาจใช้สูตรเพื่อคำนวณความสามารถในการดูดรังสีเอ็กซ์ได้ ถ้ารังสีเอ็กซ์มีช่วงคลื่นช่วงเดียว และสารนั้นมีความบางพอสมควร แต่รังสีเอ็กซ์ที่ใช้ทั่วไปมีความยาวช่วงคลื่นหลายช่วงและต้องผ่านสารที่มีความหนา มาก จึงไม่สามารถใช้สูตรคำนวณได้

1.1.4 ขึ้นอยู่กับความแข็ง (hardness) ของรังสี รังสีอ่อน (soft ray) ที่มีช่วงคลื่นยาวถูกดูดได้มากกว่ารังสีแข็ง (hard ray) การดูดรังสีเอ็กซ์ได้ส่วนโดยตรงกับกำลังสามของความยาวคลื่น สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1

แสดงความสัมพันธ์ของการกั้นรังสี x กับความยาวคลื่น

ความหนา	ความยาวคลื่นและกำลัง	
	0.3 Å (40 kV)	0.5 Å (25 kV)
เนื้ออ่อนหนา 1 ซม.	ให้ผ่าน 77%	ให้ผ่าน 61%
กระดูกหนา 1 ซม.	ให้ผ่าน 24%	ให้ผ่าน 0.4%
radiation contrast	$\frac{77}{24} = 3.2$	$\frac{61}{0.4} = 152$

1.2 การกระจาย

รังสีเอ็กซ์เมื่อไปกระทบวัตถุ ส่วนหนึ่งจะถูกกลดลงไปโดยการดูด อีกส่วนหนึ่งจะกระจายไปในสารนั้น ลักษณะการกระจายของรังสีเป็นไปได้ 2 ประการคือ

1.2.1 การกระจายที่ไม่เปลี่ยนแปลง (unmodified scatter) ยังคงมีลักษณะของความแข็ง หรือความยาวคลื่นเช่นเดิม

1.2.2 การกระจายที่เปลี่ยนแปลง (modified scatter) ส่วนหนึ่งของรังสีจะมีการเสียพลังงานไปและความยาวคลื่นยาวกว่าความยาวของคลื่นเดิม ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียก Compton effect และรังสีที่กระจายโดยวิธีนี้เรียก Compton scatter

รังสีที่กระจายจะถูกดูดในร่างกายมากกว่ารังสีเดิม เพราะมีทางเดินในร่างกายยาวกว่า คือ ต้องผ่านวัตถุที่มีความหนามากกว่า

1.3 การจับคู่

รังสีเอ็กซ์จะถูกกลดลงโดยปรากฏการณ์ที่รังสีส่วนหนึ่งเปลี่ยนไปเป็นสสาร คือ การเกิดอิเล็กตรอนบวก positron) พร้อม ๆ กับการเกิดอิเล็กตรอนลบ (electron) ที่เรียกว่า pair production คือ electron-positron pair การจะเกิดเช่นนี้ต้องอาศัยศักย์ไฟฟ้าสูง ๆ และตัวที่ดูดมีอะตอมมีคัมเบอร์สูง คือ รังสีเอ็กซ์ที่มีพลังงานมากกว่า 1.02 MeV จึงจะทำให้เกิดภาวะเช่นนี้ได้

การสกัดกันรังสีเอ็กซ์

อำนาจการทะลุทะลวงของรังสีเอ็กซ์ขึ้นอยู่กับศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ ถ้ารังสีเอ็กซ์เป็นชนิดที่มีความยาวคลื่น ๆ เดียว อาจแสดงความสัมพันธ์ของการสกัดกันกับความหนาของสารที่ใช้กันได้ (รูปที่ 1.3) ถ้าศักย์ไฟฟ้าที่ใช้สูงกว่า 100 kV มักจะใช้ทองแดงเป็นคลหะมาตรฐานสำหรับดูดรังสี และเมื่อศักย์ไฟฟ้าที่ใช้มีขนาด 40-100 kV มักจะใช้อลูมิเนียมเป็นตัวดูดรังสี

Half Value Layer (H.V.L.)

เนื่องจากการดูดรังสีมีค่าเป็น exponential จึงใช้รายงานเป็นความหนาของสารที่ลดความเข้มของรังสีลงเหลือครึ่งหนึ่ง ในรูปที่ 1.4 จะเห็นว่าที่จุดของการดูดได้ 50% ตรงกับความหนา 0.5 มม. (1st H.V.L.) จุด 25% ตรงกับความหนา 1 มม. ซึ่งเป็น 2nd H.V.L. แต่ถ้ารังสีเป็นชนิดที่มีช่วงคลื่นหลายช่วง แบบฉบับของการดูดรังสีจะยุ่งยากขึ้นไปอีก

ผลที่ทำให้สารเปล่งแสงได้

สารบางอย่างเช่น zinc sulphide, calcium tungstate, barium platino cyanide จะเปล่งแสงออกมาเมื่อถูกกับรังสีเอ็กซ์ ปฏิกิริยานี้เรียก fluorescence สารบางอย่างยังเปล่งแสงต่อไปอีกภายหลังหยุดให้รังสีแล้ว เรียกปฏิกิริยานี้ว่า phosphorescence ปฏิกิริยาทั้งสองอย่างรวมกันเรียก luminescence เพราะผลของ luminescence นี้เอง จึงทำให้รังสีเอ็กซ์ที่ไม่สามารถมองเห็นได้ กลับเห็นได้ด้วยตา เมื่อความเข้มของรังสีเอ็กซ์เพิ่มขึ้น fluorescence จะมีความแรงเพิ่มขึ้นด้วย

ในทางรังสีวิทยาได้ใช้ประโยชน์ทั้ง fluorescence และ phosphorescence คือในทาง fluoroscopy ใช้ fluorescent screen และ intensifying screen ในเรื่องของ radiography

ผลที่ทำให้ถ่ายรูปได้

1. ผลที่ทำให้มีการถ่ายรูปของแสงและรังสีเอ็กซ์

เช่นเดียวกับแสงคือ รังสีเอ็กซ์มีผลต่อ photographic emulsion คือ emulsion จะแสดง blackening หรือ photographic density ซึ่งเป็นพื้นฐานของการถ่ายรูป photographic emulsion มี silver bromide อยู่ เมื่อได้รับพลังงานจากรังสีเอ็กซ์ emulsion จะปล่อย silver ออกมา และทำฟิล์มให้เป็นสีดำ ส่วนที่ไม่ถูกกับรังสีเอ็กซ์ จะถูกล้างออกไปโดย sodium thiosulphate ฟิล์มบริเวณนั้นจึงมีลักษณะใส มีความแตกต่างกันระหว่างฤทธิ์ของรังสีเอ็กซ์และแสงธรรมดา คือ รังสีเอ็กซ์นั้นแม้มีจำนวนน้อยมากก็สามารถมีผลต่อ silver bromide grain ได้ เพราะรังสีเอ็กซ์ถูกดูดกลืนน้อยมากใน emulsion แต่แสงธรรมดามีความเข้มน้อยจะไม่มีผลต่อ silver bromide grain

2. Intensifying screen

โดยอาศัยคุณสมบัติที่ร่วมกับการที่รังสีเอ็กซ์ทำให้เกิดการเปล่งแสงได้ ก็สามารถจะใช้ film emulsion ที่ไวต่อช่วงคลื่นของแสงที่เปล่งออกมา จึงสามารถเพิ่มความไวได้มากกว่าที่จะใช้เอ็กซ์เรย์ฟิล์มอย่างเดียว ทำได้โดยการเคลือบสารที่สามารถเปล่งแสงได้ลงบนฉากที่เรียกว่า intensifying screen โดยมากใช้ calcium tungstate หรือสารที่มีคุณสมบัติทำนองเดียวกัน

ผลที่ทำให้ก๊าซไอโอไนซ์ได้

1. การเกิดไอโอไนเซชัน

ก๊าซประกอบด้วยโมเลกุลที่เคลื่อนไหวได้โดยเสรีในภาวะที่เป็นกลาง จะเป็นฉนวนนำกระแสไฟฟ้าไม่ได้ โมเลกุลของก๊าซเป็นกลาง จะไม่เคลื่อนไปยังขั้วบวกหรือขั้วลบ เมื่อให้ก๊าซ

อยู่ระหว่างอิเล็กโตรดที่มีศักย์ไฟฟ้า (รูปที่ 1.5 a.) ก็อาจจะนำไฟฟ้าไม่ได้ เข็มของกัลวานอมิเตอร์จึงไม่เคลื่อนไป แต่เมื่อก๊าซดังกล่าวได้รับรังสีเอ็กซ์ (รูปที่ 1.5 b.) จะสามารถนำไฟฟ้าได้

2. หน่วย r

ทางด้านรังสีวิทยาได้ใช้คุณสมบัติที่รังสีเอ็กซ์สามารถไอออไนซ์ก๊าซได้ เพื่อใช้วัดคุณภาพและปริมาณของรังสีเอ็กซ์ และรายงานค่าเป็นหน่วยที่เรียกว่า หน่วย roentgen R ซึ่งมี ความหมายว่า เป็นจำนวนของรังสีเอ็กซ์หรือรังสีแกมมาที่สามารถปล่อยไอออน 1 หน่วยอิเล็กโตรสแตติกจากอากาศ 0.001295 กรัม (จำนวนอากาศดังกล่าวเท่ากับอากาศแห้ง 1 ลบ.ซม. ที่ 0°ซ. และความดัน 760 มม.ปรอท)

3. r และ red

ในการปฏิบัติในทางการแพทย์นั้น จะคำนึงถึงจำนวนรังสีเอ็กซ์ที่ถูกดูด จึงได้มีหน่วยที่ใช้เพื่อการนี้ โดยที่จำนวนของรังสีเอ็กซ์ที่ถูกดูด มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า 200 kV ได้สัดส่วนกับผลทางชีววิทยาของรังสี จึงใช้เป็นหน่วยที่แสดงถึงจำนวนรังสีที่ถูกดูด ที่เรียกว่า rad (radiation absorbed dose) เป็นหน่วยของจำนวนรังสีที่ถูกดูด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 100 erg ต่อกรัม และหน่วยที่เล็กลงไปคือ millirad (mrad) มีค่า $\frac{1}{1000}$ rad เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วย และ rad จะเห็นว่า r เป็นหน่วยที่แสดงถึงจำนวนทางฟิสิกส์ แต่ rad เป็นหน่วยที่แสดงถึงรังสีที่ถูกดูด ซึ่งย่อมขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวที่ถูกดูด

ความสัมพันธ์เป็นดังนี้

$$\text{absorbed dose in rads} = \text{dose in roentgens} \times 0.884 \times F$$

F เป็นปัจจัยที่ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของรังสีและตัวกลางที่ถูกดูด

เมื่อใช้กับเนื้อเยื่อของร่างกายของเครื่องเอ็กซเรย์ที่ใช้ศักย์ไฟฟ้า 20-200 kV ค่าของ F จะคงที่ ซึ่งแสดงถึงว่าพลังงานที่ถูกดูดโดยเนื้อเยื่อของร่างกายได้สัดส่วนที่คงที่กับขนาดของรังสีที่ใช้หน่วยเป็น r

ผลทางชีววิทยาของรังสีเอ็กซ์

1. ผลต่อเนื้อเยื่อของสิ่งที่มีชีวิต

รังสีเอ็กซ์มีผลที่สำคัญ 3 อย่างต่อเนื้อเยื่อคือ (1) ขยับยั้งการเจริญเติบโต (2) ทำลายเนื้อเยื่อ และ (3) ทำให้เกิดการอักเสบ ผลของรังสีเอ็กซ์ที่สามารถทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อได้นั้น ได้นำมาใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์เพื่อรักษาโรคบางอย่าง โดยที่รังสีเอ็กซ์สามารถจะทำลายเซลล์ที่เป็นโรคมมากกว่าเซลล์ปกติ

2. ผลในทางกรรมพันธุ์

รังสีเอ็กซ์ผลที่จะเปลี่ยนแปลงลักษณะการถ่ายทอดทางกรรมพันธุ์ของ germinative cell ที่เรียกว่า mutation การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลทำให้เซลล์ตายได้ในระยะยาว หรืออาจมีผลต่อ generation หลัง ๆ ก็ได้

ผลในทางชีววิทยาของรังสีเอ็กซ์นั้นมีความสำคัญทั้งในด้านการนำประโยชน์ไปใช้รักษาโรค และช่วยทำให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับอันตรายที่จะเกิดขึ้นแก่บุคคลากรที่เกี่ยวข้องกับรังสีเอ็กซ์

2.4.2 หลอดเอ็กซ์เรย์

หลอดเอ็กซ์เรย์เป็นหัวใจของเครื่องเอ็กซ์เรย์ เพราะเป็นต้นตอที่จะปล่อยเอ็กซ์เรย์ออกมา ศาสตราจารย์ W.C. Roentgen ได้ค้นพบเอ็กซ์เรย์ เมื่อวันที่ 8 กันยายน ค.ศ. 1895 หลอดเอ็กซ์เรย์ที่ได้สร้างขึ้นโดยศาสตราจารย์ W.C. Roentgen ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 เป็นหลอดสูญญากาศที่มีแคโทด, แอโนด และเป้า (target) ต่อมา W.D. Coolidge ในปี ค.ศ. 1912 ได้สร้างหลอดเอ็กซ์เรย์ที่ใช้แคโทดเผาให้ร้อน เพื่อให้ปล่อยอิเล็กตรอนได้ดีขึ้น และใช้ตั้งสแตนด์เป็นแคโทด (รูปที่ 2.2)

1. ลักษณะทั่วไปของหลอดเอ็กซ์เรย์

เอ็กซ์เรย์เกิดขึ้นจากวิธีการที่เปลี่ยนพลังงานจากชนิดหนึ่งเป็นอีกชนิดหนึ่ง อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่เร็วมีพลังงานของการเคลื่อนไหวและถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานรังสี เมื่อถูกทำให้ช้าลงในหลอดเอ็กซ์เรย์ที่ใช้วินิจัยครานั้นพลังงานส่วนใหญ่ คือ 99% จะเปลี่ยนไปเป็นความร้อน ที่เหลือเพียง 1% จะเป็นเอ็กซ์เรย์ เพื่อกระทำการดังกล่าว หลอดเอ็กซ์เรย์จะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ คือ 1. มีต้นตอของอิเล็กตรอน 2. มีวิธีการที่ทำให้เคลื่อนที่เร็วโดยไม่มีอะไรขัดขวาง และ 3. วิธีการที่ทำให้อิเล็กตรอนช้าลงทันที

ฉะนั้นหลอดเอ็กซ์เรย์จึงประกอบด้วย

(1) แคโทดซึ่งเผาให้ร้อนจึงเป็นต้นตอของอิเล็กตรอน เมื่อแคโทดร้อนอิเล็กตรอนหลุดออกไปได้ง่าย

(2) วิธีการทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนไหว โดยทำศักย์ไฟฟ้าระหว่างแอโนด และแคโทดให้สูง พร้อมทั้งดูดอากาศออกเพื่อลดการขัดขวาง

(3) วิธีการที่ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนไหวช้าลง โดยใช้แผ่นโลหะที่ เรียกว่า แอโนดกั้น และบริเวณที่อิเล็กตรอนไปกระทบ เรียกว่า จุดโฟกัส (focus spot)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดเอ็กซ์เรย์ประกอบด้วย แอโนดและแคโทด ฉะนั้นจึงเป็นหลอดไดโอดชนิดหนึ่ง ที่ได้รับการออกแบบโดยเฉพาะเพื่อสร้างเอ็กซ์เรย์ออกมา แคโทดของหลอดเอ็กซ์เรย์ต้องถูกเผาให้ร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดย step-down transformer ส่วนศักย์ไฟฟ้าแรงสูงซึ่งใช้ช่วยเร่งอิเล็กตรอน ได้มาจาก step-up transformer รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะพื้นฐานของหลอดเอ็กซ์เรย์และการต่อกับ ทรานสฟอเมอร์ ซึ่งประกอบด้วยวงจร 2 วง คือ วงจรที่เป็นต้นตอของอิเล็กตรอนนั้นมีศักย์ไฟฟ้าต่ำ (ประมาณ 10-20 โวลท์) แต่ต้องการกระแสไฟฟ้ามาก (ประมาณ 6-8 แอมป์) ส่วนศักย์ไฟฟ้าแรงสูงที่ใช้ดักอิเล็กตรอนนั้นมีศักย์ไฟฟ้าสูงมาก (จาก 45 กิโลวัตต์ จนถึง 125 กิโลวัตต์) สำหรับ เครื่องเอ็กซ์เรย์ที่ใช้วินิจฉัยโรค อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ผ่านหลอดเอ็กซ์เรย์คิดเป็นจำนวนกระแสที่ ผ่านไปเรียกว่า เป็น tube milliamperage มีขนาด 10-500 mA สำหรับการถ่ายภาพเอ็กซ์เรย์ -

1.1 Thermionic emission และหลอดเอ็กซ์เรย์

วิธีการที่ทำให้ลวดปล่อยอิเล็กตรอนออกมาเมื่อเผาให้ร้อนเรียกว่า Thermionic emission และเมื่อวิธีการนี้เกิดขึ้นในไดโอดสูญญากาศ ย่อมจะต้องมีลักษณะและคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกันคือ

- (1) อัตราการปล่อยอิเล็กตรอนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของแคโทดและพื้นที่ผิว หน้า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิทำให้จำนวนอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นที่เรียกว่า space charge
- (2) เมื่อแอโนดมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกมากกว่าแคโทด จะทำให้กระแสไหลผ่านหลอดมาก การเปลี่ยนแปลงของกระแสขึ้นอยู่กับศักย์ไฟฟ้าด้วย
- (3) เมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าที่แอโนดจนอิเล็กตรอนเพิ่มเติมที่ และเพิ่มไม่ได้อีก แล้ว มีทางเดียวที่จะเพิ่มอิเล็กตรอนหรือเพิ่มกระแสไหลคือ การเพิ่มอุณหภูมิของแคโทด ภาวะที่อิเล็กตรอนปล่อยออกมาหมดเรียกว่า saturation เมื่อหลอดอยู่ในภาวะเช่นนี้ การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าจะไม่เปลี่ยนแปลงกระแส คือ การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าและกระแสไม่ขึ้นแก่กัน ภาวะเช่นนี้เป็นภาวะที่ต้องการใช้ให้หลอดเอ็กซ์เรย์ทำงาน

ชนิดของหลอดเอ็กซ์เรย์

หลอดเอ็กซ์เรย์อาจแบ่งได้เป็นพวก ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับ

1. การใช้
2. ลักษณะของแอโนด
3. การสร้างฉนวนและวิธีการทำให้หลอดเย็นลง

หลอดเอ็กซเรย์แบ่งได้เป็นพวกดังนี้

1. ก. หลอดเอ็กซเรย์รักษา (therapeutic X-ray tube)
ข. หลอดเอ็กซเรย์วินิจฉัย (diagnostic X-ray tube)
2. ก. หลอดที่มีแอโนดอยู่กับที่ (stationary anode tube)
ข. หลอดที่มีแอโนดหมุนได้ (rotation anode tube)

1. ก. หลอดเอ็กซเรย์รักษา

เป็นหลอดเอ็กซเรย์ที่ใช้ในการรักษาด้วยรังสีเอกซ์ มีคุณสมบัติแตกต่างจากหลอดที่ใช้วินิจฉัย คือ มีกระแสต่ำเพียง 2-3 มิลลิแอมป์ จนถึง 20-30 มิลลิแอมป์ ยิ่งกว่านั้นขนาดของโฟกัสไม่มีความสำคัญเช่นหลอดเอ็กซเรย์วินิจฉัย ในทางตรงกันข้ามคือ ต้องการลำรังสีกว้าง มุมของแอโนดต้องการเพียง 32° ถึง 45° สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่ง ของหลอดเอ็กซเรย์รักษา คือ กลไกที่ทำให้เย็นลงต้องมีประสิทธิภาพดี เพราะต้องใช้งานอยู่ตลอดเวลาเป็นเวลานาน

ข. หลอดเอ็กซเรย์วินิจฉัย

หลอดเอ็กซเรย์วินิจฉัยนั้นต้องการกระแสไฟมาก อาจสูงถึงหลายร้อยมิลลิแอมป์ ยิ่งกว่านั้นโฟกัสของหลอดพวกนี้มีบทบาทสำคัญมากเพราะ ต้องการให้ได้ภาพชัดเจน จึงต้องมีโฟกัสเล็ก

หลอดเอ็กซเรย์วินิจฉัยแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ หลอดที่แอโนดอยู่กับที่ และ หลอดที่มีแอโนดหมุนได้

2. หลอดเอ็กซเรย์ที่แอโนดอยู่กับที่ (the fixed anode X-ray tube)

หลอดเอ็กซเรย์ที่มีแอโนดอยู่กับที่เป็นหลอดเอ็กซเรย์ที่ได้ค้นคิดในสมัยแรก ๆ และในปัจจุบันก็ยังคงใช้หลอดที่มีหลักการเช่นนี้อยู่ในเครื่องเอ็กซเรย์ที่ไม่ต้องการกำลังสูง รูปที่ 2.4 แสดงหลอดเอ็กซเรย์ที่มีแอโนดอยู่กับที่

2.1 แคโทด

แคโทดเป็นขั้วลบของหลอดเอ็กซเรย์ ประกอบด้วย โลหะซึ่งเป็นที่ยึดของไส้หลอด (filament) นอกจากนี้ยังทำหน้าที่โฟกัสลำอิเล็กตรอนที่พุ่งออกจากไส้หลอดอีกด้วย

2.2 ไส้หลอด (filament)

ไส้หลอดทำด้วยลวดดั่งสแตน เหตุที่ใช้ดั่งสแตนเพราะทนความร้อนได้ที่อุณหภูมิสูง (สูงกว่า 2000°C .) ไส้หลอดทำเป็นเกลียวเพื่อให้มีเนื้อที่ใหญ่มากสำหรับปล่อยอิเล็กตรอนได้มาก ลวดต้องมีความต้านทานสูง กระแสที่เข้ามาจะทำให้เกิดความร้อนได้มาก

2.3 การโฟกัสลำอิเล็กตรอน

อิเล็กตรอนที่ออกมาจากหลอดไส้หลอดจะถูกนำมารวมกันโดยสนามไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแอโนดและแคโทด ไส้หลอดซึ่งอยู่ในช่องของแคโทดแสดงให้เห็นได้ โดยรูป 2.5 ไส้หลอดและช่องได้รับการออกแบบอย่างดี ทั้งขนาดและรูปร่าง เพื่อให้ลำอิเล็กตรอนโฟกัสบนแอโนด จุดโฟกัสเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า หลอดเอ็กซ์เรย์ในสมัยก่อนมีจุดโฟกัสเป็นรูปกลม แต่หลอดเอ็กซ์เรย์วินิจัยในสมัยใหม่มีโฟกัสเป็นเส้น เรียกว่า line-focus type มีความยาวเป็น 3-4 เท่าของความกว้าง และมีเนื้อที่ตั้งแต่ 2-3 มม.² จนถึง 10-15 มม.²

2.4 แอโนด

แอโนดเป็นแผ่นโลหะเพื่อจะรับลำอิเล็กตรอน แต่ต้องออกแบบ โดยเฉพาะ เพราะนอกจากจะให้ลำอิเล็กตรอนที่โฟกัสแล้ว จะต้องช่วยทำหน้าที่ระบายความร้อนออกไปด้วย เพราะการที่ทำให้มีเนื้อที่โฟกัสเล็กจะทำให้เกิดความร้อนมาก

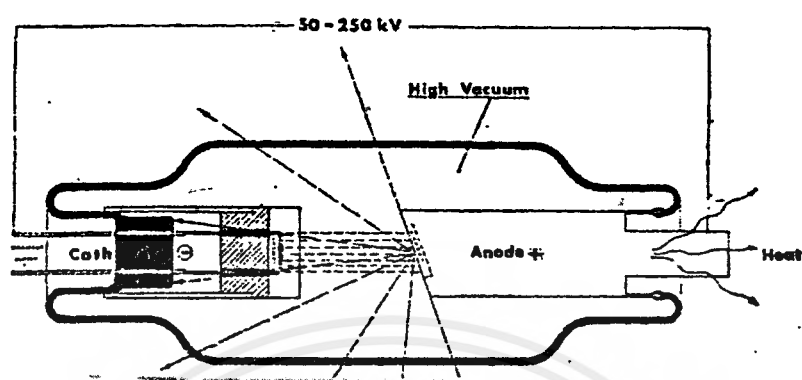
2.4.1 การกระจายความร้อนและการเกิดเอ็กซ์เรย์

ตำแหน่งที่อิเล็กตรอนไปกระทบบนแอโนดเป็นตำแหน่งที่ทำให้เกิดทั้งความร้อนและเอ็กซ์เรย์ ฉะนั้นบริเวณนี้จึงต้องทำเป็นโลหะที่สามารถทนต่อความร้อนสูงโดยไม่หลอมเหลว และสามารถทำให้เกิดเอ็กซ์เรย์ได้ดีด้วย โลหะที่มีคุณสมบัติเช่นนี้คือ ดังสเดน ดังสเดนได้รับการเลือกโดยอาศัยเหตุผลดังต่อไปนี้

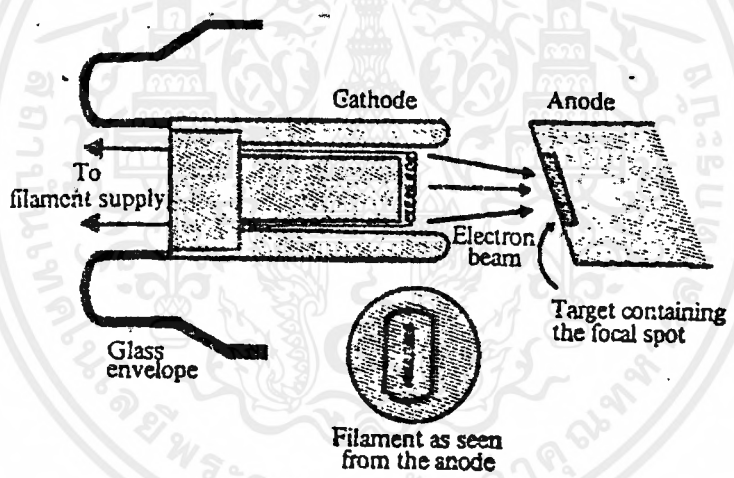
- (1) มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าโลหะอื่น (3360°ซ.)
- (2) มี atomic number สูงซึ่งทำให้เกิดเอ็กซ์เรย์ได้ดีกว่าโลหะ ซึ่งมี atomic number ต่ำ
- (3) เป็นตัวนำความร้อนได้ค่อนข้างดี จึงสามารถกระจายความร้อนออกไปได้ดี
- (4) ไม่ระเหยเป็นไอได้ง่าย เพราะถ้าระเหยเป็นไอได้ง่าย จะทำให้คุณสมบัติเป็นสูญญากาศเสียไป
- (5) ทำให้พื้นหน้าเรียบได้ ซึ่งจะปล่อยเอ็กซ์เรย์ได้

ดังสเดนที่อยู่ในหลอดเอ็กซ์เรย์ทำเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือแผ่นกลมที่มีความหนาประมาณ 2 มม. ที่เรียกว่า target ถึงแม้ว่าดังสเดนจะทนความร้อนได้มาก แต่ก็ต้องมีทางระบายความร้อนออกไป จึงได้ใช้แผ่นดังสเดนฝังติดอยู่กับแท่งทองแดง ซึ่งทำหน้าที่กระจายความร้อนได้ดี เพราะ (1) นำความร้อนได้ดีกว่าดังสเดน และ (2) เป็นแท่งขนาดใหญ่จึงสามารถนำความร้อนได้มาก

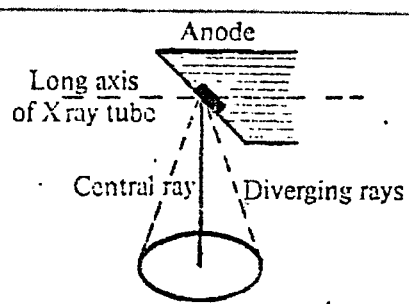
ภาพที่ 50
แสดงหลอดเอ็กซ์เรย์ชนิดแอโนดอยู่กับที่



ภาพที่ 51
แสดงหลอดเอ็กซ์เรย์แสดงให้เห็นรายละเอียดของไส้หลอดและแคโทด



ภาพที่ 52
แสดงลำเอ็กซ์เรย์ที่ปล่อยออกมาจากแอโนด



แอโนดของหลอดเอ็กซเรย์มีพื้นหน้าเอียง จึงทำให้เอ็กซเรย์ปล่อยออกไปทางด้านข้างของหลอด ให้ลำเอ็กซเรย์ที่ปล่อยออกมาตั้งฉากกับแกนตามยาวของหลอดเอ็กซเรย์ ซึ่งเป็น central ray และด้านข้างซึ่งเป็น diverging rays (รูปที่ 2.6)

2.4.2 แอโนดกับการสร้างภาพให้ชัด

การทำให้แอโนดเอียงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการได้ภาพเอ็กซเรย์ที่ดี (รูปที่ 2.7) พื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่อิลเลคตรอนกระทบแอโนดเรียก actual focus ส่วน effective focus นั้น เป็นขนาดของลำเอ็กซเรย์ที่แสดงถึงความชัดและไม่ชัดของภาพ สำหรับขนาดของ actual focus นั้น ถ้ามีขนาดใหญ่แสดงว่ามีเนื้อที่สำหรับรับการเกิดความร้อนได้มาก หมายความว่าหลอดเอ็กซเรย์นั้นสามารถทำงานได้ที่ milliamperage สูงกว่าโดยไม่ทำให้ target หลอมเหลว จึงสามารถใช้เวลาลำเอ็กซเรย์ที่สั้นได้ จึงทำให้ผลเสียของภาพไม่ชัดจากการเคลื่อนไหวลดลงไป ในขณะเดียวกันก็ย่อมต้องการ effective focus ที่มีเนื้อที่เล็ก เพื่อจะได้ภาพชัด การปรับแอโนดให้เอียงเป็นมุมที่พอเหมาะจะช่วยแก้ไขภาวะดังกล่าวได้

2.4.3 การวางแอโนดให้เอียงเป็นมุม

การวางแอโนดให้ชันมาก จะทำให้ effective หรือ apparent focus เล็ก เมื่อ actual focus เท่าเดิม (รูปที่ 2.7) จากรูปจะเห็นว่ารูปทางขวาได้ effective focus ขนาดเล็กกว่ารูปทางซ้าย จึงทำให้ได้ภาพชัดกว่าอันเป็นสิ่งที่ต้องการ แต่มีข้อจำกัดเพราะ เมื่อได้ effective focus เล็ก หมายความว่าลำเอ็กซเรย์ที่นำไปใช้งานเล็ก ไม่สามารถจะถ่าย film ขนาดใหญ่ได้ ฉะนั้นจึงต้องจัดมุมให้เหมาะเพื่อให้ได้ประโยชน์ทั้งสองอย่างพร้อมกัน คือ ให้ได้ภาพชัดและให้ได้ภาพใหญ่พอ โดยทั่วไปแอโนดของหลอดเอ็กซเรย์วินิจัยจะทำมุม 7-20°

ตัวอย่างความสัมพันธ์ของมุมของแอโนด, ระยะระหว่างหลอดกับฟิล์มและขนาดของบริเวณที่จะใช้ถ่าย ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

เมื่อเทียบขนาดของ apparent source กับ actual source ที่มุมต่าง ๆ กันพบว่าที่มุม 7° actual source มีขนาดใหญ่เป็น 8 เท่าของ apparent source และมุมที่ 20° actual source ใหญ่เป็น 3 เท่าของ apparent source

2.5 หลอดเอ็กซเรย์ที่มีโฟกัสสองขนาด (Dual focus X-ray tube)

ปัญหาเกี่ยวกับขนาดของจุดโฟกัสของหลอดเอ็กซเรย์นั้น จะต้องพิจารณาจากความจริงที่ว่า รังสีเอ็กซเรย์เกิดขึ้นน้อยแต่ความร้อนเกิดขึ้นมากและกระจายไปทั่วจุดโฟกัส ถ้าจุดโฟกัสใหญ่ความร้อนที่เกิดขึ้นจะไม่มากพอที่จะทำให้ถึงจุดหลอมเหลวของตัวสแตน จึงทำให้หลอดเอ็กซเรย์มีกำลังมาก คือ มี milliamperages สูง จึงทำให้ใช้เวลาถ่ายสั้น และได้ภาพชัดที่ไม่มี

ผลเสียจากการเคลื่อนไหว แต่จุดโฟกัสจะทำให้มีผลเสียคือ ได้ภาพไม่ชัด ฉะนั้นจะต้องคำนึงถึงทั้งสองด้าน อย่างไรก็ตามก็ดียิ่งขึ้นอยู่กับบริเวณที่จะใช้ถ่ายด้วยเช่น บริเวณที่จะถ่ายเล็กและมีการเคลื่อนไหวน้อย เช่น ฟัน ก็อาจใช้หลอดเอ็กซเรย์ที่มีจุดโฟกัสเล็กได้ แต่บริเวณลำตัวที่มีความหนาและมีการเคลื่อนไหว ก็ต้องใช้หลอดเอ็กซเรย์ที่มีกำลังสูง และมีจุดโฟกัสใหญ่

ในสมัยปัจจุบันจึงได้มีหลอดเอ็กซเรย์ที่มีจุดโฟกัส 2 ขนาดขึ้นคือ โฟกัสใหญ่และโฟกัสเล็ก หลอดเอ็กซเรย์ชนิดนี้มีไส้หลอด 2 อันวางอยู่ใกล้ ๆ กันที่เป่าตั้งสแตนด์บนแอโนดมีโฟกัส 2 ขนาดอยู่ซ้อนกัน มีขดลวดทรานสฟอเมอร์ที่จุดไส้หลอดสำหรับโฟกัสเล็กและโฟกัสใหญ่แยกกัน แต่ใช้สายเพียง 3 สายแทนที่จะเป็น 4 สาย ภาพวงจรไฟฟ้าของหลอดเอ็กซเรย์ที่มีจุดโฟกัส 2 ขนาด ฉะนั้นสวิตช์ของขดลวดศักย์ไฟฟ้าแรงสูงจึงทำหน้าที่เลือกเปลี่ยนไฟเข้าไปในขดลวดว่า จะใช้โฟกัสเล็กหรือใหญ่

2.6 เครื่องหุ้มกำบังหลอด (The tube shield)

เครื่องหุ้มจะต้องทำหน้าที่สำคัญ 2 อย่างคือ ป้องกันอันตรายจากรังสีและอันตรายจากไฟฟ้า เครื่องหุ้มกำบังที่เป็นโลหะจะช่วยป้องกันอันตราย 2 อย่างนี้ได้ คือ ป้องกันรังสี (ray-proof) และป้องกันอันตรายจากไฟฟ้า ที่เรียก shock-proof เครื่องหุ้มกำบังจะช่วยลดรังสีที่แผ่นออกมาภายนอก ตามข้อกำหนดของประเทศอังกฤษ ในปี ค.ศ. 1972 เกี่ยวกับการป้องกันอันตรายของรังสีทางด้านแพทย์และทันตกรรม ได้กำหนดให้รังสีที่รั่วผ่านเครื่องหุ้มออกได้ไม่เกิน 100 milliamperages ใน 1 ซม. ที่ระยะทาง 1 เมตรจากโฟกัส และหลอดใหม่นั้นการรั่วไม่ควรเกิน 10 milliamperages ใน 1 ซม.

2.7 การทำให้หลอดเอ็กซเรย์เย็นลง

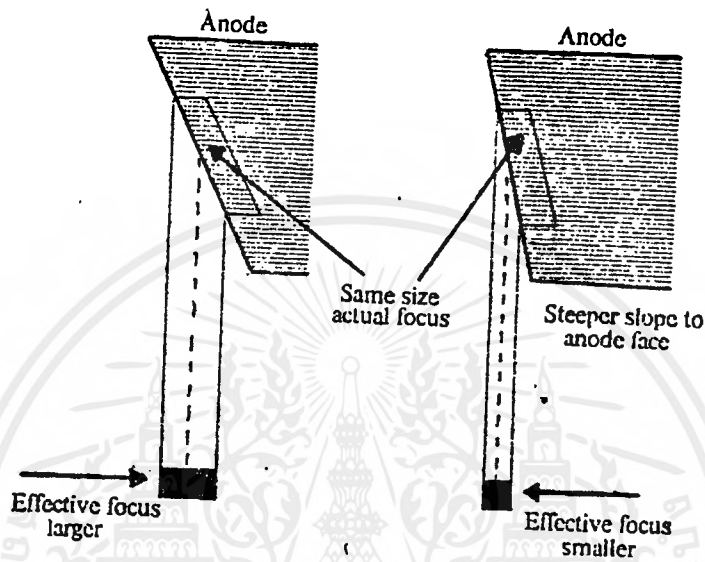
พลังงานไฟฟ้าเกือบทั้งหมดที่ส่งเข้าไปในหลอดเอ็กซเรย์จะเปลี่ยนไปเป็นความร้อนจำนวนเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 1% เท่านั้น) ที่ให้เป็นรังสีเอ็กซ์ ดังนั้นในการถ่ายเอ็กซเรย์ความร้อนจึงเกิดมาก จำนวนความร้อนมีความสัมพันธ์กับผลคูณของกิโลโวลต์ x มิลลิแอมแปร์ x ระยะเวลาของการถ่ายเอ็กซเรย์

เกี่ยวกับความร้อนของหลอดเอ็กซเรย์นี้ จะต้องพิจารณาถึงการกระจายความร้อนจากเป่าตั้งสแตนด์และการระบายความร้อนออกจากหลอด

ในระยะต้นเมื่อความร้อนเกิดขึ้นที่เป่าตั้งสแตนด์ ความร้อนจะกระจายไปตามแท่งทองแดงที่ประกอบเป็นแอโนด และนำออกไปภายนอกหลอด

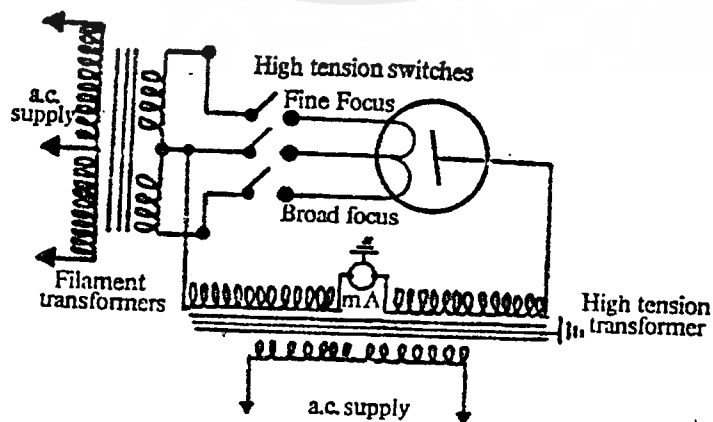
ภาพที่ 53

แสดงลำอิเล็กตรอนที่ปล่อยออกมาจากแอโนดที่เอียงทำมุมต่างกัน
จะได้ effective focus ที่มีขนาดแตกต่างกัน



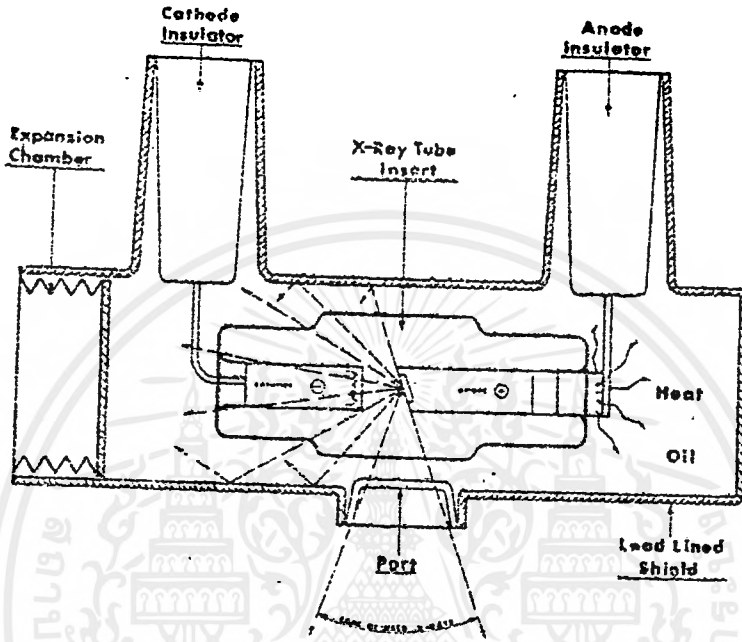
ภาพที่ 54

ภาพแสดงวงจรไฟฟ้าที่ใช้เสียบหลอดเอกซเรย์ที่มีโฟกัส 2 ขนาด



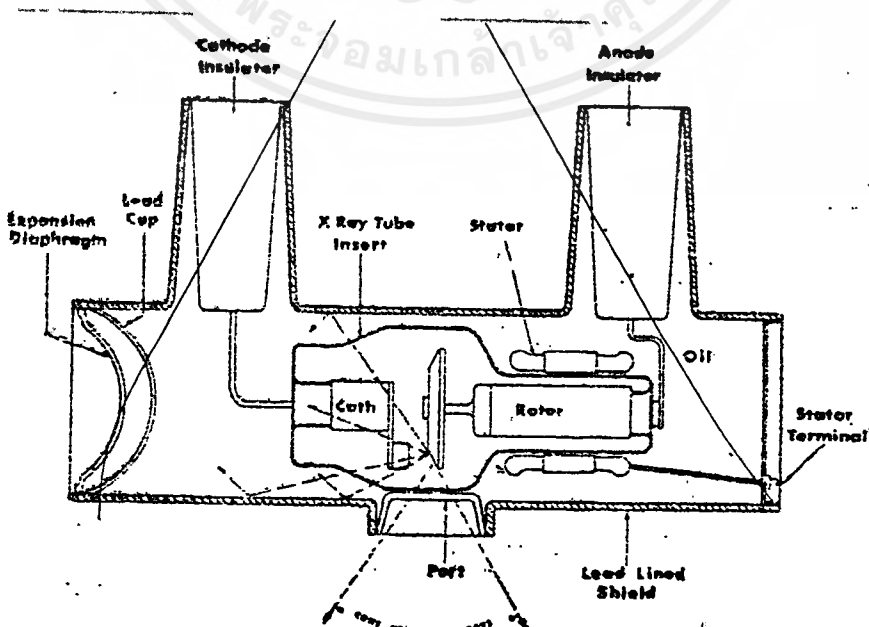
ภาพที่ 55

ภาพแสดงหลอดเอ็กซ์เรย์ที่แอโนดอยู่กับที่พร้อมเครื่องหุ้มกำบังหลอด



ภาพที่ 56

ภาพวาดของหลอดเอ็กซ์เรย์ที่แอโนดหมุนได้ แสดงให้เห็นส่วนประกอบภายใน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดมีความร้อนเกิดขึ้นที่แอดโนคขณะเมื่อหลอดอิเล็กทรอนิกส์ทำงาน จึงต้องมีวิธีการระบายความร้อนและทำให้เย็นลงโดยเร็ว มีวิธีการหลายอย่างเช่น โดยการใช้อากาศ น้ำ และน้ำมัน วิธีการต่าง ๆ ดังกล่าวนั้นการใช้น้ำมันเหมาะสมที่สุด

การใช้น้ำมันกระทำได้หลายวิธีคือ

(1) Static oil cooling

(2) Static forced oil cooling

(3) Circulating forced oil cooling

วิธีแรก ใส่น้ำมันไปหุ้มหลอดอิเล็กทรอนิกส์โดยตรง

วิธีที่สอง ใช้น้ำหรือพัดลมมาช่วยทำให้น้ำมันเย็นลงเร็วอีกต่อหนึ่ง

วิธีที่สาม ใช้เครื่องสูบลำโพงที่สูบน้ำมันให้ไหลเวียน อันเป็นการช่วยทำให้เย็นเร็วขึ้น กล่าวโดยสรุป ในเรื่องของหลอดอิเล็กทรอนิกส์เกี่ยวกับวิธีการหุ้มและวิธีการทำให้เย็นมีดังนี้คือ

ก. ชนิดที่หุ้มด้วยอากาศ ทำให้เย็นโดยแอดโนคนำความร้อนเองโดยใช้พัดลม แบบนี้ใช้กับหลอดอิเล็กทรอนิกส์วินิจฉัยที่มีกำลังต่ำ หรือหลอดอิเล็กทรอนิกส์รักษากำลังต่ำที่ใช้เพียงการรักษาภายนอก

ข. หุ้มด้วยน้ำมันและทำให้เย็นด้วยน้ำมันเช่นกัน

วิธีนี้ใช้กับหลอดอิเล็กทรอนิกส์วินิจฉัยเป็นส่วนใหญ่โดยเฉพาะชนิดที่มีกำลังสูง และหลอดอิเล็กทรอนิกส์รักษากำลังสูง (การรักษาที่ส่วนลึก)

ค. หุ้มด้วยอากาศหรือน้ำมัน

แอดโนคหรือแคโอดต่อลงดิน ทำให้เย็นโดยใช้น้ำหรืออากาศช่วย หลอดแบบนี้ใช้ในหลอดอิเล็กทรอนิกส์สำหรับภายนอกเท่านั้น

3. หลอดอิเล็กทรอนิกส์ที่แอดโนคหุ้มได้

หลอดอิเล็กทรอนิกส์ที่แอดโนคอยู่กับที่มีบริเวณที่ปล่อยอิเล็กตรอนและบริเวณที่ความร้อนกระจายเป็นบริเวณเดียวกัน แต่หลอดอิเล็กทรอนิกส์ที่แอดโนคหุ้มได้ บริเวณทั้งสองแห่งแตกต่างกันคือ แอดโนคหุ้มน้อยตลอดเวลา บริเวณที่ความร้อนกระจายจึงกว้างขวางกว่ามาก รูปที่ 2.10 เป็นภาพวาดของหลอดอิเล็กทรอนิกส์ที่แอดโนคหุ้มได้แสดงให้เห็นส่วนประกอบภายใน ดังนั้น หลอดอิเล็กทรอนิกส์ที่แอดโนคหุ้มได้จึงสามารถใช้งานหนักได้มากกว่า เพราะยังคงรักษาให้เนื้อที่โพสิทีฟเล็ก โดยมีเนื้อที่กระจายความร้อนได้มาก

3.1 แคโอดและไส้หลอด

ในหลอดเอ็กซเรย์ที่แอโนดหมุนได้ แคโอดและไส้หลอดไม่ได้อยู่ตรงกลาง แต่อยู่ตรงรอบนอก เพื่อที่จะส่งลำอิเล็กตรอนพุ่งไปยังส่วนที่ลาดเอียงของแอโนด รูปขยายของแคโอดและไส้หลอดที่สัมพันธ์กับแอโนด ได้แสดงไว้

3.2 แอโนด

แอโนดมีลักษณะเป็นจานหนาที่ติดอยู่บนแกนโมลลิบดินัม ในสมัยก่อนนั้น จานแอโนดทำด้วยดั่งสเตนลัวน แต่ในสมัยปัจจุบันทำด้วยโมลลิบดินัมที่มีดั่งสเตนติดอยู่ หรือเป็นดั่งสเตนผสมกับซิลิเนียม จานแอโนดมีขนาดประมาณ 50-100 มม. จานแอโนดไม่ได้หนาเท่ากันตลอด แต่ตรงขอบลาดบางลง แอโนดจะหมุนด้วยความเร็วประมาณ 3000 รอบ/นาที ลำอิเล็กตรอนจะโฟกัสบนเนื้อที่ที่เคลือบผิวหน้าตรงขอบของแอโนด เป็นเนื้อที่ที่บีบ

ขอบของแอโนดที่เอียงจะทำให้ได้ลำอิเล็กตรอนเล็กกว่าต้นคอ โดยมากขอบของจานแอโนดจะเอียง $15-20^\circ$ ตัวอย่างเช่น เนื้อที่ของลำอิเล็กตรอนบนขอบแอโนด 1×3 มม.² จะได้ลำอิเล็กตรอนที่ส่งออกไป (apparent size) มีขนาดเพียง 1×1 มม.²

3.3 เครื่องยึดแอโนดและการหมุน

เครื่องยึดแอโนดเป็นแกนที่ทำด้วยโมลลิบดินัมปลายข้างหนึ่งติดอยู่กับจานแอโนด แต่ปลายอีกข้างหนึ่งติดอยู่กับทองแดงรูปทรงกระบอกซึ่งเป็นโรเตอร์ (rotor) อันเป็นส่วนที่เคลื่อนไหวของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ทำให้แอโนดหมุนได้ ที่รองรับแกนหมุนนั้นทำด้วยเหล็กและเคลือบด้วยเงินหรือตะกั่ว ภายนอกแท่งแก้วที่หุ้มหลอดอยู่ เป็นปลอกที่มีแกนเหล็กและสายไฟ ซึ่งเรียกว่า สเตเตอร์ (stator) อันเป็นส่วนของมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งอยู่กับที่ และเป็นส่วนที่ให้สนามแม่เหล็กแก่โรเตอร์เพื่อให้หมุนได้ จะต้องใช้เวลา 1 วินาที กว่าแอโนดจะหมุนด้วยความเร็วเต็มที่ คือประมาณ 2400-3600 รอบ/นาที เพื่อที่จะลดอันตรายจากความร้อน จะต้องให้แอโนดหมุนด้วยความเร็วเต็มที่ก่อนจึงจะใช้ถ่ายเอ็กซเรย์ได้ ฉะนั้น จึงต้องมีวงจรควบคุมการถ่ายและการหมุนของโรเตอร์ให้มีความสัมพันธ์กัน

วิธีการอีกอย่างหนึ่งที่จะลดความร้อนที่เกิดขึ้นคือ การลดความร้อนที่เกิดขึ้นจากมอเตอร์เอง คือให้ระยะเริ่มมักจะใช้ไฟ 270 โวลต์ไปเลี้ยงสเตเตอร์ เป็นเวลา 1 วินาที หลังจากนั้นจึงลดลงเหลือ 40 โวลต์ ภาพถ่ายของหลอดเอ็กซเรย์ที่แอโนดหมุนได้

3.4 การทำให้หลอดเอ็กซเรย์เย็นลง

การระบายความร้อนของหลอดเอ็กซเรย์ที่แอโนดหมุนได้นั้น ความร้อนส่วน

ใหญ่ (90%) ถูกนำออกไปภายนอกหลอดโดยแท่งทองแดง ส่วนน้อย (10%) จะอยู่ภายในหลอดแก้ว และใช้การแผ่รังสีผ่านสูญญากาศออกไป การระบายความร้อนก็ใช้วิธีการต่าง ๆ เช่นเดียวกับที่ได้บรรยายไว้ในหลอดเอ็กซเรย์ที่แอนโอดอยู่กับที่

4. อัตราของหลอดเอ็กซเรย์ (Rating of X-ray tubes)

หลอดเอ็กซเรย์ที่ได้สร้างขึ้นเพื่อให้ใช้ประโยชน์ได้นั้น จะต้องมีการใช้ที่ถูกต้องจึงจะมีอายุยาวนาน และจะต้องใช้อยู่ในขอบเขตจำกัด

ปัจจัยที่จำกัดมีดังต่อไปนี้

(1) อุณหภูมิของบริเวณโพตัสจะต้องไม่ร้อนเกินจุดหลอมเหลวของดั่งสแตน (3360°ซ.) ระดับที่ปลอดภัยคือ 3000°ซ.

(2) ความจุความร้อนของแอนโอด

(3) อัตราการทำให้เย็นลงของแอนโอด

(4) ความจุความร้อนของเครื่องหุ้มหลอด

(5) ประสิทธิภาพของเครื่องหุ้มหลอดที่จะระบายความร้อนออกไป

2.4.3 ส่วนประกอบและการควบคุมในวงจรเครื่องเอ็กซเรย์

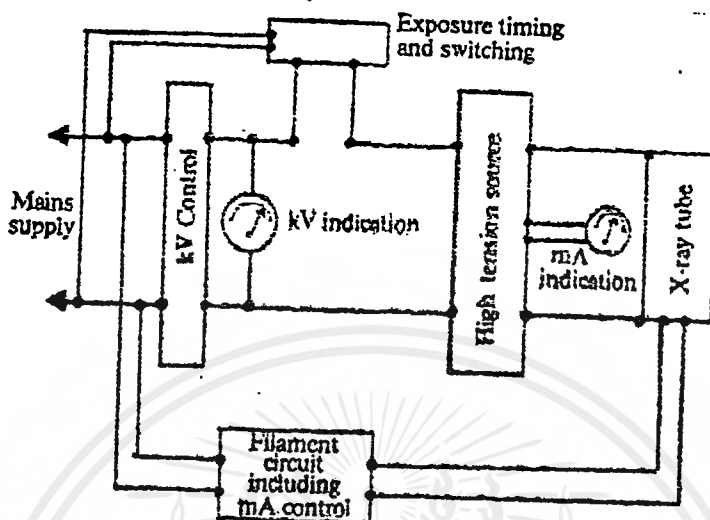
ในการที่จะทำให้หลอดเอ็กซเรย์ปล่อยรังสีเอ็กซ์ ก็จำเป็นต้องเผาไส้หลอดให้ร้อน และต้องป้อนศักย์ไฟฟ้าแรงสูงเข้าไป เพื่อให้อิเล็กตรอนไหลผ่านหลอดด้วยพลังงานที่มีกำลังสูง จึงสามารถเปลี่ยนพลังงานเป็นรังสีเอ็กซ์ได้ ดังนั้น จะต้องมียังวงจรไฟฟ้าเพื่อจุดไส้หลอด และวงจรศักย์ไฟฟ้าแรงสูงเพื่อเลี้ยงหลอด

ผู้ใช้เครื่องเอ็กซเรย์ย่อมมีความต้องการให้รังสีเอ็กซ์ที่ปล่อยออกมานั้น เปลี่ยนแปลงได้ อาจจะโดยการเปลี่ยนกำลังทะลุทะลวงของรังสีเอ็กซ์ เปลี่ยนแปลงความเข้มของรังสีหรือเปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่ใช้ในการถ่ายภาพ ทั้งนี้ ก็เพื่อที่จะให้ได้ภาพถ่ายของรังสีเอ็กซ์ที่ดี การเปลี่ยนกำลังทะลุทะลวง ทำได้โดยการเปลี่ยนค่าของศักย์ไฟฟ้าแรงสูงที่ใช้หลอดเอ็กซเรย์ ศักย์ไฟฟ้านี้เรียกกิโลโวลเตจ (kilovoltage) เพราะมีค่าสูงหลายพันโวลต์ การควบคุมความเข้มของรังสี หมายถึง การเปลี่ยนแปลงจำนวนอิเล็กตรอนที่ปล่อยออกมาจากแคโทด ซึ่งทำได้โดยการเปลี่ยนไฟฟ้าที่ไปจุดไส้หลอด โดยการเปลี่ยนแปลงที่เรียก มิลลิแอมแปเรจ (milliamperage) เพราะจำนวนกระแสที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงมีค่าเป็นมิลลิแอมแปร์ ปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ เวลาที่ใช้ในการถ่ายภาพเอ็กซเรย์ ซึ่งเปลี่ยนแปลงได้โดยการควบคุมการเริ่มต้น และการหยุดของไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

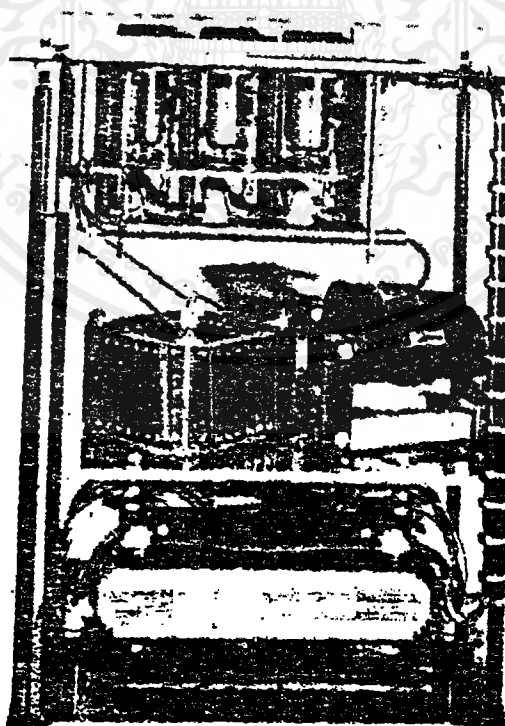
ภาพที่ 57

ผังวงจรอย่างง่ายของเครื่องเอ็กซเรย์ แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ



ภาพที่ 58

แสดงส่วนประกอบภายในของ high tension generator tank ส่วนบนสุด เป็นสวิตช์ศักย์ไฟฟ้าแรงสูง และตอนล่างสุดของภาพเป็นทรานสฟอเมอร์ศักย์ไฟฟ้าแรงสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อรวมปัจจัยต่าง ๆ ที่ต้องการเข้าด้วยกัน เครื่องอิเล็กทรอนิกส์ ควรจะต้องมีส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้คือ

- (1) ไฟฟ้าที่เข้ามาใช้เลี้ยงเครื่องอิเล็กทรอนิกส์
- (2) หลอดอิเล็กทรอนิกส์
- (3) ดันตอศักย์ไฟฟ้าแรงสูง
- (4) การควบคุมกิโลโวลต์
- (5) วงจรจุดไส้หลอดและการควบคุมมิลลิแอมแปร์
- (6) เครื่องกำหนดเวลาในการถ่าย

ทรานสฟอเมอร์ศักย์ไฟฟ้าแรงสูง (The high tension transformer)

อัตราส่วนจำนวนรอบ (The turns ratio)

เมื่อต้องการไฟฟ้าที่มีศักย์ไฟฟ้าแรงสูงมากขนาด 20-100 กิโลโวลต์ ต้องใช้ทรานสฟอเมอร์เป็นเครื่องช่วยแปลงศักย์ไฟฟ้าให้สูงขึ้น เช่นถ้าจะต้องเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าจาก 400 โวลต์ เป็น 100,000 โวลต์ ก็สามารถใช้ทรานสฟอเมอร์ที่มี

$$\frac{\text{จำนวนรอบในขดลวดไพรมารี}}{\text{จำนวนรอบในขดลวดเซคันดารี}} = \frac{\text{ศักย์ไฟฟ้าของขดลวดไพรมารี}}{\text{ศักย์ไฟฟ้าของขดลวดเซคันดารี}}$$

ดังนั้น จำนวนรอบของขดลวดในขดลวดเซคันดารี ก็ต้องเพิ่มจากจำนวนรอบในขดลวดไพรมารี ใน

อัตราส่วน $\frac{100,000}{400} = 250 : 1$ แต่เนื่องจากศักย์ไฟฟ้าที่ไปเลี้ยงหลอดอิเล็กทรอนิกส์นั้นใช้รายงานเป็นค่าสูงสุดของกิโลโวลต์ (kilovoltage peak) ดังนั้นการรายงานค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้จะต้องเปลี่ยนแปลงไป เพราะไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟจะรายงานศักย์ไฟฟ้าเป็น root mean square (R.M.S.) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงการจะนำไฟฟ้าไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น การรายงานค่า 100 กิโลโวลต์ จึงต้องเปลี่ยนไปเป็น $100 \times \sqrt{2} = 141$ กิโลโวลต์ ซึ่งเป็นค่า kilovolt peak (kVp)

แกน (The core)

แกนของทรานสฟอเมอร์ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เป็นชนิด core-type แกนเหล็กถูกหุ้มโดยขดลวด ทรานสฟอเมอร์ชนิดนี้พันขดลวดได้ง่าย และมีพื้นหน้าสำหรับระบายความร้อนได้ดี

ทรานสฟอเมอร์อีกแบบหนึ่ง แบบนี้มีแกนซึ่งมีขากลางขาเดียว เรียกว่า เป็นชนิด shell-type ขดลวดพันอยู่บนขากลางของแกนเหล็ก และยังมีแกนเหล็กหุ้มรอบอีกทีหนึ่ง แบบนี้มีวงจรมแม่เหล็กสั้นกว่าแบบ core-type และมี magnetic flux stray ภายนอกแกนเหล็กน้อยกว่า

ทรานสฟอเมอร์อีกแบบหนึ่งก็เป็นแบบ core-type แต่ทั้งขดลวดไพรมารีและเซคันดารีพันที่แกนทั้งสองโดยแบ่งกันแกนละครึ่ง คือ ขดเซคันดารีพันทับอยู่บนขดไพรมารี ทรานสฟอเมอร์ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงในเครื่องอิเล็กทรอนิกส์มักเป็นชนิด core-type มากกว่า shell-type

ขดลวด

ขดลวดทั้งสองในทรานสฟอเมอร์มีความยาวไม่เท่ากัน ขดลวดไพรมารีมีจำนวนขดลวดน้อยและใช้ลวดเส้นโต ส่วนขดลวดเซคันดารีมีจำนวนขดลวดมากและใช้ลวดเส้นเล็ก กระแสของขดลวดไพรมารีอาจสูงถึง 200 แอมแปร์ ส่วนกระแสทางขดลวดเซคันดารีมีกระแสน้อย เช่นเพียง 1,000 มิลลิแอมแปร์ ขดลวดเซคันดารีจะพันเป็นสองส่วน จุดกึ่งกลางใช้ต่อลงดินโดยผ่านแกน เรียกว่า earthed centre point จุดประสงค์ของการที่ต้องทำขดลวดเซคันดารีเป็นสองครึ่ง และต่อสายดินตรงจุดกึ่งกลางนั้น ก็เพื่อที่จะลดการใช้ฉนวนให้น้อยลง ทั้งยังลดขนาดและราคาของทรานสฟอเมอร์ รวมทั้งสายไฟฟ้าแรงสูงที่จะต่อไปยังโหลดอิเล็กทรอนิกส์ด้วย ถ้าไม่แยกเป็นสองครึ่งก็ต้องการฉนวนมาก ตัวอย่างเช่น ระหว่าง X และ Y มีศักย์ไฟฟ้า 100 kVp จึงต้องมีฉนวนสำหรับศักย์ไฟฟ้าสูงมากขนาดนี้ แต่ถ้าจุดกึ่งกลางต่อลงดิน ศักย์ไฟฟ้าก็จะลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่ง คือ แบ่งกันไป และมีค่า +50 kVp และ -50 IVp

การสูญเสียของทรานสฟอเมอร์

ทรานสฟอเมอร์ตามอุดมคตินั้น พลังงานที่ส่งออกจะเท่ากับพลังงานที่ได้รับ แต่ในทางปฏิบัติแล้วย่อมต้องมีการสูญเสียบ้าง โดยทั่วไปจะมีการสูญเสียไปประมาณ 10% ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกรรมวิธีในการทำงานของทรานสฟอเมอร์ เนื่องจากทรานสฟอเมอร์ประกอบด้วยขดลวดพันอยู่บนแกนเหล็ก และทำงานโดยการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้า จึงมีวงจรที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 อย่าง คือ วงจรไฟฟ้าและวงจรแม่เหล็ก และการสูญเสียก็เกิดขึ้นในวงจรทั้งสอง

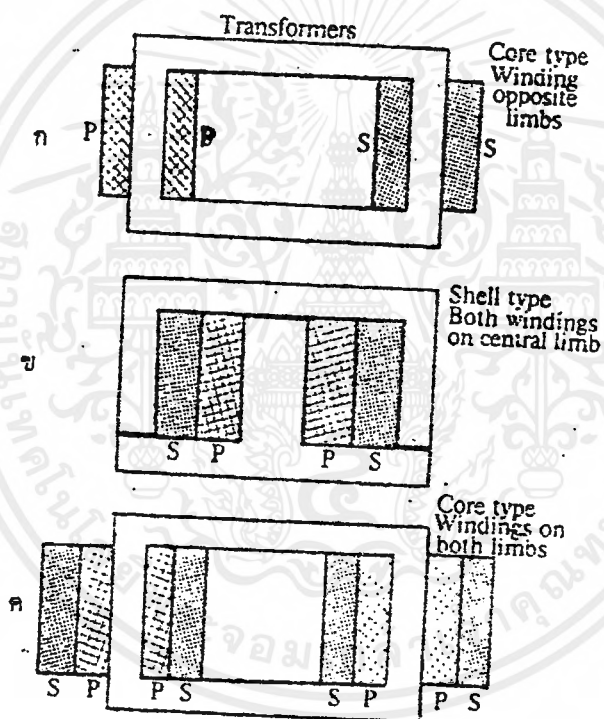
การสูญเสียในขดลวด พลังงานที่เสียไปในขดลวด เนื่องจากขดลวดมีความต้านทาน และพลังงานสูญเสียไปเป็นความร้อนเมื่อกระแสไหลผ่านขดลวด อาจเรียกว่า copper losses เพราะสูญเสียไปทางลวดทองแดง โดยทั่วไปพยายามทำให้มีการสูญเสียน้อย โดยการเลือกวัสดุและขนาดของเส้นลวดที่ใช้ การสูญเสียโดยวิธีนี้ทั้งหมดเป็นผลรวมของ I^2R ของขดไพรมารี + I^2R ของขดเซคันดารี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 59

ภาพตัดของทรานสฟอเมอร์ที่นำมาใช้เป็นทรานสฟอเมอร์ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงแบบต่าง ๆ

- ก. เป็น step-up transformer ชนิด core-type ที่มีขดลวดพันที่ขาตรงข้ามกับแกน
- ข. เป็น step-up transformer ชนิด shell-type ที่มีขดลวดพันอยู่บนขากลางของแกน ขดลวดเซคันดารีพันทับอยู่บนขดลวดไพรมารี
- ค. เป็น step-up transformer ชนิด core-type ที่มีขดลวดทั้งสองพันขาทั้งสองของแกน ขดลวดครั้ง ขดลวดเซคันดารีพันทับอยู่บนขดลวดไพรมารี



การสูญเสียที่แกน การสูญเสียโดยวิธีนี้มักเรียก iron losses เพราะแกนทำด้วยเหล็ก แบ่งออกได้เป็น hysteresis loss และ eddy current loss

Hysteresis loss เป็นการสูญเสียที่เกิดจากพลังงานที่ใช้ เพื่อที่จะคงการเปลี่ยนแปลงของ magnetic flux ในแกนเหล็ก เพราะเมื่อผ่านกระแสลับเข้าไปสนามแม่เหล็กจะเปลี่ยนทิศทางอยู่เรื่อย ๆ การใช้โลหะผสมมาเป็นแกนจะลดการสูญเสียโดยวิธีนี้ลงไปได้

Eddy current loss เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กร่วมกับการที่ขดลวดเหนี่ยวนำกระแสในแกน สามารถทำให้ลดน้อยลงได้โดยการทำแกนให้เป็นชั้น ๆ การสูญเสียพลังงานที่แกนซึ่งทำด้วยเหล็กจะมีค่าค่อนข้างคงที่ แม้ทรานสฟอเมอร์จะกำลังรับภาระ (load) หรือขณะที่ไม่ได้รับภาระอยู่ก็ตาม ไม่เหมือนกับการใช้แกนทองแดง ซึ่งการสูญเสียจะเพิ่มขึ้นเมื่อทรานสฟอเมอร์กำลังรับภาระอยู่

การทำไฟฟ้าที่มีศักย์ไฟฟ้าแรงสูงให้เป็นไฟตรง (The rectification of high tension)

เมื่อต่อขดลวดเซคันดารีของทรานสฟอเมอร์เข้ากับหลอดอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้กระแสไฟสลับที่มีศักย์ไฟฟ้าแรงสูงป้อนเข้าไปในหลอดอิเล็กทรอนิกส์โดยการนี้กระแสจะไหลผ่านหลอดอิเล็กทรอนิกส์เพียงในช่วงครึ่งรอบของกระแสไฟสลับเท่านั้น วงจรที่หลอดอิเล็กทรอนิกส์ต่อโดยตรงกับขดลวดเซคันดารีศักย์ไฟฟ้าแรงสูงเรียกว่า self-rectified circuit แต่การใช้วงจรนี้กับหลอดอิเล็กทรอนิกส์อยู่ในวงจำกัด ถ้าจะให้มีประสิทธิภาพดี จะต้องใช้เรกติไฟเออร์ช่วย

หลอดไดโอด (diode valve)

ตัวอย่างของการใช้หลอดไดโอดในวงจรศักย์ไฟฟ้าแรงสูง โดยการนี้หลอดอิเล็กทรอนิกส์จะได้รับศักย์ไฟฟ้าแรงสูงตลอดเวลา และในทางปฏิบัติจะมีไฟฟ้าตกคร่อมที่หลอดไดโอดแต่ละหลอดประมาณ 1-2 kV ดังนั้น หลอดอิเล็กทรอนิกส์จะได้รับศักย์ไฟฟ้าส่วนที่เหลือ

เรกติไฟเออร์ที่ใช้สารกึ่งตัวนำ

ได้มีการนำสารกึ่งตัวนำมาใช้เป็นเรกติไฟเออร์ของหลอดอิเล็กทรอนิกส์ ในระยะแรกใช้เซเลเนียม ต่อมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1965 ได้เริ่มนำซิลิคอนเรกติไฟเออร์มาใช้

เรกติไฟเออร์ที่ใช้สารกึ่งตัวนำมีข้อดีกว่าหลอดไดโอด ดังต่อไปนี้คือ

(1) มีอายุยาวกว่า เพราะไม่มีไส้หลอดที่จะขาดไปได้เมื่อใช้ไปชั่วระยะหนึ่ง ถึงแม้ว่าการลงทุนในระยะแรกแพงกว่า

(2) ไม่มีทรานสฟอเมอร์ที่ใช้จุดไส้หลอด ฉะนั้น จึงไม่ต้องเปลืองไฟฟ้าและเปลืองค่าทรานสฟอเมอร์ รวมทั้งระบบควบคุมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) แข็งแรงกว่า

(4) มีขนาดเล็กกว่า เช่น ซิลิคอนเรกติไฟเออร์ขนาดเท่านิ้วมือ แต่หลอดไดโอดมีขนาดเท่าท่อนแขน

(5) เมื่อหน่วยศักย์ไฟฟ้าแรงสูง รวมทั้งเรกติไฟเออร์มีขนาดเล็ก ก็สามารถที่จะใช้ full-wave rectification ได้ ในหน่วยอิเล็กทรอนิกส์เคลื่อนที่

(6) เมื่อไม่มีไฟจุดไส้หลอด ซึ่งหมายถึงว่า มีความร้อนเกิดขึ้นน้อย ก็ไม่จำเป็นต้องมีถังศักย์ไฟฟ้าแรงสูงที่มีขนาดใหญ่เพื่อระบายความร้อน

3. การควบคุมกิโลโวลเตจ

ในการถ่ายภาพเอ็กซเรย์นั้น อำนาจการทะลุทะลวงของรังสีเอ็กซ์ขึ้นอยู่กับจำนวนกิโลโวลเตจที่ใช้ ความต้องการใช้อาจเปลี่ยนแปลงได้จาก 20 kVp (ในการถ่ายภาพเอ็กซเรย์เต้านม) จนถึง 100-130 kVp (ในรายที่ต้องการอำนาจทะลุทะลวงมาก ๆ) การควบคุมศักย์ไฟฟ้าส่งออกนี้มักใช้การเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้านำเข้า โดยทั่วไปจะใช้ทรานสฟอเมอร์อีกอันหนึ่งมาต่อक्रमขดลวดไพรมารีของทรานสฟอเมอร์ศักย์ไฟฟ้าแรงสูง ถ้าทรานสฟอเมอร์ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงมีอัตราส่วนของจำนวนรอบ 250 : 1 ฉะนั้น การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าทางขดลวดไพรมารีเพียง 8 โวลต์ จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าของขดลวดเซคันดารีถึง 2 กิโลโวลต์

ออโตทรานสฟอเมอร์ การใช้ออโตทรานสฟอเมอร์ควบคุมกิโลโวลเตจที่เป็นขั้น ๆ โดยทั่วไปนั้นการควบคุมสามารถเปลี่ยนขั้นได้ทีละ 2 kVp เช่น ช่วงของ kVp ที่ใช้เลือกจาก 40-100 kVp จะต้องเปลี่ยนได้ถึง 31 ขั้น ในเครื่องเอ็กซเรย์บางเครื่องมีการควบคุมที่ให้เลือกได้ 2 อย่างคือ การควบคุมอย่างหยาบทุก 10 kVp และการควบคุมอย่างละเอียดทุก 1 kVp

การควบคุมกิโลโวลเตจที่เปลี่ยนได้ทุกค่า (continuous control of kilovoltage) การควบคุมกิโลโวลเตจที่ได้กล่าวถึงข้างต้นนั้นมีค่าคงที่ แต่เปลี่ยนได้เป็นขั้น ๆ ซึ่งใช้ได้ดีสำหรับการถ่ายภาพรังสี (radiography) แต่ในเครื่องเอ็กซเรย์ที่ใช้สำหรับ fluoroscopy ซึ่งต้องการใช้งานแต่ละครั้งเป็นเวลานาน ๆ มักจะมีการควบคุมกิโลโวลเตจที่ไม่เป็นขั้น คือ เปลี่ยนได้ตลอดช่วง การควบคุมเช่นนี้อาศัย Variac transformer

การแสดงกิโลโวลเตจ

ในการถ่ายภาพเอ็กซเรย์นั้นผู้ถ่ายภาพจำเป็นต้องทราบกิโลโวลเตจที่ใช้ การแสดงกิโลโวลเตจกระทำได้อย่างสองอย่าง คือ

วงจรจุดไส้หลอดและการควบคุมกระแสของหลอดอิเล็กทรอนิกส์

ทรานสฟอเมอร์จุดไส้หลอด หลอดอิเล็กทรอนิกส์ต้องการกระแสไฟฟ้าเพื่อจุดไส้หลอด โดยทั่วไปจะใช้ศักย์ไฟฟ้า 8-12 โวลต์ และมีกระแสมากคือ 4-8 แอมแปร์ จึงต้องใช้ stepdown transformer ที่มีอัตราส่วนของจำนวนรอบ 20 : 1

การควบคุมกระแสของหลอด กระแสที่เข้าไปเลี้ยงหลอดอิเล็กทรอนิกส์ทำให้เปลี่ยนแปลงได้โดยการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าที่จุดไส้หลอด เป็นวิธีการที่ใช้ลดศักย์ไฟฟ้าของขดลวดไพมาเรียโดยใช้รีซิสเตอร์ที่ปรับค่าได้ การควบคุมวิธีนี้ใช้ควบคุมกระแสไฟฟ้าที่จุดไส้หลอดในระหว่างการตรวจ fluoroscopy เมื่อใช้ฟิล์มลิแอปรองที่มีค่าต่ำและต้องให้กระแสไฟไหลผ่านหลอดเป็นเวลานาน

ในกรณีที่ใช้การถ่ายเอ็กซเรย์ การควบคุมกระแสไฟทำได้โดยใช้รีซิสเตอร์เช่นกัน แต่มีวิธีการที่ต่างออกไป คือ ใช้รีซิสเตอร์ที่มีค่าคงตัวหลายค่า พร้อมทั้งสวิตช์เลือก

การปรับศักย์ไฟฟ้าของวงจรจุดไส้หลอดให้คงที่ การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าจากแหล่งใหญ่ (main voltage) มีได้ 3 อย่าง คือ

- (1) การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าอย่างช้าโดยไม่เกี่ยวกับการถ่ายเอ็กซเรย์
- (2) การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าอย่างเร็วทั้งที่กำลังถ่ายและไม่ได้ถ่ายเอ็กซเรย์
- (3) ศักย์ไฟฟ้าที่ลดลงขณะกำลังถ่ายเอ็กซเรย์

ศักย์ไฟฟ้าของวงจรที่จุดไส้หลอดต้องทำให้คงที่ จึงจะทำให้กระแสที่ไปเลี้ยงหลอดเอ็กซเรย์คงที่ การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าของวงจรจุดไส้หลอดเพียง 5% จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงกระแสที่ไปเลี้ยงหลอดเอ็กซเรย์ถึง 20-30% การเปลี่ยนแปลงขนาดนี้จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มของภาพถ่ายรังสีที่สังเกตได้ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสของหลอดเอ็กซเรย์และกระแสที่จุดไส้หลอด วิธีการที่ทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่จุดไส้หลอดคงที่มี 2 อย่าง คือ static type และ electronic type

Static stabilizers เครื่องทำให้ศักย์ไฟฟ้าคงที่ชนิดสเตติกนี้ไม่มีส่วนเคลื่อนไหว อาจเรียก choke-condenser stabilizer

สรุป วงจรจุดไส้หลอดจะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้คือ

- (1) filament transformer
- (2) milliamperes selector
- (3) space-charge compensator
- (4) frequency compensator
- (5) voltage stabilizer

(6) source of alternating voltage

วงจรจุดใส่หลอดที่แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ

เครื่องแสดงมิลลิแอมป์

ในการถ่ายภาพเอ็กซเรย์นั้น ผู้ถ่ายภาพจำเป็นต้องทราบจำนวนกระแสไฟฟ้าที่หลอดเอ็กซเรย์ใช้ มิเตอร์ที่ใช้แสดงมีอยู่ 2 อย่างคือ มิเตอร์แสดงมิลลิแอมป์และมิเตอร์แสดงมิลลิแอมป์ต่อวินาที

1. มิเตอร์แสดงมิลลิแอมป์ (milliamperes meter)

เป็นมิเตอร์ที่บันทึกจำนวนกระแสที่ไหลผ่านหลอดเอ็กซเรย์ ซึ่งก็หมายถึงการวัดกระแสที่ไหลผ่านขดลวดเซคันดารีของทรานสฟอเมอร์สตั๊กไฟฟ้าแรงสูง เนื่องจากผู้ถ่ายภาพเอ็กซเรย์ต้องการอ่านมิลลิแอมป์มิเตอร์ เพื่อที่จะทดสอบสมรรถภาพของเครื่องเอ็กซเรย์ มิเตอร์นี้ควรจะอ่านได้ง่าย แต่จะต้องสามารถอ่านได้ช่วงกว้าง เช่น 0-500 mA แต่ในภาวะที่ใช้กระแสน้อย ๆ จะทำให้อ่านลำบาก จึงมักต้องทำเป็น 2 สเกลคือ จาก 0-5 mA และ 0-500 mA

2. มิเตอร์แสดงมิลลิแอมป์ต่อวินาที (milliampereseconds meter)

ในเครื่องเอ็กซเรย์จำเป็นต้องมีมิเตอร์ที่แสดงค่ามิลลิแอมป์ต่อวินาที เพราะถ้าการถ่ายภาพเอ็กซเรย์ที่มีช่วงสั้นมาก ๆ มิเตอร์ธรรมดาไม่สามารถจะรายงานค่ากระแสไฟฟ้าได้ เพราะต้องใช้เวลาอย่างน้อย 1 วินาที จึงจะอ่านค่าได้ถูกต้อง จึงต้องใช้มิเตอร์ที่รายงานเป็นมิลลิแอมป์ต่อวินาที ตัวอย่างเช่น ถ้าใช้เวลาถ่ายภาพเอ็กซเรย์ 0.04 วินาที และมิเตอร์รายงาน mAs. ดังนั้น กระแสที่ไหลผ่านหลอดเอ็กซเรย์จึงมีค่า 400 mA.

ลักษณะของมิเตอร์ที่ใช้รายงานมิลลิแอมป์ต่อวินาทีนี้ แตกต่างจากมิลลิแอมป์มิเตอร์ธรรมดา คือ มิลลิแอมป์มิเตอร์โดยทั่ว ๆ ไปจะมีสปริง 2 อัน คือ อันหนึ่งทำหน้าที่ควบคุมสมดุลของแรงแม่เหล็กระหว่างแท่งแม่เหล็กถาวรและขดลวด ส่วนอีกอันหนึ่งทำหน้าที่ดึงเข็มกลับมาที่ศูนย์เมื่อไม่มีกระแสไหลในขดลวดแล้ว ส่วนมิเตอร์แสดงมิลลิแอมป์ต่อวินาทีนั้นไม่มีสปริง 2 อัน ดังกล่าว ขดลวดจะหมุนได้เป็นอิสระเมื่อมีกระแสไหลผ่าน ความมากน้อยของการหมุนขึ้นอยู่กับความแรงของไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ ฉะนั้น จึงสามารถรายงานเป็นมิลลิแอมป์ต่อวินาทีได้ แต่เนื่องจากไม่มีสปริงสำหรับดึงเข็มให้กลับมาที่ศูนย์ จึงต้องใช้กระแสไฟตรงประมาณ 1.5 โวลต์ ป้อนกลับทาง ซึ่งอาจจะกระทำอัตโนมัติพร้อมกับการเตรียมการถ่ายภาพเอ็กซเรย์ครั้งต่อไป หรืออาจใช้การกดปุ่มด้วยมือ

การอ่านสเกลมักทำให้ให้อ่านได้สองค่า เช่น 0-5 mAs. และ 0-250 mAs.

ประโยชน์ของการแสดงค่ามิลลิแอมป์

การแสดงค่ามิลลิแอมป์สามารถบอกผู้ถ่ายเอ็กซเรย์ว่า (1) หลอดเอ็กซเรย์ได้รับกระแสไฟฟ้า, (2) ได้มีการถ่ายเอ็กซเรย์แล้ว, (3) เครื่องเอ็กซเรย์ทำงานได้ถูกต้อง ฉะนั้น ผู้ถ่ายเอ็กซเรย์ควรจะได้อ่านค่ามิลลิแอมป์ทุกครั้งที่มีการถ่ายเอ็กซเรย์

ค่าของมิลลิแอมป์หรือมิลลิแอมป์ต่อวินาที สามารถบ่งชี้ความผิดปกติของหลอดเอ็กซเรย์ หรือวงจรที่เกี่ยวข้องได้ดังต่อไปนี้ คือ

(1) ไม่มีกระแสทางมิเตอร์เลย แสดงว่าไม่มีกระแสไหลผ่านหลอดเอ็กซเรย์ เมื่อตัดสาเหตุการใช้เครื่องเอ็กซเรย์ไม่ถูกต้องออกไปแล้ว การไม่มีกระแสในหลอดเอ็กซเรย์แสดงถึงไส้หลอดขาด, การขัดข้องของวงจรที่เลี้ยงไส้หลอด หรือสายไฟสัณยไฟฟ้าแรงสูงที่ติดกับหลอดเอ็กซเรย์ขาด ถ้าเครื่องเอ็กซเรย์ทำเสียงของคอนแทคเตอร์, ไมโครสวิตช์, และเสียงแอโนดหมุน ก็น่าจะเชื่อกันว่าการไม่มีไฟที่มิเตอร์ มีสาเหตุหนึ่งสาเหตุใดดังที่กล่าวแล้วข้างต้น

(2) มีการขัดข้องที่กระแสของหลอดเอ็กซเรย์เป็นครั้งคราว น่าจะนึกถึงไส้หลอดขาด หรือสายไฟของสัณยไฟฟ้าแรงสูงขาด และถ้าอาการดีและเสียเกิดจากการเปลี่ยนตำแหน่งของหลอดเอ็กซเรย์หรือสายไฟ ทำให้น่านึกถึงมากกว่าสายไฟขาด

(3) ถ้ากระแสของหลอดเพิ่มมากขึ้นเกินกว่าที่ควรจะเป็น ร่วมกับมีเสียงของไฟสัณยไฟฟ้าแรงสูงซึ่งอาจไม่ดังมาก อาจมีความผิดปกติที่ฉนวนของสายไฟสัณยไฟฟ้าแรงสูง

(4) เมื่อมิลลิแอมป์เพิ่มขึ้นสูงมาก จนเข็มดีไปสุดสเกลและงอ และยังเห็นหลอดเอ็กซเรย์มีก๊าซอยู่ภายใน แสดงว่าหลอดเอ็กซเรย์ใช้ไม่ได้แล้ว ความผิดปกติของหลอดเรคติไฟเออร์ในวงจรสัณยไฟฟ้าแรงสูงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้กระแสในหลอดเอ็กซเรย์เพิ่ม

(5) เมื่อค่ามิลลิแอมป์ลดลงเหลือประมาณครึ่งหนึ่ง แสดงว่าเรคติไฟเออร์ที่เป็น full-wave มีการขัดข้อง และเปลี่ยนมาเป็น half-wave สาเหตุอีกอย่างหนึ่งคือความผิดปกติของวงจรจุดไส้หลอด ทำให้อุณหภูมิของไส้หลอดไม่สูงพอเพียง อาจจะเป็นตลอดระยะเวลาการถ่ายเอ็กซเรย์หรือเป็นตอนเริ่มต้นการถ่าย แต่สามารถเป็นปกติได้เมื่อการถ่ายดำเนินต่อไป กระแสที่ผ่านหลอดเอ็กซเรย์น้อยอาจเกิดขึ้นจากสาเหตุอื่น หลอดเรคติไฟเออร์มีไส้หลอดไม่เพียงพอ อย่างไรก็ตามสาเหตุที่เป็นได้มากที่สุดของไส้หลอดที่ไม่ร้อนเพียงพอคือ ทรานสฟอเมอร์ที่เลี้ยงมีสัณยไฟฟ้าลดลง

การชดเชยศักย์ไฟฟ้าของไฟที่เข้ามาเลี้ยงเครื่องเอ็กซ์เรย์ (Mains voltage compensation)

ศักย์ไฟฟ้าของไฟที่เข้ามาเลี้ยงเครื่องเอ็กซ์เรย์มีการเปลี่ยนแปลงได้ดังต่อไปนี้ คือ

(1) การเปลี่ยนแปลงช้า เนื่องจากความแตกต่างในการจ่ายไฟและการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน

(2) การเปลี่ยนแปลงเร็ว เนื่องจากเครื่องอื่นที่ใช้สายไฟเดียวกันกำลังรับภาระอยู่ และดึงไฟฟ้าไป

(3) ศักย์ไฟฟ้าลดลงขณะถ่ายเอ็กซ์เรย์ เนื่องจากเครื่องเอ็กซ์เรย์ดึงกระแสมากเอง

การแก้ไขทำได้โดยเครื่องชดเชยศักย์ไฟฟ้า (main voltage compensation) การแก้ไขนั้นเป็นการแก้ไขไฟฟ้าที่ส่งออกจากทรานสฟอเมอร์ศักย์ไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งอาจกระทำได้โดยการใช้มือหรืออัตโนมัติ

1. เครื่องชดเชยศักย์ไฟฟ้าที่ใช้มือปรับ

ผังวงจรของเครื่องชดเชยศักย์ไฟฟ้าที่ใช้มือปรับได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.23 เครื่องชดเชยเป็นออโตทรานสฟอเมอร์ มีสวิตช์เลือกที่เปลี่ยนแปลงจำนวนขดของทรานสฟอเมอร์ จากรูปจะเห็นสวิตช์เลือกที่ต่อกับออโตทรานสฟอเมอร์ที่จุด A มีโวลมิเตอร์ต่อกับออโตทรานสฟอเมอร์ในจำนวนขดลวดที่คงตัวจำนวนหนึ่ง สมมุติว่าสวิตช์เลือกอยู่ที่ A และในภาวะนี้จำนวนรอบของออโตทรานสฟอเมอร์ที่อยู่ในวงจรเป็น 240 รอบ ไฟฟ้าที่เข้ามาเลี้ยงมีค่าถูกต้องคือ 240 โวลต์ และเข็มของมิเตอร์ก็อยู่ตรงขีดที่แสดงค่าถูกต้อง และแสดงว่าศักย์ไฟฟ้าของออโตทรานสฟอเมอร์คือ 1 โวลต์ต่อ 1 รอบ เมื่อศักย์ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟลดลงเป็น 235 โวลต์ มิเตอร์ของโวลต์มิเตอร์จะลดลงต่ำกว่าขีด เมื่อผู้ถ่ายเอ็กซ์เรย์เห็นการเปลี่ยนแปลงจึงปรับสวิตช์เลือกไปยังจุด C ที่จุดนี้ของออโตทรานสฟอเมอร์จะรวมขดลวด 235 รอบอยู่ในวงจร จึงทำให้มีศักย์ไฟฟ้าต่อรอบเป็น 1 โวลต์ต่อรอบเหมือนเดิม เข็มของมิเตอร์จึงกลับไปค่าเดิมซึ่งเป็นค่าที่ถูกต้อง ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปจึงได้รับการชดเชย เมื่อศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นก็ต้องการการปรับสวิตช์เลือกไปในทิศทางตรงกันข้าม

2. การชดเชยศักย์ไฟฟ้าด้วยวิธีการอัตโนมัติ

การชดเชยศักย์ไฟฟ้าอาจกระทำได้ด้วยวิธีการอัตโนมัติ สามารถใช้วิธีการหลายอย่างได้ แต่ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างเพียงวิธีการเดียวโดยการใช้เฟือง (ratchet) ที่หมุนโดยวิธีการทางไฟฟ้า (รูปที่ 3.24) แท่งเหล็ก มีคุณสมบัติที่สำคัญคือ แกว่งไปทางขวาและซ้ายโดยมอเตอร์ไฟฟ้าที่ติดกับก้านต่อ เมื่อศักย์ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟมีค่าปกติ แม่เหล็กไฟฟ้าจะไม่ทำงานที่บังคับ

เฟือง P จะไม่ไปจับเฟืองไว้ แต่เมื่อสวิตช์ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟเปลี่ยนไปจะทำให้แม่เหล็กไฟฟ้าคู่หนึ่งคู่ใดทำงาน โดยวงจรไฟฟ้าซึ่งจะได้กล่าวต่อไปในภายหลังเมื่อสวิตช์ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟลดลง จะทำให้แม่เหล็กไฟฟ้าอันขวามือทำงาน ที่บังคับเฟือง P ถูกดึงไปทางขวาและคงอยู่ด้วยแรงแม่เหล็ก แต่เมื่อปล่อยจะเคลื่อนเฟืองไปตามเข็มนาฬิกา ดังนั้นจึงเป็นการชดเชยสำหรับสวิตช์ไฟฟ้าที่ลดลง

วงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ให้พลังงานแก่แม่เหล็กไฟฟ้าได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.25

วงจรนี้มีรูปเป็นวงจรบริดจ์ ที่มีขดลวด C อยู่ในตำแหน่งตรงกลางซึ่งเป็นตำแหน่งของมิเตอร์ ขดลวด L_1 และ L_2 ทำหน้าที่เป็นขาทั้งสองของวงจรบริดจ์ ฉะนั้น วงจรบริดจ์จึงประกอบด้วยขาทั้ง 4 คือ R_9 , R_{10} และหลอดไฟ L_1 , L_2 ซึ่งขดลวดแต่ละขดมีสวิตช์ไฟฟ้า 12 โวลต์ การใช้หลอดไฟเพราะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสวิตช์ไฟฟ้ามาก การเปลี่ยนแปลงสวิตช์ไฟฟ้าเพียง 1 โวลต์ จะมีการเปลี่ยนแปลงกระแสที่ไหลผ่านหลอดไฟ และความต้านทานเปลี่ยนไปด้วย ส่วน R_8 ใช้สำหรับเป็นความต้านทานชดเชยเพื่อปรับวงจรบริดจ์ ไฟฟ้าที่มาจากวงจรบริดจ์เป็นกระแสที่เรกติไฟด์แล้วมีค่า 17 โวลต์ ซึ่งสวิตช์ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปตามสวิตช์ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟด้วย วงจรบริดจ์จะอยู่ในสมดุล คือ ไม่มีสวิตช์ไฟฟ้าระหว่างจุด A และ B จึงไม่มีกระแสไหลผ่านขดลวดรีเลย์ C ส่วนหน้าสัมผัส D เปิดและปิด

2.4.4 หน่วยสร้างสวิตช์ไฟฟ้าแรงสูง

High voltage circuit

ส่วนประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งของเครื่องเอ็กซ์เรย์คือ คั่นของไฟฟ้าแรงสูง โดยทั่วไปเครื่องเอ็กซ์เรย์ที่ใช้วินิจัยโรค จะต้องการสวิตช์ไฟฟ้าแรงสูงตั้งแต่ 20 กิโลวัตต์ ถึง 120 กิโลวัตต์ ไฟฟ้าที่มีสวิตช์ไฟฟ้าแรงสูงนี้ ทำได้จากการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับจาก main line โดยอาศัย step up transformer แล้วอาจแปลงหรือไม่แปลงเป็นไฟตรงก็ได้ขึ้นอยู่กับความต้องการและความเหมาะสม

หน่วยสร้างสวิตช์ไฟฟ้าแรงสูงแบ่งได้เป็นชนิดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

Self-rectified high tension circuit

วงจรสวิตช์ไฟฟ้าแรงสูงชนิดนี้ใช้หลอดเอ็กซ์เรย์เป็นตัวที่ทำให้ไปตรง โดยไม่ต้องใช้เรกติไฟเออร์ภายนอก โดยที่หลอดเอ็กซ์เรย์ทำหน้าที่เป็นหลอดไดโอด ไฟฟ้าจึงผ่านไปไดโนครึ่งรอบของไฟฟ้าสลับ รูปร่างของคลื่นไฟฟ้าสลับหลังจากผ่านหลอดเอ็กซ์เรย์ รูปร่างของคลื่นไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปไข่นี้ก็ไม่เหมือนกับคลื่นไฟฟ้าสลับ เพราะถึงจุดอัมพัทในการทำงานของหลอด ฉะนั้น ในช่วง AB หลอดเอ็กซเรย์จะทำงานได้ แต่ในช่วง BC หลอดเอ็กซเรย์จะทำงานไม่ได้

ข้อจำกัดของวงจรสร้างศักย์ไฟฟ้าแรงสูงชนิดนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้ คือ

- (1) เอ็กซเรย์ปล่อยออกมาจากหลอดเพียงครึ่งรอบของไฟฟ้าสลับ
- (2) กระแสที่ผ่านหลอดในช่วงที่มากที่สุด จะมากกว่าค่าเฉลี่ยถึง 3 เท่า
- (3) อัตราการใช้หลอดเอ็กซเรย์เมื่อใช้วงจรศักย์ไฟฟ้าแรงสูงชนิดนี้ ถูกจำกัดกว่าการใช้วงจรศักย์ไฟฟ้าแรงสูงชนิดอื่น
- (4) ต้องใช้ระบบสายไฟที่ทนไฟแรงสูงได้มากกว่า เพราะศักย์ไฟฟ้าสูงสุดมีค่ามากกว่า อย่างไรก็ตามเครื่องเอ็กซเรย์ที่ใช้วงจรศักย์ไฟฟ้าแรงสูงชนิดนี้มีข้อดี คือ ขนาดเล็ก, เบา, ราคาถูก, ใช้งานง่าย จึงเหมาะสำหรับเครื่องเอ็กซเรย์เคลื่อนที่ที่พกพาไปไหนมาไหนได้

Half-wave rectified circuit

เพื่อที่จะตัดปัญหาของ reverse current ที่ไหลผ่านหลอดเอ็กซเรย์จึงได้มีการใช้เรกติไฟเออร์ในวงจรเพื่อทำให้เป็นวงจรชนิด half-wave rectified ทำให้อัตราการใช้หลอดเอ็กซเรย์เพิ่มขึ้นไปบ้าง แต่ค่ามิลลิแอมแปร์ก็ยังคงเป็นข้อจำกัดอยู่และที่สำคัญ คือ เมื่อใช้วิธีนี้ทำให้คุณสมบัติของขนาดเล็กและราคาถูกลดลงไปด้วย ดังนั้น ในปัจจุบันวิธีนี้จึงไม่ค่อยได้ใช้กัน

Four-rectifier full-wave rectifier circuit

โดยการเพิ่มจำนวนไดโอดเข้าไปในวงจรศักย์ไฟฟ้าแรงสูง สามารถทำคลื่นไฟฟ้าให้เป็น full-wave ได้ รูปของวงจรชนิดนี้และคลื่นไฟฟ้า วงจรชนิดนี้มีข้อดีคือ สามารถทำให้หลอดเอ็กซเรย์มีอัตราการใช้งานสูงกว่าเมื่อใช้วงจร half-wave แต่มีข้อไม่ได้อยู่บ้างคือ ราคาแพง, วงจรยุ่งยากกว่า, หนักและมีขนาดใหญ่

สังเกตลักษณะการต่อวงจร คือ การต่อจุดกึ่งกลางของขดลวดเซตตันดาร์ลิงตัน ทำให้สามารถช่วยแบ่งศักย์ไฟฟ้าของขดลวดลงเหลือครึ่งหนึ่งได้ ซึ่งเป็นการลดการใช้สายไฟขนาดใหญ่ลงไปได้ เช่น ถ้าศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากขดลวดเซตตันดาร์เป็น 100 kVp ดังนั้น จะทำให้ปลายข้างหนึ่งของขดลวดเป็น +50 kVp เมื่อเทียบกับดิน และอีกข้างหนึ่งเป็น -50 kVp เมื่อเทียบกับดิน ส่วนมิเตอร์ที่ใช้วัดจำนวนกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดเอ็กซเรย์ก็อาจใส่ไว้ที่ Centre-tapped กับดินได้ คดขยไม่มีอันตรายต่อผู้ใช้เครื่อง

Villard Voltage-Doubling Circuit

วงจรนี้ทำให้ได้ศักย์ไฟฟ้าเป็น 2 เท่าของศักย์ไฟฟ้าจากขดลวดเซคันดารี โดยการใช้คาปาซิเตอร์มาช่วยเก็บประจุไฟฟ้า

วงจรศักย์ไฟฟ้าแรงสูงชนิด full-wave ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ได้ใช้ในเครื่องเอกซเรย์ที่ต้องการกระแสมากกว่า 100 mA อาจทำให้หลอดเอกซเรย์สามารถทำงานได้ถึง 500 mA ที่ 120-130 kVp แต่จะมีข้อจำกัดอยู่ที่แต่ช่วงเวลาที่ฉายสั้นมาก ๆ โดยทั่วไปขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นไฟฟ้าสลับ คือ เวลาที่ใช้ 0.01 วินาที ส่วนเวลาที่สั้นมาก ๆ ถึง 2-3 msec. ยังทำไม่ได้

Three-phase full-wave rectified circuit

โดยการใช้ไฟฟ้า 3 phase มาเรกติไฟค์ จะได้ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีลักษณะเรียบขึ้นมาก อาจใช้เรกติไฟเออร์ 6 อันหรือ 12 อันก็ได้ ตัวอย่างของวงจรศักย์ไฟฟ้าแรงสูงที่ใช้ไฟฟ้า 3 เฟส และเรกติไฟเออร์ 6 อัน และ 12 อัน ส่วนรูปร่างของคลื่นไฟฟ้าที่ได้จากวงจรศักย์ไฟฟ้าแรงสูงทั้งเฟสเดียวและสามเฟส เมื่อใช้ไฟฟ้าสามเฟสจะเกิดคลื่นไฟฟ้าสลับกันและมีส่วนที่ซ้อนทับกันบ้าง จึงได้คลื่นไฟฟ้าที่เรียบมากขึ้นกว่าคลื่นไฟฟ้าจากเฟสเดียว เมื่อใช้ไฟฟ้าสามเฟสและเรกติไฟเออร์ 2 อัน จะได้คลื่นไฟฟ้าที่มีส่วนที่ไม่เรียบ 13% (percent ripple) ในรอบหนึ่งของการทำงาน จะมีคลื่นไฟฟ้า 6 คลื่น ป้อนเข้าไปในหลอดเอกซเรย์ จึงเรียกว่า Six-pulse circuit

เมื่อเพิ่มเรกติไฟเออร์เป็น 12 อัน เปอร์เซนต์ที่คลื่นไฟฟ้าไม่เรียบ จะลดลงอีกคือ มีเพียง 3-4% และเรียกววงจรนี้ว่า twelve-pulse circuit

เมื่อพิจารณาถึงกระแสไฟฟ้าของวงจรศักย์ไฟฟ้าแรงสูงชนิดต่าง ๆ จะได้ค่าดังต่อไปนี้ คือ วงจร full-wave rectified ของไฟฟ้าเฟสเดียว จะได้กระแสเฉลี่ยเป็น 71% ของกระแสสูงสุด (peak current) เมื่อใช้วงจรสามเฟสชนิดที่มีเรกติไฟเออร์ 6 อัน จะได้กระแสเฉลี่ยเป็น 95% ของกระแสสูงสุด การที่วงจรสามเฟสมีกระแสเฉลี่ยสูง ทำให้เวลาที่ใช้ในการถ่ายเอกซเรย์ลดลงได้

2.4.5 ฟิวส์, สวิต และอินเตอร์ล๊อค

เครื่องเอกซเรย์ต้องเกี่ยวข้องกับไฟฟ้าแรงสูง จึงต้องมีสวิตซ์ต่าง ๆ ที่มีลักษณะเฉพาะเพื่อช่วยในการทำงาน ทั้งเป็นการป้องกันอันตรายต่อเครื่องเอกซเรย์ด้วย

ฟิวส์

ฟิวส์ที่กล่าวถึงจะรวมทั้งหมดที่เรียก (fuse units) ที่มีสัญลักษณ์ ฟิวส์ประกอบด้วย ลวดฟิวส์ (fuse element), หัวต่อฟิวส์ (fuse link) และหน้าสัมผัสของฟิวส์ (fuse contacts) ลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟิวส์มักทำด้วยดีบุก, โลหะผสมของดีบุกและตะกั่ว, อะลูมิเนียม, ตะกั่วหรือทองแดง หัวต่อฟิวส์ประกอบด้วยลวดฟิวส์และที่หุ้มซึ่งเป็นแก้ว ส่วนหน้าสัมผัสของฟิวส์เป็นกรอบโลหะที่ปิดปลายหลอดแก้วอยู่

สวิทช์และวงจรตัดไฟ (Switch and Circuit Breaker)

สวิทช์ที่ใช้ในเครื่องอิเล็กทรอนิกส์มีหลายชนิด ได้แก่ สวิทช์ใหญ่สำหรับแหล่งจ่ายไฟที่เข้าไปเลี้ยงเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ (Main supply switch) รีเลย์ (magnetic relay) สำหรับเปิดปิดวงจรไฟฟ้าภายในเครื่องโดยอัตโนมัติ วงจรตัดไฟ (circuit breaker) เพื่อป้องกันเครื่องเมื่อมีไฟมากเกินไป และสวิทช์ของศักย์ไฟฟ้าแรงสูง (high tension switch) มีชื่อที่ใช้ในทางเทคนิคอยู่ 3 ชื่อคือ สวิทช์ (switch) ซึ่งหมายถึง หน้าสัมผัสที่ใช้มือ ส่วนรีเลย์ (relay) เป็นหน้าสัมผัสที่ทำงานโดยแรงแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมากมีหน้าสัมผัสอยู่หลายชุดและคอนแทคเตอร์ (contactor) เป็นรีเลย์ขนาดใหญ่ที่ใช้กับกระแสสูง ๆ และมักมีหน้าสัมผัสน้อยชุดกว่า นอกจากนั้นยังมีคำอีก 2 คำคือ ฟิวส์สวิทช์ (fuseswitch) และสวิทช์ฟิวส์ (switchfuse) ชื่อแรกเป็นหน่วยที่มีฟิวส์ติดอยู่กับส่วนที่เคลื่อนไหวของสวิทช์ ส่วนชื่อหลังนั้นฟิวส์ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งที่เคลื่อนไหวได้ของสวิทช์

สวิทช์ใหญ่สำหรับแหล่งจ่ายไฟ (main supply switch)

สวิทช์ใหญ่ควรจะติดตั้งไว้ที่ข้างฝาของห้องที่เครื่องอิเล็กทรอนิกส์ติดตั้งอยู่ สำหรับเปิดและปิดให้ไฟที่เข้าไปเลี้ยงเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ทั้งชุดด้วยสวิทช์อันเดียวกัน เพื่อใช้เมื่อจะทำการตรวจเช็คเครื่องและใช้ในเหตุการณ์รับควมด้วย สวิทช์ที่ใช้อาจเป็นชนิดขั้วเดียว (single pole) แต่ที่ใช้กันในปัจจุบันนี้เป็นชนิด 2 ขั้ว (double pole) ซึ่งปลอดภัยกว่าเพราะสามารถตัดไฟได้ 2 สายพร้อมกัน หรือเป็นชนิด 3 ขั้ว (triple pole) ซึ่งตัดไฟได้พร้อมกัน 3 สาย ใช้สำหรับไฟ 3 เฟส การทำงานของสวิทช์ควรจะเปิดและปิดได้เร็ว ไม่ควรขึ้นอยู่กับความเร็วในการโยกของผู้ใช้ จึงต้องใช้สปริงติดอยู่กับด้ามโยก และสวิทช์จะต้องไม่ค้างอยู่ครึ่ง ๆ กลาง ๆ ควรจะอยู่ในตำแหน่งปิดหรือเปิดเต็มที่

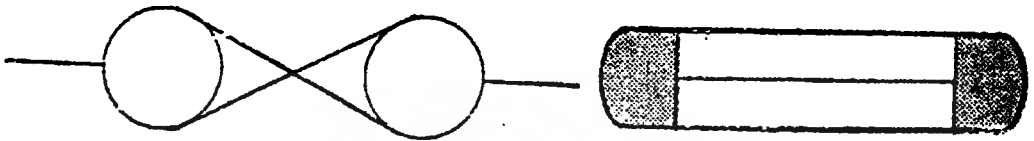
รีเลย์ (magnetic relay)

รีเลย์เป็นอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิทช์ ผังของรีเลย์ที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ แม่เหล็กไฟฟ้า, แท่งเหล็กซึ่งเคลื่อนไหวได้ที่เรียกว่า อาเมเจอร์ และหน้าสัมผัสคู่หนึ่ง ซึ่งติดอยู่บนอาเมเจอร์ตามลักษณะการทำงาน แบ่งรีเลย์ได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดปกติหน้าสัมผัสเปิด (normally open) และปกติหน้าสัมผัสปิด (normally closed) ประโยชน์ที่สำคัญอย่างหนึ่งของรีเลย์คือ ใช้ควบคุมการเปิดปิดสวิทช์ที่มีกระแสสูงเพื่อช่วยในด้านความปลอดภัย รี

เลยมีชนิดต่าง ๆ มากมาย และสามารถอำนวยความสะดวกได้หลายอย่าง แสดงภาพของรีเลย์ที่มีหน้าสัมผัส 4 คู่ 2 คู่ เป็นชนิดปกติหน้าสัมผัสปิด และอีก 2 คู่เป็นชนิดปกติหน้าสัมผัสเปิด

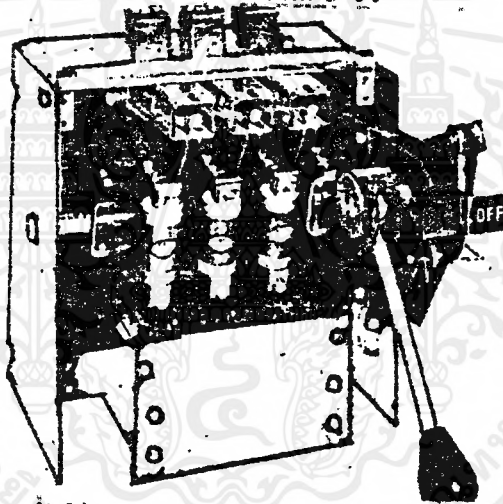
ภาพที่ 63

ภาพแสดงฟิวส์ที่ใช้ในเครื่องอิเล็กทรอนิกส์



ภาพที่ 64

ภาพแสดงสวิทช์ที่มี 3 ขั้ว



รีดสวิทช์ (Reed switch)

รีดสวิทช์เป็นรีเลย์ชนิดหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วยหลอดแก้วสุญญากาศที่มีลวดซึ่งเป็นหน้าสัมผัสอยู่ภายใน จะทำหน้าที่ปิดและเปิดเมื่อได้รับอิทธิพลของสนามแม่เหล็กภายนอก รีดสวิทช์ทำงานได้เร็วกว่ารีเลย์ธรรมดา ใช้เวลาเพียง 1.5 msec. เมื่อเปรียบเทียบกับรีเลย์ขนาดเล็กที่ใช้เวลา 10 msec. และขนาดใหญ่ที่ใช้เวลา 20 msec. อย่างไรก็ตาม รีเลย์ชนิดใดก็ตามจะมีข้อเสียเมื่อเทียบกับอิเล็กทรอนิกส์สวิทช์ คือมีการสับแต่เมื่อปิดหน้าสัมผัสทำให้วงจรชะงักชั่วคราว

วงจรตัดไฟ (Circuit Breaker)

วงจรตัดไฟอาจอาศัยกลไกหลายอย่าง แต่ที่ใช้กันโดยทั่วไปอาศัยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและอำนาจแม่เหล็ก

รีเลย์ใช้อุณหภูมิ (Thermal relay)

ทำหน้าที่คล้ายฟิวส์เพื่อป้องกันไฟเข้าเครื่องมากเกินไป โดยใช้หลักที่กระแสไหลมากทำให้เกิดความร้อนมาก อย่างไรก็ตามฟิวส์จะขาดทันทีเมื่อมีกระแสมาก แต่รีเลย์ที่ใช้อุณหภูมิต้องใช้เวลาจำนวนหนึ่งก่อนที่รีเลย์จะทำงาน แต่ก็ยังเป็นผลดี เพราะในระยะแรกเครื่องต้องการกระแสสูง เช่น มอเตอร์เริ่มทำงานแต่เป็นระยะเวลานั้น ๆ รีเลย์ที่ใช้อุณหภูมิจึงยังไม่ตัด เมื่อกระแสไฟในวงจรเกินกว่าระดับที่ต้องการเป็นเวลานานพอสมควร จึงทำให้โลหะสองชนิดที่ขยายตัวไม่เท่ากันจะงอ และไปเปิดหน้าสัมผัสคู่หนึ่งโดยตรง หรือไปดันสวิทช์ที่มีสปริง (spring loaded switch) คอนแทกเตอร์ที่ใช้อุณหภูมินี้ เมื่อทำงานครั้งหนึ่งแล้วต้องรอให้เย็น จึงปรับตั้งใหม่ได้

เครื่องตัดไฟใช้แม่เหล็ก (Magnetic circuit breaker)

คอนแทกเตอร์ชนิดนี้ใช้ป้องกันไฟเข้าไปในเครื่องมากเกินไป มีประโยชน์ดีกว่ารีเลย์ที่ทำงานได้เร็วและควบคุมจากที่ไกลได้ เมื่อวงจรจัดไฟทำงานแล้ว ต้องปรับตั้งไว้ใหม่ แต่ทำได้นั่นที่โดยไม่ต้องรอให้เย็นลงเหมือนรีเลย์ที่ใช้อุณหภูมิ สวิทช์ใหญ่ของเครื่องเอ็กซ์เรย์มักจะติดตั้งวงจรตัดไฟชนิดนี้ไว้ด้วย ตัวอย่างผังของวงจรตัดไฟ การทำงานของเครื่องตัดไฟมีดังนี้ เมื่อสับสวิทช์ใหญ่ (C) จะทำให้วงจรครบผ่าน D ที่แสดงโดยเส้นประ เมื่อ D ทำงานจะทำให้หน้าสัมผัสของรีเลย์ E_1 , E_2 , E_3 ปิดหมด ศักย์ไฟฟ้าส่งออกซึ่งถูกป้อนผ่านออตทรานสฟอเมอร์ จะได้จาก E_1 overloaded relay และ E_3 ส่วน E_2 รักษาศักย์ไฟฟ้าของขดลวด D หน้าสัมผัสเหล่านี้เรียก hold-on contacts

overloaded relay ได้สร้างไว้เฉพาะ โดยที่อามเจอร์เป็นลูกสูบของกระบอกที่ใส่น้ำมัน การเคลื่อนไหวของลูกสูบในกระบอกถูกขัดขวางโดยน้ำมัน เมื่อกระแสในวงจรที่ผ่านขดลวดรีเลย์มากเกินไประดับที่ตั้งไว้ เช่นเกิน 100 แอมแปร์ สนามแม่เหล็กจะมีความแรงพอ ที่จะให้อามเจอร์ทำงานและเปิดหน้าสัมผัส F ซึ่งทำให้วงจรไฟฟ้าที่ผ่านขดลวด D ถูกตัด รีเลย์นี้จึงหยุดทำงาน ทำให้หน้าสัมผัส E_1 และ E_3 เปิด ดังนั้น วงจรใหญ่ที่ผ่านทรานสฟอเมอร์จึงถูกตัด จุดประสงค์ของการใช้กระบอกน้ำมันก็เพื่อกันไม่ให้ overload relay ทำงานเร็วเกินไป เช่น กระแสมากขึ้นเพียงชั่วคราว

สวิทช์ไฟฟ้าแรงสูง (high tension switch)

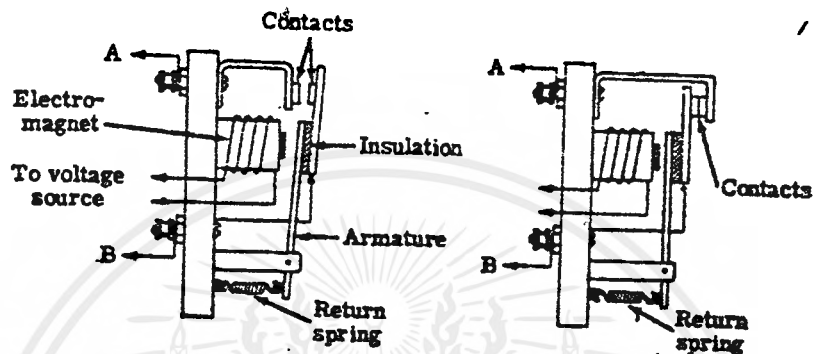
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเครื่องเอ็กซ์เรย์มักจะต้องการเล็กลงเรื่อยๆ มากกว่า 1 หลอด จึงต้องการไฟฟ้ากำลังสูง ฉะนั้นสวิทช์ของไฟฟ้าแรงสูงจึงไม่ใช้มือ จะใส่ไว้ในถังที่มีน้ำมัน ซึ่งมีทรานสฟอเมอร์ไฟฟ้าแรงสูง, ทรานสฟอเมอร์จุดไส้หลอด, เรกติไฟเออร์และหน่วยควบคุมในระยะไกล สวิทช์ใช้กลไกแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับรีเลย์แต่มีขนาดใหญ่กว่ามาก

ภาพที่ 65

ภาพของรีเลย์ แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญ

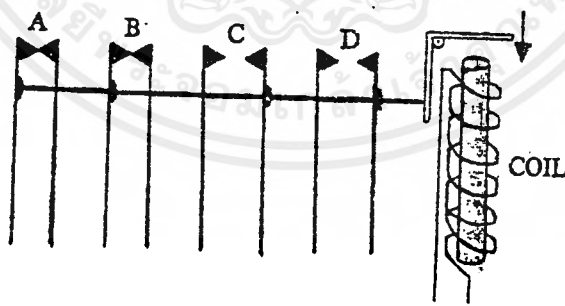
(ก) รีเลย์ชนิด ปกติหน้าสัมผัสเปิด

(ข) รีเลย์ชนิด ปกติหน้าสัมผัสปิด



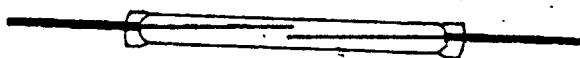
ภาพที่ 66

ภาพวาดแสดงรีเลย์ที่มีหน้าสัมผัส 4 คู่, ชนิดหน้าสัมผัสเปิด 2 คู่
และชนิดหน้าสัมผัสปิด 2 คู่



ภาพที่ 67

ภาพแสดงรีดสวิตช์



โครงสร้างของสวิตช์โดยมากสวิตช์จะอยู่ภายในจึงไม่ค่อยมีโอกาสดูเห็นแสดงสวิตช์ไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- (1) มีที่รับ (receptacles หรือ pots) คู่หนึ่งสำหรับหลอดอิเล็กทรอนิกส์ 1 หลอด อันหนึ่งสำหรับสายไฟฟ้าแรงสูง 1 เส้น คือสำหรับสายไฟแคโทด 1 เส้น และแอโนด 1 เส้น
- (2) มีหน้าสัมผัสอยู่ที่ส่วนล่างของเครื่องรับ, ซึ่งเป็นหน้าสัมผัสที่อยู่กับที่ (fixed contact)
- (3) หน้าสัมผัสอีก 2 อัน ซึ่งเป็นหน้าสัมผัสที่เคลื่อนไหว (moving contact) ปลายข้างหนึ่งติดอยู่กับแท่งฉนวน (insulated actuating bar)
- (4) แม่เหล็กไฟฟ้าขนาดใหญ่ ซึ่งทำหน้าที่ดึงแท่งเหล็กซึ่งเป็นก้านตามแนวตั้ง เพื่อดึงหน้าสัมผัสส่วนที่เคลื่อนที่ได้ (moving contact) เข้าไปหาหน้าสัมผัสส่วนที่อยู่กับที่ (fixed contact) จะมีสวิตช์อันหนึ่งสำหรับหลอดอิเล็กทรอนิกส์หลอดหนึ่ง ถังทรานสฟอเมอร์ (transformer tank) จะมีสวิตช์ 2-3 อันอยู่ด้านข้าง

อินเตอร์ลอค (Inter locks)

ดังได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นว่าฟิวส์และสวิตช์ทำหน้าที่ป้องกันวงจรและส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องอิเล็กทรอนิกส์เมื่อมีกระแสไฟเข้าเครื่องมากเกินไป แต่ไม่ได้ป้องกันหลอดอิเล็กทรอนิกส์ขณะใช้งานตามปกติอินเตอร์ลอค (Interlocks) หรืออาจเรียกว่า วงจรอินเตอร์ลอค (Interlocking circuits) ทำหน้าที่ป้องกันหลอดอิเล็กทรอนิกส์ไม่ให้งานต่อไป เพื่อป้องกันไม่ให้เป่าถังสแตนร้อนมากจนอาจทำให้เสียได้ วงจรอินเตอร์ลอคมีที่ใช้หลายแห่งซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

อินเตอร์ลอคที่อยู่ในวงจรสเตเตอร์ของหลอดอิเล็กทรอนิกส์

ตามปกติหลอดอิเล็กทรอนิกส์ที่แอโนดหมุนได้ จะช่วยลดความร้อนของเป่าถังสแตนไม่ให้ร้อนมากเกินไป แต่เมื่อเกิดขัดข้องแอโนดหมุนไม่ได้จะทำให้ร้อนมาก อินเตอร์ลอคจึงทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้หลอดอิเล็กทรอนิกส์ทำงานต่อไป ดังตัวอย่างผังวงจรอินเตอร์ลอค ซึ่งทำหน้าที่หลอดอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหลอดสเตเตอร์ 2 ชุด ที่เห็นในรูปเป็นสเตเตอร์ 1 และ 2 สเตเตอร์ 1 เป็นขดลวดสำหรับให้เริ่มหมุนและต้องการไฟฟ้าที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่า ส่วนสเตเตอร์ 2 เป็นตัวทำให้หมุนไปได้เรื่อย ๆ ซึ่งต้องการศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า ส่วนคาปาซิเตอร์ที่อยู่ในวงจรอินเตอร์ลอคนั้นไม่ได้ทำหน้าที่โดยตรงในอินเตอร์ลอค แต่ทำให้สเตเตอร์ 2 อันมีเฟสต่างกัน 90° เพื่อให้แอโนดหมุนได้เรียบ

ขดลวดสเตเตอร์แต่ละอันต่ออนุกรมกับขดลวดรีเลย์ A และ B ซึ่งจะทำให้หน้าสัมผัสของ S_1 และ S_2 ปิด P และ E เป็นตำแหน่ง 2 ตำแหน่งของสวิตช์สำหรับถ่าย (exposure

switch) เมื่อสวิตช์ปิดและครบวงจร จะทำให้แอมโอมและทำให้วงจรของ exposure contactor ครอบด้วย จึงทำให้มีการถ่ายเอ็กซ์เรย์ต่อไป

จะเห็นจากผังวงจรนี้ได้ว่า เมื่อ P ทำงานจะทำให้สวิตช์ S_1 และ S_2 ปิด ทำให้วงจรที่มี S_1 , S_2 และ exposure contactor ครอบ เมื่อผู้ถ่ายเอ็กซ์เรย์ยังกดสวิตช์สำหรับถ่ายต่อไป อย่างไรก็ตาม เมื่อสแตเตอร์ขัดข้องจะทำให้วงจรไม่ครบ สวิตช์ S_1 และ S_2 จึงยังคงเปิดอยู่ ทำให้ถ่ายเอ็กซ์เรย์ได้

วงจรหน่วยเวลากับสแตเตอร์ของหลอด

วงจรอินเตอร์ล๊อคที่กล่าวแล้วนั้นจะทำงานเมื่อแอมโอมไม่หมุน แต่ถ้าแอมโอมและถูกใช้งานเต็มที่และนานเกินไปก็เกิดอันตรายได้เช่นเดียวกัน โดยทั่วไปอัตราการหมุนของแอมโอมประมาณ 3500 รอบ/นาที และใช้เวลา 0.8 วินาที จึงจะได้ความเร็วเต็มที่ (ถ้าหลอดที่หมุนเร็วกว่านี้ อาจต้องใช้เวลา 2 วินาที) ผู้ถ่ายจะต้องกดสวิตช์รอเวลาเตรียมถ่ายเพื่อให้แอมโอมหมุนด้วยความเร็วตามที่ต้องการ บางครั้งผู้ถ่ายได้รับถ่ายเร็วเกินไป หลอดเอ็กซ์เรย์จึงมีโอกาสได้รับอันตราย เพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายเช่นนี้จึงต้องมีวงจรหน่วยเวลาระหว่าง “การเตรียม” และ “การถ่าย” โดยมากใช้เวลา 0.8-2.0 วินาที วงจรอย่างง่ายที่ใช้การทำงานของรีเลย์จากรูปจะเห็นว่ารีเลย์ มีหน้าสัมผัสต่อเป็นอนุกรมกับขดลวดของ exposure contactor มีสิ่งที่ต้องสังเกต 3 อย่างคือ (1) รีเลย์นั้นตามปกติเปิดอยู่ จะทำให้ถ่ายเอ็กซ์เรย์ไม่ได้ แม้ขดลวดของ exposure contactor จะครบวงจรจากการที่ผู้ถ่ายรีบถ่ายจากการกดสวิตช์สำหรับถ่าย (2) วงจรเล็กซึ่งรวมขดลวดรีเลย์จะครบวงจรในเวลาเดียวกับวงจรสแตเตอร์ เมื่อสวิตช์สำหรับถ่ายถูกกดไว้เพื่อการเตรียมถ่าย และ (3) มีคาปาซิเตอร์ C ต่อขนานกับขดลวดรีเลย์ ในวงจรนี้ศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดรีเลย์ มีค่าเท่ากับที่ตกคร่อมคาปาซิเตอร์ เมื่อวงจรครบในตอนแรกนั้น คาปาซิเตอร์จะคายประจุไปมาก จึงผ่านขดลวดรีเลย์น้อย ความยาวของเวลาที่หน่วงไว้จึงขึ้นอยู่กับคาปาซิเตอร์และรีซิสเตอร์ที่ต่ออยู่ และสามารถเปลี่ยนเวลาที่ใช้หน่วงได้โดยการปรับค่าของรีซิสเตอร์

อินเตอร์ล๊อคเพื่อป้องกันการทำงานเกินกำลัง (overload interlocks)

นอกจากอินเตอร์ล๊อคที่ได้กล่าวแล้วใน 2 ตอนแรก ยังมีอีกหลายวิธีที่อินเตอร์ล๊อคสามารถจะทำงานได้ ซึ่งอาจใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์หรือใช้ระบบเมคานิกส์ก็ได้ ซึ่งจะไดยกตัวอย่างทั้งสองชนิดต่อไป

วงจรอะนาล็อก

วงจรนี้ใช้หลักการเพิ่มหรือบวกทางอิเล็กทรอนิกส์ วงจรนี้ใช้การเพิ่มศักย์ไฟฟ้าจาก

ปัจจัยต่าง ๆ ที่จะเป็นภาระของหลอด คือ กิโลโวลต์, มิลลิแอมแปร์ และเวลาที่ใช้ถ่ายในรูปนั้น T เป็นทรานสฟอเมอร์พิเศษ สักยไฟฟ้าที่ได้จาก

2.4.6 สวิตช์และเครื่องตั้งเวลาสำหรับถ่ายเอ็กซเรย์

การควบคุมเวลาสำหรับถ่ายเอ็กซเรย์ มีความสำคัญและขึ้นอยู่กับอวัยวะที่จะทำการถ่าย ในการนี้จะต้องพิจารณาถึงขั้นตอน 3 อย่างคือ การเริ่มต้น, เวลาที่ใช้ถ่ายเอ็กซเรย์ และการสิ้นสุด ซึ่งการถ่ายเอ็กซเรย์ก็ขึ้นอยู่กับกระแสไฟในขดลวดเซคันดารีผ่านหลอดเอ็กซเรย์ ฉะนั้น วิธีหนึ่งที่ทำให้กระแสไหลหรือหยุดไหลก็คือใส่เครื่องมือบางอย่างลงในวงจรเซคันดารี ทำให้วงจรเซคันดารีปิดและเปิด จึงเป็นผลให้มีการเริ่มถ่ายและหยุดการถ่ายเอ็กซเรย์ วิธีการนี้เป็น “สวิตช์ในวงจรเซคันดารี” วิธีนี้ต้องเกี่ยวข้องกับศักย์ไฟฟ้าแรงสูงแต่มีกระแสน้อย และเนื่องจากศักย์ไฟฟ้าสูง จึงมีปัญหาเกี่ยวกับสวิตช์ วิธีนี้จึงไม่ค่อยใช้ในเครื่องเอ็กซเรย์ นอกจากเครื่องเอ็กซเรย์สมัยใหม่ที่สามารถแก้ปัญหาได้แล้ว

ระหว่างไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟที่เข้ามาเลี้ยงเครื่องเอ็กซเรย์กับขดลวดเซคันดารีนั้น มีวงจรไพรมารี ถ้าใส่สวิตช์เข้าไปในวงจรไพรมารี จะช่วยควบคุมการถ่ายเอ็กซเรย์ได้ จึงเป็น “สวิตช์ในวงจรไพรมารี” ซึ่งต้องเกี่ยวข้องกับกระแสขนาดแต่ศักย์ไฟฟ้าไม่สูง วิธีการนี้ได้ใช้ในเครื่องเอ็กซเรย์มานานและก็ยังคงใช้อยู่ในเครื่องเอ็กซเรย์สมัยใหม่

นอกจากสวิตช์สำหรับปิดเปิดให้เริ่มและให้หยุดการถ่ายเอ็กซเรย์ เวลาที่ใช้ถ่ายก็จะต้องได้รับการกำหนดด้วยและย่อมขึ้นอยู่กับการทำงานของสวิตช์ด้วย จึงจะต้องพิจารณาในแง่ต่อไปนี้ด้วยคือ

- (1) ถ้าระบบสวิตช์ทำงานช้า เวลาที่จะใช้ซึ่งมีช่วงสั้นมากจึงไม่มีประโยชน์ เพราะจะทำให้ผิดพลาดได้มาก
- (2) ถ้าเครื่องเอ็กซเรย์ที่กำลังน้อย การถ่ายก็มักใช้เวลาและกระแสที่ใช้ก็น้อยเช่นต่ำได้ถึง 10 แอมแปร์ ฉะนั้น จึงสามารถใช้ระบบสวิตช์และระบบตั้งเวลาที่ง่าย ๆ ได้
- (3) เครื่องเอ็กซเรย์ที่มีกำลังขนาดกลางหรือกำลังสูง ต้องการใช้เวลาถ่ายสั้น อาจน้อยถึง 0.01 วินาทีหรือน้อยกว่านั้น และกระแสไฟที่ใช้ก็ต้องการมากอาจถึง 250 แอมแปร์ ฉะนั้นระบบสวิตช์ที่ใช้จึงต้องทำได้รวดเร็ว แม่นยำ และสามารถทำได้ซ้ำ ๆ กัน

ฉะนั้น การออกแบบระบบสวิตช์และระบบตั้งเวลา จึงต้องขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องและการใช้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบสวิตช์

สวิตช์ในวงจรไพรมารี (Switching in the primary- circuit)

- คอนแทกเตอร์ระบบเมคานิกส์ (Mechanical contactor)

สวิตช์ใช้อาศัยหลัก electromagnetic relay coil จึงเรียก electromagnetic contactor มักเรียกว่า exposure contactor เนื่องจากใช้สำหรับการถ่ายภาพเอ็กซเรย์ รูปที่แสดงผังของวงจร exposure contactor อย่างง่าย เมื่อผู้ถ่ายภาพเอ็กซเรย์กดสวิตช์ วงจรของขดลวด S จะครบ ทำให้หน้าสัมผัส C ปิด กระแสจึงไหลเข้าไปในขดลวดไพรมารีได้ เมื่อเครื่องตั้งเวลาได้เลือกเวลาไว้ตามต้องการ กระแสไหลผ่านขดลวด S จะหยุด การถ่ายภาพเอ็กซเรย์จึงสิ้นสุดลง

เพื่อให้ผู้ใช้ได้ศึกษาในทางปฏิบัติ หน้าสัมผัส C จะต้องมีความสมบัติดังต่อไปนี้ คือ

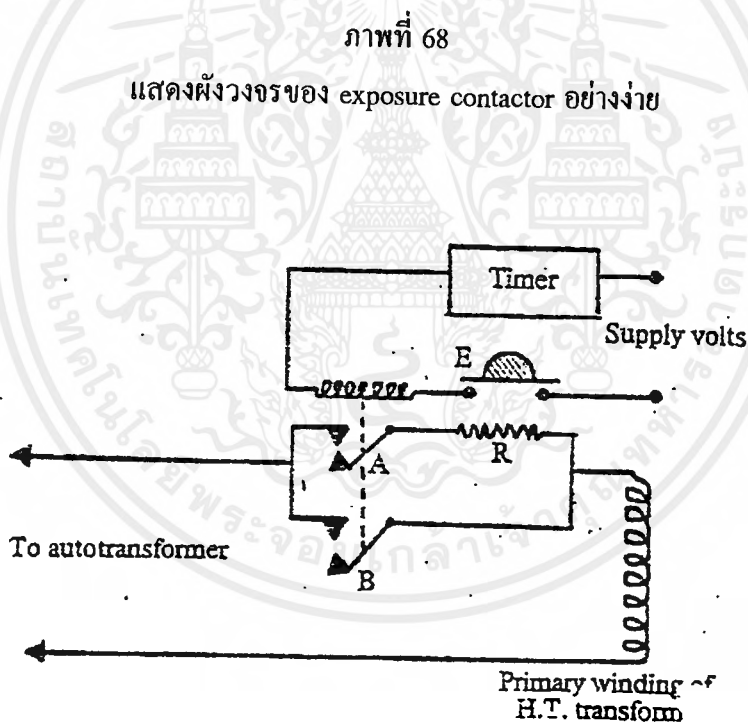
- (1) จะต้องใช้สปริงดึง สวิตช์จึงจะติดแน่นไม่สะบัด เมื่อมีการสะบัด การติดต่อทางไฟฟ้าจะชะงักชั่วคราว ผลเช่นนี้มีความสำคัญเมื่อต้องการถ่ายในเวลาที่สั้นมาก
- (2) สปริงที่ดึงหน้าสัมผัสออกจากกันจะต้องแข็งแรง จึงจะทำให้สวิตช์เปิดได้รวดเร็ว
- (3) เนื่องจากคอนแทกเตอร์มีส่วนที่เคลื่อนไหว จึงทำให้มีความฝืดและเกิดการล่าช้า จึงต้องพยายามทำให้มีขนาดเล็ก แต่ถ้าทำให้เล็กจะทนไฟไม่ได้มาก
- (4) หน้าสัมผัสที่เป็นทองแดง จะต้องแข็งแรงและไม่มีรูปร่างผิดไป เมื่อมีการปิดและเปิดบ่อย ๆ
- (5) หน้าสัมผัสจะต้องทนต่ออุณหภูมิสูง ในการทำงานอาจเกิดสปาร์คได้ ก็ยังจะทำให้อุณหภูมิสูงมากขึ้น บางทีหน้าสัมผัสอาจใช้โลหะผสมด่างสแตน
- (6) เนื่องจากว่าหน้าสัมผัสใหญ่และต้องใช้สปริงแข็ง จึงต้องอาศัยแรงแม่เหล็กจากขดลวดอย่างมาก เพื่อให้หน้าสัมผัสปิดได้รวดเร็ว

จากคอนแทกเตอร์อย่างง่ายนั้นพบว่า ในการทำงานขณะวงจรปิดหรือเปิด จะมีโอกาสที่กระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าค่อยเพิ่มขึ้นหรือค่อย ๆ ลดลง และมีโอกาสเกิด arc discharge ขึ้นด้วย ข้อเสียนี้แก้ไขได้โดยการต่อคอนแทกเตอร์ขนานกัน ในรูปนั้น จะเห็นว่าหน้าสัมผัส A จะปิดก่อนหน้าสัมผัส B เล็กน้อย เมื่อหน้าสัมผัส A ปิด จะครบวงจรโดยผ่านรีลิสเตอร์ R การมีความต้านทานจะทำให้กระแสในวงจรไพรมารีเพิ่มขึ้นเป็น 2 ระยะ ซึ่งจะช่วยลด surge และ arc ในตอนต้นได้ เมื่อหน้าสัมผัส B ปิดตามหน้าสัมผัส A ไป รีลิสเตอร์จะถูกลัดวงจร จึงไม่ทำหน้าที่จำกัดกระแสต่อไปหลังจากการถ่ายภาพเอ็กซเรย์สิ้นสุดลงแล้ว วงจรปิดหน้าสัมผัส B เปิดก่อน A รีลิสเตอร์ที่อยู่ในวงจรก็จะทำหน้าที่ลด surge และ arc ออก

- คอนแทคเตอร์ระบบเมคานิกส์ แต่ควบคุมการทำงานด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ (mechanical contactors electronically controlled)

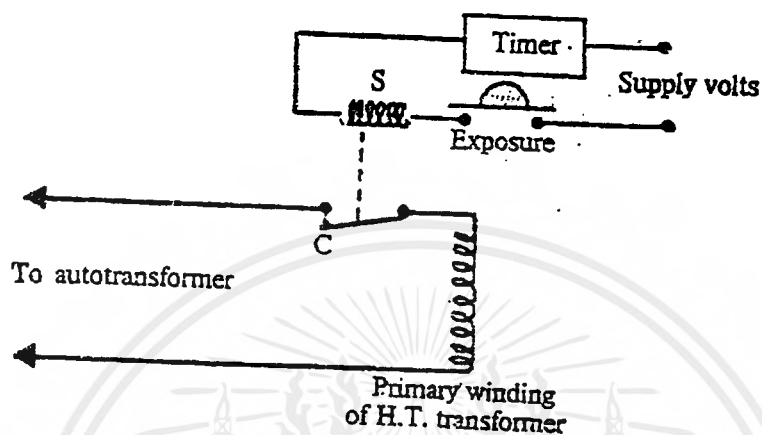
เพื่อที่จะทำให้เวลาเริ่มถ่ายและเวลาสิ้นสุดเป็นไปอย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น ได้มีการใช้ exposure contactor แยกกัน โดยที่ใช้คอนแทคเตอร์สำหรับถ่ายอันหนึ่ง และอีกอันหนึ่งใช้สำหรับหยุดการถ่าย จึงเรียกคอนแทคเตอร์สำหรับถ่ายว่า make contactor และคอนแทคเตอร์สำหรับหยุดว่า break contactor ผังวงจรของคอนแทคเตอร์ที่ใช้แยกกันแสดงภาพถ่ายของคอนแทคเตอร์ที่ใช้แยกกันในหน่วยควบคุมของเครื่องเอ็กซเรย์

อาจจัดการทำงานของ make และ break contactor โดยทำให้เปิดและปิดที่จุดศักย์ไฟฟ้าที่เป็นศูนย์ ตามรอบของไฟฟ้าสลับจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าสลับได้ การที่ทำให้สวิตช์ทำงานที่จุดซึ่งศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ช่วยลด arc ได้ จึงทำให้สามารถถ่ายได้ในระยะเวลาอันสั้น เรียกวิธีนี้ว่า phased switching



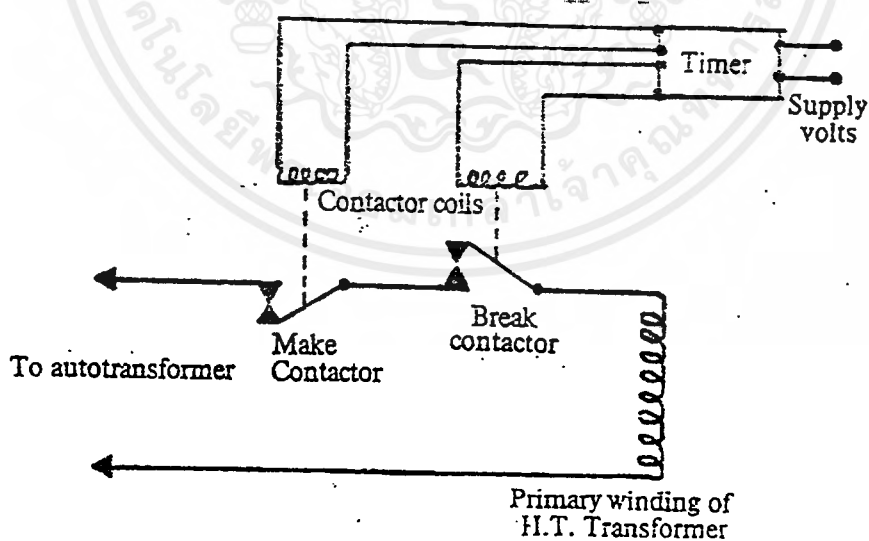
ภาพที่ 69

แสดงผังวงจรที่ต่อคอนแทคเตอร์ขนานกัน เพื่อลดผลเสียของ surge
และ arc discharge

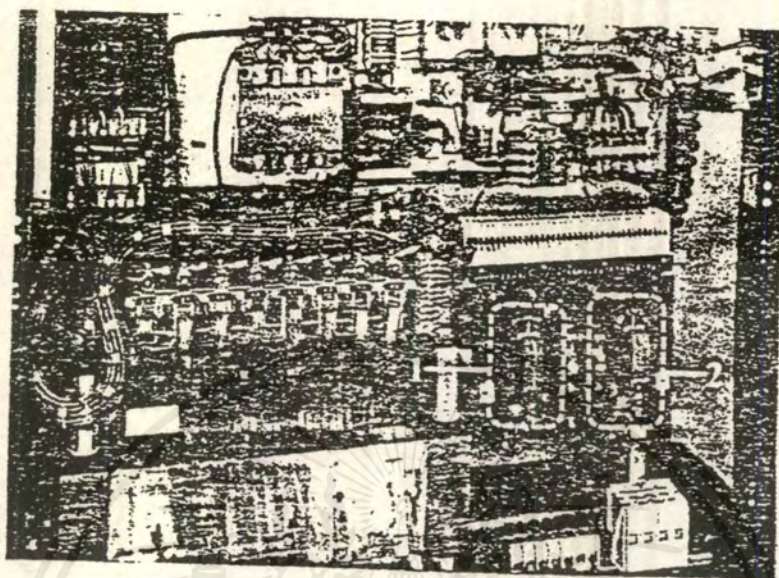


ภาพที่ 70

แสดงผังวงจรของ exposure contactor ที่มีคอนแทคเตอร์แยกกัน



ภาพถ่ายของคอนแทกเตอร์ที่แยกกัน ซึ่งอยู่ในหน่วยควบคุมของเครื่องเอ็กซเรย์



phased switching ที่ใช้ Thyatron valve

หลอดธรรatronใช้เป็นอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ได้ดี หลอดธรรatronเป็นหลอดไดโอดที่มีก๊าซอยู่ภายใน เมื่อศักย์ไฟฟ้าที่กริดเป็นลบถึงจุด หลอดนำไฟฟ้าไม่ได้ สวิตช์จึงเปิดเมื่อศักย์ไฟฟ้าลบที่กริดลดลง หรือให้ศักย์ไฟฟ้าบวกเข้าไป หลอดนำไฟฟ้าได้ สวิตช์จึงปิด

ในทำนองเดียวกัน หลอด T_2 ถูกทำให้นำไฟฟ้าได้ตามรอบ เมื่อศักย์ไฟฟ้าที่กริดเป็นศูนย์ในรอบของไฟฟ้ากระแสสลับ จึงทำให้ break contactor ทำงาน และทำให้การถ่ายภาพเอ็กซเรย์สิ้นสุดลง

อิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ในวงจรไพรมารี (Electronic primary switching)

สารกึ่งตัวนำได้ถูกนำมาใช้เป็นสวิตช์ ได้แก่ พวกที่อยู่ในกลุ่มของธริสเตอร์ (Thyristors) ที่สำคัญคือ silicon controlled rectifier (S.C.R.) ธริสเตอร์ขนาดใหญ่เช่น ขนาด 250 A ที่ 500 V ได้ถูกนำมาใช้มากขึ้น ซึ่งกำลังจะมาทดแทนหลอดธรรatronในอนาคต

บทบาทของธริสเตอร์ใน phase switching

ธริสเตอร์มีการทำงานเป็นไปในทำนองเดียวกันกับหลอดธรรatron คือเมื่อธริสเตอร์ถูกทำให้มีการนำไฟฟ้าได้และมีกระแสไฟ จะทำให้กระแสหยุดได้ก็ต่อเมื่อทำให้วงจรของแอโนดขาดตอนไปหรือลดศักย์ไฟฟ้าที่แอโนดให้เป็นศูนย์ เมื่อเกิดสวิตช์สำหรับถ่าย จะทำให้วงจรของ thyristor gate และ exposure relay ครบ ที่จุดซึ่งศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ในระยะต่อมา (สวิตช์อาจถูกกดที่จุดใดก็ได้ในรอบของไฟสลับ) ไฟจะถูกป้อนเข้าไปในเกทของธริสเตอร์โดยทราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สฟอเมอร์ กระแสจึงไหลเข้าไปในเกท และรีเลย์รีเลย์นำไฟฟ้าได้ รีเลย์รีเลย์ตัวหนึ่งตัวใดจึงสามารถให้กระแสผ่านได้ในครั้งของรอบไฟสลับ ดังนั้น วงจรไพรมารีจึงปิดและทำให้การถ่ายเริ่มขึ้นได้ ก่อนที่ช่วงเวลาการถ่ายจะหมดไป วงจรตั้งเวลาที่ไปเลี้ยงเกทของรีเลย์รีเลย์จะถูกเปิดออก อย่างไรก็ตามรีเลย์รีเลย์จะหยุดนำไฟฟ้าและกลายเป็นสวิทช์ที่ถูกเปิด วงจรไพรมารีจึงขาดตอนและการถ่ายเอ็กซ์เรย์จึงสิ้นสุดลง

สวิทช์ในวงจรเซคันดารี (Switching in the secondary high tension circuit)

สวิทช์ใส่ไว้ในวงจรเซคันดารี ควรจะเป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดและต้องเป็นหลอดอิเล็กทรอนิกส์ด้วย ได้มีการพยายามใช้ระบบคอนแทกเตอร์ทางเมคานิกส์ แต่ไม่ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

อาจใช้คุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ของหลอดเอ็กซ์เรย์เอง โดยการใส่กริดเข้าไปในหลอดเอ็กซ์เรย์ แล้วควบคุมการทำงานของหลอดเอ็กซ์เรย์โดยการเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าที่กริด

อีกวิธีหนึ่งคือ การใส่หลอดไดรูดตรงหากเข้าไปในวงจรของหลอดเอ็กซ์เรย์ โดยหลอดไดรูดนี้ทำหน้าที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์สวิทช์สำหรับวงจรที่มีกิโลโวลต์สูง นอกจากจะทำหน้าที่เป็นสวิทช์แล้ว หลอดไดรูดควรจะทำหน้าที่เป็นตัวปรับศักย์ไฟฟ้าให้คงที่ด้วย

ระบบเวลา

ระบบการตั้งเวลาที่ใช้ถ่ายเอ็กซ์เรย์มีความสำคัญในการที่จะทำให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีของเอ็กซ์เรย์ขนาดนั้น เวลาที่ใช้ในการถ่ายจะไม่สั้นกว่า 0.5 หรือ 0.25 วินาที บางทีอาจจะใช้เวลามากกว่า 1 วินาที ระบบเวลาที่ใช้จึงไม่ต้องการความแม่นยำมากนัก อาจใช้ระบบเวลาที่มีกลไกง่าย ๆ ได้ แต่เครื่องเอ็กซ์เรย์ขนาดกลางและขนาดเล็ก สามารถใช้เวลาในการถ่ายสั้นกว่า 0.25 วินาที และอาจใช้เวลาน้อยจนถึง 1 msec. หรือน้อยกว่านั้น ระบบเวลาจึงต้องมีความแม่นยำดี จึงจะทำให้เกิดประสิทธิภาพตามต้องการ ดังนั้น ระบบเวลาจึงต้องมีกลไกสลับซับซ้อน

ระบบเวลาอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic timer)

ระบบเวลาอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ใช้การเก็บและการปล่อยประจุของคาปาซิเตอร์โดยผ่านความต้านทาน และเพื่อที่จะทำให้การปล่อยประจุ (หรือการเก็บประจุ) สิ้นสุดลง จะต้องใช้อุปกรณ์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าเพื่อทำหน้าที่เป็นสวิทช์ เช่น หลอดไดรูดหรือหลอดรีเลย์รอน หรือรีเลย์รีเลย์ ที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้นเรื่องสวิทช์

เครื่องตั้งเวลาอัตโนมัติ (Automatic timers)

วิธีนี้มีกลไกการทำงานแตกต่างจากวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น คือ การถ่ายจะสิ้นสุดลงเองโดยอัตโนมัติ เมื่อฟิล์มเอ็กซ์เรย์ได้รับรังสีตามจำนวนที่ต้องการแล้ว เครื่องตั้งเวลาอัตโนมัติช่วยแก้ปัญหาที่เกี่ยวกับการที่ร่างกายมีความสามารถในการดูดรังสีแตกต่างกัน จึงทำให้ฟิล์มที่ถ่ายออกมาได้มาตรฐานดียิ่งขึ้น โดยทั่วไปเครื่องตั้งเวลาอัตโนมัติแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ตามกลไกการทำงาน คือ Photoelectric timer (phototimer) และ Ionization timer ตามความจริงแล้ววิธีการทั้งสองอย่างใช้หลักการเดียวกัน คือ นำกระแสไฟฟ้าซึ่งมีความมากน้อยที่ได้สัดส่วนกับการดูดรังสีของเอ็กซ์เรย์ฟิล์มไปทำให้การถ่ายเอ็กซ์เรย์สิ้นสุดลง

Phototimer

เครื่องตั้งเวลาที่ใช้แสงนั้นใช้หลักที่ว่าให้แสงที่ผ่านฟิล์มเอ็กซ์เรย์ไปตกลงบนโฟโตเซลล์ ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะได้สัดส่วนกับความเข้มของแสง

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสามารถใช้คาปาซิเตอร์มาช่วยทำให้การถ่ายเอ็กซ์เรย์สิ้นสุดลง เมื่อศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมมีค่า V ฉะนั้น จึงต้องหาอุปกรณ์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้า เช่น หลอดฉีกรatron หรือ ธีริสตรอน มาช่วยทำหน้าที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ เมื่อกระแสจากโฟโตเซลล์เข้าไปเก็บเป็นประจุอยู่ในคาปาซิเตอร์จนมีศักย์ไฟฟ้าสูง จนทำให้หลอดฉีกรatron ทำงานและไปมีผลทำให้ break contactor ทำงาน

เมื่อนำโฟโตเซลล์ไปใช้ใน photofluorography จะต้องวางโฟโตเซลล์พร้อมทั้งเลนส์ที่เหมาะสมอยู่หลัง fluorescent screen สำหรับให้ถูกกระตุ้นโดย fluorescent จาก screen

กระแสที่ได้จากโฟโตเซลล์มีค่าน้อยมาก อาจเป็นเพียงเศษส่วนของไมโครแอมแปร์ ฉะนั้นจะต้องหาทางทำให้มากขึ้น วิธีหนึ่งที่ใช้กันคือ ใช้โฟโตเซลล์พิเศษที่เรียก photomultiplier

Ionization timer

เครื่องตั้งเวลาชนิดนี้ใช้กันมากขึ้นเรื่อย ๆ ในเครื่องเอ็กซ์เรย์วินิจฉัย โดยอาศัยหลักที่ว่าให้เอ็กซ์เรย์ที่จะผ่านฟิล์มผ่านไปยัง Ionization chamber ก่อน เพื่อไปไอออไนซ์อากาศ

2.4.7 หน่วยควบคุมการกระจายของรังสี และหน่วยสำหรับจัดตำแหน่งแกนกลางของถ้ำเอ็กซ์เรย์

การกระจายของรังสีและหลักการป้องกัน

รังสีที่ส่งไปยังฟิล์มในการถ่ายเอ็กซ์เรย์มี 2 อย่าง คือ

1. รังสีไพรมารี ซึ่งถูกลดความเข้มลงเมื่อผ่านเนื้อของผู้ป่วย และจะทำให้ได้ความเข้มบนฟิล์มต่าง ๆ ได้เป็นภาพถ่ายรังสีตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. รังสีเชคคันดารี ซึ่งเกิดจาก Compton scattering และจะปรากฏบนฟิล์มเอ็กซเรย์ด้วย ทำให้ได้ภาพไม่ชัด

สิ่งที่ควรพิจารณาที่เกี่ยวกับการกระจายของรังสี คือ

1. จำนวนของการกระจายจะเพิ่มขึ้นโดยรวดเร็ว เมื่อความหนาของตัวผู้ป่วยมากหรือบริเวณที่ถ่ายภาพกว้างมาก

2. ถึงแม้ว่าพลังงานของรังสีที่กระจายจะมีน้อยกว่ารังสีไพรมารี แต่ในการถ่ายภาพเอ็กซเรย์นั้นใช้กิโลโวลต์ขนาดสูง ๆ จะมีโอกาสให้เกิดรังสีเชคคันดารีที่มีความเข้มมากได้

หลักการป้องกันภาพถ่ายรังสีจากผลของการกระจายนั้น อาศัยหลัก 2 อย่างคือ

ก. การจำกัดการกระจาย ซึ่งอาจใช้ cone, diaphragm

ข. การลดผลของการกระจายต่อฟิล์ม โดยการใช้ตะแกรงรังสีเชคคันดารี (secondary radiation grid) และฉากเพิ่มความเข้ม (intensifying screen)

หน่วยจำกัดขนาดของลำเอ็กซเรย์ (beam limiting devices)

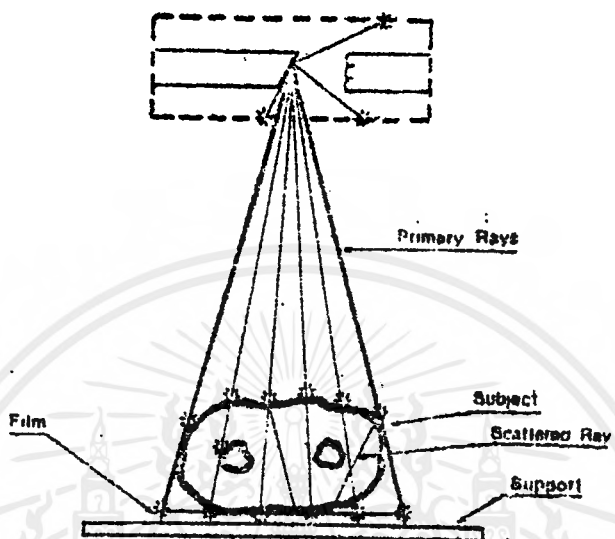
ใช้แผ่นกั้น (diaphragm) และกรวย (cone) แผ่นกั้นมักทำด้วยตะกั่วรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า การใช้แผ่นกั้นอย่างเดียวยังไม่พอใจ เพราะยังมีการกระจายรังสีออกทางด้านข้างได้ การใช้กรวยรูปทรงกระบอกช่วยด้วย จะทำให้ได้ภาพถ่ายรังสีแสดงรายละเอียดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ดี การใช้กรวยที่มีขนาดคงที่ก็ยังไม่ได้ครอบคลุมการใช้งานได้หมด เพราะเนื้อที่ซึ่งจะทำการถ่ายภาพขึ้นอยู่กับระยะระหว่างฟิล์มกับทางยาวโฟกัส ดังนั้น จึงได้มีการใช้กรวยที่ปรับขนาดได้ที่เรียกว่า light beam diaphragm และ collimator

การลดผลการกระจายของรังสีเชคคันดารีบนฟิล์ม

ตามหลักแล้วการจะกำจัดให้หมดไปย่อมเป็นไปไม่ได้ ฉะนั้น จึงต้องมีวิธีการอีกอย่างหนึ่งมาช่วยเพื่อที่จะลดผลการกระจายต่อฟิล์มที่ใช้ถ่ายภาพเอ็กซเรย์ ได้มีการใช้ตะแกรง (grid) เพื่อที่จะลดผลของการกระจาย มีการใช้ตะแกรงอยู่ 2 อย่างคือ ตะแกรงชนิดไม่มีโฟกัส (non-focussed grid) และตะแกรงชนิดโฟกัส (focussed grid) ตะแกรงประกอบด้วยแผ่นที่กั้นรังสีได้ขนาด

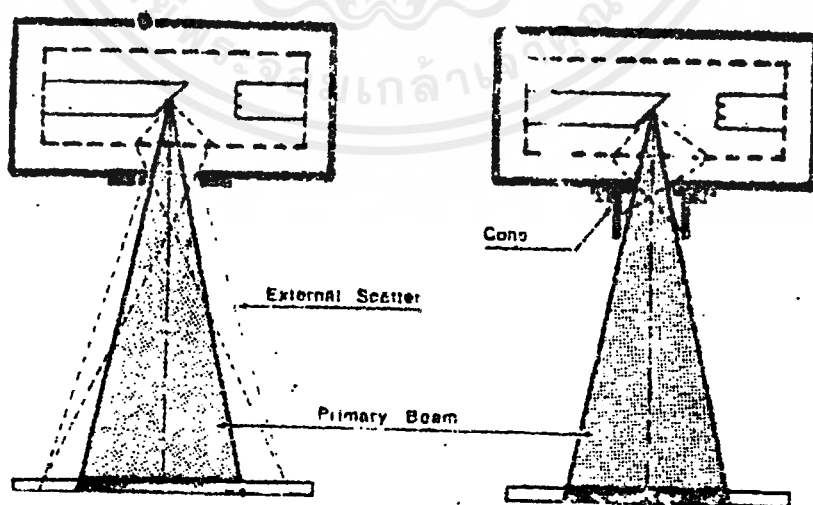
ภาพที่ 72

ภาพแสดงการกระจายของรังสี แสดงให้เห็นรังสีไพรมารี และรังสีเซคันดารี
ที่กระจายออกมา



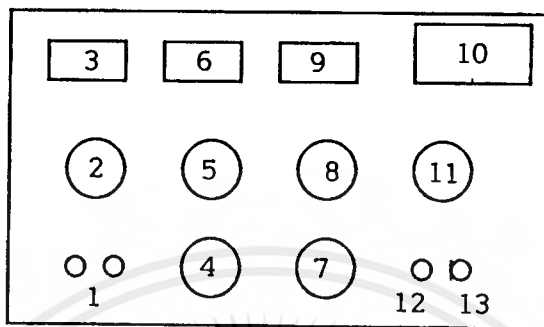
ภาพที่ 73

ภาพแสดงการลดการกระจายของรังสีโดยใช้แผ่นกั้นเป็นตะกั่ว (ซ้าย) และใช้กรวย (ขวา)



2.4.8 ส่วนประกอบของเครื่องเอ็กซเรย์

หน่วยควบคุมเอ็กซเรย์ (X-RAY CONTROL)



1. Line Switch

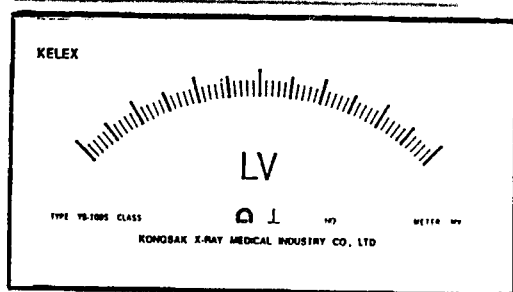
มีหน้าที่นำไฟฟ้าเข้าไปในเครื่องเอ็กซเรย์ เมื่อกดปุ่ม ON และตัดไฟฟ้าไม่ให้เข้าเครื่อง เมื่อกดปุ่ม OFF นอกจากนี้ยังมี Overload Relay อีกด้วยคือ เมื่อเครื่องเอ็กซเรย์ใช้ไฟฟ้ามากเกินไป ปกติ Relay จะทำหน้าที่ตัดไฟฟ้า (Switch Off) และเมื่อแก้ไขสิ่งผิดปกติแล้ว ก็จะสามารถ Switch On เพื่อให้เครื่องทำงานได้ต่อไป

2. Line Voltage Compensator (LV)

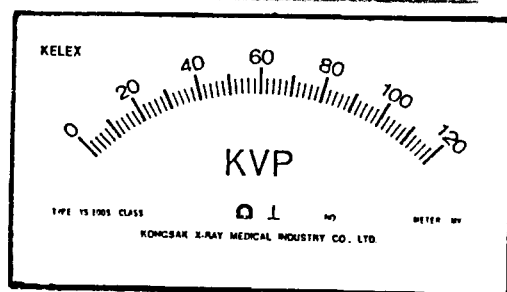
เป็นลูกบิดสำหรับใช้ปรับตามอัตราศักย์ไฟฟ้า เพื่อให้เครื่องทำงานได้ถูกต้อง ในกรณีที่ไฟตก หรือไฟเกิน Compensator จะรักษาระดับไฟให้คงที่ได้ ตั้งอยู่ 210 - 230 โวลต์

3. Line Voltage Meter

ใช้ตรวจดู Line Voltage ของเครื่อง ถ้าเข็ม LV Meter ต่ำกว่าหรือสูงกว่าขีดสีแดง ก็ให้หมุนลูกบิด Compensator ขึ้นหรือลง จนกว่าเข็ม Meter จะอยู่ที่ขีดสีแดงพอดี เครื่องจะทำงานได้สมบูรณ์เต็มประสิทธิภาพ



LV Meter



kV Meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Minor kV Selector

เป็นลูกบิดสำหรับปรับ kV ที่เปลี่ยนแปลงเอกซเรย์ มี 10 step ปรับได้ขั้นละ 1 kV

5. Major kV Selector

เป็นลูกบิดสำหรับปรับ kV ที่เปลี่ยนแปลงเอกซเรย์ มี 6 step ปรับได้ขั้นละ 10 kV

6. kV Meter (Kilovoltage Meter)

ใช้สำหรับอ่านค่า kV ของหลอดเอกซเรย์ได้ตั้งแต่ 40 - 100 kV ซึ่งหมายถึง ค่าชดเชย กระแสของหลอด (mA)

7. Technic Selector

เป็นลูกบิดสำหรับเลือก Technic ที่จะใช้ถ่ายเอกซเรย์ Bucky หรือ Radiography

8. mA Selector (Tube Current Selector)

เป็นลูกบิดสำหรับเลือกกระแสไฟฟ้าของหลอดเอกซเรย์ (mA) เพื่อใช้ในการถ่ายเอกซเรย์

9. mA Meter

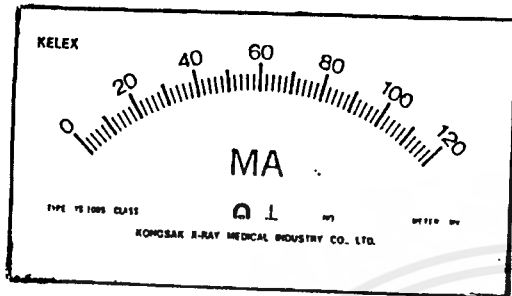
ใช้สำหรับอ่านค่ากระแสของหลอดเอกซเรย์ (mA)

10. Lamp Indicator

เป็นจุดที่แสดงสถานะของเครื่อง โดยไฟฟ้าตามจุดต่าง ๆ จะติดตามเงื่อนไขดังนี้

Main	Switch ON
Over	kV, mA และเวลา เกินอัตราที่กำหนด พร้อมกับเครื่องจะตัดการทำงานโดยอัตโนมัติ เพื่อป้องกันอันตรายต่อหลอดเอกซเรย์ และถึงไฟแรงสูง (High Tension Transformer)
Ready	เมื่อกด Switch Ready จะมีช่วง time delay ประมาณ 1 วินาที ไฟ Ready จะติด แสดงว่าเครื่องพร้อมที่จะทำการเอกซเรย์
X-ray	เมื่อกด Switch X-ray ไฟ X-ray จะติด พร้อมกับมีเสียง Buzzer ดังขึ้นและเสียงจะหยุดเมื่อหมดเวลาที่ตั้งเอาไว้

- 50 mA ไฟจะติดเมื่อหมุน mA Selector ไปที่ 50 mA
 100 mA ไฟจะติดเมื่อหมุน mA Selector ไปที่ 100 mA
 Radio ไฟจะติดเมื่อหมุน Technic Selector ไปที่ Radio



Main	Over	Ready	X-ray
50mA	100mA	Bucky	Radio

11. Timer Selector

ใช้สำหรับตั้งเวลาที่ใช้ในการถ่ายภาพเอ็กซเรย์ สามารถควบคุมเวลาได้ 23 ขั้น ตั้งแต่ 0.01 - 5 วินาที เครื่องจะถูกกำหนดให้ 100 mA ตั้งเวลาสูงสุดได้ 1.4 วินาที ถ้าเกินจากนี้ เครื่องจะตัดการทำงานโดยอัตโนมัติ

12. Ready Switch

เป็นสวิตช์สำหรับจุดไฟหลอด จะต้องกดจนไฟ Ready ติดก่อนที่จะกด X-ray Switch

13. X-ray Switch

เป็นสวิตช์สำหรับ expose เมื่อกด switch นี้แล้ว ไฟ X-ray จะติด และจะปล่อยสวิตช์เมื่อไฟ X-ray ดับแล้ว ซึ่งถือว่าการสิ้นสุดการ expose

2.4.9 ขั้นตอนการใช้เครื่องเอ็กซเรย์ LOWENERGY X-RAY KSOI

1. เปิด Main Switch On
2. กด Switch ON เครื่อง
3. หมุนปรับ LV Meter ให้ตรงขีดที่กำหนดไว้ โดยหมุน LV Compensator
4. หมุนปรับค่า mA ที่ต้องการ (และเหมาะสม)
5. หมุนปรับค่า Major, Minor kV ที่ต้องการ (และเหมาะสม)
6. ตั้งเวลาในการถ่ายภาพ โดยหมุนปุ่ม Timer
7. จัดทำในการถ่ายภาพเอ็กซเรย์ให้ผู้ป่วย

8. กดปุ่ม Ready รอจนไฟ ready ติด พร้อมกับกดปุ่ม X-ray จะมีเสียง Buzzer ดัง
รอจนเสียง Buzzer หยุด จึงปล่อยสวิตช์ทั้งสองพร้อมกันเป็นการสิ้นสุดการถ่าย

การแก้ปัญหาเบื้องต้นของเครื่องเอ็กซเรย์

ปัญหา	การแก้ไข
1. ไฟไม่เข้าเครื่อง	1. ตรวจสอบ Main Switch On หรือไม่ (สับ cut out ขึ้นหรือไม่) 2. ตรวจสอบเช็ค โหม้ ที่ Main Switch
2. เปิดเครื่อง LV มีเสียงร้อง	1. หมุนปรับ LV Compensate ลงจนกว่าเสียงจะหยุด
3. ไฟ Over Timer ติดขณะเลือกใช้ 100 mA ตามปกติ	1. ปรับลด Timer Selector ไม่เกินกว่าค่าที่กำหนด
4. ถ่ายเอ็กซเรย์ได้ตามปกติ แต่เข้ม mA ไม่กระดิก	1 ตรวจสอบคูปลั๊กสาย High Tension ที่หัวหลอดและถังไฟแรงสูง
5. ไฟ Collimator ไม่ติด	1. ตรวจสอบว่า Shutter เปิดหรือไม่ 2. ถ้า Shutter เปิด ตรวจสอบว่า หลอด Collimator ขาดหรือไม่
6. ถ่ายเอ็กซเรย์แล้วล้างฟิล์มออกมาดำทั้งแผ่น	1. ตรวจสอบว่า Shutter เปิดหรือไม่ 2. ฟิล์มเอ็กซเรย์หมดอายุหรือไม่ โคมแสงหรือไม่
7. ถ่ายเอ็กซเรย์แล้วล้างฟิล์มออกมาฟิล์มไม่คมชัด	1. ดูว่าน้ำยาล้างฟิล์มหมดอายุหรือไม่ 2. เทคนิคในการถ่ายเอ็กซเรย์ ถูกต้องหรือไม่

การบำรุงรักษาเครื่อง

ความสะอาดของเครื่องเอ็กซเรย์เป็นสิ่งสำคัญที่ไม่เพียงแต่จะทำให้เครื่องมีอายุยาวนาน แต่ยังเกี่ยวกับการทำหน้าที่ของเครื่องอีกด้วย สาเหตุที่พบบ่อยของการขัดข้อง คือ ฝุ่นที่สะสมอยู่ในรางของ Tube Stand ซึ่งอยู่ที่พื้นห้อง และรางของ Tube Stand ที่อยู่ขอบเตียง ถ้ามิได้รับการทำความสะอาด จะทำให้ผู้ใช้เครื่องเคลื่อนไหว Tube Stand ได้ลำบาก

การตรวจตราความสะอาดของรางเลื่อนที่ติดอยู่กับพื้น และติดอยู่ที่ขอบเตียง จึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญ การขัดฝุ่นและเศษผงออกให้หมด แล้วใช้น้ำมันหล่อลื่นช่วย จะทำให้เคลื่อนไหวได้คล่องแคล่วขึ้น

การตรวจทุก 6 เดือน

1. ตรวจระบบควบคุม

- 1.1 ทำความสะอาดภายนอก และภายในหน่วยควบคุม
- 1.2 ตรวจสภาพทาง Mechanic ของปุ่มควบคุม สวิตช์ และอื่น ๆ
- 1.3 ตรวจสภาพทาง Mechanic ของหัวต่อ Relay และหน้าสัมผัส
- 1.4 ตรวจสภาพทางกายภาพของสายไฟฟ้าแรงสูง (High Tension Cable)
- 1.5 ตรวจหน้าที่ของเครื่องวัดเวลาเพื่อความปลอดภัย

2. ตรวจ High Tension Transformer

- 2.1 ตรวจทำความสะอาดภายนอก เช็ดคราบน้ำมันและฝุ่น
- 2.2 ตรวจการต่อ High Tension Cable ทางขดลวด Primary
- 2.3 ตรวจน้ำมันในถัง High Tension Transformer
- 2.4 ตรวจสภาพทางฟิสิกส์ของ High Tension Cable
- 2.5 ตรวจกำลังไฟฟ้าที่มาจากเครื่องเอ็กซเรย์

3. ตรวจหลอดเอ็กซเรย์ (X-ray Tube)

- 3.1 ตรวจสภาพของหลอด เช่น รอยแตกร้าว รอยไหม รอยน้ำมัน
- 3.2 ตรวจดูสาย High Tension ทำความสะอาดเมื่อจำเป็น
- 3.3 ตรวจตำแหน่ง Collimator และจุดโฟกัส

4. ตรวจสภาพของ Tube Stand

- 4.1 ตรวจหน้าที่ของกลไกใช้ล็อก (Manual Lock)
- 4.2 ตรวจสภาพของสายที่ใช้ถ่วงน้ำหนัก (Sling) และที่ยึด ตรวจสกรูที่ยึดรอกด้วย
- 4.3 ตรวจและหยอดน้ำมันส่วนที่ต้องเสียดสีกัน

5. ตรวจเตียงเอ็กซเรย์

- 5.1 ทำความสะอาดให้ทั่วทั้งบนเตียง และใต้เตียง
- 5.2 ตรวจที่ล็อก Bucky

การตรวจทุก 12 เดือน

1. ตรวจสอบผลที่ออกจากเครื่องที่ใช้ถ่ายเอ็กซเรย์ เช่น kV, mA, timer, mAS
2. ตรวจสอบวัดเวลาที่ใช้ในการถ่ายเอ็กซเรย์
3. ตรวจสอบความถูกต้องของค่าที่แสดงทางมิเตอร์

การป้องกันอันตรายจากการใช้เครื่องถ่ายเอ็กซเรย์

1. อันตรายจากไฟฟ้าแรงสูง

ผู้ที่ไม่มีความรู้ หรือความชำนาญเกี่ยวกับเครื่องเอ็กซเรย์ ไม่ควรเคลื่อนย้าย หรือถอดสายไฟแรงสูงออกจากหัวหลอดเอ็กซเรย์ โดยเด็ดขาด เพราะสายไฟแรงสูงจะเชื่อมต่ออยู่กับหม้อแปลงไฟแรงสูงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น อาจได้รับอันตรายจากไฟแรงสูงถึง 100,000 โวลต์ ได้

2. อันตรายจากการระเบิด หรือถูกไหม้

เครื่องเอ็กซเรย์ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนที่ติดไฟได้ และมีชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดความร้อน และประกายไฟ เพราะฉะนั้น ไม่ควรนำวัตถุที่เป็นเชื้อเพลิงติดไฟได้ง่าย เช่น น้ำมัน ทินเนอร์ แอลกอฮอล์ เป็นต้น ไว้ใกล้เครื่อง และในกรณีที่เป็นห้องทึบ และมีแก๊สติดไฟรั่วอยู่ ไม่ควรใช้เครื่อง เพราะประกายไฟจากเครื่องอาจทำให้เกิดการระเบิดได้

3. อันตรายจากไฟฟ้ารั่ว

เครื่องมือนี้อาจจะมีไฟฟ้ารั่ว ทำให้เป็นอันตรายกับคนไข้ หรือผู้ใช้ได้ ในกรณีที่ผู้ใช้รู้สึกว่ามีไฟฟ้ารั่ว ควรหยุดใช้เครื่อง และแจ้งให้บริษัท ทราบ เพื่อทำการแก้ไขทันที ไม่ควรให้ผู้ที่ไม่มี ความชำนาญซ่อมหรือแก้ไข เพราะอาจจะเกิดอันตรายและความเสียหายแก่เครื่องมือได้

การป้องกันอันตรายจากรังสี

ในการปฏิบัติงาน รังสีเทคนิค ควรปฏิบัติดังนี้

1. ใช้ Collimator เสมอในการถ่ายและควรใช้ขอบเขตของลำแสงเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้
2. หลีกเลี่ยงการถ่ายซ้ำ โดย
 - จัดทำให้ถูกต้อง
 - ตั้ง Exposure Factor ให้ถูกต้อง รวมทั้งการล้างฟิล์มด้วย
 - ตรวจสอบข้อผู้ป่วย ฟิล์ม และส่วนที่จะถ่ายให้ถูกต้อง
 - ใช้เครื่องช่วยในการที่จะให้ผู้ป่วย และส่วนที่ต้องการถ่าย ให้อยู่นิ่ง

3. ขณะถ่ายฟิล์ม ควรใช้ฉากตะกั่ว เพื่อป้องกันตนเองจากรังสี ถ้าไม่มี หรือไม่สามารถจะ

คอนโทรลได้ ควรจะอยู่ในตำแหน่งห่างอย่างน้อย 6 ฟุต จากตำแหน่งของ Primary Beam

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ไม่ควรอยู่ในตำแหน่งมองลำแสงโดยตรง และไม่ควรจะจับส่วนที่ถ่ายเอง โดยไม่ป้องกัน ถ้าจำเป็นต้องจับส่วนที่จะถ่ายควรสวมเสื้อ หรือถุงมือตะกั่ว
5. การถ่ายเอ็กซเรย์ฟัน ควรให้ผู้ป่วยจับฟิล์มไว้เอง ถ้าไม่ได้ผลจึงใช้คีมขนาดยาวจับไว้ โดยเจ้าหน้าที่ต้องสวมเสื้อตะกั่วด้วย
6. ห้องที่ติดตั้งเครื่องเอ็กซเรย์ จะต้องออกแบบสำหรับป้องกันปริมาณรังสีได้ถูกต้อง

การเก็บรักษาฟิล์มเอ็กซเรย์ที่ยังไม่ถ่าย

ฟิล์มเอ็กซเรย์ เป็นสิ่งบอบบาง ควรจับต้องด้วยความระมัดระวัง เพราะมีหลายสาเหตุที่ทำให้ฟิล์มเสียได้ เช่น ความร้อน แสงธรรมชาติ แสงเอ็กซเรย์ เรเดียม ควันทองคเมิ แรงกด แรงกระแทก การฉีกขาด รอยขีดข่วน และความชื้นสูง เหล่านี้ทำให้เกิดเป็นรอยต่าง ๆ บนฟิล์ม เรียกว่า Artifact จึงต้องรู้วิธีเก็บรักษา และวิธีจับต้องฟิล์มที่ถูกต้อง

ฟิล์มเอ็กซเรย์ที่ยังไม่แกะกล่องนั้น ต้องเก็บไว้ในห้องที่เย็น ต้องไม่เก็บฟิล์มในห้องที่ชื้น ไม่เก็บใกล้ห้องน้ำ หรือแหล่งกำเนิดความร้อน ถ้าอากาศร้อนควรส่งฟิล์มมาครั้งละน้อย ๆ เพื่อฟิล์มจะได้เวียนออกหมดเร็ว ๆ

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อฟิล์มเอ็กซเรย์

1. ความร้อนและความชื้น

ถ้าอุณหภูมิสูงจะทำให้ฟิล์มเอ็กซเรย์ fog เมื่อนำไปถ่ายเอ็กซเรย์ contrast ของภาพจะเสียไป สภาพที่เหมาะสมที่สุด คืออุณหภูมิ 50 ถึง 70 องศาฟาเรนไฮต์ (10 - 20 องศาเซลเซียส) และความชื้นสัมพัทธ์ 40-60 เปอร์เซ็นต์

2. รังสี

สิ่งสำคัญที่สุดสำหรับการเก็บฟิล์มเอ็กซเรย์ คือ จะต้องเก็บให้พ้นรังสีเอ็กซ์ รังสีแกมมาทางที่ดีควรจะมีการป้องกัน ถ้าสถานที่เก็บฟิล์มอยู่ติดกับห้องถ่ายเอ็กซเรย์ ผนังควรบุตะกั่ว หรือผนังต้องหนาพอที่แสงเอ็กซเรย์ไม่สามารถผ่านได้

3. ควันทองคเมิ

ฟิล์มเอ็กซเรย์จะ fog เมื่อถูกต้องกับโลหะผิวมัน ทินเนอร์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ก๊าซแอมโมเนีย ไอปรอท ไอเครื่องยนต์ ฟอมาลิน ฯลฯ ฉะนั้นต้องไม่เก็บฟิล์มที่แกะกล่องแล้ว ไว้ในห้องยา หรือห้องที่มีสารเคมีเหล่านี้อยู่ ถ้าเก็บไว้ในห้องล้างฟิล์ม ต้องไม่วางไว้ใกล้ถังน้ำยาล้างฟิล์ม ต้องไม่วางไว้ใกล้ถังน้ำยาล้างฟิล์ม

ฟอร์มาลิน และสารประเภทเดียวกัน ทำให้ Emulsion แข็งตัวมากกว่าปกติ ทำให้ความไวของฟิล์มลดลง Contrast ลดลงและทำให้ขบวนการ Fixing เกิดไม่เพียงพอ

4. แรงกดและรอยขีดข่วน

รอยขีดข่วนที่เกิดจากการครูดอย่างแรงบน Emulsion เมื่อนำไปล้างฟิล์ม จะเกิดเป็นเส้นดำแรงกดลงบนฟิล์มก็เช่นกัน จะก่อให้เกิด artifact เมื่อล้างฟิล์มเสร็จ

ฉะนั้น ฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่เก็บไว้ จะต้องวางกล่องเรียงกันไป ไม่ใช่วางซ้อนกัน

5. การจับต้องฟิล์ม

ก่อนจับฟิล์มต้องล้างมือให้สะอาด และเช็ดมือให้แห้งสนิท จะต้องไม่จับผิวหน้าของฟิล์ม ให้จับบริเวณมุมหรือขอบเท่านั้น ระวังอย่าให้ฟิล์มหักหรืองอ เมื่อจับฟิล์มอย่างถูกวิธี ภาพถ่ายรังสีจะเป็นที่พอใจ โดยไม่มี artifact

การแกะฟิล์มเอ็กซ์เรย์ออกจากกล่อง

1. ปิดไฟให้หมด เหลือแต่ safe light อย่าลืมปิดประตู
2. วางกล่องฟิล์มตามแนวตั้ง เอาฝากล่องขึ้น
3. ดึงกระดาษที่แปะระหว่างฝากับตัวกล่องออก
4. เปิดฝากล่อง ถึงถุงฟิล์มขึ้นมา ดึงถุงตรงตำแหน่งที่สูงกว่าฟิล์มประมาณ 1 นิ้ว เพื่อดึงยังงอเก็บฟิล์มไว้ในกล่องต่อไป จะได้มีกระดาษหุ้มด้านบน
5. หยิบฟิล์มขึ้นมาตรง ๆ อย่าให้งอ

การนำฟิล์มเอ็กซ์เรย์ใส่ในคาสเซ็ท และออกจากคาสเซ็ท (Loading & Unloading Cassette)

การนำฟิล์มใส่ในคาสเซ็ท (Loading)

1. เปิดคาสเซ็ท
2. หยิบฟิล์มขึ้นมา 1 แผ่น พร้อมกระดาษหุ้มฟิล์ม จับฟิล์มด้วยปลายนิ้วชี้ และปลายนิ้วโป้ง
3. ใช้อีกมือหนึ่งเปิดกระดาษหุ้มฟิล์มออก
4. ค่อย ๆ วางฟิล์มลงในคาสเซ็ท แล้วดึงกระดาษออก
5. จัดฟิล์มให้เข้าที่ โดยใช้นิ้วชี้ตรงมุมฟิล์ม
6. ปิดคาสเซ็ท

ข้อควรระวัง อย่าลืมปิดไฟ เมื่อใส่ฟิล์มเข้าคาสเซ็ท

อย่าลืมปิดกล่องฟิล์ม เมื่อใส่ฟิล์มเข้าคาสเซ็ทเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำฟิล์มออกจากคาสเซ็ท (Unloading)

1. ปิดคาสเซ็ทด้วยมือซ้าย และถือฝาคาสเซ็ทไว้
2. ใช้นิ้วชี้ขวาเขี่ยฟิล์ม ตรงมุมขวามุมขึ้น
3. จับฟิล์มด้วยปลายนิ้วชี้ และปลายนิ้วโป้ง ยกฟิล์มขึ้นให้ตรง ระวังฟิล์มชูดกับขอบคาสเซ็ท
4. ปิดคาสเซ็ท
5. ใช้มือซ้ายจับมุมล่างของฟิล์ม เอาไปเข้าเครื่องพิมพ์ช้อคนไว้

การติดฟิล์มเอ็กซ์เรย์ใน Hanger

ให้ติดฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่มุมล่าง ของ Hanger ก่อนทั้งสองมุม แล้วจึงติดมุมบน เพราะมุมบนสามารถดึง คลิป ลงมาติดกับฟิล์มได้ เมื่อติด Hanger เสร็จแล้ว ฟิล์มจะตึง ถ้าฟิล์มหย่อนจะต้องแก้ไขที่ Hanger มิฉะนั้นจะเกิด artifact เมื่อล้างฟิล์มออกมาแล้ว

ขบวนการล้างฟิล์มเปียก (Manual Processing)

การล้างฟิล์มเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการถ่ายภาพเอ็กซ์เรย์ มีความสำคัญเท่าเทียมกับการถ่ายภาพ เพราะแม้ว่ามีเครื่องเอ็กซ์เรย์อย่างดี เทคนิคเขียนในท้องถ่าย บรรจงจัดท่าอย่างดี Exposure ถูกต้อง ถ้าล้างฟิล์ม ไม่ดี บางทีอาจจะดูไม่ได้เลย ทำให้ต้องถ่ายใหม่เสียเวลา เสียฟิล์ม และข้อสำคัญทำให้คนไข้โดนแสงเอ็กซ์เรย์เพิ่มขึ้น ฉะนั้นเราต้องให้ความสำคัญต่อการล้างฟิล์มเท่ากับการถ่ายภาพ

การล้างฟิล์มแบบมาตรฐาน

เราจะต้องพยายามให้คุณภาพของฟิล์มของเราสม่ำเสมออยู่ตลอดเวลา ทั้ง วัน เดือน ปี ฟิล์มเอ็กซ์เรย์นั้นได้ถูกผลิตออกมาให้มี density และ contrast เท่ากันทุกแผ่น ถ้าให้ exposure ถูกต้องและล้างฟิล์มด้วยวิธีมาตรฐาน

การล้างฟิล์มแบบมาตรฐาน คือ เวลาล้างฟิล์มตามอุณหภูมิของ developer ให้ได้ภาพเอ็กซ์เรย์ที่มีคุณภาพดีนั้น นอกจาก exposure factor ต้องเป็นมาตรฐานแล้ว คุณภาพของน้ำยา developer จะต้องเป็นมาตรฐานด้วย การล้างฟิล์มตามปกติ น้ำยาล้างฟิล์มจะเสื่อมสภาพลงตามจำนวนฟิล์มที่ล้าง และน้ำยาจะลดปริมาณและคุณภาพลงจนกว่าจะหมดอายุ การใช้งานของน้ำยาดังนั้นโดยการเติมน้ำยาเดิมลงไปบ่อย ๆ น้ำยาเดิมนี้นี้เรียกว่า Replenisher

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Replenisher ที่เติมลงไปนั้น จะทำให้ developer คงสภาพเดิมอยู่เพียงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น เมื่อเติม Replenisher ลงไปเป็นจำนวนเท่าที่กำหนดไว้ ก็ต้องเท developer ถังนั้นทิ้ง แล้วผสมใหม่ ถ้าไม่มี Replenisher เราต้องผสม developer ใหม่ เป็นน้ำยาเดิม อย่าใช้น้ำ หรือ developer เก่าที่เสื่อมสภาพเป็นน้ำยาเดิม เพราะน้ำจะทำให้ น้ำยาเจือจาง และ developer เก่าก็ไม่สามารถจะทำให้ developer ในถังมีคุณภาพเหมือนเดิมได้ เพราะสารเคมีต่าง ๆ ถูกใช้ไปเกือบหมด หรือไม่ก็เสื่อมสภาพไปหมดแล้ว

การผสมน้ำยาล้างฟิล์ม

ขั้นแรกของการล้างฟิล์ม คือ การผสมน้ำยาล้างฟิล์ม น้ำยาล้างฟิล์มสำเร็จรูปชนิดนี้น้ำเราเอามาใช้ได้สะดวก คือเพียงแต่นำมาผสมให้ถูกสัดส่วนเท่านั้น และสามารถผสมในถังล้างฟิล์มได้เลย ส่วนวิธีผสมจะต้องทำตามของบริษัทผู้ผลิตกำหนดไว้ น้ำยามีแยกเป็นถึง A ถึง B ต้องอ่านรายละเอียด ต้องเติมอะไรก่อนหลัง ให้ทำตามลำดับขั้นตอนและมีข้อควรระวัง คืออุณหภูมิของน้ำยาจะต้องถูกต้องและต้องคนน้ำยาให้ทั่ว (สำหรับการคนน้ำยาให้ทั่วนี้ ไม่ใช่ทำเฉพาะผสมน้ำยาใหม่เท่านั้น การเติม Replenisher ทุก ๆ ครั้งก็ต้องคนให้ทั่วก่อนเช่นกัน หรือทิ้งน้ำยาไว้เป็นเวลานาน ๆ เช่น ทิ้งไว้ทั้งคืน ตอนเช้าก่อนใช้ก็คนตามก่อน ก็คนน้ำยาให้ทั่วด้วย)

ข้อควรระวังในการผสมน้ำยา

1. ล้างถังน้ำยาและฝาถังให้สะอาดก่อนใส่น้ำยาใหม่
2. อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมน้ำยา ต้องเท่ากับอุณหภูมิที่ผู้ผลิตได้กำหนดไว้ ถ้าอุณหภูมิสูงเกินสารเคมีบางตัวจะทำปฏิกิริยากับอากาศ ถ้าอุณหภูมิต่ำสารเคมีบางตัวจะไม่ละลาย
3. ถังผสมน้ำยาและถังใส่น้ำยา จะต้องทำด้วยสารที่ทนทานต่อสภาพความเป็นกรด และเป็นค่าของน้ำยาล้างฟิล์ม เช่น ทำด้วย Stainless Steel, polyester (PVC) หรือเครื่องเคลือบ จะต้องไม่ใช่ถังที่ทำด้วยโลหะจำพวก ดีบุก ทองแดง อลูมิเนียม
4. ไม่ใช่ถึงสุกร้อนแล้วมาผสมน้ำยา หรือบรรจุน้ำยาล้างฟิล์ม เพราะโลหะที่สุกร้อนจะหลุดออกมาผสมน้ำยาล้างฟิล์ม ซึ่งจะทำให้ฟิล์ม fog

ขั้นตอนการล้างฟิล์ม

ในการปฏิบัติ การล้างฟิล์มจะเป็นไปตามลักษณะลำดับขั้นตอนดังนี้

1. เมื่อเริ่มล้างฟิล์ม ต้องสำรวจน้ำยาล้างฟิล์มเสียก่อน ถ้ามีเมือก ฟูนหรือเศษผง ลอยอยู่บนผิวหน้าของน้ำยา ต้องเอาออก ถ้าน้ำยา developer พร่องระดับไม่ถึงขีดที่กำหนด ต้องเติม Replenisher แล้วคนน้ำยาให้ทั่ว การคนน้ำยาจะทำให้ความเข้มข้นและอุณหภูมิของน้ำยาเท่ากันตลอดทั้งถัง

สำหรับอุณหภูมิปกติของเมืองไทย ประมาณ 80-85 องศาฟาเรนไฮต์ โดยเฉลี่ยเวลาที่ใช้ developer ประมาณ 1.5 - 20 นาที

2. ล็อคประตู ปิดไฟ ปรับสายตาให้เข้ากับความมืด แล้วเปิดคาสเซ็ทหีบฟิล์มออกพิมพ์ชื่อคนใช้ ดิด Hanger ไม่วางฟิล์มไว้ใต้ Safe Light ควรหาที่วางฟิล์มมืด ๆ ก่อนจุ่มฟิล์มลงถึง developer ต้องเอาฟิล์มใหม่ใส่คาสเซ็ทก่อนเพราะมือยังสะอาดอยู่

3. จุ่มฟิล์มลงในถัง developer agitate 2 - 3 ครั้ง เพื่อไล่ฟองอากาศที่เกาะอยู่บริเวณผิวหน้าของฟิล์ม ถ้ามีฟองอากาศอยู่จะเกิด artifact เพราะ developer เข้าทำปฏิกิริยากับฟิล์มไม่ได้เมื่อเขย่าแล้วจับเวลาทันที

การ agitate ฟิล์ม คือ การยก Hanger ขึ้นลงหลาย ๆ ครั้ง ทุก ๆ 30 วินาที ต้องระวังอย่าให้ฟิล์มชูดกับถังล้างฟิล์ม และไม่ควรรี agitate แรงเกินไป เพราะจะทำให้เกิดฟองอากาศ และน้ำยากระเซ็นด้วย

4. เมื่อครบกำหนดเวลา หรือดูแล้ว density พอเหมาะ ยกฟิล์มขึ้นทันที เอียง Hanger คอยให้น้ำยาหยดสักครู่ (4-5 วินาที) เพื่อไม่ให้ฟิล์ม developer ติดไปกับฟิล์มมาก

5. จุ่มฟิล์มลงในถังน้ำ น้ำจะต้องไหลเวียนตลอดเวลาถังล้างฟิล์ม เป็นเวลา 30 วินาที จะต้อง agitate ด้วยตลอดเวลาถ้าไม่ agitate จะเกิด streak บนฟิล์ม

6. เมื่อครบกำหนดเวลาแล้ว ยกฟิล์มขึ้น เอียง Hanger ให้น้ำยาหยดสักครู่เสียก่อน แล้วจุ่มลงใน Fixer agitate แรง ๆ จนฟิล์มใส แล้วแช่ฟิล์มทิ้งไว้เป็นเวลาสองเท่าของเวลาที่ใช้ในการทำฟิล์มใส ซึ่งเวลาใช้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและอายุของ Fixer solution

7. เมื่อแช่ฟิล์มใน fixer ตามกำหนดเวลาที่ถูกต้องแล้วยกฟิล์มขึ้น เอียง Hanger ให้ fixer หยดหมดเสียก่อน แล้วแช่ฟิล์มไว้ในน้ำที่ไหลเข้าออกตลอดเวลา เป็นเวลาอย่างน้อย 10 - 15 นาที น้ำในถังจะต้องท่วม Hanger ทั้งอัน เพื่อชะล้างน้ำยาที่ติดกับ Hanger ให้หมด และถ้าล้างน้ำไม่สะอาดพอ เมื่อฟิล์มแห้งแล้วจะเกิดเป็นคราบ ครวล้างให้สะอาด

ช่วงนี้ ถ้าจำเป็นต้องดูฟิล์มด่วน ให้ใช้มือ หรือฟองน้ำถูผิวฟิล์มให้สะอาดแล้วยกให้แพยท์ดู

8. เมื่อฟิล์มแห้งแล้ว ปลดออกจาก Hanger ตัดมุมฟิล์ม ตรวจดูชื่อคนใช้ ขวา ซ้าย ให้ถูกต้องจึงใส่ซองอ่าน

9. เมื่อไม่มีฟิล์มล้าง ต้องปิดฝาล้างน้ำยาไว้เสมอ เพื่อกันฝุ่น กันระเหย และลดอัตราการทำปฏิกิริยากับอากาศของน้ำยา

การดูแลอุปกรณ์ประกอบการล้างฟิล์ม

การดูแลรักษา Hanger

1. แนวเรียงไว้ให้เป็นระเบียบ อย่างวางซ้อนพียงกัน หรือซ้อนกัน เพราะคลิปจะเกี่ยวกัน หักได้

2. Hanger ที่ใช้ไปนาน ๆ จะมีเศษสารเคมีติดต่อตามคลิป ทำให้ติดฟิล์มได้ไม่แน่น ควรล้างและขัด Hanger โดยเฉพาะบริเวณคลิปเป็นครั้งคราว

การดูแลคาสเซ็ท

1. เช็ดคาสเซ็ทให้สะอาดอยู่เสมอ

2. ต้องใช้คาสเซ็ทอย่างระมัดระวัง ไม่กระแทก และข้อสำคัญต้องไม่ทำหล่น เพราะถ้าคาสเซ็ทเปลี่ยนรูป จะทำให้ Screen-film contact เสียไปด้วย

3. คาสเซ็ท มีรอยแตก หรือปิดไม่สนิท อาจจะมีแสงรั่วเข้าไป เมื่อนำฟิล์มไปล้าง จะเห็นเป็นทางสีดำบนฟิล์ม ตามขอบฟิล์ม ต้องส่งซ่อม

การดูแลรักษา Intensifying Screen

Artifact ที่เกิดบนฟิล์ม อาจทำให้การอ่านฟิล์มของแพทย์ผิดพลาดได้ สกรีนเป็นตัวสำคัญที่สุดทำให้เกิดภาพ จึงต้องดูแลรักษาอย่างดี ทุกครั้งที่เปิดคาสเซ็ท อากาศจะถูกดูดเข้าไปพร้อมกันนั้น จะมีฝุ่นผงต่าง ๆ ตามเข้าไปด้วย ฝุ่นผงจะทำให้สกรีนเสีย จะต้องทำความสะอาดสกรีนอยู่เสมอ โดยปกติไม่ควรแตะต้องสกรีน นอกจากทำความสะอาด อาจเก็บคาสเซ็ทไว้ในห้องล้างฟิล์มได้ แต่ต้องห่างจากสารเคมีและสิ่งเปรอะเปื้อนอื่น ๆ จะต้องเช็ดคาสเซ็ทให้สะอาดอยู่เสมอ เช่นเมื่อถ่ายแล้วคาสเซ็ทอาจจะเปื้อนเลือด เปื้อนเมือก หรืออื่น ๆ ต้องเช็ดคาสเซ็ทให้สะอาดก่อนส่งเข้าห้องล้างฟิล์ม

ข้อควรระวังสำหรับการใช้ Intensifying Screen

1. ต้องล้างมือให้สะอาด และเช็ดด้วยผ้าสะอาดให้แห้งสนิท ก่อนเปิดคาสเซ็ท
2. ถ้ามีเหตุบังเอิญให้น้ำยาล้างฟิล์มเปื้อนสกรีน ต้องรีบเช็ดออก
3. เมื่อเปิดคาสเซ็ทหยิบฟิล์มออกแล้วต้องปิดทันทีอย่าเปิดทิ้งไว้
4. ไม่ควรทิ้งฟิล์มไว้ในคาสเซ็ทนานเกินไป เช่น ถ้ามีวันหยุดติดต่อกหลายวัน ควรเอาฟิล์มออกจากคาสเซ็ท และใส่กระดาษไว้แทน ถ้าทิ้งไว้ความชื้นจะทำให้ฟิล์มและคาสเซ็ทติดกัน
5. ควรตรวจสอบสกรีนอย่างสม่ำเสมอ ถ้ามีรอยเปื้อนหรือฝุ่นผง ต้องเช็ดออกด้วยน้ำ และสบู่อ่อน หรือเช็ดด้วยน้ำยาเช็ดสกรีน

การทำความสะอาด Intensifying Screen

1. เช็ดด้านนอกคาสเซ็ทให้สะอาด แล้วเปิดคาสเซ็ท
2. เช็ดฝุ่นผงบนสกรีนออกให้หมดด้วยสำลี ระวังอย่าให้เล็บขูดสกรีน
3. ใช้สำลีชุบน้ำพอลมาด เช็ดให้ทั่วแผ่นสกรีน
4. ใช้สำลีอีกก้อน ชุบน้ำพอลมาด ถูสบู่แต่น้อย ถูวนไปมาให้ทั่วสกรีน
5. เช็ดสบู่ออกให้หมด
6. เช็ดน้ำให้แห้ง
7. เปิดคาสเซ็ททิ้งไว้ให้สกรีนแห้งสนิท จึงนำไปใช้ โดยวางคาสเซ็ทตั้ง

หมายเหตุ อาจใช้แอลกอฮอล์ 70° เปอร์เซ็นแทนสบู่ได้ โดยใช้สำลีชุบแอลกอฮอล์พอลมาด ถูวนให้ทั่วสกรีน แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้แห้ง

การเก็บรักษา Intensifying Screen

1. เก็บไว้ให้ห่างน้ำ ความชื้น และสารเคมี
2. เก็บไว้ให้ห่างจากแสงอาทิตย์ หรือแสงอุลตราไวโอเลต เพราะแสงนี้จะทำให้สกรีนผิดรูปปร่าง และนานไปจะทำให้สกรีนปล่อยแสงได้น้อยลง

2.5 ความสัมพันธ์เรื่องสัดส่วนของมนุษย์กับเครื่องเรือน¹

ความรู้เกี่ยวกับมาตรฐานเรื่องสัดส่วนของมนุษย์นั้น ได้มีการศึกษามานานแล้วก่อน ค.ศ. 3000 จากหลักฐานการค้นพบจากสุสานในพีระมิดของเมมฟิส (Memphis) จากนั้นได้มีนักวิทยาศาสตร์และนักศิลปศาสตร์ทำการศึกษาในเรื่องนี้เรื่อยมา

การเรียนรู้เกี่ยวกับมาตรฐานเรื่องสัดส่วนของมนุษย์ ได้ทำการศึกษาจากซากศพของมเหสีฟาโรห์ซึ่งอยู่ในยุค Ptolomaic ของกรีกและโรมัน และเป็นที่ยอมรับในมาตรฐานเรื่องสัดส่วนของมนุษย์ในเวลานั้น โดยการสอนของ Alberti, Leonarde da Vinci, michelangelo และคนอื่น ๆ โดยเฉพาะ Diirer เป็นคนสำคัญในการวางรากฐานการศึกษาเรื่องนี้ได้จัดระบบการวัดสัดส่วนของมนุษย์ เช่น ความยาวของศีรษะ หน้า เท้า และแบ่งส่วนย่อยรายละเอียดอื่น ๆ ที่สัมพันธ์กันของแต่ละส่วน ซึ่งกลายเป็นมาตรฐานที่ใช้กันในทุกวันนี้ ในสมัยใหม่ยอมรับระบบการจัดเป็นฟุตและหลา

1. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย, ขนาดสัดส่วนของคนไทย (กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ครุสภาการพิมพ์, 2533), หน้า 109-118.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 วิธีการวัดสัดส่วนของมนุษย์

Diirer ได้ค้นพบวิธีการสัดส่วนของมนุษย์ ซึ่งเป็นที่ยอมรับและเห็นพ้องต้องกันทั่ว ๆ ไป โดยเขาเริ่มวัดความสูงของร่างกายมนุษย์และกำหนดส่วนย่อยไว้ดังต่อไปนี้

1/2 ของความสูงทั้งหมด = ครึ่งหนึ่งของร่างกายวัดจากขาตั้งขาหรือขาหนีบขึ้นไปถึงศีรษะส่วนบน

1/4 ของความสูงทั้งหมด = ความยาวของขาวัดจากข้อเท้าถึงหัวเข่าและจากปลายคางถึงสะดือ

1/6 ของความสูงทั้งหมด = ความยาวของเท้า

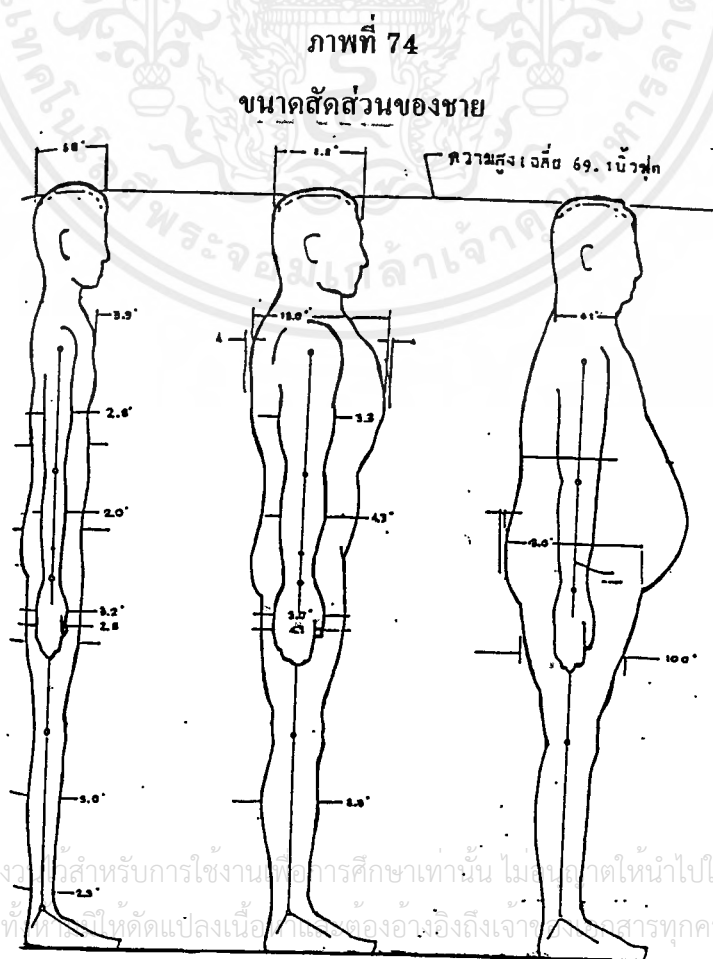
1/8 ของความสูงทั้งหมด = ความสูงของศีรษะส่วนบนถึงปลายคางและจากปลายคางถึงราวนม

1/10 ของความสูงทั้งหมด = ความสูงและความกว้างของใบหน้ารวมถึงหูด้วยและความยาวของมือถึงข้อมือ

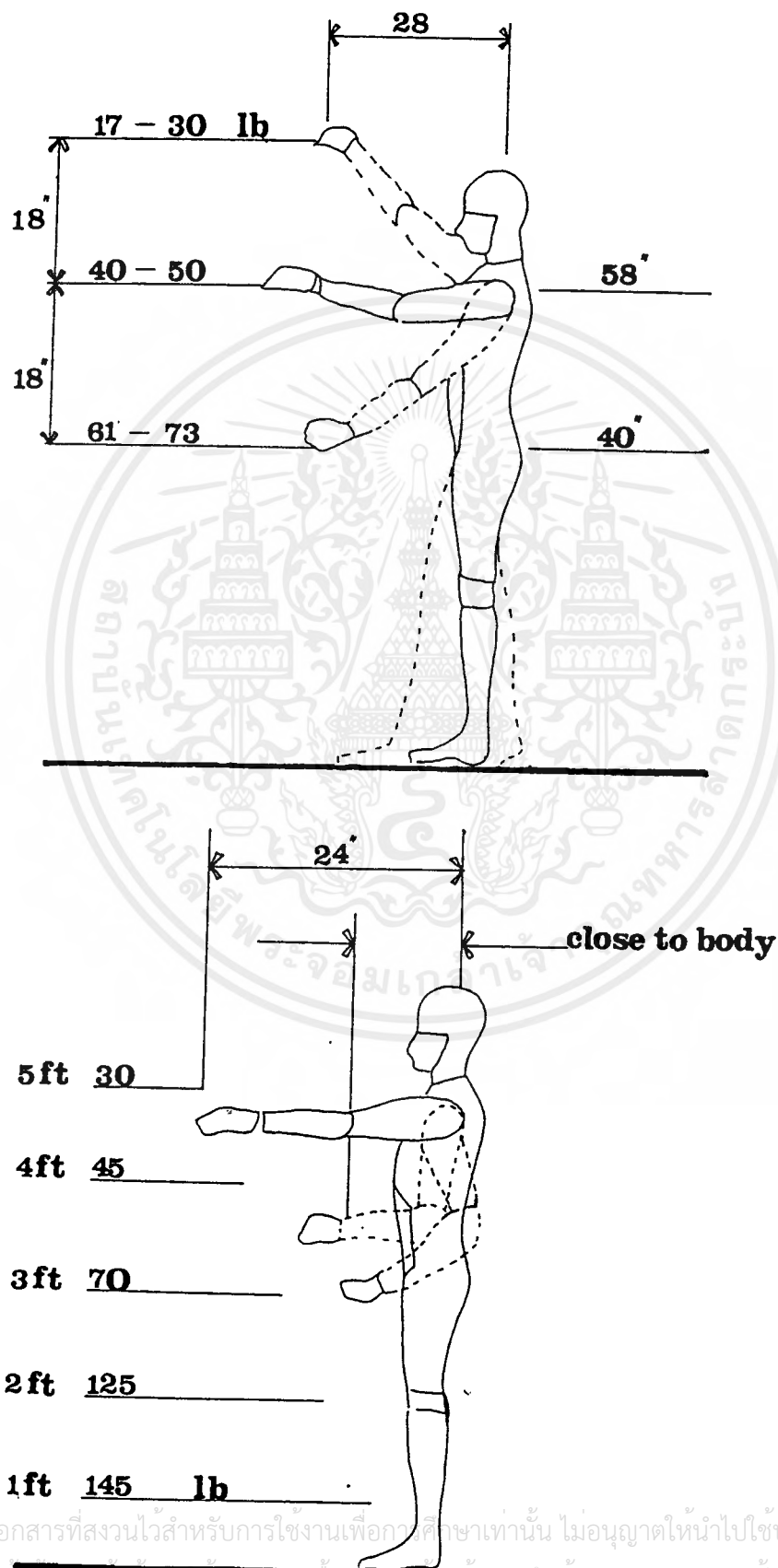
1/12 ของความสูงทั้งหมด = ความกว้างของใบหน้าวัดจากปลายจมูกส่วนล่างสุดและในการแบ่งสัดส่วนของมนุษย์นั้นแบ่งเป็นส่วนย่อยได้ 1/40 ของความสูงทั้งหมดของร่างกาย

2.5.2 ขนาดสัดส่วนผู้ใช้

สัดส่วนของมนุษย์ แบ่งออกเป็นลักษณะรูปทรงใหญ่ 3 ประเภท คือ รูปร่างผอมรูปร่างปานกลาง รูปร่างอ้วน โดยใช้ข้อมูลสถิติเฉลี่ยขนาดรูปร่างทั้ง 3 ผลเฉลี่ยปรากฏดังนี้

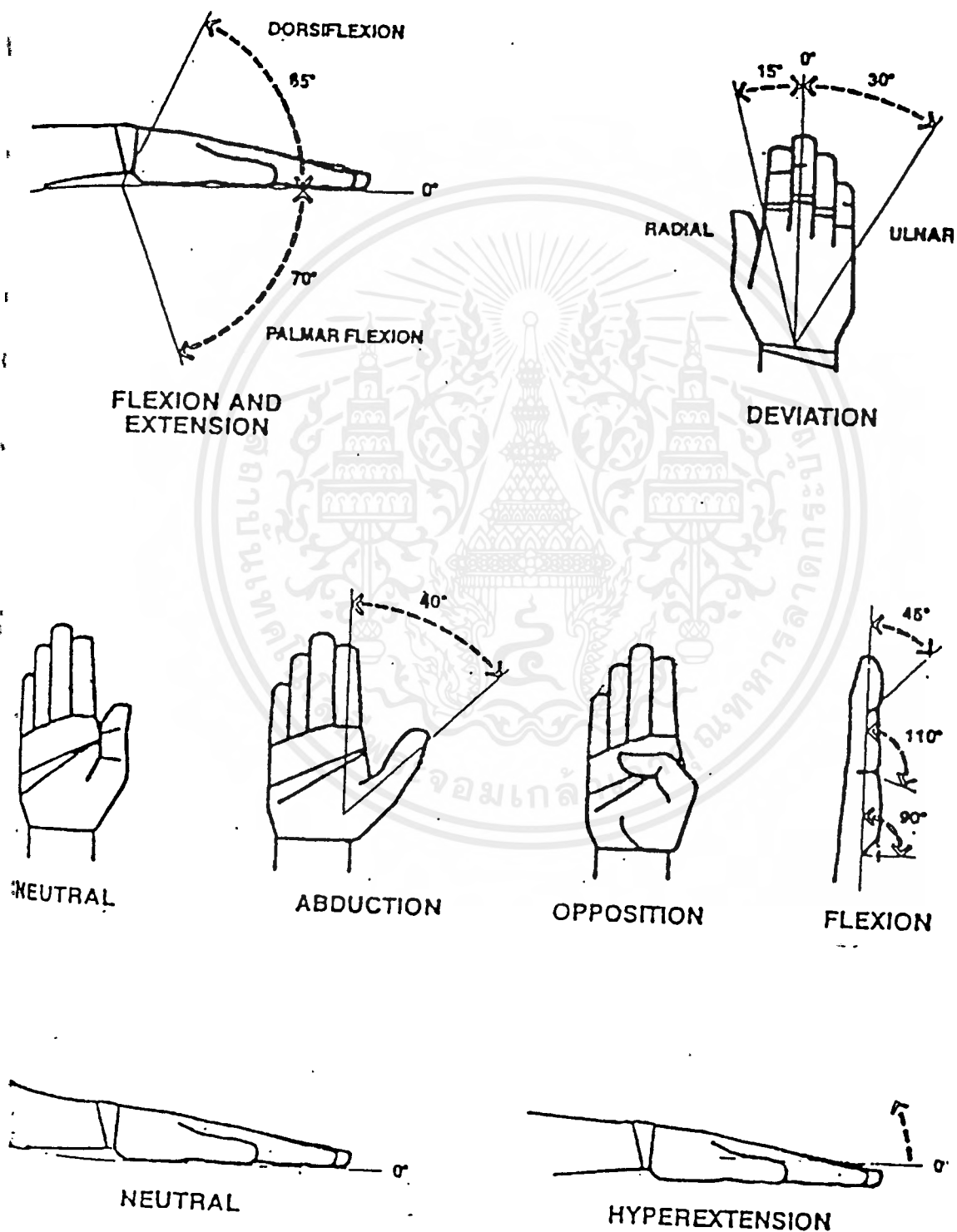


ภาพที่ 75
แสดงกำลังขณะยืนและแรงขณะยก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่แบบสงวนลิขสิทธิ์และต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

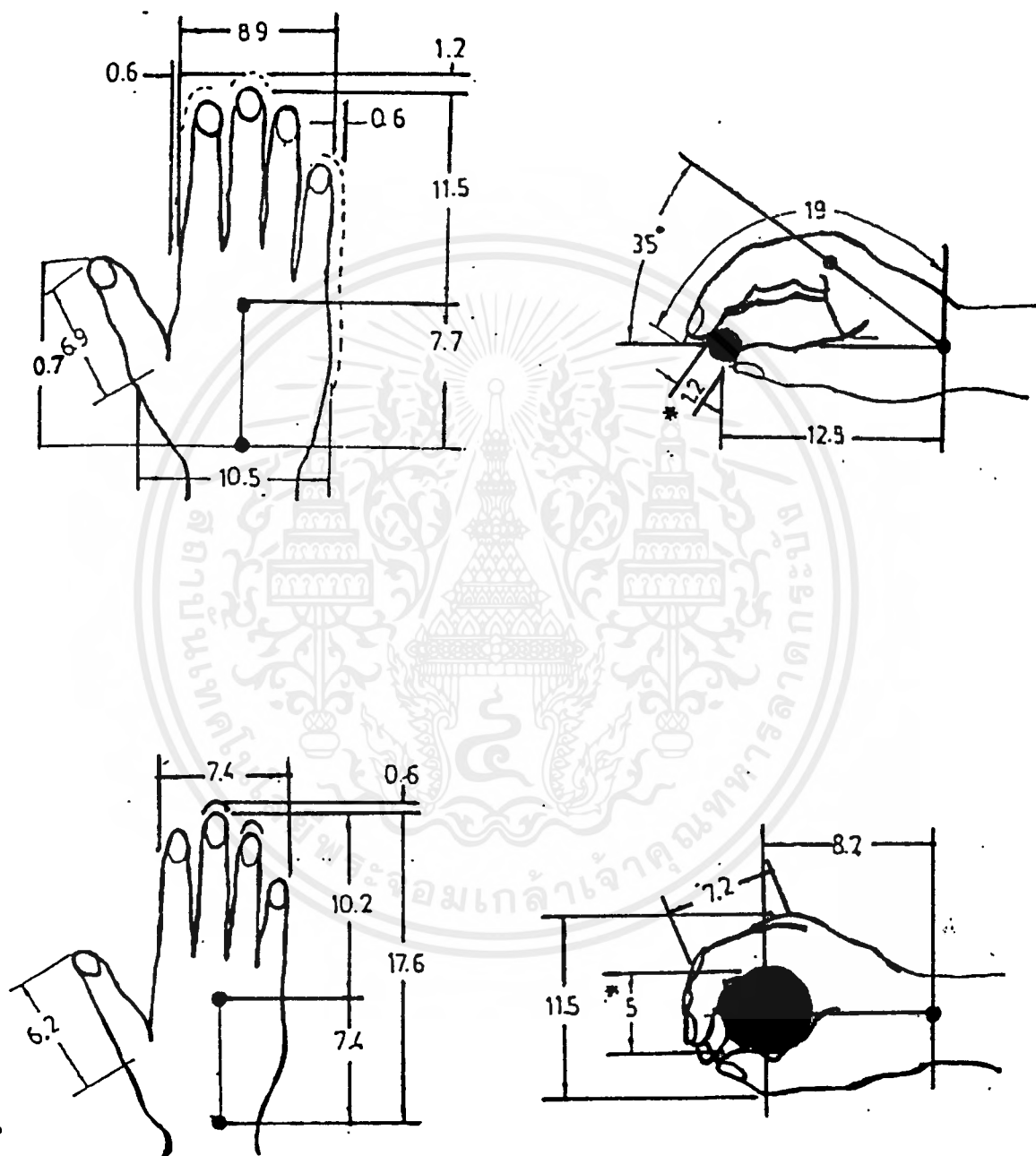
ภาพที่ 76
แสดงการเคลื่อนไหวของมือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 77

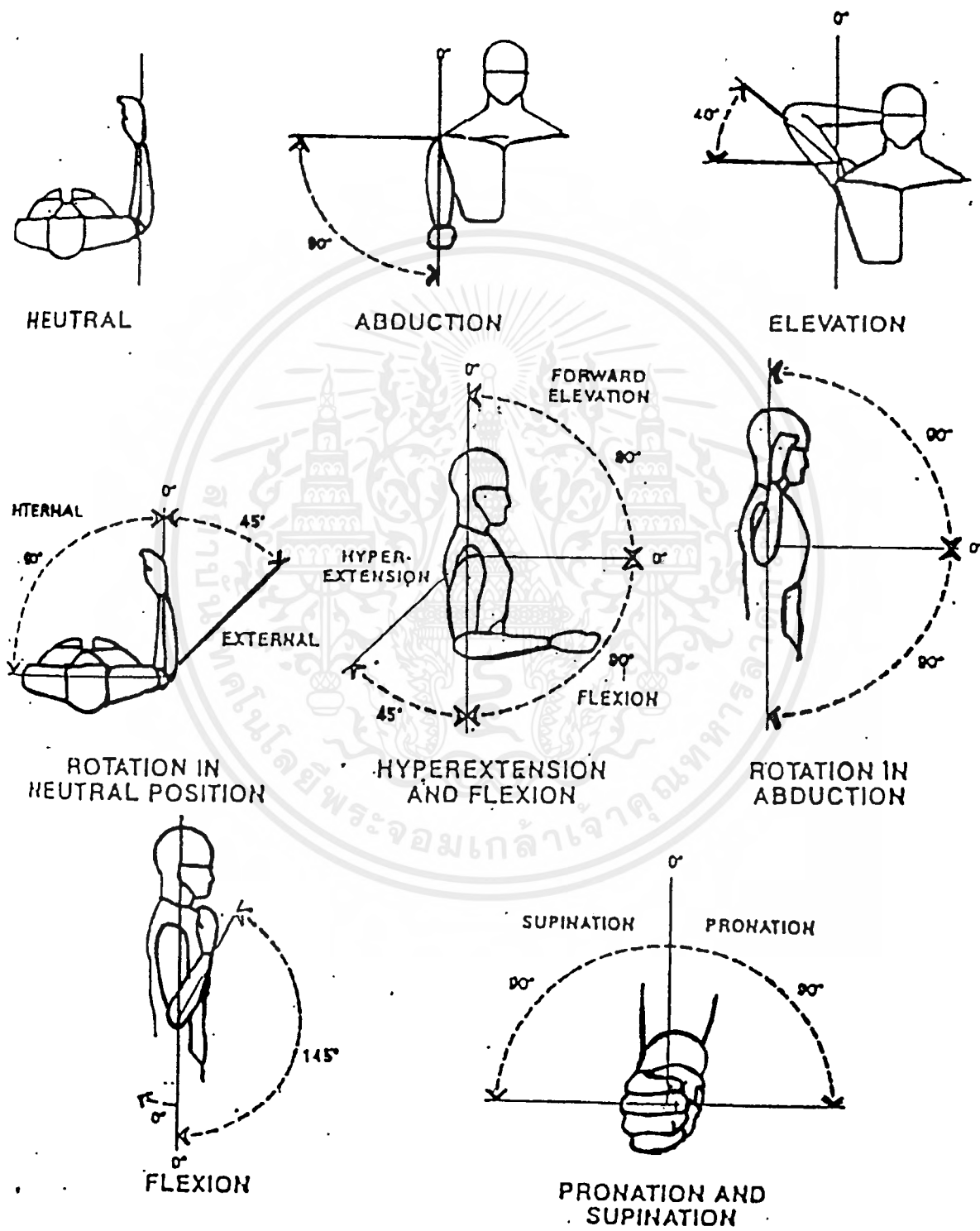
แสดงขนาดสัดส่วนของมือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 78

ลักษณะสัดส่วนของมุมการพับงอของแขน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 ความสามารถในการออกแรง ของมนุษย์

จากการทดลองความแข็งแรงของมนุษย์ภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมได้ผลออกมาดังนี้

- 1) มนุษย์สามารถทำงานปกติได้ด้วยแรงประมาณ 75 วัตต์ (0.10 แรงม้า)
- 2) มนุษย์สามารถรวบรวมออกแรงทำงานได้สูงสุดถึง 2 แรงม้า ภายในเวลา 10 วินาที
- 3) มนุษย์สามารถออกแรงทำงานได้ 750 วัตต์ ติดต่อกันไปได้เป็นเวลา 1 นาที

หมายเหตุ

1 วัตต์ = 0.1 แรงม้า ค่าเหล่านี้อาจเปลี่ยนแปลงได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ

- 1) ลักษณะและคุณสมบัติของผู้ใช้แรง เช่น ความแข็งแรง สภาพจิตใจ น้ำหนัก
- 2) สภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ, ความกดอากาศ
- 3) ลักษณะคุณสมบัติของสิ่งที่จะยก

โดยปกติทั่วไปมีการแบ่งสภาพการทำงานออกแรงของมนุษย์ได้เป็น 4 ลักษณะ คือ

- 1) การยก
- 2) การดึง
- 3) การผลัก
- 4) การหมุน

สำหรับสภาพการทำงานของผู้ขนย้ายนั้นเป็น ลักษณะที่ 1 คือ การออกแรงยกซึ่งจากการศึกษาค้นคว้าข้อมูล กำลังแขนขณะยืนและกำลังแรงยก สามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) กำลังแขนสูงสุดขณะยืนเท่ากับ 73 ปอนด์ ซึ่งมีอยู่สูงจากพื้น 40 นิ้ว
- 2) ที่ความสูง 40 นิ้ว (3 ฟุต 4 นิ้ว) กำลังแรงยกขึ้นจะอยู่ระหว่าง 45 - 70 ปอนด์

การพิจารณาสัดส่วนต่าง ๆ ของร่างกายจะต้องพิจารณาค่าต่ำสุด สูงสุด หรือค่าเฉลี่ยที่เหมาะสมกับการใช้งานของงานออกแบบนั้น ๆ นั่นคือ มีการพิจารณาถึงมิติกฤตและมิติปรับปรุง

มิติกฤต (CRITICAL BODY DIMENSION)

สัดส่วนต่าง ๆ ของร่างกายมีทั้งค่าสูงสุด (MAXIMUM) ค่าต่ำสุด (MINIMUM) และค่าเฉลี่ย (MEAN) การจะนำค่าต่าง ๆ ไปใช้ขึ้นอยู่กับให้นำไปใช้ในแต่ละกรณีไม่เหมือนกันเรียกว่า มิติกฤต การพิจารณาเลือกกำหนดมิติกฤต ถือหลักว่า มิติกฤต การพิจารณาเลือกกำหนดมิติกฤต ถือหลักว่า มิติกฤตที่เลือกจะต้องไปช่วยในงานออกแบบให้นำไปใช้ได้ดี สะดวก สบายกับผู้ให้ทุกขนาด

มิติปรับปรุง (ADJUSTED BODY DIMENSION) สัดส่วนต่าง ๆ ที่ได้มานั้น เป็นการวัดจากตัวอย่างที่ไม่สวมรองเท้า ในการนำตัวเลขไปให้จึงต้องปรับปรุงมิติเพื่อให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น สิ่งที่จะต้องพิจารณาประกอบมิติกฤตคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1

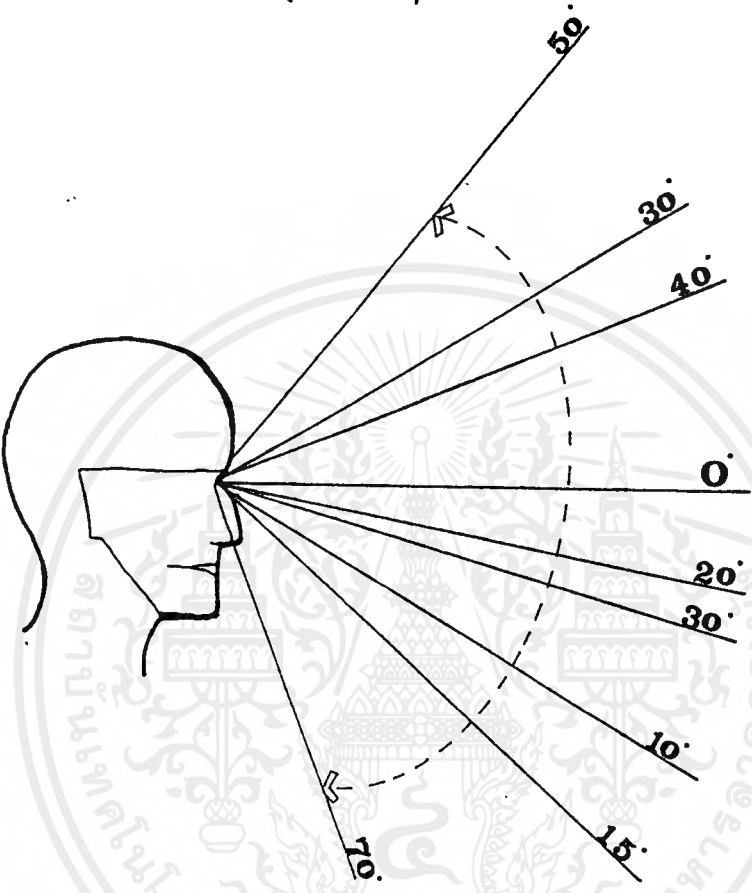
ข้อมูลเกี่ยวกับขนาดสัดส่วนและความสามารถในการมอง

ขนาดสัดส่วนของคนไทย

หมายเลข	มิติส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย	อัตราส่วน	ความสูง ยืนต่ำสุด	ความสูง ยืนเฉลี่ย	ความสูง ยืนสูงสุด
1	ความสูงยืน	1.000	148.30	160.60	173.27
2	ความสูงระดับสายตา	0.933	133.36	149.63	161.66
3	ความสูงระดับไหล่	0.827	122.64	132.81	143.29
4	ความสูงระดับมือ	0.437	64.80	70.18	75.71
5	ความสูงเอื้อมมือขึ้นบน	1.255	186.11	201.55	217.45
6	ความสูงนั่ง	0.523	77.56	83.99	90.62
7	ความสูงระดับสายตา	0.400	68.21	73.87	79.70
8	ความสูงจากระดับที่นั่งถึงระดับไหล่	0.351	52.49	56.85	61.33
9	ความสูงจากพื้นถึงข้อศอก	0.143	21.20	22.96	24.77
10	ความสูงจากพื้นถึงข้อศอกของขาอ่อน	0.082	12.16	13.16	14.20
11	ความสูงจากพื้นถึงข้อศอกของเข่า	0.303	44.93	48.66	52.50
12	ความสูงจากพื้นถึงขาอ่อนตอนล่าง	0.218	32.32	35.01	37.77
13	ระยะหน้าท้องถึงเข่า	0.223	33.07	35.81	38.63
14	ระยะจากก้นถึงระดับน่องตอนบน	0.254	37.66	40.79	44.01
15	ระยะจากก้นถึงเข่า	0.329	48.79	52.83	57.00
16	ความยาวของขาเหยียดตรง	0.020	02.83	100.63	108.46
17	ความกว้างของที่นั่ง	0.226	33.91	30.29	39.15
18	ระยะเอื้อมแขนไปข้างหน้า	0.491	72.81	73.85	85.07
19	ความกว้างของแขน	1.022	151.56	161.13	177.08

ภาพที่ 79

การศึกษาเกี่ยวกับมุมมองต่าง ๆ ในระนาบจากด้านข้าง

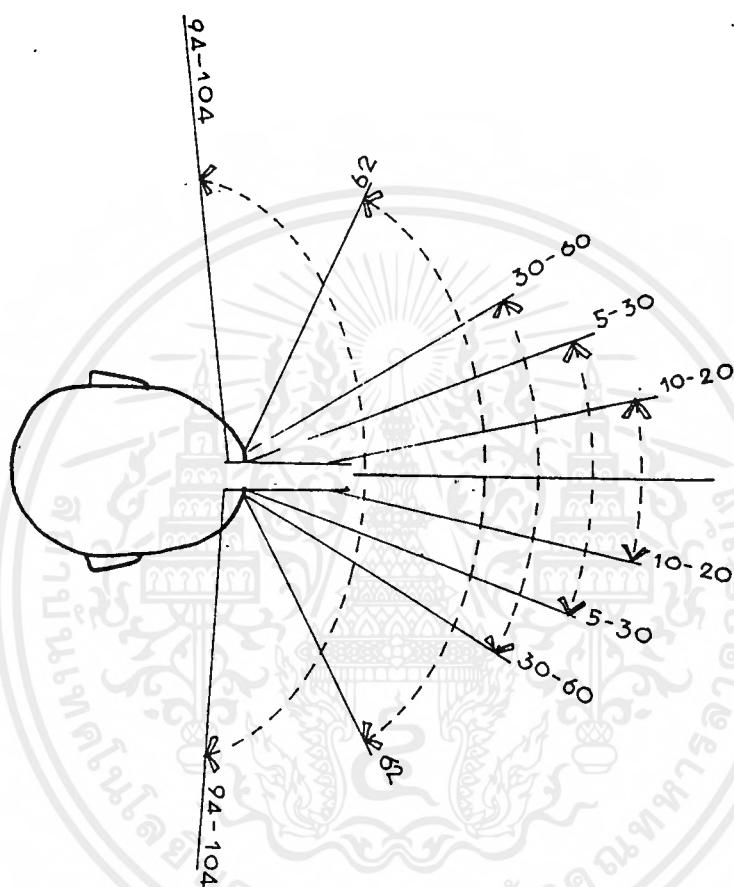


จากการศึกษามุมมองด้านข้าง สามารถสรุปตัวเลขต่าง ๆ เพื่อเป็นพื้นฐานและแนวทางในการออกแบบปุ่มกดให้เหมาะสมต่อไป

มุมเงยสูงสุด	50°
มุมมองที่ดีของสีมากที่สุด ขึ้นบน	30°
มุมมองที่ดีของสีมากที่สุด ลงล่าง	40°
มุมมองเหลือบตาขึ้นมากที่สุด	25°
มุมมองเหลือบตาลงมากที่สุด	30°
มุมสายตาปกติขณะยืน	10°
มุมสายตาปกติขณะนั่ง	15°
มุมก้มสูงสุด	70°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 80
การศึกษาเกี่ยวกับมุมของต่าง ๆ ในระนาบจากด้านบน



จากการศึกษามุมมองจากด้านบน สามารถสรุปตัวเลขต่าง ๆ เพื่อเป็นพื้นฐาน และแนวทางในการออกแบบปุ่มกด ให้เหมาะสมต่อไป

มุมมองตัวหนังสือ	10-20
มุมมองของสัญลักษณ์	5-30
มุมมองที่ดีที่สุดของสี	30-60
มุมมองกล้องที่ดีที่สุด	94-104
มุมมองกวาดสายตาอีกข้างหนึ่ง	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุโครงสร้าง

2.6.1 เหล็ก (Steel)¹

แร่เหล็กพบอยู่มากมายหลายแห่งในโลก ประกอบกับการถลุงเหล็กก็กระทำได้ไม่ยากนัก เครื่องจักร เครื่องมือ ตลอดจนอุปกรณ์ทางช่างกลต่างๆ ส่วนมากทำด้วยเหล็กทั้งสิ้น เหล็กกล้าเป็นโลหะที่ใช้งานมากกว่าโลหะอื่นๆ รวมกัน แม้ว่าเหล็กกล้าจะสามารถหล่อลงแบบให้มีรูปร่างต่างๆ ที่สลักซับซ้อนได้โดยตรงก็ตามแต่ส่วนมากจะหล่อเหล็กกล้าเป็นแท่ง (Ingot) ไว้ใช้สำหรับนำไปทำท่อเหล็กเส้น เหล็กแผ่น หรือรูปร่างอื่นต่อไป

เหล็กกล้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

2.6.1.1 เหล็กกล้าธรรมดา (Plain Carbon Steels)

2.6.1.2 เหล็กกล้าผสม (Alloy Steels)

เหล็กกล้าสามารถแบ่งแยกประเภทได้ตามจำนวนธาตุต่างๆ ที่ผสมอยู่ในคาร์บอนเป็นธาตุที่มีความสำคัญมากที่สุด เหล็กกล้าชนิด เหล็กกล้าธรรมดา จะมีเนื้อเหล็กและคาร์บอนเป็นธาตุเหล็ก เหล็กกล้าชนิดนี้จะแยกเป็นรหัส เช่น 10xx เลขสองตัวแรกหมายถึงเป็นเหล็กกล้าชนิดเหล็กกล้าธรรมดา เลขตัวที่ 3 และ 4 หมายถึง ส่วนผสมของคาร์บอนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 1/100 เช่น 1035 steel หมายถึง เหล็กกล้าธรรมดาซึ่งมีคาร์บอนผสมอยู่ 0.35 % นอกจากนี้อาจมีคุณสมบัติธาตุอื่นๆ อีกแต่มีปริมาณน้อยมากซึ่งไม่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเหล็ก

2.6.1.1 เหล็กกล้าธรรมดา เป็นเหล็กที่มีคาร์บอนเพียงอย่างเดียวเป็นส่วนผสมที่สำคัญ แต่โดยทั่วไปแล้วมีแมงกานีส ซิลิกอน ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสผสมอยู่เล็กน้อย เหล็กกล้าธรรมดา คือเหล็กที่อาจมีแมงกานีสผสมได้ไม่เกิน 1.55 % ซิลิกอน 0.6% ทองแดง 0.6 % นอกจากนั้นแล้ว อาจจะมีธาตุอื่นๆ ที่มีปนอยู่เล็กน้อย

เหล็กกล้าธรรมดาส่งออกได้ไปอีก 3 ประเภท อย่างกว้าง ๆ คือ

1) เหล็กที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนต่ำ (Low carbon steels) หมายถึง เหล็กมีส่วนผสมคาร์บอนต่ำกว่า 0.2%

ประโยชน์

เหล็กกล้าชนิดที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนต่ำ จำถูกนำไปใช้สำหรับทำเส้นลวด เหล็กหน้าต่างๆ เช่น เหล็กฉาก เหล็กตัวซี เหล็กตัวไอ เป็นต้น และใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องจักร เช่น สกรู นอต และสลักเกลียวต่างๆ

1 ประมวล ใจสะอาด, วัสดุช่าง (กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์อักษรบัณฑิตการพิมพ์, 2525), หน้า 89-93.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กกล้าชนิดที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนปานกลาง จะถูกนำไปใช้สำหรับทำราวเหล็กขวาน ทำเฟือง และชิ้นส่วนที่ต้องการความแข็งแรงสูง

เหล็กกล้าชนิดที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนสูง จะนำไปใช้ทำมีดต่าง ๆ เช่น มีด ครก สว่าน คอกทำเกลียวและงานที่ต้องการทนต่อการเสียดสี

2.6.1.2 เหล็กกล้าแบบผสม ซึ่งมีประมาณ 15 % ของเหล็กกล้าที่มีผลิตได้ทั้งหมดจะถูกนำไปใช้งานเฉพาะอย่างเพราะมีคุณสมบัติพิเศษ แตกต่างจากเหล็กกล้าแบบอื่นๆ ถึงแม้ว่าเหล็กกล้าผสมจะมีคุณสมบัติไม่ครบถ้วนเหมือนกันแต่ก็พอจะสรุปคุณสมบัติต่าง ๆ ได้ดังนี้ คือ

- 1) นำไปปรับปรุงความเหนียวได้โดยไม่ทำให้ค่าความแข็งแรงลดลง
- 2) สามารถนำไปทำให้แข็งโดยการจุ่มน้ำมัน หรืออากาศ แทนการจุ่มน้ำได้ ทำให้มีโอกาสดอกหรือบิดงอมีน้อย
- 3) สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ ณ อุณหภูมิสูงๆ ได้
- 4) สึกหรือถูกกัดกร่อนได้น้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนผสม
- 5) มีคุณสมบัติทางโลหะวิทยาที่ดี เช่น มีเม็ดเกรนละเอียด

เหล็กกล้าผสมสามารถแบ่งย่อยไปอีก 2 ประเภทดังนี้

Low alloys ส่วนผสมต่างๆ รวมกันน้อยกว่า 8.0 %

High alloys ส่วนผสมต่างๆ รวมกันมากกว่า 8.0%

ประโยชน์

เหล็กกล้าผสมเป็นเหล็กที่มีธาตุอื่นๆ ผสมอยู่นอกจากคาร์บอนที่สำคัญมีโครเมียม นิกเกิล โมลิบดีนัม ทังสเตน วาเนเดียม แมงกานีส ฯลฯ สามารถแบ่งเป็น 6 ชนิดใหญ่ คือ

- ก) เหล็กกล้าที่มีผสมต่ำกว่าและทนแรงดึงสูง
- ข) เหล็กกล้าใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องจักร
- ค) เหล็กกล้าทำเครื่องมือ
- ง) เหล็กสแตนเลส
- จ) เหล็กใช้ทำอุปกรณ์ไฟฟ้า

การทำเส้นลวด เหล็กเส้น เหล็กแผ่น ท่อเหล็ก หรือเหล็กรูปต่างๆ ทำได้โดยการนำเอาแท่งเหล็กกล้าไปเผาให้ร้อนแล้วนำไปรีด นำไปอัดหรือนำไปดึงให้ได้รูปต่างๆ ตามที่ต้องการ แท่งเหล็กกล้านี้จะหล่อไว้เป็นแท่ง ในแบบ แบบที่หล่ออาจจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สี่เหลี่ยมจตุรัสหรือหน้าตัดรูปวงกลมก็ได้ น้ำหนักของเหล็กแท่งอาจจะมีตั้งแต่ 300 ปอนด์ถึง 25 ตัน

2.6.2 อลูมิเนียม ถ้าใช้ชนิดบริสุทธิ์เกิดการอ่อนตัวมาก ควรใช้ชนิดผสมกับธาตุอื่นๆ เพราะมีกำลังตึงมากมีน้ำหนัก 1/3 ของเหล็ก กำลังของอลูมิเนียมที่ผลิตใช้ทั่วไปมีแรงประลัยถึง 2,900 กก.ต่อชั่วโมง แรงปลอดภัยใช้ 1,050 กก./ชม. คุณสมบัติทางความยืดหยุ่นประมาณ 1/3 ของเหล็ก ถ้ามีขนาดเท่ากับอลูมิเนียมจะอ่อนตัวมากกว่าเหล็กถึง 3 เท่า ดังนั้นจึงต้องเลือกใช้หนาเล็กมากขึ้น พวกหน้าตัดบาง ๆ ต้องป้องกันการโก่งเคาะเฉพาะแห่ง LOCALBUCKING โดยเฉพาะตัวตั้ง WED อาจเสียหายได้ง่าย ควรให้หน้าตัดคดพวกมีปีกยื่น FAANG หรือมีหน้าตัดอ้วนลำหรือมีหน้าตัดเป็นรูปกลม หรือมีปลายยื่นเป็นตุ่มหรือปุ่มปม ก่อนจะมีการเสียหาย อลูมิเนียมมีการยึดตัวเพียงเล็กน้อย มีการแปรรูปพลาสติกน้อย ทนสนิมได้ดี การยึดตัวมากเป็น 2 เท่าของเหล็กต้องเตรียมป้องกันการยึดตัวเนื่องจากอุณหภูมิสร้างกว้างมากๆ มีอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักตายต่อน้ำหนักบรรทุกมากก็ใช้ได้ โครงพวกที่มีความมั่งคั่งตัวคืออยู่แล้วพวกต้องรับแรงบิด (TORSION) พวกพวกโครงท่อนสั้นๆ บรรทุกน้ำหนักน้อย พวกโครงสร้างเป็นตารางรับน้ำหนัก (GRID STRUCTURE) ใช้อลูมิเนียมได้ดี

2.6.2.1 โลหะผสมอลูมิเนียม

ถ้าเราผสมโลหะอื่น เช่น ทองแดง แมกนีเซียม ซิลิกอน แมงกานีส ลงไปในอลูมิเนียมจะได้โลหะผสมอลูมิเนียมที่มีความแข็งแรงสูง แต่เปลี่ยนรูปได้ง่ายและการเป็นสื่อไฟฟ้าที่ดีมีอันเป็นคุณสมบัติของอลูมิเนียมบริสุทธิ์จะเสื่อมไฟ โลหะผสมของอลูมิเนียมที่ใช้ในงานต่างๆ มากมาย โลหะผสมอลูมิเนียมบางชนิด เช่น ชนิดที่มีทองแดง ผสมอยู่ด้วยจะสามารถชุบให้แข็งได้ ในการนี้จะทำให้ชนิดนี้มีความคงทน เท่ากับเหล็กเหนียวอย่างดี

โลหะผสมอลูมิเนียมแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

- ก) โลหะผสมเหนียวใช้ทำวัสดุสำเร็จ โดยการรีด
- ข) โลหะผสมหล่อใช้ทำวัสดุสำเร็จ โดยการหล่อ

โลหะผสมอลูมิเนียมอย่างเหนียวใช้รีด หรือดึงเป็นแผ่น แถบ แท่งหล่ออลูมิเนียมตาม 1783-84 และ 1795-97 ขนาดของวัสดุสำเร็จรูปเหล่านี้ถูกจัดเข้ามาตรฐานตามด้วยโลหะผสมอลูมิเนียมหล่อจะถูกหล่อให้เป็นชิ้นส่วนต่างๆ โดยใช้แบบหล่อทราย แบบหล่อถาวรและแบบหล่ออัด ในการหล่อจะถูกหล่อให้เป็นชิ้นส่วนต่างๆ โดยใช้แบบหล่อทราย แบบหล่อถาวรและแบบหล่ออัด ในการหล่อแบบถาวร เราเทโลหะที่หลอมเหลวลงบนที่ทำด้วยเหล็กเหนียว ซึ่งถูกทำให้มีขนาดที่แน่นอนลักษณะภายนอกของโลหะผสมอลูมิเนียม คือ มีสีขาวเงิน เราอาจทราบชนิดของโลหะที่ใช้อลูมิเนียมได้โดยการตรวจสอบโดยใช้วิธีทำผิวด้วยน้ำยา (TEST BY SPOT METHOD)

ถ้าเราใช้น้ำยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Na OH) ทาผิวของโลหะผสม AL CU NG และทิ้งไว้ประมาณ 5 - 10 นาที จะเห็นส่วนที่ทาน้ำยาไว้เป็นสีดำ สำหรับอลูมิเนียมบริสุทธิ์ และโลหะผสม

อลูมิเนียม AI NG จะถูกกัดเป็นสีขาวรอยสีดำที่สีของโลหะผสม AL CU NG จะสามารถกลบให้หายได้ใช้กรดดินประสิว ในการทำงานกับชิ้นส่วนที่ทำด้วยโลหะผสมอลูมิเนียมจะต้องใช้ความระมัดระวัง เนื่องจากผิวของโลหะชนิดนี้ถูกขูดขีดเป็นรอยได้ง่าย ถึงแม้โลหะเหนียวผสมอลูมิเนียมจะต้องใช้ความระมัดระวังและความมีความคงทนสูงแต่ก็สามารถเผาให้อ่อนตัวและใช้งานตัด เาะ ปาดและมีดได้ ในการตัดจะต้องรองปากกาด้วยชิ้นอลูมิเนียม ชัดตรงรอยที่ตัดดินสออย่าให้เล็ก ขีด เพราะจะทำให้เป็นรอยลึกเวลาตัดจะทำให้เป็นรอยลึกเวลาตัดจะทำให้โลหะลึก

แผ่นโลหะผสมอลูมิเนียมที่ใช้ในงานตัดหรือหักทบ ควรจะมีความหนาเท่ากับรัศมีของส่วนโค้งที่ตัด ทั้งนี้เพื่อป้องกันการบิดงอในการตัดเขาใช้ฉนวนที่ทำด้วยไม้ยาง หรือโลหะเบา ท่อโลหะจะถูกเผาให้อ่อนแดงก่อนการตัด หรือตัดกับแบบที่ทำไว้ แผ่นโลหะขึ้นรูปจะถูกเผาให้อ่อนแดงก่อนการตัด และจะถูกบรรจุด้วยทรายหรือโครโอฟเนียม จนเต็มและใช้ตัดกับไม้สำหรับตัด หรือตัดกับแบบที่ทำไว้ แผ่นโลหะขึ้นรูปจะถูกเคาะแต่งด้วยฉนวนสำหรับเคาะแต่งโดยใช้เหล็กที่ขัดเรียบรองในการตีแผ่นโลหะเป็นรูปต่างๆ เขาใช้ไม้หรือที่เป็นรูปกลม และใช้รองกับแท่งสำหรับตี ดึงทรายหรือที่เป็นรูปกลม และใช้รองกับแท่งสำหรับตี ดึงทราย หรือแบบไม้

ในการตะไบชิ้นโลหะผสมอลูมิเนียม เราใช้ ตะไบชนิดเดียวกันกับที่ใช้เหล็ก ในการตะไบชิ้นต้นเขามักจะใช้ตะไบสำหรับโลหะเบา ตอนสว่านสำหรับโลหะเบาที่มีมุมเกลียว 40-45 (สำหรับเหล็ก 28 องศา) ปลายสว่านจะถูกฝนให้มุม 140 องศา ในการเจาะสามารถใช้ความเร็วในการเจาะได้สูงกว่าเหล็ก

โดยการฉาบผิวด้วยไฟฟ้า โดยการอัดผิวโลหะอื่นๆ จะทำให้โลหะผสมอลูมิเนียมชนิดต่างๆ มีความคงทนต่อการผุกร่อนดีขึ้น การฉาบผิวด้วยไฟฟ้าตามขบวนการ ELOMA (ELEKTRISHE OXYDIETES ALUMINIUM) คือการใช้ไฟฟ้าทำให้เกิดชั้นออกไซด์ขึ้นที่ผิวของโลหะซึ่งทำให้หนากว่า ออกไซด์ที่เกิดขึ้นเอง วัณออกไซด์นี้จะแข็งและคงทนต่อดินฟ้าอากาศได้ดี การอัดด้วยโลหะผสมชนิดที่ไม่มีทองแดงเจือปนอยู่ อัดกริลลงไปในโลหะผสมอลูมิเนียมในสภาพที่ร้อน

2.6.2.2 คุณสมบัติของอลูมิเนียม

ลักษณะภายนอกของอลูมิเนียม คือสีขาวเงิน น้ำหนักเบา ความหนาแน่น 27 กก./มม. (หนักกว่าประมาณ 2 เท่า) ตรงผิวของอลูมิเนียมอย่างรวดเร็ว กรดอินทรีย์ เช่น กรมะนาว กรดน้ำส้ม ไม่มีปฏิกิริยาต่ออลูมิเนียม ดังนั้นอลูมิเนียมจึงใช้ได้ดีในการทำภาชนะสำหรับหุงต้ม

ในการประกอบชิ้นส่วนที่ทำด้วยอลูมิเนียม หรือโลหะอลูมิเนียม หรือโลหะผสมอลูมิเนียมกับโลหะ เช่น ทองแดง หรือ เหล็ก มักทำให้อลูมิเนียมเสียตรงต่อ เมื่อเวลาเกิดความชื้น จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านซึ่งทำให้โลหะอลูมิเนียมผุกร่อนวิธีป้องกันโดยบุตรรองรอยต่อนั้น ด้วยฉนวนเสียก่อนอลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีความคงทนต่อแรงดึงต่ำ ประมาณ 7-18 กก./มม. เท่านั้น โดยง่ายเรา

สามารถเจาะหรือกลึงชิ้นส่วนที่ทำด้วยอลูมิเนียมได้ง่าย และรวดเร็วกว่าเหล็ก เพราะเครื่องกลึงกลึงเครื่องเจาะสามารถทำงานได้ด้วยอัตราเร็วสูง

อลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีความคงทน และแข็งแรงน้อยจึงไม่ค่อยมีใช้ในรูปของวัสดุโครงสร้าง คุณสมบัติของอลูมิเนียมจะดีมากเมื่อผสมโลหะลงไป

อลูมิเนียมเป็นโลหะที่อ่อน พื้นผิวจึงไม่ต้องการกระทบกระแทก วัสดุที่สำเร็จที่ทำจากอลูมิเนียม เช่น แผ่นอลูมิเนียม ท่ออลูมิเนียม ท่ออลูมิเนียมขึ้นรูป จึงต้องมีการป้องกันการขีด และกันการกระทบกระแทก เวลาในการจัดวางแผ่นอลูมิเนียมในโกดังเก็บควรระวังวางตั้งให้เอียงเปนนมุมประมาณ 75 องศา เวลาดึงออกมาใช้จะได้มีแต่ขอบเท่านั้นที่จะเสียดสีกัน ถ้าเราตั้งเป็นมุมฉากกับพื้น เวลาดึงออกมาแผ่นโลหะก็จะเสียดสีทั้งแผ่น อาจจะเป็นรอยได้ ท่ออลูมิเนียมและแท่งอลูมิเนียมก็เหมือนกันควรวางไว้ให้ตั้งกับพื้น

โลหะอลูมิเนียมสามารถตีอัด เกลาะดิ่ง และตีอัดพิมพ์ได้ และอัดขึ้นให้เป็นรูปต่าง ๆ ได้ในสภาพที่เย็น จากการทำชิ้นส่วนในสภาพที่เย็น จะทำให้อลูมิเนียมแข็งขึ้นโดยการเผาให้ร้อน และเย็นโดยรวดเร็วในอุณหภูมิประมาณ 350 - 500 องศา จะทำให้อลูมิเนียมอ่อนเหมือนเดิม และสามารถดึงหรือดัดใดต่อไป ในการทำชิ้นส่วนที่ปิดหุ้ม และมีแง่มุมต่างๆ จะต้องเผาลให้อ่อนตัวหลายๆ ครั้งสำหรับโลหะอลูมิเนียมทำได้บ่อยครั้ง โดยไม่จำกัดในการดัดให้ตรงเราวางอลูมิเนียมไว้บนไม้ หรือแผ่นเหล็กที่ผิวเรียบมีขอบที่ถูกต้องแล้ว อลูมิเนียมเป็นโลหะที่สามารถใช้ในงานเชื่อมได้บัดกรีแข็งแรงและติดกาวที่ทำขึ้นจากวัสดุสังเคราะห์

2.6.2.3 คุณสมบัติบางอย่างของอลูมิเนียม

หมายเลขอะตอม	13
น้ำหนักอะตอม	26.97
วาเลนซ์	3
โครงสร้างของผลึก	
มิติของแลตทิซ	4.413.0101
ความถ่วงจำเพาะ (ที่ 20 องศา ซ.)	2.6080
ความถ่วงจำเพาะ (ที่ 25 องศา ซ.)	2.6979
ความถ่วงจำเพาะที่จุดแข็งตัว	2.882
ความถ่วงจำเพาะที่จุดหลอมเหลว	2.85
ความถ่วงจำเพาะที่ 700 องศา ซ.	2.371
จุดหลอมเหลว ซ.	600.3
จุดเดือด ซ.	2057

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความตึงผิวไคน์ที่ 700 องศา ซ.	52%
ความหนืด (เทียบเมื่อตีบวกเท่ากับ 100% ที่ 300 % ซ.) ที่ 700 องศา	70%
ความหนืด (เทียบเมื่อตีบวกเท่ากับ 10% ที่ 300% ซ.) ที่ 900 องศา	100%
การหคขณะแข็งตัว	6.6%
ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว แคลลอรี/กรัม	93.96
ความร้อนแฝงของการเป็นไอน้ำ แคลลอรี/กรัม	2260

2.6.2.4 ลักษณะทางกายภาพของอูมิเนียม

ทนแรงดึง	15,500 - 70,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว
ทนแรงอัด	11,200 - 58,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว
ความยืดหยุ่น	68,900 ปอนด์/ตารางนิ้ว
ความแข็ง	25,500 ปอนด์/ตารางนิ้ว
จุดหลอมตัว	660
ทนต่อแรงกระทบ	ไม่ดี
ทนต่อการด	ดีมาก
ความหนาแน่น	2.7 ก.ก./ค.ม. ²
ความร้อนจำเพาะที่ 10 องศา ซ. แคลลอรี/กรัม	0.226
ความร้อนจำเพาะที่จุดหลอมเหลว	0.2727
ความร้อนจำเพาะที่จุดแข็งตัว	0.0502
การนำความร้อนที่ 0 องศา ซ. แคล/ซม./ ซม./ซ. วินาที	0.520
การนำความร้อนที่ 100 องศา ซ. แคล/ซม./ ซม./ซ. วินาที	0.525
การต้านทานไฟฟ้าที่ 20 องศา ซ. ไมโครโอห์ม/ซม. ³	2.6548
ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ โอห์ม/กรัม	0.072
การขยายตัวที่ 20-100 องศา ซ. (ต่อ ซ.)	0.0002386
20-200 องศา ซ. (ต่อ ซ.)	0.00002458
20-400 องศา ซ. (ต่อ ซ.)	0.00002640
20-500 องศา ซ. (ต่อ ซ.)	0.00002768
ความต้านทานไฟฟ้าที่จุดหลอมเหลว	27
ความต้านทานไฟฟ้าที่ 1000 องศา ซ.	37.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบูรณไฟฟ้าเคมี มิลลิกรัม/คูลอมป์	0.09316
ความแตกต่างศักย์ในสารละลายโวลท์	-1.69
ฮอลล์เอฟเฟ็ค	-0.00038
ความเป็นแม่เหล็ก	0.5810-6
ส.ป.ส. ความต้านทานเมื่อเทียบกับเหล็ก	0.74 ต่อ 1
การสะท้อนแสง %	
แสงจากหลอดทั้งสะเตน	99
แสง 2500 องศา	85.87
แสง 1000 องศา	95

2.6.3 สแตนเลส (Stainless Steel)

เหล็กสแตนเลส เป็นโลหะเปลือยประเภท Ferrous Metal ซึ่งมีส่วนผสมประกอบด้วยเหล็ก โครเมียม นิกเกิล และธาตุอื่นๆ อีกเล็กน้อย เหล็กสแตนเลส มีหลายชนิดสามารถที่จะเลือกใช้ได้ให้เหมาะสมกับความต้องการ โดยปกติของผิวของเหล็กสแตนเลสจะมีคล้ายเงิน และมีลักษณะเป็นมัน

เหล็กสแตนเลสนิยมใช้ทำเครื่องมือวิทยาศาสตร์ ภาชนะใส่อาหารหรืองานเกี่ยวกับสถาปัตยกรรมอย่างละเอียด ที่ต้องการความสวยงาม ใช้ได้ดีทั้งภายนอกและภายในอาคาร โดยไม่ต้องการทาสี หรือเคลือบผิว เพื่อป้องกันการกัดกร่อนด้วยวัสดุอื่นใดทั้งสิ้น คุณสมบัติทางกายภาพของเหล็กสแตนเลสก็เหมือนโลหะชนิดอื่นๆ ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของธาตุต่างๆ ที่ผสมลงไปขณะที่ยังหลอมละลายอยู่ ซึ่งต้องระมัดระวังการควบคุมอุณหภูมิ และบรรยากาศของก๊าซต่าง ๆ ด้วยธาตุต่างๆ ที่ผสมเข้าเป็นเหล็กสแตนเลสได้แก่

- 1) นิกเกิล จะเพิ่มความแข็งแรง ความเหนียว ป้องกันการกัดกร่อนเพิ่มความยืดตัวในขณะตัดโค้งไม่ให้สึกหรอหรือแตกร้าวได้ง่าย
- 2) โครเมียม จะเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน ความแข็งแรง และสามารถทนต่อแรงดึงได้สูง
- 3) วานาเดียม จะเพิ่มความเหนียวให้กับเหล็กสแตนเลส
- 4) โมลิบดีนัม และ โอลิัมเบียม จะต้านทานการกัดกร่อน
- 5) คิตาเนียม และแมกนีเซียม จะทำให้เหล็กสแตนเลสมีน้ำหนักเบาเหล็กสแตนเลสมีอยู่หลายชนิด ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของธาตุต่างๆ ที่กล่าวมาแล้ว โดยทั่วไป จะมีส่วนผสมหลัก คือ เหล็ก (Fe) นิกเกิล (NI) และโครเมียม (CT)

2.6.8.1 เหล็กสแตนเลส แบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 3 ประเภท ตามชนิดของโครงสร้าง ซึ่งได้แก่

1) Austenitic Stainless Steel จะประกอบไปด้วยส่วนผสมของธาตุโครเมียม 18% และธาตุอื่นๆ ผสมอีกประมาณ 2-4%

2) Martenitic Stainless Steel จะประกอบไปด้วยส่วนผสมของธาตุโครเมียมอยู่ระหว่าง 17-27% และมีส่วนผสมของธาตุคาร์บอนอีกไม่เกิน เหล็กสแตนเลสประเภทนี้จะมีคุณสมบัติ อ่อนและเหนียวมาก

3) เหล็กสแตนเลส Martensitic & Ferritic จะจัดอยู่ในหมู่ 400และมีคุณสมบัติความ เป็นแม่เหล็กสูงมาก เหล็กสแตนเลสเป็นโลหะที่มีราคาแพง แต่อายุการใช้งานยาวนานมาก ทนต่อ การกัดกร่อนได้ดี และเสียบำรุงรักษาอีกด้วย เมื่อเทียบกับโลหะอื่นๆ ดังนั้นในการทำงาน ควรเลือกเหล็กสแตนเลสให้เหมาะสมกับการทำงาน

2.6.8.2 ข้อพิจารณาเบื้องต้น เหล็กสแตนเลสเช่นเดียวกับวัสดุอื่นที่ใช้ในการผลิตด้านการ ใช้เหล็กสแตนเลสเป็นวัตถุดิบในการผลิตนั้น จะผันแปรไปตามแบบที่ออกมาด้านทุนในการ ผลิตจะมีราคาสูงสำหรับงานประณีต พิถีพิถันหรือมีลักษณะง่าย ๆ หรือมีการออกแบบเป็น มาตรฐาน ดังนั้นโครงสร้างของการออกแบบสิ่งที่ทำการผลิตเหล็กสแตนเลสจึงมีราคาต้นทุนที่ ก่อนข้างสูง คำแนะนำต่อไปนี้จะอำนวยให้ผู้ออกแบบสามารถทำการออกแบบผลิตภัณฑ์ซึ่งทำด้วย เหล็กสแตนเลสได้อย่างประหยัดโดย

1) การออกแบบชิ้นส่วนตอนที่มีลักษณะเป็นช่วง ควรออกแบบให้มีลักษณะสามารถ ทำการผลิตได้โดยการใช้เทคนิคง่าย ๆ เช่นเดียวกับการผลิตงานโลหะ ธรรมดางานที่มีลักษณะโค้ง หรือแนวตรงย่อมทำงานขึ้นรูปได้โดยง่าย ควรหลีกเลี่ยงการออกแบบงานที่มีลักษณะโค้งไปมาใน ระยะสั้นๆ หรือ Gogs ซึ่งทำให้เกิดการผลิตทำได้ยาก

2) การใช้วัสดุให้มีขนาดประหยัด เนื่องจากการวิจัยจากตัวอย่างของแผ่นเหล็ก สแตนเลสได้พบว่า มีความต้านทานต่อแรงดึงได้มากกว่าแผ่นอลูมิเนียม ถึง 3 เท่า ข้อดีจาก คุณสมบัตินี้ในการใช้ลดขนาดของวัสดุลงได้

3) ความหนาของโลหะอาจลดลงได้ โดยการออกแบบรูปร่าง หรือลักษณะของชิ้น ส่วนต่างๆ หรือโดยการใช้ลักษณะของโครงสร้างวัสดุให้เป็นประโยชน์หรือได้จากการใช้แผ่น โลหะที่ผลิตด้วยกรรมวิธีอัดในแบบบริเวณที่มีหน้ากว้าง

4) ควรออกแบบให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้

5) ในกรณีใดที่สามารถทำได้ ควรออกแบบให้ชิ้นงานนั้นสามารถใช้กับชิ้นส่วน หรือ วัสดุที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดแล้ว เพราะการใช้ชิ้นส่วนที่ต้องการทำนั้นย่อมมีราคาแพงกว่า ธรรมดา

เหล็กสแตนเลสสามารถทำการเชื่อมได้ และมีคุณสมบัติไม่เหมือนวัสดุอื่น ๆ หลายชนิดที่ บริเวณขั้นตอนของงาน เหล็กสแตนเลสสามารถทำการผสมได้ให้เกิดความกลมเกลื่อนในรูปร่างให้ เข้ากันได้ เมื่อทำการขัดหรือดบแต่งให้ดี การใช้วิธีเชื่อม แบบเชื่อมแก๊ส จะทำให้เกิดตำหนิขึ้นเพียง เล็กน้อย และถ้าหากทำการตกแต่งจะช่วยลบร่องการเชื่อม

2.6.4 ไฟเบอร์กลาส¹

ไฟเบอร์กลาสหรือพลาสติกเสริมกำลังด้วยใยแก้ว (GLASS FIBER REINFORCE PLASTIC) (FRP. GRP.) เป็นวัสดุใหม่ที่เกิดจากการปรับปรุงทางด้านการเสริมความแข็งแรงของพลาสติกให้ ใช้งานได้ทัดเทียมกับโลหะมีความแข็งแรงและเหนียวเสริมอยู่ในเนื้อเดียวกัน โดยนำใยแก้ว (GLASS FIBER) ซึ่งมีลักษณะอ่อนนุ่ม แต่เหนียวทั้งทนการผุกร่อนได้ดี ทนความร้อนสูง เป็น ฉนวนไฟฟ้า และทนสารเคมี มาเป็นตัวเสริมกำลัง ส่วนพลาสติกที่นำมาใช้เป็นเนื้อต้องเป็นชนิดที่ มีความแข็งแรงมาก ซึ่งถ้าไม่มีการเสริมกำลังจะเปราะดังนั้น จึงเลือกพลาสติกประเภทเทอร์โม เซตติงมาใช้งาน ได้แก่ พอลิเอสเตอร์ อีพอกซี โพลียูเรเทน เป็นต้น พลาสติกพวกนี้เป็น พลาสติกเหลวซึ่งภายหลังจากผสมกับตัวทำปฏิกิริยา (CATALYST) แล้วจะเกิดปฏิกิริยา เรียกว่า โพลีเมอร์ไรเซชัน มีความร้อนเกิดขึ้นสูงถึงเกือบ 200 ซ. แล้วจะเปลี่ยนสภาพเป็นพลาสติกแข็ง และไม่คืนรูปอีก

ไฟเบอร์กลาส สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ อย่างกว้างขวาง เช่น เรือ ถังบรรจุ ของเหลว ท่อไซโลเก็บเมล็ดพืช วัสดุคืบในอุตสาหกรรมและอาหารสัตว์ แผ่นหลังคาแผงกันแดด และแผงประดับในอาคารทันสมัย เฟอร์นิเจอร์ตุ๊กตาเด็กเล่น ในสวนสนุกๆ ไฟเบอร์กลาสมี ประโยชน์ต่อกิจการอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท ทั้งนี้เพราะมีความแข็งแรงสูงราคาค่อนข้างต่ำ เมื่อ เทียบกับชิ้นส่วนหรือโครงสร้างที่เป็นหลักและที่สำคัญคือ เทคนิคในการทำไม่ยุ่งยากมากลงทุนใน เรื่องเครื่องมือ และอุปกรณ์ต่ำ เหมาะสำหรับการจัดทำเป็นอุตสาหกรรมในครอบครัวแล้วจึงขยาย เป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กหรือขนาดกลางต่อไป วัสดุที่ประกอบกันเป็นไฟเบอร์กลาส ได้แก่

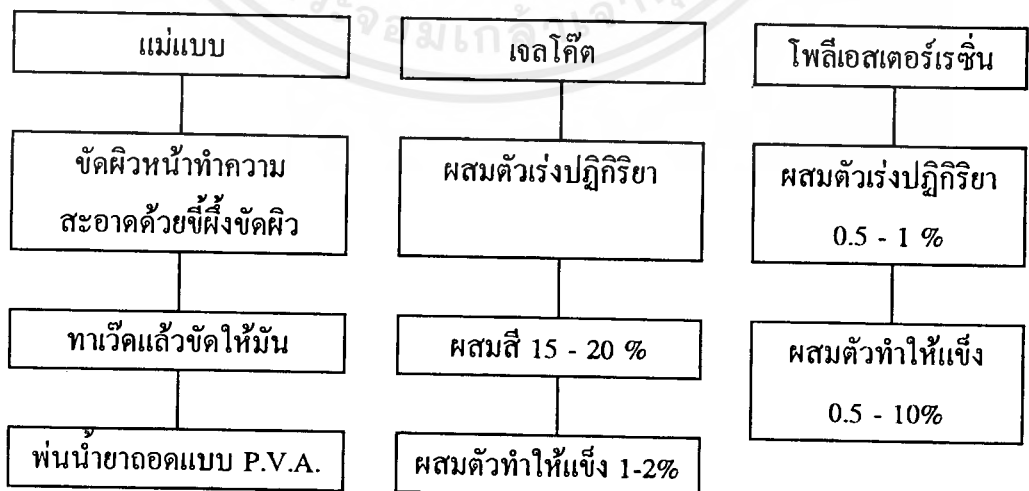
- 1) โพลีเอสเตอร์เรซิน (POLYESTER RESIN) เป็นพลาสติกเหลวใช้ทำเป็นเนื้อ ผลิตภัณฑ์ มีหลายชนิดแล้วแต่การใช้งาน

1 พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์, ไฟเบอร์กลาส (กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มิตรนราการพิมพ์, 2526), หน้า 1-4.

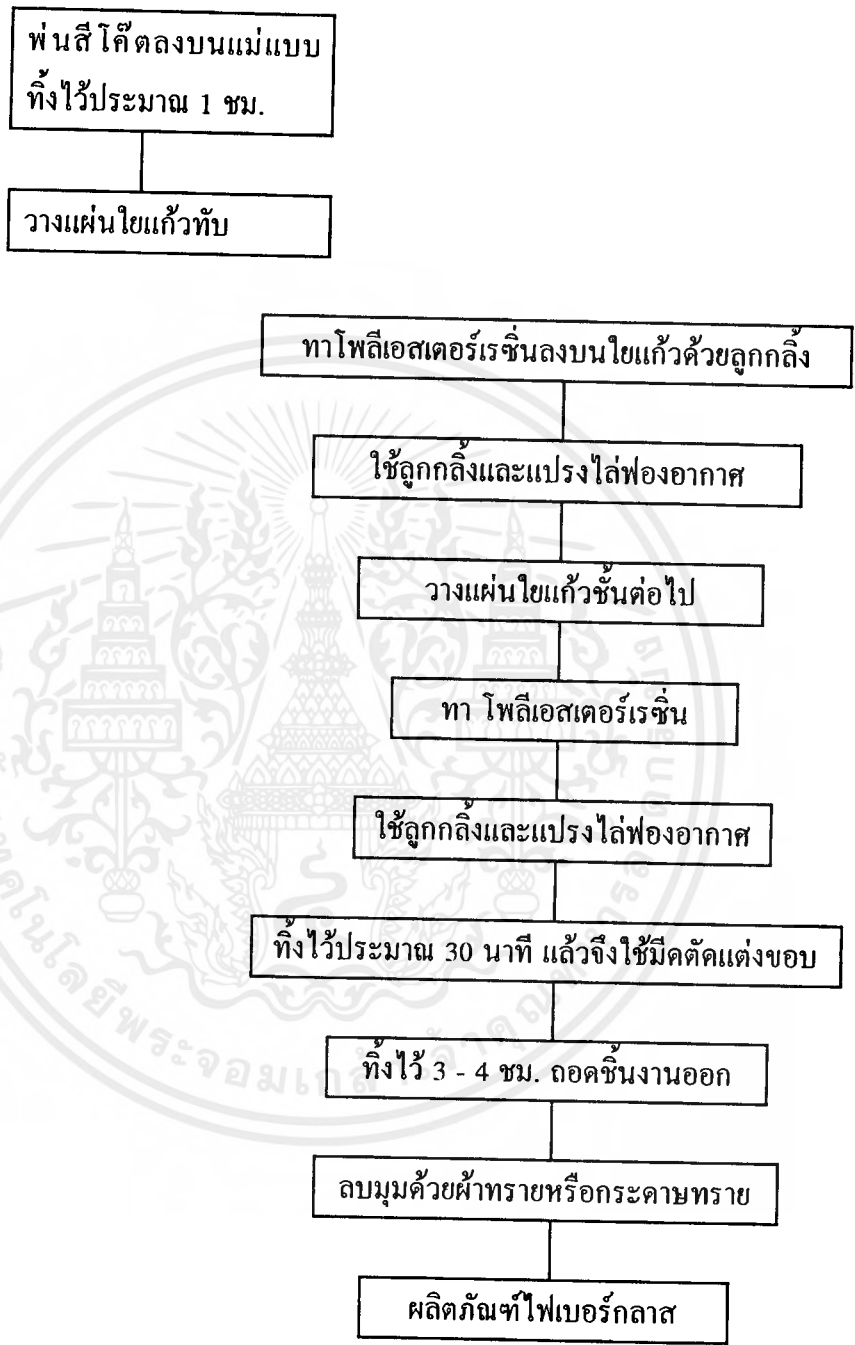
- 2) โมโนสไตรีน (MONOSTYRENE) เป็นตัว MONOMER ใช้ผสมลงในโพลีเอสเตอร์เรซิน และเจลโค้ต เพื่อให้เหมาะสมเหลวมากขึ้นสะดวกต่อการทำงาน เช่น ฟันหรือทา อัตราส่วนผสม ประมาณ 10 - 12 %
- 3) ตัวทำปฏิกิริยา (CATALYST หรือ HARDNESS) สำหรับทำให้เกิดปฏิกิริยากับพลาสติกแข็งเหลวให้แข็งตัว ที่นิยมใช้ คือ MATHYL ETHYL KETONE PEROXIDE CYDONOX หรือ CYDONEXANINE เป็นตัวทำปฏิกิริยาเป็นของเหลวใสไม่มีกลิ่นคล้ายน้ำส้มสายชู
- 4) ตัวเร่งปฏิกิริยา (ACCELERATOR - PROMOTOR) ช่วยในการเร่งการเกิดปฏิกิริยาให้เร็วขึ้น ที่นิยมใช้คือ โคบอลท์ (COBALT - NAPHTHENATE) เป็นของเหลวใสสีม่วงปริมาณที่ใช้ 4-6%
- 5) ใยแก้ว (GLASS FIBER) เป็นตัวเพิ่มความแข็งแรงให้กับโพลีเอสเตอร์เรซินในทางรับแรง หลายชนิด เช่น เส้นยาว (ROVING) เส้นสั้น (CHOPPED STAND) แบบรีดเป็นผืน (MAT) แบบถักเป็นผืน (FABRIC)
- 6) เจลโค้ต (GEL COAT) เป็นโพลีเอสเตอร์เรซินที่ผสมพิเศษมีความข้น และเหนียวกว่าเรซินธรรมดา สำหรับเคลือบเป็นผิวหน้าชิ้นงานให้เกิดความเรียบ
- 7) แม่สี (PIGMENT) เป็นสีที่ผสมลงในเจลโค้ตหรือเรซินให้ชิ้นงานสวยงาม

ตารางที่ 2

ขั้นตอนการผลิตถังไฟเบอร์กลาส



ตารางที่ 2 (ต่อ)



2.6.5 ยาง

ยางเป็นวัสดุอีกอันสำคัญซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะตัวคือ ยืดหยุ่นได้ (Elastic) ตัวอย่างที่เห็นได้ชัด เช่น ยางรัดของเมื่อดึงก็สามารถยืดออกได้ และเมื่อปล่อยกลับก็สามารถคืนในสภาพเดิมได้เป็นต้น คุณสมบัติดังกล่าวนี้ยางสามารถดัดงอเป็นรูปต่าง ๆ ได้ง่าย รองรับความสั่นสะเทือนได้อย่างดี ใช้ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สั้นรองเท้า ยางรถยนต์ ยางขอบกระจกรยนต์ ลูกโป่ง ยางรัดของและอื่น ๆ คุณสมบัติอีกประการหนึ่งคือยางสามารถทำให้แน่น ป้องกันอากาศเข้าได้ดี กันน้ำซึมได้ จึงเหมาะสมสำหรับทำผลิตภัณฑ์ลูกบอล ลูกโป่ง หรือหมอนลม กระเป๋าน้ำร้อน ของเล่น นอกจากนี้ใช้เป็นยางลบรอยดินสอได้

ยางมีแหล่งกำเนิด 2 แหล่ง คือ

2.6.5.1 ยางธรรมชาติที่ได้จากน้ำยางจากต้นยางพารา

2.6.5.2 ยางเทียมหรือยางสังเคราะห์ที่ทำขึ้นจากสารเคมี และจัดเป็นพลาสติกที่มนุษย์ได้คิดค้นสร้างขึ้นใน สมัยสงครามโลกครั้งที่สอง สืบเนื่องจากปริมาณยางธรรมชาติขาดไปจากตลาดโลก เพราะอยู่ในเขตยึดครองของญี่ปุ่น ทั้งสหรัฐอเมริกาและเยอรมันไม่สามารถขนยางพาราไปจากเอเชียอาคเนย์ได้ทันทำให้นักวิทยาศาสตร์ทั้ง 2 ประเทศ ได้พยายามทางคิดค้นสร้างโมเลกุลใกล้เคียงกับยางธรรมชาติมากที่สุด ผลของการค้นคว้าทดลองได้ผลเป็นที่น่าพอใจ คือ สามารถค้นพบวิธีทำยางเทียมได้หลายชนิด ซึ่งจะกล่าวในตอนต่อไป

ยางเทียมนี้มีโมเลกุลที่จับกันเป็นสายยาวแบบเดียวกับพลาสติก ดังนั้นเราจึงเรียกกว่าเป็นพลาสติกชนิดหนึ่ง และด้วยเหตุผลที่ว่าโมเลกุลของยางเทียมไม่ต่อกันเป็นโซ่ตรง แต่ลักษณะบิดเบี้ยวหรือพับไปมา เป็นเหตุทำให้ยางมีลักษณะเป็นสปริงจึงทำให้ยางเทียมยืดหยุ่นได้

ยางที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบันนี้ไม่ได้มาจากยางธรรมชาติอย่างเดียวแต่ได้มาจากอุตสาหกรรมเคมีมาผลิตเป็นยางเทียมชนิดพิเศษ ซึ่งมีคุณสมบัติยืดหยุ่นได้แต่ไม่ดีเท่ายางธรรมชาติ ส่วนคุณสมบัติด้านอื่นดีกว่า เช่น ยางธรรมชาติใช้กับน้ำแรมไม่มีความคงทนเพราะยางธรรมชาติจะบวมและเปื่อยได้ง่าย ส่วนยางเทียมทนต่อน้ำมันแรม และสารละลายต่าง ๆ ได้ดี จึงทำสายท่อน้ำมันเบนซิน ยางรถยนต์ก็เช่นเดียวกับเนื้อยางที่ใช้ทำยางรถยนต์ทุกวันนี้เป็นยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเทียมที่ต้องผสมให้ยางธรรมชาติมากขึ้นกว่าปกติ เพราะต้องการความยืดหยุ่นเพื่อลดการสึกหรอ

ยางสังเคราะห์ที่ใช้กันมากทำมาจากสารเคมี 2 ชนิดคือ สไตรีนและบิวตะไค อันมีด้วยกันหลายชนิด เช่น

1) GR-S (Government Rubber-Styrene) ทำมาจากน้ำมันปิโตรเลียมยางประเภทนี้คล้ายคลึงกับลาเท็กซ์ที่ได้จากธรรมชาติ และจะต้องเข้ากระบวนการวัลเคไนเซชัน (Vulcanization) แบบเดียวกับยางธรรมชาติใช้ทำยางรถยนต์ ซึ่งทนต่อการสึกกร่อนได้ดี หรือบางทีเรียกว่า SBR (Styrene Butadiene Rubber) ใช้ทำสายยาง สั้นรองเท้า และรองเท้าน้ำอีกด้วย

2) GR-N (Government Rubber- Acrylonitrile) หรือ Buna N. Rubber หรือ Nitrile Rubber เป็นโคโพลิเมอร์ของ Acrylonitrile และ Butadiene ยางชนิดนี้ทนต่อน้ำมันแรมและสารเคมี

ต่างๆ ได้ดีมาก ใช้ทำยางรถ สันรองเท้า รองเท้าบูท ใช้ทำถังน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องบินชนิดอุทรรูกลึงได้เอง และงานอย่างอื่นที่ต้องการความคงทนต่อน้ำมัน

3) Butyl Rubber or GRT - Rubber เป็นโคโพลิเมอร์ของ Butadiene และ Isobutylene หรือโพลิเมอร์ของ Isobutylene มีเนื้อแน่น อากาศซึมผ่านได้ยาก ดีกว่ายางธรรมชาติ 10 เท่า ใช้ทำยางรถยนต์และยางเครื่องบินขนส่งสมัยใหม่

4) Silicone Rubber เป็นยางสังเคราะห์ซึ่งมีลักษณะพิเศษในข้อที่ยังคงความยืดหยุ่นได้ดี แม้อุณหภูมิจะต่ำหรือสูงใช้ทำซีลยาง อุปกรณ์ต่างๆ ทำแบบพิมพ์ฉนวนของตลาดและสายเคเบิล

5) ABS Rubber เป็นโคโพลิเมอร์ของ Acrylonitrile 30% 20% และ 50% มีคุณสมบัติแข็งแรงทนทานและทนต่อสารเคมีได้ดี ใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ เช่น อุปกรณ์ในรถยนต์ ถาด ด้วย เครื่องรับโทรศัพท์ หมวกกันน็อก มือจับ กระเป๋า เป็นต้น

6) Heoprene or GRM-Rubber ได้มาจาก Polymerization ของ Chloroprene คลอโรพรีน เตรียมจะอะเซทีลีน กับกรดเกลือ มีคุณสมบัติทนต่อการสึกหรอได้ดีมากทนต่อสารละลายอินทรีย์ทั้งปวง ใช้ทำยางสำหรับท่อน้ำทิ้ง ถุงมือยาง ทำพื้นรองเท้า ลูกกลิ้งสี เป็นต้น

7) Polyurethane Rubber เป็นเอสเทอร์ของเอทิลีน และโพรพิลีน ไกลคอลแอลกอฮอล์ ในระหว่างกระบวนการโพลิเมอร์ไรเซชัน จะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ทำให้ยางที่ได้มีลักษณะเหมือนฟองน้ำ ใช้ทำหมอนและที่นอน ยางโฟมและฉนวนต่าง ๆ อีกด้วย

8) Thilkol เป็นยางสังเคราะห์ที่ใช้กันแพร่หลายมีคุณสมบัติทนต่อสารเคมีน้ำมันและน้ำมันเบนซิน ทำยางรถไม่ดีเท่ายางธรรมชาติ ใช้ทำสายยางสำหรับรถบรรทุกน้ำมันและเรือขนน้ำมัน พื้นรองเท้า และผ้าที่เป็นฉนวน เป็นต้น

ประโยชน์ของยางที่นำไปใช้ในงานผลิตภัณฑ์

1. ยางล้อดอก
2. ยางนอก ยางในรถยนต์
3. ยางนอกยางในรถจักรยานยนต์ และรถจักรยาน
4. ยางขอบกระถางรถยนต์
5. แผ่นยางรองพื้นพรม
6. สายพายยาง
7. ถุงยางอนามัย
8. เครื่องมือแพทย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ท่อยาง

10. อุปกรณ์กีฬา

2.7 ข้อมูลอุปกรณ์และกรรมวิธีการประกอบชิ้นงาน

2.7.1 ตะปูควางและน็อต¹

ขนาดของตะปูไม้ที่ผลิตออกจำหน่ายในประเทศไทยมีตั้งแต่ความยาวขนาด 1/2 ถึง 3 นิ้ว บรรจุในกล่องกระดาษ กล่องละ 144 ตัวเท่ากันทุกขนาด

ภาพที่ 81
ลักษณะของตัวตะปูควางต่างๆ



ภาพที่ 82
ลักษณะของตะปูที่ใช้กับโลหะ



1 เกษมชัย บุญเพ็ญ, พื้นฐานโลหะแผ่น (กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ประกอบเมโทร, 2533) หน้า 146-

ตะปูควงที่ใช้งานโลหะนั้นเกลียวของตะปูจะละเอียดกว่าตะปูที่ใช้กับไม้ ตะปูควงที่ใช้กับโลหะแผ่นบางอาจมีลักษณะคล้ายตะปูควงไม้ เช่น แบบตะปูควงปลายแหลม (sheet metal gimlet point) ใช้สำหรับโลหะแผ่นเบอร์ 28 ถึง เบอร์ 6 เช่น พวกอะลูมิเนียม หรือแผ่นพลาสติก ตะปูควงที่ใช้กับงานโลหะบางชนิด เช่น ใช้ในส่วนที่ฝังเข้าไปในเครื่องจักร ตะปูขนาดนี้จะไม่มีหัวแต่มีเพียงร่องที่ผ่าเพื่อใช้ในไขควงเข้าไปเท่านั้น ตะปูชนิดนี้เรียกว่า ตะปูปรับแต่ง (set screw) เช่นที่ใช้กับเครื่องยนต์บางส่วน ตัวอย่างเช่น ตัวที่ปรับแต่งคาร์บูเรเตอร์รถยนต์

ภาพที่ 83

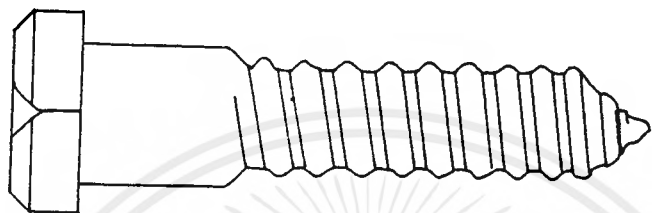
ตะปูควงสำหรับปรับแต่งเครื่องยนต์



2.7.1.1 นอตเกลียวปล่อย

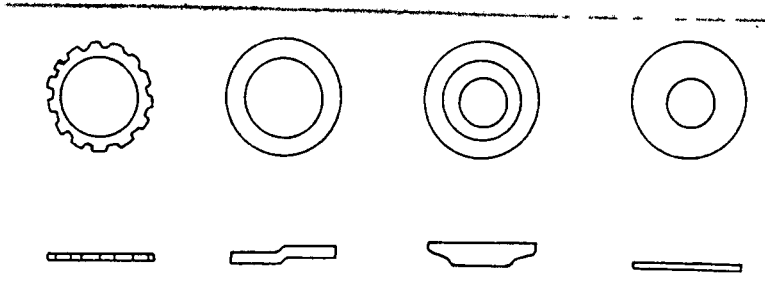
นอตเกลียวปล่อย (lag bolts) ลักษณะคล้ายตะปูควง แต่ขนาดใหญ่กว่าและหัวเป็นหกเหลี่ยมไม่มีผ่า หัวหกเหลี่ยมสำหรับใช้ถูกเกลื่อนหรือถูกปากดาบไขไปในเนื้อไม้ นอตเกลียวปล่อยใช้ในกรณีที่ต้องการความยึดเหนี่ยวสูงกว่าที่จะใช้ตะปูควง และบางครั้งในไม้เนื้อแข็ง ถ้าใช้ตะปูควงขนาดใหญ่จะไขด้วยไขควงเขาไปโดยยาก หากใช้นอตเกลียวปล่อยและขันด้วยถูกปากดาบจะง่ายกว่า

ภาพที่ 84
ลักษณะของนอตเกลียวปล่อย



การใช้นอตเกลียวปล่อยบางครั้ง ต้องใช้วงแหวนรองที่หัวตะปูเพื่อความเรียบร้อย และเพื่อป้องกันไม่ถูกหัวตะปูขีดเป็นรอย วงแหวนที่ใช้มีลักษณะต่างๆ กันเช่น วงแหวนเรียบปกติ วงแหวนที่มีส่วนนูนรับตัวนอต วงแหวนที่ตัดขาดจากกัน (เรียกว่าวงแหวนสปริง) วงแหวนที่เป็นรูปหยักๆ ที่ส่วนรอบนอกของวงแหวนเพื่อขันให้แน่นเป็นพิเศษ

ภาพที่ 85
วงแหวนชนิดต่างๆ



ตารางที่ 3

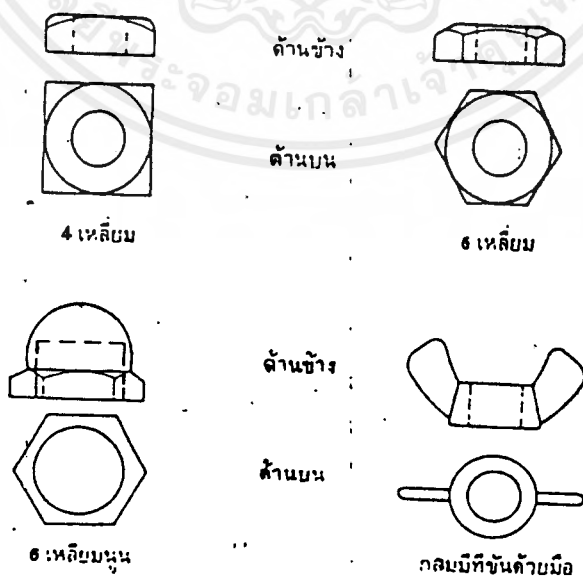
แสดงรายละเอียดของตะปูควง น็อต ที่ใช้ในงานไม้ งานเหล็ก เครื่องจักร

ขนาด ความยาวของตะปูควง (นิ้ว)															
ขนาด ของ ตะปู ควง	รูป		1/16	1/8	7/16	1/2	9/16	5/8	3/4	7/8	1				
		หัวกระตุก	1/2 - 2 1/1	1/2 - 2 3/4	5/8 - 3	3/4 - 3	3/4 - 4	1 - 4	1 - 4	1 - 4					
		หัวแบน													
		หัวแหลม	1/2 - 3 1/2	1/2 - 3 1/2	1/2 - 4	3/4 - 4	3/4 - 4 1/2	1 - 4 1/2	1 - 5	1 1/4 - 5	2 - 6	2 - 6			
		หัวสี่เหลี่ยม	3/4 - 3	3/4 - 3 3/4	3/4 - 3 1/2	3/4 - 3 3/4	3/4 - 4	1 - 4 1/2	1 1/4 - 4 1/2	1 1/2 - 4 1/2	1 3/4 - 5	2 - 5			
		นอต	1/2 - 8	1/2 - 8	3/4 - 12	3/4 - 12	3/4 - 12	3/4 - 24	1 - 30	1 - 30	1 - 30	1 1/2 - 30			
		นอตใช้กับไม้	3/4 - 8	1/4 - 8	3/4 - 12	1 - 12	1 - 12	1 - 20	1 - 20	1 - 20					
ขนาดสำหรับนอต/ตะปู			2	3	4	4	5	6	8	10	12	1 1/4	5/16	3/8	1/2
ขนาด ของ นอต		หัวกลม	1/4 - 7/8	1/8 - 7/8	1/8 - 1 1/2	1/8 - 1 1/2	1/8 - 2	1/8 - 2	3/16 - 3	3/16 - 6	1/4 - 3	5/16 - 6	3/8 - 6	1/2 - 5	1/4
		หัวแบน													
		หัวสี่เหลี่ยม	1/8 - 7/8	1/8 - 7/8	1/8 - 1 1/2	1/8 - 1 1/2	1/8 - 2	1/8 - 2	3/16 - 3	3/16 - 3	1/4 - 3	5/16 - 3	3/8 - 3	1/2 - 3	
		หัวกลมไข													
		หัวกลมแบน				1/4 - 3/4	3/4 - 2	1/8 - 2	3/16 - 2	1/4 - 6		3/8 - 6	3/4 - 6	3/4 - 8	

นอกจากนั้นอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกันสำคัญก็คือ สลักเกลียวและแป้นเกลียว

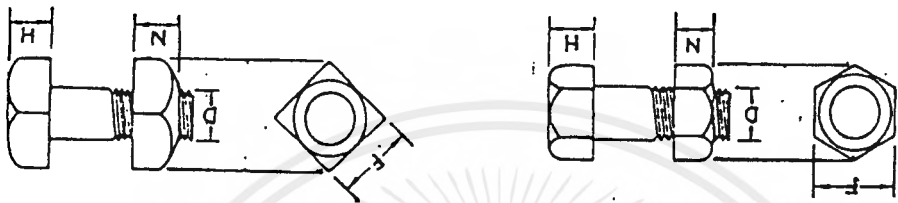
ภาพที่ 86

ลักษณะต่างๆ ของแป้นเกลียว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 87
สลักเกลียวและแป้นเกลียว



ตารางที่ 4 แสดงส่วนต่างๆ ของนอต ช่องที่ 1 แสดงขนาดของสลักเกลียวและแป้นเกลียว ช่องที่ 2 เป็นขนาดของมาตรฐานอเมริกันตามปกติ ส่วนช่องที่ 3 เป็นขนาดมาตรฐานอเมริกันที่ใช้งานหนัก

ตารางที่ 4
แสดงส่วนต่างๆ ของนอต

หัวและแป้น		มาตรฐานอเมริกันชนิดธรรมดา	มาตรฐานอเมริกันใช้งานหนัก
หัว	ความสูง, H	$2/3 D$	$3/4 D + 1/16''$
	เส้นผ่าศูนย์กลางกลางส้น, F	$1 1/2 D$	$1 1/2 D + 1/8'' D$
แป้น	ความสูง, N	$7/8 D$	
	เส้นผ่าศูนย์กลางกลางส้น, F	$1 1/2 D (D \text{ มากกว่า } 5/8'')$	$1 1/2 D + 1/8''$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5

แสดงขนาดมาตรฐานของสลักเกลียวและเป็นเกลียว

เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (นิ้ว)	ลำดับ	สลักเกลียว						เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (นิ้ว)	ลำดับ	แป้นเกลียว					
		หกเหลี่ยม		ความสูง (นิ้ว)	สี่เหลี่ยม		หกเหลี่ยม			ความสูง (นิ้ว)	สี่เหลี่ยม				
		ขนาดเป็นนิ้ว			ขนาดเป็นนิ้ว		ขนาดเป็นนิ้ว				ขนาดเป็นนิ้ว				
		ยาว	สั้น		ยาว	สั้น	ยาว				สั้น	ยาว	สั้น		
1/4	มาตรฐานอเมริกันธรรมดา	7/16	3/8	3/16	1/2	3/8	1/4	มาตรฐานอเมริกันธรรมดา	1/2	7/16	1/4	5/8	7/16		
3/8		5/8	9/16	1/4	3/4	9/16	3/8		1 1/16	5/8	5/16	7/8	5/8		
1/2		7/8	3/4	5/16	1	3/4	1/2		1 5/16	13/16	7/16	1 1/8	13/16		
5/8		1 1/16	15/16	7/16	1 5/16	15/16	5/8		1 1/8	1	9/16	1 3/8	1		
3/4		1 5/16	1 1/8	1/2	1 9/16	1 1/8	3/4		1 5/16	1 1/8	11/16	1 9/16	1 1/8		
7/8		1 1/2	1 5/16	9/16	1 13/16	1 5/16	7/8		1 1/2	1 5/16	3/4	1 13/16	1 5/16		
1		1 11/16	1 1/2	5/8	2 1/16	1 1/2	1		1 11/16	1 1/2	7/8	2 1/16	1 1/2		
1 1/8		1 15/16	1 11/16	3/4	2 5/16	1 11/16	1 1/8		1 15/16	1 11/16	1	2 5/16	1 11/16		
1 1/4		2 1/8	1 7/8	1 1/4	2 9/16	1 7/8	1 1/4		2 1/8	1 7/8	1 1/8	2 9/16	1 1/8		
1 3/8		2 3/8	2 1/16	15/16	2 13/16	2 1/16	1 3/8		2 3/8	2 1/16	1 1/4	2 13/16	2 1/16		
1 1/2		2 9/16	2 1/4	1	3 1/16	2 1/4	1 1/2		2 9/16	2 1/4	1 5/16	3 1/8	2 1/4		
1 5/8		2 3/4	2 7/16	1 1/16	3 3/8	2 7/16	มาตรฐานอเมริกันขนาดหนัก		2 1/2	2 3/16	1 3/8	3	2 3/16		
1 3/4		3	2 5/8	1 3/16	3 5/8	2 5/8			1 1/2	2 11/16	2 3/8	1 1/2	3 1/4	2 3/8	
1 7/8		3 3/16	2 13/16	1 1/4	3 7/8	2 13/16			1 5/8	2 15/16	2 9/16	1 5/8	3 1/2	2 9/16	
2		3 7/16	3	1 5/16	4 1/8	3			1 3/4	3 1/8	2 3/4	1 3/4	3 3/4	2 3/4	
2 1/4		3 7/8	3 3/8	1 1/2	4 5/8	3 3/8			1 7/8	3 3/8	2 15/16	1 7/8	4 1/16	2 15/16	
2 1/2		4 1/4	3 3/4	1 11/16	5 1/8	3 3/4			2 1/4	4	3 1/2	2 1/4	4 13/16	3 1/2	
2 3/4		4 11/16	4 1/8	1 13/16	5 11/16	4 1/8			2 1/2	4 7/16	3 7/8	2 1/2	5 5/16	3 7/8	
3		5 1/8	4 1/2	2	6 3/16	4 1/2			2 3/4	4 7/8	4 1/4	2 3/4	5 13/16	4 1/4	
									3	5 1/4	4 5/8	3	6 3/8	4 5/8	
									3 1/4	5 11/16	5	3 1/4	6 7/8	5	
									3 1/2	6 1/8	5 3/8	3 1/2	7 3/8	5 3/8	
									3 3/4	6 9/16	5 3/4	3 3/4	7 7/8	5 3/4	
									4	7	6 1/8	4	8 7/16	6 1/8	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 กรรมวิธีการประกอบชิ้นงาน¹ การต่อหรือประสานวัสดุชิ้นงานเข้าด้วยกันผลิตภัณฑ์ที่ต้องการประกอบเข้าด้วยกันตั้งแต่สองชิ้นหรือมากกว่า โดยปกติการยึดติดกันนั้นสามารถใช้กรรมวิธีการต่าง ๆ ได้ดังนี้

2.7.2.1 การเชื่อม (welding) เป็นกรรมวิธีการต่อชิ้นงานให้ติดกัน โดยการให้ความร้อนแก่วัสดุชิ้นงานจนหลอมละลายติดกันหรือเติมโลหะเชื่อม นอกจากนี้อาจใช้แรงอัดเข้าแบบของการเชื่อม ถ้าเรียกตามลักษณะที่เชื่อม จะมีแบบราบแนวระดับ (Horizontal) และแนวตั้ง (Vertical) โดยมากจะเลือกใช้การเชื่อมแนวราบ เป็นอันดับแรก แบบแนวระดับ (Horizontal) และแนวตั้ง (Vertical) เป็นอันดับที่สองและสามตามลำดับ แต่ถ้าเรียกตามชนิดของเชื่อม ที่สำคัญจะมีอยู่ 2 ชนิดคือ

1) การเชื่อมแบบต่อชน (Butt weld) เป็นการเชื่อมแบบปลายต่อปลายชนกับ ซึ่งการเชื่อมชนิดนี้จะใช้สำหรับรับแรงดึง หรือแรงอัด โดยตรง

2) การเชื่อมแบบค่อทาบ (Fillet weld) เป็นการเชื่อมแผ่นเหล็กที่ตั้งฉากกันหรือซ้อนกัน การเชื่อมชนิดนี้เหล็กที่เป็นเชื่อมจะรับแรงดึงและแรงเฉือนได้ดีด้วย

2.7.2.2 การบัดกรีอ่อน (Soldering) เป็นกรรมวิธีการต่อชิ้นงานให้ติดกันโดยให้ความร้อนแก่วัสดุชิ้นงานสูงกว่า 700 องศาฟาเรนไฮต์ และวัสดุที่เดิมจะมีจุดหลอมต่ำกว่าวัสดุชิ้นงาน เช่น การบัดกรีตะกั่ว การบัดกรีเงิน เป็นต้น

2.7.2.3 การบัดกรีแข็ง (Brazing) เป็นกรรมวิธีต่อชิ้นงานให้ติดกันโดยให้ความร้อนแก่วัสดุชิ้นงานสูงกว่า 800 องศาฟาเรนไฮต์ แต่ไม่ถึงกับวัสดุชิ้นงานนั้นหลอมละลายแล้วเติมโลหะเชื่อมลงไป วัสดุที่เติมลงไปนั้นจะเข้าไปในช่องว่างของรอยต่อเพื่อยึดชิ้นงานให้ติดกันบางครั้งเราเรียกวิธีการนี้ว่า การเป่าแผ่น

2.7.2.4 การใช้แรงอัดผงติดกัน (Sintering) เป็นกรรมวิธีการยึดติดต่อกันโดยทำให้วัสดุเป็นผลก่อนแล้ว นำมาอัดยึดติดกัน อาจใช้ความร้อนหรือไม่ใช้ก็ได้ หากใช้ความร้อนอุณหภูมิจะต้องต่ำกว่าจุดหลอมของวัสดุชิ้นนั้น ๆ

2.7.2.5 การอัดยึด (Pressing) เป็นกรรมวิธีอัดชิ้นงานให้ยึดติดกัน เช่น งานอัดสวมเพลลาแกน เป็นต้น การอัดนี้สามารถอัดให้ติดกันอย่างถาวรหรืออัดแล้วสามารถถอดออกจากกันได้

2.7.2.6 การย้ำหมุด (Riveting) เป็นกรรมวิธีการทำให้วัสดุชิ้นงานยึดติดกันโดยวิธีการย้ำหมุด

¹ ชวิน เป้าอารีย์, งานโลหะ (กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์อักษรสาส์น, 2521) หน้า 111 - 114.

2.7.2.7 การใช้สลักเกลียวยึด (Screw Fastening) เป็นกรรมวิธีการยึดวัสดุชิ้นงานให้ติดกันโดยใช้สลักเกลียว

2.7.2.8 การใช้กาวยึดเหนี่ยว (Adhesive Joining) เป็นกรรมวิธีการยึดหรือต่อวัสดุชิ้นงานให้ติดกันโดยการใช้กาวเช่น กาวสังเคราะห์ที่ใช้ภายในและภายนอกเป็นต้น

2.8 กรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติวัสดุชิ้นงานทางกายภาพ¹

2.8.1 ในกรรมวิธีขั้นนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุชิ้นงานโดยการใช้ความร้อนที่สูงหรือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็วกะทันหัน หรือการทำซ้ำๆ ให้เกิดความเค้นในเนื้อวัสดุชิ้นงานกรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

1) การอบชุบ (Heat Treatment) เป็นกรรมวิธีการอบชุบเพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติของวัสดุชิ้นงาน โดยอาศัยความร้อนได้แก่ การอบเหนียว การชุบแข็ง เป็นต้น

2) การแปรรูปหรือขึ้นรูปในสภาพร้อน (Hot Working) เป็นกรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุชิ้นงาน โดยกระทำในขณะที่งานร้อนได้แก่ การตี การหล่อ การรีดร้อน เป็นต้น

3) การแปรรูปหรือขึ้นรูปในสภาพเย็น (Cold Working) เป็นกรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุชิ้นงานโดยกระทำในขณะที่งานเย็น ได้แก่ การหมุน ขึ้นรูปการดัดขึ้นรูปการรีดเย็น เป็นต้น

4) การพ่นหรือผิววัสดุชิ้นงาน (Shot Peening) หมายถึง กรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติวัสดุชิ้นงาน โดยการพ่นหรือยิงเม็ดลูกป่นกระทบวัสดุชิ้นงาน ทำให้เกิดความเค้นสูงบริเวณผิววัสดุชิ้นงานนี้จะแข็ง สามารถต้านทานการสึกหรอได้ดี การต่อโครงสร้างโดยการเชื่อม (Welded Connections)

2.8.2 กรรมวิธีการตกแต่งผิวชิ้นงาน

การผลิตงานเพื่อเป็นที่ยอมรับในวงการตลาดโลกทั่วไบนั้น การทำให้ผิวเรียบเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงเพื่อที่จะรับปรังงานให้มีคุณค่าในการซื้อขาย สำหรับการเคลือบผิวก็เช่นกัน นอกจากจะทำให้งานสวยงามแล้วยังช่วยป้องกันการกัดกร่อนทำให้งานมีความทนทานต่อสภาพการใช้งาน กรรมวิธีการตกแต่งผิวของชิ้นงานนั้น มีหลายวิธีการด้วยกัน ดังจะกล่าวต่อไปนี้

1) การกำจัดส่วนที่ไม่ต้องการออกไป (Metalreval)

¹ ศาคร ดันธโชติ, กรรมวิธีการผลิต (กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2528), หน้า 248-253.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการผลิตงานโดยทั่วไป นั้นบางครั้งชิ้นงานที่ผลิตออกมาแล้วอาจจะไม่สำเร็จสมบูรณ์เลยก็ได้ ซึ่งจำเป็นที่จะต้องกระทำด้วยเครื่องจักรกลเพื่อตกแต่งให้สำเร็จอีกทีหนึ่ง หรืออาจจะเป็นการตัดเอาเศษหรือส่วนที่ไม่ต้องการออก เช่น ในกรณีงานหล่อโลหะ เป็นต้น

2) การขัด (Polishing)

การขัดเป็นกรรมวิธีการตกแต่งผิวชิ้นงานให้เรียบร้อม ก่อนที่จะนำชิ้นงานออกสู่ตลาดหรือก่อนที่จะนำไปชุบเคลือบหรือพ่นทาสี การขัดนี้จะทำให้ผิวสะอาดด้วยซึ่งมีหลายวิธีการเช่น การขัดด้วยแปรงลวดกระดาศทราย เครื่องขัดสนิม วิธีที่สะดวกและเป็นที่ยอมรับใช้มากที่สุดในวงการอุตสาหกรรมคือการขัดด้วยเครื่องพ่นทราย โดยวิธีการใช้ลมอัดเป่าทรายออกจากถังหัวฉีด เม็ดทรายซึ่งแล่นออกมาด้วยนั้น ขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดทรายออกจากถังด้านหัวฉีด เม็ดทรายซึ่งแล่นออกมาด้วยนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดทรายรูปร่างที่ใช้ในการพ่นและกำลังอัดของลม

3) การเคลือบ (Coating)

การเคลือบเป็นกรรมวิธีที่เพิ่มความหนาของชิ้นงาน ป้องกันผิวชิ้นงานมิให้ถูกกัดกร่อนและเพื่อความสวยงาม

4) การกัดกร่อน คือการผุกร่อนของวัสดุชิ้นงานที่มีอายุใช้งานไปนานๆ การผุกร่อนนี้เป็นไปโดยมีปฏิกิริยาเคมี ทั้งตามสภาพหรือตามสิ่งแวดล้อมที่ช่วยเร่งถูกกัดกร่อนเร็วขึ้นตัวอย่างได้แก่การเป็นสนิมของเหล็กการผุกร่อนของท่อไอเสียเครื่องยนต์ เป็นต้น

2.8.2.1 สาเหตุการกัดกร่อน แบ่งออกเป็น 2 อย่างคือ

1) ปฏิกิริยาเคมี ทำให้เกิดการกัดกร่อน เหล็กทิ้งไว้ในอากาศอาจจะเป็นสนิมได้ เพราะออกซิเจนในอากาศ จะเข้าไปเติมออกซิเจนให้แก่เนื้อเหล็ก ถ้าผิวเหล็กนั้นเปียกน้ำ ถ้าผิวนั้นเปียกน้ำ เช่น เปียกน้ำค้างหรือน้ำฝน เหล็กก็ยังเป็นสนิมเร็วขึ้น น้ำที่เปียกบนเหล็กจะละลายออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ จากอากาศได้จำนวนหนึ่งคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำ ทำให้เกิดกรดชนิดน้อย มีฤทธิ์กัดโลหะช่วยทำให้การเติมออกซิเจนให้แก่เหล็กเป็นไปอย่างรวดเร็ว สนิมเหล็กคือเหล็กออกไซด์ แต่เมื่อมีน้ำอยู่ด้วยก็จะกลายเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์ ความชื้นในอากาศหากมีมากก็จะช่วยให้เหล็กเป็นสนิมเร็วขึ้นด้วย

การเติมออกซิเจนแก่ผิวโลหะโดยออกซิเจนในอากาศ ไม่เกิดเฉพาะแต่เหล็กเท่านั้น โลหะอื่นๆ ก็เช่นกัน อลูมิเนียม ทองแดง ผิวของโลหะเหล่านี้ เพื่อทิ้งไว้ในอากาศก็จะเป็นออกไซด์ แต่ออกไซด์ของอลูมิเนียมนั้นก็ดี ทองแดงหรือทองเหลืองก็ดี ทึบมากกว่าผิวโลหะนั้นเสียอีก ผลก็คือเมื่อออกไซด์ทึบเช่นนี้ เคลือบผิวอยู่มากขึ้นๆ ก็จะถึงจุดหนึ่งที่ออกซิเจนในอากาศไม่สามารถเข้าถึงเนื้อโลหะภายในได้ โลหะเหล่านี้จึงสามารถอยู่ด้วยดี ตรงกันข้ามฟิล์มออกไซด์ของเหล็กไม่ทึบเลย แต่เป็นรูพรุนซึ่งกันออกซิเจนไว้ไม่ได้ ฉะนั้นการเกิดสนิมของเหล็กจึงเกิดได้เรื่อยๆ ไปจนเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนิมหมดทั้งแท่ง สนิมเหล็กไม่มีความแข็งแรงเหมือนเหล็กจึงไม่มีความสามารถในการรับภาระเลย ด้วยเหตุนี้เองโครงสร้างที่เป็นเหล็กก็ดี และเหล็กโครงสร้างต่างๆ ก็ดี จำเป็นต้องมีการทาสีปกปิดผิวมิให้ออกซิเจนเข้าไปในเนื้อเหล็กได้ หากปล่อยปะละเลย ให้มีสนิมเกิดขึ้นแล้ว สะพานหรือโครงสร้างนั้นอาจจะพังลงมาได้

ส่วนปฏิกิริยาเคมีอื่น ๆ ที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนยังมีอีก เช่น ท่อน้ำกรดมักกัดกร่อนท่อโลหะเมื่อใช้งานไปนานๆ ท่อก็จะบางลงท่อไอเสียของเครื่องยนต์ต่างๆ มักต้องผูกพวงสาเหตุเกิดจากกำถัน ที่ปนมากับเชื้อเพลิง ซึ่งเมื่อเผาไหม้จะทำให้เกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แก๊สนี้เมื่อรวมกับไอน้ำจะมีฤทธิ์เป็นกรดกัดอย่างแรง ท่อไอเสียจึงผุแผ่นสังกะสีที่ใช้มุงหลังคาที่เช่นกัน แท็งก์ริงมิใช่แผ่นสังกะสีแต่เป็นแผ่นเหล็กอาบสังกะสีไว้ ถ้าความหนาของฟิล์มสังกะสีที่อาบไว้บางกว่าที่ควร เมื่อใช้มุงหลังคาตากแดดตากฝน ออกซิเจนในอากาศสามารถผ่านฟิล์มสังกะสีเข้าไปได้ ทำให้แผ่นเหล็กอาบสังกะสีนั้นเป็นสนิมถ้าอาบสังกะสีไว้หนาพอก็จะไม่เป็นสนิมเลย

1) ปรากฏการณ์ไฟฟ้า - เคมี ทำให้เกิดการกัดกร่อน ปรากฏการณ์ไฟฟ้าคือการกำเนิดกระแสไฟฟ้าด้วยปฏิกิริยาเคมี โดยใช้แท่งโลหะสองแท่งที่แตกต่างชนิดกัน จุ่มลงในน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ ทำให้เกิดมีความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นได้ระหว่างโลหะทั้งสองนั้น แท่งหนึ่งเป็นขั้วบวกไม่กัดกร่อน ส่วนอีกแท่งหนึ่งเป็นขั้วลบ ขนาดของแท่งลงจะลดลงเรื่อยๆ เพราะเกิดกัดกร่อนนอกจากการกัดกร่อนทั้ง 2 วิธีกว่าแล้วก็ยังยั้งมีสาเหตุอื่นๆ อีกเช่น

1) การกัดกร่อนเนื่องจากการสัมผัสของโลหะต่างชนิดกัน เช่น ทองแดง และสังกะสี หากอยู่ติดสัมผัสกันนานไปก็เกิดการกัดกร่อนได้ ทองแดงเป็นขั้วบวกและสังกะสีเป็นตัวถูกกัดกร่อน ตัวอย่างนาฬิกาข้อมือเรือนเหล็กที่มีฝาปิดข้างหลังเป็นทองเหลือง เมื่อใช้งานไปนานๆ ทองเหลืองจะกัดกร่อนลึกลงไปได้ โดยเรือนเหล็กเป็นขั้วบวกและสังกะสีเป็นขั้วลบ เหนือมือเป็นอิเล็กโทรไลต์ แผ่นเหล็กอาบสังกะสีก็เช่นกัน หากย่ำด้วยตะปูทองแดงหรือสลักทองแดง ทองเหลืองก็จะกัดกร่อนได้

2) การกัดกร่อนจากเม็ดเกรนโลหะ เนื้อโลหะเป็นเม็ดเกรน ถ้าเนื้อของเม็ดเกรนที่อยู่ติดๆ กันนั้นติดกันมาก เช่นถ้าเม็ดเกรนหนึ่งเป็นเหล็ก และเม็ดถัดไปเป็นซีเมนไทต์ เม็ดเกรนทั้งสองจะกระทำต่อกันเสมือนโลหะต่างชนิดกัน ยิ่งถ้ามีสารประเภทอิเล็กโทรไลต์มาเกาะ จะเกิดมีความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้น ซีเมนไทต์เป็นขั้วบวกและเหล็กเป็นขั้วลบ และเนื้อเม็ดเกรนเหล็กจะกัดกร่อนเล็กน้อยลงไป

2.8.2.2 วิธีป้องกันผิวโลหะมิให้ถูกกัดกร่อน กระทำได้หลายวิธี คือ

- 1) การอาบน้ำมัน
- 2) ทาสี ฟันสี
- 3) เคลือบ
- 4) ป้องกันด้วยวิธีเคมี
- 5) ปิดผิวโลหะนั้นด้วยโลหะอื่นที่ทนกัดกร่อนดีกว่า
- 6) เคลือบผิวด้วยพลาสติก
- 7) อื่นๆ

การอาบน้ำมัน

เครื่องมือวัดละเอียด ผิวเส้น สลักเกลียว นอตและชิ้นส่วนประกอบเครื่องมือกลต่างๆ ที่เป็นหลัก อาบหรือชะโลมด้วยน้ำมันไว้ จะป้องกันการกัดกร่อนที่ผิวได้ดี ไม่เกิดเป็นสนิมเลย น้ำมันที่ชะโลม ผิวได้แก่น้ำมันเครื่องที่เป็นน้ำมันแร่ และไขพาราฟิน หรือวาสลิน หรือจะชะโลมด้วยน้ำมันกัน สนิมซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พิเศษก็ได้ ชิ้นส่วนอื่น ๆ ที่เป็นโลหะเบาจะป้องกันการกัดกร่อนด้วยวิธีชะ โลมน้ำมันเช่นนี้ด้วยก็ได้ แต่จะต้องชะโลมไว้ตลอดเวลา

การทาสีหรือฟันสี

การทาสีปกติผิวโลหะไว้ จัดว่าเป็นวิธีป้องกันการกัดกร่อนที่ดีกว่าวิธีหนึ่ง สีที่ควรทา 3 ชั้น แร่ง เป็นสีพื้น สีชั้นที่สองทาสีให้หนา และสีชั้นที่สามเป็นสีผิวสำเร็จ สีพื้นควรจะต้องเป็นกลางไม่ต้อง เป็นกลาง ไม่เป็นกรด หรือด่าง เกะติดแน่นกับผิวโลหะดีมาก สีที่ทาครบสามชั้นจะป้องกันน้ำซึม เข้าผิวโลหะได้โดยเด็ดขาด ทนต่อแสงและความร้อน ข้อสำคัญอีกข้อหนึ่งข้อคือ จะต้องขยายตัว พร้อมกับผิวโลหะที่ถูกทาทับนั้นได้ มิฉะนั้นอาจจะกระเทาะออกป้องกันการกัดกร่อนต่อไปอีกไม่ได้

ก) วิธีเตรียมโลหะ

ผิวโลหะก่อนที่จะลงสีจะต้องทำให้สะอาดปราศจากสนิม และร่องรอยการกัดกร่อนทุกชนิด ก่อนที่จะลงสีบนผิวที่ขัดสะอาดนี้ ควรล้างไขออกด้วยสารละลายเสียก่อนหรือไตรคลอโรเอทิลีน ซึ่งปลอดภัยกว่า เพราะจุดไฟไม่ติด หรือสารละลายอื่นๆ เสร็จแล้วอบแห้ง แต่ต้องผิวด้วยมืออีกไม่ได้ ผิวขณะนี้พร้อมที่จะลงสี

ข) วิธีลงสีน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีน้ำมันสีแรกที่ต้องลงก่อนคือ สีพื้น สีพื้นติดผิวโลหะได้แน่นเหนียวป้องกันผิวเหล็กมิให้เกิดสนิมได้ดี องค์ประกอบของสีพื้นได้แก่ ตะกั่ว สังกะสีโครเมต เหล็กออกไซด์ และน้ำมันชักแห้ง เช่น น้ำมันลินสีด เมื่อสีพื้นแห้งแล้วจึงทาสีลงทับสีสำเร็จ สีสองนี้เป็นสีน้ำมันลินสีดด้วยเช่นกัน

ค) สีแลกเกอร์

ผิวโลหะที่จะลงสีแลกเกอร์ จะต้องขัดให้ราบเรียบอย่างที่สุด การขัดครั้งสุดท้ายต้องขัดด้วยกระดาษทรายน้ำ เพราะหากผิวไม่ราบเรียบจริง เมื่อลงสีแลกเกอร์เสร็จเรียบร้อยแล้วจะแลเห็นความไม่ราบเรียบได้อย่างชัดเจนและไม่น่าดู ไม่ได้คุณภาพงาน

สีแลกเกอร์ประกอบด้วย ในโตรณเซลลูโลส และสารละลายแลกเกอร์แห้งเป็นฟิล์มได้ด้วยการระเหยหนีไปของสารละลาย นอกจากแลกเกอร์ในโตรณเซลลูโลสแล้วยังมีแลกเกอร์สีเคลือบ ซึ่งเป็นแลกเกอร์

ง) วิธีลงสี

วิธีลงสีแลกเกอร์ ทำได้หลายวิธีเช่น พ่น ทา จุ่ม หรืออบ วิธีพ่นกระทำได้รวดเร็ว ความหนาของสีสม่ำเสมอ พ่นได้โดยใช้อัดหรือเป่า พ่นได้ทั้งเย็นและร้อน

จ) วิธีพ่นเย็น คือพ่นสี ณ อุณหภูมิห้อง แลกเกอร์ที่ต้องผสมทินเนอร์จนได้ความใสที่พอเหมาะกับงานพ่น ทินเนอร์เป็นวัสดุราคาแพงและไวไฟมาก วิธีใช้ต้องประหยัดและป้องกันไฟอย่างดีที่สุด

ณ) วิธีพ่นร้อน วิธีพ่นแลกเกอร์ร้อนแก่แลกเกอร์ก่อนพ่น โดยใช้ความร้อนจากความต้านทางไฟฟ้าที่พ่นไว้รอบ ๆ กา พ่นสีให้ร้อนประมาณ 50 - 120 องศาเซลเซียส เพื่อให้แลกเกอร์นั้นใสพ่นได้ง่าย โดยไม่ต้องใช้ทินเนอร์ผสม วิธีพ่นก็เหมือนกับการพ่นเย็น วิธีนี้ประหยัดเวลางานประหยัดสี สามารถพ่นได้หนาๆ และแห้งเร็วสีแลกเกอร์ทั่วๆ ไปจะพ่นร้อนไม่ได้ จะต้องเป็นแลกเกอร์พ่นร้อนโดยเฉพาะ

การเคลือบสีด้วยน้ำยาแก้ว (Enameling)

เครื่องใช้ประจำบ้าน เช่น ชาม อ่าง เตาปิ้งโต ช้อน และเครื่องใช้ในห้องปฏิบัติการเคมีต่างๆ เป็นอุปกรณ์เครื่องใช้เคลือบด้วยน้ำยาแก้ว น้ำยาแก้วนี้ใช้ได้ทั้งจุ่ม พ่น หรือทา ลงบนผิวโลหะที่ต้องการเคลือบ แล้วนำไปอบร้อนในเตาอุณหภูมิประมาณ 600-900 องศาเซลเซียส น้ำยาแก้วนั้นจะกลายเป็นเคลือบแข็งทนต่อความร้อน และทนต่อปฏิกิริยาเคมีได้ดีมาก เสียอย่างเดียวกันก็คือ เพราะเมื่อตกพื้นแข็งจะกระเทาะโลหะที่เคลือบด้วยน้ำยาแก้วชนิดนี้ได้แก่ เหล็กธรรมดา และเหล็กหล่อ ซึ่งก่อนจะเคลือบจะต้องเตรียมผิวให้สะอาดจริงๆ

วิธีทำให้สะอาด ครั้งแรกให้เผาด้วยเปลวไฟ เพื่อเผาไล่ไขมันและน้ำมันเสียก่อน ต่อจากนั้นจึงจุ่มลงน้ำกรดร้อนๆ ให้กรดกัดผิวแห้งแล้วจึงลงน้ำยาเคลือบแข็ง เมื่อเคลือบเสร็จแล้วจะดูประหนึ่งว่าผิวแก้วและมีผงแม่สีผสมอยู่ในเนื้อผิวแก้วนั้นๆ ทำให้แลดูเป็นสีต่างๆ

วิธีป้องกันผิวมิให้ถูกกัดกร่อนด้วยวิธีเคมี

ก) การรมดำ เป็นวิธีที่ป้องกันผิวเหล็กมิให้ถูกกร่อนได้ง่าย วิธีทำให้อุ่นชิ้นงานนั้นลงไปน้ำมันสีสิด หรือน้ำมันแร่อย่างข้นที่ผสมซีฟี่ประมาณ 3-5% แล้วนำไปอังไฟในเตาเผาเหล็กสำหรับงานตีเหล็ก ทำเช่นนี้ซ้ำกันหลาย ๆ ครั้ง ให้อุ่นอุณหภูมิชิ้นงานร้อนประมาณ 450 องศาเซลเซียส ผิวชิ้นงานนั้นจะดำคล้ำลง ปรากฏเป็นฟิล์มบาง ๆ ปกปิดผิวไว้ ช่วยป้องกันมิให้ถูกกัดกร่อนได้วิธีนี้เป็นวิธีป้องกันในระยะสั้นๆ

ข) วิธีชุบฟอสเฟส คือการเคลือบผิวเหล็กด้วยฟอสเฟส หรือสังกะสีหรือแมกกาเนต โดยใช้ น้ำยาฟอสเฟส เป็นตัวทำปฏิกิริยาเคมี ผิวฟอสเฟสนี้มีประโยชน์สองประการคือ ช่วยป้องกันผิวเหล็กมิให้ถูกกัดกร่อนได้ง่าย และช่วยให้งานสีบนผิวเหล็กนั้นติดแน่นทนนาน งานลงสีทุกชนิดบนผิวโลหะทุกวันนี้ก่อนลงสีพื้น ต้องชุบผิวฟอสเฟสทั้งสิ้น กรรมวิธีนี้มีชื่อต่างๆ กันเรียก เช่น Bonderizing หรือ Parkerizing เป็นต้น วิธีชุบฟอสเฟสนิยมจุ่มชิ้นงานที่ทำความสะอาดจนผิวปราศจากไขมันและสนิมต่างๆ แล้วลงในน้ำฟอสเฟส ทั้งไว้ให้มีปฏิกิริยาประมาณ 1/2 ชั่วโมง องค์ประกอบของน้ำยาฟอสเฟสนี้เป็นผลผสมของกรดฟอสฟอริก และแมกกาเนต ฟอสเฟสหรือสังกะสีฟอสเฟสผิวเหล็กฟอสเฟตที่เกิดขึ้นใหม่นี้จะต้องหนาพอสมควร และดูเป็นฟิล์มสีเทาดำและมีลักษณะไม่เรียบนักมีรูพรุนเล็กๆ เต็มไปหมด ด้วยลักษณะรูพรุนเช่นนี้เองสีจึงเกาะผิวเหล็กได้ดีเหนียวแน่นอย่างยิ่ง ผิวฟอสเฟสแท้ ๆ ป้องกันมิให้ถูกกัดกร่อนจากบรรยากาศได้เพียงระยะเวลาอันสั้นในงานสำเร็จขึ้นโลหะต่างๆ จำนวนมาก งานประกอบตัวถังรถยนต์ก็ดี งานสร้างตู้เย็นและตู้โลหะต่างๆ ก็ดี ซึ่งจะต้องทำผิวสำเร็จให้เป็นผิวคุณภาพทนต่อการเป็นสนิม สีติดแน่นทนทานจะต้องผ่านการชุบผิวด้วยฟอสเฟสก่อนทั้งสิ้น

กรรมวิธี (Anodizing) เป็นกรรมวิธีสำหรับอลูมิเนียม วิธีทำให้น้ำชิ้นงานอลูมิเนียมนั้นมาแขวนเป็นขั้วบวกใช้แผ่นตะกั่วขั้วลบนำกรดกำมะถันเจือจางเป็นอิเล็กโตรไลต์ ผ่านกระแสไฟตรงเข้าไปชั่วระยะเวลาหนึ่ง กระแสไฟฟ้าจะทำให้ผิวชิ้นงานเปลี่ยนเป็นอลูมิเนียมออกไซด์คือ เป็นฟิล์มบางๆ ปกปิดผิวโดยรอบ โดยที่ขนาดของชิ้นงานชิ้นนั้นยังคงขนาดอยู่อย่างเดิมและชั้นฟิล์มของอลูมิเนียมออกไซด์นี้ ทั้งทึบและแข็งแรงกว่าอลูมิเนียมแท้ๆ ป้องกันการเดิมออกซิเจนต่อไปได้ดี แม้จะหักหรืออั้นงานนั้น ฟิล์มนี้จะไม่หลุดหรือแยกออกมาเลย มีความคงทนต่อการกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กร่อนและไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า วิธีเปลี่ยนผิวให้เป็น Anodizing นอกจากช่วยป้องกันการกัดกร่อนให้แก่งานอลูมิเนียมแล้ว ฟิล์ม Anodizing ยังมีรูปทรงมากช่วยให้ย่นสีผิวอลูมิเนียมเป็นสีต่างๆ ได้สะดวก ด้วยเหตุนี้เองเมื่อต้องการแก่อลูมิเนียมหรือย่นสีผิวอลูมิเนียมจึงต้องใช้กรรมวิธี Anodizing เข้าช่วยเสมอการป้องกันผิวแมกนีเซียมมิให้ถูกกัดกร่อน ชิ้นงานแมกนีเซียมผสมทุกชิ้นในทันทีที่ผลิตสำเร็จ จะต้องรีบจุ่มลงในน้ำยาที่ผสมด้วย

โซเดียมหรือโปแตสเซียมโครเมต	15%
กรดไนตริก	20%
น้ำกลั่น	65%

เป็นระยะเวลาประมาณ 1-2 นาที เพื่อให้ผิวปกติมิให้ถูกกัดกร่อนเพราะหากไม่รีบปกปิดผิวเช่นนี้ ชิ้นงานจะผุสลายตัวรวดเร็วมาก เมื่อจุ่มน้ำยานี้เสร็จผิวงานจะเปลี่ยนเป็นผิวสีทองเหลืองส้มาเสมอตลอด ดังจากนั้นก็ทาสีทับอีกทีหนึ่ง

ก) การชุบโครเมียม

โครเมียมเป็นโลหะที่มีสีขาววาวสดใส ไม่ขุ่นมัว ไม่ต้องขัดถูบ่อยๆ มีความผิวดำแข็งมีจุลหุลอมตัวที่ 1615 เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี และไม่เป็นสนิม ประโยชน์ของโครเมียม ก็นำไปผสมกับโลหะอื่นๆ ในอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะ และใช้ชุบเคลือบโลหะอื่นๆ เพื่อป้องกันการเกิดสนิม และขุ่นมัว ฯลฯ การชุบเคลือบผิวโลหะชนิดอื่นๆ ด้วยโครเมียมในปัจจุบันแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ

การชุบโครเมียมชนิดบาง¹ หรือชุบเพื่อความสวยงาม

DECORATIVE CHROMIUM การชุบชนิดนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อต้องการป้องกันมิให้โลหะอื่น เป็นสนิม และให้ความสวยงามทนต่อการเสียดสี และทนต่อการผุกร่อน การชุบเคลือบในลักษณะนี้มักจะชุบโครเมียมค่อนข้างบางมากโดยประมาณ 0.00001 ถึง 0.0003 นิ้ว หรือ 0.25 ไมครอน ถึง 0.8 ไมครอน

การชุบโครเมียมชนิดหนา ซึ่งเรียกว่า HARD CHROMIUM หรือ HARD CHROME การชุบชนิดนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มความหนาผิวโลหะนั้นๆ เช่น ชิ้นส่วนของเครื่องมือเครื่องจักรที่สึกหรอไปเพราะการใช้งาน ถ้านำมาชุบโครเมียมให้หนาขึ้น แล้วนำไปเจียรระไนก็จะสามารถนำไปใช้ได้ดีเหมือนเดิม หรือมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ผิวโลหะนั้น มีความแข็งแรงมากปกติแล้วมักจะชุบกันที่ความหนาตั้งแต่ 0.001 นิ้วขึ้นไปและโดยมากชุบโครเมียมโดยตรงบนเหล็กการชุบโครเมียม หนาบนโลหะอื่นที่ไม่ใช่เหล็กมักไม่ค่อยทำกัน

¹ อนันต์ ทองมอญ, ชุบโครเมียม ชุบทอง (กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ภาพพิมพ์, 2532), หน้า 115-142.

ข) การรองพื้นก่อนชุบโครเมียม

เนื่องจากโครเมียมเป็นโลหะที่แข็งมากดังนั้นจึงเปราะมาก และเนื่องจากแรงเค้น แรงเครียด รวมทั้งการหนีออกไปของแก๊สไฮโดรเจนที่พลอยผสมอยู่ในโลหะโครเมียมในขณะที่ไปเกาะชั้นงาน ทำให้ผิวโลหะโครเมียมที่ได้ชุบมีลักษณะแตกร้าวหรือเป็นรูพรุนทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาของโครเมียมจากการคั่นคว่ำ ปรากฏว่า ถ้าความหนาของโครเมียมหนา 0.12 มิล หรือน้อยกว่า จะได้ผิวโครเมียมที่ไม่มีรอยแตกร้าว แต่จะมีรอยพรุนอยู่โดยทั่วไปด้วยเหตุที่มีรูพรุนเมื่อเวลาชุบบางเอง จึงเป็นเหตุให้โครเมียมป้องกันสนิมไม่ได้เต็ม ถ้าเราชุบโครเมียมบางๆ โดยตรงบนเหล็กสนิมก็จะนกแผ่นโครเมียมทั้งแผ่นออก ทำให้โครเมียมป้องกันสนิมไม่ได้ เพื่อแก้จุดอ่อนในเรื่องนี้ในการชุบโครเมียมบาง มึงมักจะรองพื้นด้วยทองแดง และนิกเกิลเสียก่อน การทำดังนี้มีส่วนดีกว่าชุบโครเมียมตรงบนเหล็ก หรือโลหะอื่นๆ คือ

รองพื้นชั้นงานด้วยทองแดง ก่อนชุบนิกเกิล เพื่อให้การจับเกาะที่แน่น ยกตัวอย่างเช่น ชั้นงานที่เป็นเหล็ก เหล็กหล่อ โลหะผสม ทองเหลือง ฯลฯ ทองแดงจะจับได้แน่นสนิทกว่านิกเกิล

รองพื้นด้วยนิกเกิล ก่อนชุบโครเมียม นิกเกิลจะช่วยเป็นตัวประสานยึดเหนี่ยวระหว่างทองแดงกับโครเมียม ได้เป็นอย่างดี ประการสำคัญนิกเกิลจะช่วยเป็นตัวช่วยป้องกันไม่ให้สนิมซึมผ่านไปเกาะกินเหล็กได้ นิกเกิลเป็นโลหะไม่เกิดสนิมเช่นเดียวกับโครเมียมมีสีสดใส เงางามเช่นเดียวกับโครเมียมแต่สีสดใสเงางามของนิกเกิลมีโอกาสนูนมัวได้ ดังนั้นจึงต้องอาศัยโครเมียมเคลือบชั้นบนนิกเกิลอีกทีหนึ่ง เพื่อว่าชั้นงานนั้น ๆ จะได้มีความสดใสอยู่ได้นาน

การรองพื้นนิกเกิลอย่างน้อยที่สุดควรจะหนาประมาณ 0.0006 นิ้ว หรือ 0.005 มม. สำหรับงานที่ทำด้วยเหล็กต้องใช้งานกลางแจ้งอย่างน้อยๆ นิกเกิลควรหนา 0.001 นิ้ว (0 มิล) หรือ 0.025 มม. ถ้าเป็นน้ำยาชุบนิกเกิลชนิดคั่น ความหนาของนิกเกิลควรหนาเพื่อไว้เป็นพิเศษอีก 20 ถึง 25% สำหรับการสูญเสียไปเนื่องจากการขัดเงา แต่ถ้าเป็นน้ำยาชุบนิกเกิลชนิดเงาก็ไม่จำเป็นต้องเผื่อไว้

วิธีเคลือบผิวด้วยพลาสติก พลาสติกเป็นวัสดุช่างที่มีบทบาทมากในการต้านทานการกัดกร่อน โดยการนำเอาพลาสติกมาเคลือบผิวโลหะได้ด้วยวิธีการต่างๆ ข้อดีอีกข้อหนึ่งก็คือ พลาสติกจะเป็นฉนวนหุ้มโลหะที่เป็นตัวนำนั้นด้วย วิธีเคลือบผิวโลหะด้วยพลาสติกจะต้องหลอมพลาสติกเม็ดประเภทเทอร์โมพลาสติกก่อน ใช้อัดลมเป่าพ่นลงไปฟอกผิวโลหะนั้นๆ ความหนาของผิวพลาสติกควรจะหนาประมาณ 0.8-1.2 มิลลิเมตร ผิวโลหะก่อนพ่นพลาสติกควรขัดด้วยการเป่าทรายให้ละเอียดและผิวเป็นรอยมากๆ จะยิ่งดี ทำให้พลาสติกมีแรงยึดเกาะกับผิวโลหะได้ดี ชิ้นส่วนเครื่องมือกลที่คอยการประกอบก็มักจะเก็บไว้ในพลาสติกหลอมหุ้มชิ้นส่วนนั้นไว้เลย

ก) การพันผงโลหะ เป็นการพอกผงโลหะ เป็นการพันโลหะที่หลอมเหลวไปในเหล็กอีกทีหนึ่ง เหล็กที่เราจะพอกต้องเป็นเหล็กธรรมดา และชิ้นงานต้องเป็นรอยและถูกขีดข่วนเป็นลายถึงจะพันได้วิธีทำนี้ผิวเรียบไม่ได้ผลโลหะที่จะต้องใช้ต้องสะอาดต้องใช้ไฟฟั่น

ข) การอบชุบผิวให้แข็ง เป็นการชุบเพื่อให้ได้ความแข็ง เฉพาะตอนบริเวณผิวเนื้อนั้นส่วนเนื้อเหล็กภายในผิวจนถึงใจกลางคงเป็นเช่นเดิม ซึ่งได้ความเหนียว ความมุงหมายเพื่อต้องการให้เหล็กทนต่อการสึกหรอ ในขณะที่ใช้งานได้ดีและทนแรงบิดหรือกระแทกอย่างรุนแรง ได้โดยไม่แตกหรือหัก ตัวอย่างชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต้องการชุบแข็งพื้นผิวได้แก่ พวงเพลา ข้อเหวี่ยง เพลา ราวลัน และเกียร์ ในระบบส่งกำลังของเครื่องชนิดต่างๆ เป็นต้น

2.9 ไฟฟ้าและลื่อนำไฟฟ้า

2.9.1 ไฟฟ้า¹

ไฟฟ้าโดยทั่วไปเกิดจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้า 2 ชนิดคือ

2.9.1.1 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสแหล่งแรกก็คือ แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มาจากพลังงานทางเคมี ซึ่งเป็นไฟฟ้าชนิดกระแสตรง (Direct current) ในปัจจุบันแหล่งกำเนิดประเภทนี้ยังคงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายไม่ว่าจะเป็นในรถยนต์ รือยนต์ หรือแม้แต่ในไฟฉายเดินทางที่ใช้กันทั่วไป แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มาจากพลังงานทางเคมีสามารถแบ่งออกได้ 2 แบบ คือ

1) ไฟมารีเซลล์ (Primary cell) เป็นเซลล์ไฟฟ้าที่เกิดกระแสไฟฟ้าโดยการทำปฏิกิริยาทางเคมี

2) เซลล์คันดารีเซลล์ (Secondary cell) หรือสตอเรจ แบตเตอรี่ (Storage battery) เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อใช้กำลังไฟฟ้าหมดแล้ว ก็สามารถทำให้มีกระแสไฟฟ้าจ่ายให้กับโหลดใหม่ได้ โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าในแบตเตอรี่ ซึ่งให้แบตเตอรี่ดังกล่าวกลับมามีกำลังไฟฟ้าที่สามารถจ่ายให้กับโหลดได้เหมือนเดิม

2.9.1.2 ไฟฟ้าที่เกิดจากการตัดระหว่างตัวนำกับสนามแม่เหล็กนี้ จัดว่าเป็นไฟฟ้าประเภทไฟฟ้ากระแส และยังสามารแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

1) ไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Gennerator or Dynamo) การใช้งานยุ่งยากมากกว่าต้องมีตัวแปลงไฟ, มีวงจรยุ่งยากกว่าในตัวผลิตภัณฑ์ แต่ไฟฟ้ากระแสตรงจะมีความปลอดภัยมากกว่าปรับกระแสไฟได้ต่ำกว่า 220 v. กันการช็อตของกระแสไฟฟ้าที่เข้ามามากเกินไป

¹ ณรงค์ ขอบตะวัน, คู่มือซ่อมเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน (กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์สหมิตรออฟเซต, 2528), หน้า 1-47.

2) ไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C.) เป็นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ได้ 220 v. สามารถเสียบปลั๊กใช้งานได้ทันที ไม่ยุ่งยาก แต่ควรระวังการใช้งานกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการระมัดระวังกระแสไฟฟ้า หากใช้ไฟเกินกว่าผลิตภัณฑ์จะรับได้ อาจทำให้เกิดอันตรายได้

2.9.2 หม้อแปลงไฟฟ้า (TRANSFORMER)¹

หม้อแปลงไฟฟ้า เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ทรานส์ฟอร์มเมอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพิ่มหรือลดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ให้เป็นไปตามความต้องการในการใช้งาน หม้อแปลงไฟฟ้าขนาดยาวประมาณนิ้วหัวแม่มือ ใช้กับเครื่องรับวิทยุ จนถึงขนาดใหญ่โตเท่ารถยนต์บรรทุกสิบล้อใช้ในโรงจักรไฟฟ้าขนาดใหญ่แต่ถึงแม้ว่าขนาดจะต่างกันรูปร่างจะต่างกัน แต่หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าทุกตัวเหมือนกันดังนี้

ขณะที่มีกระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านขดลวดตัวนำชุดแรกเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะมีการสร้างและยุบตัวลงไปตามจังหวะของไฟฟ้ากระแสสลับ ผลของการสร้างและยุบตัวจะมีผลทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขดลวดตัวนำที่สองด้วยอัตราการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขดลวดตัวนำจะมากหรือน้อยกว่าแรงเคลื่อนที่ไฟฟ้าในขดลวดตัวนำชุดแรกขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดตัวนำทั้งสองชุด

ข้อควรสังเกต เกี่ยวกับหม้อแปลงไฟฟ้า คือขดลวดชุดแรก และขดลวดชุดที่สองจะไม่มี การต่อวงจรไฟฟ้าเข้าด้วยกัน แต่การทำงานจะอาศัยวงจรของแม่เหล็กเท่านั้น และในการป้องกันไม่ให้ สักคาของไฟฟ้าในขดลวด ชุดที่สองสูงกว่าจึงต้องมีการต่อวงจรขดลวดทั้งสองให้ซ้อนกัน

2.9.2.1 หม้อแปลง ปกติจะเขียนเลขตัวอัตราส่วน เช่น 10:1, 50:1, 1:20 หม้อแปลงแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ²

1. หม้อแปลงแปลนขึ้น (Set up transformer) หม้อแปลงชนิดนี้แรงดันทางด้านทุติยภูมิ อัตราส่วนจำนวนรอบจะเป็น เช่น 1:20, 1:10 เป็นต้น

2. หม้อแปลงแบบแปลนลง (Set down transformer) หม้อแปลงชนิดนี้แรงดันทุติยภูมิจะต่ำกว่าปฐมภูมิจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิน้อยกว่าจำนวนรอบขดลวดปฐมภูมิ

2.9.2.2 ข้อควรจำเกี่ยวกับหม้อแปลงไฟฟ้า

1. หม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วยขดลวดสองชุด หม้อแปลงไฟฟ้าทำงานโดยหลักการเหนี่ยวนำขดลวดมีอยู่ 2 ชุด คือขดลวดปฐมภูมิ ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายแรงดันและขดลวดทุติยภูมิ ติดอยู่กับโหลด

¹ ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์, ทฤษฎีไฟฟ้าประยุกต์ (กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์กวีวรรณ, 2526), หน้า 142.

² ส่ง สุขदानนท์, ไฟฟ้าเบื้องต้น (กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จีเอ็ดยูเคชั่น, 2522), หน้า 144.

2. แกนหม้อแปลงไฟฟ้ามีทั้งแบบแกนเหล็ก แกนอากาศ และแกนเฟอร์ไรต์แต่ละชนิด เหมาะกับงานแต่ละชนิด เหมาะสมกับงานแต่ละอย่าง
3. แกนอากาศ สัมประสิทธิ์คัปปลิงต่ำกว่ามากมีค่า 0.65
4. หม้อแปลงแบบออโต้ เป็นหม้อแปลงที่ใช้ขดลวด 1 ชุด แบ่งส่วนให้เป็นขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ ในหม้อแปลงจะมีสาย 3 เส้น โฉลออกมาให้ต่อภายนอกมี อยู่สายหนึ่งเป็นสายร่วมระหว่างขดลวดทุติยภูมิ
5. ข้อเสียของหม้อแปลงแบบออโต้ คือ ไม่แยกวงจรระหว่างค่านปฐมภูมิและทุติยภูมิ
6. สูตรของหม้อแปลงไฟฟ้ามีดังนี้

$$V_1 = N_1, I_1 = N_2$$

$$V_2 = N_1, I_2 = N_1$$
7. หม้อแปลงไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ 100% หมายถึงกำลังที่ป้อนเข้าทางค่านปฐมภูมิจะเท่ากับงานที่จ่ายให้กับโหลดทางค่านทุติยภูมิ
8. เหตุที่หม้อแปลงไฟฟ้ามีประสิทธิภาพได้ถึง 100% เพราะมีความสูญเสียของพลังงานเกิดขึ้นในตัวหม้อแปลง ความสูญเสียนั้นได้แก่ ความสูญเสียทางฮิสเทรีซิส ความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน ความสูญเสียเนื่องจากการอิมตัวของแกนหม้อแปลง
9. กระแสไหลวน เป็นกระแสเหนี่ยวนำที่ไหลในแกนหม้อแปลงความสูญเสียเนื่องจาก กระแสไหลวนจะแปรเปลี่ยนไปในรูปของความร้อน ความสูญเสียนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อความอัดดันเป็นแกน ส่วนแกนหม้อแปลงที่ทำด้วยผลเหล็กอัดเป็นแท่งหรือสารเฟอร์ไรต์ความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนต่ำ
10. ถ้าขดลวดปฐมภูมิขาด สิ่งที่จะสังเกตพบในการใช้งานของหม้อแปลงก็คือไม่มีแรงดันเหนี่ยวนำเกิดขึ้นที่ขดลวดทุติยภูมิเลย

2.9.3 สายไฟฟ้ากับการเลือกใช้

สายไฟฟ้าใช้กันในบ้านทั่วไปจะเห็นกันอยู่ 2 ชนิด คือชนิด TW และ THW หรือถ้าดูจากตัวหนังสือที่พิมพ์อยู่ที่สายไฟจะเห็น

“TIS 11-2518 4 sq. mm 250 V 60 C PVD insulated” แต่ละตัวจะหมายถึง TIS ย่อมาจาก Thai industrial standard หรือมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) 11-2518 เป็นมาตรฐานของการผลิตสาย ซึ่งจะสามารถใช้กับสภาพการใช้งานไม่เกิน 250 โวลต์ 60 C PVC insulated เป็นการระบุว่าหุ้มด้วยฉนวนพีวีซี

ตามที่ได้กล่าวถึงในตอนแรกว่ามีสาย 2 ชนิด คือ TW และ THW นั้น เป็นมาตรฐานเดิมที่ใช้กันมาหลายสิบปี มาถึงตอนระยะสิบปีหลัง กระทรวงอุตสาหกรรมได้ออกมาตรฐานควบคุมการผลิตสายไฟ จึงเปลี่ยนจากการจำแนกสายใหม่ โดยการใช้มาตรฐาน TIS แล้วระบุสภาพการใช้งานลงไปซึ่งได้ดังนี้

สาย TW คือสายที่มีสภาพการใช้งานไม่เกิน 250 V 60C
และสาย THW คือสายที่มีสภาพการใช้งานไม่เกิน 750 V 75 C

2.9.3.1 ข้อแตกต่างระหว่างสายไฟ TW และ THW

- 1) สภาพการใช้งานสูงสุดไม่เท่ากันสาย TW จะใช้ได้เฉพาะวงจร 1 เฟส ส่วนสาย THW สามารถใช้ได้กับวงจร 3 เฟส
- 2) สาย THW จะมีฉนวนพีวีซีหนากว่า TW จึงสามารถรับกระแสไฟฟ้าใช้งานได้มากกว่าเมื่อเทียบขนาดที่เท่ากัน
- 3) สาย THW จะแพงกว่า TW เล็กน้อย

ตารางที่ 6

ข้อเปรียบเทียบระหว่างสายไฟฟ้าที่มีตัวนำเป็นน้ำเป็นทองแดงกับอลูมิเนียม

คุณสมบัติ	ทองแดง	อลูมิเนียม
การนำไฟฟ้า	ดีกว่า	เลวกว่า
น้ำหนัก	หนักกว่า	เบากว่า
ราคา	แพงกว่า	ถูกกว่า
ทนต่อการล้าตัว	ทนได้ดีกว่า	ทนได้ไม่ดี
การติดตั้ง	ยากกว่า	ง่ายกว่า

สายไฟฟ้าขนาดใหญ่ นั้น โดยส่วนมากจะใช้ตัวนำเป็นอลูมิเนียม เพราะมีน้ำหนักเบาและมีราคาถูกกว่าทองแดง

2.9.3.2 การเลือกใช้สายไฟฟ้า

สายไฟฟ้านั้นมีอยู่หลายประเภทด้วยกัน ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องเลือกใช้ให้ได้ขนาดที่เหมาะสมกับงานและให้มีราคาประหยัด แต่ข้อสำคัญคือต้องมีขนาดใหญ่พอสำหรับกระแสไฟฟ้าที่จะใช้ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนที่สาย ซึ่งสายจะทำให้กระแสไฟฟ้าเกิดการลัดวงจร (ไฟฟ้าชอร์ต) ซึ่งอาจจะทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3.3 การหาขนาดของสายไฟฟ้า

การคิดขนาดของสายไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยจะสามารถหาได้จาก “ค่าของกระแสไฟฟ้า (I) และนำค่าที่ได้ไปเทียบกับตารางของสายไฟฟ้า

จากสูตร $P = IE$ or $I = P/E$

โดย P = กำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)

I = กระแสไฟฟ้าที่ใช้งาน มีหน่วยเป็น แอมป์ (Amp)

E = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใช้งาน มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

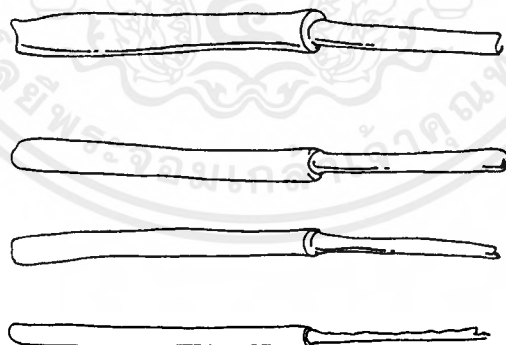
2.9.3.4 ชนิดของสายไฟ

สายไฟโดยทั่วไปมีอยู่ 2 แบบใหญ่ๆ คือ

1) สายตัน (Solid Conductor) เป็นสายเส้นเดียว อาจเป็นทองแดงหรืออลูมิเนียมก็ได้ มีเพียงเส้นเดียว แข็งดัดให้งอลำบาก

ภาพที่ 88

แสดงลักษณะของสายตัน

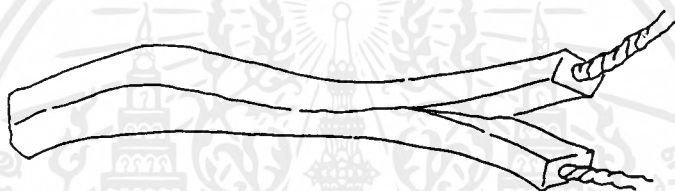


2) สายเกลียว (Stranded Conductor) ประกอบด้วยสายเส้นเดี่ยวหลายๆ เส้น ดีเป็นเกลียวเข้าด้วยกัน มีคุณสมบัติอ่อนตัวง่าย

ลักษณะของสายไฟที่ใช้ตามบ้านทั่วไป
สำหรับดวงโคม เป็นสายแบบย่อยๆ หลายเส้น เพื่อต้องการให้ยึดหยุ่นอ่อนตัวได้ง่าย ใช้ฉนวนพวกเทอร์โมพลาสติกหุ้ม

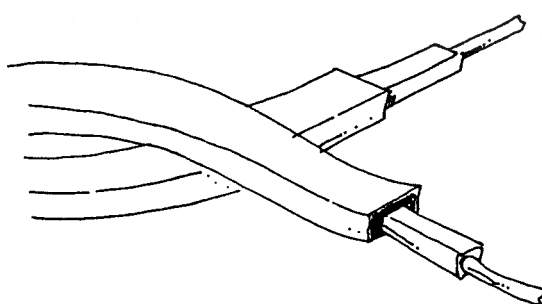
ภาพที่ 89

แสดงสายไฟสำหรับดวงโคม แบบแบน



ภาพที่ 90

แสดงสายไฟสำหรับดวงโคม แบบเกลียว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายไฟสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ให้ความร้อน เช่น เตารีด เครื่องปิ้งขนมปัง เตาเผา มักจะมีเอสเบสทอหุ้มรอบ ๆ ภายนอกของสายจะมีด้ายถักหุ้มไว้อีกชั้นหนึ่ง

ภาพที่ 91

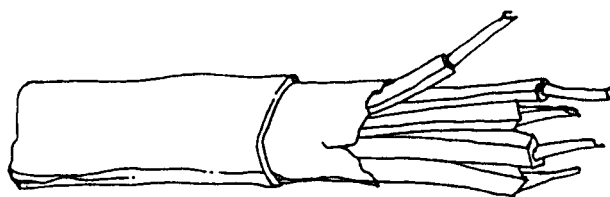
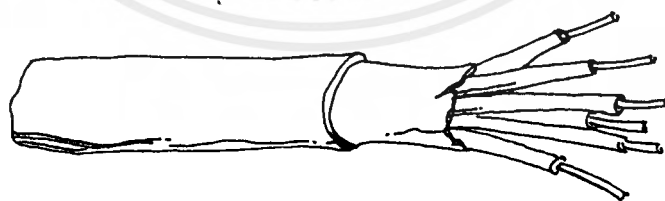
แสดงสายไฟสำหรับอุปกรณ์ประเภทให้ความร้อน



สายไฟสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทให้กำลังงาน เป็นสายอ่อนที่นำต่อใช้พวคมอเตอร์ขนาดใหญ่ ซึ่งใช้งานหนักกับกระแสแรง ต้องเป็นสายโค เพื่อป้องกันมิให้เกิดความร้อน

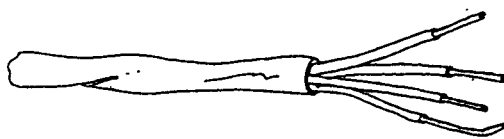
ภาพที่ 92

แสดงสายไฟสำหรับเครื่องกลหนัก

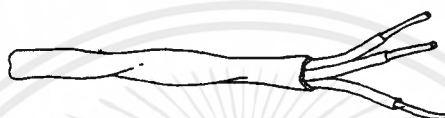


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ๑๓
สายไฟแบบอื่นๆ ที่ใช้ทั่วไป



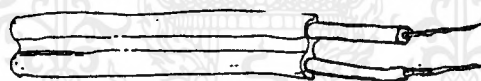
สายควบคุมอุณหภูมิชนิด 4 แกบ



สายควบคุมอุณหภูมิชนิด 3 แกบ



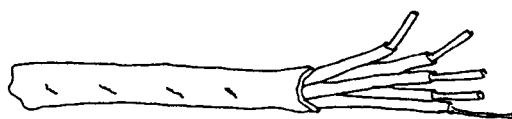
สายควบคุมอุณหภูมิชนิด 2 แกบ



สายสำหรับ T.V.



สายสำหรับ T.V.



สายโทรศัพท์



สายไมโครโฟน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 94
แสดงสายไฟที่ใช้งานประเภทต่างๆ



สายลําโพง



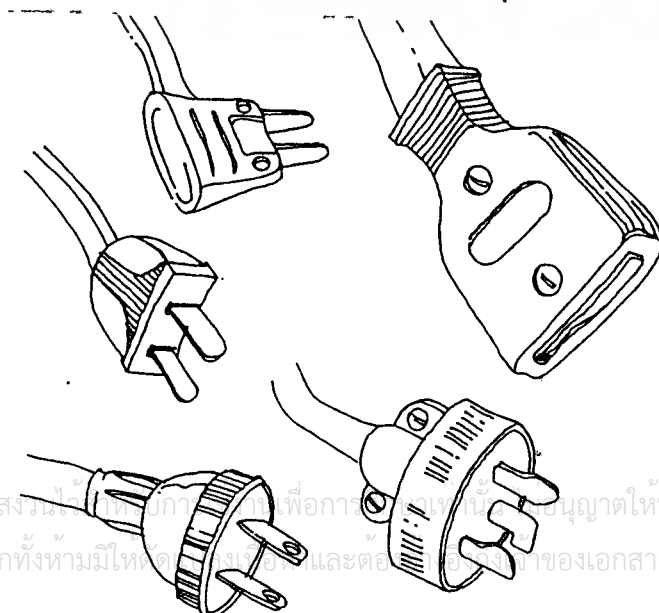
สายเอาบ



สายสำหรับเครื่องดูดฝุ่น

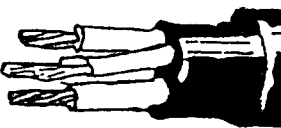
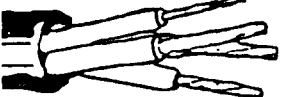
หมายเหตุ การเลือกสายชนิดใด ประเภทใดต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับสภาพเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นด้วย โดยมีสิ่งที่จะต้องคำนึงเกี่ยวกับสายแรงดันไฟฟ้าเท่าใด กระแสไฟฟ้าเท่าใดอุณหภูมิเท่าใด สภาพบรรยากาศเป็นอย่างไร

ภาพที่ 95
แสดงปลั๊กใช้งานแบบต่างๆ



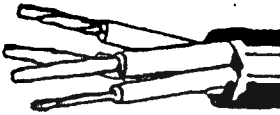
ชนิดและการใช้สายไฟ 1

ตารางที่ 7
แสดงชนิดของสายไฟเกลียว และการใช้งาน

	Type Letter	Voltage Rating	Max. Conductor Temp.	Standard	ใช้กับงาน
	HV	250v	60°C	TIS 11-2518	ใช้กับงานทั่วไป ในที่แห้งและที่เปียก
	HIV		75°C		
	TW	750v	60°C	TIS 11-2518	ใช้กับงานทั่วไป ในที่แห้งและที่เปียก
	THW		75°C		
	VAF	250v	60°C	TIS 11-2518	ใช้เดินเกาะผนัง
	HVAF		75°C		
	VAF-G	250	60°C	TIS 11-2518	ใช้เดินเกาะผนัง และมีระบบกราวด์
	HVAF-G		75°C		
	VVF	750v	60°C	TIS 11-2518	ใช้เดินเกาะผนัง
	Type B		75°C		
	NM	750v	60°C	TIS 11-2518	ใช้เดินเกาะผนัง และมีระบบกราวด์
	Type B-C		75°C		
	NYY	750v	60°C	TIS 11-2518	ใช้กับงานฝังดิน ไม่ร้อยท่อ
	Type C		75°C		
	NYY-N	750	60°C	TIS 11-2518	ใช้กับงานฝังดินหรือ งานไม่ร้อยท่อใน ระบบ 3 เฟส 4 สาย
	Type C-N		75°C		
	NYY-G	750v	60°C	TIS 11-2518	ใช้กับงานฝังดินหรือ งานไม่ร้อยท่อพร้อม ระบบกราวด์
	Type C-G		75°C		
	VCT	750v	60°C	TIS 11-2518	ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ เคลื่อนไหว
	HVCT		75°C		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 (ต่อ)

	Type Letter	Voltage Rating	Max. Conductor Temp.	Standard	ใช้กับงาน
	VCT-G	750v	60°C	TIS 11-2518	ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เคลื่อนไหวพร้อมระบบกราวด์
	HVCT-G		75°C		
	VAFF	250v	60°C	TIS 11-2518	ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เคลื่อนไหว
	HVAFF		75°C		
	VFF	250v	60°C	TIS 11-2518	ใช้กับเครื่องใช้เล็กๆ
	HVFF		75°C		
	VFF-G	250	60°C	TIS 11-2518	ใช้กับเครื่องใช้เล็กๆพร้อมทั้งระบบกราวด์
	HVFF-G		75°C		
	VTF	250v	60°C	TIS 11-2518	ใช้กับอุปกรณ์เครื่องใช้เล็กๆ
	HVTF		75°C		

2.10 สีกับการออกแบบ

โดยทั่วไปแล้วการออกแบบผลิตภัณฑ์ใด ๆ ก็ตามจะมองข้ามในเรื่องนี้ไม่ได้เป็นอันขาด เพราะเป็นสิ่งจำเป็นมากต่อผลการออกแบบ ความรู้สึกของผู้พบเห็นความสวยงาม นอกจากนี้ยังสามารถเตือนผู้ใช้ให้ระวังในส่วนที่จะเป็นอันตรายได้อีกด้วย

2.10.1 MUNSEL สามารถแบ่งสีเป็น 2 ประเภทคือ สีร้อนและสีเย็น

- 1) สีร้อน คือ สีที่ดูความรู้สึก (ADVANCING COLOUR) มีความรู้สึกสะดุดตา เมื่อมองไกลเป็นสีที่ให้ความกระชุ่มกระชวย
- 2) สีเย็น คือ สีที่ไม่ดึงดูดความรู้สึก ไม่สะดุดตา ให้ความรู้สึกสบาย ๆ มองได้นาน ๆ โดยไม่ระคายเคือง

การเลือกสีกับผลิตภัณฑ์ นอกจากต้องการความสวยงาม สียังมีอิทธิพลในการทำให้เกิดความรู้สึกทางด้านอื่น ซึ่งเป็นผลต่อการใช้ผลิตภัณฑ์อยู่มาก

2.10.2 อิทธิพลของสีที่มีต่อความรู้สึก

ต่อไปนี้เป็นลักษณะของสีเกี่ยวกับความรู้สึก โดยแบ่งสีออกเป็นสกุลใหญ่ ๆ คือ

สีแดง จัดอยู่ในพวกสีร้อน ไม่เพียงแต่ให้ความรู้สึกตื่นเต้น เร้าใจ ในทางโบราณถือว่าเป็นสีที่เกี่ยวข้องกับอันตราย เป็นสีต้องห้าม การระมัดระวัง การใช้พวกสกุลสีแดงสำหรับผลิตภัณฑ์เด่นขึ้นมาได้ แต่ถ้าใช้มากเกินไปอีกใช้สีสดใสก็จะมีผลทางจิตวิทยาได้เช่นกัน

สีส้ม เป็นสีสดใส มองเห็นได้ไกล แสดงความรู้สึกเตือนภัยอยู่ตลอดเวลา เมื่อใช้กับผลิตภัณฑ์เด่น ทำให้เกิดความรู้สึกสะอาด ดูเบาขึ้น

สีเหลือง เป็นสีที่อยู่ได้ทั้ง 2 วรรณะ คือสามารถเป็นไปได้ทั้งสีร้อนและสีเย็น แต่ขึ้นอยู่กับความเข้ม และความแรงของสี สีเหลืองโดยทั่วไปทำให้เกิดความรู้สึกสดชื่น ร่าเริง สดใส สีเหลืองอ่อนทำให้เกิดความรู้สึกสะอาด มีความสว่าง แต่ถ้ามีความเข้มของสีมาก จะทำให้เกิดหงุดหงิดได้ สีเหลืองที่ค่อนข้างไปทางสีส้ม จะคล้ายของเล่นทางวิทยาศาสตร์สมัยใหม่

สีเหลืองนวล (BUTTER YELLOW) ทำให้ผลิตภัณฑ์ดูสว่างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีเหลืองขาว ช่วยในด้านความเย็น แต่อย่างไรก็ตาม สีเหลืองทำให้รู้สึกสกปรกง่าย แต่ถ้าเบรคสีเล็กน้อย ก็จะทำให้ช่วยได้บ้าง แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ด้วย

สีม่วง เป็นสีที่อยู่ได้ทั้ง 2 วรรณะเช่นกัน โดยทั่วไปให้ความรู้สึกเศร้า ทำให้วัง บางครั้งอาจแสดงว่าเป็นสีแห่งความเศร้า ลึกลับ แต่สีม่วงก็ยังมีลักษณะของความงาม ทำให้ดูมีค่าได้ ด้วย เช่น สีม่วงอ่อน

สีน้ำเงิน จัดอยู่ในพวกสีเย็น สีน้ำเงินเข้มทำให้ความรู้สึกสดสงบ ลึกลับ ทำให้เกิดสมาธิ เป็นสีที่บอกถึงความสุภาพ ความหนักแน่น สีน้ำเงินอ่อน เช่น สีน้ำทะเล หรือฟ้า จะมีความสดใส ถ้าอมเขียวเล็กน้อย สามารถให้ความรู้สึกตื่นเต้นได้

สีเขียว ให้ความรู้สึกสดชื่นกระชุ่มกระชวย ให้พักสายตาได้ สีเขียวใบไม้หรือเขียวเข้าใช้ในการเน้นส่วนพื้นหรือฐาน แสดงถึงความสงบเยือกเย็นได้

สีน้ำตาล จัดอยู่ในพวกสีอุ่น เป็นสีที่ให้ความรู้สึกแห้งแล้ง ไม่ให้ความพักผ่อน ถ้าใช้โดด ๆ จะทำให้เกิดความรู้สึกสลดหดหู่ใจ

สีเทา ให้ความรู้สึกภูมิฐาน เคร่งขรึม สุภาพเรียบร้อย สามารถลดความลึกของสีขาว และความลึกกลับของสีดำ สามารถใช้เป็นสื่อกลางได้กับทุกสี เพราะสามารถทำให้เกิดความกลมกลืนระหว่างสีอื่นดูสบายตา

สีดำ โดยปกติสีดำ เป็นสีที่ให้ความรู้สึกหดหู่ ลึกลับ แต่ให้ความรู้สึกหนักแน่นมั่นคง การใช้สีดำกับขาวในพื้นที่ร่วมกับสีอื่น จะทำให้เกิดความกระปรี้กระเปร่ามีชีวิตชีวา ถ้าใช้สีดำ ผลลัพท์จะแสดงให้เห็นว่าผลลัพท์มีความแข็งแรง และไม่สกปรกง่าย

สีขาว ให้ความรู้สึกสะอาดบริสุทธิ์ ถ้าใช้โดดเดียวจะให้ความรู้สึกเย็น สามารถใช้เป็นสีของฐานหรือส่วนที่อยู่ต่ำกว่า เพื่อนั่นให้เด่นชัดขึ้น

สีที่กล่าว ๑ แล้วนี้ เป็นสีทางด้านความงามที่เราตกแต่งลงบนผิววัสดุ แต่ยังมีสีที่ควรรู้นั้นคือ สีของวัสดุต่าง ๆ ที่ให้ความรู้สึกของมันออกมา เช่น สีของอะลูมิเนียม จะออกเป็นสีเทาเงิน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งแสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะของตัวมันเอง อันได้แก่ความอ่อนนุ่ม ความเรียบเบา และไม่เป็นอันตราย

2.10.3 อิทธิพลของสีที่มีต่อผลิตภัณฑ์

ทางด้านขนาด

สีอ่อน (LIGHT VALUE)

สีเข้ม (DARK VALUE)

ทางด้านน้ำหนัก

สีอ่อนหรือสีร้อน (WARM VALUE) ทำให้ผลิตภัณฑ์แลดูเบา

สีเย็นหรือสีเย็น (COOL VALUE) ทำให้ผลิตภัณฑ์แลดูหนัก

ทางด้านความแข็งแรง

สีร้อน ทำให้เกิดความรู้สึกว่าแข็งแรงมาก

สีเย็น ทำให้เกิดความรู้สึกว่าแข็งแรงน้อย

ทางด้านความสะอาด

สีขาว เป็นสีที่ให้ความรู้สึกสะอาดที่สุด

สีอ่อน หรือสีงาช้าง (LOORY) สีเหลือง

สีฟ้าอ่อน (PLATE BLUE) และสีเขียวอ่อน

ทำให้ความรู้สึกนุ่มนวล สะอาดตา ถูกลักษณะ

2.10.4 สีวัตถุได้แสงสี

ดังกล่าวมาแล้วว่า สีของวัตถุเกิดจากสะท้อนกลับของแสงคลื่นความถี่ต่าง ๆ กัน แต่ถ้าวัตถุนั้นอยู่ภายใต้แสงที่มีความถี่เฉพาะ คือ ในช่วงใดช่วงหนึ่ง เช่น แสงสีแดง เป็นต้น สีของวัตถุนั้นก็จะเปลี่ยนไปจากความเป็นจริง เมื่อวัตถุนั้นอยู่ภายใต้แสงที่มีช่วงคลื่นครบทุกขนาดของความถี่ วัตถุอันหนึ่งภายใต้แสงอาทิตย์อาจปรากฏเป็นสีเขียวขี้ม้า ดังนั้น เราจึงต้องทราบถึงอิทธิพลของการผสมสีของแสงด้วย ภายใต้แสงไฟฟ้าที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้น (แสงเทียน) ก็ทำให้สีของวัตถุเปลี่ยนไป ทั้งนี้เพราะหลอดไฟฟ้ากำเนิดแสงแต่ละชนิด เช่น หลอดนีออน หลอดทังสเตน หลอดฟลูออรีเซน หลอดโซเดียม ต่างก็เปล่งแสงสว่างในความถี่ไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8

แสดงการสะท้อนของแสงและสีต่าง ๆ

สี	สะท้อนแสงได้ร้อยละ	สี	สะท้อนแสงได้ร้อยละ
ขาว	80-90	ฟ้า	35.50
งาช้าง	70-80	เขียวอ่อน	25.50
ครีม	65-75	เขียวแก่	15-25
ชมพูอมม่วง	60-65	เขียวหยก	41.0
ชมพู	40-70	น้ำเงินแก่	10-20
เนื้อ	56.0	น้ำเงินอ่อน	45.5
เหลือง	65.0	น้ำตาล	8-12
เหลืองอมน้ำตาล	55-65	แดง	15.25
เทา	35-50	แดงเข้ม	7.0
เทาอ่อน	53-60	ดำ	2-5

2.10.5 สีของแสง

สีของแสง มีความสำคัญมากในการมองของตา มักจะทำให้เกิดความชัดเจนหรือหลอกลวง ทำให้เกิดอารมณ์ต่าง ๆ ความเครียดหรือนุ่มนวลและความรู้สึก

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (ELECTROMAGNETIC) ช่วงหนึ่งที่ประสาทตาของมนุษย์รับรู้ ช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้อยู่ในความถี่ระหว่าง 3,800 องศา - 7,500 องศา (อังสตรอม-ยูนิต) ที่แตกต่างกันและรวมกันเป็นสีขาว ความถี่คลื่นที่อยู่ต่ำลงไปมนุษย์มองไม่เห็น คือ (ULTRAVIOLET-RAY) และความถี่คลื่นที่อยู่สูงขึ้นไป คือ (INFRAED-RAY) ซึ่งตามองไม่เห็นเช่นกัน แต่จะมีความสัมพันธ์กับตาของสัตว์จำพวกแมลง ซึ่งเราใช้แสงที่เกิดจากรังสีอัลตราไวโอเลต (ULTRAVIOLET-RAY) ในการล่อแมลง

2.10.6 ข้อแนะนำในการใช้สี

1) การใช้สีคล้อยไปกับสิ่งแวดล้อม ผู้ใช้จะต้องคิดว่าสิ่งที่ใช้นั้น กลมกลืนหรือแตกต่างกับสิ่งแวดล้อม เช่น ภูมิประเทศ ดินฟ้าอากาศ อาคารบ้านเรือนข้างเคียง เป็นต้น ถ้าใช้สีเหมือนธรรมชาติมากเกินไปทำให้มองไม่เห็นเด่นออกมา และถ้าหากใช้สีแตกต่างกับสีธรรมชาติมากเกินไป ก็ทำให้เกิดความไม่น่าดูไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การใช้สีให้คล้อยตามวัสดุ เช่น ถ้าสีของวัสดุนั้นมีความเหมาะสมกับสภาพต่าง ๆ แล้ว ก็ควรจะใช้สีของวัสดุนั้นโดยไม่ต้องทำสีเพิ่ม หรือทำสีปิดทับ

3) ควรใช้สีตามประโยชน์ใช้สอย การให้สีที่ดีจะเป็นการบอกลักษณะประโยชน์ใช้สอยของมันเสร็จ เช่น สีขาวที่ช่วยให้การสะท้อนแสงสว่าง สีดำหรือสีเทา เพื่อลดความสกปรกของชิ้นงาน สีฟ้า เพื่อความสะอาด สีเขียว เพื่อความสบายตา เป็นต้น

ข้อมูลเกี่ยวกับ บริษัท คงศักดิ์ เอ็กซเรย์การแพทย์อุตสาหกรรม จำกัด¹
มีแผนกต่าง ๆ 6 แผนกในโรงงาน คือ

1. แผนกเหล็ก เป็นกระบวนการผลิตเกี่ยวกับคอนโทรลเอ็กซเรย์ และไฟแรงสูงของเอ็กซเรย์
2. แผนกเตียง จะผลิตตัวบัคกี้ และอุปกรณ์ที่ทำให้ภาพชัด
3. แผนกเสาเอ็กซเรย์ผลิตทั้งแบบตั้งและแบบนอน
4. แผนกควายรังคอนโทรล เป็นการประกอบไฟแรงสูงและหัวหลอดเอ็กซเรย์คอลลิเมเตอร์ เพื่อกำจัดและกระจายของเอ็กซเรย์
5. แผนกปริทสซ์ เซอร์กิตบอร์ด
6. แผนกวิจัย

¹ คงศักดิ์ ตติยานุกูล , ประวัติบริษัทคงศักดิ์ เอ็กซเรย์การแพทย์อุตสาหกรรม จำกัด
(กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์บางมด , 2522) , หน้า 1-3

ภาพที่ 96

แสดงใบสำคัญแสดงการจดทะเบียนบริษัท



ภาพที่ 97

แสดงการทำงานในแผนกเหล็ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 98
แสดงการทำงานในแผนกเหล็ก



ภาพที่ 99
แสดงการทำงานในแผนกเตียง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 100
แสดงการทำงานในแผนกเตียง



ภาพที่ 101
แสดงการทำงานในแผนกเสาเอ็กซเรย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 102
แสดงการทำงานในแผนกเสาเอ็กซเรย์



ภาพที่ 103
แสดงการทำงานในแผนกวางรีงคอนโทรล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 104

แสดงการทำงานในแผนกวางรีงคอนโทรล



ภาพที่ 105

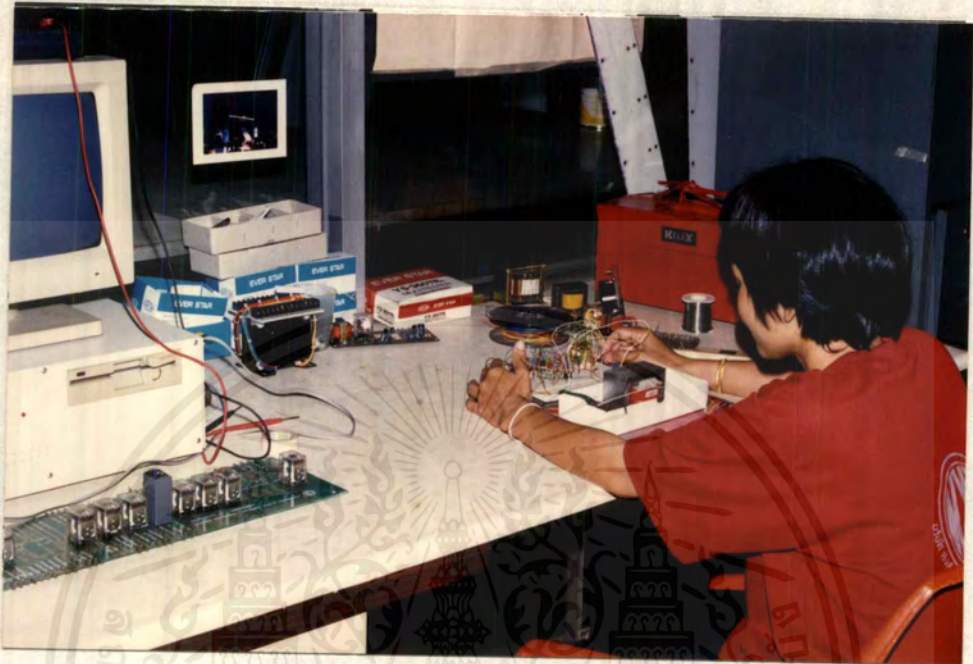
แสดงการทำงานในแผนกปริทซ์เซอร์กิตบอร์ด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 106

แสดงการทำงานในแผนกปริทซ์เซอร์กิตบอร์ด



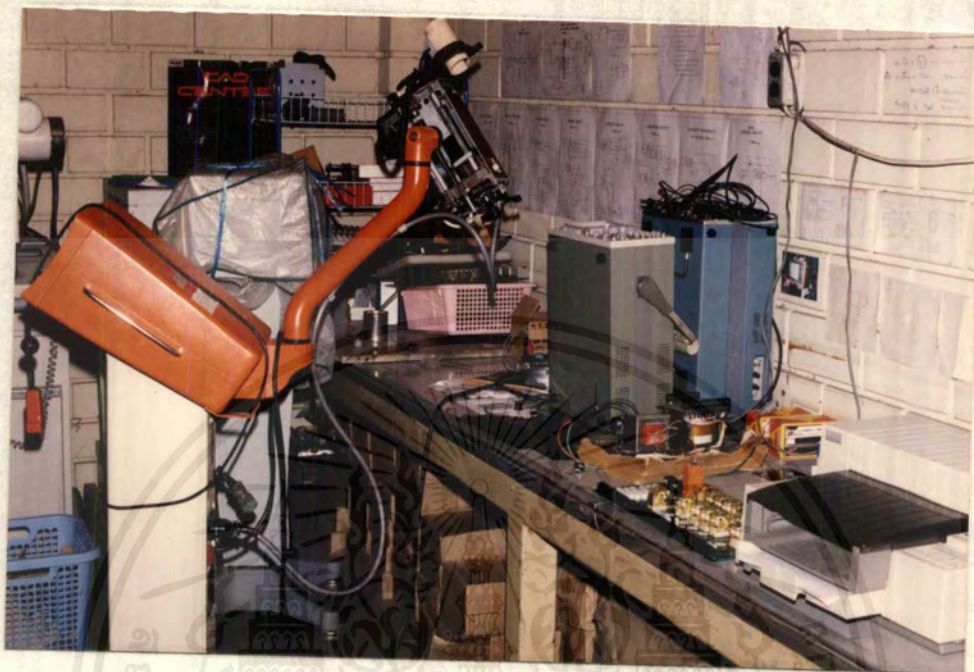
ภาพที่ 107

แสดงการทำงานในแผนกวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 108
แสดงการทำงานในแผนกวิจัย



ภาพที่ 109
แสดงการตกแต่งชิ้นงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 110
แสดงการตกแต่งชิ้นงาน



ภาพที่ 111
แสดงการตกแต่งชิ้นงาน (พนัสนิ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 112
แสดงการตกแต่งชิ้นงาน (พนัสนิ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

วิธีการสำรวจและรวบรวมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย ถือเป็นข้อมูลพื้นฐานที่นำมาศึกษา วิเคราะห์และสรุปเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องเอ็กซเรย์รุ่น LOW ENERGY X-RAY KS 01 บริษัท กงศักดิ์เอ็กซเรย์การแพทย์อุตสาหกรรม จำกัด ตามขั้นตอน มีวิธีการสำรวจ เพื่อรวบรวมข้อมูล 3 วิธีดังนี้

1. การศึกษาเชิงเอกสาร
2. การสัมภาษณ์
3. การศึกษาจากของจริง

3.1 การศึกษาเชิงเอกสาร ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารวิทยานิพนธ์ หนังสือสิ่งพิมพ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาเป็นข้อมูลอ้างอิง และสนับสนุนข้อมูลให้มีความเป็นไปได้ ในการออกแบบโดยจัดจำแนกข้อมูลที่จะศึกษาดังต่อไปนี้

- การศึกษาเกี่ยวกับรังสี
- การศึกษาเกี่ยวกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานผลิตภัณฑ์
- การศึกษาพฤติกรรมการใช้งาน
- การศึกษาเกี่ยวกับปลา
- ขนาดสัดส่วนที่เกี่ยวข้องในการออกแบบ
- การทำงานของเครื่องเอ็กซเรย์
- วัสดุและกรรมวิธีการผลิต
- จิตวิทยาการใช้สีและกราฟฟิค

3.1.1 การสัมภาษณ์ ในการดำเนินการรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์ ก็ได้จำแนกกลุ่มของผู้ที่จะทำการสัมภาษณ์ออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่

กลุ่มผู้บริโภค คือ ผู้ที่มีอำนาจในการซื้อหรือผู้ใช้งานเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ หรือผู้บริโภคที่จะทำให้ได้มาถึงข้อมูลด้านพฤติกรรมการใช้งาน ตลอดจนถึงปัญหาต่าง ๆ เพื่อนำมาแก้ไขปรับปรุงเพื่อสอดคล้องกับการใช้งานและความต้องการได้อย่างเหมาะสม

กลุ่มผู้ผลิต หมายถึง บุคคลที่เกี่ยวข้องในการผลิตจำหน่ายเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะทำการรวบรวมข้อมูลด้านวัสดุและกรรมวิธีการผลิต ต้นทุน ราคาการจำหน่ายและความต้องการของตลาด เป็นต้น

ผู้เชี่ยวชาญ หมายถึง ผู้ที่มีความรู้ในเรื่องอันเกี่ยวข้องต่อการวิเคราะห์วิจัยข้อมูลเกี่ยวกับการใช้งานเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ ในการสัมภาษณ์จะทำให้ได้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานเครื่องอิเล็กทรอนิกส์และเครื่องอิเล็กทรอนิกส์

3.1.2 การศึกษาจากของจริง ในการศึกษาจากของจริง จากผลิตภัณฑ์เดิมที่มีอยู่ ผู้วิจัยได้เข้าไปมีส่วนร่วมเพื่อสำรวจ และรวบรวมข้อมูลบางอย่างด้วยตัวเอง ทั้งจากการสังเกตและเข้าไปร่วมในการสังเกตพฤติกรรมของผู้บริโภค

3.2 แหล่งที่มาของข้อมูล

- บริษัททงศักดิ์อิเล็กทรอนิกส์การแพทย์อุตสาหกรรมจำกัด
- กรมประมง
- คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สมาคมรังสีเทคนิคแห่งประเทศไทย
- บริษัทซอฟต์แวร์แห่งประเทศไทยจำกัด
- ห้องสมุดมหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์
- ห้องสมุดสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บุคคล

- นักวิชาการ กรมประมง
- นักวิชาการสิ่งแวดล้อม กรมประมง
- นักวิชาการ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- นักวิชาการ สมาคมรังสีเทคนิคแห่งประเทศไทย
- นักวิชาการ บริษัททงศักดิ์ อิเล็กทรอนิกส์การแพทย์อุตสาหกรรม จำกัด
- นายช่างเทคนิคบริษัททงศักดิ์ อิเล็กทรอนิกส์การแพทย์อุตสาหกรรม จำกัด
- ฝ่ายการตลาดบริษัทซอฟต์แวร์แห่งประเทศไทย จำกัด
- นักรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยมหิดล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

- สิ่งพิมพ์จากสมาคมรังสีเทคนิคแห่งประเทศไทย
- สิ่งพิมพ์และเอกสารจากคณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- หนังสืออ้างอิง และวิทยานิพนธ์ ห้องสมุด คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

อุตสาหกรรม และห้องสมุดกลาง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ห้องสมุดกลางจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การดำเนินการทำวิทยานิพนธ์

1. การกำหนดปัญหาเกี่ยวกับเครื่องอิเล็กทรอนิกส์เพื่อการพัฒนา และปรับปรุงการออกแบบ
2. การกำหนดวัตถุประสงค์ แนวทางการแก้ปัญหา ขอบเขตการวิจัยวิธีดำเนินงานและ

ผลที่ได้รับ

3. การศึกษา ค้นคว้า การรวบรวมเรียบเรียงข้อมูล สรุปข้อมูล

- อุปกรณ์ที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล

1. อุปกรณ์จัดบันทึกและแบบสอบถาม
2. เทปบันทึกเสียง
3. กล้องบันทึกภาพ
4. การวิเคราะห์ และสรุปข้อมูลเพื่อการออกแบบ
5. การสรุปผลการวิจัยและเสนอแนะ

ดังจะแสดงเป็นแผนผังการดำเนินการดังนี้

การสรุปและการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

ขั้นตอนการดำเนินการทำวิทยานิพนธ์

การกำหนดปัญหา

การกำหนดวัตถุประสงค์

แนวทางแก้ปัญหา

ขอบเขตการออกแบบ

ขอบเขตการศึกษาข้อมูล

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

วิธีการดำเนินการศึกษาข้อมูล

การศึกษาและรวบรวมข้อมูล

- การศึกษาเชิงเอกสาร

- ข้อมูลพื้นฐาน

- การสัมภาษณ์

- ข้อมูลวัสดุและกรรมวิธีการผลิต

- การใช้แบบสอบถาม

- ข้อมูลการออกแบบ

- การศึกษาจากของจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบ

การวิเคราะห์และสรุปข้อมูลเพื่อการออกแบบ

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| - แนวทางการออกแบบ | - รูปแบบ |
| - การทำแบบร่าง | - สี และกราฟฟิก |
| - พัฒนาแบบ | - ขนาดสัดส่วน |
| - เขียนแบบร่าง | - เงื่อนไขในการใช้งาน |
| - ทดลองทำหุ่นจำลองแบบ | - ผิวสัมผัส |
| - ปรับปรุงแก้ไขแบบจริง | - จุดต่อระบบการทำงาน |
| - ทำค้นแบบ | - ส่วนประกอบอื่น ๆ |
| - นำเสนอผลงาน | |

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย¹ 1. แบบสอบถาม คือข้อคำถามทั้งหลายที่รวมกันเข้าเป็นชุดๆ ซึ่งพิจารณาตามความหมายนี้ย่อมหมายถึงแบบทดสอบ แบบสัมภาษณ์ แบบสำรวจ และแบบตรวจสอบ รวมทั้งมาตราส่วนประมาณค่า แบบสอบถามส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของคำถามเป็นชุด ๆ แต่ละชุดวัดกลุ่มกิจกรรมหรือพฤติกรรมกลุ่มเดียวกัน ที่กำหนดขึ้นหรือที่ต้องการวัด ตัวคำถามจะกระตุ้นแรงจูงใจให้บุคคลแสดงพฤติกรรมต่าง ๆ ที่ได้ออกมาเป็นปริมาณได้ ถ้าจะเขียนเป็นสูตรก็อาจเขียนได้ดังนี้

$$Q = \sum_{i=1}^n I_i = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

$$= (S_1 + R_1) + (S_2 + R_2) \dots (S_n + R_n)$$

Q คือ แบบสอบถาม

I คือ ข้อคำถาม

S คือ ประโยคคำถามหรือข้อความ

R คือ กลุ่มของข้อความที่เป็นคำตอบ

n คือ จำนวนข้อความ

ในการหาค่าทางสถิติเบื้องต้นใช้การหาฐานนิยม (MODE)

ฐานนิยม คือ คะแนนที่มีความถี่สูงสุดในข้อมูลชุดหนึ่ง ๆ

¹ วิเชียร เกตุสิงห์, หลักการสร้างและวิเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย (กรุงเทพฯ : สนพ.

เรือนอักษร , 2532) , หน้า 79 - 105

วิธีหาฐานนิยมมี 3 วิธีคือ

- 1. คะแนนดิบหรือคะแนนที่ไม่ได้จัดเป็นหมวดหมู่
ฐานนิยมคือ คะแนนที่ซ้ำกันมากที่สุด
- 2. คะแนนที่เป็นหมวดหมู่
ฐานนิยมคือ จุดกลางของคะแนนในชั้นที่มีความถี่สูงสุด
- 3. ใช้สูตร

$Mo = 3Mdn - 2M$

เมื่อ Mo = ฐานนิยม

Mdn = มัธยฐาน

$M = X$ = มัชฌิมเลขคณิต

สรุปผลงานการออกแบบ

ข้อเสนอแนะ

3.3 การศึกษาข้อมูล

3.3.1 กรมประมง

ตามพระราชกฤษฎีกาแบ่งส่วนราชการกรมประมง ได้แบ่งส่วนราชการออกเป็นดังนี้

ราชการบริหารส่วนกลาง

สำนักงานเลขานุการกรม

กองคลัง

กองคุ้มครองและส่งเสริม

กองประมงน้ำจืด

กองประมงน้ำกร่อย

กองประมงทะเล

กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

กองสำรวจแหล่งประมง

ราชการบริหารส่วนภูมิภาค

สำนักงานประมงจังหวัด

สำนักงานประมงอำเภอ

ราชการกรมประมงทั้งราชการบริหารส่วนกลางและราชการบริหารส่วนภูมิภาคนั้น
จำแนกรายละเอียดได้ดังนี้

ราชการบริหารส่วนกลาง

สำนักเลขานุการกรม มีหน้าที่และความรับผิดชอบเกี่ยวกับการบริหารงานเลขานุการ
กรมและการจัดงานธุรการ การบริหารบุคคล งานสถิติการประมง งานเศรษฐกิจ การประมงและ
แผนงาน

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้ตารางวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เกณฑ์ตัวเลขเป็นมาตรฐานดังนี้

1. ไม่เหมาะสมที่สุด
2. ไม่เหมาะสม
3. เหมาะสม
4. เหมาะสมมาก
5. เหมาะสมมากที่สุด

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการทำวิทยานิพนธ์เกี่ยวกับเครื่องเอกซเรย์ รุ่น LOW ENERGY X-RAY
KS 01 บริษัทคงศักดิ์เอกซเรย์การแพทย์อุตสาหกรรมจำกัด ผู้วิจัยได้นำเอาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
ต่างๆ

ในงานวิจัยมาสรุปและวิเคราะห์เพื่อใช้ในการออกแบบดังต่อไปนี้

4.1 การนำแบบสอบถามและการสัมภาษณ์ไปใช้ในการสำรวจความเห็นเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องเอกซเรย์มีผลดังนี้

การนำแบบสอบถามไปใช้ในการสำรวจความคิดเห็นจากผู้ที่เป็นตัวแทนในการ
หาข้อมูลจาก

1. บุคคลผู้เกี่ยวข้องในการออกแบบเครื่องเอกซเรย์

คุณ คงศักดิ์ ตติยานุกุล

2. บุคคลผู้เกี่ยวข้องในการใช้งานเครื่องเอกซเรย์

ดร. สืบสิน สนธิรัตน์ อาจารย์คณะประมงมหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์

3. บุคคลผู้เกี่ยวข้องเกี่ยวกับงานด้านรังสีเทคนิค

คุณอัญญารัตน์ พัฒนินรมย์ พยาบาล โรงพยาบาลศิริ
ราช

คุณกนิษฐา นนทวาสี ประชาสัมพันธ์โรงพยาบาลมหาราช

จ. เชียงใหม่

คุณวิภา ตติยานุกุล ผู้จัดการบริษัทคงศักดิ์เอกซเรย์การ
แพทย์อุตสาหกรรมจำกัด

คุณสมควร นกยา ช่างฝ่ายรังสีเทคนิค โรงพยาบาลศิริราช

ฝ่ายช่างรังสีเทคนิคบริษัท เอ็มไอดี จำกัด

ฝ่ายช่างรังสีเทคนิคบริษัทคงศักดิ์เอกซเรย์การแพทย์

อุตสาหกรรมจำกัด

4. บริษัทผู้เกี่ยวข้องกับการผลิตเครื่องมืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องใน
งานด้านรังสีเทคนิค

บริษัท สยามเหล็กกรีดเย็นครบวงจร จำกัด มหาชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **232** เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริษัท นิซโซ นิโปร คอร์ปอเรชั่น จำกัด

233

บริษัทซอฟต์แวร์เทคโนโลยีประเทศไทย จำกัด

บริษัท เอ็ม ไอ ดี จำกัด

บริษัทคงศักดิ์เอ็กซ์เรย์การแพทย์อุตสาหกรรมจำกัด

ได้นำข้อมูลมาสรุปหาค่าเฉลี่ยแล้วได้ผลดังนี้

1. การออกแบบควรเน้นพัฒนาให้มีความปลอดภัยในการใช้งานและสะดวกในการเคลื่อนย้าย
2. การออกแบบควรมองดูสภาพสิ่งแวดล้อมและความเป็นไปได้ในการผลิตที่เหมาะสมกับประเทศไทยเพราะช่างฝีมือชาวไทยที่มีอยู่มีความรู้เกี่ยวกับการทำงานที่เป็นระบบน้อยมาก ควรจัดการแบ่งการทำงานที่ไม่ซับซ้อนแต่มีประสิทธิภาพ
3. การผลิตอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานด้านรังสีเทคนิคสมควรที่จะมีการเผยแพร่ความรู้ในการใช้งานให้ทันสมัยอยู่เสมอ เพราะปัจจุบันเทคโนโลยีก้าวหน้าอย่างรวดเร็วมาก
4. การออกแบบรูปทรงควรศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตและการใช้งานให้เหมาะสม
5. รูปแบบในการเคลื่อนย้ายต้องมีความคล่องตัวเหมาะสมในการบังคับควบคุม
6. การออกแบบอุปกรณ์เสริมควรเน้นการใช้งานและการผลิตเป็นสำคัญ
7. ควรออกแบบให้ป้องกันรังสีได้ตามมาตรฐานและสามารถปกป้องสิ่งสกปรกฝุ่นละอองได้พอสมควร
8. ในการจัดเก็บสายไฟมีความสำคัญน้อยมากมีการแนะนำให้จัดเก็บอย่างง่าย ๆ เช่นการ ม้วนเก็บในช่องเก็บหรือการม้วนเก็บธรรมดาเพราะจะเป็นการประหยัดวัสดุและลดขั้นตอนการผลิต

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลจากงานวิจัยสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยสรุปจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องคือ

1. การศึกษาชนิดปลาที่ได้จากการประมงขนาดเล็กบริเวณคลองวาฬ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AN INVESTIGATION ON FISH SPECIES COMPOSITION FROM THE SMALL SCALE FISHERIES AT KLONG WAN , PRACHUAB KIRIKHAN PROVINCE

นายสืบสิน สนธิรัตน์ นายมานพ มิตรสมหวัง นส.วิไลวรรณ สอนประสม
ได้ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะและชนิดของปลาในการทำประมงบริเวณคลองวาฬ
จ.ประจวบคีรีขันธ์ โดยใช้เครื่องมืออุปกรณ์ในการศึกษาที่ทางสถาบันวิจัยมีอยู่
อย่างครบครันโดยจำแนกปลาได้เป็นลักษณะต่างๆตามสายพันธุ์ตามการบันทึก
ในการวิจัยและในครั้งนี้ได้พบพันธุ์ปลากะบอกขนาดเล็ก

4.3 ข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจาก ม.มหิดล

1. การติดตามผลการผลิตบุคลากรทางด้านรังสีเทคนิคของมหาวิทยาลัยมหิดล

A FOLLOW UP STUDY OF RADIOLOGICAL TECHNOLOGISTS

นาย จิตต์ชัย สุริยะไชยากร

2. เปรียบเทียบความไวของฟิล์มเอกซเรย์ชนิดต่างๆที่มีจำหน่ายในประเทศไทย

A SENSITOMETRIC COMPARISON OF THE X-RAY FILM BEING
COMMERCIALY AVAILABLE IN THAILAND

นายชวลิต วงศ์เอก

3. เปรียบเทียบคุณภาพน้ำยาล้างฟิล์มเอกซเรย์ชนิดต่างๆที่มีจำหน่ายใน
ประเทศไทย

A QUALITATIVE COMPARISON OF THE MANUAL PROCESSING
BEING COMMERCIALY AVAILABLE IN THAILAND

นายโยธิน ศุภภิญโญพงศ์

ได้ศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่างๆในการใช้งานทางด้านรังสีเทคนิคที่มีขนาดและ
ความสัมพันธ์กับเครื่องเอกซเรย์อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการใช้เครื่องเอกซเรย์รุ่น

LOW ENERGY X-RAY KS 01 คือ

1. คาสเซ็ทโฮลด์เดอร์

2. ฟิล์มเอกซเรย์

3. อุปกรณ์เสริมเช่น คีม ถูมือ มีด

ในการหาข้อมูลเกี่ยวกับระบบกรรมวิธีการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมบริษัทคงศักดิ์
เอกซเรย์การแพทย์อุตสาหกรรมจำกัดพบว่าเป็นบริษัทที่ผลิตอุปกรณ์แทบทุกชิ้นในการผลิตเครื่อง
เอกซเรย์จึงสรุปขั้นตอนในการผลิตได้เป็นดังนี้

1. ฝ่ายออกแบบและวางแผนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ฝ่ายเหล็กผลิตตู้ โครงสร้างภายนอก
3. ฝ่ายผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
4. ฝ่ายผลิตเสาและประกอบ
5. ฝ่ายวิจัยและตรวจสอบ
6. ฝ่ายตกแต่งชิ้นงานและจัดส่ง

และจากการสรุปข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลในการออกแบบปรับปรุงเครื่องเอ็กซเรย์รุ่น
LOW ENERGY X-RAY KS 01 บริษัทคงศักดิ์เอ็กซเรย์การแพทย์อุตสาหกรรมจำกัดมีแนวทาง
ในการออกแบบดังนี้

1. โครงสร้างภายในผลิตด้วยเหล็กและตกแต่งด้วยการพ่นสีกันสนิมและเพื่อปิดบังเนื้อเหล็กไม่ให้ทำปฏิกิริยากับอากาศได้ง่าย
2. โครงสร้างภายนอกผลิตด้วยโลหะเหล็กตกแต่งด้วยการพ่นสี
3. ฝาครอบป้องกันรังสีทรงกระบอกผลิตจากเหล็กพ่นสีภายในฉาบตะกั่วหนา 1 มิลลิเมตรเพื่อป้องกันรังสี
4. ด้านรอยประกบระหว่างฝาครอบหน้าหลังมีการป้องกันรังสีโดยบริเวณรอยประกบมีการเกยทับของฝาครอบดังภาพ
5. ฝาครอบป้องกันรังสีทรงกระบอกเปิดปิดโดยการดึงออกซ้ายขวาวนกับพื้น โดยมีช่องสำหรับดึงเปิดปิด
6. ใช้หลอดเอ็กซเรย์แบบแอโนดคงที่
7. การจัดวางแผงควบคุมอยู่ทางด้านหน้ามีมุมเอียงสะดวกแก่การมองและใช้งาน
8. ใช้งานได้กับอุปกรณ์เอ็กซเรย์ขนาดมาตรฐานได้ทุกชนิด
9. ใช้ไฟฟ้า 220 โวลต์แปลงกระแสไปใช้งานด้วยหม้อแปลง(ถึงไฟแรงสูง)ภายใน

10. มีล้อช่วยในการเคลื่อนที่ ล้อหน้าเป็น ล้อหลังตาย และมีล้อช่วยในการเคลื่อนขึ้นลงพื้นเอียง

11. มีแท่นวางอุปกรณ์เสริมสามารถเลื่อนเก็บเข้าภายในตัวเครื่อง

12. สามารถพันเก็บสายไฟได้โดยการพันเก็บรอบเสาหลอดอิเล็กทรอนิกส์

13. ฝาครอบตัวเครื่องด้านหน้าสามารถถอดเพื่อซ่อมแซมภายในได้

14. เคลื่อนย้ายโดยการเข็นมีที่สำหรับจับเข็นด้านหน้าของตัวเครื่อง

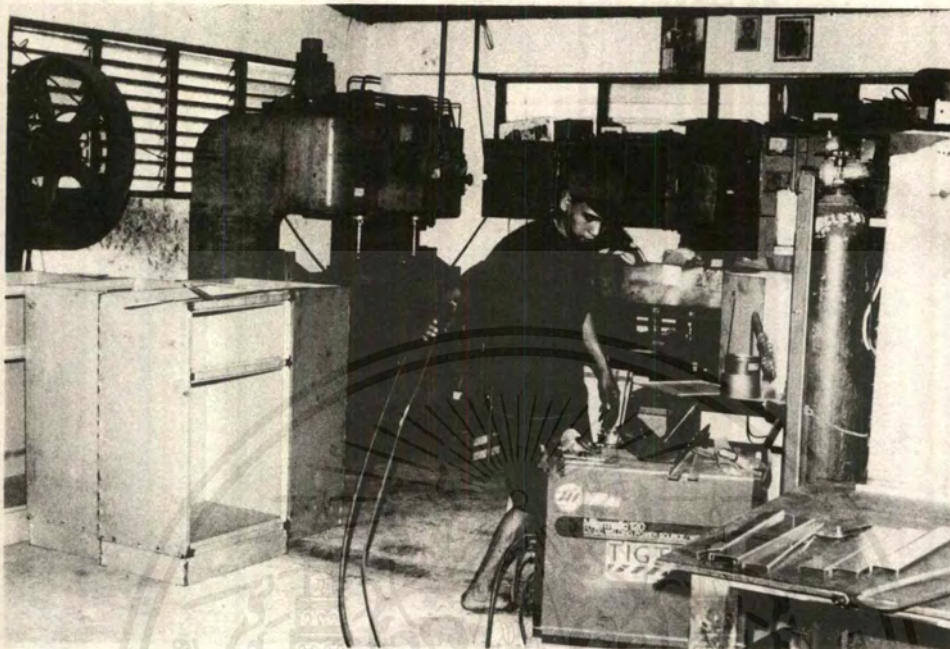
15. มีระบบเบรกโดยการเหยียบเบรกทางด้านหน้าล้อหลังจะถูกล็อกทันที



จากการสรุปผลวิเคราะห์ข้อมูลกระบวนการผลิตเครื่องอิเล็กทรอนิกส์เรียงลำดับมีดังนี้

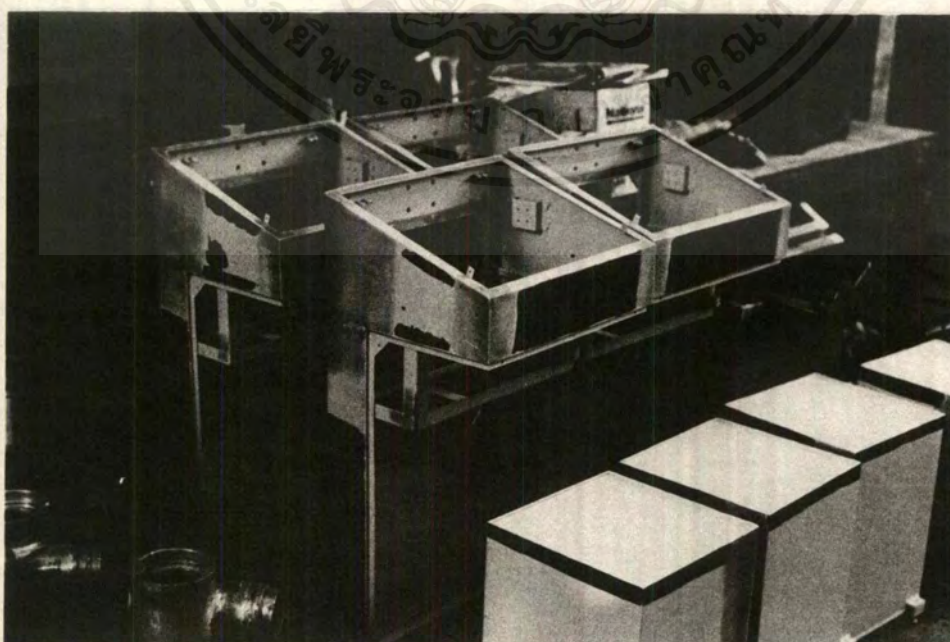
ภาพที่ 113

การออกแบบและผลิตโครงสร้าง



ภาพที่ 114

ขั้นตอนการตกแต่งและประกอบชิ้นงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 115
การติดตั้งระบบอิเล็กทรอนิกส์และทดสอบ



ภาพที่ 116
ขั้นตอนการตกแต่งและตรวจสอบงานก่อนส่งมอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9

การวิเคราะห์วัสดุที่ใช้ผลิตโครงสร้างภายนอก

- 1. พลาสติก
- 2. สแตนเลส
- 3. ไฟเบอร์กลาส
- 4. โลหะเหล็ก

ลำดับ	ข้อพิจารณา	หัวข้อที่นำมาพิจารณา			
		1	2	3	4
1.	ความเหมาะสมในการใช้งาน	1	2	1	4
2.	ความทนทานในการใช้งาน	2	3	2	3
3.	ง่ายต่อการดูแลรักษา	4	3	3	3
4.	สะดวกเหมาะสมในการผลิต	3	2	3	3
รวม		10	10	9	13

จากตารางที่ 9 เลือก4 เป็นวัสดุที่ใช้ในการผลิตโครงสร้างภายนอกเนื่องจากมีความเหมาะสมตามเกณฑ์พิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10

การวิเคราะห์วัสดุที่ใช้ผลิตโครงสร้างภายใน

1. พลาสติก
2. สแตนเลส
3. ไฟเบอร์กลาส
4. โลหะเหล็ก

ลำดับ	ข้อพิจารณา	หัวข้อที่นำมาพิจารณา			
		1	2	3	4
1.	ความเหมาะสมในการใช้งาน	1	2	1	4
2.	ความทนทานในการใช้งาน	2	3	2	3
3.	ง่ายต่อการดูแลรักษา	4	3	3	3
4.	สะดวกเหมาะสมในการผลิต	3	2	3	3
รวม		10	10	9	13

จากตารางที่ 10 เลือก4 เป็นวัสดุที่ใช้ในการผลิตโครงสร้างภายนอกเนื่องจากมีความเหมาะสมตามเกณฑ์พิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11

การวิเคราะห์ตำแหน่งและทิศทางของช่องใส่ปลาเพื่อขายรังสี

1. ด้านบนของตัวเครื่อง
2. ด้านข้างซ้ายของตัวเครื่อง
3. ด้านข้างขวาของตัวเครื่อง
4. ด้านหน้าของตัวเครื่อง

ลำดับ	ข้อพิจารณา	หัวข้อที่นำมาพิจารณา			
		1	2	3	4
1.	ความเหมาะสมในการป้องกันรังสี	1	2	1	4
2.	ความสะดวกในการใช้งาน	2	3	2	3
3.	ง่ายต่อการดูแลรักษา	4	3	3	3
4.	สะดวกเหมาะสมในการผลิต	3	2	3	3
	รวม	10	10	9	13

จากตารางที่ 11 เลือก 4 เป็นตำแหน่งที่เหมาะสมที่ใช้ในการออกแบบช่องใส่ปลาเพื่อขายรังสีเนื่องจากมีความเหมาะสมตามเกณฑ์พิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12

การวิเคราะห์ลักษณะการเปิดปิดช่องใส่ฟิล์มเอ็กซเรย์และคาสเซตโฮสต์เดอร์

- 1. เปิดปิดแบบประตูแบบทิศทางเดียวตั้งเปิดตันปิด
- 2. เลื่อนเปิดขึ้นลง
- 3. เลื่อนเปิดจากขวาไปซ้าย
- 4. เปิดปิดแบบดึงออกไปสองทิศทางเปิดดึงออกปิดตันประกบกัน

ลำดับ	ข้อพิจารณา	หัวข้อที่นำมาพิจารณา			
		1	2	3	4
1.	ความเหมาะสมในการป้องกันรังสี	1	2	1	4
2.	ความสะดวกในการใช้งาน	2	3	2	3
3.	ง่ายต่อการดูแลรักษา	4	3	3	3
4.	ความสัมพันธ์กับกายวิภาค	3	2	3	3
รวม		10	10	9	13

จากตารางที่ 12 เลือก4 เป็นลักษณะการเปิดปิดช่องใส่คาสเซต,ฟิล์มเอ็กซเรย์ และช่องใส่ปลาเพื่อฉายรังสีเนื่องจากมีความเหมาะสมตามเกณฑ์พิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13

การวิเคราะห์ลักษณะรูปทรงภายนอกของตัวเครื่องอิเล็กทรอนิกส์

1. รูปทรงกลม
2. รูปทรงกระบอก
3. รูปทรงสี่เหลี่ยม
4. รูปทรงสี่เหลี่ยมผสมรูปทรงกระบอก

ลำดับ	ข้อพิจารณา	หัวข้อที่นำมาพิจารณา			
		1	2	3	4
1.	ความเหมาะสมกับรูปแบบ	3	2	1	4
2.	ความสะดวกในการใช้งาน	2	3	2	3
3.	ง่ายต่อการดูแลรักษา	2	3	3	3
4.	ความสัมพันธ์กับกายวิภาค	1	2	3	3
รวม		8	10	9	13

จากตารางที่ 13 เลือก 4 เป็นลักษณะรูปทรงภายนอกของตัวเครื่องเนื่องจากมีความเหมาะสมตามเกณฑ์พิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14

การวิเคราะห์ตำแหน่งบริเวณการจัดวางแผนผังควบคุมการทำงาน

1. ด้านบนของตัวเครื่อง
2. ด้านข้างของตัวเครื่อง
3. ด้านล่างของตัวเครื่อง
4. ด้านหน้าของตัวเครื่อง

ลำดับ	ข้อพิจารณา	หัวข้อที่นำมาพิจารณา			
		1	2	3	4
1.	ความเหมาะสมกับรูปแบบ	2	2	2	3
2.	ความสะดวกในการใช้งาน	2	2	2	4
3.	ง่ายต่อการดูแลรักษา	2	3	2	4
4.	ความสัมพันธ์กับกายวิภาค	1	2	2	3
รวม		7	9	8	14

จากตารางที่ 14 เลือก 4 เป็นตำแหน่งที่ติดตั้งแผนผังควบคุมเนื่องจากมีความเหมาะสมตามเกณฑ์พิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15

การวิเคราะห์โครงสร้างภายใน

- ผลิตโดยการดัดขึ้นรูป
- ผลิตโดยการหล่อขึ้นรูป
- ผลิตโดยการฉีดขึ้นรูป
- ผลิตโดยการเชื่อมขึ้นรูป

ลำดับ	ข้อพิจารณา	หัวข้อที่นำมาพิจารณา			
		1	2	3	4
1.	ความเหมาะสมกับรูปแบบ	2	2	2	3
2.	ความสะดวกในการผลิต	2	2	2	4
3.	ง่ายต่อการซ่อมแซม	2	3	2	4
4.	ความทนทาน	3	4	3	3
	รวม	9	11	9	14

จากตารางที่ 15 เลือก4 เป็นวิธีการผลิตโครงสร้างภายในเนื่องจากมีความเหมาะสมตามเกณฑ์พิจารณา

ตารางที่ 16

การวิเคราะห์โครงสร้างภายนอก

- 1. ผลิตโดยการเชื่อมขึ้นรูป
- 2. ผลิตโดยการหล่อขึ้นรูป
- 3. ผลิตโดยการฉีดขึ้นรูป
- 4. ผลิตโดยการดัดขึ้นรูป

ลำดับ	ข้อพิจารณา	หัวข้อที่นำมาพิจารณา			
		1	2	3	4
1.	ความเหมาะสมกับรูปแบบ	3	2	2	2
2.	ความสะดวกในการผลิต	4	2	2	2
3.	ง่ายต่อการซ่อมแซม	4	3	2	2
4.	ความทนทาน	3	4	3	3
รวม		14	11	9	9

จากตารางที่ 16 เลือก1 เป็นวิธีการผลิตโครงสร้างภายนอกเนื่องจากมีความเหมาะสมตามเกณฑ์พิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 17

การวิเคราะห์ระบบเบรคการเคลื่อนที่

- 1. เบรคมือโดยกดเบรค
- 2. เบรคมือโดยการดึงเบรค
- 3. เบรคเท้าโดยการเหยียบเบรคล็อคล้อหน้า
- 4. เบรคเท้าโดยการเหยียบเบรคล็อคล้อหลัง

ลำดับ	ข้อพิจารณา	หัวข้อที่นำมาพิจารณา			
		1	2	3	4
1.	ความเหมาะสมกับรูปแบบ	2	2	2	3
2.	ความสะดวกในการเบรค	2	2	2	4
3.	ง่ายต่อการซ่อมแซม	2	3	2	3
4.	ความทนทาน	3	4	3	4
รวม		9	11	9	14

จากตารางที่ 17 เลือก4 เป็นวิธีการเบรคการเคลื่อนที่เนื่องจากมีความเหมาะสมตามเกณฑ์
พิจารณา

ตารางที่ 18

การวิเคราะห์ข้อในการเคลื่อนที่

1. ล้อตายทั้งหมด
2. ล้อเป็นทั้งหมด
3. ล้อหน้าเป็นล้อตาย ล้อหลังเป็นล้อเป็น
4. ล้อหน้าเป็นล้อเป็น ล้อหลังเป็นล้อตาย

ลำดับ	ข้อพิจารณา	หัวข้อที่นำมาพิจารณา			
		1	2	3	4
1.	ความเหมาะสมกับรูปแบบ	2	2	2	3
2.	ความสะดวกในการเคลื่อนที่	2	2	2	4
3.	ง่ายต่อการซ่อมแซม	2	3	2	3
4.	ความทนทาน	3	4	3	4
	รวม	9	11	9	14

จากตารางที่ 18 เลือก4 เป็นการจัดวางล้อในการเคลื่อนที่เนื่องจากมีความเหมาะสมตามเกณฑ์พิจารณา

ตารางที่ 19

การวิเคราะห์วัสดุในการผลิตแท่นวางอุปกรณ์เสริม

- 1. พลาสติก
- 2. ไฟเบอร์กลาส
- 3. โลหะเหล็ก
- 4. สแตนเลส

ลำดับ	ข้อพิจารณา	หัวข้อที่นำมาพิจารณา			
		1	2	3	4
1.	ความเหมาะสมกับรูปแบบ	2	2	2	3
2.	ความสะดวกในการผลิต	2	1	2	4
3.	ง่ายต่อการทำความสะอาด	3	3	2	3
4.	ความทนทาน	3	3	4	4
รวม		10	9	10	14

จากตารางที่ 19 เลือก4 เป็นวัสดุที่ใช้ในการผลิตแท่นวางอุปกรณ์เสริมเนื่องจากมีความเหมาะสมตามเกณฑ์พิจารณา

ตารางที่ 20

การวิเคราะห์รูปแบบการจัดเก็บแท่นวางอุปกรณ์เสริม

1. พับเก็บ
2. ถอดเก็บ
3. หมุนเก็บไปด้านหลังตัวเครื่อง
4. เลื่อนเก็บด้านข้างตัวเครื่อง

ลำดับ	ข้อพิจารณา	หัวข้อที่นำมาพิจารณา			
		1	2	3	4
1.	ความเหมาะสมกับรูปแบบ	2	2	2	3
2.	ความสะดวกในการจัดเก็บ	2	1	2	4
3.	ง่ายต่อการทำความสะอาด	3	3	2	3
4.	ความทนทาน	3	3	4	4
	รวม	10	9	10	14

จากตารางที่ 20 เลือก4 เป็นรูปแบบการจัดเก็บแท่นวางอุปกรณ์เสริมเนื่องจากมีความเหมาะสมตามเกณฑ์พิจารณา

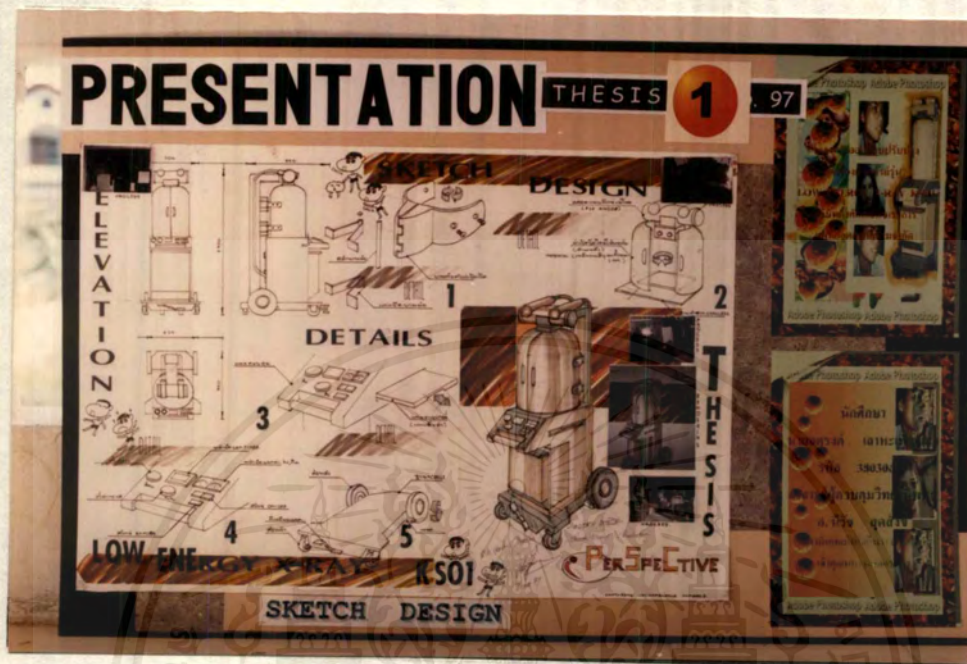


แบบถ่ายย่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 117

SKETCH DESIGN



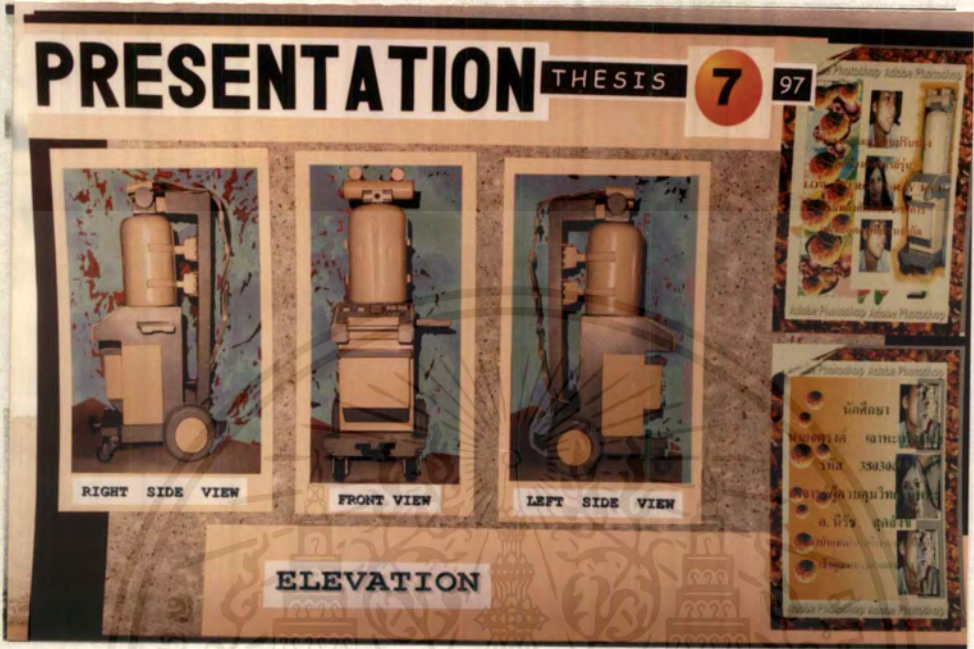
ภาพที่ 118

PRESENTATION



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 119
PRESENTATION

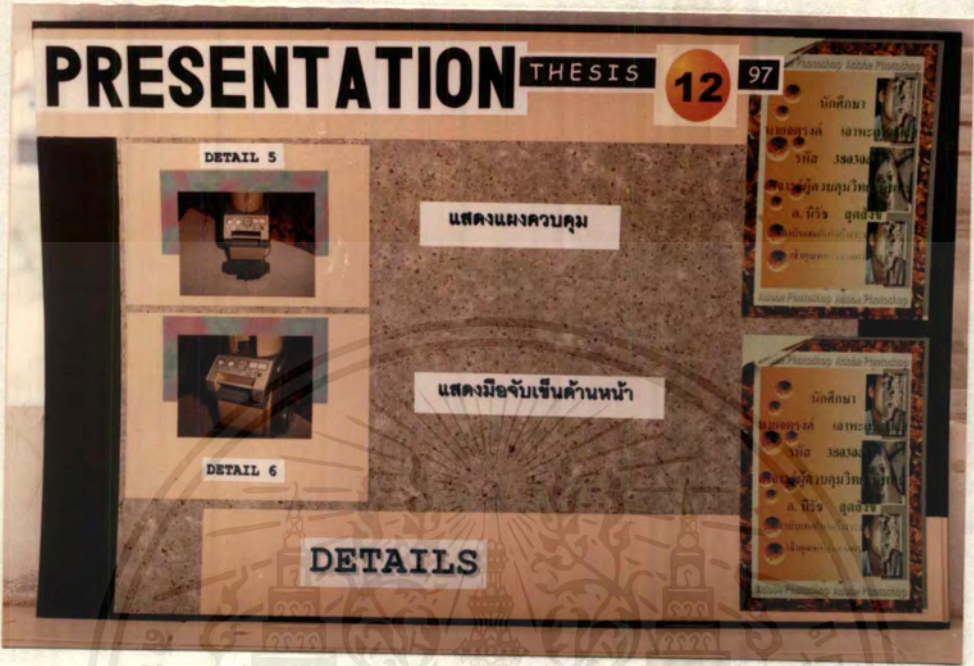


ภาพที่ 120
PRESENTATION



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 121
PRESENTATION



ภาพที่ 122
PRESENTATION



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 123
MODEL



ภาพที่ 124
MODEL



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 125

MODEL



ภาพที่ 126

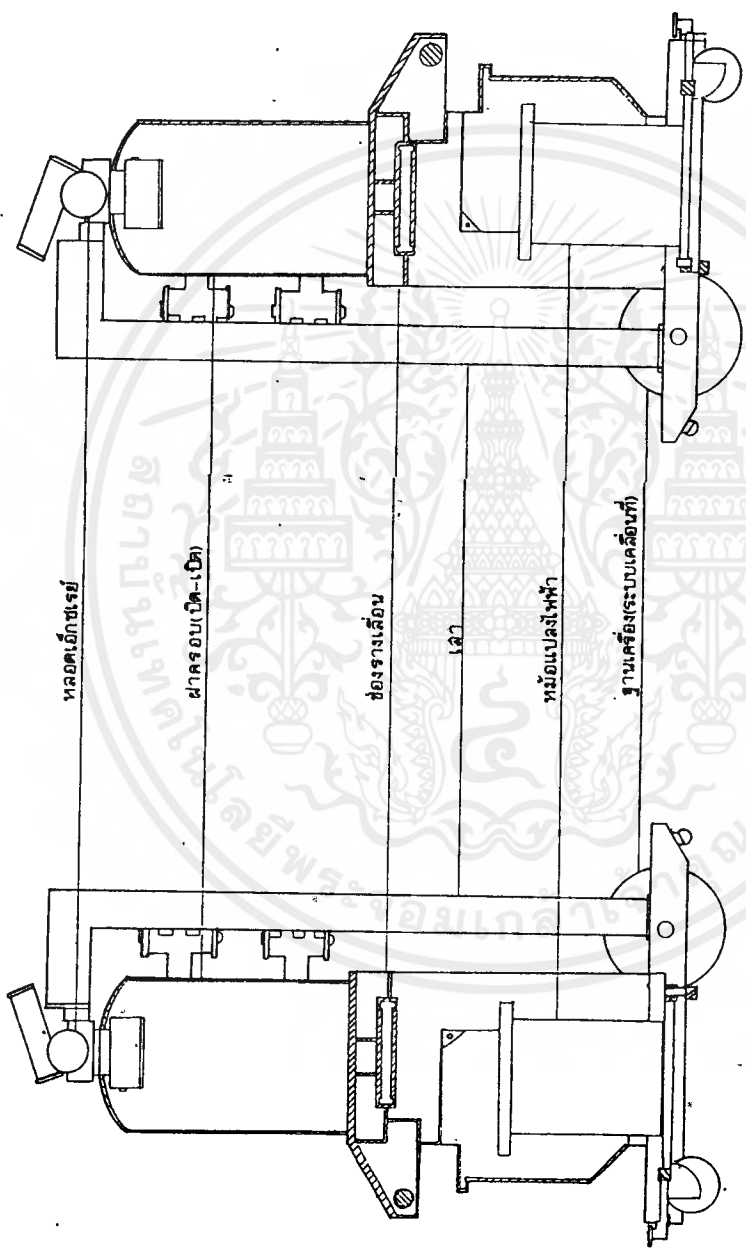
MODEL



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SECTION

SECTION



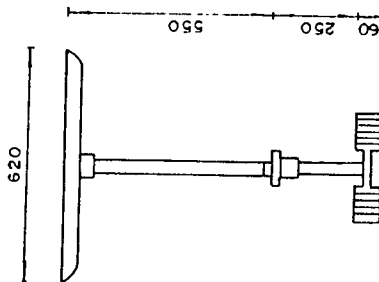
วัน/เดือน/ปี	25/1/40	ชื่อ - สกุล	เลขที่	แผ่นที่
นักศึกษา	นาย ชุรงค์	เลขที่ชุดเลข	38030603	2
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		ชื่องาน เครื่องเอกซเรย์ LOW ENERGY X-RAY KSOI		
		อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ อ. นริศ ดุจดิว		
		UNIT OF MM. SCALE 1 : 10		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FRONT VIEW

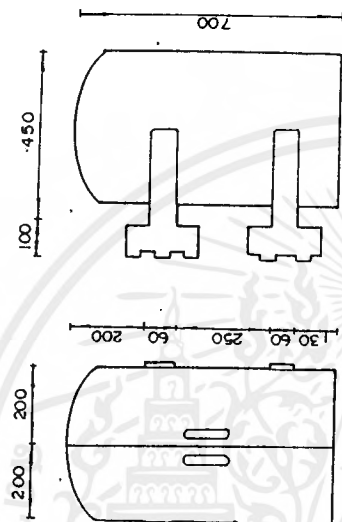


TOP VIEW

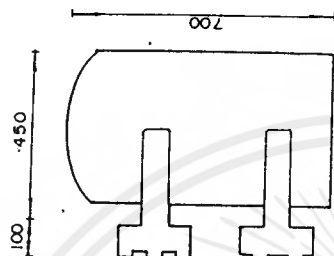


PART 6

FRONT VIEW

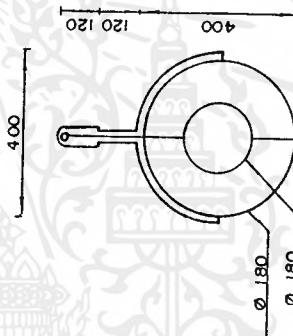


SIDE VIEW



PART 7

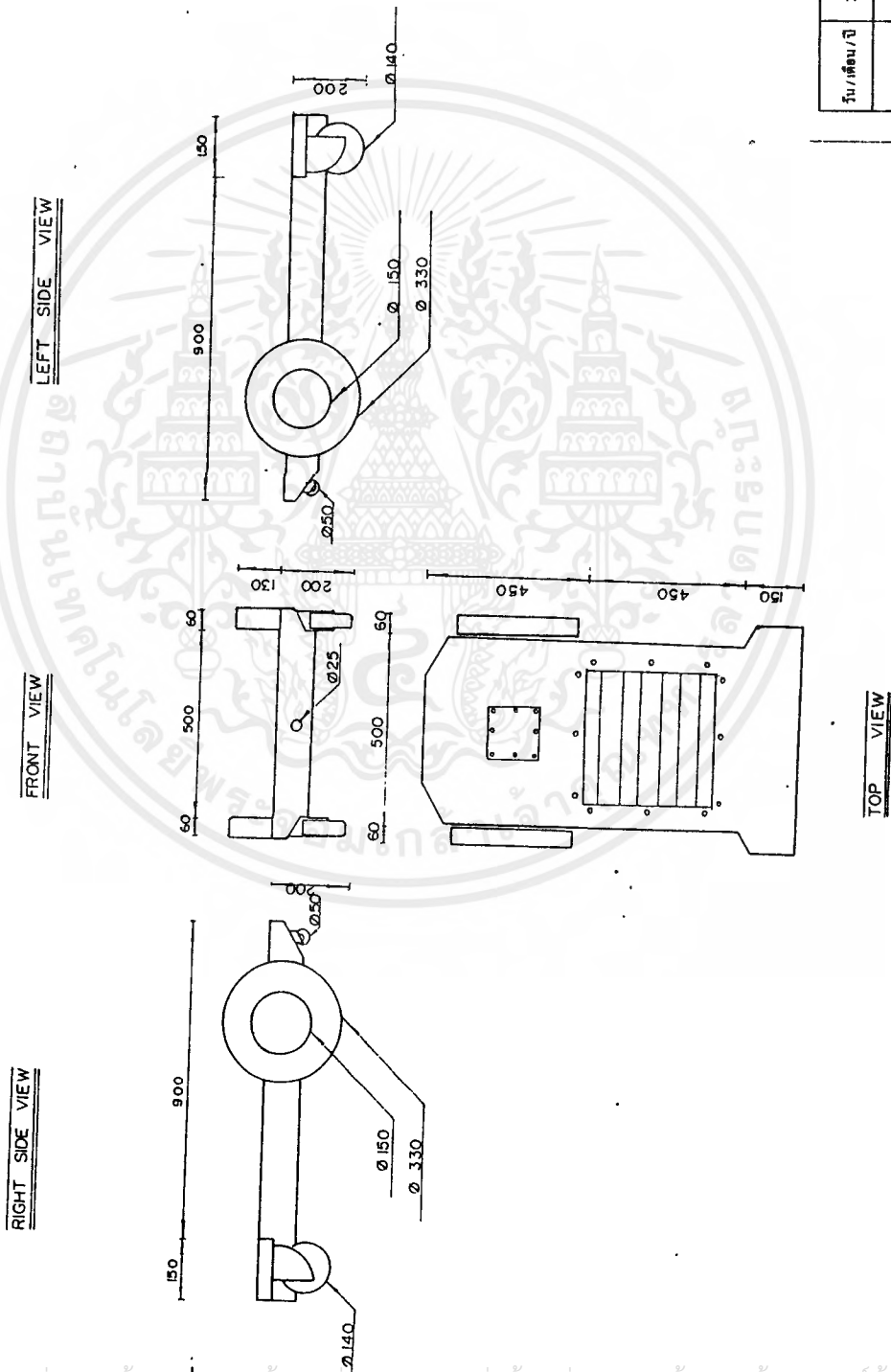
TOP VIEW



วัน/เดือน/ปี	35/1/40	ชื่อ - สกุล	เลขที่	แผ่นที่
นักศึกษา	นาย ชุติพงศ์	เลขที่บัญชี	30010603	3
สอนพิเศษในชื่อ				
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร				
ลาดกระบัง				
ชื่องาน เครื่องจักรกลใน LOW ENERGY X-RAY KS 01				
อาจารย์ประจำภาควิชา				
อ. นิธิ สุทธิชัย				
UNIT OP MM.				
SCALE 1 : 10				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในที่อื่น และต้องแจ้งให้เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

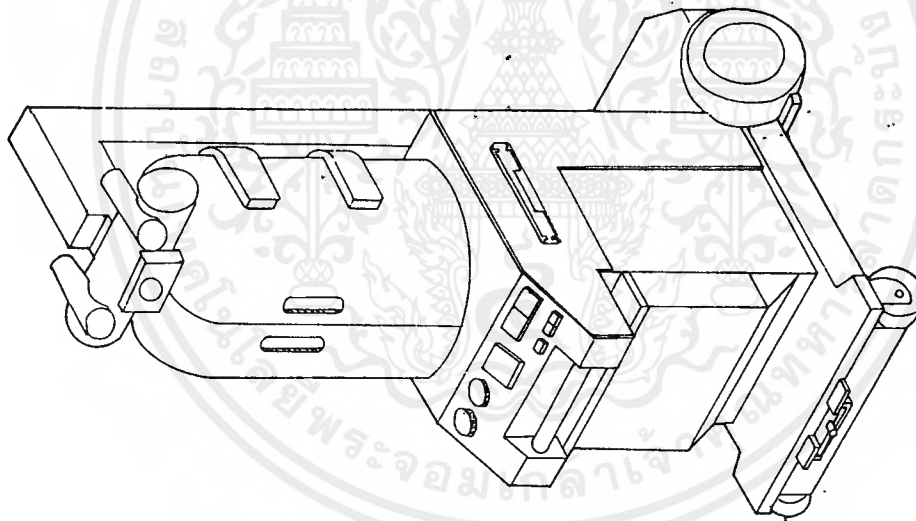
PART 5



วัน/เดือน/ปี	25/11/40	ชื่อ - สกุล	นางสาว	เลขที่	38030603	แผ่นที่	5
นักศึกษา		นาย ชุมน	นางสาว ชุมน				
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		ชื่องาน เครื่องจักรรับ LOW ENERGY X-RAY K3 01		อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ		UNIT OF MM.	
				อ. นันท์ สุทธิชัย		SCALE 1 : 10	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

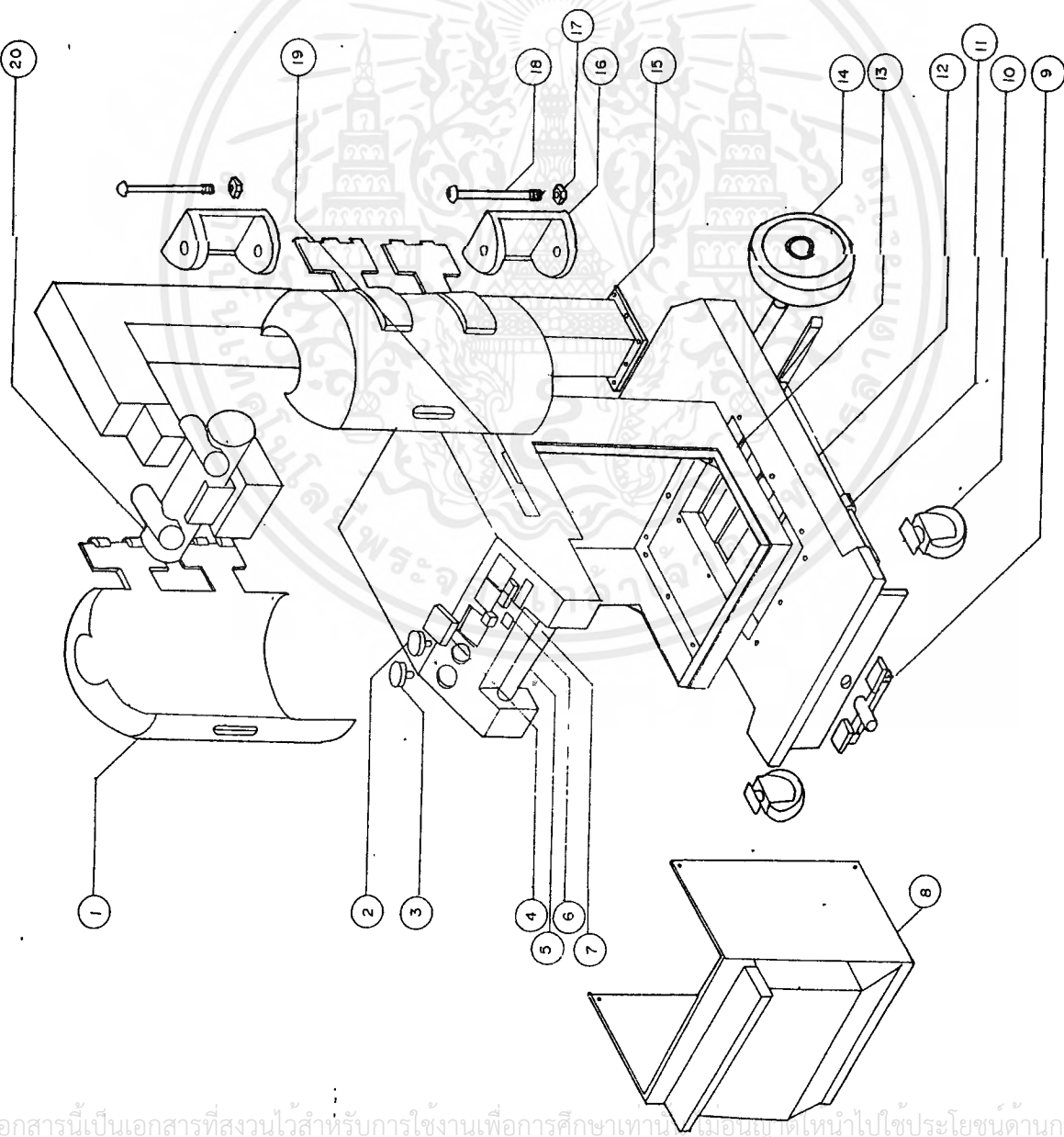
ISOMETRIC



วัน/เดือน/ปี	25/1/40	ชื่อ - สกุล	เลขที่	บันทึก
นักศึกษา		นาม ชุมพร	เลขที่ศูนย์	6
สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง		ชื่องาน เครื่องวัดมุมรังสี X-RAY KS 01		
		อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ อ. นริศ สุทธิชัย		
UNIT OF MM. SCALE 1 : 10				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ASSEMBLY

[illegible]

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการทำวิทยานิพนธ์โครงการออกแบบปรับปรุงเครื่องเอกซเรย์รุ่น LOW ENERGY X-RAY KS 01 บริษัทungskดีเอกซเรย์การแพทย์อุตสาหกรรมจำกัดภายใต้ขอบเขตของวัตถุประสงค์คือ

1. เพื่อออกแบบปรับปรุงเครื่องเอกซเรย์รุ่น LOW ENERGY X-RAY KS 01 บริษัทungskดีเอกซเรย์การแพทย์อุตสาหกรรมจำกัด

2. เพื่อออกแบบ ให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สอดคล้องกับสภาพการใช้งาน ด้านรังสีเทคนิควินิจัยสัตว์น้ำประเภทปลา เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านพันธุวิศวกรรม

ในการวิจัยสรุปผลจากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลได้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในข้อที่ดังนี้

1.1 ในการศึกษาและสรุปข้อมูลการวิจัยทางด้านโครงสร้างเครื่องเอกซเรย์รุ่น LOW ENERGY KS 01 บริษัทungskดีเอกซเรย์การแพทย์อุตสาหกรรมจำกัดใช้วัสดุในการผลิตคือเหล็กแผ่นหนา 2 มิลลิเมตร ขนาดแผ่นเหล็กมาตรฐาน 2.40 . 2.60 เมตรใช้เหล็กแบนขนาด 6 เมตรในการเสริมความแข็งแรง ใช้การเชื่อมในการประสานชิ้นงานเข้าด้วยกัน ตกแต่งและพ่นสีรองพื้นและพ่นสีจริงก่อนการประกอบ การยึดติดใช้น็อตหัวควง เพื่อสะดวกในการถอดประกอบ

1.2 ในการศึกษารูปทรงเพื่อนำมาใช้ประกอบในการออกแบบสรุปได้จากการนำเอารูปทรงกระบอกลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมมาผสมผสานกันให้เกิดความเป็นเอกภาพในการแสดงออกถึงรูปทรงการใช้งาน ลักษณะการใช้งานของสองรูปทรง แบ่งได้ดังนี้คือ ส่วนตัวถังและส่วนฐานเครื่องเอกซเรย์เป็นรูปทรง สี่เหลี่ยมเพื่อให้ดูมีความมั่นคงปลอดภัยในการใช้งาน การเคลื่อนที่จะสามารถเป็นไปอย่างสมดุล ต่อเนื่อง

ในส่วน ฝาปิดเปิดเพื่อนำคาสเทรทและปลานำเข้าปาวางเพื่อฉายรังสี เป็นรูปทรงกระบอกละ เพราะมีคุณสมบัติเด่นในการป้องกันการแพร่กระจายของรังสีแล ะถ่ายทอด การดูแลรักษาความสะอาดอีก ทั้งยังมีความกลมกลืนกับ ลักษณะของหลอดเอกซเรย์ การดึงเปิดแบบประตูปัดทำให้สะดวกในการปิดเปิดเพราะมีจุดกึ่งกลางในการเปิดที่สมดุล ในการปิดรอยประกบระหว่างฝาครอบมีการออกแบบให้ขอบฝา เกยกันทำให้สามารถป้องกันการแผ่รังสีได้เป็นอย่างดี วัสดุที่ใช้ในการผลิตฝาครอบทั้ง 2 ชิ้นคือ เหล็ก ซึ่งภายในฉาบด้วยตะกั่วหนา 1 มิลลิเมตรเพื่อป้องกันรังสีเพราะตะกั่วสามารถป้องกันรังสีได้ดี

- 1.3 ในส่วนของระบบการเคลื่อนที่ใช้ระบบการจัดวางล้อที่เหมาะสมคือ ล้อหน้าเป็นล้อเป็นเพื่อง่ายต่อการเปลี่ยนทิศทาง ล้อหลังเป็นล้อตายเพื่อสะดวกในการบังคับในการเคลื่อนที่ในแนวราบ และเอียง
- 1.4 ระบบเบรกใช้เท้าเหยียบเบรกห้ามล้อหลังก็จะทำงานสัมพันธ์กับการเบรกล้อหลังไม่ให้เคลื่อนที่
- 1.5 ในส่วนของการจัดเก็บสายไฟได้สรุปจากการใช้แบบสอบถามและการสัมภาษณ์ผู้ที่มีความคุ้นเคยคลุกคลีในการผลิตพบว่าลักษณะการจัดเก็บไม่ควร ยุ่งยากซับซ้อน ง่ายต่อการใช้งานและได้รับฟังข้อเสนอแนะต่างๆมาสรุปเปรียบเทียบการจัดเก็บในลักษณะต่างๆ สรุปได้ว่าการจัดเก็บสามารถพับเก็บโดยพันรอบเสาเอ็กเซอร์เรย์มีผลคือ ง่ายต่อการดูแลจัดเก็บ ไม่สิ้นเปลืองเวลาในการผลิต ป้องกันอันตรายจากการห้อยสายไฟอย่างไม่เป็นระเบียบได้ดีพอสมควร
- 1.6 ในส่วนของแท่นวางอุปกรณ์เสริมจากการสรุป จากงานวิจัยวัสดุที่ใช้ทำแท่นวางอุปกรณ์เสริมคือสแตนเลส เพราะง่ายต่อการดูแลรักษาความสะอาดและเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในการผลิต ส่วนของแท่นวางอุปกรณ์เสริมมากที่สุด การจัดเก็บแท่นวางอุปกรณ์เสริม ทำได้โดยการเลื่อนเก็บเข้าไปในตัวเครื่องทำให้สะดวกไม่เกะกะ หลังจากเลิกใช้งานแล้ว
- 1.7 สีที่ใช้กับผลิตภัณฑ์เป็นสีมาตรฐานจากโรงงานสีที่ใช้กับผลิตภัณฑ์เครื่องเอ็กเซอร์เรย์ของบริษัทคงศักดิ์เอ็กเซอร์เรย์การแพทย์อุตสาหกรรมจำกัด คือ สีเทากับสี ขาวใช้กับเครื่องเอ็กเซอร์เรย์ทั่วไป และสีครีมกับสี เทาใช้กับเครื่องเอ็กเซอร์เรย์แบบเคลื่อนที่ จึงสรุปว่าเลือกใช้สีครีมกับสีเทา และสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามสภาพกฎเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของผู้ผลิตและผู้บริโภค
- 1.8 ในขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตโครงสร้างที่สำคัญคือการขึ้นโครงและการประกอบเนื่องจากสภาพการทำงานในปัจจุบันในโรงงานอุตสาหกรรม ช่วงมือที่ทำงานปฏิบัติจะนิยมทำงานที่ซ้ำๆ กันจนเกิดความชำนาญและจะปรับตัวในการทำงานใหม่ๆ ได้ยาก จึงมีการออกแบบให้สัมพันธ์กับลักษณะงานเดิมที่เคยทำอยู่และวางรูปแบบในการผลิตไม่ให้ซับซ้อนมากนักเพื่อง่ายทั้งผู้ผลิตและง่ายต่อการประกอบ
- 1.9 ในส่วนของการเคลื่อนที่เนื่องจากเครื่องเอ็กเซอร์เรย์มีน้ำหนักมากช่วงรังสีเทคนิคหรือผู้ปฏิบัติงานต้องใช้ผู้เซ็น2คน ในการเคลื่อนย้ายในแนวตั้งและมุมเอียง ส่วนในแนวราบสามารถให้บุคคลคนเดียวในการเคลื่อนย้าย

และในส่วนของการสรุปผลการวิจัยเพื่อให้สอดคล้องกับขอบเขตวัตถุประสงค์ในข้อ 2 คือ

2.1 ได้สรุปจากการศึกษาเกี่ยวกับการใช้งานเครื่องเอ็กซเรย์กับสถานที่ใช้งานโดยมีกรม ประมง สถาบันการประมง และสถาบันการศึกษาเกี่ยวกับการประมง และโรงงาน อุตสาหกรรมประมง ที่สนใจในการศึกษาเกี่ยวกับปลาได้ผลดังนี้ คือ เครื่องเอ็กซเรย์ ปลาสามารถใช้งาน ในการศึกษาด้วยรังสี วินิจฉัยเพื่อตรวจสอบลักษณะของปลาตาม สายพันธุ์ เพื่อประโยชน์ในการคัดเลือกพันธุ์ ดูรายละเอียดปลักย่อยในตัวปลาโดยไม่ต้องผ่าพิสูจน์ทำให้เหลืออยู่ในสภาพสมบูรณ์ที่สุดในการวินิจฉัย ส่งผลดีทางด้าน พันธุวิศวกรรมและยังตรวจสอบ ผลของรังสีที่มีต่อตัวปลาได้อีกด้วย

2.2 ลักษณะการใช้รังสีวินิจฉัยสามารถใช้ได้กับปลาที่มีขนาด ความยาวไม่เกิน 1.5 ฟุต ความหนาตั้งแต่ 3 - 25 มิลลิเมตรซึ่งส่วนใหญ่ใช้กับปลาขนาดเล็กการฉายรังสีกับ ปลาที่เจริญเต็มที่ หรือยังไม่เจริญเต็มที่ก็ให้ผลต่างกันไป

ซึ่งในการวิจัยได้สรุปผลทั้งหมด เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และ ได้มีการสรุปผล การวิจัยจากการศึกษาข้อมูลดังนี้

1. การศึกษาข้อมูลด้านกรมประมงสามารถบอกถึงความสำคัญของการประมงไทยว่าน่า ให้ความสนใจและศึกษาเพื่อเปิดโลกทางผลิตภัณฑ์ให้เข้าไปครอบคลุมในทุกสาขา นอก จากนี้การศึกษาเกี่ยวกับสถานศึกษาที่ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องประมงทำให้ได้รู้ถึงจุดดีจุดด้อย ของผลิตภัณฑ์ สามารถนำมาใช้ปรับปรุงแก้ไขกับงานด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ ได้ เป็นอย่างดี
2. ในการสรุปผลการวิจัยจากการ ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับปลา ทำให้สามารถสรุปได้ว่าขอบ เขตในการใช้เครื่องเอ็กซเรย์ขึ้นอยู่กับขนาดความหนาและชนิดของปลา
3. ในการสรุปผลการวิจัยจากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการ ทำให้ทราบถึงการ จัดวางตำแหน่งทิศทางของอุปกรณ์ต่างๆในห้องปฏิบัติการเพื่อสามารถปฏิบัติงาน ได้ อย่างสะดวกและปลอดภัย
4. ในการสรุปผลการวิจัยจากการศึกษาเรื่องเครื่องเอ็กซเรย์ ทำให้สามารถประมาณการ ความเป็นไปได้ในการออกแบบโครงสร้างให้มีความสัมพันธ์ กับระบบ
5. ในการสรุปผลการวิจัยจากการศึกษา เรื่องขนาดและความสัมพันธ์ของสัดส่วนมนุษย์ ทำให้สามารถออกแบบได้เหมาะสมถูกต้องกับสภาพการทำงานและพฤติกรรมของ มนุษย์ทำให้สามารถใช้งานได้สะดวก
6. ในการสรุปผลการวิจัยจากการศึกษาข้อมูลเรื่องวัสดุโครงสร้าง ทำให้สามารถประยุกต์ เลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์และสอดคล้องกับกรรมวิธีการผลิต

7. ในการสรุปผลการวิจัยจากข้อมูลอุปกรณ์และกรรมวิธีการประกอบชิ้นงาน ทำให้สามารถเลือกสรรในสิ่งที่เข้า กับผลิตภัณฑ์และสอดคล้อง กับลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เราออกแบบมาอย่างเหมาะสม
8. ในการสรุปผลการวิจัยจากการศึกษาเกี่ยวกับ กรรมวิธีการผลิตและการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติวัสดุชิ้นงานทางกายภาพ พบว่าวิธีการผลิตในเชิงวิชาการ ต้องมีความสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมความเป็นจริงในการผลิตจริงเมื่อนำมาประยุกต์ใช้เข้าด้วยกัน อาจจะเสริมในส่วนที่ด้อยให้กลับมีประสิทธิภาพขึ้น
9. ในการสรุปผลการวิจัยจากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับไฟฟ้าและสื่อนำไฟฟ้า พบว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิดนอกจากจะเลือกใช้ให้เหมาะสม กับงานแล้วควรคำนึงถึง ความปลอดภัยในการใช้งานเป็นสำคัญดังนั้นวัสดุต่างๆจึงควรหมั่น ดูแลตรวจรักษา
10. ในการสรุปผลการวิจัย จากการศึกษาค้นคว้า เกี่ยวกับสีและการออกแบบพบว่า ลักษณะของการออกแบบควรมีความกลมกลืน และมีจุดเด่นเพื่อแสดงถึง ความมีเอกลักษณ์ ของผลิตภัณฑ์ส่งผลให้เกิดทั้งอารมณ์และความรู้สึกในการใช้งาน การถ่ายทอดการดูแลรักษาทำความสะอาด ความลงตัวเหมาะสมกับสถานที่และกฎเกณฑ์ที่ยอมรับได้ทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค
11. ในการสรุปผลการวิจัยจากการศึกษาเกี่ยวกับบริษัทคงศักดิ์เอ็กซ์เรย์การแพทย์ อุตสาหกรรมจำกัด ซึ่งเป็นบริษัทอุตสาหกรรมของคนไทยที่ออกแบบและพัฒนาเกี่ยวกับเครื่องเอ็กซ์เรย์เพื่อใช้ภายในประเทศและส่งออกต่างประเทศมากกว่า 20 ปี ผลงานการออกแบบและผลิตภัณฑ์ของทางบริษัทเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการยอมรับจากสากล คุณภาพของสินค้าจึงมีความเหมาะสมกับราคาที่ ผลิตขึ้นภายในประเทศ เพื่อเป็นการช่วยลดการขาดดุลกับต่างชาติ และเป็นการส่งเสริมอาชีพของคนไทยบริษัทจึงมีอุดมการณ์ที่จะตั้งอยู่คู่ วงการแพทย์ไทยต่อไป

คุณ คงศักดิ์ ตติยานุกุล ประธานกรรมการบริษัทคงศักดิ์เอ็กซ์เรย์การแพทย์ อุตสาหกรรมกล่าวว่า

"ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องเอ็กซ์เรย์ในประเทศไทยเป็นไปอย่างช้าๆ เนื่องจากขาดบุคลากรทางด้านการวิจัยและพัฒนา ในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องเอ็กซ์เรย์ปลาของนักศึกษา ทางบริษัทมีความยินดีที่ได้มีการให้ความสนใจเกี่ยวกับเครื่องมือที่ คนทั่วไปคิดว่าออกจะยุ่งยากซับซ้อนแต่ถ้าได้ เข้ามาสัมผัสและศึกษาอย่างใกล้ชิดจะเห็น ได้ว่ามีประโยชน์อย่างมากที่จะนำไปเป็นแนวคิด ในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างอื่นต่อไป อันจะเห็นได้ว่าเมืองไทยในปัจจุบันกำลังเติบโตและขยายตัวในทุกๆด้านการพัฒนากำลังคนในด้านการวิจัยจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอน

1. วิธีสำรวจและรวบรวมข้อมูล
2. แหล่งที่มาของข้อมูล
3. วิธีการสร้างเครื่องมือวิจัย
4. สถิติที่ใช้ในการวิจัย
5. วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการสรุปผลงานการวิจัยจากการดำเนินงานวิทยานิพนธ์สรุปได้ดังนี้
จากการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือแบบสอบถามแล้วปรากฏว่าประสิทธิภาพของ
เครื่องมือวิจัยให้ผลทางด้าน ข้อมูลได้น่าเชื่อถือ พอสมควร วัดจากสภาพความเป็นจริง
ของข้อมูลกับค่าเฉลี่ยของข้อมูลซึ่งให้ผลใกล้เคียงกัน สามารถนำมาอ้างอิงในการออกแบบได้

อุปสรรคในการวิจัย นอกจากจะต้องสุ่มตัวอย่างบุคคลที่มีความเกี่ยวข้องกับ
การออกแบบ แล้ว การไปศึกษาข้อมูลเพื่อให้ได้ตัวแทนของผู้ถูกสำรวจก็เป็นการยาก
เพราะสาขาที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่เป็น สาขาวิชาเฉพาะทาง การรวมตัวกันจึงไม่ง่ายอย่างที่
คิด ต้องอาศัยการเข้าถึงตัวในแต่ละสถานที่เพื่อที่จะสามารถใช้เครื่องมือได้อย่างเต็ม
ประสิทธิภาพ และการยอมรับจากนักวิชาการตลอดจนข้าราชการที่เกี่ยวข้องทำให้การ
เข้าศึกษาข้อมูลสัมฤทธิ์ผล แต่ก็มีส่วนเช่นความแตกต่างในการใช้ภาษาในการสื่อ
ความหมายอาจผิดพลาดคลาดเคลื่อนไปบ้าง แต่ผู้วิจัยก็ได้ศึกษาจากตำราเพิ่มเติมเพื่อ
ให้ได้ความรู้ที่ถูกต้องชัดเจนมากยิ่งขึ้น อุปสรรคทางด้านเวลาและอุปสรรคทางด้านภาระ
กิจการงานของผู้ให้ข้อมูลก็เป็นปัญหาสำคัญที่ควรจะต้องปรับปรุงแก้ไขในการทำวิจัยครั้งต่อไป

การดำเนินงานออกแบบได้รับทั้งคำปรึกษาและข้อมูลจากทางบริษัทผู้ผลิตเครื่อง
อิเล็กทรอนิกส์ความเป็นไปได้ในการผลิตจึงมีมากขึ้น เมื่อเทียบกับออกแบบจากการศึกษาด้วย
ตัวผู้วิจัยเองแต่เพียง อย่างเดียว รูปแบบของการดำเนินงานสอดคล้องกับการออกแบบ
ขั้นตอนในการทำงานจึงเป็นระบบมีระเบียบอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ ความผิดพลาดใน
การวิจัยด้านต่างๆสมควรได้รับคำติและควรทำการศึกษาเพื่อแก้ไข

ในการทำวิทยานิพนธ์ โครงการออกแบบปรับปรุง เครื่องเอกซเรย์รุ่น LOW ENERGY X-RAY KS 01 บริษัทคงศักดิ์เอกซเรย์การแพทย์อุตสาหกรรมจำกัด

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา และรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในทุกด้าน เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการพัฒนาการออกแบบ และจากการศึกษาข้อมูลต่างๆพบว่า เครื่องเอกซเรย์รุ่น LOW ENERGY X-RAY KS 01 เป็นที่สนใจในการศึกษาและออกแบบปรับปรุงเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพของคนไทยและสามารถต่อสู้กับผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันจาก ต่างประเทศได้ โดยมาตรฐานในการผลิตต้องได้รับการยอมรับตามเกณฑ์ของสากลและ สามารถ ป้องกันรังสี ได้ โดยไม่ทำอันตรายต่อผู้ ใช้งาน โดยควบคุมคุณภาพให้อยู่ในขอบข่ายที่สามารถยอมรับได้

การออกแบบคำนึงถึงความเป็นไปได้ในระบบการผลิตในประเทศและสามารถผลิตได้จากกรรมวิธีพื้นฐานไม่ซับซ้อนจนเกินกำลัง รูปแบบก็มีความน่าสนใจสะดุดตาโดยเฉพาะรูปทรงที่ เข้ากันได้ดีจากรากฐานที่ต่างกัน แต่ก็กลมกลืนกันได้ด้วยการ เลือกใช้สีให้กับผลิตภัณฑ์ ซึ่งใช้สีไม่ มากนักแต่ดูเหมาะสมกับการใช้งานของผลิตภัณฑ์ การตกแต่งกราฟฟิกบนตัวผลิตภัณฑ์เน้น ความเรียบง่าย ไม่หวือหวาเพราะเป็น ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทำงานที่เป็นงานเฉพาะและยังเป็ นงานที่ทำในห้องปฏิบัติการ จึงควรมีการตกแต่งที่เป็นกลาง ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความ ต้องการของผู้บริโภคที่สั่งผลิต ระบบการทำงานของเครื่องเอกซเรย์ผู้วิจัยไม่ได้ทำการเปลี่ยนแปลงเพราะอาจจะ ส่งผลในประสิทธิภาพการทำงาน แต่ออกแบบให้โครงสร้างและส่วนประกอบ ต่างๆมีความสัมพันธ์กับระบบมากที่สุด

ระบบการเคลื่อนที่ได้รับการพัฒนาโดยการทำหุ่นจำลองทดสอบและ ใช้งานปรากฏว่า เมื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับของเดิมพบว่าการใช้งานส่งผลเป็นที่น่าพอใจ สามารถใช้งาน ได้อย่างสอดคล้อง กับสภาพการใช้งานและสัมพันธ์กับกายวิภาคของมนุษย์

ซึ่งการปฏิบัติงานทั้งหมดตั้งแต่การเริ่มเสนอหัวข้อโครงการ การหาข้อมูล ตลอดไปจนถึง การวิเคราะห์และสรุปการออกแบบ ผู้วิจัยตั้งใจทำในทุกขั้นตอน อย่างเต็มความสามารถเพราะ ผู้ วิจัยมีความคุ้นเคยเกี่ยวกับการใช้งานเครื่องเอกซเรย์ในงานด้านรังสีเทคนิคมาเป็นเวลาพอสมควร และ รู้สึกรัก และต้องการที่จะศึกษาและ พัฒนาในสิ่งที่ตัวเองสนใจให้ดีที่สุด ดังนั้นในการทำงานผู้ วิจัยจึงไม่รู้สึกท้อแท้แต่ประการใดแต่ ด้วยเงื่อนไขของเวลาและภาระกิจทางด้านการศึกษาและ การทำงานทำให้มีอุปสรรคเกิด ขึ้นอย่างมากมาในการวิจัยแต่การวิจัยครั้งนี้ก็สำเร็จลงด้วยดี ผล งานคงจะยังประโยชน์ ให้แก่ผู้ที่สนใจ สืบค้นหาข้อมูลต่อไปได้ ความผิดพลาดทั้งหมดที่เกิดขึ้นใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิจัยผู้วิจัยหวังว่าคงได้รับการอภัยจากผู้อ่านและศึกษา และผู้วิจัยเองจะนำข้อผิดพลาดทั้งหมดไปเป็นประสบการณ์พัฒนาและปรับปรุงรูปแบบ การทำงานพัฒนางานวิจัยให้ดียิ่งขึ้นไป

ข้อเสนอแนะจากอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ในการดำเนินงานวิจัยหรือในการทำวิทยานิพนธ์ควรทำอย่างเป็นระบบและถูกต้องตามหลักการในการทำวิทยานิพนธ์ภายใต้ขอบเขตของเวลาที่กำหนดควร มีการวางแผนอย่างเป็นระเบียบตาม ขั้นตอน เพื่อเป็นการง่ายที่จะเตรียมและดำเนินงาน ในการอ้างอิงและศึกษา ข้อมูลควรจับประเด็นในเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย และรู้จักการอ้างอิงในรูปแบบต่างๆ เพื่อความสมบูรณ์ใน การทำงาน และลักษณะการทำงานที่เราถนัดควรศึกษา ในสิ่งอื่นเพิ่มเติมด้วย เพื่อ เปิดโลกทัศน์และ มุมมองที่แตกต่าง ซึ่งจะส่งผลดีให้กับการออกแบบ

ข้อเสนอแนะจากอาจารย์ผู้ตรวจวิทยานิพนธ์

- อาจารย์แนะนำให้มีการทำแบบสอบถามโดยคำนึงถึงความเหมาะสมกับความสัมพันธ์ในการอ้างอิงข้อมูลให้พิจารณาเกณฑ์ที่เหมาะสม เพื่อใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด
- ให้กำหนดกลุ่มเป้าหมายที่น่าสนใจหลายกลุ่มที่เกี่ยวข้อง
- แนะนำให้เลือกใช้วัสดุตามสายการผลิตให้เหมาะสมในบางจุดเช่น ระบบเคลื่อนที่
- เสนอแนะให้ตรวจสอบรายละเอียดเล็กๆ น้อยๆ เพื่อเป็นองค์ประกอบในการออกแบบซึ่งเป็นหน้าที่ของนักออกแบบ
- เสนอแนะให้ตรวจสอบมิติการทำงานเพิ่มเติมเพื่อใช้ในการปรับปรุงการออกแบบในครั้งต่อไป

กรมประมง. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. สถิติผลผลิตการเลี้ยงสัตว์น้ำจืด 2535. โรงพิมพ์
สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม ม.เกษตรศาสตร์, 2538.

กรมประมง. ครบรอบ 60 ปีกรมประมง. หจก. ฤทธิศรีการพิมพ์, 2533.

เกษมชัย บุญเพ็ญ. พื้นฐานโลหะแผ่น. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ประกอบแม่ไทร, 2533.

ชิตน ศรียากย์. คู่มือวิชาประมง. อกส. พิมพ์ครั้งที่ 1, อมการพิมพ์, 2533.

คณะอนุกรรมการแก้ไขปัญหาการวิเคราะห์สารเป็นพิษ. คู่มือความปลอดภัยในห้องปฏิบัติ
การ. โรงพิมพ์การศาสนา, กรุงเทพฯ, 2530.

จรวพร ธรนิษฐ์. กายวิภาคและสรีรวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 1, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
, พระนคร, 2530.

จิระชัย กลิ่นกุหลาบ. องค์ประกอบที่มีผลต่อการเลือกเรย์ภาพ, 2527.

เจริญ วัชรังษี. ห้อง ปฏิบัติการสารเคมีที่ถูกหลักวิชา ในเอกสารประกอบการ
สัมมนาทางวิชาการเชิงปฏิบัติการเรื่องอันตรายจากสารเคมีและการป้องกัน, 2534.

ชูศักดิ์ เวชแพทย์. วิชาเครื่องเลือกเรย์. พิมพ์ครั้งที่ 2, มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ, 2530.

ชวิน เป้าอารีย์. งานโลหะ. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์อักษรสาสน์, 2521.

ชัยสวัสดิ์ เทียนวิมลย์. ทฤษฎีไฟฟ้าประยุกต์. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ ก. จิวรรณ, 2526.

ณรงค์ ขอบตะวัน. คู่มือซ่อมเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์สมมิตร
ออฟเซต, 2528.

ประมวล ใจสะอาด. วัสดุช่าง. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์อักษรบัณฑิตการพิมพ์, 2525.

พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. พลาสติก. กรุงเทพฯ: มิตรนาการพิมพ์, 2535.

พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. ไฟเบอร์กลาส. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มิตรนาการพิมพ์, 2526.

มานพ ตันตระบัณฑิต และ พรวิจิตร ประทุมทอง. กรรมวิธีการผลิต. พิมพ์ครั้งที่
2, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น, 2535.

วิเชียร เกตุสิงห์. หลักการสร้างและวิเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย. กรุงเทพฯ: สนพ
. เรือนอักษร, 2532.

วิจิต เกตุคุปต์. รังสีมนุษยชาติ. พิมพ์ครั้งที่ 3, กราฟฟิการ์ต, พระนคร, 2530.

สงบ อมรเลิศวิมาน. อันตรายจากการแผ่รังสี. กรุงเทพฯ, 2534.

สง สุขตานนท์. ไฟฟ้าเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2532.

สนั่น สุขวานิช. กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา. พิมพ์ครั้งที่8, คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, พระนคร, 2531.

สมาคมรังสีเทคนิคแห่งประเทศไทย, ครบรอบ60ปี. พิมพ์ที่ภาพพิมพ์, 2530.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย, ขนาดสัดส่วนของคนไทย. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาการพิมพ์, 2533.

อนันต์ ทองมอญ. ขุนโครเมียม ขุนทอง. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ภาพพิมพ์, 2532.

Evertt k., Hugher d. 1975. A Guide to Laboratory design . Cold Composition Ltd., Tunbridge Wells, Kent, England.

Horman V .Steere, Safety in the chemical. Laboratory Journal of Chemical Education, 1974.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบสำรวจความคิดเห็นการออกแบบปรับปรุงเครื่องเอกซเรย์คลื่นรังสีต่ำ

(LOWENERGY X-RAY KS 01 บริษัทงคตคคเคอซเรยการแพทยอุตสาหกรรจกคค)

ขอชี้แจงในการกรอกแบบสอบถาม

1. แบบสอบถามประกอบด้วย 3 ตอนคือ

ตอนที่ 1 เป็นคำถามสำหรับผู้กรอกเพื่อสำรวจกลุ่มผู้เกี่ยวข้อง

ตอนที่ 2 เป็นคำถามแสดงความคิดเห็น

ตอนที่ 3 แสดงลักษณะเครื่องเอกซเรย์คลื่นรังสีต่ำและคำถามแสดงความคิดเห็น

2. กรุณาทำเครื่องหมาย / หน้าข้อที่ท่านเห็นสมควร

ตอนที่ 1

ชื่อ.....นามสกุล.....

อาชีพ.....

เพศ () ชาย () หญิง

อายุ () 20-25 ปี () 26-30 ปี () 31-40 ปี () 41-50 ปี () 51-60 ปี

() มากกว่า 60 ปี

ท่านมีรายได้เดือนประมาณ () 5,000-10,000 บาท

() 11,000-20,000 บาท

() 21,000-30,000 บาท

() 31,000-40,000 บาท

() มากกว่า 40,000 บาท

ตอนที่ 2 แสดงความคิดเห็นในการออกแบบปรับปรุงเครื่องเอกซเรย์คลื่นรังสีต่ำ

1. ท่านมีความรู้เกี่ยวกับงานด้านรังสีเทคนิคมากน้อยเท่าไร

() มากอย่างยิ่ง

() มาก

() ปานกลาง

() น้อย

() น้อยอย่างยิ่ง

2. ท่านมีความรู้เกี่ยวกับเครื่องเอกซเรย์มากน้อยเท่าไร

() มากอย่างยิ่ง

() มาก

() ปานกลาง

() น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ท่านคิดว่าการใช้งานเครื่องเอ็กซเรย์ในปัจจุบันมีความปลอดภัยเพียงพอแล้วหรือไม่

- () มากอย่างยิ่ง
- () มาก
- () ปานกลาง
- () น้อย
- () น้อยอย่างยิ่ง

4. ท่านคิดว่าระบบการทำงานเครื่องเอ็กซเรย์ในปัจจุบันใช้งานได้เป็นอย่างไร

- () ดีมากอย่างยิ่ง
- () ดี
- () ปานกลาง
- () ใช้งานไม่ได้
- () ใช้งานไม่ได้อย่างยิ่ง

5. ท่านรู้จักเครื่องเอ็กซเรย์คลื่นรังสีต่ำมากน้อยเท่าไร

- () มากอย่างยิ่ง
- () มาก
- () ปานกลาง
- () น้อย
- () น้อยอย่างยิ่ง

6. ท่านคิดว่าควรมีการออกแบบปรับปรุงเครื่องเอ็กซเรย์คลื่นรังสีต่ำมากน้อยเท่าไร

- () มากอย่างยิ่ง
- () มาก
- () ปานกลาง
- () น้อย
- () น้อยอย่างยิ่ง

7. ท่านคิดว่าควรปรับปรุงในส่วนใดของเครื่องเอ็กซเรย์คลื่นรังสีต่ำ(ตอบได้มากกว่าข้อ)

- () โครงสร้าง
- () ระบบ
- () ทุกส่วนที่ไม่เหมาะสมในการใช้งาน ระบุ.....

8. ท่านคิดว่าการผลิตเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นเองภายในประเทศน่าสนับสนุนมากน้อยเท่าไร

- () มากอย่างยิ่ง
- () มาก
- () ปานกลาง
- () น้อย
- () น้อยอย่างยิ่ง

9. ท่านคิดว่าคุณภาพเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ที่ผลิตภายในประเทศกับเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ที่นำเข้าจากต่างประเทศแตกต่างกันมากน้อยเท่าไร

- () มากอย่างยิ่ง
- () มาก
- () ปานกลาง
- () น้อย
- () น้อยอย่างยิ่ง

10. ท่านคิดว่าการออกแบบปรับปรุงรูปทรงภายนอกของเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ให้มีความน่าสนใจจะช่วยส่งเสริมให้เครื่องอิเล็กทรอนิกส์เครื่องนั้นมีเอกลักษณ์น่าจดจำมากน้อยเท่าไร

- () มากอย่างยิ่ง
- () มาก
- () ปานกลาง
- () น้อย
- () น้อยอย่างยิ่ง

ตอนที่3 แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับลักษณะของเครื่องเอ็กซ์เรย์

ภาพแสดงลักษณะเครื่องเอ็กซ์เรย์คลื่นรังสีต่ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ท่านคิดว่าแผนกควบคุมการทำงานอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมมากน้อยเท่าไร

- () มากอย่างยิ่ง
- () มาก
- () ปานกลาง
- () น้อย
- () น้อยอย่างยิ่ง

2. ท่านคิดว่าโครงสร้างและรูปทรงของเครื่องเอ็กซ์เรย์มีความเหมาะสมน่าสนใจมากน้อยเท่าไร

- () มากอย่างยิ่ง
- () มาก
- () ปานกลาง
- () น้อย
- () น้อยอย่างยิ่ง

3. ท่านคิดว่าสามารถเคลื่อนย้ายเครื่องเอ็กซ์เรย์ได้สะดวกมากน้อยเท่าไร

- () มากอย่างยิ่ง
- () มาก
- () ปานกลาง
- () น้อย
- () น้อยอย่างยิ่ง

4. ท่านคิดว่าสมควรที่จะมีฝาครอบเพื่อป้องกันสิ่งสกปรกและฝุ่นละอองที่ด้านบนของตัวเครื่องเอ็กซ์เรย์มากน้อยเท่าไร

- () มากอย่างยิ่ง
- () มาก
- () ปานกลาง
- () น้อย
- () น้อยอย่างยิ่ง

5. ท่านคิดว่าควรจะมีการออกแบบปรับปรุงให้อุปกรณ์เสริมต่างๆเช่น แท่นวางอุปกรณ์ ที่เก็บสายไฟใช้งานได้สะดวกขึ้นมากน้อยเพียงไร

- () มากอย่างยิ่ง
- () มาก
- () ปานกลาง
- () น้อย
- () น้อยอย่างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน

นายจตุรงค์ เลาหะเพ็ญแสง

วันเดือนปีเกิด

วันที่ 30 มิถุนายน 2518

สถานที่เกิด

จ. เชียงใหม่

วุฒิการศึกษาระดับ ปวส.

ออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสิ่งทอ

สถานที่สำเร็จการศึกษา

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคพายัพ

จ. เชียงใหม่

ผลงานหรือรางวัลที่เคยได้รับ

ทุนเรียนศึกษาระดับมัธยม

ประสบการณ์การทำงาน

บริษัทอาร์ทแอนด์อาชีเทค คำนการออกแบบเครื่อง
เรือน

ที่อยู่ปัจจุบัน

301/38 หมู่บ้านรุ่งอรุณ 2 ถ. ฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว

เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทร 01 9602564



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้