

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

COMPUTER ASSISTED INSTRUCTION ENTITLED METALLIC  
FOR BACHELOR OF SCIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2000-ED-M-231-064

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

**บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**COMPUTER ASSISTED INSTRUCTION ENTITLED METALLIC  
FOR BACHELOR OF SCIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**



T 0 9 5 6 5 6 1

**ประเสริฐ ศรีพนม**

**PRASERT SRIPANOM**

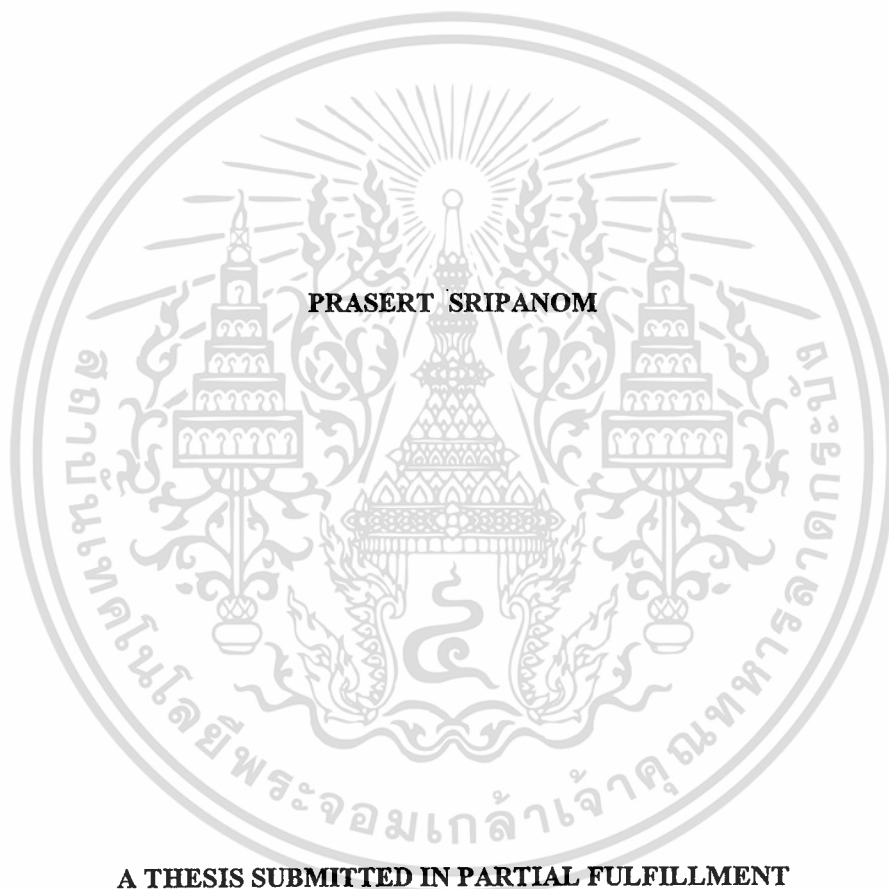
เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... **95656**  
วัน,เดือน,ปี..... **27 พ.ค. 2552**

|         |
|---------|
| .b..... |
| .i..... |

**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร  
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2552  
KMITL-2009-ED-M-231-064**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**COMPUTER ASSISTED INSTRUCTION ENTITLED METALLIC  
FOR BACHELOR OF SCIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION  
PROGRAM IN ELECTRICAL COMMUNICATIONS ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2009**

**KMITL-ED-M-000-000**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2009**

**FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

**หัวข้อวิทยานิพนธ์**                    บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
**Computer Assisted Instruction Entitled Metallic for Bachelor of Science in Industrial  
 Education King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**

**นักศึกษา**                                    นายประเสริฐ ศรีพนม

**รหัสประจำตัว**                            48063517

**ปริญญา**                                    ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

**สาขาวิชา**                                วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์**        ผศ.ดร.ธีระพล                                    เทพหัสดิน ณ อยุธยา

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์**        รศ.อุดมศักดิ์                                    สารินุตร



| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ |                    | ลายมือชื่อ |
|--------------------------|--------------------|------------|
| รศ.วิสุทธิ               | สุนทรภักดี         |            |
| ผศ.ดร.ธีระพล             | เทพหัสดิน ณ อยุธยา |            |
| รศ.อุดมศักดิ์            | สารินุตร           |            |
| รศ.พีระวุฒิ              | สถิตย์คุณพิทักษ์   |            |
| รศ.ดร.กัญญาณี            | จิตต์การุณย์       |            |

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 9 เมษายน 2552 เวลา 09.00 น. เป็นต้นไป  
**สถานที่สอบ** ณ ห้องเรียนปริญญาเอก คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

**คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมรับรองแล้ว**

(รองศาสตราจารย์ พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์)

คณบดี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

วันที่.....14.....เดือน.....พฤษภาคม.....พ.ศ. 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์               | บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ หลักสูตรครุศาสตร์<br>อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร<br>ลาดกระบัง |
| นักศึกษา                        | นายประเสริฐ ศรีพนม   |
| รหัสนักศึกษา                    | 48063517   |
| ปริญญา                          | ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต   |
| สาขาวิชา                        | วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร   |
| พ.ศ.                            | 2552   |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์     | ผศ. ดร. วีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา  |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม | รศ. อุดมศักดิ์ สาริบุตร  |

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้เพื่อสร้างรวมทั้งหาคุณภาพและประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยตั้งสมมติฐานไว้ว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ที่สร้างขึ้นมีคุณภาพอยู่ในระดับดี ( $\bar{x} = 3.50$ ) ขึ้นไป และมีประสิทธิภาพของบทเรียน คือ E1/E2 เท่ากับ 85/85 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 1 หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งลงทะเบียนเรียน วิชาวัสดุวิศวกรรม ในปีการศึกษา 2551 จำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน แบบประเมินคุณภาพของบทเรียน และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน สถิติที่ใช้ในวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก ค่าความเชื่อมั่น และค่าประสิทธิภาพของบทเรียน

ผลการวิจัยพบว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ มีคุณภาพด้านเนื้อหาอยู่ในระดับดีมาก ( $\bar{x} = 4.52$ , S.D. = 0.45) และด้านสื่ออยู่ในระดับดีมาก ( $\bar{x} = 4.51$ , S.D. = 0.46) และมีประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเท่ากับ 88.56/89.17 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด แสดงว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>Thesis Title</b>      | Computer Assisted Instruction Entitled Metallic for Bachelor of Science in Industrial Education King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| <b>Student</b>           | Mr. Prasert Sripanom  |
| <b>Student ID.</b>       | 48063517  |
| <b>Degree</b>            | Master of Science in Industrial Education   |
| <b>Program</b>           | Electrical Communications Engineering   |
| <b>Year</b>              | 2009  |
| <b>Thesis Advisor</b>    | Asst. Prof. Dr. Threraphon Thephasadin Na Ayuthya   |
| <b>Thesis Co-Advisor</b> | Assoc. Prof. Udomsak Saributr   |

### ABSTRACT

The purposes of this research were to develop and to find out the quality as well as the effectiveness of Computer Assisted Instruction entitled Metallic for Bachelor of Science in Industrial Education at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. The research hypotheses were set and tested to determine whether the lesson's quality would be more or equal to a very good ( $\bar{x} = 3.50$ ) level, and whether its efficiency or E1/E2 would be 85/85. The sample used in this research consisted of first year students from the Bachelor of Science in Industrial Education Program in Engineering Education field at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang who registered on Material Engineering course during 2551 academic year, totaled of 30 persons. The tools Utilizes in this study were Computer Assisted Instruction, Assess quality form of Instruction, and The Quotient Measurement testing form, the statistic for data analysis was Index of item Objective Congruence, Arithmetic mean, Standard Deviation, Difficulty, Discrimination, Reliability and Effectiveness of Computer Assisted Instruction.

The results of the research were found that Computer Assisted Instruction entitled Metallic had the quality of content at the great level ( $\bar{x} = 4.52$ , S.D. = 0.45) and multimedia at the great level ( $\bar{x} = 4.51$ , S.D. = 0.46). And its effectiveness was 88.56/89.17, which was higher than the specified criteria. This meant that the Computer Assisted Instruction entitled Metallic could be applied for teaching and learning efficiently.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีก็ด้วยความอนุเคราะห์จากท่าน ผศ. ดร. ชีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรศ. อุดมศักดิ์ สารินุตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำรวมทั้งการแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิจัยด้วยความเอาใจใส่เสมอมา ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของ ผศ.ดร.ชีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา ที่ได้มอบโอกาสให้ข้าพเจ้าได้เข้ามาศึกษาในสถาบันแห่งนี้ และยังเสียสละห้องทำงานให้ข้าพเจ้าได้ใช้เป็นสถานที่ดำเนินงานวิจัยด้วยดีเสมอมาจนสำเร็จผลการศึกษา ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำแก้ไขข้อบกพร่อง ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำ เพื่อการปรับปรุงแก้ไขเครื่องมือในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณกลุ่มตัวอย่างคือ นักศึกษาทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัยครั้งนี้ สำเร็จเป็นไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ รุ่น 10 ทุกคนที่เป็นกำลังใจ คอยช่วยเหลือทั้งทางตรงและทางอ้อมให้ข้าพเจ้าด้วยดีเสมอมา และขอขอบคุณรุ่นพี่ ที่ให้ข้อมูลสนับสนุนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของข้าพเจ้า ส่งผลให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลง ได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณพ่อແหลມ และคุณแม่ประยูง ศรีพนม รวมทั้งญาติพี่น้องของข้าพเจ้าที่ให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นด้านกำลังใจ การงาน หรือด้านการเงินก็ดี ทำให้ผู้วิจัยสามารถผ่านพ้นอุปสรรคต่างๆ ไปได้

คุณค่า และประโยชน์ใดๆ อันพึงมีจากการทำวิทยานิพนธ์นี้ ข้าพเจ้าขอบแต่บิดา มารดา ครู-อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านด้วยความเคารพยิ่ง แต่หากมีข้อผิดพลาดประการใดข้าพเจ้าขอรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

ประเสริฐ ศรีพนม

# สารบัญ

|  | หน้า      |
|--|-----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....                                   | I         |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                                | II        |
| กิตติกรรมประกาศ.....                                   | III       |
| สารบัญ.....  | IV        |
| สารบัญตาราง.....                                       | VI        |
| สารบัญภาพ.....   | VII       |
| <b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>                               | <b>1</b>  |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....                | 1         |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....                       | 2         |
| 1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....                          | 2         |
| 1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....                    | 2         |
| 1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....                             | 3         |
| 1.6 นิยามคำศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย.....             | 3         |
| <b>บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>     | <b>5</b>  |
| 2.1 วิชาวัสดุวิศวกรรม.....                             | 5         |
| 2.2 บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน .....                    | 36        |
| 2.3 การหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ..... | 53        |
| 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....                        | 56        |
| <b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....</b>              | <b>59</b> |
| 3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง .....                      | 59        |
| 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย .....                   | 59        |
| 3.3 การสร้างเครื่องมือและการเก็บรวบรวมข้อมูล.....      | 60        |
| 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิจัย .....   | 72        |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

|  | หน้า       |
|--|------------|
| <b>บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....</b>                                      | <b>74</b>  |
| 4.1 ผลการวิเคราะห์หาคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน.....                    | 74         |
| 4.2 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน.....               | 76         |
| <b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผลวิจัย และข้อเสนอแนะ .....</b>            | <b>80</b>  |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย.....  | 80         |
| 5.2 การอภิปรายผลการวิจัย.....  | 83         |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ.....  | 84         |
| <b>บรรณานุกรม .....</b>  | <b>86</b>  |
| <b>ภาคผนวก .....</b>   | <b>89</b>  |
| ภาคผนวก ก หนังสือราชการและรายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ.....                            | 90         |
| ภาคผนวก ข แบบประเมินคุณภาพด้านสื่อและด้านเนื้อหา.....                          | 93         |
| ภาคผนวก ค ผลการประเมินคุณภาพด้านสื่อและด้านเนื้อหา.....                        | 99         |
| ภาคผนวก ง แบบประเมินความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม.....               | 102        |
| ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์หาค่าดัชนีความสอดคล้อง.....                            | 113        |
| ภาคผนวก ฉ ผลการวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และค่าความเชื่อมั่น.... | 115        |
| ภาคผนวก ช แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน.....                                | 120        |
| ภาคผนวก ช ผลสัมฤทธิ์การทำแบบทดสอบท้ายบทเรียนและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน.....      | 126        |
| ภาคผนวก ฉ ตัวอย่างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน.....                               | 129        |
| <b>ประวัติผู้เขียน .....</b>   | <b>133</b> |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่ |   | หน้า |
|----------|---|------|
| 2.1      | การแบ่งหัวข้อเรื่อง และองค์ประกอบสาระของเนื้อหาในหน่วยการเรียนรู้.....  | 8    |
| 2.2      | คุณสมบัติของธาตุต่างๆ ที่ผสมในเหล็กกล้า.....                            | 22   |
| 2.3      | คุณสมบัติของธาตุต่างๆ ที่ผสมในเหล็กหล่อ.....                            | 23   |
| 2.4      | คุณสมบัติของธาตุต่างๆ ที่ผสมในเหล็กหล่อโลหะผสม.....                     | 23   |
| 2.5      | การนำเหล็กกล้าคาร์บอนไปใช้งาน.....                                      | 23   |
| 2.6      | ลักษณะของงานอุตสาหกรรมที่นำเหล็กแต่ละประเภทไปใช้งาน.....                | 24   |
| 2.7      | การนำอลูมิเนียมไปใช้งาน.....  | 33   |
| 2.8      | โครงสร้างในแต่ละส่วนของบทเรียน.....                                     | 43   |
| 4.1      | ผลการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ด้านเนื้อหา.....           | 74   |
| 4.2      | ผลการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ด้านสื่อ.....              | 75   |
| 4.3      | สรุปผลการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยรวมทางด้านเนื้อหาและด้านสื่อ.....           | 76   |
| 4.4      | ผลการทำแบบทดสอบของกลุ่มตัวอย่าง เพื่อนำไปหาประสิทธิภาพของบทเรียน.....   | 77   |
| 4.5      | สรุปผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ | 78   |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่ |  | หน้า |
|--------|--|------|
| 2.1    | แสดงขั้นตอนการเตรียมสินแร่เหล็ก .....                                      | 13   |
| 2.2    | เตาสูง (Blast Furnace).....  | 14   |
| 2.3    | การเปลี่ยนแปลงของผิวโลก.....   | 25   |
| 2.4    | กระบวนการถลุงทองแดง.....   | 27   |
| 2.5    | กระบวนการผลิตอลูมิเนียม.....   | 30   |
| 2.6    | การแยกสารประกอบแมกนีเซียม.....   | 35   |
| 3.1    | ขั้นตอนการวิเคราะห์หลักสูตรและจัดทำเนื้อหาหัวเรื่องในแต่ละหน่วยการเรียนรู้ | 63   |
| 3.2    | ขั้นตอนการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ.....                  | 66   |
| 3.3    | ขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน.....                       | 67   |



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โลหะใช้กันมานานตั้งแต่สมัยโบราณ เช่น ใช้เป็นมีด ขวาน เครื่องมือกลกรรม เป็นต้น หรือแม้แต่ในปัจจุบัน โลหะก็ยังใช้ในสภาพการที่ต่างกัน โดยจะมีคุณลักษณะใช้งานที่แตกต่างกันไป บางชนิดต้องการความเหนียว บางชนิดต้องการความแข็งแรง บางชนิดต้องหลอมออกมาเป็นรูปร่างตามต้องการ บางชนิดต้องการรีดออกมาให้เป็นเส้นกลม เช่น เหล็กที่ใช้ในงานคอนกรีตเสริมเหล็กหรือทำตะปู เป็นต้น

โลหะจึงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาการศึกษาและอุตสาหกรรมของชาติ ในการพัฒนาการศึกษาและอุตสาหกรรมต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นวิศวกร นักวิทยาศาสตร์ หรือนักเทคโนโลยี ล้วนต้องเกี่ยวข้องกับวัสดุในงานวิศวกรรมอยู่เสมอ ทั้งในด้านของผู้ใช้วัสดุ ผู้ผลิต และผู้ควบคุมกระบวนการผลิต ตลอดจนผู้ออกแบบ องค์กรประกอบ และโครงสร้าง บุคคลเหล่านี้จำเป็นต้องเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมถูกต้องกับคุณสมบัติการใช้งานของวัสดุประเภทนั้นๆ คงไม่แปลกอะไรที่โลหะจะมีบทบาทสำคัญต่องานอุตสาหกรรมในปัจจุบัน เช่น อุตสาหกรรมการถลุงเหล็ก อุตสาหกรรมรถยนต์ อุตสาหกรรม โครงสร้างเหล็ก เป็นต้น ความรู้เกี่ยวกับวัสดุในงานวิศวกรรมจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับวิศวกรทุกสาขาวิชา เช่น วิศวกรรมโยธา วิศวกรเครื่องกล วิศวกรไฟฟ้า วิศวกรอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

วิชาวัสดุวิศวกรรมจึงจำเป็นต้องมีการจัดการเรียนการสอนใน หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ หรือแม้แต่ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาครุศาสตร์วิศวกรรม ภาควิชาครุศาสตร์ วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ดังนั้นวิชาวัสดุวิศวกรรมจัดได้ว่าเป็นพื้นฐานความรู้ที่มีประโยชน์ต่อนักศึกษา และเป็นวิชาหนึ่ง ที่เชื่อมโยงแนวคิดของวิศวกรหลายๆ สาขาเข้าด้วยกันได้

ปัญหาที่นักศึกษาหรือบุคคลทั่วไปบางกลุ่ม มักจะมองข้ามความสำคัญของวิชานี้ไปอย่าง น่าเสียดายมักฝังใจและเชื่อกันผิดๆ ว่าวิชานี้น่าเบื่อ เต็มไปด้วยการท่องจำ และสื่อที่ดีในการเรียน การสอนมีน้อย อีกทั้งไม่เห็นประโยชน์ของวิชานี้ที่จะมีต่อคนในอนาคต

อย่างไรก็ตามปัญหาหนึ่งที่เป็นปัญหาในการศึกษาวิชาวัสดุวิศวกรรม เรื่อง โลหะ คือ การมองภาพ กระบวนการผลิต หรือมิติต่างๆ ของนักศึกษาหรือผู้เรียน ยังมองภาพไม่ออกจึงเป็นการอยากต่อการเรียนให้เข้าใจได้ง่าย และเวลาที่ศึกษาด้วยตนเองนอกเวลาก็มีน้อย

จากปัญหาที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยจึงคิดที่จะสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเข้ามาแก้ไขปัญหาในการเรียนวิชาวัสดุวิศวกรรม แต่อย่างไรก็ตามวิชาวัสดุวิศวกรรมในปัจจุบันได้แบ่งหรือมีเนื้อหาข้อย่อยมากมาย ด้วยเหตุนี้เองผู้วิจัยจึงเลือกเน้นเฉพาะทางที่มีผลต่ออุตสาหกรรม คือ จะเน้นเฉพาะเรื่องโลหะ เท่านั้นที่นำมาสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในวิชาวัสดุวิศวกรรม

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัย จึงต้องการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างและหาคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่มีคุณภาพ
2. เพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## 1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ มีคุณภาพในระดับดี ( $\bar{X} = 3.50$ ) ขึ้นไป
2. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ  $E_1/E_2$  อยู่ในเกณฑ์ 85/85

## 1.4 กรอบแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้วิจัยได้นำขั้นตอนการออกแบบบทเรียน ที่ดัดแปลงมาจากกระบวนการเรียนการสอนของ Robert Gagne' (รุจ โรจน์ แก้วอุไร 2545) (Internet) ได้กล่าวถึงหลักการออกแบบ บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่เกิดจากการออกแบบในลักษณะการเรียนการสอนจริง โดยยึดหลักการนำเสนอเนื้อหาและการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนและบทเรียน ซึ่งประกอบด้วย 9 ประการดังนี้ คือ

- |                     |                             |
|---------------------|-----------------------------|
| 1. เร่งเร้าความสนใจ | 4. นำเสนอเนื้อหาใหม่        |
| 2. บอกวัตถุประสงค์  | 5. ชี้แนะแนวทางการเรียน     |
| 3. ทบทวนความรู้เดิม | 6. กระตุ้นการตอบสนองบทเรียน |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ให้ข้อมูลย้อนกลับ

9. สรุปและนำไปใช้

8. ทดสอบความรู้

จากขั้นตอนการสอนทั้ง 9 ประการของ Robert Gagne' ผู้วิจัยได้นำมาใช้ทั้งหมด 9 ประการ ทั้งนี้เพื่อให้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนบรรลุผลตามวัตถุประสงค์และสมมุติฐานของการวิจัย

## 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของงานวิจัยไว้ดังนี้

### 1.5.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากร เป็นนักศึกษาหลักสูตร 5 ปี ระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2551 หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 50 คน

2. กลุ่มตัวอย่าง เป็นนักศึกษาหลักสูตร 5 ปี ระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 1 ตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม ซึ่งลงทะเบียนเรียน วิชาวัสดุวิศวกรรม รหัสวิชา 03376006 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2551 จำนวน 30 คน ใช้วิธีการเลือกสุ่มแบบเจาะจง

### 1.5.2 เนื้อหาวิชาที่ใช้ในการวิจัย

เนื้อหาวิชาที่นำมาใช้สร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ประกอบด้วย 2 หน่วยการเรียนรู้ คือ

1. หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 โลหะหนัก มี 2 หัวเรื่อง คือ เหล็ก และทองแดง

2. หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 โลหะเบา มี 2 หัวเรื่อง คือ อะลูมิเนียม และแมกนีเซียม

### 1.5.3 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรที่ศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ คือ คุณภาพและประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

## 1.6 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย

1.6.1 บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน หมายถึง ความสามารถของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้น ได้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์อยู่ในระดับเกณฑ์คุณภาพที่หวังไว้

1.6.2 แบบประเมินคุณภาพ หมายถึง แบบฟอร์มการประเมินบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมาให้สอดคล้องกับสาระเนื้อหาของบทเรียนให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ซึ่งแบ่งการประเมินออกเป็น 2 ด้าน คือ ด้านเนื้อหาและด้านสื่อ

1.6.3 คุณภาพบทเรียน หมายถึง คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่มีคุณภาพในระดับดี ( $\bar{X} = 3.50$ ) ขึ้นไป ซึ่งประเมินคุณภาพโดยผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ได้แบ่งออกเป็น 2 ด้าน คือ ด้านเนื้อหาและด้านสื่อ ซึ่งมีความหมายดังนี้

1. ด้านเนื้อหา หมายถึง ความถูกต้อง ความชัดเจนของการลำดับเนื้อหาตามขั้นตอน มีความสอดคล้องของเนื้อหาเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ และสามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอน ได้อย่างมีคุณภาพ

2. ด้านสื่อ หมายถึง ความเหมาะสมของรูปแบบสื่อและการนำเสนอ รูปภาพการให้สีที่เหมาะสม สวยงาม ขนาดตัวอักษร ความชัดเจนของภาพมีความน่าสนใจ มีลักษณะจูงใจผู้เรียน และสามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอน ได้อย่างมีคุณภาพ

1.6.4 ประสิทธิภาพ หมายถึง ระดับประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่จะช่วยให้เกิดการเรียนรู้กับผู้เรียนอยู่ในระดับเกณฑ์ที่กำหนด E1/E2 เท่ากับ 85/85 ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างประสิทธิภาพของกระบวนการเรียน (E1) กับประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E2) ที่กำหนดไว้ในการหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

E1 ตัวแรก หมายถึง ประสิทธิภาพระหว่างกระบวนการเรียน ได้จากคะแนนที่นักศึกษาทำแบบทดสอบเมื่อเรียนจบในแต่ละหน่วยการเรียน ได้ค่าเฉลี่ยถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 85

E2 ตัวที่สอง หมายถึง ประสิทธิภาพหลังกระบวนการเรียน ได้จากคะแนนที่นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนจบทุกหน่วยการเรียน ได้ค่าเฉลี่ยถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 85

1.6.5 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ หมายถึง แบบทดสอบที่ใช้ในการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นตามเนื้อหาในหลักสูตรของแต่ละหน่วยการเรียน ซึ่งเป็นแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ที่ผ่านการวิเคราะห์แล้ว และมีจำนวนแบบทดสอบครอบคลุมจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1.6.6 นักศึกษา หมายถึง นักศึกษาหลักสูตร 5 ปี ระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 1 หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม ซึ่งลงทะเบียนเรียนวิชาวัสดุวิศวกรรม (Engineering Materials) รหัสวิชา 03376006 ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้วิจัยได้ศึกษารวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ โดยได้แบ่งออกเป็นหัวข้อดังนี้

- 2.1 วิชาวัสดุวิศวกรรม
- 2.2 บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
- 2.3 การหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
- 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 วิชาวัสดุวิศวกรรม

##### 2.1.1 หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาครุศาสตร์วิศวกรรม

###### 2.1.1.1 ชื่อหลักสูตร

ชื่อภาษาไทย หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาครุศาสตร์วิศวกรรม

ชื่อภาษาอังกฤษ Bachelor of Science in Industrial Education Program in Engineering Education

###### 2.1.1.2 ชื่อปริญญา

ชื่อเต็ม (ไทย) ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ครุศาสตร์วิศวกรรม)

ชื่อย่อ (ไทย) ค.อ.บ.(ครุศาสตร์วิศวกรรม)

ชื่อเต็ม (อังกฤษ) Bachelor of Science in Industrial Education (Engineering Education)

ชื่อย่อ (อังกฤษ) B.S.I.Ed. (Engineering Education)

แบ่งออกเป็น 4 แขนงวิชาดังนี้

1. แขนงวิชาโทรคมนาคม
2. แขนงวิชาอิเล็กทรอนิกส์
3. แขนงวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์
4. แขนงวิชาการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1.3 หน่วยงานที่รับผิดชอบ

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### 2.1.1.4 ปรัชญาและวัตถุประสงค์ของหลักสูตร

#### ปรัชญา

มุ่งพัฒนาบุคลากรด้านครุศาสตร์วิศวกรรม และวิชาการครุศาสตร์วิศวกรรม เพื่อสนองต่อความต้องการทั้งในภาครัฐและเอกชน และพัฒนาการศึกษาให้สอดคล้องกับการพัฒนาประเทศด้านสังคม เศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน

#### วัตถุประสงค์ของหลักสูตร

1. เพื่อผลิตบัณฑิตด้านครุศาสตร์วิศวกรรมที่มีความรู้ และทักษะทั้งภาคทฤษฎี และภาคปฏิบัติที่มีคุณธรรม จริยธรรม ทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม และรักษาสิ่งแวดล้อม ให้สามารถปฏิบัติงานในสถานศึกษาหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา ในระดับ อุดมศึกษา อาชีวศึกษา และการศึกษาขั้นพื้นฐานในภาครัฐและเอกชน

2. เพื่อส่งเสริม และสนับสนุนให้มีการศึกษาค้นคว้า วิจัย พัฒนา และบริการวิชาการด้านครุศาสตร์วิศวกรรม

### 2.1.1.5 กำหนดการเปิดสอน

ตั้งแต่ปีการศึกษา 2549 เป็นต้นไป

### 2.1.1.6 คุณสมบัติของผู้เข้าศึกษา

เป็นผู้สำเร็จการศึกษาไม่ต่ำกว่าระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย หรือเทียบเท่าที่กระทรวง ศึกษาธิการรับรอง

### 2.1.1.7 การคัดเลือกผู้เข้าศึกษา

เป็นผู้ที่ผ่านการคัดเลือกตามระเบียบของสำนักงานคณะกรรมการ การอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการและเป็นผู้ที่ผ่านการคัดเลือกหรืออาจรับ โดยการเทียบโอน ตามข้อบังคับ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ว่าด้วยการศึกษาระดับปริญญาตรี พ.ศ.2549

### 2.1.1.8 ระบบการศึกษา

ใช้ระบบการศึกษาเป็นแบบทวิภาค โดย 1 ปีการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ภาคการศึกษา และในภาคการศึกษาปกติมีระยะเวลาการศึกษาไม่น้อยกว่า 15 สัปดาห์ และอาจจะเปิดสอนภาคฤดูร้อน (ภาคเรียนที่ 3) โดยใช้เวลาการศึกษาไม่น้อยกว่า 6 สัปดาห์ โดยจัดเวลาครบตามหน่วยกิต

### 2.1.1.9 การคิดหน่วยกิต

1. รายวิชาภาคทฤษฎี ที่ใช้เวลาบรรยายหรืออภิปรายปัญหาไม่น้อยกว่า 15 ชั่วโมง ต่อภาคการศึกษาปกติ ให้มีค่าเท่ากับ 1 หน่วยกิต ระบบทวิภาค

2. รายวิชาภาคปฏิบัติ ที่ใช้เวลาฝึกหรือทดลองไม่น้อยกว่า 30 ชั่วโมงต่อภาคการศึกษา ปกติ ให้มีค่าเท่ากับ 1 หน่วยกิต ระบบทวิภาค

3. การฝึกงานหรือฝึกประสบการณ์วิชาชีพครู ที่ใช้เวลาฝึกไม่น้อยกว่า 45 ชั่วโมงต่อภาคการศึกษาปกติ ให้มีค่าเท่ากับ 1 หน่วยกิต ระบบทวิภาค

4. การทำโครงการหรือกิจกรรมการเรียนอื่นใดตามที่ได้อบรมหมาย ที่ใช้เวลาทำโครงการหรือกิจกรรมนั้นๆ ไม่น้อยกว่า 45 ชั่วโมงต่อภาคการศึกษาปกติ ให้มีค่าเท่ากับ 1 หน่วยกิต ระบบทวิภาค

#### 2.1.1.10 ระยะเวลาการศึกษา

ใช้เวลาการศึกษาไม่เกิน 10 ปีการศึกษา สำหรับการลงทะเบียนเรียนเต็มเวลา และไม่เกิน 15 ปีการศึกษาสำหรับการลงทะเบียนเรียนไม่เต็มเวลา และให้เป็นไปตามข้อบังคับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ว่าด้วยการศึกษาระดับปริญญาตรี พ.ศ. 2549

#### 2.1.1.11 การลงทะเบียนเรียน

1. ให้ลงทะเบียนได้ไม่น้อยกว่า 9 หน่วยกิต และไม่เกิน 22 หน่วยกิต ในแต่ละภาคการศึกษาปกติ

2. ให้เป็นไปตามข้อบังคับ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ว่าด้วยการศึกษาระดับปริญญาตรี พ.ศ. 2549

#### 2.1.1.12 การวัดผลและการสำเร็จการศึกษา

ต้องเรียนครบตามจำนวนหน่วยกิตที่กำหนดไว้ในหลักสูตร และต้องได้ค่าระดับคะแนนเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 2.00 จากระบบ 4 แต้มระดับคะแนน และให้เป็นไปตามข้อบังคับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ว่าด้วยการศึกษาระดับปริญญาตรี พ.ศ. 2549

### 2.1.2 ทฤษฎีเนื้อหาวิชาวัสดุวิศวกรรม เรื่อง โลหะ

วิชาวัสดุวิศวกรรม รหัสวิชา 03376006 ตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาครุศาสตรวิวิศวกรรม ภาควิชาครุศาสตรวิวิศวกรรม คณะครุศาสตรอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

#### 2.1.2.1 คำอธิบายของวิชาวัสดุวิศวกรรม

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวัสดุวิศวกรรม ชนิดของวัสดุวิศวกรรม โครงสร้างผลึกและรูปทรงทางเลขาคณิตของผลึก การแข็งตัว ความบกพร่องของผลึกและการแพร่ในของแข็ง กระบวนการผลิตทางโลหะและโลหะผสม คุณสมบัติและการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ความสัมพันธ์ของโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาคกับคุณสมบัติของวัสดุวิศวกรรม แผนภาพสมดุลของโลหะผสม โลหะผสมทางวิศวกรรม กรรมวิธีทางความร้อนของเหล็กกล้า วัสดุวิศวกรรมของพลาสติก เซรามิกส์ แอสฟัลท์ ไม้ และคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนองค์ประกอบเนื้อหาวิชาที่นำมาใช้สร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ นั้นประกอบไปด้วยเนื้อหาของ ความหมายที่มา แหล่งกำเนิดของโลหะ กรรมวิธีการผลิต ประเภทและลักษณะการนำไปใช้งาน โดยเนื้อหาวิชาวัสดุวิศวกรรม ที่ผู้วิจัยนำมาทำการศึกษาวิจัย นั้นมี 4 หัวข้อ เรื่องด้วยกัน คือ เหล็ก ทองแดง อลูมิเนียม และ แมกนีเซียม เหตุผลที่ผู้วิจัยเลือกที่จะ ทำการศึกษาวิจัยทั้ง 4 หัวข้อเรื่องดังกล่าวนี้ ด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้

1. เป็นวัสดุที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ
2. วัสดุทั้ง 4 ประเภทนี้ เป็นที่นิยมและใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน
3. เหล็ก ทองแดง อลูมิเนียม และแมกนีเซียม เป็นวัสดุที่มีความสำคัญในงาน อุตสาหกรรม จึงควรค่าแก่การศึกษาค้นคว้าวิจัย ถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุ

#### 2.1.2.2 การแบ่งหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง โลหะ

การดำเนินการวิจัยแบ่งหน่วยการเรียนรู้ออกเป็น 2 หน่วยการเรียนรู้

ตารางที่ 2.1 การแบ่งหัวข้อเรื่อง และองค์ประกอบสาระของเนื้อหาในหน่วยการเรียนรู้

| ลำดับ                  | หัวข้อเรื่อง | สาระของเนื้อหา   | วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม   |
|------------------------|--------------|--|--|
| หน่วยที่ 1<br>โลหะหนัก | - เหล็ก      | 1. ที่มาและแหล่งกำเนิด<br>2. สินแร่เหล็ก<br>3. กรรมวิธีการถลุงสินแร่เหล็ก ด้วยเตาสูง<br>4. คุณสมบัติและการนำไปใช้งาน | 1. สามารถบอกและอธิบายได้ถึง แหล่งกำเนิด ที่มาของ โลหะ<br>2. สามารถบอกและอธิบายได้ถึง คุณสมบัติลักษณะของ เหล็ก ทองแดง อลูมิเนียม และ แมกนีเซียม |
|                        | - ทองแดง     | 1. ที่มาและแหล่งกำเนิด<br>2. สินแร่ทองแดง<br>3. การถลุงทองแดง<br>4. คุณสมบัติและการนำไปใช้งาน                        | 3. สามารถบอกและอธิบายได้ถึง กระบวนการผลิตของ โลหะ จำพวก เหล็ก ทองแดง อลูมิเนียม และแมกนีเซียม ได้  |
| หน่วยที่ 2<br>โลหะเบา  | - อลูมิเนียม | 1. ที่มาและแหล่งกำเนิด<br>2. กระบวนการผลิต<br>3. คุณสมบัติและการนำไปใช้งาน   | 4. สามารถบอกและอธิบายได้ ลักษณะการนำไปใช้งานของ โลหะจำพวก เหล็ก ทองแดง อลูมิเนียม และแมกนีเซียม ได้  |
|                        | - แมกนีเซียม | 1. ที่มาและแหล่งกำเนิด<br>2. การผลิตแมกนีเซียม<br>3. คุณสมบัติและการนำไปใช้งาน                                       |  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2.3 วัตถุประสงค์ทั่วไป

1. เพื่อให้ผู้เรียน ศึกษา เรียนรู้ และเข้าใจในความรู้พื้นฐานเบื้องต้นเกี่ยวกับชนิดของโลหะ ชื่อทางวิทยาศาสตร์ แหล่งกำเนิด ขั้นตอนกระบวนการผลิตโลหะ ตลอดจนคุณสมบัติของโลหะและประโยชน์การนำไปใช้งาน

2. เพื่อให้ผู้เรียน สามารถนำหลักการและความรู้เกี่ยวกับโลหะ ไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาค้นคว้า และการทำงาน

### 2.1.2.4 ทฤษฎีการเรียนรู้เกี่ยวกับ เรื่อง โลหะ

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 กลุ่ม โลหะหนัก มี 2 หัวข้อ คือ เรื่อง เหล็ก และเรื่อง ทองแดง

#### หัวข้อที่ 1 เรื่อง เหล็ก

##### 1. ความหมายและที่มาของแหล่งกำเนิดเหล็ก

ก่อนอื่นเรามาทำความเข้าใจเกี่ยวกับความหมายของแร่โลหะกันก่อนนะครับ

แร่ (Mineral) ความหมายคือ ธาตุหรือสารประกอบอนินทรีย์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีส่วนประกอบทางเคมีตั้งแต่ชนิดเดียวจนถึงหลายชนิดปนกัน

แร่โลหะ (Metallic Mineral) คือ แร่ที่มีธาตุ โลหะเป็นส่วนประกอบสำคัญ สามารถนำไปถลุงและแยกเอาโลหะในแร่มาใช้ประโยชน์ได้ เช่น แร่ทองคำ ดีบุก สังกะสี เหล็ก เงิน ตะกั่ว เป็นต้น

โลหะวิทยา (Metallurgy) ความหมายคือ เป็นวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในการแยกโลหะออกจากแหล่งแร่และสารประกอบ

ที่มาของสินแร่ได้มาจากการทำเหมืองแร่หรือการขุดสินแร่ เช่น การทำเหมืองเปิด การทำเหมืองใต้ดิน

สำหรับแหล่งกำเนิดสินแร่ในประเทศไทยมีแหล่งแร่ที่พบมากที่สุดที่เขาลเหล็ก อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช เขาทับควาย อ.โคกสำโรง จ.ลพบุรี สินแร่เหล็กที่พบ คือ สินแร่แมกนีไซต์ สินแร่เฮมาไทต์ สินแร่ลิโมนาท์ และ เขานิคมคริม จ.กาญจนบุรี อ.เมือง จ.เลย ฯลฯ สินแร่โดยทั่วไปจะเกิดรวมอยู่กับหิน กวาด ทราย และดิน ดังนั้นก่อนที่จะนำสินแร่มาถลุงจึงต้องทำความสะอาดเสียก่อน เรียกว่า กรรมวิธีการแต่งแร่ ซึ่งหมายถึงการคัดขนาด การบด และการแยกแร่ เป็นต้น

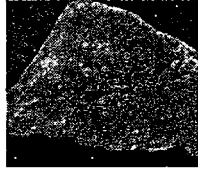
##### 2. สินแร่เหล็ก

สินแร่เหล็ก (Iron ores) เป็นสารประกอบทางเคมีของออกไซด์ คาร์บอนเนต และ ซัลไฟด์ แต่ก็อาจพบแร่เหล็กในรูปเหล็กบริสุทธิ์ เช่น อุกกาบาตหรือดาวตกก้อนโตๆ ที่ตกลงบนผิวโลก แต่แร่เหล็กที่ขุดได้จากพื้นโลกในครั้งแรกนั้น จะอยู่ในลักษณะเป็นของผสม ซึ่งมีสารอื่นๆ ผสมปะปนอยู่ เช่น ดิน หิน ทราย แร่เหล็กที่บริสุทธิ์จริงๆ นั้นเกือบจะไม่มีเลย

สินแร่เหล็กที่นำมาถลุงจะมีส่วนประกอบของสินแร่ต่างๆ อยู่ 4 ชนิดหลักๆ ได้แก่

(1) สินแร่เฮมาไทต์ (2) สินแร่แมกนีไทต์ (3) สินแร่ซิเดอไรต์ (4) สินแร่ลิโมนาท์

2.1 สนิแร่เฮมาไทต์ (Hematite) ชื่อทางวิทยาศาสตร์ เรียกว่า เหล็กออกไซด์ ( $Fe_2O_3$ ) มีลักษณะเป็นสินแร่สีแดง (Red iron ores) ถ้ามีความบริสุทธิ์มากอาจมีเนื้อเหล็กถึง 70% และออกซิเจน 30% นับว่าเป็นสินแร่หลักที่สำคัญ พบมากในประเทศสหรัฐอเมริกา



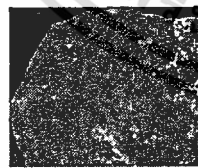
รูปสินแร่เฮมาไทต์

2.2 สนิแร่แมกนีไทต์ (Magnetite) ชื่อทางวิทยาศาสตร์ เรียกว่า เฟอโรโซเฟอริกออกไซด์ ( $Fe_3O_4$ ) มีลักษณะเป็นสินแร่สีดำ ถ้ามีความบริสุทธิ์มากอาจมีเนื้อเหล็กถึง 75% และมีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็ก พบมากในประเทศสวีเดน



รูปสินแร่แมกนีไทต์

2.3 สนิแร่ซิเดอไรต์ (Siderite) ชื่อทางวิทยาศาสตร์ เรียกว่า เหล็กคาร์บอเนต (Iron carbonate;  $FeCO_3$ ) มีลักษณะเป็นสินแร่สีน้ำตาล ถ้านำไปบดให้ละเอียดผิวเป็นมันวาว มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กธรรมชาติ มีเหล็กอยู่ในเนื้อแร่ 72.4% ออกซิเจน 26.6% มีแมกเนเซียมและแมงกานีสอยู่บ้างเล็กน้อย แหล่งที่พบมีที่ตอนเหนือของประเทศสวีเดน สหรัฐอเมริกาบริเวณ ตะวันตก นอกจากนั้นยังพบมากที่ นอร์เว โรมานี รัสเซีย และแอฟริกาใต้



รูปสินแร่ซิเดอไรต์

2.4 สนิแร่ลิโมนาท์ (Limonite) ชื่อทางวิทยาศาสตร์ เรียกว่า เหล็กออกไซด์และน้ำ ( $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ ) มีลักษณะเป็นสินแร่สีน้ำตาล (Brown iron ores) ถ้ามีความบริสุทธิ์มาก อาจมีเนื้อเหล็กถึง 60% พบมากในประเทศเยอรมนี



รูปสินแร่ลิโมนาท์

### 3. กรรมวิธีการถลุงสินแร่เหล็กด้วยเตาสูง

#### 3.1 ลักษณะของเตาสูง (Blast Furnace)

มีลักษณะเป็นปล่องสูงเรียวขึ้นไปจนถึงปากปล่อง ส่วนตรงกลางเตาจะป่องและค่อยๆ เรียวลงมายังก้นเตา เปลือกนอกของเตาหุ้มด้วยเหล็กแผ่น ผงภายในของเตาเรียงด้วยอิฐทนไฟชนิดต่างๆ ตามช่วงของความร้อนภายในเตาภายในผนังเตายังมีระบบน้ำหล่อเย็นเดินไว้ด้วย เพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในเตาไม่ให้ร้อนจนเกินไปและมีท่อลมเป่าเข้าบริเวณท่อนกลางของเตา ซึ่งเป็นบริเวณหลอมละลายของเหล็ก ลมที่เป่าเข้าไปจะเป็นลมร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิในการหลอม และช่วยประหยัดเชื้อเพลิง ขนาดของเตาสูงโดยทั่วไป มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10-20 เมตร ความสูงโดยประมาณ 30 เมตร ทำงานติดต่อกัน ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง ราว 10 ปี จึงมีการหยุดเพื่อซ่อมแซมครั้งหนึ่ง

#### 3.2 ส่วนประกอบของเตาสูง

##### 1. ฐานเตา (Foundation)

เป็นส่วนที่รองรับน้ำหนักของเตาทั้งหมด ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ส่วนที่เป็นฐานรากจะต้องตอกเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงเพื่อป้องกันพื้นทรุด เนื่องจากขณะทำการถลุงจะมีน้ำหนักของตัวเองแล้ว ยังต้องรวมของวัตถุดิบที่ใส่ลงไป ในเตา และน้ำหนักเหล็กดิบที่กำลังหลอมละลายอีกด้วย

##### 2. ก้นเตา (Hearth)

เป็นส่วนรองรับน้ำหนักเหล็กดิบที่หลอมละลายแล้ว ซึ่งจะก่อด้วยอิฐทนไฟเรียงเป็นชั้นๆ ดังนั้นตัวอิฐจะต้องมีความสามารถทนความร้อนได้สูง ที่บริเวณก้นเตานี้ยังมีรูสำหรับเจาะเอา น้ำเหล็กออก ถัดสูงจากรูเจาะสำหรับเอา น้ำเหล็กออกแต่อยู่คนละข้างของเตา จะมีรูเจาะอีกรูหนึ่ง สำหรับระบายขี้ตะกรัน (Slag) สาเหตุที่ต้องเจาะรูระบายขี้ตะกรันให้สูงกว่าเพราะขี้ตะกรันเบาหรือน้ำเหล็ก และลอยอยู่บนผิวหน้าของน้ำเหล็ก ดังนั้น ขี้ตะกรันจะถูกระบายออกก่อนน้ำเหล็ก เหนือรูทั้งสองขึ้นไปจะมีช่องสำหรับมองดูการหลอมละลายและดูระดับน้ำเหล็ก

##### 3. ส่วนหลอมละลาย (Bosh)

เป็นบริเวณหลอมละลายของวัตถุดิบที่ใส่ลงไป ในเตา หรือ บริเวณสิ้นสุดของปฏิกิริยาการเผาไหม้ภายในเตา ซึ่งบริเวณที่เกิดความร้อนสูงสุดภายในเตา ดังนั้นบริเวณนี้จะต้องเรียงด้วยอิฐทนไฟที่ทนความร้อนได้มากที่สุดของเตา ทางส่วนช่วงลาดของเตาจะมีรูลม (Tuyeres) อยู่รอบๆ เตา มีจำนวนหลายรูที่รับลมร้อนมาจากท่อใหญ่อีกทีหนึ่ง

##### 4. ปล่องเตา (Stack)

คือบริเวณส่วนที่เรียงอยู่ถัดสูงขึ้นมาจากบริเวณหลอมละลาย ภายในเตา บริเวณนี้เป็นบริเวณช่วงกำลังเกิดปฏิกิริยาต่างๆ และเป็นช่วงอุ่นตัวของวัตถุดิบ ดังนั้น บริเวณนี้จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าช่วงล่าง สามารถเรียงด้วยอิฐทนไฟชนิดทนความร้อนได้ปานกลางได้

## 5. ส่วนบนเตา (Top)

เป็นบริเวณบรรจุวัตถุดิบต่างๆ ลงในเตา ส่วนบนของเตาจะมีฝาปิดซึ่งมีลักษณะเป็นกรวย 2 ชั้น เพื่อป้องกันไม่ให้แก๊สในเตารั่วออก ขณะบรรจุวัตถุดิบจะเปิดกรวยชั้นแรกก่อน แล้วเติมวัตถุดิบลงไปแล้วปิด จากนั้นจึงเปิดกรวยที่อยู่ข้างล่างวัตถุดิบก็จะหล่นลงไปในห้องเตา นอกจากนี้ ส่วนบนของเตายังประกอบด้วยท่อทางออกของแก๊สร้อนที่ได้จากการถลุง เพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงในการอุ่นลมที่จะป้อนเข้าเตา

## 6. อุปกรณ์ลำเลียง (Charging Apparatus)

ประกอบด้วยรถลำเลียง (Skip Car) หรืออาจเป็นสายพานลำเลียง (Convayer) เพื่อลำเลียงวัตถุดิบ เช่น แร่เหล็ก ถ่าน โค้ก หินปูน เศษเหล็ก เป็นต้น

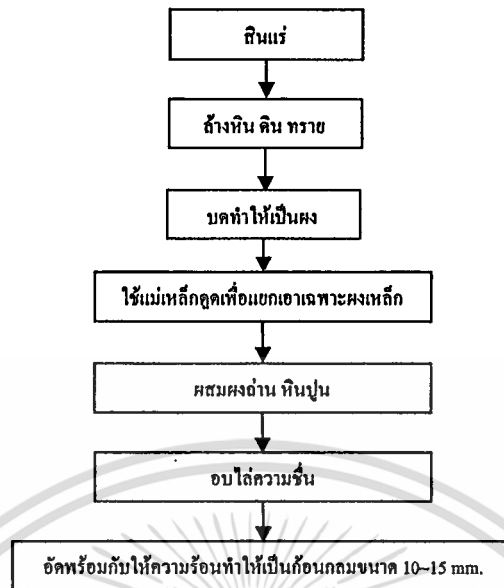
## 7. เตาเผาผลและอุปกรณ์พ่นลม (Chaucer Chamber and Blower)

เป็นส่วนที่แยกออกต่างหากจากเตาสูง มีลักษณะเป็นทรงกระบอกสูง ส่วนบนสุด โค้งเป็นครึ่งวงกลม ภายในเรียงด้วยอิฐทนไฟสลับกันเป็นชั้นๆ หลายแถว แก๊สร้อนจะเข้าทางด้านล่างของอิฐทนไฟ ทำการเผาอิฐทนไฟจนร้อนแดง เมื่ออิฐร้อนแดงจนได้ที่แล้วช่องแก๊สร้อนเข้าจะถูกปิด จากนั้นจะเปิดบ่มลมเพื่อบ่มลมเข้าเตา ลมจะวิ่งผ่านอิฐที่ร้อนแดงและจะนำเอาความร้อนไปด้วย กลายเป็นลมร้อนผ่านเข้าไปในท่อวงแหวนซึ่งมีท่อเล็กๆ ต่อแยกไปยังรูต่างๆ ที่อยู่ในบริเวณส่วนหลอมละลาย

เตาสูง (Blast Furnace) สำหรับถลุงเหล็กดิบ 1 เตา จะมีเตาอุ่นลมอยู่ประมาณ 2-3 เตาขึ้นไป เพื่อใช้ในการสับเปลี่ยนหมุนเวียนทำให้เกิดลมร้อนอย่างต่อเนื่อง

### 3.3 ขั้นตอนการเตรียมสินแร่เหล็ก

จากภาพที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการเตรียมสินแร่เหล็ก สินแร่ที่ขุดมาได้นั้น จะมีสิ่งสกปรก เช่น หิน ทราย ดิน กรวด ติดมาด้วย ดังนั้นก่อนที่จะนำไปเข้าเตาเผา จะต้องทำความสะอาดก่อน โดยการล้างหรือร่อน จากนั้นก้อนแร่ซึ่งมีส่วนผสมของสารอื่น จะต้องนำไปแยกร่อนก่อน โดยการบด ร่อน และล้าง ถ้าเป็นแร่ที่มีเปอร์เซ็นต์เหล็กน้อย จะต้องใช้วิธีบดให้เป็นผงละเอียด แล้วใช้แม่เหล็กดูดก็จะได้ส่วนที่เป็นแร่เหล็กออกมา จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้น ไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออก สินแร่ที่ได้นั้นจะมีลักษณะเป็นผงไม่สามารถบรรจุลงเตาสูง (Blast Furnace) ได้เนื่องจากเกิดการฟุ้งกระจายขณะเป่าลมเข้าไปในเตาดังนั้นจึงต้องนำไปผ่านกรรมวิธีผงอัด (Sintering) โดยการผสมผงถ่านโค้กและผงหินปูนลงไปด้วยการอัดจะทำให้ผงอัดเป็นแผ่นกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 ~ 15 mm. ซึ่งพอเหมาะที่จะบรรจุลงในเตาได้ การที่ต้องผสมผงถ่านโค้กลงไปด้วย เพื่อให้เป็นการประหยัดเชื้อเพลิง ส่วนหินปูนที่ผสมเพื่อให้เป็นฟลักซ์ (Flux) กำจัดสิ่งสกปรกในสินแร่ขณะหลอมละลาย สำหรับวัตถุดิบอื่นๆ ไม่ต้องมีการเตรียมที่ยุ่งยาก เพียงแต่ย่อยให้มีขนาดที่เหมาะสมพอที่จะบรรจุลงในเตาเผาได้เท่านั้น



ภาพที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการเตรียมสินแร่เหล็ก

### 3.4 วัตถุดิบที่ใช้ในการถลุงเหล็กดิบ

1. ลินแร่เหล็ก (Iron ore) เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ได้มาจากเหมืองแร่เหล็กต่างๆ หลังจากขุดแร่เหล็กได้แล้วก่อนที่จะป้อนเข้าเตาเผาจะต้องผ่านการเตรียมแร่ก่อน เพื่อให้เหลือสารเจือปนน้อยที่สุด

2. ถ่านโค้ก (Coke) เป็นเชื้อเพลิงหลักที่ใช้ในการถลุงเหล็ก นอกจากนั้นยังเป็นสารที่ทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีภายในเตา เป็นไปอย่างสมบูรณ์ระยะทำการถลุง ถ่านโค้ก เป็นสารสังเคราะห์ที่ได้จากการนำถ่านหิน ผ่านกรรมวิธีกลั่นทำลาย คือ นำเอาถ่านหินไปบรรจุในถังจำกัดมิให้อากาศเข้าได้ แล้วให้ความร้อนจนถ่านร้อนแดง สารไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในถ่านหินจะระเหยออกไปเป็นแก๊ส

3. หินปูน (Limestone) หรือมีชื่อทางเคมีว่า แคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) เป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญอีกอย่างหนึ่งในการผลิตเหล็กดิบ ที่ต้องใส่หินปูนลงไปด้วยนั้น เพื่อทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ แยกสารเจือปนในสินแร่เหล็กออก นอกจากนั้นยังทำให้สารเจือปนบางชนิดในสินแร่เหล็กซึ่งมีจุดหลอมละลายสูงมีอุณหภูมิต่ำลง สารเจือปนจะถูกหลอมละลายแยกตัวออกมาเป็นขี้ตะกรัน และลอยตัวอยู่เหนือผิวหน้าเหล็ก หน้าที่อีกอย่างหนึ่งของหินปูน ก็คือ เป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาการลดออกซิเจนในเตาสูงให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

4. เศษเหล็ก (Scrap iron) สาเหตุที่ต้องใส่เศษเหล็ก ซึ่งผ่านการถลุงมาแล้วครั้งหนึ่งลงไปด้วย เนื่องจากต้องการประหยัดสินแร่ ทำให้ลดต้นทุนการผลิตลง แต่เศษเหล็กที่ใส่ลงไปนั้นจะต้องมีการคัดเลือกเหล็กที่มีสารเจือปนจำพวกสารที่มีไฮโดรเจน เช่น สังกะสี ดีบุก ฯลฯ ให้

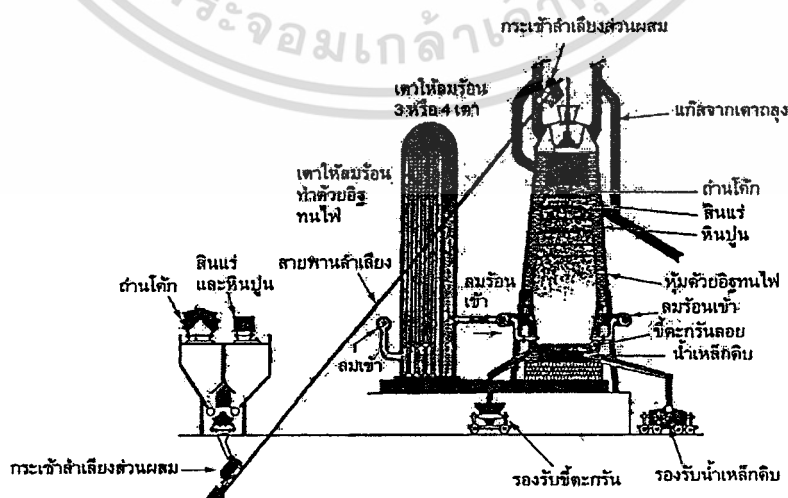
ปะปนอยู่น้อยที่สุด เพราะสารเหล่านี้ทำให้เกิดปัญหาต่อปฏิกิริยาภายในเตา ก่อนที่จะป้อนเศษเหล็กเข้าเตาเผาจะต้องทำความสะอาด พยายามกำจัดสารเจือปนและสนิมให้มากที่สุด นอกจากนั้นยังต้องบดให้ได้ขนาดตามต้องการอีกด้วย เศษเหล็กที่มีส่วนผสมของนิเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม เป็นเศษเหล็กที่ต้องการมากกว่าเศษเหล็กกล้าคาร์บอน เนื่องจากสารเหล่านี้จะเป็นตัวช่วยให้เหล็กดิบที่ผลิตออกมามีคุณภาพดียิ่งขึ้น แต่เศษเหล็กก็ไม่ใช่วัตถุดิบที่จำเป็นต้องใส่เสมอไป บางครั้งอาจจะใส่เฉพาะสินแร่แต่เพียงอย่างเดียว

5. อากาศ (Air) เป็นวัตถุดิบที่สำคัญอีกอย่าง เนื่องจากในการเผาไหม้ภายในเตา ต้องการออกซิเจนเข้าไปช่วยในการเผาไหม้เป็นอย่างมาก แหล่งออกซิเจนที่หาง่ายที่สุดคืออากาศที่ใช้หายใจ อากาศจะถูกปั๊มลมเป่าเข้าไปในเตาเผา แต่ลมที่พ่นเข้าไปนั้นจะต้องอุ่นให้ร้อนเสียก่อน เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่เตาเป็นการประหยัดเชื้อเพลิง

6. น้ำ (Water) ใช้สำหรับระบายความร้อนบริเวณเปลือกเตาซึ่งทำด้วยแผ่นเหล็ก น้ำที่ใช้ต้องเป็นน้ำสะอาด โดยทั่วไปอาจใช้น้ำจากแม่น้ำลำคลองแต่ไม่ควรใช้น้ำทะเล เพราะอาจกัดกร่อนชิ้นส่วนของเปลือกเตาชำรุดได้ง่าย

### 3.5 กรรมวิธีการถลุงสินแร่เหล็ก

การผลิตเหล็กดิบนั้นเกิดจากกรรมวิธีการถลุงสินแร่ด้วยเตาสูง (blast furnace) โดยการนำสินแร่ที่ผ่านกรรมวิธีการแต่งแร่แล้วมารวมกับถ่านโค้กและหินปูนในอัตราส่วนโดยประมาณแร่เหล็ก 2 ตัน ถ่านโค้ก 1 ตัน และหินปูน ½ ตัน เมื่อถลุงแล้วจะทำให้ได้เหล็กดิบออกมาประมาณ 1 ตัน แล้วป้อนเข้าสู่เตาถลุง (ดังภาพที่ 2.2) สำหรับถ่านโค้กนั้นจะทำหน้าที่ดึงเอาออกซิเจนออกจากสินแร่มารวมตัวกับคาร์บอนของถ่านโค้กทำให้สินแร่ที่หลอมละลายกลายเป็นเหล็กดิบแล้วตกลงสู่เบื้องล่าง ส่วนหินปูนจะใส่เข้าไปเพื่อให้เมื่อถูกเผาจะได้กลายเป็นปูนขาว ซึ่งจะทำหน้าที่รวมตัวกับสารมลทินต่างๆ ที่มีอยู่ในสินแร่เป็นก้อนเรียกว่า ชีตะกรัน (slag) และลอยตัวอยู่ข้างบนน้ำเหล็กดิบ



ภาพที่ 2.2 เตาสูง (Blast Furnace)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการถลุงเหล็กเพื่อให้ได้เหล็กดิบมีอยู่ 5 ขั้นตอนดังต่อไปนี้ คือ

**ขั้นตอนที่ 1** การลดออกซิเจน (deoxidization) ให้กับสินแร่ ถ่าน โคล์ที่ใส่เข้าไปในเตาถลุง จะเผาไหม้และให้ความร้อน ทำให้ช่วยลดความชื้นที่มีสินแร่และเกิดเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์นี้จะเป็นตัวช่วยลดออกซิเจนของสินแร่เหล็ก โดยที่การแยกเหล็กออกจากสินแร่จะเป็นไปไม่ได้ถ้าปราศจากการลดออกซิเจน เพราะสารที่รวมออกซิเจนแล้วในภาวะหลอมจะไม่รวมกับสารที่ได้ออกซิเจนขั้นตอนนี้ต้องใช้ความร้อนจากเตาประมาณ 600 C

**ขั้นตอนที่ 2** การเดินคาร์บอน (carbonization) ของเหล็ก เมื่อสินแร่ถูกลดออกซิเจน ก็จะเกิดปฏิกิริยาเป็นลักษณะรูพรุน ซึ่งเรียกว่า เหล็กพรุน (sponge iron) จะค่อยๆ เคลื่อนตัวไหลลงไปที่ก้นเตาที่มีอุณหภูมิเผาไหม้ประมาณ 1,200 C ณ อุณหภูมินี้จะเกิดปฏิกิริยาการเพิ่มคาร์บอนให้กับเหล็กพรุน กลายเป็นเหล็กคาร์ไบด์ ( $Fe_3C$ ) และหลอมละลายทันที

**ขั้นตอนที่ 3** การหลอมเหล็กหรือช่วงถลุงเหล็ก เมื่อมีการหลอมเกิดขึ้น สารที่รวมกับออกซิเจนแล้วจะรวมกันเป็นกากและแยกตัวออกจากสารหลอมที่ไม่ได้ออกซิเจน เพื่อให้เหล็กหลอมแยกตัวออกจากกาก หรือตะกรันได้สมบูรณ์ จำเป็นต้องให้อุณหภูมิร้อนจัดไว้ที่ประมาณ 1,500 C เพื่อให้ น้ำเหล็กดิบดูดสารที่ลดออกซิเจนแล้ว และดูดคาร์บอนจนถึงจุดอิ่มตัว

**ขั้นตอนที่ 4** การเปลี่ยนสารเจือปนในสินแร่ให้เป็นกาก (slag) เมื่อเกิดการหลอมขึ้น หินปูนก็จะเกิดการแตกสลายตัวอย่างรวดเร็ว (quick lime;  $CaO$ ) และทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนและกำมะถันที่รวมอยู่กับสินแร่แยกตัวออกมาเป็นขี้ตะกรัน (slag) และขี้ตะกรันนี้จะมีค่าความจำเพาะต่ำ จึงลอยตัวอยู่เหนือน้ำเหล็กดิบ

**ขั้นตอนที่ 5** การแยกเหล็กหลอมเหลวกับกาก น้ำเหล็กดิบกับตะกรันจะจับ ไล่ซึ่งกันและกันทางเคมีและก็มีค่าแตกต่างกัน ตะกรันจะลอยเหนือน้ำเหล็ก และจะถูกปล่อยให้ไหลออกมาทางช่องน้ำทิ้งก่อน จากนั้นน้ำเหล็กดิบก็จะถูกปล่อยลงมาทางก้นเตา ซึ่งน้ำเหล็กดิบที่ปล่อยออกมาจากเตาก็จะมีวิธีดำเนินการอยู่สองลักษณะคือ นำไปหล่อเป็นแท่ง ส่วนอีกลักษณะหนึ่งนั้น โดยทั่วไปการถลุงเหล็กมักจะทำงานร่วมกับ โรงงานผลิตเหล็กกล้า เมื่อปล่อยน้ำเหล็กดิบออกมาก็จะส่งต่อไปยังเตาเผาเหล็กกล้าหรือเหล็กหล่อต่อไป

#### 4. โลหะประเภทเหล็ก

เหล็กกล้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าประสม

**1. เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon steels)** หมายถึง เหล็กกล้าที่มีส่วนผสมของธาตุคาร์บอนเป็นธาตุหลักที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณสมบัติทางกลของเหล็ก และยังมีธาตุอื่นผสมอยู่อีก ซึ่งแบ่งเหล็กกล้าคาร์บอนออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

**1.1 เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.25%** นอกจากคาร์บอนแล้วยังมีธาตุอื่นผสมอยู่ด้วย เช่น แมงกานีส ซิลิคอน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน แต่มีปริมาณ

เอกสารนี้อาจมีลิขสิทธิ์หรือสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในชีวิตประจำวันไม่ต่ำกว่า 90% เนื่องจากขึ้นรูปง่าย เชื่อมง่าย และราคาไม่แพง โดยเฉพาะเหล็กแผ่นมีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น ตัวถังรถยนต์ ชิ้นส่วนยานยนต์ต่างๆ กระจังรถจักรยานยนต์ อาหาร สังกะสีมุงหลังคา เครื่องใช้ในครัวเรือน และในสำนักงาน

1.2 เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางเป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอน 0.2-0.5% มีความแข็งแรงและความเค้นแรงดึงมากกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำแต่จะมีความเหนียวน้อยกว่าสามารถนำไปชุบแข็งได้ ใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องจักรกล รางรถไฟ เฟือง ก้านสูบ ท่อเหล็ก ไขควง เป็นต้น

1.3 เหล็กกล้าคาร์บอนสูงเป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอน 0.5-1.5% มีความแข็งแรงและความเค้นแรงดึงสูง เมื่อชุบแข็งแล้วจะเหมาะสมสำหรับงานที่ทนต่อการสึกหรอ ใช้ในการทำเครื่องมือ สปริงแหนบ ลูกปืน เป็นต้น

2. เหล็กกล้าประสม (Alloy steels) หมายถึง เหล็กที่มีธาตุอื่นนอกจากคาร์บอนผสมอยู่ในเหล็ก ธาตุบางชนิดที่ผสม อยู่อาจมีปริมาณมากกว่าคาร์บอน คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักในเหล็กก็ได้ ธาตุที่ผสมลงไปได้แก่ โมลิบดีนัม แมงกานีส ซิลิกอน โครเมียม อลูมิเนียม นิกเกิล และวานาเดียม เป็นต้นจุดประสงค์ที่ต้องเพิ่มธาตุต่างๆ เข้าไปในเนื้อเหล็กก็เพื่อทำให้คุณสมบัติของเหล็กเปลี่ยน ไปนั่นเองที่สำคัญก็คือ

1. เพิ่มความแข็ง
2. เพิ่มความแข็งแรงที่อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิสูง
3. เพิ่มคุณสมบัติทางฟิสิกส์
4. เพิ่มความต้านทานการสึกหรอ
5. เพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน
6. เพิ่มคุณสมบัติทางแม่เหล็ก
7. เพิ่มความเหนียวแน่นทนต่อแรงกระแทก

เหล็กกล้าประสม แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

### 1. เหล็กกล้าประสมต่ำ (Low Alloy Steels)

เป็นเหล็กกล้าที่มีธาตุประสมรวมกันน้อยกว่า 8% ธาตุที่ผสมอยู่ คือ โครเมียม นิกเกิล โมลิบดีนัม และแมงกานีส ปริมาณของธาตุที่ใช้ผสมแต่ละตัวจะไม่มากประมาณ 1 – 2% ผลจากการผสมทำให้เหล็กสามารถชุบแข็งได้ มีความแข็งแรงสูง เหมาะสำหรับการทำชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เช่น เฟือง เพลาข้อเหวี่ยง จนบางครั้งมีชื่อว่าเหล็กกล้าเครื่องจักรกล (Machine Steels) เหล็กกล้ากลุ่มนี้จะต้องใช้งานในสภาพชุบแข็งและอบก่อนเสมอจึงจะมีค่าความแข็งแรงสูง

## 2. เหล็กกล้าประสมสูง (High alloy steels)

เหล็กกล้าประเภทนี้จะถูกปรับปรุงคุณสมบัติ สำหรับการใช้งานเฉพาะอย่าง ซึ่งก็จะ มีธาตุประสมรวมกันมากกว่า 8% เช่น เหล็กกล้าทนความร้อน เหล็กกล้าทนการเสียดสี และ เหล็กกล้าทนการกัดกร่อนในที่นี้จะศึกษาเหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กกล้าทำเครื่องมือ

### 2.1 เหล็กกล้าสแตนเลส (Stainless Steels) หรือเรียกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม

ส่วนมากผลิตมาจากเตาไฟฟ้าเหล็กกล้ากลุ่มนี้ทนต่อการผุกร่อน หรือด้านการ เป็นสนิมได้ดี ธาตุที่มีบทบาทมากได้แก่ โครเมียม ที่ผสมเข้าไปในเนื้อเหล็ก ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางๆ ชั้นที่ผิวของเหล็กฟิล์มนี้จะมีความแข็งแรงสูง โปร่งใส ยึดตัวกับผิวเหล็กได้ดี มีความหนาแน่นสูงและไม่มีรูพรุน นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการซ่อมตัวเอง (เกิดขึ้นใหม่เองได้ เพื่อทดแทนส่วนของฟิล์มเก่าที่ถูกทำลายไป ได้อย่างรวดเร็วการที่จะเกิดฟิล์มในลักษณะดังกล่าวได้ จะต้องมีโครเมียมผสมอยู่ไม่น้อยกว่า 10 % (ส่วนใหญ่มีอยู่ประมาณ 12%) นอกจากโครเมียมแล้วเหล็กกล้าไร้สนิมยังมีธาตุอื่นผสมอยู่อีกเช่น โมลิบดีนัม นิกเกิล และแมงกานีส เป็นต้น เหล็กกล้าไร้สนิม ถ้าโครงสร้างเปลี่ยนไปอันเนื่องจากอุณหภูมิบรรยากาศการใช้งาน หรือลักษณะของแรงที่มากระทำ ฟิล์มจะไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันสนิม อันเกิดจากบรรยากาศภายนอกได้ เหล็กกล้าไร้สนิมก็จะเป็นสนิมได้ทันทีที่เหล็กกล้าไร้สนิม มีมากมายหลายชนิด ขึ้นอยู่กับส่วนผสมทางเคมี และโครงสร้างทางโลหะวิทยา โดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม

ก. กลุ่มออสเตนิติก (Austenitic) หรือเหล็กกล้าออสเตนิติก มีส่วนผสมของคาร์บอน 0.15 % โครเมียม 18% นับเป็นกลุ่มที่มีหลายเกรดมากที่สุด ถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง เหล็กกลุ่มนี้มีโครงสร้างหลักเป็นออสเตนไนท์ (มีนิกเกิลและแมงกานีสเป็นส่วนผสมหลัก) ไม่เป็นสารแม่เหล็ก ไม่สามารถทำการชุบแข็ง เพื่อปรับปรุงคุณภาพของเหล็กกล้าด้วยความร้อนได้ นิยมใช้ทำ เครื่องครัว มีด แท็งค์น้ำ เป็นต้น เหล็กกล้าประเภทนี้มีการแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย เช่น ประเภทคาร์บอนต่ำกว่าหรือเท่ากับ 0.08% ตามมาตรฐานอเมริกา (AISI) คือ เกรด 304 เกรด 316 เป็นต้น

ข. กลุ่มเฟอร์ริติก (Ferritic) กลุ่มนี้ไม่มีนิกเกิลเป็นส่วนผสมมีแต่เหล็ก และโครเมียม มีราคาถูก ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี ไม่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อนทางการชุบแข็งได้ (Hardening) เนื่องจากมีอัตราส่วนของคาร์บอนกับโครเมียมต่ำ มีโครงสร้างหลักเป็นเฟอร์ไรท์ สามารถดูดแม่เหล็กได้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทคาร์บอนต่ำมีโครเมียมประมาณ 15 – 18% และมีคาร์บอนไม่เกิน 0.12% ประเภททนต่อความร้อน มีโครเมียมประมาณ 25 – 30% และคาร์บอน 0.3 %

ค. กลุ่มมาร์เตนซิติก (Martensitic) มีโครงสร้างเหล็กเป็นมาแลนไซต์ มีเหล็กโครเมียม และคาร์บอนเป็นส่วนผสม แต่คาร์บอนเป็นตัวที่ทำให้ความต้านทานการผุกร่อนลดลง จึงเป็นธาตุที่ไม่พึงประสงค์ แต่เหล็กกลุ่มนี้สามารถเพิ่มความแข็งแรงโดยการชุบแข็งได้ จึงต้องมี

คาร์บอนผสมอยู่ แบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ ประเภทที่มีคาร์บอนไม่เกิน 0.15% โครเมียมระหว่าง 12 – 14 % ประเภทที่มีคาร์บอนประมาณ 0.2 – 0.4% โครเมียมระหว่าง 13 – 15% และประเภทที่มีคาร์บอนระหว่าง 0.6 – 1% โครเมียมระหว่าง 14 – 16%

## 2.2 เหล็กกล้าเครื่องมือ (Tool steels)

เป็นเหล็กที่มีส่วนผสมของธาตุโครเมียม โมลิบดีนัม นิกเกิล วาเนเดียม โคบอลต์ และไทเทเนียม เกินกว่า 5% และมีคาร์บอนอยู่ระหว่าง 0.8 – 2.2% ธาตุประสมเหล่านี้สามารถเพิ่มคุณสมบัติพิเศษให้กับเหล็กกล้าเครื่องมือ โดยเฉพาะเหล็กกล้าความเร็วรอบสูง ที่รักษาคมมีดตัด โลหะได้ดี ถึงแม้ใช้งานที่อุณหภูมิสูง จนผิวของคมตัดร้อนมีสีแดง คุณสมบัตินี้เรียกว่า ความแข็งขณะร้อน (Hot hardness) เช่น ดอกกัด (Endmill) มีดกลึง มีดไส เครื่องมือทำเกลียวใน (Tap) และเครื่องมือทำเกลียวนอก (Die) การแบ่งชนิดของเหล็กกล้าเครื่องมือสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท คือ ลักษณะการใช้งานเหล็กเครื่องมือ ปริมาณของธาตุประสม และ ลักษณะการชุบแข็งจากการที่นำวัสดุต่างๆ ผสมเข้าไปในเหล็กกล้า ทำให้เกิดเหล็กกล้าประสมที่มีคุณสมบัติตามวัสดุที่มาผสม ซึ่งเหล็กกล้าชนิดนี้จะเรียกชื่อตามวัสดุที่มาประสม ได้แก่

2.2.1 เหล็กกล้า นิกเกิล (Nickel Steel) เหล็กกล้าผสมนิกเกิล จะมีคุณสมบัติคือ มีความต้านทานการล้าตัว ทนต่อความกัดกร่อน มีความเหนียวเพิ่มขึ้น ทนต่อความกระแทกได้ดี เหมาะสมกับชิ้นงานที่ต้องการทนต่อการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีได้ดี ถ้ามีส่วนผสมนิกเกิล 1.5 – 3% จะตีรูปได้ง่าย แต่ถ้ามี 5% จะสามารถรับแรงกระแทกได้ดีมากเหล็กกล้า นิกเกิล ที่มีนิกเกิลผสมอยู่ 10 – 22% และมีโครเมียมผสมอยู่ด้วยจะทำให้เหล็กกล้า นิกเกิลทนต่อการกัดกร่อนได้ดีมาก

- ผสมนิกเกิล 25%-30% ใช้ทำเหล็กกล้าที่ต้านทานการกัดกร่อน
- ผสมนิกเกิล 30%-40% จะทำให้สัมประสิทธิ์ขยายตัวต่ำ ใช้ทำเครื่องมือวัดละเอียดจะต้องมีอัตราการขยายตัวน้อยที่สุดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
- ผสมนิกเกิล 30% และ โครเมียม 12% มีคุณสมบัติ คือ มีอัตราการยืดหดน้อยมาก
- ผสมนิกเกิล 50% มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กได้ดีมาก

2.2.2 เหล็กกล้าโครเมียม (Chromium Steel) โครเมียม เป็นโลหะชนิดหนึ่ง ที่นิยมนำมาผสมลงในเหล็กกล้ากันอย่างกว้างขวาง จะรวมตัวกับคาร์บอน ได้โครเมียมคาร์ไบด์ (Chromium Carbides) มีความแข็งแรงมาก ทนต่อการสึกหรอ มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กได้ดี เมื่อชุบแข็งจะทำให้ความแข็งซึมลึก และเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อน เมื่อผสมโครเมียม 30%-60% จะทำให้เปราะและแตกง่ายเมื่อผสมโครเมียมกับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ จะทำให้มีคุณสมบัติเหนียว และทนต่อการกระแทกที่อุณหภูมิปกติเหมาะที่จะนำไปทำเพื่อง, ลูกสูบ, สปริง, สลักลูกปืน, ลูกรีด เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กกล้าคาร์บอนสูงที่ผสม โครเมียมสูงประมาณ 12%-14% และคาร์บอน 1.5-1.25% ใช้ทำมีดหรือเครื่องมือผ่าตัด, ใบมีดเครื่องตัดเฉือน

2.2.3 เหล็กกล้าประสม โมลิบดีนัม (Molybdenum Steel) มีคุณสมบัติคล้ายกับเหล็กกล้าประสม โครเมียม

- คุณสมบัติด้านความสามารถในการชุบแข็งได้ดีเมื่อผสม โมลิบดีนัมลงไปไม่เกิน 1% แต่ถ้าประสมปริมาณมากกว่านี้ จะทำให้คุณสมบัติการชุบแข็งลดลงแต่สามารถทนความร้อนได้ดี
- รักษาความแข็ง ได้จนกระทั่งอุณหภูมิสูงถึง 600 องศาเซลเซียส
- สามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ดี

2.2.4 เหล็กกล้าประสมวานาเดียม (Vanadium Steel) มีคุณสมบัติดังนี้

- เพิ่มคุณสมบัติด้านความสามารถในการชุบแข็งเมื่อผสมวานาเดียมไม่เกิน 0.04%
- เมื่อผสมวานาเดียมลงไปมากกว่า 0.04% จะทำให้ลดคุณสมบัติทางด้านความสามารถในการชุบแข็งลง
- วานาเดียมช่วยให้เหล็กกล้ามีเม็ดเกร็ดละเอียดมาก
- สามารถรักษาความแข็งที่อุณหภูมิสูงได้

2.2.5 เหล็กกล้าประสมแมงกานีส (Manganese Steel) เหล็กกล้าประสมแมงกานีสมีคุณสมบัติคล้ายกับเหล็กกล้าประสมนิเกิล คือ

- ทำให้เม็ดเกร็ดละเอียด
- เพิ่มคุณสมบัติทางด้านความสามารถในการชุบแข็งให้กับเหล็ก
- เพิ่มความแข็งแรงและความแข็งมากขึ้น แต่ความเหนียวจะลดลงในทางปฏิบัติจริงๆ ไม่นิยมใช้แมงกานีสเป็นธาตุประสม จะทำให้เหล็กกล้าประสม ไม่ทนต่อแรงกระแทก

2.2.6 เหล็กกล้าประสมทังสเตน (Tungsten Steel) เพิ่มคุณสมบัติทางด้านความสามารถในการชุบแข็ง ในอุตสาหกรรมเหล็กเครื่องมือ จะผสมทังสเตนในเหล็กที่ต้องการความแข็งแรงสูง และสามารถทนต่อความร้อนสูงด้วย เช่น มีดกลึง โลหะ หรือเหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์ร้อน เป็นต้น

2.2.7 เหล็กกล้าประสมติทานเนียม (Titanium Steel) มีคุณสมบัติดังนี้

- การชุบแข็งจะมากขึ้น เมื่อผสมติทานเนียมในเหล็กด้วยปริมาณไม่เกิน 1%
- ถ้าผสมลงไปในเหล็กเป็นจำนวนมากจะทำให้ลดความสามารถในการชุบแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ถ้านำคิตาเนียมผสมกับไนโตรเจนจะได้คิตาเนียมไนไตรท์ซึ่งมีความแข็งแรงสูง

#### 2.2.8 เหล็กกล้าประสมซิลิกอน (Silicon Steel) จะมีคุณสมบัติดังนี้

- ทำให้จุดคราก (Yield Point) ของเหลวสูงขึ้น
- ไม่มีบทบาทเกี่ยวกับการชุบแข็ง
- นำไปใช้งานเกี่ยวกับการเชื่อมไม่ดี เมื่อผสมซิลิกอนเข้าไปมาก เพราะซิลิกอนจะรวมตัวกับออกซิเจนได้ง่ายมาก

#### 2.2.9 เหล็กกล้าประสมโคบอลต์ (Cobalt Steel) มีคุณสมบัติดังนี้

- มีความแข็งแรงสูงขึ้น
- ชุบแข็งไม่ค่อยได้
- สามารถรักษาความแข็งไว้ได้แม้กระทั่งอุณหภูมิสูง

#### 2.2.10 เหล็กกล้าประสมอลูมิเนียม (Aluminum Steel) มีคุณสมบัติดังนี้

- มีความแข็งแรงสูงขึ้น

เหล็กกล้าที่ใช้ในวงการอุตสาหกรรมทั่วไป จะไม่ผสมธาตุใดธาตุหนึ่ง โดยเฉพาะ มักจะผสมธาตุอื่นลงไปด้วย ตั้งแต่สองธาตุขึ้นไป ทั้งนี้เพื่อให้บทบาทของธาตุที่ผสมลงไปได้มีส่วนเพิ่มคุณภาพของเหล็กกล้าผสมให้อยู่ในเกณฑ์สูง และราคาไม่แพงจนเกินไป

#### เหล็กหล่อ (Cast Iron)

เหล็กหล่อ (Cast Iron) เป็นเหล็กที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตให้มีส่วนผสมของคาร์บอนมากกว่า 2% มีคุณสมบัติต้านทานแรงดึงได้ดี มีราคาถูก ซึ่งคาร์บอนที่ผสมอยู่ในเหล็กหล่อจะรวมตัวได้สองลักษณะ คือ รวมตัวเป็นคาร์บอนอิสระหรือเรียกว่า แกรไฟต์ ส่วนอีกลักษณะหนึ่งนั้น คาร์บอนจะแทรกกระจายอยู่ในเนื้อเหล็กและรวมตัวอยู่กับเหล็กหรือเรียกว่า คาร์ไบด์ ลักษณะของแกรไฟต์จะช่วยให้เหล็กหล่อมีคุณสมบัติอ่อนและง่ายต่อการนำไปกลึงไสด้วยเครื่องจักร ส่วนคาร์ไบด์จะทำให้เหล็กหล่อมีคุณสมบัติแข็งเปราะ นำไปกลึงไสด้วยเครื่องจักรได้ยาก เหล็กกล้านอกจากจะมีคาร์บอนเป็นธาตุผสมหลักแล้ว ยังมีธาตุประสมอื่นๆ อีกเพื่อเป็นตัวช่วยปรับคุณสมบัติให้ได้ตามต้องการ เช่น ซิลิกอน กำมะถัน ฟอสฟอรัส แมงกานีส เป็นต้น

เหล็กหล่อสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

#### 1. เหล็กหล่อสีเทา (Gray Cast Iron)

เป็นการเรียกชื่อตามลักษณะเนื้อ โลหะที่มีสีเทา เนื่องจากมีปริมาณของคาร์บอนผสมอยู่ถึงประมาณ 3.5% ซิลิกอนประมาณ 2.5% แมงกานีสประมาณ 0.8% ฟอสฟอรัสประมาณ 0.05% และกำมะถันประมาณ 0.2% ขณะที่หล่อเสร็จก็จะปล่อยให้ค่อยๆ เย็นตัว มีผลให้คาร์ไบด์แตกตัวเป็นเฟอไรต์และแกรไฟต์ ซึ่งมีลักษณะเป็นเกล็ดแทรกกระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อเหล็ก ตามหลักการโลหะวิทยาถือว่าเหล็กหล่อสีเทามีคุณสมบัติรับแรงดึงและรับแรงสั่นสะเทือนได้ดี มีความแข็งแรง

สูง ยิ่งถ้าแกรไฟต์มีเกล็ดขนาดเล็ก ก็จะช่วยเพิ่มความแข็งแรง ลักษณะของงานอุตสาหกรรมที่ใช้เหล็กหล่อสีเทา เช่น ชิ้นส่วนจักรเย็บผ้า ฐานเครื่องจักร ท่อไอเสียส่วนต่อจากเครื่อง เสื้อสูบ กระบอบสูบ ลูกสูบ ล้อเบรค แบบหล่อ วาล์ว เป็นต้น

## 2. เหล็กหล่อสีขาว (White Cast Iron)

เป็นการเรียกชื่อตามลักษณะของเนื้อโลหะที่มีสีขาว เนื่องจากมีปริมาณของคาร์บอนผสมอยู่ถึงประมาณ 3.5% ซิลิคอนประมาณ 1% และธาตุอื่นอีกเล็กน้อย โดยเมื่อหล่อเสร็จก็จะทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลให้คาร์บอนไม่สามารถตกผลึกเป็นแกรไฟต์ได้ทัน คาร์บอนจึงรวมตัวกับเหล็กเป็นคาร์ไบด์ เป็นผลให้เหล็กหล่อสีขาวมีคุณสมบัติเปราะหักได้ง่าย ดัดขึ้นรูปไม่ได้ ชุบแข็งไม่ได้ แต่เทลงแบบได้ง่าย ลักษณะของงานอุตสาหกรรมที่ใช้เหล็กหล่อสีขาวจะเป็นชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่สามารถต้านทานการเสียดสี แต่รับแรงกระแทกได้น้อย เช่น เครื่องมือที่ใช้ขุดของแข็ง ผ้าเบรค งานเจียรในเพชรพลอย หัวฟันทราย ใช้บุผนังเครื่องไม่ เป็นต้น

## 3. เหล็กหล่อเหนียว (Spherical Graphite Iron)

เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เหล็กหล่อแกรไฟต์กลม เนื่องจากการเกิดแกรไฟต์ในเนื้อจะมีลักษณะกลม ซึ่งแตกต่างกับเหล็กหล่อสีเทาที่มีแกรไฟต์ลักษณะเป็นเกล็ด การเกิดแกรไฟต์กลมนี้จะเกิดจากการผสมแมกนีเซียมลงไปเนื้อเหล็กขณะที่มีอุณหภูมิหลอมเหลวที่ประมาณ 1,400 °C ซึ่งแมกนีเซียมจะช่วยให้คาร์บอนในเหล็กจับตัวเป็นเม็ดกลม จากนั้นก็จะเติมเฟอร์โรซิลิคอนลงไป ในน้ำเหล็กก่อนเท ก็จะช่วยให้แกรไฟต์เม็ดกลมกระจายได้ดีขึ้น เป็นผลให้เนื้อเหล็กมีความเหนียวหรือความต้านทานแรงดึงได้มาก และรับแรงกระแทกได้ดีกว่าเหล็กหล่อสีเทา เชื่อมหรือบัดกรีได้ ชุบแข็งได้บ้างแต่การรับแรงสั่นสะเทือนและการนำความร้อนของเหล็กแกรไฟต์จะน้อยกว่าเหล็กหล่อสีเทา ลักษณะของงานอุตสาหกรรมที่ใช้เหล็กหล่อเหนียว คือ กระบอบควาล์ว เพลาช้อเหวียง เสื้อปั๊ม งานเบรค งานคัลตซ์ แม่พิมพ์ และกระดูกเกียร์ เป็นต้น

## 4. เหล็กหล่ออบเหนียว (Malleable Iron)

เหล็กหล่ออบเหนียวเกิดมาจากการนำเหล็กหล่อสีขาว ซึ่งมีคุณสมบัติแข็งเปราะแต่เทลงแบบได้ง่าย มาทำการอบหรือหลอมใหม่ที่อุณหภูมิประมาณ 1,000 °C เพื่อให้คาร์ไบด์ในเนื้อเหล็กสลายตัวและตกผลึกเป็นแกรไฟต์ที่มีเม็ดค่อนข้างกลม และการที่คาร์บอนลดต่ำลงมากทำให้เหล็กหล่ออบเหนียวมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเหล็กกล้า คือมีความเหนียวมาก รับแรงกระแทกได้ดี ด้านทานการเสียดสีได้ดี กลึงแต่งคมได้ดี ด้านทานการด้าได้ดี ชุบแข็งได้ ลักษณะงานอุตสาหกรรมที่ใช้เหล็กหล่ออบเหนียวได้แก่ ลูกกลิ้งสายพาน ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ต้องรับภาระและสึกหรอมาก ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่มีรูปร่างซับซ้อน

## 5. เหล็กหล่อโลหะผสม (Alloy Cast Iron)

หมายถึง เหล็กหล่อที่ต้องการให้มีลักษณะพิเศษเฉพาะอย่างใดอย่างหนึ่งโดยการเติมธาตุโลหะอื่นๆ เพิ่มเติมลงไป เช่น โครเมียม ทองแดง นิกเกิล โมลิบดีนัม วาเนเดียม เพื่อให้

เหล็กหล่อ นั้นมีคุณสมบัติในการต้านทานการเสียดสี การกัดกร่อน ทนความร้อน ฯลฯ ลักษณะของงานอุตสาหกรรมที่ใช้เหล็กหล่อ โลหะผสม ได้แก่ เครื่องจักรกลในโรงงานปูนซีเมนต์ โรงงานเซรามิก เหมืองแร่ แผ่นเหล็กกันสึกของเครื่องบด ฟันในเครื่องย่อยหิน แบบหล่อโลหะ ข้อต่อท่อต่างๆ ถึงบรรจุสารเคมี เป็นต้น

### 5. คุณสมบัติของธาตุต่างๆ และการนำไปใช้งาน

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของธาตุต่างๆ ที่ผสมในเหล็กกล้า

| ธาตุ      | คุณสมบัติ  |
|-----------|--|
| คาร์บอน   | ทำให้เหล็กแข็งและชุบแข็งได้ การขยายตัวลดลง เชื่อมและขึ้นรูปได้ยาก  |
| ซิลิกอน   | ช่วยเพิ่มความแข็งและแข็งแรงขึ้น ทนทานต่อการกัดกร่อนเชื่อมและปาดผิวได้ยากแต่ถ้ามีปริมาณมากจะทำให้ลดคุณสมบัติในการรับแรงกระแทก   |
| กำมะถัน   | ถ้ามีปริมาณมากจะทำให้เหล็กเปราะและหักง่าย ทำให้การหลอมเหลวทำได้ยาก   |
| ฟอสฟอรัส  | ถ้ามีปริมาณมากจะทำให้ตึงได้ยาก ทำให้เหล็กเปราะ แต่ถ้ามีปริมาณน้อยจะช่วยให้หลอมเหลวและเทลงแบบพิมพ์ได้ง่าย                       |
| แมงกานีส  | ช่วยเพิ่มความแข็งและแข็งแรงขึ้น ทนต่อการเสียดสีที่ผิวได้ดี ช่วยเพิ่มจุดหลอมเหลวถ้ามีปริมาณมากจะช่วยต้านทานแรงกระแทก            |
| นิกเกิล   | ถ้ามีปริมาณมาก จะช่วยต้านทานแรงกระแทก ทนต่อการกัดกร่อน ช่วยให้เหล็กมีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กได้ดีขึ้น ช่วยลดการบิดงอในการชุบแข็ง |
| โครเมียม  | ถ้ามีปริมาณน้อยจะช่วยต้านทานแรงกระแทก ทนต่อการกัดกร่อน ทำให้เหล็กเกิดสนิมได้ยาก ไม่ช่วยในการเพิ่มความแข็ง                      |
| ทังสเตน   | ทนความร้อนได้ดี ช่วยเพิ่มความแข็งและแข็งแรง  |
| วานาเดียม | ช่วยทำให้เหล็กเหนียวและรับแรงดึงได้ดี ทำให้เหล็กแข็งและคมได้ดี   |
| โคบอลต์   | ช่วยให้เหล็กมีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กได้ดีทำให้เหล็กเหนียวขึ้น ฯลฯ   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของธาตุต่างๆ ที่ผสมในเหล็กหล่อ

| ธาตุ     | คุณสมบัติ  |
|----------|--|
| ซิลิคอน  | เป็นธาตุที่ช่วยให้เกิดแกรไฟต์ในเหล็กหล่อ ช่วยให้น้ำเหล็กไหลตัวได้ดี ถ้าผสมซิลิคอนในสัดส่วนมากจะทำให้เหล็กหล่อทนทานต่อความร้อนได้สูง                                |
| กำมะถัน  | เป็นธาตุที่ไม่ช่วยให้เกิดแกรไฟต์ ถ้าผสมในปริมาณมากจะทำให้เกิดคาร์ไบด์ และเป็นผลให้เหล็กหล่อเปราะแตกหักได้ง่ายและกลึงไสได้ยากควรควบคุมปริมาณกำมะถันไม่ให้เกิน 0.20% |
| ฟอสฟอรัส | เป็นธาตุที่ช่วยให้เกิดแกรไฟต์เช่นเดียวกับซิลิคอน ช่วยให้น้ำเหล็กไหลตัวได้ดีแต่การรวมตัวของฟอสฟอรัสกับเหล็กอาจทำให้เหล็กหล่อเปราะ                                   |
| แมงกานีส | เป็นธาตุที่ช่วยให้เกิดคาร์ไบด์ และเมื่อรวมตัวกับกำมะถันจะกลายเป็นแมงกานีสซัลไฟด์ (MnS) ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะน้อยก็จะลอยตัวไปรวมกับตะกอนช่วยลดกำมะถันในเหล็กหล่อ ฯลฯ |

### ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของธาตุต่างๆ ที่ผสมในเหล็กหล่อโลหะผสม

| ธาตุ       | คุณสมบัติ  |
|------------|--|
| โครเมียม   | เป็นธาตุที่ช่วยทำให้เกิดคาร์ไบด์สูง และเป็นผลให้ต้านทานต่อความร้อนและต้านทานการสึกหรอ ช่วยเพิ่มความแข็ง เพิ่มความเค้นดึง แต่กลึงขึ้นรูปได้ยาก  |
| นิกเกิล    | ช่วยให้แกรไฟต์ตกผลึกได้ง่ายและมีขนาดเล็ก ช่วยเพิ่มความแข็ง ช่วยเพิ่มความเค้นดึง  |
| ทองแดง     | เป็นธาตุที่ช่วยให้เกิดแกรไฟต์ โดยทั่วไปจะผสมร่วมกับนิกเกิลเพื่อให้นิกเกิลช่วยเพิ่มอัตราการละลายให้กับทองแดง ที่ส่วนผสมประมาณ 1-2 % จะช่วยเพิ่ม ความแข็งและความเค้นดึงได้ดี แต่ถ้ามากกว่า 2.5% ค่าความแข็งและความเค้นดึงกลับจะลดลง ทนต่อการกัดกร่อนขึ้นรูปได้ดี |
| วานเดียม   | เป็นธาตุที่ช่วยทำให้เกิดคาร์ไบด์และมีเสถียรภาพ ช่วยเพิ่มความแข็งและความเค้นดึง   |
| โมลิบดีนัม | เป็นธาตุที่ช่วยทำให้เกิดคาร์ไบด์ โดยทั่วไปจะผสมร่วมกับนิกเกิลและทองแดงเพื่อให้ได้โครงสร้างเหล็กหล่อแบบ acicular bainite ซึ่งเป็น โครงสร้างที่สามารถรับแรงดึง ได้สูงและมี ความแข็งสูง   |

### ตารางที่ 2.5 การนำเหล็กกล้าคาร์บอนไปใช้งาน

| ปริมาณคาร์บอน | ลักษณะของงานที่นำไปใช้  |
|---------------|---|
| 0.05-0.08     | เป็นเหล็กกล้าที่มีความเค้นต่ำ นำไปใช้งานที่รับกำลังไม่มาก เช่น ลวด ฝากระโปรงรถ แผ่นเหล็กบาง หมุดย้ำ ตะปู ฯลฯ    |
| 0.20-0.45     | เหมาะสำหรับงานที่ต้องตีขึ้นรูปและรับกำลังมาก เช่น เพลาข้อเหวี่ยง นอคคีย์คสมอเรือ เพลารถไฟ เหล็กเส้นก่อสร้าง ฯลฯ |
| 0.70-0.90     | เหมาะสำหรับชิ้นงานที่ต้องการความแข็ง เช่น สิว ไบมีด ล้อรถไฟ แหนบ รางรถไฟ ฯลฯ                                    |
| 1.00-1.50     | ใช้สำหรับชิ้นงานที่แข็งมาก เช่น แหนบรถไฟ ไบมีดกลึง ใบเลื่อย เครื่องทำเกลียว เหล็กตะไบ ฯลฯ                       |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ลักษณะของงานอุตสาหกรรมที่นำเหล็กแต่ละประเภทไปใช้งาน

| ประเภทเหล็ก         | ลักษณะของงานที่นำไปใช้  |
|---------------------|---|
| เหล็กหล่อสีเทา      | ชิ้นส่วนจักรเย็บผ้า ฐานเครื่องจักร ท่อ ไอเสียส่วนต่อจากเครื่อง เสื้อสูบ กระบอกสูบ ลูกสูบ ล้อ เบรก แบบหล่อ วาล์ว เป็นต้น   |
| เหล็กหล่อสีขาว      | จะเป็นชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่สามารถต้านทานการเสียดสี แต่รับแรงกระแทกได้น้อย เช่น เครื่องมือที่ใช้จับของแข็ง ผ้าเบรก งานเจียรระ ในเพชรพลอย หัวพันทราย ใช้บุผนังเครื่องโม่ |
| เหล็กหล่อเหนียว     | กระบอกวาล์ว เพลาค้อเหวี่ยง เสื้อปั๊ม งานเบรก งานคัลลซ์ แม่พิมพ์ และกระปุกเกียร์ เป็นต้น   |
| เหล็กหล่ออ่อนเหนียว | ได้แก่ ลูกกลิ้งสายพาน ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ต้องรับภาระและสึกหรอมาก ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่มีรูปร่างซับซ้อน  |
| เหล็กหล่อโลหะผสม    | ได้แก่ เครื่องจักรกลในโรงงานปูนซีเมนต์ โรงงานเซรามิก เหมืองแร่ แผ่นเหล็กกันสึกของเครื่องบด ฟันในเครื่องย่อยหิน แบบหล่อโลหะ ข้อต่อท่อต่างๆ ถังบรรจุสารเคมี เป็นต้น   |

## หัวข้อที่ 2 เรื่อง ทองแดง (Copper)

### 1. ความเป็นมาและแหล่งกำเนิดของทองแดง

#### 1.1 ความเป็นมาของทองแดง

ขณะที่ผิวโลกเริ่มเย็นตัว โลหะชนิดต่างๆ ที่อยู่บริเวณผิวโลก หรือในบรรยากาศรอบโลกจะเริ่มเปลี่ยนสภาพเป็นสารประกอบซึ่งจะรวมตัวกันอยู่ในรูปต่างๆ เช่น รวมกับหิน หรืออยู่ในชั้นดิน เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของผิวโลกหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยา เช่น การยุบตัวของผิวโลก แผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด สารประกอบโลหะที่มีอยู่บนผิวโลก และส่วนที่อยู่ลึกลงไปใต้ดิน ก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วยการกัดกร่อนของหิน เนื่องจากลมหรือกระแสน้ำเป็นเหตุ จึงเป็นเหตุให้เกิดการเคลื่อนย้ายสารประกอบ หรือเกิดการรวมตัวในรูปอื่นๆ ลึกลงไปจากผิวโลกมากๆ ยังเป็นหินละลายที่ปนกับสารประกอบโลหะ เมื่อเกิดภูเขาไฟระเบิด หินและสารประกอบโลหะจะขึ้นมาบนผิวโลกในรูปของลาวา เมื่อลาวาเย็นตัว หินจะรวมตัวกับสารประกอบอยู่บนผิวโลก สารประกอบโลหะที่รวมตัวกับ หิน ดิน หรือรวมกับสารอื่นๆ ที่เรียกว่า สินแร่โลหะสินแร่จะอยู่ในรูปของสารประกอบที่เป็น ออกไซด์ ซัลไฟด์ คาร์-บอนเนต หรือเป็นสารประกอบหลายชนิดรวมกัน โลหะบางชนิดอาจเกิดขึ้นเกือบบริสุทธิ์ตามธรรมชาติหรือเป็น โลหะอิสระ (free metals) เช่น ทองคำ ทองแดง ดีบุก เป็นต้น เรามักจะพบโลหะเหล่านี้แยกตัวอยู่ในรูปโลหะบริสุทธิ์ตามธรรมชาติ แต่ก็พบน้อยมาก



ภูเขาไฟระเบิดหินและสารประกอบโลหะจะขึ้นมาจากผิวโลกในรูปของลาวา การเปลี่ยนแปลงสภาพของผิวโลกหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาที่ผิวโลก

## ภาพที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงของผิวโลก

จากหลักฐานทางประวัติศาสตร์เท่าที่พบในขณะนี้ยังไม่สามารถนำมายืนยันแน่ชัดว่ายุคโลหะเริ่มจากที่ใดแต่สันนิษฐานกันว่ายุคโลหะเริ่มเกิดขึ้นในเอเชียตอนกลางบริเวณประเทศอิยิปต์เมื่อประมาณห้าพัน-หกพันปีก่อนพุทธศักราช ทองแดงเป็นโลหะที่มนุษย์นำมาทำประโยชน์ โดยได้จากการถลุงแร่ทองแดงด้วยถ่านไม้ และนำทองแดงที่ถลุงได้ไปหล่อเป็นของใช้ เช่น ภาชนะอาหาร และเครื่องประดับ นอกจากการทำสิ่งของต่างๆ จากทองแดงที่ผ่านการหล่อแล้ว ยังมีการตีขึ้นรูปโดยใช้ค้อนหิน จึงนับว่ามนุษย์ได้เริ่มเรียนรู้ เรื่องของโลหะวิทยาเกี่ยวกับการถลุงโลหะ การหล่อโลหะ และการขึ้นรูปโลหะจากโลหะชนิดนี้

ทองแดงเป็นโลหะพวกแรกที่มนุษย์รู้จักและนำมาใช้ประโยชน์ มนุษย์เริ่มสนใจโลหะชนิดนี้ ในตอนปลายยุคหิน แต่ยังไม่เป็นที่นิยมใช้เท่ากับหิน เพราะทองแดงแข็งน้อยกว่าหิน ครั้นพบว่าโลหะชนิดนี้สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้ง่ายกว่าหิน จึงเริ่มสนใจที่จะนำมาใช้ประโยชน์ เช่น ใช้ทำเครื่องใช้ ภาชนะ และเครื่องประดับ ในยุคต่อๆ มาจนถึงปัจจุบัน

### 1.2 แหล่งกำหนดของทองแดงที่พบในประเทศไทย

แร่ทองแดงเป็นแร่อีกชนิดหนึ่งที่พบแพร่หลายอยู่ทั่วไปในหลายจังหวัดของประเทศไทย ซึ่งขณะนี้ยังไม่มี การเปิดเหมือง ผลิตแร่ชนิดนี้อย่างเป็นทางการ แต่จากข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบัน สามารถกำหนดบริเวณที่มีศักยภาพ ทางแร่ทองแดงที่น่าสนใจ ได้แก่

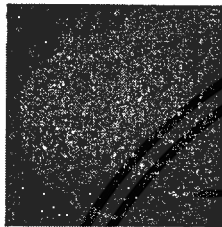
1. บริเวณ อำเภอเมือง อำเภอท่าลี่ อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย และบริเวณอำเภอสังคม จังหวัดหนองคาย
2. บริเวณอำเภอน้ำปาด และอำเภอปากท่า จังหวัดอุดรธานี
3. บริเวณอำเภอเมือง อำเภอหล่มสัก และอำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์
4. บริเวณอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

นอกจากนี้ก็มีบริเวณอื่นๆ ที่มีศักยภาพทางแร่ทองแดง เช่น บริเวณ อำเภอด่านซ้าย-อำเภอแม่ทา จังหวัดลำพูน บริเวณอำเภอ สบปราบ-อำเภองาว จังหวัดลำปาง บริเวณอำเภอลอง จังหวัดแพร่ บริเวณอำเภอสา จังหวัดน่าน บริเวณอำเภอสังขละบุรี จังหวัดกาญจนบุรี บริเวณอำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา และบริเวณอำเภอภูเวียง จังหวัดขอนแก่น

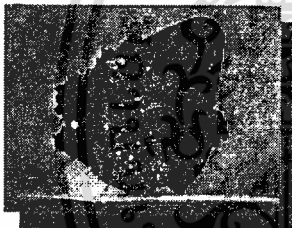
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. สินแร่ทองแดง

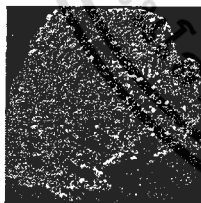
สินแร่ทองแดง เป็นแร่ที่พบอยู่ในหินหลายแห่งและอยู่ปะปนกับแร่อื่นๆ เช่น แร่เงิน แร่ทอง แต่มีปริมาณไม่มากนักสินแร่ทองแดงที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการผลิตโลหะทองแดงส่วนมากจะเป็นแร่ประเภทซัลไฟด์ (Sulfide) ซึ่งมีสองชนิด คือ แร่ทองแดงชาลโคไซต์ (Chalcocite) ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) มี Cu ประมาณ 79.8 % และ แร่ทองแดงชาลโคไพไรต์ (Chalcopyrite) ( $\text{CuFeS}_2$ ) มี Cu ประมาณ 34.5 % นอกจากนี้ยังมีแร่ทองแดงคาร์บอเนต  $\text{CuCO}_3(\text{OH})_2$  โดยเรียกกันว่า Malachite มีลักษณะสีเขียวสวยงามมาก



แร่ทองแดงชาลโคไซต์ (Chalcocite) ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) มี Cu ประมาณ 79.8 %



แร่ทองแดงชาลโคไพไรต์ (Chalcopyrite) ( $\text{CuFeS}_2$ ) มี Cu ประมาณ 34.5 %



แร่ทองแดงคาร์บอเนต  $\text{CuCO}_3(\text{OH})_2$  หรือเรียกกันว่า Malachite มีลักษณะสีเขียวสวยงามมาก

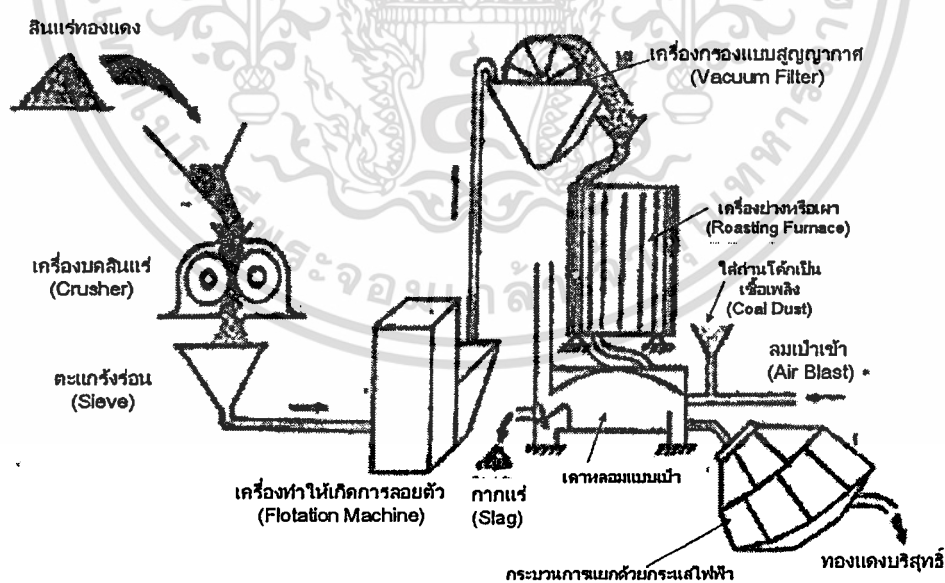
## 3. กระบวนการถลุงทองแดง

การถลุงทองแดง ทองแดงเป็นโลหะชนิดแรกๆ ที่มนุษย์รู้จักและนำมาใช้งาน จากหลักฐานพบว่า มนุษย์รู้จัก การถลุงสินแร่ทองแดงขึ้นมาใช้ทำเครื่องมือ มาตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ แม้ว่าทองแดงจะมีปริมาณน้อยมาก ในเปลือกโลก (เพียง 0.0001%) เมื่อเทียบกับโลหะชนิดอื่นๆ แต่สินแร่ทองแดงสามารถถลุงออกมาเป็นโลหะทองแดงได้ง่ายกว่าเมื่อเทียบกับโลหะชนิดอื่น

การถลุงทองแดงในปัจจุบันจะนำสินแร่ทองแดง เช่น แร่ทองแดงซาลโคไซต์ (Chalcocite,  $\text{Cu}_2\text{S}$ ) แร่ทองแดงซาลโคไพไรต์ (Chalcopyrite,  $\text{CuFeS}_2$ ) มาผ่านขั้นตอนการคัดแร่ (Concentrating) โดยการเอาสินแร่ทองแดงมาผ่านเครื่องบดแร่ให้ละเอียด แล้วส่งต่อไปที่ตะแกรงเพื่อกรองให้ส่วนที่หนักซึ่งมีแร่ทองแดงผสมอยู่ตกลงไปด้านล่าง และเศษวัสดุเบาที่อยู่ข้างบนจะถูกกำจัดทิ้ง ส่วนแร่ทองแดงก็จะถูกส่งต่อไปที่เครื่อง Flotation machine ทำหน้าที่เป็นตัวทำให้เกิดซัลไฟด์และผ่านเครื่องดูดแบบสูญญากาศ

มาเข้าสู่ขั้นตอนของเครื่องย่าง (Roasting) เพื่อทำการย่างซัลไฟด์ให้เกิดการออกซิไดซ์ในบรรยากาศ (Oxidizing atmosphere) จะทำให้บางส่วนของไอออนซัลไฟด์ลุกไหม้แยกออกมาจากซัลไฟด์ แต่อุณหภูมิที่ใช้เผาไม่สูงพอที่จะละลายแร่ทองแดงได้ ดังนั้นแร่ทองแดงที่นำมาเผาหรือย่างนั้น ส่วนใหญ่จะประกอบด้วย คอปเปอร์ซัลไฟด์ ไอออนออกไซด์ และกากซิลิกา (Siliceous gangue) การเผาหรือย่างในอากาศ จะได้ทองแดงที่มีความบริสุทธิ์ประมาณ 97~99%

ต่อจากนั้นก็เข้าสู่กระบวนการถลุงในเบ้า (Smelting) โดยการหลอมในเตาหลอมแบบเบ้า และใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง คอปเปอร์ซัลไฟด์และไอออนซัลไฟด์จะตกลงไปในส่วนล่างทำให้เกิดเศษโลหะที่ไม่บริสุทธิ์ (matte) และตะกรันซึ่งมีกากแร่ และ ไอออนออกไซด์ที่ส่วนบนตกเอาออก จากนั้นจึงนำมาผ่านกระบวนการแยกด้วยกระแสไฟฟ้าอีกครั้ง เพื่อให้ได้ทองแดงที่มีความบริสุทธิ์มากประมาณ 99% ออกมา



ภาพที่ 2.4 กระบวนการถลุงทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. คุณสมบัติและการนำไปใช้งาน

##### 4.1 คุณสมบัติทั่วไปของทองแดง

คุณสมบัติที่ดีของทองแดงก็คือ เป็นตัวนำทางไฟฟ้าได้ดี และเป็นวัสดุที่ทนการผุกร่อนได้ดี คุณสมบัติที่สามารถดึงให้เป็นเส้นได้เพียงโคนั้นขึ้นอยู่กับวิธีทำและความร้อนที่ใช้ ถ้าเผาทองแดงให้ร้อนจัดจนแดงแล้วปล่อยให้เย็นช้าๆ มักจะเปราะ แต่ถ้าให้เย็นลงโดยเร็วจะสามารถดึงเป็นเส้นได้ง่ายหรือทำเป็นแผ่นได้ดี ทองแดงอาจหล่อหรือเชื่อมและอาจรีดเป็นเส้นได้เมื่อร้อนหรือเย็น ทองแดงส่วนใหญ่ใช้เกี่ยวกับเรื่องไฟฟ้า เช่น ใช้เป็นสายไฟฟ้า ใช้เป็นอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ใช้ในการก่อสร้างก็คือ ทำท่อส่งน้ำร้อน วัสดุคุมหลังคา เมื่อทองแดงถูกดินฟ้าอากาศภายนอกหรือที่ใช้เป็นวัสดุคุมหลังคา จะเกิดเบสิกคาร์บอเนต (Basic Carbonate) สีเขียวๆ บางๆ เกิดขึ้นจับอยู่ที่ผิว สิ่งนี้ป้องกันทองแดงให้คงทนได้เป็นอย่างดี จุดละลายหลอมตัวของทองแดงประมาณ  $1,083^{\circ}\text{C}$  ทองแดงที่ทำการขึ้นรูปในขณะที่เย็นจะทำให้ความเค้นที่ค้างอยู่แล้วสูงมากขึ้นทีเดียว มีคุณสมบัติทางกลที่อุณหภูมิค่าดีเหมือนดิน สารมลทินและสารที่เจือลงในทองแดงจะทำให้ความสามารถในการนำไฟฟ้าลดน้อยลง

##### 4.2 คุณสมบัติเด่นของทองแดง มีหลายประการ เช่น

1. คุณสมบัติด้านทานแรงดึงดี และมีช่วงพิกัดกว้าง (ขึ้นกับชนิดของทองแดงและกรรมวิธีผลิต) ทองแดงบริสุทธิ์มีคุณสมบัติอ่อนและเหนียวสามารถรีดให้เป็นแผ่นบางๆ ขนาด  $1/500'$  สามารถดึงเป็นเส้นลวดเล็กๆ ขนาด  $1/1000'$  โดยไม่ขาดทวิติเป็นวัสดุสำเร็จรูปได้โดยไม่มี การแตกร้าว
2. ความเหนียวของทองแดงสูงมากสามารถขึ้นรูปโดยไม่เสี่ยงต่อการแตกหัก
3. ทองแดงเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีมาก (100 เปอร์เซ็นต์ แต่เงิน 106 เปอร์เซ็นต์)
4. ทองแดงเป็นตัวนำความร้อนที่ดีมาก (100 เปอร์เซ็นต์ แต่เงิน 108 เปอร์เซ็นต์)
5. ทองแดงดึงไสขึ้นรูปได้ง่ายเมื่อผสมธาตุอื่นบางตัวเข้าไป
6. ทองแดงด้านทานความล้าได้ดี
7. ทองแดงไม่มีสารแม่เหล็ก
8. ทองแดงทนทานต่อการกัดกร่อน โดยเฉพาะเมื่อใช้กับกรดและน้ำทะเล
9. ทองแดงทนทานต่อการสึกกร่อน (wear resistance)
10. ทองแดงมีสีสวยงามน่าใช้
11. ทองแดงและโลหะผสมทองแดงแทบทุกชนิดสามารถเชื่อมได้อย่างง่ายดาย

##### 4.3 การนำไปใช้งาน

ประโยชน์ของแร่ทองแดง เนื่องจากทองแดงมีคุณสมบัติในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างสูง (Ductility) และการต้านทานไฟฟ้าต่ำดังนั้นทองแดงจึงถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น สายไฟฟ้า วิทยุ โทรทัศน์ โทรศัพท์ ตลอดจนจนถึงเครื่องมือวิทยาศาสตร์

เครื่องจักรกล และอาวุธยุทโธปกรณ์ต่างๆ นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบสำคัญของโลหะผสม (Alloy) อีกหลายชนิด เช่น ทองเหลือง (Brass) หรือทองบรอนซ์ (Bronze)

ประโยชน์ของทองแดงที่เราคุ้นเคยกันดีที่สุดในสมัยนี้ก็คือ การนำมาใช้ทำ ลวดส่งกระแส ไฟฟ้า และอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่างๆ เนื่องจากทองแดงเป็น โลหะที่นำไฟฟ้าได้ดีเป็น อันดับสองรองจากเงิน แต่ราคาถูกกว่าเงินมาก การที่ทองแดงนำไฟฟ้าได้ดีช่วยลดพลังงานที่สูญเสีย ไป ในรูปของความร้อนขณะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านสายไฟ และยังช่วยป้องกันอันตรายจากการ ไหม้ของสายไฟอีกด้วยนอกจากนั้น ทองแดงยังเป็นส่วนผสมสำคัญของโลหะผสมหลายชนิด เช่น ทองเหลือง (ทองแดงผสมกับสังกะสี) สำริด (ทองแดงผสมกับดีบุก) โมเนล (ทองแดง นิกเกิล เหล็ก และแมงกานีส) รวมทั้งยังใช้ผสมในเงินและทองเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของโลหะมีค่าเหล่านั้น สำหรับ ใช้ทำเครื่องประดับและเหรียญตราต่างๆ

หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 กลุ่มโลหะเบา มี 2 หัวข้อ คือ (1) เรื่อง อลูมิเนียม (2) เรื่อง แมกนีเซียม

### หัวข้อที่ 1 เรื่อง อลูมิเนียม

#### 1. ความเป็นมาของอะลูมิเนียม

อะลูมิเนียมเป็น โลหะที่น่าสนใจมากที่สุดชนิดหนึ่งหลายท่านคงไม่ทราบว่านี่เป็น โลหะที่มี มากที่สุดในชั้นเปลือกโลกและเป็นธาตุที่พบมากที่สุดในเปลือก โลกลำดับที่สามรองจากธาตุออกซิเจน และธาตุซิลิกอน โดยเปลือกโลกประกอบด้วยอะลูมิเนียมประมาณร้อยละ 8.13 ของน้ำหนัก

มนุษย์รู้จักใช้ประโยชน์จากสารประกอบอะลูมิเนียมตั้งแต่สมัย โบราณ โดย ชาวกรีก โรมัน โบราณ นำสารส้ม (Alum) มาใช้เป็นสารช่วยย้อมสีเพื่อให้สีติดเนื้อผ้าใช้เป็นสารช่วยสมาน บาดแผล และชาวอียิปต์โบราณนำสารอะลูมินา ซึ่งเป็นสารประกอบอีกชนิดของอะลูมิเนียมมาเป็น ส่วนประกอบยาแต่หากจะกล่าวถึงการทดลองในการแยกอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ออกมานั้น

ในปี ค.ศ. 1807 พบว่าเริ่มมีการทดลองแยกอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ โดยเซอร์ฮัมฟรีย์ เดวี (Sir Humphry Davy) นักเคมีชาวอังกฤษเป็นคนแรกที่ทดลองแยกอะลูมิเนียมออกจากสารอะลูมินา ด้วยวิธีการต่างๆ รวมถึงการแยกโดยใช้กระแสไฟฟ้าแต่การทดลองทั้งหมดของเขาไม่ประสบผลแต่ อย่างไม่แม้กระนั้นก็ตาม เซอร์ฮัมฟรีย์ก็ยังมั่นใจมากกว่าสารอะลูมินาจะต้องมีโลหะเป็นองค์ประกอบ แน่นอนเขาจึงตั้งชื่อ โลหะปริศนาตัวนี้ล่วงหน้าว่า “อะลูมินัม” (Aluminium) ซึ่งในเวลาต่อมาเขาได้ เปลี่ยนชื่อ โลหะนี้เป็นอะลูมิเนียม (aluminium)

จนถึงปี ค.ศ. 1825 นักวิทยาศาสตร์ชาวเดนมาร์กชื่อ ฮันส์ คริสเตียน เออร์สเตด (Hans Christian Oersted) ก็สามารถแยกโลหะอะลูมิเนียมออกมาได้ โดยใช้วิธีให้ความร้อนแก่สาร อะลูมิเนียมคลอไรด์ (aluminium chloride) ร่วมกับ โพแทสเซียมอะมัลกัม (potassium amalgum) วิธี นี้แม้จะแยกอะลูมิเนียมออกมาได้ แต่ก็ยังไม่สามารถใช้แยกอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ได้

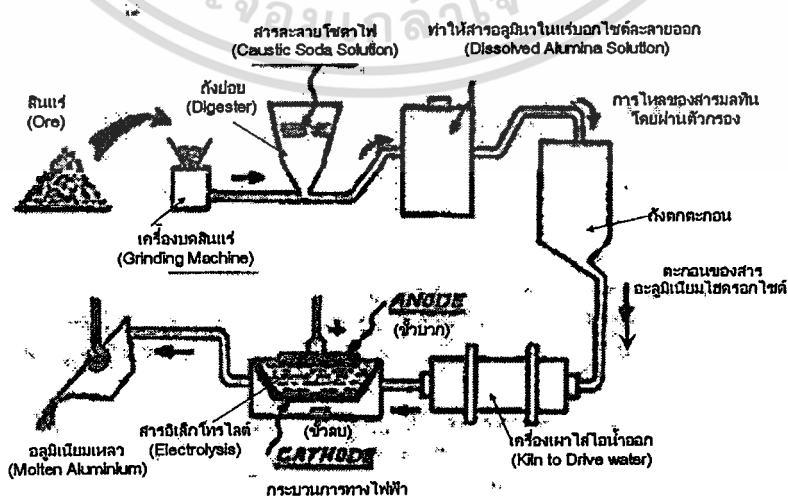
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมา ฟรีดริช โวเลอร์ (Friedrich Wohler) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันนำวิธีการของฮันต์ มาพัฒนาต่อในช่วงปี ค.ศ.1827-1845 และทำให้ฟรีดริชเป็นบุคคลแรกที่สามารถแยกโลหะ อะลูมิเนียมบริสุทธิ์ออกมาได้สำเร็จ แต่วิธีแยกอะลูมิเนียมของฟรีดริชก็ไม่สามารถนำมาใช้ผลิต อะลูมิเนียมจริงในเชิงอุตสาหกรรมได้

องรี แซงต์ แคลร์ เดอวีล (Henri Sainte-Claire Deville) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส นำวิธีแยกอะลูมิเนียมของฟรีดริชมาพัฒนาต่อและประสบผลสำเร็จในปี ค.ศ. 1854 ทั้งนี้เขาเปลี่ยนจากการใช้โพแทสเซียมอะลูมิเนียมที่มีราคาแพงมาใช้เป็นสารโซเดียม (sodium) แทนและเปลี่ยนจากการใช้สารอะลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารโซเดียมอะลูมิเนียมคลอไรด์ (sodium aluminium chloride) ซึ่งวิธีการขององรีถูกนำมาใช้ผลิตอะลูมิเนียมในเชิงพาณิชย์ แต่เนื่องจากต้นทุนของกระบวนการที่ใช้แยกมีราคาสูงมาก ทำให้ในยุคนั้นอะลูมิเนียมเป็น โลหะที่มีราคาแพงกว่าทองคำอีก

ความก้าวหน้าครั้งสำคัญในการพัฒนากระบวนการผลิตโลหะอะลูมิเนียมเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1866 เมื่อนักวิทยาศาสตร์ 2 คนจาก 2 ทวีปคือ ชาร์ลส มาร์ติน ฮอลล์ (Charles Martin Hall) นักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกันกับ ปอล ลุยส์ ตูแซนต์ แอรูลต์ (Paul Louis Toussaint Hérault) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ทั้งคู่มีอายุ 22 ปีเท่ากัน ต่างทำงานโดยไม่ได้ชั่งกัน แต่ได้พัฒนาวิธีแยกอะลูมิเนียมที่เหมือนกันออกมาอย่างน่าประหลาด ซึ่งวิธีการแยกอะลูมิเนียมที่ทั้งคู่พัฒนาขึ้นมาคือ การนำสารอะลูมินามาละลายในสารไครโอไลต์ (cryolite, สารประกอบของโซเดียม อะลูมิเนียมฟลูออไรด์ ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ )) หลอมเหลว และใช้กระแสไฟฟ้าในการแยกอะลูมิเนียมออกม ดังนั้นกระบวนการแยกอะลูมิเนียมของทั้งคู่จึงถูกเรียกว่า "กระบวนการของฮอลล์-แอรูลต์" (Hall-Hérault process) การค้นพบกระบวนการแยกอะลูมิเนียมวิธีนี้เอง ทำให้ต้นทุนการผลิตอะลูมิเนียมถูกลงอย่างมหาศาล อะลูมิเนียมจึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ มากขึ้น และกระบวนการของฮอลล์-แอรูลต์ก็ยังคงถูกใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอะลูมิเนียมอยู่จนถึงทุกวันนี้

## 2. การผลิตอะลูมิเนียม



ภาพที่ 2.5 กระบวนการผลิตอะลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตอลูมิเนียมจากสินแร่ในปัจจุบันประกอบด้วย 2 ขั้นตอนดังนี้

**ขั้นตอนที่ 1** คือวิธีการแยกสารอะลูมิเนียมออกจากแร่บอกไซต์

เป็นการแยกสารอะลูมิเนียมออกไซด์หรือสารอะลูมินาที่อยู่ในแร่บอกไซต์ (bauxite) ออกมาโดยใช้กระบวนการของเบเยอร์ (Bayer Process) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนย่อย 4 ขั้นตอน คือ

1. การย่อย (Digestion) นำแร่บอกไซต์บดให้มีขนาดเล็กลง และนำไปผสมกับสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ของผสมจะถูกเทลงไปในถังย่อย (digester) การใช้สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นด่างและความร้อน ทำให้สารอะลูมินาในแร่บอกไซต์ละลายออกมาในรูปของสารประกอบอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) ส่วนสารมลทินจะไม่ละลายออกมาและตกตะกอนอยู่ใต้ถัง

2. การทำให้ใส (Clarification) สารมลทินต่างๆ นอกเหนือจากสารอะลูมินาจะถูกแยกออกด้วยการกรอง ส่วนสารละลายที่ประกอบด้วยสารอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์จะถูกส่งไปยังตกตะกอน

3. การตกตะกอน (Precipitation) สารละลายอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ถูกทำให้เย็น และปล่อยให้ตกตะกอนออกมา ซึ่งตะกอนที่ได้มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว

4. การเผาไล่น้ำ (Calcinations) ตะกอนของสารอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์จะถูกส่งเข้าเตาเผา และเผาที่อุณหภูมิ  $1,050\text{ }^{\circ}\text{C}$  เพื่อให้สารอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์สลายตัวเป็นสารอะลูมินา และให้น้ำออกมา

**ขั้นตอนที่ 2** คือ การแยกอะลูมิเนียมออกจากสารอะลูมินาโดยการใช้ปฏิกิริยาทางไฟฟ้า

เป็นการแยกอะลูมิเนียมออกจากสารอะลูมินาด้วยกระบวนการของฮอลล์-เฮรูลต์ (Hall-Héroult process) ซึ่งเป็นวิธีแยกด้วยการใช้ปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี เริ่มจากการเปลี่ยนสารอะลูมินาให้มีสภาพเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ก่อน แต่เนื่องจากอะลูมินาบริสุทธิ์มีจุดหลอมเหลวสูงถึง  $2,000\text{ }^{\circ}\text{C}$  ดังนั้นจึงต้องนำอะลูมินามาละลายในสารไครโอไลต์ (cryolite,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) หลอมเหลวที่อุณหภูมิ  $1,000\text{ }^{\circ}\text{C}$  เพื่อลดอุณหภูมิของกระบวนการ โดยสารไครโอไลต์จะทำหน้าที่เป็นฟลักซ์หรือสารที่ช่วยให้เกิดการหลอมตัวและไหลตัวเมื่อได้รับความร้อน

ถังที่ใช้ในกระบวนการแยกอะลูมิเนียมออกมานี้ จะใช้ถังเหล็กที่ผนังด้านในเคลือบด้วยแกรไฟต์ โดยถังเหล็กจะเป็นขั้วแคโทด และใช้แท่งคาร์บอนเป็นขั้วแอโนด เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปจะเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีขึ้น อะลูมิเนียมเหลวจะเกิดขึ้นที่ขั้วแคโทด เนื่องจากอุณหภูมิของกระบวนการแยกสูงประมาณ  $1,000\text{ }^{\circ}\text{C}$  ขณะที่อะลูมิเนียมมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิประมาณ  $660\text{ }^{\circ}\text{C}$  ดังนั้นโลหะอะลูมิเนียมที่ถูกแยกออกมาจะจมตัวอยู่ก้นถังในสภาพโลหะเหลว ส่วนที่ขั้วแอโนดจะเกิดก๊าซออกซิเจนขึ้น ซึ่งก๊าซออกซิเจนนี้จะทำปฏิกิริยากับแท่งคาร์บอนกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้แท่งคาร์บอนค่อยๆ สึกหรอไป

ระหว่างกระบวนการผลิต เมื่อปล่อยให้ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าดำเนินไประยะหนึ่งจึงทำการระบายอะลูมิเนียมเหลวออกนอกถังทำปฏิกิริยา ทั้งนี้แหล่งพลังงานความร้อนที่ใช้ทำให้ของผสมอิเล็กโทรไลต์อยู่ในสภาพหลอมเหลวได้ตลอดเวลานั้น มาจากความต้านทานไฟฟ้าที่เกิดจากการผ่านกระแสไฟฟ้าขนาด 100,000 แอมแปร์ ความต่างศักย์ประมาณ 4-5 โวลต์ให้กับถังเหล็กและแท่งคาร์บอน

### 3. คุณสมบัติและประโยชน์การนำไปใช้งาน

#### คุณสมบัติของอลูมิเนียม

อลูมิเนียม เป็นโลหะที่สำคัญ ได้รับความนิยมในการใช้งานมากที่สุด ในกลุ่มโลหะที่มีน้ำหนักเบา (Light Metals) ทั้งนี้เพราะ อลูมิเนียมมีคุณสมบัติและประโยชน์การนำไปใช้งานที่เด่นหลายประการ เช่น

1. มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา และมีกำลังวัสดุต่อน้ำหนักสูง จึงนิยมใช้ทำเครื่องใช้ไม้สอย ตลอดจนชิ้นส่วนบางอย่าง ในเครื่องบิน จรวด ขีปนาวุธ และอุปกรณ์ในรถยนต์ เพื่อลดน้ำหนักของรถให้น้อยลง จะได้ประหยัดเชื้อเพลิง ตลอดจนชิ้นส่วนอากาศยาน
2. มีความเหนียวมาก สามารถขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีต่างๆ ได้ง่าย และแข็งแรง โดยไม่เสี่ยงต่อการแตกหัก
3. จุดหลอมเหลวต่ำ หลอมเหลวง่าย และมีอัตราการไหลตัวสูง
4. ค่าการนำไฟฟ้า คิดเป็น 64.94 % IACS (Internation Association of Classification Societies) ซึ่งไม่สูงนัก แต่เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ดังนั้นจึงใช้เป็น ตัวนำไฟฟ้า ในกรณีที่คำนึงถึงเรื่องน้ำหนักเป็นสำคัญ
5. เป็นโลหะที่ไม่มีพิษต่อร่างกาย และไม่มีค่าการนำความร้อนสูง ใช้ทำภาชนะหุงต้มอาหาร และห่อรองรับอาหาร
6. ผิวหน้าของ อลูมิเนียมบริสุทธิ์ มีดัชนีการสะท้อนแสงสูงมาก จึงใช้ทำแผ่นสะท้อน ในแฟลชถ่ายรูป , งานสะท้อนแสงในโคมไฟ และไฟหน้ารถยนต์
7. ทนทานต่อการเกิดเป็นสนิม และการผุกร่อน ในบรรยากาศที่ใช้งานโดยทั่วไป ได้ดีมาก แต่ไม่ทนทาน ต่อการกัดกร่อนของกรดแก่ และด่างต่างๆ ไป
8. ซื้อง่ายในท้องตลาด และราคาไม่แพงนัก
9. ใช้ในการตกแต่ง ในงานเฟอร์นิเจอร์ ตลอดจนใช้เป็น อุปกรณ์ตกแต่งบ้าน
10. เป็นโลหะที่ยังมีการพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้ง

ตารางที่ 2.7 การนำอลูมิเนียมไปใช้งาน

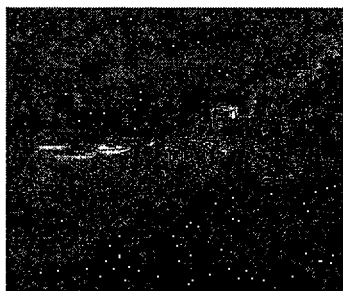
| กลุ่มผลิตภัณฑ์                     | ชื่อสินค้า  | ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของลูกค้า  |
|------------------------------------|---|---|
| - อลูมิเนียมสำหรับอุตสาหกรรมรถยนต์ | - อลูมิเนียมเรคิเอเตอร์ฟิน (Product Specifications)<br>- อลูมิเนียมเบรตซิ่งฟิน (Product Specifications)<br>- อลูมิเนียมแผ่นม้วนเบรตซิ่งแผ่น               | - หม้อน้ำรถยนต์, เครื่องทำความเย็นรถยนต์<br>- Units-condenser & evaporator<br>- ชิ้นส่วนเครื่องทำความเย็นในรถยนต์   |
| - อลูมิเนียมฟอยล์                  | - อลูมิเนียมแผ่นเปลวชนิดบาง<br>- อลูมิเนียมแผ่นเปลว<br>- อลูมิเนียมแผ่นเปลวชนิดหนา<br>- อลูมิเนียมแผ่นเปลวผืนึกกระดาศ<br>- ฟอยล์แร็ป (อลูมิเนียมแผ่นเปลว) | - บรรจุภัณฑ์อาหารว่าง<br>- บรรจุภัณฑ์ซีอิ๊ว โกแลต,<br>- ฉลากปิดสินค้า<br>- ซองบรรจุถุงยางอนามัย<br>- แผงบรรจุยาเม็ด<br>- เทปอลูมิเนียม<br>- ถ้วย, ถาด อลูมิเนียม, ฝาปิดนมเปรี้ยว<br>- ฟอยล์ห่ออนุหรี, ฟอยล์บรรจุอาหาร |
| - ฟินสต็อก                         | - (Product Specifications)  | - เครื่องทำความเย็นสำหรับบ้านอยู่อาศัย<br>- ฝาเครื่องต้ม, ฝาเครื่องต้มบำรุงกำลัง  |
| - อลูมิเนียมแผ่น สำหรับฝาเกลือ     | - (Product Specifications)  | - ฝาเกลือ<br>- ฝากันขโมย<br>- ฝากะป๋อง (บน-ล่าง)  |
| - อลูมิเนียมแผ่น สำหรับงานทั่วไป   | - อลูมิเนียมแผ่นม้วน<br>- (Product Specifications)<br>- อลูมิเนียมแผ่นเรียบ<br>- (Product Specifications)   | งานก่อสร้าง, ชิ้นงานประดับโครงสร้าง<br>- ฝ้า, เพดาน, เสาอากาศทีวี<br>- ฉนวนกันความร้อน<br>- ชิ้นส่วนประกอบรถโดยสาร<br>- เครื่องใช้ในครัวเรือน<br>- ป้ายโฆษณา, ป้ายทางหลวง, ป้ายสินค้า<br>- หม้อชั้นในหม้อหุงข้าว      |

## หัวข้อที่ 2 เรื่อง แมกนีเซียม (Magnesium : Mg)

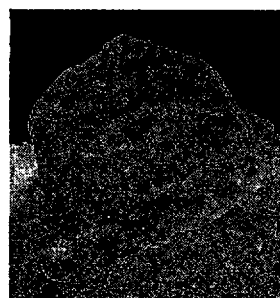
### 1. ความเป็นมาของแมกนีเซียม

โลหะแมกนีเซียมได้มาจากน้ำทะเลและสินแร่หินปูนโคโลไมต์ (มีลักษณะคล้ายหินปูนหรือหินอ่อน) แต่แมกนีเซียมที่อยู่ในทะเลจะมีสถานะเป็นแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ และแมกนีเซียมที่อยู่ในสินแร่หินปูนโคโลไมต์ จะมีสถานะเป็นแมกนีเซียมคาร์บอเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



น้ำทะเล



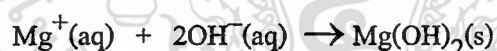
สินแร่หินปูนโดโลไมต์

## 2. การผลิตโลหะแมกนีเซียม

การผลิตโลหะแมกนีเซียม แหล่งโลหะแมกนีเซียมที่สำคัญ คือ น้ำทะเลซึ่งอยู่ในรูปของ  $Mg^{2+}$  เมื่อนำน้ำทะเลมาทำให้เป็นเบสจะได้ตะกอนของ  $Mg(OH)_2$  แล้วนำมาทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก และทำให้แห้งจะได้  $MgCl_2$  ที่เป็นของแข็ง เมื่อให้ความร้อนจน  $MgCl_2$  หลอมเหลวแล้วผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปจะได้โลหะแมกนีเซียม เกาะที่แคโทด และได้ก๊าซคลอรีนที่แอโนด

แมกนีเซียมเป็นโลหะเนื้อแข็ง เบา จุดหลอมเหลวสูง ใช้ประโยชน์ในรูปโลหะและโลหะผสมเนื่องจากศักย์ไฟฟ้าของ  $Mg^{2+}$  ต่ำมาก ไม่สามารถหาตัวรีดิวซ์ที่เหมาะสมมารีดิวซ์  $Mg^{2+}$  ให้เป็นแมกนีเซียมได้ ดังนั้นการผลิตโลหะแมกนีเซียม จึงใช้วิธีการแยกสารประกอบของแมกนีเซียมด้วยกระแสไฟฟ้า โดยใช้วัตถุดิบจากน้ำทะเล มีขั้นตอนการแยกดังต่อไปนี้

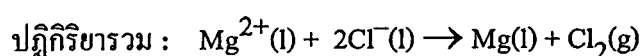
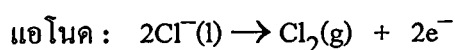
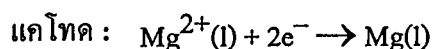
ขั้นตอนที่ 1 แยก  $Mg^{2+}$  ที่ละลายอยู่ในน้ำทะเล โดยเติมสารละลายเบสจะได้  $Mg(OH)_2$

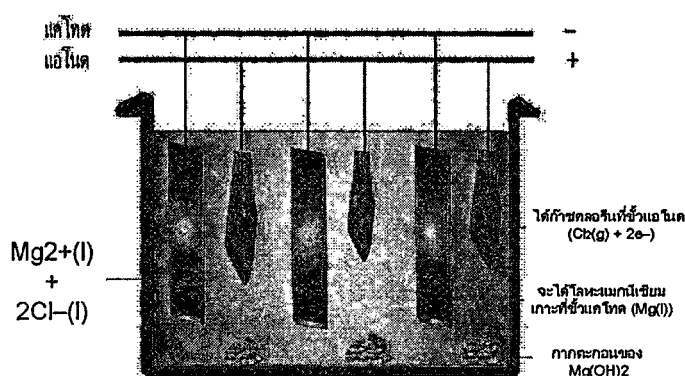


ขั้นตอนที่ 2 กรองแยก  $Mg(OH)_2$  แล้วเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกให้ได้สารละลาย  $MgCl_2$



ขั้นตอนที่ 3 ระเหยน้ำเพื่อให้ได้  $MgCl_2$  ที่เป็นของแข็ง เมื่อนำไปให้ความร้อนจนหลอมเหลวแล้วผ่านกระแสไฟฟ้าจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ





ภาพที่ 2.6 การแยกสารประกอบแมกนีเซียม

### 3. โลหะผสมแมกนีเซียม

แมกนีเซียม (Mg) จัดเป็นโลหะที่เบาที่สุดที่ใช้ในงานวิศวกรรม (ลิเทียมเป็นโลหะที่เบาที่สุดในโลก) การใช้งานของแมกนีเซียมผสมคล้ายกับอะลูมิเนียมผสมแต่แมกนีเซียมผสมปาคผิวได้ง่ายกว่าและผิวจะเรียกว่าโลหะผสมอื่นๆ ดังนั้นโลหะผสมแมกนีเซียมจึงแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดหลักดังนี้

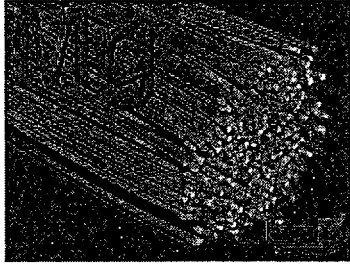
1. โลหะผสมระหว่าง แมกนีเซียมกับแมงกานีส (Mg + Mn) แมงกานีสที่ผสมลงไปในแมกนีเซียม เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านความทนทานต่อการผุกร่อน และความแข็งแรงของวัสดุให้มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เช่น งานอัด งานตีขึ้นรูปทำถังน้ำมันบนเครื่องบินมีลักษณะเป็นแผ่น ท่อ แท่ง ภาคตัดเป็นรูปต่างๆ

2. โลหะผสมระหว่าง แมกนีเซียมกับอะลูมิเนียม (Mg + Al) โลหะผสมแมกนีเซียมชนิดนี้มีอะลูมิเนียมเป็นธาตุผสมหลักและมีแมงกานีสกับสังกะสีเป็นธาตุผสมรอง โลหะผสมชนิดนี้จะมี ความแข็งแรงทนทานสูง ใช้เป็นงานหล่อ งานตีขึ้นรูปเป็นเส้นที่มีหน้าตัดต่างๆ ได้ ใช้ทำชิ้นส่วนรถยนต์ ชิ้นส่วนเครื่องจักร สามารถนำไปผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อเพิ่มสมบัติด้านต่างๆ ได้ และยังใช้งานได้ในที่อุณหภูมิไม่เกิน 170 องศาเซลเซียส

3. โลหะผสมระหว่าง แมกนีเซียมกับสังกะสี (Mg + Zn) สังกะสีช่วยเพิ่มความแข็งแรงของโลหะแมกนีเซียมให้มีค่าสูงขึ้น และยังสามารถนำไปบ่มแข็งเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับโลหะผสมชนิดนี้ อีกทั้งยังมีความต้านทานการกัดกร่อนสูง ใช้ทำชิ้นส่วนอะไหล่รถยนต์

## 4. คุณสมบัติและประโยชน์การใช้งาน

### 4.1 คุณสมบัติทั่วไปของแมกนีเซียม



ชื่อธาตุ : Magnesium

สัญลักษณ์ : Mg

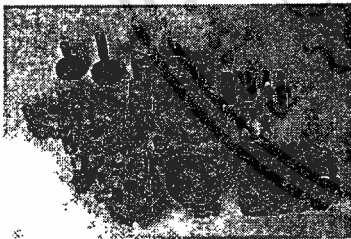
จุดหลอมเหลว : 650°C

สี : ขาวปนเทา

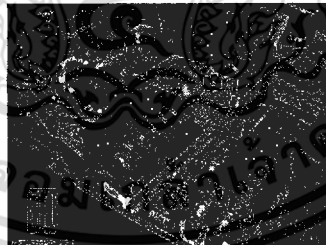
- เป็นโลหะที่เบา
- แข็งแรงน้อย ต้องผสมกับ โลหะอื่น
- แมกนีเซียมผสมชุบแข็งได้
- ไม่ทนต่อการกัดกร่อน
- ถูกติดไฟ

### 4.2 ประโยชน์การใช้งาน

ประโยชน์ และการใช้งาน ใช้ผสมกับโลหะอื่น ใช้ทำหลอดไฟถ้ำรูป ใช้ทำดอกไม้ไฟ ใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องยนต์ (เรือนข้อเหวี่ยง เรือนเพลาลูกเบี้ยว) เรือนเครื่องเป่าลม เรือนกลิ้ง เครื่องตัดต้น ไม้แบบหิ้วได้หรือตำแหน่งที่ชิ้นส่วนต้องการน้ำหนักเบา ในการขึ้นรูปพรรณแผ่นแถบและชิ้นงานที่ต้องชุบขึ้นรูป จะต้องให้ความร้อนก่อนเสมอที่ประมาณ 180°C...300°C และจะต้องอุ่นเครื่องมือก่อนเสมอ และนอกจากนี้ยังสามารถเชื่อมประสานด้วยก๊าซและความต้านทานไฟฟ้าได้แต่ใช้บัดกรีไม่ได้



อลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม



เหล็กหล่อผสมแมกนีเซียม

## 2.2 บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

### 2.2.1 ความหมายของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

สุพิทย์ กาญจนพันธ์. (2541:52) คอมพิวเตอร์ช่วยสอน หมายถึง กลวิธีการสอนที่เน้นให้มีการกระทำระหว่างผู้เรียนกับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อให้เกิดการเรียนรู้และความทรงจำ

สุกรี รอดโพธิ์ทอง. (2535:40) คอมพิวเตอร์ช่วยสอน หมายถึง โปรแกรมคอมพิวเตอร์

หลายๆ รูปแบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสอน และการรับรู้ของผู้เรียน

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของสำนักงานส่งเสริมการศึกษานอกระบบฯ มีอยู่เพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้เรียนและผู้สอนในการศึกษา  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยีน ภู่วรรณ. (2529:114) คอมพิวเตอร์ช่วยสอน คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้นำเนื้อหาวิชาและลำดับวิธีการสอนมาบันทึกเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ จะช่วยนำบทเรียนที่เตรียมไว้อย่างเป็นระบบมาเสนอในรูปแบบที่เหมาะสม สำหรับนักเรียนแต่ละคน

ธนอมพร เลหจรัสแสง. (2541:17) คอมพิวเตอร์ช่วยสอน หมายถึง โปรแกรมที่บรรจุด้วยเนื้อหาของความรู้ ในลักษณะภาพนิ่ง เสียง ภาพเคลื่อนไหว และระบบจำลองพัฒนาการต่างๆ ที่ผู้เรียนสามารถเลือกชนิดของเนื้อหา และกำหนดเวลาที่ใช้ในแต่ละบทเรียน

นิรมิต สุขคณา. (2536:6) คอมพิวเตอร์ช่วยสอน หมายถึง กระบวนการที่ใช้คอมพิวเตอร์เป็นสื่อในการเสนอเนื้อหาเรื่องราว การทบทวน การทำแบบฝึกหัด การวัดผลในขณะที่เรียน มีการตอบโต้กับเครื่องคอมพิวเตอร์อยู่ตลอดเวลา เป็นการเรียนรู้แบบปฏิสัมพันธ์ ก่อให้เกิดการเรียนรู้แบบเอกลักษณะบุคคล การเรียนรู้จะเกิดขึ้นเมื่อผู้เรียนได้เรียนตามอัตราความก้าวหน้าของตนเองอย่างกระตือรือร้นรู้ผลได้ทันที

จากความหมายของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน พอสรุปได้ว่า คอมพิวเตอร์ช่วยสอน หมายถึง การนำคอมพิวเตอร์มาเป็นสื่อในการเรียนการสอน ประกอบไปด้วยเนื้อหาวิชา แบบฝึกหัดแบบทดสอบ ลักษณะของการนำเสนออยู่ในกราฟิก ภาพเคลื่อนไหว สีและเสียงเพื่อเป็นสิ่งที่ดึงดูดความสนใจมากขึ้น และผู้เรียนสามารถเรียนได้ด้วยตนเองและโต้ตอบกับคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง

### 2.2.2 ประเภทของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

คอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ใช้ในวงการศึกษา มีหลายประเภท ซึ่งจำแนกตามแนวคิดของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (กิดานันท์ มลิทอง, 2540 : 229-232) ได้ดังต่อไปนี้

1. แบบฝึกหัด (Drill and practice) เป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ไม่ได้มีการนำเสนอเนื้อหาใหม่แต่มีจุดประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนได้ฝึกความคล่องแคล่ว แม่นยำและใช้เวลาในการทำกิจกรรมทบทวนเนื้อหาที่เรียนมาแล้วรูปแบบของภาระงานในบทเรียนรูปแบบนี้คอมพิวเตอร์จะเสนอคำถาม ตั้งปัญหา กำหนดสถานการณ์แล้วให้นักเรียนตอบคำถาม แก้ปัญหาโดยการเลือกพิมพ์ข้อความ จากนั้นคอมพิวเตอร์จะตรวจคำตอบ และให้ข้อมูลย้อนกลับทันที ถ้าคำตอบถูกต้องนักเรียนสามารถศึกษาปัญหาต่อไป แต่ถ้าตอบผิดนักเรียนต้องพยายามหาคำตอบใหม่ บทเรียนประเภทนี้จึงเหมาะสำหรับการฝึกทบทวนก่อนที่จะเรียนเนื้อหาใหม่หรือเรียนทักษะย่อยก่อนที่จะเรียนทักษะใหม่ต่อไป

2. รูปแบบการสอน (Tutorial) เป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ที่มีการนำเสนอเนื้อหาใหม่ให้กับผู้เรียนซึ่งในบทเรียนจะมีการกำหนดจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม การนำเสนอเนื้อหาอยู่ในรูปของข้อความ ภาพ เสียง สถานการณ์จำลอง หรืออาจจะใช้ทุกรูปแบบรวมกัน รวมทั้งการแสดงตัวอย่างแล้วให้นักเรียนตอบคำถาม หลังจากนั้นคอมพิวเตอร์จะวิเคราะห์คำตอบ และให้ข้อมูล

ย้อนกลับทันที ถ้าผู้เรียนตอบคำถามผิดก็จะมีการเสนอเนื้อหาใหม่อีกครั้งหนึ่งเพื่อให้ผู้เรียนทบทวน และพยายามตอบคำถามจนกว่าจะถูกต้อง

3. การแก้ปัญหา (Problem-solving) เป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ผู้เรียนฝึกใช้ทักษะการคิด การตัดสินใจ โดยคอมพิวเตอร์จะนำเสนอปัญหาหรือสถานการณ์ที่กระตุ้นหรือท้าทายให้ผู้เรียนได้แก้ปัญหา ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของปัญหา ปริศนา สถานการณ์ที่ผู้เรียนต้องเลือกเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง ในกรณีที่ผู้เรียนเป็นเด็กเล็ก การนำเสนอปัญหาอาจจะใช้ตัวการ์ตูนเป็นตัวนำนักเรียนไปสู่ปัญหา แล้วให้นักเรียนแยกคำที่เหมือนหรือแตกต่าง ซึ่งบทเรียนคอมพิวเตอร์ที่เน้นให้ผู้เรียนฝึกการแก้ปัญหาสามารถช่วยให้ผู้เรียนรู้จักการวิเคราะห์ปัญหา สรุปสาระสำคัญ แยกสิ่งที่มีเหมือนและแตกต่างออกจากกันได้จึงเหมาะกับเนื้อหาในวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ ดังนั้นครูควรเลือกบทเรียนที่สอดคล้องกับจุดประสงค์และท้าทายความสามารถของผู้เรียนได้เหมาะสมกับแต่ละระดับชั้นที่เรียน

4. เกมทางการศึกษา (Instructional games) เป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ที่นำเสนอกิจกรรมในรูปแบบของเกม ซึ่งช่วยสร้างแรงจูงใจ ความสนใจ เกิดความสนุกสนาน เพิ่มบรรยากาศในการเรียนให้กับผู้เรียน ในบทเรียนคอมพิวเตอร์ที่เป็นแบบฝึก (Drill and practice) อาจจะมีเกมเข้าไปสอดแทรกในการนำเสนอเนื้อหาหรือแบบฝึกหัด เช่น ในกิจกรรมที่ให้นักเรียนเลือกคำที่สะกดถูกต้องอาจจะนำเสนอในรูปแบบของเกมยิงต่อสู้ นักเรียนต้องพยายามยิงทำลายคำศัพท์ที่สะกดผิด อย่างไรก็ตามเกมทางการศึกษาอาจจะทำให้ผู้เรียนมีพฤติกรรมที่ก้าวร้าวมากขึ้น ดังนั้นครูควรสังเกตพฤติกรรมในการเรียน และเลือกเกมที่เหมาะสม ซึ่งควรเป็นเกมที่ให้ผู้เรียนทุกคนได้มีส่วนร่วมไม่ควรให้ผู้เรียนต้องนั่งเล่นคนเดียว และหลังจากการเล่นเกมควรมีการอภิปรายถึงเนื้อหาสาระที่สอดแทรกอยู่ในเกม

5. การจำลอง (Simulation) เป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่มีการจำลองจากความเป็นจริงโดยคัดรายละเอียดต่างๆ หรือนำกิจกรรมที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมาให้ผู้เรียนได้ศึกษา เป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้พบเห็นภาพจำลองของเหตุการณ์เพื่อการฝึกทักษะและการเรียนรู้ โดยไม่ต้องเสี่ยงภัยหรือเสียค่าใช้จ่ายมากนัก รูปแบบของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบการจำลองจะประกอบด้วยการนำเสนอข้อมูล การแนะนำผู้เรียนเกี่ยวกับทักษะ การฝึกปฏิบัติเพื่อเพิ่มพูนความชำนาญ และความคล่องแคล่ว และการให้เข้าถึงซึ่งการเรียนรู้ต่างๆ ในบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนรูปแบบนี้จะมีบทเรียนรูปแบบอื่นแทรกอยู่ด้วย เช่น การสาธิต บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบจำลองนี้ มิใช่เป็นการสอนเหมือนกับบทเรียนการสอนแบบธรรมดาซึ่งเป็นการนำเสนอเนื้อหาความรู้แล้วจึงให้ผู้เรียนทำกิจกรรม แต่การสาธิตเป็นเพียงการแสดงให้ผู้เรียนได้ชมเท่านั้น เช่น ในการนำเสนอการจำลองของระบบสุริยะจักรวาลว่ามีดาวนพเคราะห์อะไรบ้างที่โคจรรอบดวงอาทิตย์ ซึ่งอาจมีการสาธิตการหมุนรอบตัวเองของดาวนพเคราะห์เหล่านั้น และการหมุนรอบดวงอาทิตย์ให้ชมด้วย เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การค้นพบ (Discovery) บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบการค้นพบเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้จากประสบการณ์ของตนเองให้มากที่สุด โดยการเสนอปัญหาให้ผู้เรียนแก้ไขด้วยการลองผิดลองถูกหรือโดยวิธีการจัดระบบเข้ามาช่วย บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจะให้ข้อมูลแก่ผู้เรียนเพื่อช่วยในการค้นพบนั้นจนกว่าจะได้ข้อสรุปที่ดีที่สุด ตัวอย่าง เช่น นักขายที่มีความสนใจจะขายสินค้าเพื่อเอาชนะคู่แข่ง บทเรียนคอมพิวเตอร์จะจัดให้มีสินค้ามากมายหลายประเภทเพื่อให้นักขายทดลองจัดแสดงเพื่อดึงดูดความสนใจของลูกค้า และเลือกวิธีการดูว่าจะขายสินค้าประเภทใดด้วยวิธีการใดจึงจะทำให้ลูกค้าซื้อสินค้าของตน เพื่อนำไปสู่ข้อสรุปว่าควรจะมีวิธีการขายอย่างไรที่จะสามารถเอาชนะคู่แข่งได้

7. การทดสอบ (Test) การใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทดสอบ มิใช่เป็นการใช้เพียงเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแบบทดสอบเพื่อวัดความรู้ของผู้เรียนเท่านั้น แต่ยังช่วยให้ผู้สอนมีความรู้สึกที่เป็นอิสระจากการผูกมัดทางด้านกฎเกณฑ์ต่างๆ เกี่ยวกับการทดสอบได้อีกด้วย เนื่องจากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจะสามารถช่วยเปลี่ยนแปลงการทดสอบจากแบบแผนเก่าๆ ของปรนัยหรือคำถามจากบทเรียนมาเป็น การทดสอบแบบมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างคอมพิวเตอร์กับผู้เรียนหรือผู้ที่ได้รับการทดสอบซึ่งเป็นที่น่าสนุกและน่าสนใจกว่า พร้อมกันนั้นก็อาจเป็นการสะท้อนถึงความสามารถของผู้เรียนที่จะนำความรู้ต่างๆมาใช้ในการตอบได้อีกด้วย

### 2.2.3 องค์ประกอบของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ถนอมพร เลาหจรัสแสง (2541: 48) ได้กล่าวว่า การพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้งของเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ ทำให้มีการผลิตซอฟต์แวร์ลงบนแผ่นซีดีรอม เป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นรูปเกมต่าง ๆ ที่เป็นที่นิยมในกลุ่มเด็กและวัยรุ่น และมัลติมีเดียที่รวบรวมความรู้เกี่ยวกับบุคคลเหตุการณ์ หรือเรื่องราวต่างๆ ที่มีความสำคัญเป็นที่น่าสนใจของคนทั่วไป เช่น พระราชประวัติของสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอฯ ในสวนหลวง ร.9 เป็นต้น เป็นผลให้เกิดความสับสนว่าซอฟต์แวร์เหล่านี้คือ CAI หรือไม่ ดังนั้นจึงได้เสนอองค์ประกอบที่สำคัญของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไว้ดังนี้

1. เนื้อหาสาระ (Information) หมายถึง เนื้อหาของบทเรียนคอมพิวเตอร์ที่ทำให้ผู้ใช้เกิดการเรียนรู้ อาจจะเป็นการนำเสนอเนื้อหาแบบทางตรงหรือทางอ้อมก็ได้ เช่น บทเรียนคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในประเภทสอน (Tutorial) แบบฝึกหัด (Drill and Practice) หรือแบบทดสอบ ซึ่งมักจะมีการนำเสนอเนื้อหาโดยตรง และมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ใช้ได้ฝึกทักษะในด้านต่างๆ เช่น ทักษะการอ่าน การจำและทำความเข้าใจเนื้อหาต่างๆ ทักษะการคิดคำนวณ เป็นต้น

2. ปฏิสัมพันธ์ (Interaction) หมายถึง การมีปฏิสัมพันธ์โต้ตอบกันระหว่างผู้เรียนหรือผู้ใช้กับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ผู้สร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน จำเป็นที่จะต้องสร้างสรรค์ออกแบบ เพื่อให้ได้กิจกรรมการเรียนที่ก่อให้เกิดปฏิสัมพันธ์ที่มีความเกี่ยวเนื่องกับบทเรียนมีความสม่ำเสมอ และเอื้ออำนวยให้เกิดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความแตกต่างระหว่างบุคคล (Individualization) สื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ดีต้องออกแบบมาในลักษณะที่ตอบสนองต่อความแตกต่างระหว่างบุคคลให้มากที่สุด โดยให้ผู้เรียนมีโอกาสควบคุมการเรียนรู้ของตนเอง ซึ่งสามารถทำได้หลายลักษณะด้วยกัน ได้แก่

3.1 การควบคุมเนื้อหา การเลือกที่จะเรียนส่วนใดหรือข้ามส่วนใดออกจากบทเรียนเมื่อใด หรือย้อนกลับมาเรียนในส่วนที่ยังไม่ได้ศึกษา เช่น มีเมนูหรือรายการที่แยกเนื้อหาตามหัวข้ออย่างชัดเจน หรือปุ่มควบคุมต่างๆ ในการสืบไป (Navigate) ในบทเรียน

3.2 การควบคุมลำดับของการเรียนส่วนใดก่อนหลัง หรือสร้างลำดับการเรียนด้วยตนเอง เช่น ในลักษณะการเรียนเนื้อหาแบบโยงใยหรือ Hypermedia ซึ่งผู้เรียนสามารถที่จะกดเลือกข้อมูลที่ต้องการเรียนตามความสนใจ ความถนัดหรือตามพื้นฐานความรู้ของตนเองได้

3.3 การควบคุม โดยการฝึกปฏิบัติหรือการทดสอบต้องการที่จะทำ เช่น การมีปุ่มควบคุมต่างๆ จัดหาไว้ทุกหน้าที่จำเป็น เช่น ปุ่มเลิก ปุ่มกลับไปหน้าเดิม เป็นต้น นอกจากนี้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สามารถตอบสนองความแตกต่างระหว่างบุคคลได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นอาจจะทำได้โดยการจัดเสนอเนื้อหา หรือแบบฝึกหัดในระดับความยากง่ายที่ตรงกับพื้นฐานความสามารถและความสนใจของผู้เรียน

4. ความสามารถในการให้ผลย้อนกลับ (Immediate Feedback) การให้ผลย้อนกลับแก่ผู้เรียนในทันทีเป็นการประเมินความเข้าใจของผู้เรียนและส่งผลต่อการเรียนรู้ในตัวของผู้เรียน โดยสามารถที่จะตรวจสอบผลการเรียนด้วยตนเองว่ามีความเข้าใจในสิ่งที่ศึกษาไปมากน้อยเพียงใด หรือมีความเข้าใจผิดพลาดในส่วนใดหรือไม่อย่างไร ตามความคิดของ Skinner แล้วการให้ผลย้อนกลับถือเป็นการเสริมแรงอย่างหนึ่งความสามารถในการให้ผลข้อมูลย้อนกลับจึงนับว่าเป็นข้อได้เปรียบที่สำคัญของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเมื่อเปรียบเทียบกับสื่อสิ่งพิมพ์หรือโสตทัศนวัสดุที่ไม่สามารถที่จะประเมินผลการเรียนของผู้เรียนพร้อมกับการให้ผลข้อมูลย้อนกลับโดยฉับพลันได้

จิรารัตน์ ชिरเวทย์ (2542:68-70) ได้กล่าวถึงองค์ประกอบโดยทั่วไป ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ดังนี้

1. ข้อความ (Text) หมายถึง ตัวอักษร ตัวเลข หรือ เครื่องหมายเว้นวรรคตอน ที่พิมพ์ขึ้นด้วยเป็นพิมพ์ มีความหลากหลายของแบบ (Style) ตัวพิมพ์ (Font) ขนาด (Size) และสี (Color) รูปแบบของตัวอักษรแต่ละแบบสามารถส่งเสริม ในการแสดงข้อความได้ ขณะที่ตัวอักษรรูปแบบหนึ่งมีประสิทธิภาพในการใช้เป็น หัวเรื่อง แต่ตัวอักษรอีกรูปแบบหนึ่งจะมีประสิทธิภาพในการอธิบายเนื้อหา เพราะอ่านง่าย ชัดเจน และลดความเครียดของสายตาได้ ส่วนเรื่องของขนาดตัวอักษรช่วยในการแบ่งหัวเรื่อง และเนื้อหาออกจากกันอย่างชัดเจน

2. ภาพนิ่ง (Still picture) หมายถึง ภาพถ่ายและภาพลายเส้น โดยภาพนิ่งจะมีขนาดใหญ่ เต็มจอ หรือเล็กกว่านั้นก็ได้ อาจจะเป็นภาพวาดหรือภาพสเก็ชก็ได้ และอาจจะเป็นภาพ 2 มิติ หรือ

ภาพ 3 มิติก็ได้ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของจอ และความสามารถของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีอยู่มนุษย์ โดยทั่วไปจะมีความถนัดในการรับรู้ทางภาพดังนั้น ภาพจึงมีอิทธิพลอย่างมากในการนำเสนอข้อมูล แสดงผลบนหน้าจคอมพิวเตอร์ภาพนิ่งจึงเป็นองค์ประกอบสำคัญ และมีความจำเป็นอย่างมากใน บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ในบางโปรแกรมมีการสะสมภาพกราฟิกไว้ ผู้ใช้สามารถเรียก ภาพกราฟิกเหล่านั้นมาใช้ได้แต่อย่างไรก็ตาม ภาพนิ่งเปลืองหน่วยความจำมากกว่าข้อมูลที่เป็น ตัวอักษรหลายเท่า

3. ภาพเคลื่อนไหว (Animated picture) สามารถส่งเสริมการเรียนรู้เกี่ยวข้องกับการ เคลื่อนที่ เคลื่อนไหวซึ่งยากแก่การอธิบายด้วยภาพเพียงภาพเดียว หรือหลายภาพ ภาพเคลื่อนไหว ช่วยดึงดูดความสนใจของผู้เรียนได้ไม่ว่าจะเป็นภาพเคลื่อนไหว (Animation) ที่เปลี่ยนทั้งตำแหน่ง และรูปทรงของภาพ หรือการเคลื่อนที่ (Moving) ที่เปลี่ยนเฉพาะตำแหน่งหน้าจแต่ไม่เปลี่ยน รูปทรงของภาพ

4. เสียง (Sound) เสียงที่ใช้ในคอมพิวเตอร์มี 3 ชนิด คือ เสียงพูด (Voice) ได้แก่ เสียง บรรยาย และบทสนทนาที่ใช้ประกอบในบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เสียงดนตรี (Music) ได้แก่ เสียงพิเศษต่าง ๆ (Sound effect) ที่ใช้ในบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เช่น เสียงเครื่องบิน เสียง ปรบมือ เสียงระเบิด เสียงที่ใช้ในบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสามารถช่วยให้ ผู้เรียนมีความเข้าใจ ในบทเรียนเพิ่มมากขึ้นอีกวิธีหนึ่ง เช่น เสียงของสัตว์ต่าง ๆ ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวอักษรหรือ ภาพประกอบชนิดต่างๆ มาทดแทนกันได้ การนำเสียงมาใช้ในบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน สามารถให้ข้อที่ใช้กับวิธีการอื่น ไม่ได้ผลกับผู้เรียน

5. ปฏิสัมพันธ์ (Interactive Links) หมายถึง การที่ผู้เรียนสามารถใช้เมาส์ชี้แล้วกดที่ส่วนใด ส่วนหนึ่งของหน้า เช่น ที่ภาพปุ่ม ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว และบนตัวอักษร เป็นต้น แล้วทำให้เกิด การตอบสนองในลักษณะใดลักษณะหนึ่ง เช่น เมื่อผู้เรียนกดปุ่มบนเมาส์ในบริเวณเนื้อหาบน หน้าจอที่มีคำว่า “เสียง” จะได้ยินเสียงร้องของช้าง และหากกดปุ่มบนเมาส์ในบริเวณที่มีภาพหนึ่งของ ช้างก็จะได้ชมภาพการเคลื่อนไหวของช้าง เป็นต้น การปฏิสัมพันธ์นี้เมื่อรวมเข้ากับข้อมูลที่ โปรแกรมเชื่อมโยงอยู่เรียกว่า Hypermedia ซึ่งสามารถเรียกเฉพาะเจาะจงลงไปได้อีกว่า Hypertext หรือ Hot word, Hyper graphics และ Hyper sound ตามแต่ชนิดของข้อมูลที่ โปรแกรมนั้นเชื่อมโยง อยู่ เช่น Hypertext หรือ Hot word จะมีข้อมูลอธิบายเพิ่มเติมเป็นตัวอักษร ส่วน Hyper graphics จะ แสดงข้อมูลที่อธิบายเพิ่มเติมเป็นภาพ เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีการใช้ข้อมูลย้อนกลับ (Feedback) เป็นคุณสมบัติเด่นข้อหนึ่งของบทเรียน คอมพิวเตอร์ช่วยสอน ที่สามารถมีปฏิสัมพันธ์กับผู้เรียน โดยตอบสนองกับผู้เรียนทันทีที่ผู้เรียนให้ ข้อมูล การให้ข้อมูลย้อนกลับ สามารถให้ในลักษณะการเสริมแรงผู้เรียน เช่น คำกล่าวว่า “คุณเก่ง มาก” “ถูกต้อง” “นายแน่มาก” สำหรับคำตอบที่ถูกต้อง อย่างไรก็ตามการเสริมแรงนี้ต้องให้ใน ระดับที่เหมาะสมเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.4 โครงสร้างของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

บุรณะ สมชัย (2542 : 23) กล่าวว่าลักษณะโครงสร้างของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน หรือ CAI (Computer Assisted Instruction) มี 3 ลักษณะ คือ

1. การนำเสนอ (Presentation) คือ การนำเสนอข้อมูลหรือเนื้อหาบทเรียน เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจในเนื้อหานั้นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ เข้าใจตามวัตถุประสงค์ ไม่ว่าจะเป็นด้านความรู้ ด้านความจำ หรือด้านการนำไปใช้ ในเวลาจำกัด จึงเรียกได้ว่า “มีประสิทธิภาพ” และการที่จะนำเสนอให้มีประสิทธิภาพนั้นต้องนำเสนอด้วยระบบมัลติมีเดีย ได้แก่

1.1 สไลด์โชว์ (Slide Show) คือ การพลิกไปทีละหน้า หรือเลื่อนขึ้น ลงเหมือนอ่านหนังสือมีการเชื่อมโยงไปหน้าอื่นที่ต้องการความหมายหรือคำอธิบายเพิ่มเติม โดยไม่จำเป็นต้องเรียนตามลำดับหน้าที่เรียนกันว่า ไฮเปอร์เท็กซ์ (Hyper text) และอาจจะมีเสียงบรรยาย (Sound) หรือเสียงดนตรี

1.2 ภาพเคลื่อนไหว (Animation) คือ การนำเสนอที่มีภาพเคลื่อนไหวในลักษณะเคลื่อนทั้งภาพ (Movement) และภาพเคลื่อนไหว (Animation) เช่น การ์ตูน หรือการทำงานของชิ้นส่วน หรือการทำงานของเครื่องยนต์ เป็นต้น

1.3 วิดีโอหรือภาพยนตร์ (Video and Movies) คือ การนำเสนอด้วยลักษณะของภาพยนตร์โดยจะมีความเหมือนจริงทั้งภาพและเสียง ในบางตอนอาจนำเอาแอนิเมชันมาประกอบเพื่อให้เข้าใจง่าย เช่น การทำสื่อโฆษณาทางทีวี เป็นต้น ถือได้ว่าเป็นการนำเสนอที่ดีที่สุด

2. การปฏิสัมพันธ์ (Interactive) คือการโต้ตอบกับผู้เรียน ในกระบวนการเรียนการสอนที่มีประสิทธิภาพที่สุดนั้น จะต้องเป็นแบบสื่อสาร 2 ทาง หรือ “Two-way Communication” เช่น นักเรียนในห้องสามารถถามครูผู้สอนได้เมื่อได้เข้าใจเนื้อหา หรือ ครู-อาจารย์ ชักถามนักเรียนเพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ได้ แต่ถ้าการเสนออย่างเดียว ไม่มีการโต้ตอบหรือสอบถามได้ เช่น ดูทีวี เป็นต้น เรียกว่าสื่อสารทางเดียวหรือ “One-way Communication” ก็จะมีการเข้าใจในเนื้อหาบทเรียนได้ระดับหนึ่งขึ้นอยู่กับ “อายุสมาธิ” ของผู้เรียน การปฏิสัมพันธ์จึงจัดเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของคอมพิวเตอร์ช่วยสอนลักษณะการปฏิสัมพันธ์ (Interactive) กับคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนั้น ได้แก่

2.1 Mouse Click คือ ใช้เมาส์คลิกที่ออบเจกต์ เช่น พลิกหน้า เลื่อนหน้า ขึ้น-ลง เลื่อนซ้าย-ขวา เชื่อมโยงไปหน้าอื่น หรือไปสื่ออื่น เป็นต้น

2.2 Hot key คือ ใช้นิ้วกดแป้นคีย์บอร์ดลัด เช่น แป้นลูกศร แป้นอักษร Y = Yes (True), N = No (False) เป็นต้น

2.3 Text-Matching คือ การพิมพ์ข้อความตามเงื่อนไข ถ้าตรงตามเงื่อนไขจะเป็นจริง (True) ถ้าไม่ตรงจะเป็นเท็จ (False) เช่น เติมคำในช่องว่างพิมพ์ตัวเลขเพื่อนำไปประมวลผล เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 Time คือ กำหนดเวลาให้กระทำ จะเป็นตัวเร่งให้ผู้เรียนมีความสนใจ ต่อเนื้อหาบทเรียน

2.5 Sound คือ การใช้เสียงเป็นสื่อโต้ตอบกับบทเรียน เช่น ฟังการอ่านภาษา ถ้าอ่านไม่ถูกต้องหรือเสียงเพี้ยนก็จะให้บททวนใหม่หรือผ่านไปหน้าต่อไปไม่ได้ เป็นต้น

3. การประเมินผล (Evaluation) คือ การประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน โดยจะรวบรวมผลของการโต้ตอบที่ต้องการมาเป็นข้อมูลและคำนวณผลออกมาโดยจะออกมาเป็น “เปอร์เซ็นต์” เป็น “เกณฑ์” หรือเป็น “เกรด” ก็ได้โดยปกติแล้วจะประเมินผลเพื่อเหตุผลต่อไปนี้

3.1 วัดผลการสอบหรือวัดผลสัมฤทธิ์ของการเรียนรู้

3.2 หาความเป็นมาตรฐานของข้อสอบ เช่น หากคำตอบเชื่อมั่น ข้อสอบมาตรฐาน

3.3 หาเกณฑ์ตัดสิน เช่น ผ่าน-ไม่ผ่าน หรือ ไปเรียนในระดับหรือหน่วยต่อไปได้

บรรณ ธรรม (2542:14) สรุปการแบ่งคอมพิวเตอร์ช่วยสอนตามการเรียนรู้ได้ 3 ส่วน คือ

1. ส่วนเนื้อหาบทเรียน (Mattress) คือส่วนที่เป็นบทเรียน

2. ส่วนแบบฝึกหัด (Practices) คือ ส่วนที่ใช้ทบทวนความรู้ หรือฝึกทักษะ

3. ส่วนแบบทดสอบ (Test) คือ ส่วนที่ใช้วัดผลการเรียนรู้

ตารางที่ 2.8 โครงสร้างในแต่ละส่วนของบทเรียน

| Description | Presentation | Interactive | Evaluation |
|-------------|--------------|-------------|------------|
| Mattress    | √            | √           |            |
| Practices   | √            | √           | √          |
| Test        | √            | √           | √          |

#### 2.2.5 ประโยชน์ของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

1. ผู้เรียน เรียน ได้ตามความเร็วของตนเอง ทำให้สามารถควบคุมอัตราเร่งของการเรียนได้ด้วยตนเอง

2. ผู้สอน สามารถควบคุมการเรียนของผู้เรียนได้ เพราะคอมพิวเตอร์จะบันทึกการเรียนของผู้เรียนแต่ละบุคคลไว้

3. ความสามารถในการเก็บข้อมูลของคอมพิวเตอร์ ทำให้การเรียนแบบเอกลักษณ์บุคคล เป็นไปได้อย่างง่ายดาย ซึ่งครูผู้สอนสามารถออกแบบให้เรียนได้โดยลำพัง

4. การตอบสนองที่รวดเร็วของคอมพิวเตอร์ ทำให้ผู้เรียนได้รับการเสริมแรงที่รวดเร็วด้วย

5. CAI จะช่วยให้การเรียนมีทั้งประสิทธิภาพและประสิทธิผล มีประสิทธิภาพในแง่

เวลา และลดค่าใช้จ่ายลง และประสิทธิผลในแง่ที่ทำให้ผู้เรียนบรรลุจุดมุ่งหมาย ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. อาจจัดทำโปรแกรมให้มีบรรยากาศที่น่าชื่นชม ซึ่งเหมาะสำหรับผู้เรียนที่เรียนซ้ำ สามารถเอาเสียงดนตรี สี สัน กราฟิกเคลื่อนไหว ซึ่งทำให้ดูเหมือนของจริง และน่าเร้าใจในการฝึกปฏิบัติ หรือสถานการณ์จำลองได้เป็นอย่างดี

7. ความแปลกใหม่ของคอมพิวเตอร์จะเพิ่มความสนใจ ความตั้งใจของผู้เรียนมากขึ้น

8. คอมพิวเตอร์ให้การสอนที่เชื่อถือได้แก่ ผู้เรียนโดยไม่เกี่ยวกับผู้สอนแต่อย่างไร

9. ผู้เรียนที่ค่อนข้างเรียนซ้ำ จะมีผลสัมฤทธิ์สูงขึ้นมากกว่าผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนปกติแม้ว่าสิ่งที่คงเหลือจากการเรียนรู้จะต่ำกว่า เมื่อเทียบกับการเรียนจากห้องเรียนปกติ

10. ผู้สอนกำหนดวิธีการสอนให้ตรงกับความต้องการของผู้เรียนได้ เพราะคำตอบที่ผู้เรียนใช้อาจเป็นแนวให้กำหนดบทเรียนให้ไปซ้ำเร็ว หรือมีความแตกต่างอย่างนี้ก็ได้

11. คอมพิวเตอร์ช่วยสร้างแนวความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ การใช้หลักการของคอมพิวเตอร์เพื่อให้โอกาสเด็กแสดงออกในเชิงความคิดสร้างสรรค์ เด็กสามารถสร้างจินตนาการ ความคิดแบบอิสระ ได้อย่างเต็มที่

12. ผู้เรียนไม่สามารถแอบพลิกดูคำตอบได้ก่อนซึ่งเป็นการบังคับผู้เรียนให้เรียนรู้จริงๆ ก่อนจึงจะผ่านบทเรียนนั้นไปได้

13. สามารถให้ข้อมูลป้อนกลับและ ให้การเสริมแรงแก่ผู้เรียน ได้อย่างรวดเร็วทั้งในรูปของข้อความเสียง และรูปภาพ เมื่อผู้เรียนทำผิดก็สามารถแก้ไขข้อผิดพลาดได้ทันที ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมเพื่อให้เกิดการเรียนรู้

14. คอมพิวเตอร์สามารถสอนมโนทัศน์และทักษะ ที่เป็นการยากต่อการสอน โดยครู หรือการเรียนจากตำรา การจำลองสถานการณ์โดยคอมพิวเตอร์จะช่วยสอนให้นักเรียนเรียนได้ง่ายขึ้น และดีขึ้นกว่าการเรียนจากครู

15. ผู้เรียนสามารถควบคุมวิธีการเรียนของตนเองได้

สรุปได้ว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีประโยชน์อย่างสูงสุด ในการเรียนการสอนและเป็นการแก้ปัญหาความแตกต่างระหว่างบุคคลได้เป็นอย่างดี ทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

## 2.2.6 หลักการออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนตามแนวคิดของ Robert Gagne'

Robert Gagne' (รุจ โรจน์ แก้วอุไร 2545) (Internet : <http://www.thaicai.com/articles/cai4.html>.)

ได้กล่าวถึง หลักการออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ที่เกิดจากการออกแบบในลักษณะการเรียนการสอนจริงโดยยึดหลักการนำเสนอเนื้อหา และสื่อต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้จากการมีปฏิสัมพันธ์ ระหว่างผู้เรียน และบทเรียนซึ่งประกอบด้วยหลักการ 9 ประการ ดังนี้

1. เร่งเร้าความสนใจ
2. บอกวัตถุประสงค์
3. ทบทวนความรู้เดิม
4. นำเสนอเนื้อหาใหม่
5. ชี้แนะแนวทางการเรียน
6. กระตุ้นการตอบสนองบทเรียน
7. ให้ข้อมูลย้อนกลับ
8. ทดสอบความรู้
9. สรุปและนำไปใช้

### รายละเอียดแต่ละขั้นตอน มีดังนี้

#### 1. เร่งเร้าความสนใจ

ก่อนที่จะเริ่มการนำเสนอเนื้อหาบทเรียน ควรมีการจูงใจและเร่งเร้าความสนใจให้ผู้เรียนอยากเรียน ดังนั้น บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจึงควรเริ่มด้วยการใช้ภาพ แสง สี เสียง หรือใช้สื่อประกอบกันหลายๆ อย่าง โดยสื่อที่สร้างขึ้นมานั้นต้องเกี่ยวข้องกับเนื้อหาและน่าสนใจ ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อความสนใจของผู้เรียน นอกจากเร่งเร้าความสนใจแล้ว ยังเป็นการเตรียมความพร้อมให้ผู้เรียนพร้อมที่จะศึกษาเนื้อหาต่อไปในตัวอีกด้วย ตามลักษณะของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน การเร่งเร้าความสนใจในขั้นตอนแรกนี้ก็คือ การนำเสนอบทนำเรื่อง (Tide) ของบทเรียนนั่นเอง ซึ่งหลักสำคัญประการหนึ่งของการออกแบบในส่วนนี้คือ ควรให้สายตาของผู้เรียนอยู่ที่จอภาพ โดยไม่พะวงอยู่ที่แป้นพิมพ์หรือส่วนอื่นๆ แต่ถ้าบทนำเรื่องดังกล่าวต้องการตอบสนองจากผู้เรียน โดยการปฏิสัมพันธ์ผ่านทางอุปกรณ์ป้อนข้อมูล ก็ควรเป็นการตอบสนองที่ง่ายๆ เช่น กดแป้น Spacebar คลิ๊กเมาส์ หรือกดแป้นพิมพ์ตัวใดตัวหนึ่งเป็นต้น

#### สิ่งที่ต้องพิจารณาเพื่อเร่งเร้าความสนใจของผู้เรียนมีดังนี้

1.1 เลือกใช้ภาพกราฟิกที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา เพื่อเร่งเร้าความสนใจในส่วนของบทนำเรื่อง โดยมีข้อพิจารณาดังนี้

1.1.1 ใช้ภาพกราฟิกที่มีขนาดใหญ่ชัดเจน ง่าย และไม่ซับซ้อน

1.1.2 ใช้เทคนิคการนำเสนอที่ปรากฏภาพได้เร็ว เพื่อไม่ให้ผู้เรียนเบื่อ

1.1.3 ควรให้ภาพปรากฏบนจอภาพระยะหนึ่ง จนกระทั่งผู้เรียนกดแป้นพิมพ์ใดๆ จึงเปลี่ยนไปสู่เฟรมอื่นๆ เพื่อสร้างความคุ้นเคยให้กับผู้เรียน

1.1.4 เลือกใช้ภาพกราฟิกที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา ระดับความรู้ และเหมาะสมกับวัยของผู้เรียน

1.2 ใช้ภาพเคลื่อนไหวหรือใช้เทคนิคการนำเสนอภาพผลพิเศษเข้าช่วย เพื่อแสดงการเคลื่อนไหวของภาพ แต่ควรใช้เวลาสั้นๆ และง่าย

1.3 เลือกใช้สีที่ตัดกับฉากหลังอย่างชัดเจน โดยเฉพาะสีเข้ม

1.4 เลือกใช้เสียงที่สอดคล้องกับภาพกราฟิกและเหมาะสมกับเนื้อหาบทเรียน

1.5 ควรบอกชื่อเรื่องบทเรียนไว้ด้วยในส่วนของบทนำเรื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. บอกวัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของบทเรียน นับว่าเป็นส่วนสำคัญยิ่งต่อกระบวนการเรียนรู้ที่ผู้เรียนจะได้ทราบถึงความคาดหวังของบทเรียนจากผู้เรียน นอกจากนี้ผู้เรียนจะทราบถึงพฤติกรรมขั้นสุดท้ายของตนเองหลังจบบทเรียนแล้วจะยังเป็นการแจ้งให้ทราบล่วงหน้าถึงประเด็นสำคัญของเนื้อหา รวมทั้งเค้าโครงของเนื้อหาอีกด้วย การที่ผู้เรียนทราบถึงขอบเขตของเนื้อหาอย่างคร่าวๆ จะช่วยให้ผู้เรียนสามารถผสมผสานแนวความคิดในรายละเอียดหรือส่วนย่อยของเนื้อหาให้สอดคล้องและสัมพันธ์กับเนื้อหาในส่วนใหญ่ได้ ซึ่งมีผลทำให้การเรียนรู้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น นอกจากนี้จะมีผลดังกล่าวแล้วผลการวิจัยยังพบว่าผู้เรียนที่ทราบวัตถุประสงค์ของการเรียนก่อน เรียนบทเรียนจะสามารถจำและเข้าใจในเนื้อหาได้ดีขึ้นอีกด้วย

วัตถุประสงค์บทเรียนจำแนกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ วัตถุประสงค์ทั่วไป และวัตถุประสงค์เฉพาะ หรือวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม การบอกวัตถุประสงค์ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมักกำหนดเป็นวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม เนื่องจากเป็นวัตถุประสงค์ที่ชี้เฉพาะสามารถวัดได้และสังเกตได้ ซึ่งง่ายต่อการตรวจวัดผู้เรียนในขั้นสุดท้าย อย่างไรก็ตามวัตถุประสงค์ทั่วไปก็มีความจำเป็นที่จะต้องแจ้งให้ผู้เรียนทราบถึงเค้าโครงเนื้อหาแนวกว้างๆ เช่นกัน

สิ่งที่ต้องพิจารณาในการบอกวัตถุประสงค์บทเรียน มีดังนี้

2.1 บอกวัตถุประสงค์โดยเลือกใช้ประโยคสั้นๆ แต่ได้ใจความ อ่านแล้วเข้าใจ ไม่ต้องแปลความอีกครั้ง

2.2 หลีกเลี่ยงการใช้คำที่ยังไม่เป็นที่รู้จัก และเป็นที่ยอมรับของผู้เรียน โดยทั่วไป

2.3 ไม่ควรกำหนดวัตถุประสงค์หลายข้อเกินไปในเนื้อหาแต่ละส่วนๆ ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนเกิดความสับสน หากมีเนื้อหามาก ควรแบ่งบทเรียนออกเป็นหัวเรื่องย่อยๆ

2.4 ควรบอกการนำไปใช้งานให้ผู้เรียนทราบด้วยว่า หลังจากจบบทเรียนแล้วจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทำอะไรได้บ้าง

2.5 ถ้าบทเรียนนั้นประกอบด้วยบทเรียนย่อยหลายหัวเรื่อง ควรบอกทั้งวัตถุประสงค์ทั่วไป และวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม โดยบอกวัตถุประสงค์ทั่วไปในบทเรียนหลัก และตามด้วยรายการให้เลือก หลังจากนั้นจึงบอกวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมของแต่ละบทเรียนย่อยๆ

2.6 อาจนำเสนอวัตถุประสงค์ให้ปรากฏบนจอภาพทีละข้อๆ ก็ได้ แต่ควรคำนึงถึงเวลาการนำเสนอให้เหมาะสม หรืออาจให้ผู้เรียนกดแป้นพิมพ์เพื่อศึกษาวัตถุประสงค์ต่อไปทีละข้อก็ได้

2.7 เพื่อให้การนำเสนอวัตถุประสงค์น่าสนใจยิ่งขึ้น อาจใช้กราฟฟิกง่ายๆ เข้าช่วย เช่น ตีกรอบ ใช้ลูกศร และใช้รูปทรงเรขาคณิต แต่ไม่ควรใช้การเคลื่อนไหวเข้าช่วย โดยเฉพาะกับตัวหนังสือ

### 3. ทบทวนความรู้เดิม

การทบทวนความรู้เดิมก่อนที่จะนำเสนอความรู้ใหม่ แก่ผู้เรียนมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาวิธีการประเมิน ความรู้ที่จำเป็นสำหรับบทเรียนใหม่ เพื่อไม่ให้ผู้เรียนเกิดปัญหาในการเรียนรู้ วัตถุประสงค์โดยทั่วไปสำหรับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ก็คือ การทดสอบก่อนบทเรียน (Pre-test) ซึ่งเป็นการประเมินความรู้ของผู้เรียน เพื่อทบทวนเนื้อหาเดิมที่เคยศึกษาผ่านมาแล้ว และเพื่อเตรียมความพร้อมในการรับเนื้อหาใหม่ นอกจากนี้จะเป็นการตรวจวัดความรู้พื้นฐานแล้วบทเรียน บางเรื่อง อาจใช้ผลจากการทดสอบก่อนบทเรียนมาเป็นเกณฑ์จัดระดับความสามารถของผู้เรียน เพื่อจัดบทเรียนให้ตอบสนองต่อระดับความสามารถของผู้เรียน เพื่อจัดบทเรียนให้ตอบสนองต่อระดับความสามารถที่แท้จริงของผู้เรียนแต่ละคนแต่อย่างไรก็ตามในขั้นการทบทวนความรู้เดิมนี้ไม่จำเป็น ต้องเป็นการทดสอบเสมอไป หากเป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้นเป็นชุดบทเรียนที่เรียนต่อเนื่องกันไปตามลำดับ การทบทวนความรู้เดิม อาจอยู่ในรูปแบบของการกระตุ้นให้ผู้เรียนคิดย้อนหลังถึงสิ่งที่ได้เรียนรู้มาก่อนหน้านี้ก็ได้ การกระตุ้นดังกล่าวอาจแสดงด้วยคำพูด คำเขียน ภาพ หรือผสมผสานกันแล้วแต่ความเหมาะสม ปริมาณมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับเนื้อหา ตัวอย่าง เช่น การนำเสนอเนื้อหาเรื่องการต่อตัวด้านทานแบบผสม ถ้าผู้เรียนไม่สามารถเข้าใจวิธีการหาความต้านทานรวม กรณีนี้ควรจะมีวิธีการวัดความรู้เดิมของผู้เรียนก่อนว่ามีความเข้าใจเพียงพอกที่จะคำนวณหาค่าต่างๆ ในแบบผสมหรือไม่ ซึ่งจำเป็นต้องมีการทดสอบก่อนถ้าพบว่าผู้เรียนไม่เข้าใจวิธีการคำนวณ บทเรียนต้องชี้แนะให้ผู้เรียนกลับไปศึกษา เรื่องการต่อตัวด้านทานแบบอนุกรมและแบบขนานก่อน หรืออาจนำเสนอบทเรียนย่อยเพิ่มเติมเรื่องดังกล่าว เพื่อเป็นการทบทวนก่อนก็ได้

สิ่งที่จะต้องพิจารณาในการทบทวนความรู้เดิม มีดังนี้

3.1 ควรมีการทดสอบความรู้พื้นฐานหรือนำเสนอเนื้อหาเดิมที่เกี่ยวข้อง เพื่อเตรียมความพร้อมผู้เรียนในการเข้าสู่เนื้อหาใหม่ โดยไม่ต้องคาดเดาว่าผู้เรียนมีพื้นฐานความรู้เท่ากัน

3.2 แบบทดสอบต้องมีคุณภาพ สามารถแปลผลได้ โดยวัดความรู้พื้นฐานที่จำเป็นกับการศึกษาเนื้อหาใหม่เท่านั้น มิใช่แบบทดสอบเพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแต่อย่างใด

3.3 การทบทวนเนื้อหาหรือการทดสอบ ควรใช้เวลาสั้นๆ กระชับ และตรงตามวัตถุประสงค์ของบทเรียนมากที่สุด

3.4 ควรเปิดโอกาสให้ผู้เรียนออกจากเนื้อหาใหม่หรือออกจากบทเรียน เพื่อไปศึกษาทบทวนได้ตลอดเวลา

3.5 ถ้าบทเรียนไม่มีการทดสอบความรู้พื้นฐานเดิม บทเรียนต้องนำเสนอวิธีการกระตุ้นให้ผู้เรียนย้อนกลับไปคิดถึงสิ่งที่ศึกษาผ่านมาแล้ว หรือสิ่งที่มีประสบการณ์ผ่านมาแล้ว โดยอาจใช้ภาพประกอบในการกระตุ้นให้ผู้เรียนย้อนคิด จะทำให้บทเรียนน่าสนใจยิ่งขึ้น

#### 4. นำเสนอเนื้อหาใหม่

หลักสำคัญในการนำเสนอเนื้อหาของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ก็คือ ควรนำเสนอภาพที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา ประกอบกับคำอธิบายสั้นๆ ง่ายๆ แต่ได้ใจความ การใช้ภาพประกอบ จะทำให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาง่ายขึ้น และมีความคงทนในการจดจำได้ดีกว่าการใช้คำอธิบายเพียงอย่างเดียว โดยหลักการที่ว่า ภาพจะช่วยอธิบายสิ่งที่เป็นนามธรรมให้ง่ายต่อการรับรู้ แม้ในเนื้อหาบางช่วงจะมีความยากในการที่จะคิดสร้างภาพประกอบ แต่ก็ควรพิจารณาวิธีการต่างๆ ที่จะนำเสนอด้วยภาพให้ได้ แม้จะมีจำนวนน้อย แต่ก็ยังดีกว่าคำอธิบายเพียงคำเดียว ภาพที่ใช้ในบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจำแนกออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ ภาพนิ่ง ได้แก่ ภาพลายเส้น ภาพ 2 มิติ ภาพ 3 มิติ ภาพถ่ายของจริง แผนภาพ แผนภูมิ และกราฟ อีกส่วนหนึ่งได้แก่ภาพเคลื่อนไหว เช่น ภาพวิดิทัศน์ ภาพจากแหล่งสัญญาณดิจิทัลต่างๆ เช่น จากเครื่องเล่นภาพ โฟโต้ซีดี เครื่องเล่นเลเซอร์ดิสก์ กล้องถ่ายภาพ วิดิทัศน์ และภาพจากโปรแกรมสร้างภาพเคลื่อนไหว เป็นต้น อย่างไรก็ตามการใช้ภาพประกอบเนื้อหา อาจไม่ได้ผลเท่าที่ควร หากภาพเหล่านั้นมีรายละเอียดมากเกินไป ใช้เวลานานไปในการปรากฏบนจอภาพ ไม่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาซับซ้อน เข้าใจยาก และไม่เหมาะสมในเรื่องเทคนิคการออกแบบ เช่น ขาดความสมดุล องค์ประกอบภาพไม่ดี เป็นต้น

ดังนั้น การเลือกภาพที่ใช้ในการนำเสนอเนื้อหาใหม่ ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน จึงควรพิจารณาในประเด็นต่างๆ ดังนี้

4.1 เลือกใช้ภาพประกอบการนำเสนอเนื้อหาให้มากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่เป็นเนื้อหาสำคัญๆ

4.2 เลือกใช้ภาพเคลื่อนไหว สำหรับเนื้อหาที่ยากและซับซ้อนที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นลำดับขั้น หรือเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

4.3 ใช้แผนภูมิ แผนภาพ แผนสถิติ สัญลักษณ์ หรือภาพเปรียบเทียบ ในการนำเสนอเนื้อหาใหม่ แทนข้อความคำอธิบาย

4.4 การเสนอเนื้อหาที่ยากและซับซ้อน ให้เน้นในส่วนของข้อความสำคัญ ซึ่งอาจใช้การขีดเส้นใต้ การติกรอบ การกระพริบ การเปลี่ยนสีพื้น การโยงลูกศร การใช้สี หรือการชี้แนะด้วยคำพูด เช่น สังเกตที่ด้านขวาของภาพ เป็นต้น

4.5 ไม่ควรใช้กราฟิกที่เข้าใจยาก และไม่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา

4.6 จัดรูปแบบของคำอธิบายให้นำอ่าน หากเนื้อหายาว ควรจัดแบ่งกลุ่มคำอธิบายให้จบเป็นตอน ๆ

4.7 คำอธิบายที่ใช้ในตัวอย่าง ควรกระชับและเข้าใจได้ง่าย

4.8 หากเครื่องคอมพิวเตอร์แสดงกราฟิกได้ช้าควรเสนอเฉพาะกราฟิกที่จำเป็นเท่านั้น

4.9 ไม่ควรใช้สีพื้นสลับไปสลับมาในแต่ละเฟรมเนื้อหา และไม่ควรเปลี่ยนสีไปมา

โดยเฉพาะสีหลักของตัวอักษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 คำที่ใช้ควรเป็นคำที่ผู้เรียนระดับนั้นๆ คำนึง และเข้าใจความหมายตรงกัน

4.11 ขณะนำเสนอเนื้อหาใหม่ ควรให้ผู้เรียน ได้มีโอกาสทำอย่างอื่นบ้าง แทนที่จะให้กดแป้นพิมพ์ หรือคลิกเมาส์เพียงอย่างเดียวเท่านั้น เช่น การปฏิสัมพันธ์กับบทเรียน โดยวิธีการพิมพ์ หรือตอบคำถาม

## 5. ชี้นำแนวทางการเรียนรู้

ตามหลักการและเงื่อนไขการเรียนรู้ (Condition of Learning) ผู้เรียนจะจำเนื้อหาได้ดี หากมีการจัดระบบการเสนอเนื้อหาที่ดีและสัมพันธ์กับประสบการณ์เดิมหรือความรู้เดิมของผู้เรียน บางทฤษฎีกล่าวไว้ว่า การเรียนรู้ที่กระจำชัด (Meaningfully Learning) นั้น ทางเดียวที่จะเกิดขึ้นได้ก็คือ การที่ผู้เรียนวิเคราะห์และตีความในเนื้อหาใหม่ลงบนพื้นฐานของความรู้และประสบการณ์เดิม รวมกันเกิดเป็นองค์ความรู้ใหม่ ดังนั้น หน้าที่ของผู้ออกแบบคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในขั้นนี้ก็คือ พยายามค้นหาเทคนิคในการที่จะกระตุ้นให้ผู้เรียนนำความรู้เดิมมาใช้ในการศึกษาความรู้ใหม่ นอกจากนั้น ยังจะต้องพยายามหาวิธีทางที่จะทำให้การศึกษาคำตอบของผู้เรียนนั้นมีความกระจำชัดเท่าที่จะทำได้ เป็นต้นว่า การใช้เทคนิคต่างๆ เข้าช่วย ได้แก่ เทคนิคการให้ตัวอย่าง (Example) และตัวอย่างที่ไม่ใช่ตัวอย่าง (Non-example) อาจจะช่วยทำให้ผู้เรียนแยกแยะความแตกต่างและเข้าใจ โนคติของเนื้อหาต่างๆ ได้ชัดเจนขึ้น เนื้อหาบางหัวข้อ ผู้ออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน แบบมีลัดคิวเดียวอาจใช้วิธีการค้นพบ (Guided Discovery) ซึ่งหมายถึง การพยายามให้ผู้เรียนค้นหาเหตุผล ค้นคว้า และวิเคราะห์หาคำตอบด้วยตนเอง โดยบทเรียนจะค่อยๆ ชี้นำจากจุดกว้างๆ และแคบลงๆ จนผู้เรียนหาคำตอบได้เองนอกจากนั้น การใช้คำอธิบายกระตุ้นให้ผู้เรียนได้คิด ก็เป็นเทคนิคอีกประการหนึ่งที่สามารถนำไปใช้ในการชี้นำแนวทางการเรียนรู้ได้ สรุปแล้วในขั้นตอนนี้ผู้ออกแบบจะต้องยึดหลักการจัดการเรียนรู้ จากสิ่งที่มีประสบการณ์เดิมไปสู่เนื้อหาใหม่ จากสิ่งที่ยากไปสู่สิ่งที่ง่ายกว่า ตามลำดับขั้น

สิ่งที่ต้องพิจารณาในการชี้นำแนวทางการเรียนในขั้นนี้ มีดังนี้

5.1 บทเรียนควรแสดงให้ผู้เรียนได้เห็นถึงความสัมพันธ์ของเนื้อหาความรู้ และช่วยให้เห็นว่าสิ่งย่อนั้นมีความสัมพันธ์กับสิ่งใหญ่อย่างไร

5.2 ควรแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของสิ่งใหม่กับสิ่งที่ผู้เรียนมีประสบการณ์ผ่านมาแล้ว

5.3 นำเสนอตัวอย่างที่แตกต่างกัน เพื่อช่วยอธิบายความคิดรวบยอดใหม่ให้ชัดเจนขึ้น เช่น ตัวอย่างการเปิดหน้ากล้องหลายๆ ค่า เพื่อให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของรูรับแสง เป็นต้น

5.4 นำเสนอตัวอย่างที่ไม่ใช่ตัวอย่างที่ถูกต้อง เพื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ถูกต้อง เช่น นำเสนอภาพไม้ พลาสติก และยาง แล้วบอกว่าภาพเหล่านี้ไม่ใช่โลหะ

5.5 การนำเสนอเนื้อหาที่ยาก ควรให้ตัวอย่างที่เป็นรูปธรรมมากกว่านามธรรม ถ้าเป็นเนื้อหาที่ไม่ยากนัก ให้นำเสนอตัวอย่างจากนามธรรมในรูปธรรม

5.6 บทเรียนควรกระตุ้นให้ผู้เรียนคิดถึงความรู้และประสบการณ์เดิมที่ผ่านมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. กระตุ้นการตอบสนองบทเรียน

นักการศึกษากล่าวว่า การเรียนรู้จะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเพียงใดนั้นเกี่ยวข้องกับโดยตรงกับระดับและขั้นตอนของการประมวลผลข้อมูล หากผู้เรียนได้มีโอกาสร่วมคิด ร่วมกิจกรรมในส่วนที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา และร่วมตอบคำถาม จะส่งผลให้มีความจำดีกว่าผู้เรียนที่ใช้วิธีอ่านหรือคัดลอกข้อความจากผู้อื่นเพียงอย่างเดียว บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน มีข้อได้เปรียบกว่าสื่อทัศนูปการอื่นๆ เช่น วิกิทัศน์ ภาพยนตร์ สไลด์ เทปเสียง เป็นต้น ซึ่งสื่อการเรียนการสอนเหล่านี้ จัดเป็นแบบปฏิสัมพันธ์ไม่ได้ (Non-interactive Media) แตกต่างจากการเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ผู้เรียนสามารถมีกิจกรรมร่วมในบทเรียนได้หลายลักษณะ ไม่ว่าจะเป็นการตอบคำถาม แสดงความคิดเห็น เลือกรายการ และปฏิสัมพันธ์กับบทเรียน กิจกรรมเหล่านี้เองที่ไม่ทำให้ผู้เรียนรู้สึกเบื่อหน่าย เมื่อมีส่วนร่วม ก็มีส่วนคิดนำหรือติดตามบทเรียน ย่อมมีส่วนผูกประสานให้ความจำดีขึ้น สิ่งที่ต้องพิจารณาเพื่อให้การจำของผู้เรียนดีขึ้น ผู้ออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน จึงควรเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ร่วมกระทำกิจกรรมในบทเรียนอย่างต่อเนื่อง โดยมีข้อเสนอแนะดังนี้

6.1 ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้มีโอกาสตอบสนองต่อบทเรียนด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งตลอดบทเรียน เช่น ตอบคำถาม ทำแบบทดสอบ ร่วมทดลองในสถานการณ์จำลอง เป็นต้น

6.2 ควรให้ผู้เรียนได้มีโอกาสในการพิมพ์คำตอบหรือเติมข้อความสั้นๆ เพื่อเรียกความสนใจ แต่ไม่ควรให้ผู้เรียนพิมพ์คำตอบที่ยาวเกินไป

6.3 ถามคำถามเป็นช่วงๆ สลับกับการนำเสนอเนื้อหา ตามความเหมาะสมของลักษณะเนื้อหา

6.4 เร่งเร้าความคิดและจินตนาการด้วยคำถาม เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ โดยใช้ความเข้าใจมากกว่าการใช้ความจำ

6.5 ไม่ควรถามครั้งเดียวหลายๆ คำถาม หรือถามคำถามเดียวแต่ตอบได้หลายคำตอบ ถ้าจำเป็นควรใช้คำตอบแบบตัวเลือก

6.6 หลีกเลี่ยงการตอบสนองซ้ำหลายๆ ครั้ง เมื่อผู้เรียนตอบผิดหรือทำผิด 2-3 ครั้ง ควรตรวจปรับเนื้อหาทันที และเปลี่ยนกิจกรรมเป็นอย่างอื่นต่อไป

6.7 เฟรมตอบสนองของผู้เรียน เฟรมคำถาม และเฟรมการตรวจปรับเนื้อหา ควรอยู่บนหน้าจอภาพเดียวกันเพื่อสะดวกในการอ้างอิง กรณีนี้อาจใช้เฟรมย่อยซ้อนขึ้นมาในเฟรมหลักก็ได้

6.8 ควรคำนึงถึงการตอบสนองที่มีข้อผิดพลาดอันเกิดจากการเข้าใจผิด เช่น การพิมพ์ตัว L กับเลข 1 ควรเคาะเว้นวรรคประโยคยาวๆ ข้อความเกินหรือขาดหายไป ตัวพิมพ์ใหญ่หรือตัวพิมพ์เล็ก เป็นต้น

## 7. ให้ข้อมูลย้อนกลับ

ผลจากการวิจัยพบว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจะกระตุ้นความสนใจจากผู้เรียนได้มากขึ้น ถ้าบทเรียนนั้นทำทนาย โดยการบอกเป้าหมายที่ชัดเจน และแจ้งให้ผู้เรียนทราบว่าขณะนั้นผู้เรียนอยู่ที่ส่วนใด ห่างจากเป้าหมายเท่าใดการให้ข้อมูลย้อนกลับดังกล่าว ถ้านำเสนอด้วยภาพจะช่วยเร่งเร้าความ

สนใจได้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะถ้าภาพนั้นเกี่ยวกับเนื้อหาที่เรียน อย่างไรก็ตาม การให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยภาพ หรือกราฟิกอาจมีผลเสียอยู่บ้างตรงที่ผู้เรียนอาจต้องการดูผล ว่าหากทำผิด แล้วจะเกิดอะไรขึ้น ตัวอย่างเช่น บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบเกม การสอนแบบแขวนคอ สำหรับการสอนคำศัพท์ ภาษาอังกฤษผู้เรียนอาจตอบ โดยการกดแป้นพิมพ์ไปเรื่อยๆ โดยไม่สนใจเนื้อหา เนื่องจากต้องการดูผลจากการแขวนคือ วิธีหลีกเลี่ยงก็คือ เปลี่ยนจากการนำเสนอภาพในทางบวก เช่น ภาพเล่นเรือเข้าหาฝั่ง ภาพขั้วยานสู่ดวงจันทร์ ภาพหนูเดิน ไปกินเนยแข็ง เป็นต้น ซึ่งจะไปถึงจุดหมายได้ด้วยการตอบถูกเท่านั้น หากตอบผิดจะไม่เกิดอะไรขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าเป็นบทเรียนที่ใช้กับกลุ่มเป้าหมายระดับสูง หรือเนื้อหาที่มีความยาก การให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคำเขียนหรือกราฟิกจะเหมาะสมกว่า

สิ่งที่ต้องพิจารณาในการให้ข้อมูลย้อนกลับ มีดังนี้

- 7.1 ให้ข้อมูลย้อนกลับทันที หลังจากผู้เรียน ได้ตอบกับบทเรียน
- 7.2 ควรบอกให้ผู้เรียนทราบว่าตอบถูกหรือตอบผิด โดยแสดงคำถาม คำตอบและการตรวจปรับบนเฟรมเดียวกัน
- 7.3 ถ้าให้ข้อมูลย้อนกลับโดยการใช้ภาพ ควรเป็นภาพที่ง่ายและเกี่ยวข้องกับเนื้อหา ถ้าไม่สามารถหาภาพที่เกี่ยวข้องได้ อาจใช้ภาพกราฟิกที่ไม่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาก็ได้
- 7.4 หลีกเลี่ยงการใช้ผลทางภาพ (Visual Effects) หรือการให้ข้อมูลย้อนกลับที่ตื่นตาเกินไปในกรณีที่ผู้เรียนตอบผิด
- 7.5 อาจใช้เสียงสำหรับการให้ข้อมูลย้อนกลับ เช่น คำตอบถูกต้อง และคำตอบผิด โดยใช้เสียงที่แตกต่างกัน แต่ไม่ควรเลือกใช้เสียงที่ก่อให้เกิดลักษณะการเหยียดหยาม หรือดูแคลน ในกรณีที่ผู้เรียนตอบผิด
- 7.6 เฉลยคำตอบที่ถูกต้องหลังจากที่ผู้เรียนตอบผิด 2 - 3 ครั้งไม่ควรปล่อยเวลาให้เสียไป
- 7.7 อาจใช้วิธีการให้คะแนนหรือแสดงภาพ เพื่อบอกความใกล้เคียงจากเป้าหมายก็ได้
- 7.8 พยายามส่งเสริมการให้ข้อมูลย้อนกลับ เพื่อเรียกความสนใจตลอดบทเรียน

## 8. ทดสอบความรู้ใหม่

การทดสอบความรู้ใหม่หลังจากศึกษาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรียกว่า การทดสอบหลังบทเรียน (Post-test) เป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ทดสอบความรู้ของตนเอง นอกจากนี้จะยังเป็นการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนว่าผ่านเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่ เพื่อที่จะไปศึกษาในบทเรียนต่อไปหรือต้องกลับไปศึกษาเนื้อหาใหม่ การทดสอบหลังบทเรียนจึงมีความจำเป็นสำหรับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนทุกประเภทนอกจากจะเป็นการประเมินผลการเรียนรู้แล้ว การทดสอบยังมีผลต่อความคงทนในการจดจำเนื้อหาของผู้เรียนด้วย แบบทดสอบจึงควรถามแบบเรียงลำดับตามวัตถุประสงค์ของบทเรียน ถ้าบทเรียนมีหลายหัวเรื่องย่อย อาจแยกแบบทดสอบออกเป็นส่วนๆ ตามเนื้อหา โดยมีแบบทดสอบรวมหลังบทเรียนอีกชุดหนึ่งก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าผู้ออกแบบบทเรียนต้องการแบบใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่ต้องพิจารณาในการออกแบบทดสอบหลังบทเรียน มีดังนี้

8.1 ชี้แจงวิธีการตอบคำถามให้ผู้เรียนทราบก่อนอย่างแจ่มชัด รวมทั้งคะแนนรวม คะแนนรายข้อ และรายละเอียดที่เกี่ยวข้องอื่นๆ เช่น เกณฑ์ในการตัดสินผล เวลาที่ใช้ในการตอบ โดยประมาณ

8.2 แบบทดสอบต้องวัดพฤติกรรมตรงกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ของบทเรียน และควรเรียง ลำดับจากง่ายไปยาก

8.3 ข้อคำถามคำตอบ และการตรวจปรับคำตอบ ควรอยู่บนแฟรมเดียวกัน และนำเสนออย่างต่อเนื่องด้วยความรวดเร็ว

8.4 หลีกเลี่ยงแบบทดสอบแบบอัตโนมัติให้ผู้เรียนพิมพ์คำตอบยาว ยกเว้นข้อสอบที่ต้องการทดสอบทักษะการพิมพ์

8.5 ในแต่ละข้อ ควรมีคำถามเดียว เพื่อให้ผู้เรียนตอบครั้งเดียว ยกเว้นในคำถามนั้นมีคำถามย่อยอยู่ด้วย ซึ่งควรแยกออกเป็นหลายๆ คำถาม

8.6 แบบทดสอบควรเป็นข้อสอบที่มีคุณภาพ มีค่าอำนาจจำแนกดี ความยากง่ายเหมาะสมและมีความเชื่อมั่นเหมาะสม

8.7 อย่าตัดสินคำตอบว่าผิดถ้าการตอบไม่ชัดเจน เช่น ถ้าคำตอบที่ต้องการเป็นตัวอักษร แต่ผู้เรียนพิมพ์ตัวเลข ควรบอกให้ผู้เรียนตอบใหม่ ไม่ควรชี้ว่าคำตอบนั้นผิด และไม่ควรตัดสินคำตอบว่าผิด หากผิดพลาดหรือเว้นวรรคผิด หรือใช้ตัวพิมพ์เล็กแทนที่จะเป็นตัวพิมพ์ใหญ่ เป็นต้น

8.8 แบบทดสอบชุดหนึ่งควรมีหลายๆ ประเภท ไม่ควรใช้เฉพาะข้อความเพียงอย่างเดียว ควรเลือกใช้ภาพประกอบบ้าง เพื่อเปลี่ยนบรรยากาศในการสอบ

## 9. สรุปและนำไปใช้

การสรุปและนำไปใช้ จัดว่าเป็นส่วนสำคัญ ในขั้นตอนสุดท้ายที่บทเรียนจะต้องสรุป มโนคติของเนื้อหาเฉพาะประเด็นสำคัญๆ รวมทั้งข้อเสนอแนะต่างๆ เพื่อเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้มีโอกาสทบทวนความรู้ของตนเองหลังจากศึกษาเนื้อหาผ่านมาแล้ว ในขณะเดียวกัน บทเรียนต้องชี้แนะเนื้อหาที่เกี่ยวข้องหรือให้ข้อมูลอ้างอิงเพิ่มเติม เพื่อแนะแนวทางให้ผู้เรียนได้ศึกษาต่อบทเรียนถัดไปหรือนำไปประยุกต์ ใช้กับงานอื่นต่อไป

การออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในขั้นนี้ มีข้อเสนอแนะดังนี้

9.1 สรุปองค์ความรู้เฉพาะประเด็นสำคัญๆ พร้อมทั้งชี้แนะให้เห็นถึงความสัมพันธ์กับความรู้หรือประสบการณ์เดิมที่ผู้เรียนผ่านมาแล้ว

9.2 ทบทวนแนวคิดที่สำคัญของเนื้อหา เพื่อเป็นการสรุป

9.3 เสนอแนะเนื้อหาความรู้ใหม่ ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

9.4 บอกผู้เรียนถึงแหล่งข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาเนื้อหาต่อไป

ขั้นตอนการสอนทั้ง 9 ประการของ Robert Gagné เป็นเทคนิคการออกแบบบทเรียนที่ใช้ได้กว้างๆ แต่ก็สามารถประยุกต์ใช้ได้ทั้งบทเรียนสำหรับการเรียนการสอนปกติในชั้นเรียนและบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

เทคนิคอย่างหนึ่งในการออกแบบบทเรียน CAI คือ การพยายามทำให้ผู้เรียนเกิดความรู้สึกใกล้เคียงกับการเรียนรู้จากผู้สอนโดยตรง โดยดัดแปลงให้สอดคล้องกับสมรรถนะของคอมพิวเตอร์ ในปัจจุบันขั้นการสอน 9 ขั้นนี้ไม่จำเป็นต้องแยกแยะออกไปเป็นลำดับที่เรียงไว้ และไม่จำเป็นว่าต้องมีครบทั้ง 9 ข้อ ใครจะออกแบบบทเรียน โดยใช้เทคนิคการนำเสนอแบบใด หรือครอบคลุมขั้นการสอนอย่างไร ขึ้นอยู่กับเทคนิคการนำเสนอและเนื้อหาของบทเรียนนั้นๆ ด้วยการยึดถือขั้นการสอนทั้ง 9 ขั้น เป็นหลัก และขณะเดียวกันก็พยายามปรับเทคนิคการนำเสนอไม่ให้ซ้ำกันจนน่าเบื่อหน่าย

## 2.3 การหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

เกณฑ์ที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพของการเรียนการสอนนั้นจะต้องพิจารณาจากกระบวนการและผลลัพธ์ทางการเรียนการสอน การที่จะกำหนดเกณฑ์ E1/E2 ให้มีค่าเท่าใดนั้นให้ผู้สอนเป็นผู้พิจารณา โดยปกติเนื้อหาที่เป็นความรู้ความจำมักตั้งไว้ 80/80, 85/85 หรือ 90/90 ส่วนเนื้อหาที่เป็นทักษะหรือเจตคติอาจตั้งไว้ต่ำกว่านี้เช่น 75/75 เป็นต้น (อชิพร ศรียมก, 2532:245-253) โดยมีรายละเอียดในการคำนวณหาประสิทธิภาพทางการเรียนการสอน ดังนี้

### 2.3.1 สูตรการหาประสิทธิภาพ

ชัยขันธ์ พรหมวงศ์. (2543: 491) กล่าวถึงการประกันชุดการสอนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในการสอน ผู้สร้างจำเป็นต้องกำหนดเกณฑ์ขึ้น โดยคำนึงถึงหลักการที่ว่า การเรียนรู้เป็นกระบวนการเพื่อช่วยให้การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้เรียนบรรลุผล ดังนั้น การกำหนดเกณฑ์จำเป็นต้องคำนึงถึง “กระบวนการสอน” และ “ผลลัพธ์” โดยกำหนดตัวเลขเป็นร้อยละของคะแนนเฉลี่ยมีค่าเป็น E1/E2

E1 คือ ประสิทธิภาพของกระบวนการเรียน ซึ่งคำนวณจากค่าร้อยละของคะแนนเฉลี่ยทางการเรียนที่ได้จากการทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

E2 คือ ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ ซึ่งคำนวณจากค่าร้อยละของคะแนนเฉลี่ยทางการเรียนที่ได้จากการทำแบบทดสอบหลังจบบทเรียนครบทุกหน่วยการเรียนรู้

การคิดค่า E1 และ E2 ของชุดการสอนที่สร้างขึ้น จำนวนค่าทางสถิติ โดยใช้สูตร E1/E2 (ชัยขันธ์ พรหมวงศ์. 2543 : 491) ดังต่อไปนี้

#### 1. การคำนวณหาประสิทธิภาพของกระบวนการเรียน E1

$$E_1 = \frac{\sum X / N}{A} \times 100 \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของผลลัพธ์ E2

$$E_2 = \frac{\sum F / N}{B} \times 100 \quad (2.2)$$

เมื่อ

- $E_1$  แทน ประสิทธิภาพของกระบวนการเรียน
- $E_2$  แทน ประสิทธิภาพของผลลัพธ์
- $\sum X$  แทน คะแนนรวมของการทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน
- $\sum F$  แทน คะแนนรวมของการทำแบบทดสอบหลังเรียนครบทุกหน่วยการเรียน
- $N$  แทน จำนวนผู้เรียน
- $A$  แทน คะแนนเต็มของแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน
- $B$  แทน คะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังเรียนครบทุกหน่วยการเรียน

### 2.3.2 การทดลองประสิทธิภาพโดยใช้สูตร

ชัยขงค์ พรหมวงค์ และคณะ (2521:51-52) ได้กล่าวถึงการทดลองประสิทธิภาพโดยใช้สูตรดังกล่าวข้างต้น ว่าจะต้องดำเนินการเป็นขั้นตอนดังนี้

1. แบบเดี่ยว (1:1) คือ นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไปทดลองกับผู้เรียน 1 - 3 คน โดยทดลองกับเด็กเก่ง ปานกลาง และเด็กอ่อน การทดลองแต่ละครั้งต้องปรับปรุงสื่อการสอนให้ดีขึ้น โดยปกติคะแนนที่ได้จากการทดลองแบบเดี่ยวนี้อาจได้คะแนนต่ำกว่าเกณฑ์มาก แต่ไม่ต้องวิตกเมื่อปรับปรุงแล้วจะสูงขึ้นมาก ก่อนนำไปทดลองแบบกลุ่มในขั้นนี้  $E_1/E_2$  จะมีค่าประมาณ 60/60

2. แบบกลุ่ม (1:10) คือ นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ปรับปรุงแล้วไปทดลองกับผู้เรียน 6 - 10 คน ที่มีความสามารถคล้ายกัน (แต่ละผู้เรียนที่เก่งกับอ่อน) คำนวณหาประสิทธิภาพแล้วปรับปรุง ในคราวนี้คะแนนของผู้เรียนจะเพิ่มขึ้นอีกเกือบเท่าเกณฑ์ โดยเฉลี่ยจะห่างจากเกณฑ์ประมาณ 10% นั่นคือ  $E_1/E_2$  ที่ได้จะมีค่าประมาณ 70/70

3. ภาคสนาม (1:100) คือ นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไปทดลองใช้กับผู้เรียน 30-100 คน คำนวณหาประสิทธิภาพหากผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองภาคสนามได้ค่า  $E_1/E_2$  ไม่ถึงเกณฑ์ที่ตั้งเอาไว้จะต้องปรับปรุงบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนและทำการทดสอบซ้ำอีก

ในกรณีที่ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้นไม่ถึงเกณฑ์ที่ตั้งไว้เนื่องจากมีตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ เช่น สภาพห้องเรียน ความพร้อมของผู้เรียน บทบาทและความชำนาญในการใช้ชุดการสอนของผู้สอน เป็นต้น อาจอนุโลมให้มีระดับผิดพลาดหรือต่ำจากเกณฑ์ไม่เกิน 2.5%

ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้นอาจกำหนดไว้ 3 ระดับ คือ

- 1) สูงกว่าเกณฑ์ หมายถึง เมื่อประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งเอาไว้มีค่าเกิน 2.5% ขึ้นไป
- 2) เท่าเกณฑ์ หมายถึง เมื่อประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเท่ากับเกณฑ์ที่ตั้งไว้ แต่ไม่เกิน 2.5%
- 3) ต่ำกว่าเกณฑ์ หมายถึง เมื่อประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนต่ำกว่าเกณฑ์ แต่ไม่ต่ำกว่า 2.5% ถือว่ายังมีผลสัมฤทธิ์ที่ยอมรับได้

การวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ซึ่งเป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ที่มีลักษณะการนำเสนอเนื้อหา จึงใช้เกณฑ์  $E_1/E_2$  ไม่ต่ำกว่า 80/80 ในการตั้งสมมติฐานการวิจัย

### 2.3.3 การประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ในการประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยเฉพาะบทเรียนสำเร็จรูปคอมพิวเตอร์ที่สร้างแบบ IMMCAI : Interactive Multi Media Computer Assisted Instruction การประเมินคุณภาพด้าน มัลติมีเดีย (Multi Media) ของบทเรียน ได้แก่ ด้านข้อความ(Text) รูปภาพ (Image) ภาพเคลื่อนไหว(Animation) ภาพวีดิทัศน์(Video) และเสียง (Audio) รวมถึงด้านการปฏิสัมพันธ์ (Interaction) กับบทเรียนนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งเพราะเป็นคุณสมบัติที่ทำให้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เป็นบทเรียนสำเร็จรูปที่แตกต่างจากบทเรียนสำเร็จรูปประเภทอื่นๆ ซึ่ง ชัยยศ เรืองสุวรรณ (2533:129) ได้กล่าวว่าผู้ทำหน้าที่ที่ประเมินคือได้แก่ ผู้สอน ผู้ชำนาญคณะกรรมการเฉพาะกิจหรือประเมินโดยผู้เรียน เป็นต้น

นอกจากนั้น ไพโรจน์ ตรีธรรมกุล (2542:63-65) ยังได้เสนอการพิจารณาการประเมินคุณภาพบทเรียน และรายละเอียดในแบบฟอร์มที่ต้องการในด้านต่างๆ มีดังนี้

- 1) ด้านเนื้อหา รายละเอียดในแบบฟอร์มการประเมิน มีดังนี้
  - 1.1 เนื้อหาถูกต้อง
  - 1.2 เนื้อหามีคุณค่าสำหรับการเรียนรู้
  - 1.3 เนื้อหาทันสมัย
  - 1.4 วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมของบทเรียน
  - 1.5 บทเรียนสามารถให้ผลตามวัตถุประสงค์
  - 1.6 การเสนอบทเรียนเรียงไว้ถูกต้องและชัดเจน
  - 1.7 ความยากง่ายเหมาะสมกับผู้ใช้ตามเป้าหมาย
- 2) ด้านเทคนิคสื่อรายละเอียดในแบบฟอร์มการประเมิน มีดังนี้
  - 2.1 การใช้ภาพและเสียงเหมาะสมกับเนื้อเรื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2.2 บทเรียนเร้าความสนใจ
- 2.3 บทเรียนเสริมสร้างความคิดริเริ่ม
- 2.4 การตอบสนองกลับการควบคุมความเร็วของบทเรียน
- 2.5 บทเรียนสามารถประสานกับประสบการณ์เดิมของผู้เรียนได้
- 2.6 ข้อมูลที่แสดงออกทางจอภาพมีประสิทธิภาพดี
- 2.7 ผู้เรียนเป้าหมายสามารถใช้บทเรียนได้เอง
- 2.8 บทเรียนใช้ร่วมกับคอมพิวเตอร์ได้เหมาะสม
- 2.9 บทเรียนไม่เสียบ่ายเมื่อใช้งานตามภาวะปกติ

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยและผลการวิจัยจากการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในลักษณะเป็นบทเรียนแบบโปรแกรม หรือบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ได้แก่

เกรียงศักดิ์ พูนประสิทธิ์ (2538:บทคัดย่อ) ได้วิจัยเพื่อสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง สัญลักษณ์การเชื่อม วิชาการเชื่อมโลหะ 1 สำหรับนักศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพ พบว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนี้มีประสิทธิภาพเท่ากับ 88.50/82.17 และมีค่าดัชนีประสิทธิผล 0.67 สูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ แสดงว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้นสามารถที่จะนำไปช่วยให้การเรียนรู้ของนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ มีความก้าวหน้าและเกิดการเรียนรู้ได้จริง

จิระพจน์ ประพิน (2547:บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสำหรับวิธีการใช้งานชุดฝึกไมโครโปรเซสเซอร์ MCZ- 80/EV ในวิชาไมโครโปรเซสเซอร์ รหัสวิชา 2104 – 2205 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช. 2546) และเพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ หลังจากนักเรียนได้ศึกษาการใช้งาน ชุดฝึกไมโครโปรเซสเซอร์ MCZ- 80/EV กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนระดับ ปวช.3 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2546 จำนวน 20 คน ผลวิจัยพบว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีประสิทธิภาพเท่ากับ 86.42/96.00 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดคือ 80/80

บรรจง อรชุนกะ (2548:บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเพื่อสร้างและพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยอบรม เรื่อง แท่นทดสอบในอุตสาหกรรมการผลิตทางด้านการประกอบแผงวงจรไฟฟ้าและหาประสิทธิภาพ โดยตั้งสมมติฐานไว้ว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยอบรมที่นำมาใช้เป็นบทเรียนที่มีประสิทธิภาพ โดยผลต่างของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เข้ารับการอบรมหลังการอบรมสูงกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 60 ของระดับความรู้เดิมของผู้เข้ารับการอบรมคิดจากคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบก่อนเรียน กลุ่มตัวอย่างของการวิจัยเป็น พนักงานระดับช่างเทคนิค ในแผนกวิศวกรรมของบริษัท เมกเทค แมนูแฟกเจอร์ริง คอร์ปอเรชั่น (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งอยู่ในระบบการผลิตทางด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประกอบแผงวงจรไฟฟ้า จำนวน 20 คน เข้ารับการอบรมโดยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยอบรม เรื่อง แทนทดสอบในอุตสาหกรรมการผลิตทางการประกอบแผงวงจรไฟฟ้า ผลการวิจัยพบว่า ผู้เข้ารับการอบรมทำแบบทดสอบก่อนการอบรมได้คะแนนเฉลี่ย 3.35 คะแนน จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 16.75 และทำแบบทดสอบหลังการอบรมได้คะแนนเฉลี่ย 17.70 คะแนน จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 88.50 และเมื่อนำมาหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยอบรม มีประสิทธิภาพเท่ากับ 71.75 สามารถใช้เป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยอบรม ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นไปตามสมมุติฐานการวิจัย

ณรงค์ คำใหม่ (2538: บทคัดย่อ) ได้สร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง พื้นที่สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ได้นำไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 แล้วหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้าง พบว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพของกระบวนการร้อยละ 85.33 และประสิทธิภาพของผลลัพธ์ร้อยละ 81.83 ซึ่งมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 ที่ตั้งไว้ แสดงว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้นสามารถนำไปสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดุสิต พันธุ์พฤกษ์ (2544: บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาชีววิทยา ว 041 เรื่องการย่อยอาหารของคน โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2543 โรงเรียนพรตพิทยพยัต เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร จำนวน 30 คน ได้มาโดยการสุ่มอย่างง่าย ผลการวิจัยพบว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาชีววิทยา ว 041 เรื่องการย่อยอาหารของคนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 83.83/81.08 สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 ที่ตั้งไว้และเป็นไปตามสมมุติฐานการวิจัย

ธานี นาคเลี้ยง (2543: ข) ได้ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง ไฟฟ้ากระแสสลับ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พ.ศ. 2538 ของกรมอาชีวศึกษา เพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่พัฒนาขึ้น ปรากฏว่าเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด 80 : 80 ซึ่งมีประสิทธิภาพ 84.74 : 83.87 และมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.1 โดยผู้เรียนมีคะแนนเฉลี่ยจากการทดสอบก่อน 34.50 คะแนน และมีคะแนนสอบเฉลี่ยหลังเรียน 83.90 คะแนน

นิรัญ สุภาผล (2540: บทคัดย่อ) สร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาเคมี เรื่องโปรตีน ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 5 นำไปทดลองกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนอุดรธานีพิทยาคม แล้วหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้น พบว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนี้ประสิทธิภาพเท่ากับ 86.77/85.27 และมีค่าดัชนีประสิทธิผล 0.69 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่ตั้งไว้ แสดงว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ บรรลุวัตถุประสงค์การเรียนรู้ที่กำหนดไว้ สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้

บงกช โกษารักษ์ (2544: บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัย เรื่องการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ) กรมอาชีวศึกษา ได้นำไปทดลองใช้กับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงจำนวน 20 คนของโรงเรียนเทคโนโลยีช่างกลพาณิชย์การนครราชสีมา อ.เมืองจ.นครราชสีมา สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาเอกชน กระทรวงศึกษาธิการผลการศึกษาพบว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีประสิทธิภาพเท่ากับ 84.25/89.75 ซึ่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ 80/80

พงษ์เดช เรียนละหงส์ (2543:ข) วิจัยเรื่องการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องสนามไฟฟ้า ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.2540 ของกรมอาชีวศึกษา เพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้น โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 3 ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จำนวน 20 คน ปรากฏว่าเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด 80:80 ซึ่งมีประสิทธิภาพ 84.94 : 83.45 และมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยมีคะแนนสอบเฉลี่ยก่อนเรียน 27.10 คะแนน และคะแนนสอบเฉลี่ยหลังเรียน 83.45 คะแนน เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 56.35 คะแนน

ศรัณย์ รินคำ (2548: บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเพื่อเพื่อสร้าง และหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง ไฟฟ้าสถิตในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และเพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนก่อน และหลังเรียน กลุ่มตัวอย่าง เป็นพนักงานระดับปฏิบัติการ ในบริษัทชั้นโยเซมิคอนดักเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัดจำนวน 20 คน ผลการวิจัยพบว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีประสิทธิภาพเท่ากับ 81.33/82.66 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด คือ 80/80 และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์ช่วยสอน และจากความสำคัญและประโยชน์ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนั้น จะเห็นได้ว่าคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเป็นสื่อการเรียนการสอนที่มีประสิทธิภาพเหมาะที่จะนำไปใช้ในการเรียนการสอน ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนใน เรื่อง โลหะ ตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อให้ได้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่มีประสิทธิภาพสามารถนำไปใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน โดยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่กำหนดไว้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน และเพื่อหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องโลหะ โดยในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
- 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
- 3.3 การสร้างเครื่องมือและการเก็บรวบรวมข้อมูล
- 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิจัย

#### 3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

##### 3.1.1 ประชากรตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักศึกษาหลักสูตร 5 ปี ระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2551 หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 50 คน

##### 3.1.2 กลุ่มตัวอย่าง

เป็นนักศึกษาหลักสูตร 5 ปี ระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 1 ตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม ซึ่งลงทะเบียนเรียน วิชาวัสดุวิศวกรรม รหัสวิชา 03376006 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2551 จำนวน 30 คน ใช้วิธีการเลือกสุ่มแบบเจาะจง

#### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องโลหะ ในครั้งนี้ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นมาได้แบ่งออก 3 ส่วนด้วยกันดังต่อไปนี้คือ

1. แบบประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ เพื่อหาคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยให้ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพ

2. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา เป็นการสร้างแบบทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน มีลักษณะเป็นปรนัยชนิด 4 ตัวเลือกโดยมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่กำหนดไว้

3. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 2 หน่วยการเรียนรู้ คือ หน่วยการเรียนรู้ที่ (1) เรื่อง เหล็กและทองแดง หน่วยการเรียนรู้ที่ (2) เรื่อง อลูมิเนียมและแมกนีเซียม

### 3.3 การสร้างเครื่องมือและการเก็บรวบรวมข้อมูล

#### 3.3.1 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการดำเนินการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ได้นำหลักการของ Robert Gagne' (รุจโรจน์ แก้วอุไร 2545) (Internet: <http://www.thaicai.com/articles/cai4.html>.) มาประยุกต์ใช้สร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ถึง 3.3 และมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

3.3.1.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์หลักสูตรและจัดทำเนื้อหาหัวข้อเรื่องในแต่ละหน่วย การสอน ดังมีรายละเอียดขั้นตอน จากภาพที่ 3.1 ต่อไปนี้

1. ติดต่ออาจารย์ผู้สอนวิชาวัสดุวิศวกรรม โดยดำเนินการดังต่อไปนี้
  - 1.1 ขอคำแนะนำถึงแผนการสอน วันเวลา และสถานที่ ที่จะเข้าไปสอน
  - 1.2 ขอคำชี้แนะและแนวทางค้นคว้าเนื้อหาวิชาการในเรื่องที่จะทำการสอน
  - 1.3 คำอธิบายรายวิชาและวัตถุประสงค์เป้าหมายของหลักสูตร
2. ศึกษาหลักสูตรและรายละเอียดคำอธิบายรายวิชา โดยดำเนินการดังต่อไปนี้
  - 2.1 ศึกษาหลักสูตรคำอธิบายรายวิชา วิชาวัสดุวิศวกรรม รหัสวิชา 03376006 เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากก่อนที่จะลงมือทำในขั้นตอนต่อไป เพราะหลักสูตรและคำอธิบายรายวิชาจะเป็นตัวกำหนด วัตถุประสงค์ ขอบเขต ของเนื้อหาวิชาที่สำคัญในการเรียนการสอน
  - 2.2 คัดเลือกหัวข้อเรื่องที่จะทำการวิจัย
  - 2.3 ศึกษาทฤษฎีหลักการรูปแบบการพัฒนาชุดการสอน สำหรับการดำเนินการวิจัย ในครั้งนี้ได้นำหลักการกรอบแนวคิดของ Robert Gagne' มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาชุดสื่อการเรียนการสอน
3. กำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ได้ดำเนินการดังต่อไปนี้
  - 3.1 จากการคัดเลือกหัวข้อเรื่องในหลักสูตรและคำอธิบายรายวิชาแล้วนั้น ได้คัดเลือกหัวข้อเรื่องที่จะทำการวิจัยออกมาได้ 4 หัวข้อเรื่องด้วยกัน คือ เหล็กทองแดง อลูมิเนียม และ แมกนีเซียม

3.2 จากหัวข้อเรื่องที่จะใช้ทำการวิจัยนำมากำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม โดยที่วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมต้องการให้ผู้เรียนได้มีการเปลี่ยนแปลง ในทางที่ดีขึ้นหลังจากที่มีการเรียนการสอนในแต่ละหัวข้อเรื่องนั้นๆ และ พฤติกรรมของผู้เรียนสามารถบ่งชี้ได้ถึงความสามารถทางสติปัญญาที่เพิ่มขึ้น ได้ใน 3 ระดับ คือ พื้นความรู้ได้ สามารถประยุกต์ใช้ความรู้ได้และสามารถ ถ่ายทอดความรู้ได้

4. ศึกษาค้นคว้ารวบรวมเนื้อหาในแต่ละหัวข้อเรื่องที่ทำวิจัย โดยได้ดำเนินการ ดังต่อไปนี้

4.1 กำหนดขอบเขตเนื้อหาให้สอดคล้องกับหลักสูตร และวัตถุประสงค์เชิง พฤติกรรม เพื่อจะเป็นการง่ายในการสืบค้นข้อมูล

4.2 ศึกษาค้นคว้าจากตำราวิชาวัสดุวิศวกรรม และหนังสือหรือเอกสารที่เกี่ยวข้อง กับหัวข้อเรื่องที่จะทำการวิจัยในบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ

4.3 สืบค้นข้อมูลจากประเภท รูปภาพ สื่อต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อเรื่องที่จะทำ การวิจัยทาง Internet

5. ปรึกษาอาจารย์ประจำวิชาผู้สอนวิชาวัสดุวิศวกรรม เพื่อให้อาจารย์ตรวจสอบ ความเพียงพอของเนื้อหาสาระ ที่จะนำมาจัดทำเป็นเนื้อหาในหัวข้อเรื่อง ในแต่ละหน่วยการเรียน การสอน โดยเนื้อหาที่นำมาจะต้องสอดคล้องต้องกันกับหลักสูตร ในคำอธิบายรายวิชา หากยังไม่ สอดคล้องหรือมีเนื้อหาที่ยังไม่สมบูรณ์ก็กลับไปศึกษาค้นคว้าใหม่

6. วิเคราะห์หัวข้อเรื่องและหัวข้อย่อยในแต่ละหน่วยการเรียน โดยดำเนินการ ดังต่อไปนี้

6.1 กำหนดหน่วยการเรียนหลัก โดยแบ่งออกเป็น 2 หน่วยการเรียนด้วยกัน คือ หน่วยการเรียนที่ (1) เรื่องเหล็กและทองแดง หน่วยการเรียนที่ (2) เรื่อง อลูมิเนียมและแมกนีเซียม

6.2 กำหนดหน่วยย่อย คือ เมื่อกำหนดหน่วยการเรียนหลักแล้ว ก็ทำการกำหนด หน่วยการเรียนย่อยในหน่วยการเรียนหลักนั้นๆ โดยหัวข้อเรื่องย่อยต้อง สอดคล้องกับหัวข้อเรื่องหลัก และต้องสัมพันธ์กับองค์ประกอบสาระของ เนื้อหาที่กำหนดด้วย

6.3 ลำดับความสำคัญ of หัวข้อเรื่องการเรียนรู้หรือหน่วยการเรียนให้ชัดเจน เพราะจะเป็นการง่ายในการจัดทำ Story Board ในขั้นตอนการสร้างบทเรียน คอมพิวเตอร์ช่วยสอน ผู้วิจัยได้เรียงลำดับความสำคัญของบทเรียน คอมพิวเตอร์ตาม Script Story Board ที่ได้ออกแบบไว้ดังนี้

- ลงทะเบียนผู้เรียน
- เข้าสู่เมนูหลัก
- เมนูหลัก : (หน้าแรก) นำเสนอเนื้อหาบทเรียนและเข้าสู่หัวเรื่องย่อย

#### 1) หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 กลุ่มโลหะหนัก

##### 1.1 เหล็ก

##### 1.2 ทองแดง

แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน หน่วยที่ 1

#### 2) หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 กลุ่มโลหะเบา

##### 2.1 อะลูมิเนียม

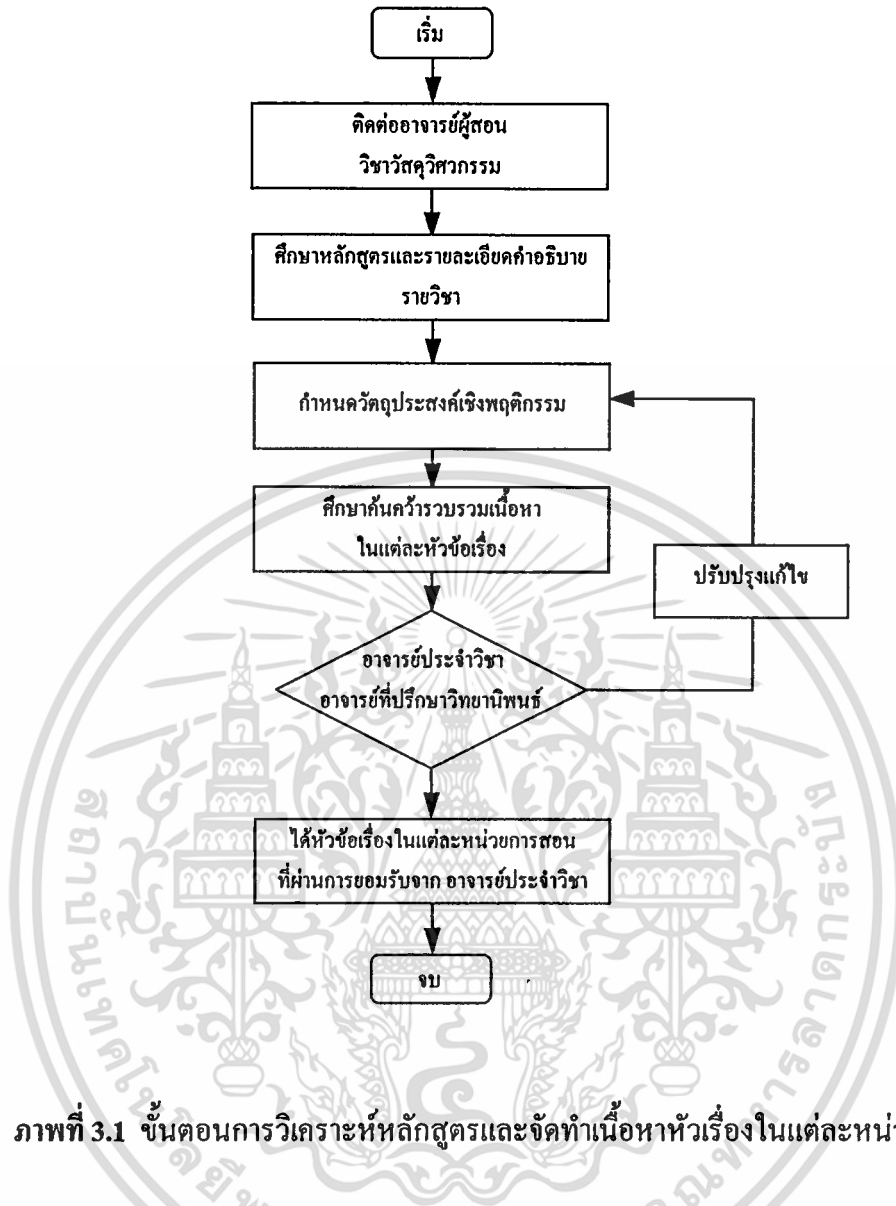
##### 2.2 แมกนีเซียม

แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน หน่วยที่ 2

6.4 หัวเรื่องหลักและหัวเรื่องย่อยต้องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมด้วย

7. ให้อาจารย์ประจำวิชา และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ตรวจสอบถึงความสอดคล้องของเนื้อหาที่จะนำมาทำสื่อการสอนและต้องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม หากยังไม่ดีพอหรือเนื้อหายังไม่ดีพอก็ให้กลับไปดำเนินการใหม่ในขั้นตอนการกำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

8. ได้หัวข้อเรื่องในแต่ละหน่วยการเรียนการสอนที่ผ่านการยอมรับในวัตถุประสงค์ขอบเขต เนื้อหาสาระที่ต้องการจากอาจารย์ประจำรายวิชาวัสดุวิศวกรรม และพร้อมที่จะนำไปทำการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ต่อไป



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์หลักสูตรและจัดทำเนื้อหาหัวเรื่องในแต่ละหน่วยการเรียน

### 3.3.1.2 ขั้นตอนการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ

จากภาพที่ 3.2 มีรายละเอียดขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำหัวข้อเรื่องในแต่ละหน่วยการเรียน ที่ผ่านการยอมรับจากอาจารย์ผู้สอนมาทำการออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

2. ออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ โดยยึดหลักเกณฑ์ด้านเนื้อหาและทางด้านสื่อดังต่อไปนี้

- 2.1 เนื้อหาในแต่ละหน่วยการเรียน ถูกต้องตรงตามหลักสูตรในคำอธิบายรายวิชา และต้องสัมพันธ์กับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ตั้งเอาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2.2 ออกแบบการสร้างตาม Script Story Board ที่ลำดับความสำคัญของหัวข้อ เรื่องการเรียนในแต่ละหน่วยรวมทั้งหัวข้อเรื่องหน่วยย่อยโดยแบ่งออกเป็น เฟรมๆ
  - 2.3 ลำดับความสำคัญของรูปภาพและเนื้อเรื่องในสไลด์ต้องต่อเนื่องกันในแต่ละเฟรม
  - 2.4 ผลที่คาดหวังจากบทเรียนต้องเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้
  - 2.5 เนื้อหาความยากง่ายเหมาะสมของบทเรียนที่มีต่อผู้เรียน
  - 2.6 การใช้ภาพและเสียงเหมาะสมกับเนื้อเรื่องในแต่ละหน่วยหรือบทเรียน
  - 2.7 บทเรียนสร้างความสนใจไม่น่าเบื่อ
  - 2.8 บทเรียนเสริมสร้างความคิดริเริ่มและสร้างสรรค์
  - 2.9 การตอบสนองกลับการควบคุมความเร็วของบทเรียน
  - 2.10 บทเรียนสามารถประสานกับประสบการณ์เดิมของผู้เรียนได้
  - 2.11 ข้อมูลที่แสดงออกทางจอภาพมีประสิทธิภาพดี
  - 2.12 ผู้เรียนเป้าหมายสามารถใช้บทเรียนได้เอง
  - 2.13 บทเรียนใช้ร่วมกับคอมพิวเตอร์ได้เหมาะสม
  - 2.14 บทเรียนไม่เสื่อง่ายเมื่อใช้งานตามภาวะปกติ
3. การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยใช้โปรแกรม Macromedia Flash MX และโปรแกรมอื่นๆ ที่สามารถจัดทำตัวอักษร ภาพกราฟิก เสียง ภาพเคลื่อนไหว และการมีปฏิสัมพันธ์ เข้ามาใช้ประกอบการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
4. นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนและหลักเกณฑ์การประเมินที่สร้างเสร็จแล้ว นำไปเสนอบนอาจารย์ประจำวิชา ตรวจสอบหาข้อบกพร่อง หากพบข้อบกพร่องก็ต้องกลับไปศึกษาและออกแบบสร้างใหม่
  5. หลังจากที่บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ได้รับความเห็นชอบจากอาจารย์ประจำวิชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ตามหลักเกณฑ์การประเมินที่เสนอแล้วนั้น ก็นำไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิด้านสื่อประเมินคุณภาพ
  6. แบบประเมินคุณภาพทางด้านเนื้อหาและทางด้านสื่อ จัดทำเป็นแบบสอบถามเพื่อใช้ในการรวบรวมข้อมูลจากผู้ทรงคุณวุฒิ แบบประเมินคุณภาพทางด้านเนื้อหาและทางด้านสื่อ แบ่งออกเป็น 5 ระดับ (Rating Scales) โดยเกณฑ์การประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ในแต่ละด้านมีระดับความเห็นดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกณฑ์ความคิดเห็น มี 5 ระดับ คือ

- 5 หมายถึง ระดับดีมาก
- 4 หมายถึง ระดับดี
- 3 หมายถึง ระดับปานกลาง
- 2 หมายถึง ระดับพอใช้
- 1 หมายถึง ระดับควรปรับปรุง

เกณฑ์ค่าเฉลี่ยการประเมินคุณภาพมี 5 ระดับ คือ

- ค่าเฉลี่ย 4.50 – 5.00 หมายถึง คุณภาพอยู่ใน ระดับดีมาก
- ค่าเฉลี่ย 3.50 – 4.49 หมายถึง คุณภาพอยู่ใน ระดับดี
- ค่าเฉลี่ย 2.50 – 3.49 หมายถึง คุณภาพอยู่ใน ระดับปานกลาง
- ค่าเฉลี่ย 1.50 – 2.49 หมายถึง คุณภาพอยู่ใน ระดับพอใช้
- ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.49 หมายถึง คุณภาพอยู่ใน ระดับควรปรับปรุง

7. ขั้นตอนการประเมินผลนำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องโลหะ ที่สร้างเสร็จ สมบูรณ์เอาไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านสื่อ จำนวน 3 ท่าน และผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านเนื้อหา จำนวน 3 ท่าน ทำการประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยผู้ทรงคุณวุฒิมีรายชื่อดังต่อไปนี้

7.1 รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา 3 ท่านมีรายชื่อดังนี้

1. อาจารย์วิเชียร ทวีสุข หัวหน้าแผนกวิชาช่างแมคคาทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสระบุรี
2. อาจารย์กัลยา เข็นฉ่ำ อาจารย์ประจำ มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
3. อาจารย์สิงห์ชัย อ่อนพิทักษ์ คศ.1 อาจารย์ประจำแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยสารพัดช่างพระนคร

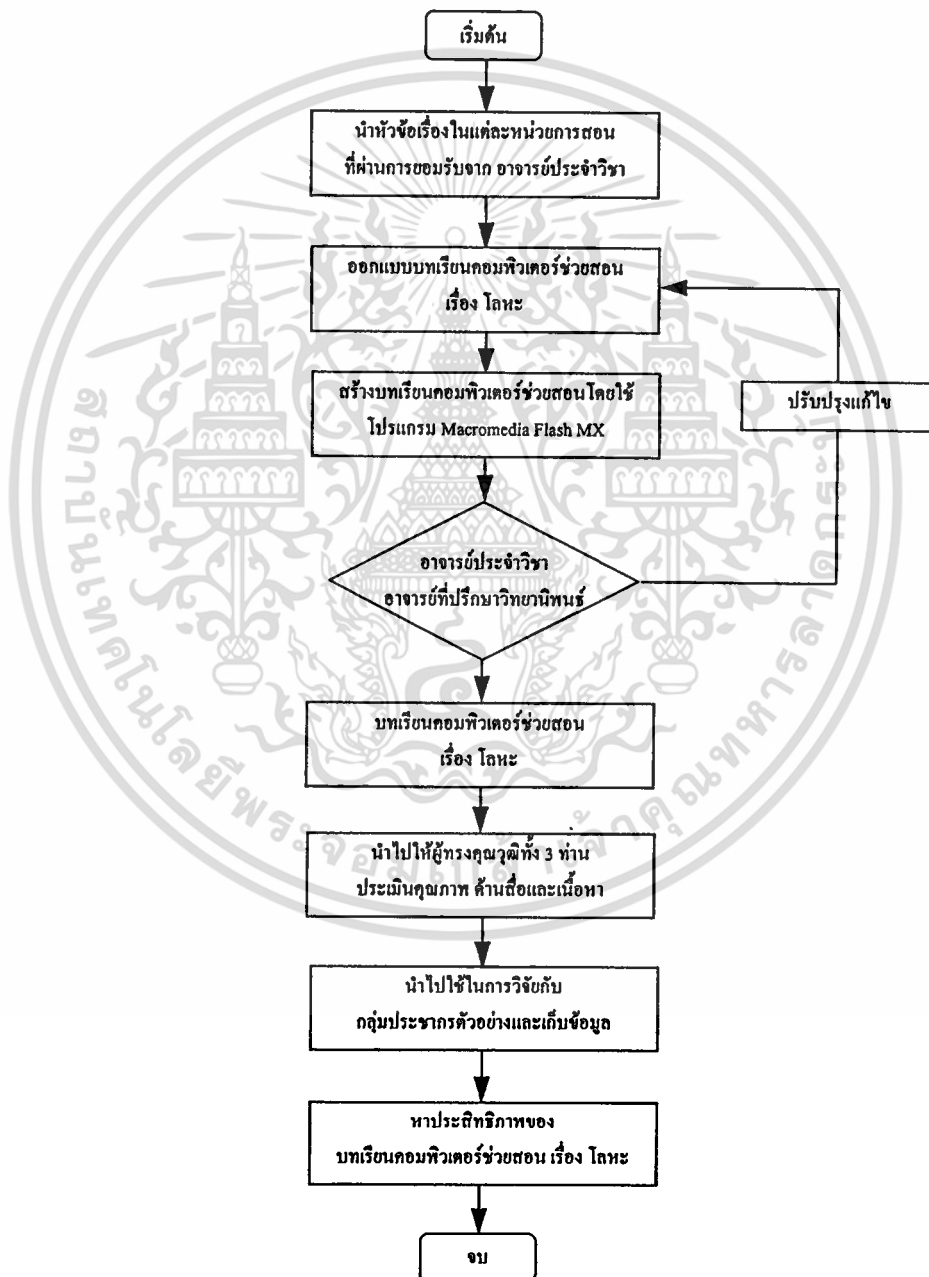
7.2 รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิด้านสื่อ 3 ท่านมีรายชื่อดังนี้

1. อาจารย์คณินดิษฐ์ ปาลีรัมย์ หัวหน้าแผนกวิชาช่างแมคคาทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสระบุรี
2. นายอนุพรพรณ ฤกษ์รัตน์ศรี หัวหน้าฝ่ายกราฟฟิคดีไซน์ บริษัทแสงชัยมิเตอร์ จำกัด
3. นายยุทธนา พงศ์พฤษชาติ ผู้จัดการ บริษัท แอดชาชน์ คอมมูนิเคชั่น จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเกณฑ์การประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ที่ดีและใช้ได้จะต้องอยู่ในระดับดี ( $\bar{x} = 3.50$ ) ขึ้นไปจึงจะถือว่าเนื้อหาและสื่อการเรียนการสอนมีประสิทธิภาพ

8. ผู้ทรงคุณวุฒิทำการตอบแบบประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน และเก็บรวบรวมแบบประเมินนำมาวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้วิธีทางสถิติได้ค่าคุณภาพด้านเนื้อหาอยู่ในระดับดีมาก ( $\bar{x} = 4.52, S.D. = 0.45$ ) และด้านสื่ออยู่ในระดับดีมาก ( $\bar{x} = 4.51, S.D. = 0.46$ ) แสดงว่าบทเรียนมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก

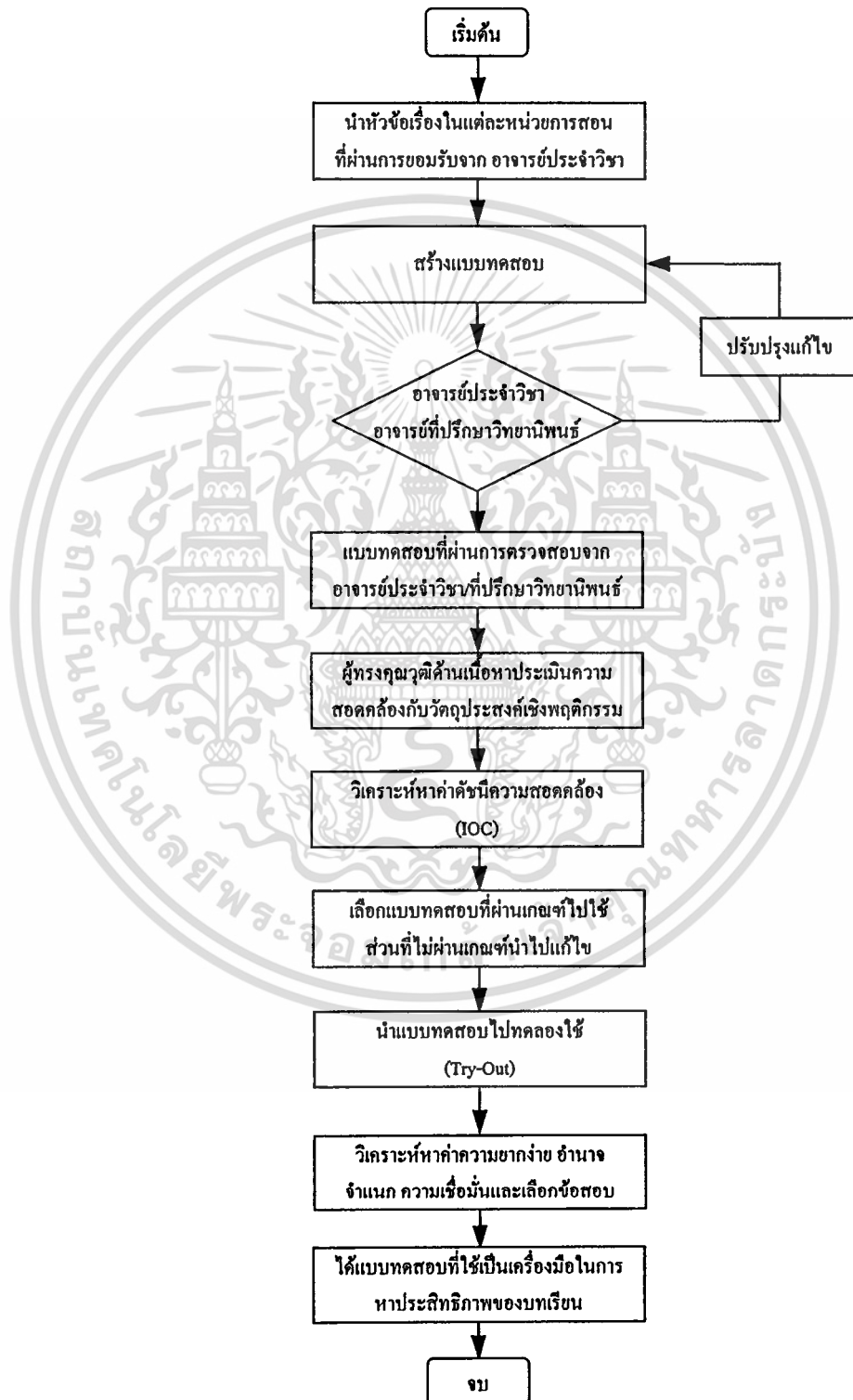


ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1.3 การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

สร้างแบบทดสอบตามจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมของบทเรียน โดยนำมาวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย อำนาจจำแนก ความเที่ยงตรง และความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ การสร้างแบบทดสอบมีขั้นตอนและรายละเอียดต่อไปนี้ ดังภาพที่ 3.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์บุรีรัมย์  
**ภาพที่ 3.3** ขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดขั้นตอน จากภาพที่ 3.3 มีดังต่อไปนี้

1. ศึกษาวิธีการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จากเนื้อหาวิชา ในหัวข้อเรื่องที่จะทำการวิจัย มาทำการวิเคราะห์เนื้อหาสาระสำคัญที่จะนำมาทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมด้วย

2. สร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จำนวน 30 ข้อ โดยจัดทำแบบปรนัย 4 ตัวเลือก โดยมีคำตอบถูกเพียงคำตอบเดียว และคำตอบลวง 3 คำตอบ ในการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์มีหลักการให้คะแนนดังนี้ คือ ข้อที่ตอบถูกให้เป็น 1 คะแนน และข้อที่ตอบผิดให้เป็น 0 คะแนน

3. นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ไปตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาเป็นรายข้อ โดยนำแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สร้างขึ้นไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน เป็นผู้พิจารณา ดังรายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิต่อไปนี้

1. อาจารย์วิเชียร ทวีสุข หัวหน้าแผนกวิชาช่างแมคคาทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสระบุรี
2. อาจารย์กัลยา เข็นฉ่ำ อาจารย์ประจำ มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
3. อาจารย์สิงห์ชัย อ่อนพิทักษ์ คศ.1 อาจารย์ประจำแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยสารพัดช่างพระนคร

ผู้ทรงคุณวุฒิประเมิน โดยใช้หลักการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้หลักการให้คะแนนดังนี้

- |          |   |
|----------|---|
| คะแนน +1 | สำหรับแบบทดสอบที่มีความสอดคล้องกับจุดประสงค์            |
| คะแนน 0  | สำหรับแบบทดสอบที่ไม่แน่ใจว่ามีความสอดคล้องกับจุดประสงค์ |
| คะแนน -1 | สำหรับแบบทดสอบที่ไม่มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์       |

นำผลการพิจารณาแต่ละข้อของอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 3 ท่าน ไปหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

โดยใช้ สูตร (พวงรัตน์ มณีรัตน์. 2540 : 117) ดังนี้

$$IOC = \frac{\sum R}{n}$$

เมื่อ

- $IOC$  หมายถึง ดัชนีความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม
- $\sum R$  หมายถึง ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิทั้งหมด
- $n$  หมายถึง จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกณฑ์การพิจารณาค่าดัชนี IOC มีความหมายดังนี้

IOC > 0.5 หมายถึง มีความสอดคล้อง

IOC ≤ 0.5 หมายถึง ไม่มีความสอดคล้อง

4. ผลการประเมินแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ที่ผ่านการประเมินมีค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC ตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป มี 30 ข้อ โดยได้ค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.67 ~ 1.00

5. นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ที่ผ่านการประเมินแล้วไปทดลองใช้ (Try-Out) กับนักศึกษาชั้นปีที่ 1 สาขาอื่นที่เคยเรียนวิชานี้มาก่อนจำนวน 30 คน เพื่อนำผลที่ได้จากการทดลอง มาวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ

6. นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมาตรวจให้คะแนนข้อที่ตอบถูกให้คะแนนเป็น 1 ข้อที่ตอบผิด ข้อที่ไม่ได้ตอบ หรือข้อที่ตอบมากกว่า 1 คำตอบให้คะแนนเป็น 0

7. นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมารวมคะแนน เรียงจากคนที่ได้คะแนนสูงสุด ไปหาคนที่ได้คะแนนต่ำสุด

8. คัดเลือกเอาคะแนนต่ำสุดขึ้นมา 50% ของจำนวนผู้เข้าสอบทั้งหมดซึ่งจัดว่าเป็นกลุ่มต่ำ และคัดเลือกเอาคะแนนสูงสุดลงไป 50% ของจำนวนผู้เข้าสอบทั้งหมดซึ่งจัดว่าเป็นกลุ่มคะแนนสูง

9. หาค่าความยากง่าย ( $P$ ) จากความถี่ของคนตอบถูกในกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำเป็นรายข้อ มาวิเคราะห์หาค่าความยากง่ายของแบบทดสอบ เพื่อเลือกแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่มีความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.20 – 0.80

โดยใช้สูตร (รวิวรรณ ชินะตระกูล, 2535 : 237) ดังนี้

$$P = \frac{f_H + f_L}{N_H + N_L}$$

เมื่อ

- $P$  หมายถึง ระดับความยากง่ายของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
- $N$  หมายถึง จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มสูง
- $f_L$  หมายถึง จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มต่ำ
- $N_H$  หมายถึง จำนวนนักศึกษาทั้งหมดในกลุ่มสูง
- $N_L$  หมายถึง จำนวนนักศึกษาทั้งหมดในกลุ่มต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกณฑ์ขอบเขตของค่า  $P$  โดยมีความหมายดังนี้

- มากกว่า 0.80 เป็นข้อสอบที่ง่ายมาก
- 0.60 – 0.80 เป็นข้อสอบค่อนข้างง่าย (ใช้ได้)
- 0.40 – 0.59 เป็นข้อสอบที่ยากง่ายพอเหมาะ (ใช้ได้ดี)
- 0.20 – 0.39 เป็นข้อสอบค่อนข้างยาก (ใช้ได้)
- 0.00 – 0.19 เป็นข้อสอบที่ยากมาก

10. หากค่าอำนาจจำแนก ( $r$ ) คัดเลือกข้อที่มีค่าอำนาจความจำแนกตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไปถือว่าเป็นข้อสอบที่สามารถจำแนกคนเก่งและคนอ่อนได้ แล้วปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมในบางรายข้อ เพื่อให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์

โดยใช้สูตร (รวิวรรณ ชินะตระกูล. 2535 : 237) ดังนี้

$$r = \frac{f_H - f_L}{N_H}$$

เมื่อ

- $r$  หมายถึง ค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ
- $N$  หมายถึง จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มสูง
- $f_L$  หมายถึง จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มต่ำ
- $N_H$  หมายถึง จำนวนนักศึกษาทั้งหมดในกลุ่มสูง

เกณฑ์ขอบเขตของค่า  $r$  โดยมีความหมายดังนี้

- 0.40 ขึ้นไป อำนาจการจำแนกสูง คุณภาพของข้อสอบดีมาก
- 0.30 – 0.39 อำนาจการจำแนกปานกลาง คุณภาพของข้อสอบดี
- 0.20 – 0.29 อำนาจการจำแนกค่อนข้างต่ำ คุณภาพของข้อสอบพอใช้ได้
- 0.00 – 0.19 อำนาจการจำแนกต่ำ คุณภาพของข้อสอบไม่ควรนำไปใช้

11. หากค่าความเชื่อมั่น ( $r_{tt}$ ) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้สูตร KR-20 ของ Kuder Richardson (รวิวรรณ ชินะตระกูล. 2542:145)

$$r_{tt} = \frac{k}{k-1} \left[ 1 - \frac{\sum pq}{S_t^2} \right]$$

$$S_t^2 = \frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ  $n(n-1)$  เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

- $r_u$  หมายถึง ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน  
 $k$  หมายถึง จำนวนข้อสอบทั้งหมด  
 $p$  หมายถึง สัดส่วนของผู้ที่ตอบถูก  
 $q$  หมายถึง สัดส่วนของผู้ที่ตอบผิด  
 $S_i^2$  หมายถึง ความแปรปรวนของคะแนนผู้เข้าสอบทั้งหมด  
 $n$  หมายถึง จำนวนผู้เข้าสอบ  
 $\sum x$  หมายถึง คะแนนรวมของผู้เข้าสอบ

เกณฑ์ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ

0.7 – 1.0 แสดงว่าแบบทดสอบมีความเชื่อมั่นสูง

0.3 – 0.69 แสดงว่าแบบทดสอบมีความเชื่อมั่นปานกลาง

ต่ำกว่า 0.3 แสดงว่าแบบทดสอบมีความเชื่อมั่นต่ำ

12. ผลจากการทดลองใช้ข้อสอบมีทั้งหมด 30 ข้อแล้วคัดเลือกเอาเพียง 20 ข้อสำหรับใช้เป็นแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และมีค่าความยากง่าย (P) อยู่ในช่วง 0.37 – 0.50 ซึ่งเป็นข้อสอบที่มีความยากง่ายพอเหมาะ (ใช้ได้ดี) ค่าอำนาจจำแนก (r) อยู่ในช่วง 0.33 – 0.47 และค่าความเชื่อมั่น ( $r_u$ ) ของแบบทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.56 ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยได้ (รายละเอียดข้อสอบที่เลือก 20 ข้อแสดงในภาคผนวก ฉ ดังตารางที่ ฉ 1)

### 3.3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยในครั้งนี้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยทำการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ คือ นักศึกษาหลักสูตร 5 ปี ระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 1 ตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม ซึ่งลงทะเบียนเรียน วิชาวัสดุวิศวกรรม (Engineering Materials) รหัสวิชา 03376006 ของคณะครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2551 ตามหลักสูตรจำนวน 30 คน โดยปฏิบัติตามขั้นตอน ดังนี้

1. ติดต่ออาจารย์ผู้สอน วิชาวัสดุวิศวกรรม (Engineering Materials) เพื่อเข้าไปร่วมสอน และดำเนินกิจกรรมต่างๆ ในระหว่างที่มีการเรียนการสอน ตามกำหนดการ วัน เวลา ที่ทางอาจารย์ผู้สอน กำหนดให้เข้าไปทำการเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แจ้งให้นักศึกษา กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ทราบล่วงหน้าก่อนทำการทดลอง ใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนและเก็บข้อมูล
3. นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง
4. นำข้อมูลที่ได้จากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียน

### 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิจัย

#### 3.4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาคุณภาพของบทเรียน

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ โดยใช้แบบประเมินที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิทำการประเมินหาคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ทางด้านเนื้อหาและด้านสื่อ ได้นำสูตรมาใช้อ้างอิงต่อไปนี้

1. การหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต ( $\bar{X}$ ) โดยใช้สูตร (รวิวรรณ ชินะตระกูล. 2542: 164)

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n}$$

เมื่อ

$\bar{X}$  หมายถึง ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

$X$  หมายถึง คะแนนแต่ละจำนวน

$\sum X$  หมายถึง ผลรวมของคะแนน

$n$  หมายถึง จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2. การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) โดยใช้สูตร (รวิวรรณ ชินะตระกูล. 2542: 164)

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{(n-1)}}$$

เมื่อ

S.D. หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$X$  หมายถึง ผลของคะแนนแต่ละคน

$\bar{X}$  หมายถึง ค่าเฉลี่ยของคะแนนทั้งหมด

$\sum X$  หมายถึง ผลรวมของคะแนน

$n$  หมายถึง จำนวนข้อมูลทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของข้าพเจ้าขอให้นักศึกษาท่านนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 การวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียน

ในการวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียน ผู้วิจัยได้แยกข้อมูลออกเป็นคะแนนของแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนของแต่ละหน่วยการเรียนรู้ และคะแนนของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หลังจากเรียนครบทุกหน่วยการเรียนนำไปหาประสิทธิภาพ

โดยใช้สูตร E1/E2 (ชัยยงค์ พรหมวงศ์. 2543:491)

$$E1 = \left[ \frac{\sum X/n}{A} \right] \times 100$$

$$E2 = \left[ \frac{\sum F/n}{B} \right] \times 100$$

เมื่อ

E1 แทน ประสิทธิภาพของกระบวนการเรียน

E2 แทน ประสิทธิภาพของผลลัพธ์

$\sum X$  แทน คะแนนรวมของการทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

$\sum F$  แทน คะแนนรวมของการทำแบบทดสอบหลังเรียนครบทุกหน่วยการเรียนรู้

n แทน จำนวนผู้เรียน

A แทน คะแนนเต็มของแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

B แทน คะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังเรียนครบทุกหน่วยการเรียนรู้

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ด้วยหลักการทางสถิติและเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์หาคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ

4.2 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์หาคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ

การวิเคราะห์หาคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ได้แบ่งออกเป็น 2 ด้านด้วยกัน คือ ทางด้านเนื้อหาและทางด้านสื่อ ซึ่งผลจากการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิในแต่ละด้าน ได้นำมาทำการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ด้านเนื้อหา

| ข้อที่       | รายการประเมินด้านเนื้อหา                        | $\bar{X}$ | S.D. | ระดับคุณภาพ |
|--------------|---|-----------|------|-------------|
| 1            | ด้านเนื้อหาและการนำเสนอ                         |           |      |             |
|              | 1.1 เนื้อหา มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์       | 4.67      | 0.58 | ดีมาก       |
|              | 1.2 เนื้อหา มีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน       | 4.33      | 0.58 | ดี          |
|              | 1.3 ความเหมาะสมการนำเข้าสู่เนื้อหา              | 4.67      | 0.58 | ดีมาก       |
|              | 1.4 ความเหมาะสมการนำเสนอชัดเจน                  | 4.33      | 0.58 | ดี          |
|              | 1.5 ความถูกต้องของเนื้อหา                       | 5.00      | 0.00 | ดีมาก       |
|              | 1.6 เนื้อหา มีความสนใจในการเรียน                | 4.67      | 0.58 | ดีมาก       |
| 2            | ด้านเวลาในการนำเสนอ                             |           |      |             |
|              | 2.1 ความเหมาะสมของเวลากับการนำเสนอเนื้อหา       | 4.33      | 0.58 | ดี          |
|              | 2.2 ความเหมาะสมของเวลากับบรรยาย                 | 4.67      | 0.58 | ดีมาก       |
|              | 2.3 ความเหมาะสมของเวลาในการนำเสนอบทเรียนทั้งหมด | 4.00      | 0.00 | ดี          |
| ค่าเฉลี่ยรวม |   | 4.52      | 0.45 | ดีมาก       |

จากตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ด้านเนื้อหาของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ  
เอกสาร โดยผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาทั้ง 3 ท่าน มีค่าเฉลี่ยรวม ( $\bar{X} = 4.52, S.D. = 0.45$ ) แสดงว่าบทเรียน  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ มีคุณภาพด้านเนื้อหาอยู่ในระดับดีมาก ซึ่งมีรายการประเมินด้านเนื้อหาที่อยู่ในระดับดีมากจำนวน 5 รายการ คือ เนื้อหาที่มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ ความเหมาะสมการนำเข้าสู่เนื้อหา ความถูกต้องของเนื้อหา เนื้อหาที่มีความจูงใจในการเรียน และความเหมาะสมของเวลากับคำบรรยาย ส่วนมีเนื้อหาที่อยู่ในระดับดีจำนวน 4 รายการ คือ เนื้อหาที่มีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน ความเหมาะสมการนำเสนอชัดเจน ความเหมาะสมของเวลากับการนำเสนอเนื้อหา และความเหมาะสมของเวลาในการนำเสนอบทเรียนทั้งหมด (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค ดังตารางที่ ค 2)

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ด้านสื่อ

| ข้อที่       | รายการประเมินด้านสื่อ                                | $\bar{X}$ | S.D. | ระดับคุณภาพ |
|--------------|--|-----------|------|-------------|
| 1            | รูปแบบสื่อและการนำเสนอ                               |           |      |             |
|              | 1.1 การนำเข้าสู่เนื้อหามีความน่าสนใจ                 | 5.00      | 0.00 | ดีมาก       |
|              | 1.2 ความเหมาะสมในรูปแบบและวิธีการนำเสนอ              | 4.33      | 0.58 | ดี          |
|              | 1.3 ลำดับขั้นในการนำเสนอของสื่อตรงเนื้อหาการเรียน    | 4.67      | 0.58 | ดีมาก       |
|              | 1.4 ความเหมาะสมของเวลาในการนำเสนอของภาพในแต่ละเรื่อง | 4.00      | 0.00 | ดี          |
| 2            | ภาพการให้สื่อที่เหมาะสม สวยงาม                       |           |      |             |
|              | 2.1 คุณภาพของรูปภาพที่ใช้มีความคมชัด                 | 4.67      | 0.58 | ดีมาก       |
|              | 2.2 รูปภาพตรงกับเนื้อหา                              | 4.33      | 0.58 | ดี          |
|              | 2.3 ความเหมาะสมของภาพที่ใช้ในบทเรียน                 | 4.67      | 0.58 | ดีมาก       |
|              | 2.4 ความเหมาะสมของสีพื้นที่ใช้ในบทเรียน              | 4.33      | 0.58 | ดี          |
| 3            | ตัวอักษร เสียง                                       |           |      |             |
|              | 3.1 ลักษณะของตัวอักษรที่ใช้นำเสนอ                    | 5.00      | 0.00 | ดีมาก       |
|              | 3.2 ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร                       | 4.67      | 0.58 | ดีมาก       |
|              | 3.3 ความชัดเจนของตัวอักษร                            | 4.33      | 0.58 | ดี          |
|              | 3.4 ความเหมาะสมของงานด้านกราฟิก                      | 4.33      | 0.58 | ดี          |
|              | 3.5 ความเหมาะสมของสีพื้นที่ใช้กับตัวอักษร            | 4.33      | 0.58 | ดี          |
|              | 3.6 ความเหมาะสมของเสียงที่ใช้บรรยาย                  | 4.67      | 0.58 | ดีมาก       |
|              | 3.7 ความชัดของเสียงที่บรรยาย                         | 4.33      | 0.58 | ดี          |
| ค่าเฉลี่ยรวม |  | 4.51      | 0.46 | ดีมาก       |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ด้านสื่อของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ โดยผู้ทรงคุณวุฒิด้านสื่อทั้ง 3 ท่าน มีค่าเฉลี่ยรวม ( $\bar{X} = 4.51$ , S.D. = 0.46) แสดงว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ มีคุณภาพด้านสื่ออยู่ในระดับดีมาก ซึ่งมีรายการประเมินด้านสื่อที่อยู่ในระดับดีมากจำนวน 7 รายการ ได้แก่ การนำเข้าสู่เนื้อหาที่มีความน่าสนใจ ลำดับขั้นในการนำเสนอของสื่อตรงเนื้อหาการเรียน คุณภาพของรูปภาพที่ใช้มีความคมชัด ความเหมาะสมของภาพที่ใช้ในบทเรียน ลักษณะของตัวอักษรที่ใช้นำเสนอ ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร ความเหมาะสมของเสียงที่ใช้บรรยาย ส่วนด้านสื่อที่อยู่ในระดับดีจำนวน 8 รายการ ได้แก่ ความเหมาะสมในรูปแบบและวิธีการนำเสนอ ความเหมาะสมของเวลาในการนำเสนอของภาพในแต่ละเรื่อง รูปภาพตรงกับเนื้อหา ความเหมาะสมของสีพื้นที่ใช้ในบทเรียน ความชัดเจนของตัวอักษร ความเหมาะสมของงานด้านกราฟิก ความเหมาะสมของสีพื้นที่ใช้กับตัวอักษร และความชัดของเสียงที่บรรยาย (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค ดังตารางที่ ค 1)

ตารางที่ 4.3 สรุปผลการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยรวมทางด้านเนื้อหาและด้านสื่อ

| รายการประเมิน               | $\bar{X}$ | S.D. | ระดับคุณภาพ |
|-----------------------------|-----------|------|-------------|
| 1. ค่าเฉลี่ยรวม ด้านเนื้อหา | 4.52      | 0.45 | ดีมาก       |
| 2. ค่าเฉลี่ยรวม ด้านสื่อ    | 4.51      | 0.46 | ดี          |
| ค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมด         | 4.51      | 0.46 | ดีมาก       |

จากตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ จากผลการประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาและทางด้านสื่อของผู้ทรงคุณวุฒิ นำมาหาค่าทางสถิติโดยการหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลได้ค่าเฉลี่ยรวม ( $\bar{X} = 4.51$ , S.D. = 0.46) แสดงว่าคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน อยู่ในระดับดีมาก สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้ดี (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค ดังตารางที่ ค 3)

#### 4.2 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ

การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ที่ผู้วิจัยได้นำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง โดยได้ผลการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ผลการทำแบบทดสอบของกลุ่มตัวอย่าง เพื่อนำไปหาประสิทธิภาพของบทเรียน

| ประชากร<br>(n = 30) | คะแนนรวมทั้งบทเรียนของ<br>หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 และ 2<br>(คะแนนเต็มรวม 30 คะแนน) |               | คะแนนรวมของการทำแบบทดสอบ<br>วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน<br>(คะแนนเต็ม 20 คะแนน) |               |
|---------------------|--|---------------|--|---------------|
|                     | $\sum x$   | คิดเป็นร้อยละ | $\sum F$   | คิดเป็นร้อยละ |
| 1.                  | 27   | 90.00         | 18   | 90.00         |
| 2.                  | 25   | 83.33         | 17   | 90.00         |
| 3.                  | 26   | 86.67         | 18   | 90.00         |
| 4.                  | 27   | 90.00         | 18   | 90.00         |
| 5.                  | 27   | 90.00         | 18   | 90.00         |
| 6.                  | 27   | 90.00         | 18   | 90.00         |
| 7.                  | 26   | 86.67         | 17   | 85.00         |
| 8.                  | 28   | 93.33         | 19   | 95.00         |
| 9.                  | 27   | 90.00         | 18   | 90.00         |
| 10.                 | 28   | 93.33         | 18   | 90.00         |
| 11.                 | 25   | 83.33         | 17   | 90.00         |
| 12.                 | 26   | 86.67         | 18   | 85.00         |
| 13.                 | 28   | 93.33         | 19   | 95.00         |
| 14.                 | 26   | 86.67         | 17   | 85.00         |
| 15.                 | 25   | 83.33         | 17   | 85.00         |
| 16.                 | 27   | 90.00         | 18   | 90.00         |
| 17.                 | 26   | 86.67         | 18   | 90.00         |
| 18.                 | 28   | 93.33         | 18   | 90.00         |
| 19.                 | 25   | 83.33         | 16   | 85.00         |
| 20.                 | 27   | 90.00         | 18   | 90.00         |
| 21.                 | 27   | 90.00         | 18   | 90.00         |
| 22.                 | 26   | 86.67         | 19   | 95.00         |
| 23.                 | 26   | 86.67         | 17   | 90.00         |
| 24.                 | 26   | 86.67         | 18   | 90.00         |
| 25.                 | 27   | 90.00         | 17   | 90.00         |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

| ประชากร<br>(n = 30) | คะแนนรวมทำยบทเรียนของ<br>หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 และ 2<br>(คะแนนเต็มรวม 30 คะแนน) |               | คะแนนรวมของการทำแบบทดสอบ<br>วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน<br>(คะแนนเต็ม 20 คะแนน) |               |
|---------------------|---|---------------|--|---------------|
|                     | $\sum x$  | คิดเป็นร้อยละ | $\sum F$   | คิดเป็นร้อยละ |
| 26.                 | 28  | 93.33         | 18   | 90.00         |
| 27.                 | 26  | 86.67         | 19   | 95.00         |
| 28.                 | 28  | 93.33         | 19   | 90.00         |
| 29.                 | 27  | 90.00         | 18   | 90.00         |
| 30.                 | 25  | 83.33         | 17   | 90.00         |
| คะแนนรวมทั้งหมด     | 797   |               | 535  |               |
| คะแนนเฉลี่ยรวม      | 26.57   |               | 17.83  |               |
| คิดเป็นร้อยละ       | 88.56   |               | 89.17  |               |

จากตารางที่ 4.4 ผลจากคะแนนร่วมนำมาคิดเป็นค่าร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน ปรากฏว่าผลของคะแนนการทำแบบทดสอบทำยบทเรียนที่ 1 และ 2 ของกลุ่มตัวอย่าง มีค่าร้อยละ 88.56 และผลของคะแนนการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มตัวอย่าง มีค่าร้อยละ 89.17 เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์กำหนดที่ตั้งไว้คือ E1/E2 เท่ากับ 85/85 แสดงว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ มีประสิทธิภาพผ่านเกณฑ์ที่กำหนด (รายละเอียดเพิ่มเติมแสดงใน ภาคผนวก ข ดังตารางที่ ข 1)

ตารางที่ 4.5 สรุปผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ

| รายละเอียด   | คะแนนสอบ      |                          | ค่าเฉลี่ย<br>ร้อยละ | ประสิทธิภาพ<br>ของบทเรียน |
|--|---------------|--------------------------|---------------------|---------------------------|
|  | คะแนน<br>เต็ม | คะแนนเฉลี่ย<br>ที่สอบได้ |                     |                           |
| แบบทดสอบทำยบทเรียน (E1)                            | 30            | 26.57                    | 88.56               | E1/E2<br>(88.56/89.17)    |
| แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์หลังเรียนครบ<br>ทุกหน่วย (E2) | 20            | 17.83                    | 89.17               |                           |

จากตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ จะเห็นว่าคะแนนจากการทำแบบทดสอบทำยบทเรียนของหน่วยการเรียนรู้ที่ 1 และ 2 มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 26.57 คะแนน จากคะแนนรวมเต็ม 30 คะแนนคิดเป็นร้อยละ 88.56 และคะแนนจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนจบครบทุกหน่วยการเรียนรู้ ได้คะแนนเฉลี่ยรวมเท่ากับ 17.83 จากคะแนนเต็ม 20 คะแนนคิดเป็นร้อยละ 89.17 จะเห็นว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ มีประสิทธิภาพ E1/E2 เท่ากับ 88.56/89.17 ซึ่งสูงกว่าสมมติฐานที่กำหนดคือ E1/E2 เท่ากับ 85/85 แสดงว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (รายละเอียดเพิ่มเติมแสดงในภาคผนวก ข ดังตารางที่ ข 1)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ก็เพื่อต้องการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ตามหลักสูตร ศึกษาศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต คณะศึกษาศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และเพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนตามเกณฑ์ที่กำหนด E1/E2 เท่ากับ 85/85 โดยสรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

- 5.1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย
  - 5.1.2 สมมติฐานในการวิจัย
  - 5.1.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
  - 5.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
  - 5.1.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล
  - 5.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูล
  - 5.1.7 สรุปผลการวิจัย
- 5.2 การอภิปรายผลวิจัย
- 5.3 ข้อเสนอแนะ
- 5.3.1 ข้อเสนอแนะเพื่อนำผลการวิจัยไปใช้
  - 5.3.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัยผู้วิจัย ได้สรุปผลเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

#### 5.1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

5.1.1.1 เพื่อสร้างและหาคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ หลักสูตร ศึกษาศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

5.1.1.2 เพื่อหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ หลักสูตร ศึกษาศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

#### 5.1.2 สมมติฐานในการวิจัย

5.1.2.1 บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ มีคุณภาพในระดับดี ( $\bar{X} = 3.50$ )

เอกสารที่ส่งไป เอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2.2 บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ  $E_1/E_2$  อยู่ในเกณฑ์ 85/85

### 5.1.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

5.1.3.1 ประชากร เป็นนักศึกษาหลักสูตร 5 ปี ระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2551 หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 50 คน

5.1.3.2 กลุ่มตัวอย่าง เป็นนักศึกษาหลักสูตร 5 ปี ระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 1 ตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม ซึ่งลงทะเบียนเรียน วิชาวัสดุวิศวกรรม รหัสวิชา 03376006 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2551 จำนวน 30 คน ใช้วิธีการเลือกสุ่มแบบเจาะจง

### 5.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

5.1.4.1 แบบประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ เพื่อหาคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยให้ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพ

5.1.4.2 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาเป็นการสร้างแบบทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน มีลักษณะเป็นปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก โดยมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่กำหนดไว้ ซึ่งมีค่าดัชนีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมอยู่ระหว่าง 0.67 ~ 1.00 มีค่าความยากง่าย 0.37 ~ 0.50 ค่าอำนาจจำแนก 0.33 ~ 0.47 และค่าความเชื่อมั่น 0.56

5.1.4.3 บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 2 หน่วย การเรียน คือ หน่วยการเรียนที่ (1) เรื่อง เหล็กและทองแดง หน่วยการเรียนที่ (2) เรื่อง อลูมิเนียมและแมกนีเซียม

### 5.1.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

5.1.5.1 จัดเตรียมตรวจเช็คความพร้อมของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ให้มีความพร้อมก่อนใช้งานจริง กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน

5.1.5.2 ติดต่ออาจารย์ผู้สอน วิชาวัสดุวิศวกรรม (Engineering Materials) เพื่อขออนุญาตเข้าไปร่วมสอน และดำเนินกิจกรรมต่างๆ ในระหว่างที่มีการเรียนการสอน ตามกำหนดการ หรือ วันเวลาที่ทางอาจารย์ผู้สอนกำหนดให้เข้าไปทำการเก็บข้อมูล

5.1.5.3 แจ้งนักศึกษากลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ทราบล่วงหน้าก่อนทำการทดลอง ใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

5.1.5.4 นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ มาทดลองใช้กับนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง หลังเรียนจบในแต่ละหน่วยการเรียนก็ให้ทำแบบทดสอบท้ายบทเรียน และเก็บคะแนนไว้  
เอกสารตัวอย่าง หลังเรียนจบในแต่ละหน่วยการเรียนก็ให้ทำแบบทดสอบท้ายบทเรียน และเก็บคะแนนไว้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อจากนั้นเมื่อเรียนครบทุกหน่วยการเรียนรู้แล้วก็ให้ทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ตามวิธีทางสถิติกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ E1/E2 เท่ากับ 85/85

### 5.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ดังนี้

5.1.6.1 วิเคราะห์คุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ จากผลการประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาและทางด้านสื่อของผู้ทรงคุณวุฒิ นำมาหาค่าทางสถิติโดยการหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลได้ค่าเฉลี่ยรวม ( $\bar{X} = 4.51$ , S.D. = 0.46) แสดงว่าคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน อยู่ในระดับดีมาก

5.1.6.2 วิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ โดยเปรียบเทียบผลคะแนนจากการทำแบบทดสอบท้ายบทเรียนในแต่ละหน่วยการเรียนรู้ และการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนครบทุกหน่วยการเรียนรู้ นำมาหาค่าประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลได้ค่าประสิทธิภาพ เท่ากับ 88.56/88.17 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด E1/E2 เท่ากับ 85/85 แสดงว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ มีประสิทธิภาพผ่านเกณฑ์ที่กำหนด สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 5.1.7 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังกล่าว สรุปผลวิจัยได้ดังนี้

5.1.7.1 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ด้านเนื้อหาอยู่ในระดับดีมาก จากผลการวิจัยด้านเนื้อหามีค่าเฉลี่ยรวม ( $\bar{X} = 4.52$ , S.D. = 0.45) แสดงว่าผู้ทรงคุณวุฒิยอมรับเนื้อหา ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ตรงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้

5.1.7.2 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ด้านสื่ออยู่ในระดับดีมาก จากผลการวิจัยด้านสื่อมีค่าเฉลี่ยรวม ( $\bar{X} = 4.51$ , S.D. = 0.46) แสดงว่าผู้ทรงคุณวุฒิยอมรับสื่อของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ตรงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้

5.1.7.3 ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ จะเห็นว่คะแนนจากการทำแบบทดสอบท้ายบทเรียนของหน่วยการเรียนรู้ที่ 1 และ 2 มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 26.57 คะแนน จากคะแนนรวมเต็ม 30 คะแนนคิดเป็นร้อยละ 88.56 และคะแนนจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนจบครบทุกหน่วยการเรียนรู้ ได้คะแนนเฉลี่ยรวมเท่ากับ 17.83 จากคะแนนเต็ม 20 คะแนนคิดเป็นร้อยละ 89.17 จะเห็นว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่องโลหะ มีประสิทธิภาพ E1/E2 เท่ากับ 88.56/89.17 ซึ่งสูงกว่าสมมติฐานที่กำหนดคือ E1/E2 เท่ากับ 85/85 แสดงว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องโลหะ สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (รายละเอียดเพิ่มเติมแสดงในภาคผนวก ข ดังตารางที่ ข 1)

## 5.2 การอภิปรายผลวิจัย

จากผลการวิจัยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องโลหะ ผลการประเมินด้านเนื้อหาจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 3 ท่าน มีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก ( $\bar{X} = 4.52$ , S.D. = 0.45) อาจเนื่องมาจากเนื้อหาที่มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม เนื้อหาที่มีความถูกต้อง มีความเหมาะสมในการนำเข้าสู่เนื้อหาการเรียน เนื้อหาของบทเรียนมีลักษณะจูงใจน่าสนใจในการเรียน ความเหมาะสมของเวลากับคำบรรยาย จากผลการวิจัยเพื่อหาคุณภาพด้านเนื้อหา ปรากฏว่าผลการวิจัยคุณภาพด้านเนื้อหาของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องโลหะ ของผู้วิจัยมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ บรรจง อรชุนกะ.(2548:38-41) ได้ทำวิจัยเรื่อง บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยอบรม เรื่องแทนทดสอบในระบบอุตสาหกรรมการผลิตทางการประกอบแผงวงจรไฟฟ้า ผลการวิจัยมีคุณภาพด้านเนื้อหาอยู่ในระดับดีมาก ( $\bar{X} = 4.60$ , S.D. = 0.49)

ผลการประเมินด้านสื่อจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 3 ท่าน มีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก ( $\bar{X} = 4.51$ , S.D. = 0.46) อาจเนื่องมาจากรูปแบบสื่อและการนำเข้าสู่เนื้อหาที่มีความน่าสนใจ ลำดับขั้นตอนในการนำเสนอของสื่อตรงเนื้อหาการเรียน ความเหมาะสมของภาพที่ใช้ในบทเรียน มีความคมชัด ลักษณะของตัวอักษร และขนาดตัวอักษร จากผลการวิจัยเพื่อหาคุณภาพด้านสื่อ ปรากฏว่าผลการวิจัยคุณภาพด้านสื่อของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องโลหะ ของผู้วิจัยมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ บรรจง อรชุนกะ.(2548:บทที่4) ได้ทำวิจัยเรื่อง บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยอบรม เรื่องแทนทดสอบในระบบอุตสาหกรรมการผลิตทางการประกอบแผงวงจรไฟฟ้า ผลการวิจัยมีคุณภาพด้านสื่ออยู่ในระดับดีมาก ( $\bar{X} = 4.67$ , S.D. = 0.24)

ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ จะเห็นว่าคะแนนจากการทำแบบทดสอบท้ายบทเรียนของหน่วยการเรียนรู้ที่ 1 และ 2 มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 26.57 คะแนน จากคะแนนรวมเต็ม 30 คะแนนคิดเป็นร้อยละ 88.56 และคะแนนจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนจบครบทุกหน่วยการเรียนรู้ ได้คะแนนเฉลี่ยรวมเท่ากับ 17.83 จากคะแนนเต็ม 20 คะแนนคิดเป็นร้อยละ 89.17 จะเห็นว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องโลหะ มีประสิทธิภาพ E1/E2 เท่ากับ 88.56/89.17 เห็นได้ว่าคะแนนที่ได้ในการทำแบบทดสอบหลังเรียนครบทุกหน่วยการเรียนรู้ E2 มีค่าร้อยละ 89.17 สูงกว่าคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบท้ายบทเรียนระหว่างเรียนจบแต่ละหน่วยการเรียนรู้ E1 ซึ่งมีค่าร้อยละ 88.56 อาจเป็นผลมาจากการทำแบบทดสอบหลังเรียนครบทุกหน่วยการเรียนรู้หรือ E2 ผู้เรียนสามารถเข้าใจเนื้อหาได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรืออาจเป็นเพราะในบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ในแต่ละหน่วยการเรียนรู้ ผู้วิจัยได้สร้างแบบฝึกหัดเพื่อทบทวนความรู้ในแต่ละหน่วยการเรียนรู้เอาไว้ด้วย จึงทำให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจเนื้อหาได้ดีซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้ Learning Theory ของ Edward L. Thorndike ที่ว่าการเรียนรู้ของมนุษย์จะเกิดขึ้นได้ด้วยการสร้างสิ่งเชื่อมโยงระหว่างสิ่งเร้ากับการตอบสนอง ที่เหมาะสมกันและการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพนั้น จะต้องอยู่บนพื้นฐานของกฎแห่งการฝึกฝน (Law of Exercise) ดังนั้นอาจารย์จึงควรให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดทบทวนอยู่เสมอ เพื่อเน้นย้ำสิ่งที่เรียนนั้นให้เข้าใจยิ่งขึ้น จำได้นาน และมีความชำนาญ นอกจากนี้ในแบบทดสอบระหว่างเรียนยังมีเฉลยในกรณีที่ผู้เรียนตอบผิดเพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาของบทเรียนได้ดียิ่งขึ้น โดยแบบฝึกหัดจะเสริมแรงให้ผู้เรียนรู้ผลการเรียนทันทีตามทฤษฎีของ ธอร์น ไคค์ จึงทำให้ผู้เรียนสามารถทำคะแนนแบบทดสอบหลังเรียนครบทุกหน่วยการเรียนรู้ได้สูงกว่าการทำแบบทดสอบท้ายบทเรียนระหว่างเรียนจบแต่ละหน่วยการเรียนรู้

จากผลการวิจัยการหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ ที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพเท่ากับ 88.56/89.17 สูงกว่าเกณฑ์ 85/85 ที่ตั้งไว้

ปรากฏว่าการวิจัยด้านประสิทธิภาพของผู้วิจัยมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ บงกช โภษารักษ์ (2544: บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัย เรื่องการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ กรมอาชีวศึกษา ผลของการวิจัยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีประสิทธิภาพเท่ากับ 84.25/89.75 ซึ่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ 80/80

และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศรีณย์ รินคำ (2548: บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเพื่อเพื่อสร้าง และหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง ไฟฟ้าสถิตในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ผลการวิจัยพบว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีประสิทธิภาพเท่ากับ 81.33/82.66 ซึ่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ 80/80

ดังนั้นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง โลหะ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนวิชาวัสดุวิศวกรรม ตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิตสาขานวัตกรรมการศึกษา โนนโหลยี่ พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ตลอดจนผู้ที่สนใจในเรื่อง โลหะ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

#### 5.3.1 ข้อเสนอแนะเพื่อการนำผลการวิจัยไปใช้

5.3.1.1 อาจารย์ผู้สอนสามารถนำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ เป็นสื่อการสอนได้อย่างถูกต้องเหมาะสม ลดระยะเวลาการเรียนรู้ และเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนการสอน ในรายวิชาวัสดุวิศวกรรมได้

5.3.1.2 บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องโลหะ ที่สร้างขึ้นทำให้ผู้ที่ศึกษาสามารถบอกได้ถึงลักษณะการนำไปใช้งานและบ่งชี้ได้ถึงวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม และผู้ที่สนใจทั่วไปสามารถนำไปศึกษาค้นคว้าบททวนได้ด้วยตนเอง การเรียนจะเรียน ณ เวลาหรือสถานที่ใดก็ได้ตามใจผู้เรียน

5.3.1.3 เป็นแนวทางในการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องโลหะ ในหัวเรื่องอื่นๆ ต่อไป

### 5.3.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป

5.3.2.1 ควรมีการวิจัยเปรียบเทียบผลของการเรียนรู้จากกลุ่มตัวอย่าง ที่เรียนโดยใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างที่เรียนแบบบรรยายปกติ หรือใช้วิธีการเรียนแบบอื่นๆ เพื่อเปรียบเทียบหาคุณภาพและหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

5.3.2.2 ควรใช้เวลาในการเรียนรู้บทเรียนให้น้อยกว่าที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เพื่อให้ผู้เรียนมีโอกาสที่จะได้เรียนรู้อย่างละเอียดมากขึ้น

5.3.2.3 ควรเพิ่มหัวข้อเรื่องย่อยของหน่วยการเรียนรู้ ให้มากกว่าที่ใช้ในงานวิจัย เพื่อจะได้ให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในเนื้อหามากกว่านี้

## บรรณานุกรม

- กวี หวังนิเวศน์กุล. 2546. วัสดุวิศวกรรมก่อสร้าง – ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ
- เกรียงศักดิ์ พูนประสิทธิ์. 2538. “การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง สัญลักษณ์ การเชื่อมโลหะ 1 สำหรับนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ.” วิทยานิพนธ์ ศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- กิดานันท์ มลิทอง. 2535. เทคโนโลยีการศึกษาร่วมสมัย. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กิดานันท์ มลิทอง. 2543. เทคโนโลยีการศึกษาและนวัตกรรม. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- จิราวัฒน์ ชिरเวทย์. 2542. บทเรียนสำเร็จรูป ภาควิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมการศึกษา คณะครุศาสตร์ สถาบันราชภัฏนครปฐม
- จิระพงษ์ ประพิน 2547. “การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสำหรับการใช้งานชุดฝึกไมโคร โปรเซสเซอร์ MCZ-80/EV การใช้งานชุดฝึกไมโคร โปรเซสเซอร์ MCZ-80/EV สำหรับนักเรียนระดับ ปวช. 3 สาขางานอิเล็กทรอนิกส์หนองคาย วิทยานิพนธ์ ครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ณรงค์ คำใหม่. 2538. “การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาคณิตศาสตร์ เรื่องพื้นที่สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่2.” วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- ชัยยศ เรื่องสุวรรณ. 2533. เทคโนโลยีทางการศึกษา ทฤษฎีและการวิจัย. กรุงเทพฯ : โอ. พรินติ้ง เฮาส์
- ชัยงค์ พรมวงศ์. 2543. ระบบการสอน (CAI). กรุงเทพฯ : คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ดุสิต พันธุ์พุกภัย. 2544. “การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาชีววิทยา ว 041 เรื่อง การย่อยอาหารของคน.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัย สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ถนอมพร เลหาจรัสแสง. 2541. คอมพิวเตอร์ช่วยสอน. กรุงเทพฯ : โสตทัศนศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ธานี นาคเลี้ยง. 2543. “การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง ไฟฟ้ากระแสสลับ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พ.ศ. 2538 ของกรมอาชีวศึกษา.” วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นิรันดู สุภาพล. 2540. “การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาเคมี เรื่องโปรตีน ระดับมัธยมศึกษา ปีที่ 5.” วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการศึกษาบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- บุรณะ สมชัย. 2548. 2542 : 11-27 การสร้าง CAI Multimedia. ด้วย Author ware 4.0
- บงกช โกษารักษ์. 2544. “การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาการระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ) กรมอาชีวศึกษา.” วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- บรรจง อรชุนกะ. 2548. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยอบรม เรื่องแทนทดสอบในระบบอุตสาหกรรมการผลิตทางด้านประกอบแผงวงจรไฟฟ้า วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- พงษ์เดช เรียนละหงส์. 2543. “การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง สนามไฟฟ้า ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.2540 ของกรมอาชีวศึกษา.” วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- พงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสก. 2549. วัสดุก่อสร้าง – ซีเมนต์ยูเรชั่น กรุงเทพฯ
- ไพโรจน์ ตีรณชนากุล ไพบุลย์ เกียรติโกมล และ สิริลักษณ์ ตีรณชนากุล. 2543. การออกแบบการสอน บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน IMCCI (Designing IMM Computer Instruction). คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร. ตีพิมพ์ในวารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม ฉบับที่ 4 พฤศจิกายน 2542 เมษายน หน้า 5-17.
- พวงรัตน์ มณีรัตน์. 2540. วิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์. กรุงเทพฯ : สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.
- ยีน กูว์วอร์ธ. 2529. การใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ช่วยในการเรียนการสอน. จักร์เกษม 189.
- รวีวรรณ ชินะตระกูล. 2543. วิจัยทางการศึกษา. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัดภาพพิมพ์
- มานพ ต้นตระกูล. 2545. วัสดุวิศวกรรม – สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย - ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ
- รุจโรจน์ แก้วอุไร. 2548. หลักการออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนตามแนวคิดของ กาย์ [Online] เข้าถึงได้จาก: <http://www.thaicai.com/articles/cai4.html>.
- ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. 2538. เทคนิคการวิจัยทางการศึกษา. กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น

- วิลเลียม เอฟ สมิธ. 2547. วัสดุวิศวกรรม – Principles of Materials Science and Engineering – สำนักพิมพ์ ที่อป/แมคกรอ – ฮิล, กรุงเทพฯ
- ศรีชัย รินคำ. 2548. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องไฟฟ้าสถิตในอุตสาหกรรม อิเล็กทรอนิกส์ : วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุกรี รอดโพธิ์ทอง.(2535.4-7). การออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- สุพิทย์ กาญจนพันธุ์. 2541. รวมศัพท์เทคโนโลยีและสื่อสารเพื่อการศึกษา. กรุงเทพฯ:ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.
- สุวรรณ สุนทรรัตน์. 2529. อลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสม. กรุงเทพฯ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- อภิญา โกลาพานิชวงษ์. 2543. “บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาภาษาอังกฤษเทคนิค 2 เรื่อง สัตว์ลักษณะและคำแนะนำในการใช้งาน.” วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการศึกษาทางการอาชีวศึกษาและเทคนิคศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- The WebPage Assisted Instruction for Aluminium : ภาควิชา ครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะ ครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี [Online] เข้าถึงได้จาก © 2000 The WebPage Assisted Instruction for Aluminium. All rights reserved.
- The Aluminum Association, Inc. [Online] เข้าถึงได้จาก <http://www.aluminum.org>
- World Aluminium [Online] เข้าถึงได้จาก <http://www.world-aluminium.org>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ประกาศฉบับเจ็ดวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เรื่อง ผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย โดยความเห็นชอบของคณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ขอประกาศรายชื่อหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการดังนี้

นายประเสริฐ ศรีพนม รหัสประจำตัว 48063517 ให้ทำวิทยานิพนธ์เรื่อง “บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (Computer Assisted Teaching Subject Metallic on Bachelor of Science in Industrial Education, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang)” โดยมี ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ.อุดมศักดิ์ สารินุตร เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ซึ่งได้รับอนุมัติเมื่อวันที่ 5 สิงหาคม 2550

ทั้งนี้ให้นักศึกษาค้นคว้าและเขียนวิทยานิพนธ์ โดยปรึกษาคณะอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ให้เสร็จสิ้นภายในเวลาที่กำหนดในระเบียบของบัณฑิตวิทยาลัย

ประกาศ ณ วันที่ ๒๕ สิงหาคม พ.ศ. 2550

(รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจักษ์)

รองคณบดี ปฏิบัติราชการแทน

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

**รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ**  
**ประเมินคุณภาพ บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ**

ดังมีรายนามดังต่อไปนี้

**ผู้ทรงคุณวุฒิ “ด้านเนื้อหา”**

| รายนาม                          | ตำแหน่ง/สถานที่ทำงาน   |
|---------------------------------|--|
| (1) อาจารย์วิเชียร ทวีสุข       | หัวหน้าแผนกวิชาช่างแมคคาทรอนิกส์<br>วิทยาลัยเทคนิคสระบุรี                  |
| (2) อาจารย์กัลยา เข็นฉ่ำ        | อาจารย์ประจำ<br>มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี                                   |
| (3) อาจารย์สิงห์ชัย อ่อนพิทักษ์ | คศ.1<br>อาจารย์ประจำแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์<br>วิทยาลัยสารพัดช่างพระนคร |

**ผู้ทรงคุณวุฒิ “ด้านสื่อ”**

| รายนาม                         | ตำแหน่ง/สถานที่ทำงาน   |
|--------------------------------|--|
| (1) อาจารย์คนึงนิตย์ ปาลีรัมย์ | ครูชำนาญการ คศ.2<br>อาจารย์ประจำแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์<br>วิทยาลัยสารพัดช่างพระนคร |
| (2) นายนวพรรษ ฤกษ์ระรื่นศรี    | หัวหน้าฝ่ายกราฟฟิคดีไซน์<br>บริษัท แสงชัยมิเตอร์ จำกัด                                 |
| (3) นายยุทธนา พงศ์ฤกษ์ชาติ     | ผู้จัดการ<br>บริษัท แอดชายน์ คอมมูนิเคชั่น จำกัด                                       |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**แบบประเมินคุณภาพ  
(สำหรับผู้ทรงคุณวุฒิด้านสื่อ)**

**คำชี้แจง**

แบบประเมินคุณภาพด้านสื่อชุดนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 ประเมินคุณภาพด้านสื่อ ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ

ตอนที่ 2 สอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ ด้านสื่อ

**หลักเกณฑ์การประเมิน**

ตอนที่ 1 โปรดกาเครื่องหมาย (✓) ลงในช่องว่าง ซึ่งสอดคล้องกับความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ด้านสื่อ โดยมีระดับคะแนนดังนี้

ระดับความคิดเห็นด้านสื่อมี 5 ระดับ คือ

5 หมายถึง ระดับดีมาก

4 หมายถึง ระดับดี

3 หมายถึง ระดับปานกลาง

2 หมายถึง ระดับพอใช้

1 หมายถึง ระดับควรปรับปรุง

ตอนที่ 2 โปรดเขียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ เกี่ยวกับด้านสื่อ

ขอขอบพระคุณท่านที่ได้กรุณาเป็นผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพด้านสื่อ บทเรียนบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ เป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

**หมายเหตุ**

ขอความกรุณาท่านผู้ทรงคุณวุฒิช่วยให้ข้อเสนอแนะ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุง

ลงชื่อ.....

(นายประเสริฐ ศรีพนม)

ผู้วิจัย

**แบบประเมินคุณภาพด้านสื่อ**  
**บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ**

**ตอนที่ 1**

| ข้อที่ | รายการประเมิน  | เกณฑ์การพิจารณา |    |         |       |          |
|--------|--|-----------------|----|---------|-------|----------|
|        |  | ดีมาก           | ดี | ปานกลาง | พอใช้ | ปรับปรุง |
|        |  | 5               | 4  | 3       | 2     | 1        |
| 1      | รูปแบบสื่อและการนำเสนอ                               |                 |    |         |       |          |
|        | 1.1 การนำเข้าสู่เนื้อหาที่มีความน่าสนใจ              |                 |    |         |       |          |
|        | 1.2 ความเหมาะสมในรูปแบบและวิธีการนำเสนอ              |                 |    |         |       |          |
|        | 1.3 ลำดับขั้นในการนำเสนอของสื่อตรงเนื้อหาการเรียน    |                 |    |         |       |          |
|        | 1.4 ความเหมาะสมของเวลาในการนำเสนอของภาพในแต่ละเรื่อง |                 |    |         |       |          |
| 2      | ภาพการให้สีที่เหมาะสม สวยงาม                         |                 |    |         |       |          |
|        | 2.1 คุณภาพของรูปภาพที่ใช้มีความคมชัด                 |                 |    |         |       |          |
|        | 2.2 รูปภาพตรงกับเนื้อหา                              |                 |    |         |       |          |
|        | 2.3 ความเหมาะสมของภาพที่ใช้ในบทเรียน                 |                 |    |         |       |          |
|        | 2.4 ความเหมาะสมของสีพื้นที่ใช้ในบทเรียน              |                 |    |         |       |          |
| 3      | ตัวอักษร เสียง                                       |                 |    |         |       |          |
|        | 3.1 ลักษณะของตัวอักษรที่ใช้นำเสนอ                    |                 |    |         |       |          |
|        | 3.2 ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร                       |                 |    |         |       |          |
|        | 3.3 ความชัดเจนของตัวอักษร                            |                 |    |         |       |          |
|        | 3.4 ความเหมาะสมของงานด้านกราฟิก                      |                 |    |         |       |          |
|        | 3.5 ความเหมาะสมของสีพื้นที่ใช้กับตัวอักษร            |                 |    |         |       |          |
|        | 3.6 ความเหมาะสมของเสียงที่ใช้บรรยาย                  |                 |    |         |       |          |
|        | 3.7 ความชัดของเสียงที่บรรยาย                         |                 |    |         |       |          |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตอนที่ 2****2.1 ข้อแสดงความคิดเห็นในการแก้ไข**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**2.2 ข้อเสนอแนะอื่นๆ เกี่ยวกับด้านสื่อ**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ตรวจสอบเรียบร้อย

ลงชื่อ.....

( )

ผู้ทรงคุณวุฒิ

...../...../.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**แบบประเมินคุณภาพ**  
**(สำหรับผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา)**

**คำชี้แจง**

แบบประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาชุดนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน

**ตอนที่ 1** ประเมินคุณภาพด้านเนื้อหา ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ

**ตอนที่ 2** สอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ ด้านเนื้อหา

**หลักเกณฑ์การประเมิน**

**ตอนที่ 1** โปรดกาเครื่องหมาย (✓) ลงในช่องว่าง ซึ่งสอดคล้องกับความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ โดยมีระดับคะแนนดังนี้

ระดับความคิดเห็นด้านเนื้อหา มี 5 ระดับ คือ

- 5 หมายถึง ระดับดีมาก
- 4 หมายถึง ระดับดี
- 3 หมายถึง ระดับปานกลาง
- 2 หมายถึง ระดับพอใช้
- 1 หมายถึง ระดับควรปรับปรุง

**ตอนที่ 2** โปรดเขียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ เกี่ยวกับเนื้อหา

ขอขอบพระคุณท่านที่ได้กรุณาเป็นผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพด้านเนื้อหา ของบทเรียน  
บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ เป็นอย่างสูง ไว้ ณ โอกาสนี้

**หมายเหตุ**

ขอความกรุณาท่านผู้ทรงคุณวุฒิช่วยให้ข้อเสนอแนะ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุง

ลงชื่อ.....

(นายประเสริฐ ศรีพนม)

ผู้วิจัย

**แบบประเมินคุณภาพด้านเนื้อหา**  
**บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ**

**ตอนที่ 1**

| ข้อที่ | รายการประเมิน                                       | เกณฑ์การพิจารณา |         |              |            |               |
|--------|---|-----------------|---------|--------------|------------|---------------|
|        |   | ดีมาก<br>5      | ดี<br>4 | ปานกลาง<br>3 | พอใช้<br>2 | ปรับปรุง<br>1 |
| 1      | ด้านเนื้อหาและการนำเสนอ                             |                 |         |              |            |               |
|        | 1.1 เนื้อหา มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์           |                 |         |              |            |               |
|        | 1.2 เนื้อหา มีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน           |                 |         |              |            |               |
|        | 1.3 ความเหมาะสมการนำเข้าสู่เนื้อหา                  |                 |         |              |            |               |
|        | 1.4 ความเหมาะสมการนำเสนอชัดเจน                      |                 |         |              |            |               |
|        | 1.5 ความถูกต้องของเนื้อหา                           |                 |         |              |            |               |
|        | 1.6 เนื้อหา มีความสนใจในการเรียน                    |                 |         |              |            |               |
| 2      | ด้านเวลาในการนำเสนอ                                 |                 |         |              |            |               |
|        | 2.1 ความเหมาะสมของเวลากับการนำเสนอเนื้อหา           |                 |         |              |            |               |
|        | 2.2 ความเหมาะสมของเวลากับคำบรรยาย                   |                 |         |              |            |               |
|        | 2.3 ความเหมาะสมของเวลาในการนำเสนอ<br>บทเรียนทั้งหมด |                 |         |              |            |               |

**ตอนที่ 2** แสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ เกี่ยวกับเนื้อหา

.....

.....

ตรวจสอบเรียบร้อย

ลงชื่อ.....

( )

ผู้ทรงคุณวุฒิ

...../...../.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก 1 ผลการประเมินคุณภาพด้านสื่อ ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ

| ข้อ<br>ที่   | รายการประเมินด้านสื่อ                                | ผลการประเมิน |         |         |           |      |       |
|--------------|--|--------------|---------|---------|-----------|------|-------|
|              |  | คนที่ 1      | คนที่ 2 | คนที่ 3 | $\bar{X}$ | S.D  | ระดับ |
| 1            | รูปแบบสื่อและการนำเสนอ                               |              |         |         |           |      |       |
|              | 1.1 การนำเข้าสู่เนื้อหาที่มีความน่าสนใจ              | 5            | 5       | 5       | 5.00      | 0.00 | ดีมาก |
|              | 1.2 ความเหมาะสมในรูปแบบและวิธีการนำเสนอ              | 4            | 5       | 4       | 4.33      | 0.58 | ดี    |
|              | 1.3 ลำดับขั้นในการนำเสนอของสื่อตรงเนื้อหาการเรียน    | 5            | 4       | 5       | 4.67      | 0.58 | ดีมาก |
|              | 1.4 ความเหมาะสมของเวลาในการนำเสนอของภาพในแต่ละเรื่อง | 4            | 4       | 4       | 4.00      | 0.00 | ดี    |
| 2            | ภาพการให้สื่อที่เหมาะสม สวยงาม                       |              |         |         |           |      |       |
|              | 2.1 คุณภาพของรูปภาพที่ใช้มีความคมชัด                 | 5            | 4       | 5       | 4.67      | 0.58 | ดีมาก |
|              | 2.2 รูปภาพตรงกับเนื้อหา                              | 4            | 5       | 4       | 4.33      | 0.58 | ดี    |
|              | 2.3 ความเหมาะสมของภาพที่ใช้ในบทเรียน                 | 5            | 5       | 4       | 4.67      | 0.58 | ดีมาก |
|              | 2.4 ความเหมาะสมของสีพื้นที่ใช้ในบทเรียน              | 4            | 5       | 4       | 4.33      | 0.58 | ดี    |
| 3            | ตัวอักษร เสียง                                       |              |         |         |           |      |       |
|              | 3.1 ลักษณะของตัวอักษรที่ใช้นำเสนอ                    | 5            | 5       | 5       | 5.00      | 0.00 | ดีมาก |
|              | 3.2 ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร                       | 5            | 5       | 4       | 4.67      | 0.58 | ดีมาก |
|              | 3.3 ความชัดเจนของตัวอักษร                            | 4            | 4       | 5       | 4.33      | 0.58 | ดี    |
|              | 3.4 ความเหมาะสมของงานด้านกราฟิก                      | 4            | 4       | 5       | 4.33      | 0.58 | ดี    |
|              | 3.5 ความเหมาะสมของสีพื้นที่ใช้กับตัวอักษร            | 4            | 5       | 4       | 4.33      | 0.58 | ดี    |
|              | 3.6 ความเหมาะสมของเสียงที่ใช้บรรยาย                  | 5            | 5       | 4       | 4.67      | 0.58 | ดีมาก |
|              | 3.7 ความชัดของเสียงที่บรรยาย                         | 5            | 4       | 4       | 4.33      | 0.58 | ดี    |
| ค่าเฉลี่ยรวม |  | 4.53         | 4.60    | 4.40    | 4.51      | 0.46 | ดีมาก |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 2 ผลการประเมินคุณภาพด้านเนื้อหา ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลกหะ

| ข้อที่       | รายการประเมินด้านเนื้อหา                        | ผลการประเมิน |         |         |           |      |       |
|--------------|---|--------------|---------|---------|-----------|------|-------|
|              |   | คนที่ 1      | คนที่ 2 | คนที่ 3 | $\bar{X}$ | S.D  | ระดับ |
| 1            | ด้านเนื้อหาและการนำเสนอ                         |              |         |         |           |      |       |
|              | 1.1 เนื้อหา มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์       | 5            | 5       | 4       | 4.67      | 0.58 | ดีมาก |
|              | 1.2 เนื้อหา มีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน       | 4            | 5       | 4       | 4.33      | 0.58 | ดี    |
|              | 1.3 ความเหมาะสมการนำเข้าสู่เนื้อหา              | 5            | 5       | 4       | 4.67      | 0.58 | ดีมาก |
|              | 1.4 ความเหมาะสมการนำเสนอชัดเจน                  | 4            | 4       | 5       | 4.33      | 0.58 | ดี    |
|              | 1.5 ความถูกต้องของเนื้อหา                       | 5            | 5       | 5       | 5.00      | 0.00 | ดีมาก |
|              | 1.6 เนื้อหา มีความสนใจในการเรียน                | 4            | 5       | 5       | 4.67      | 0.58 | ดี    |
| 2            | ด้านเวลาในการนำเสนอ                             |              |         |         |           |      |       |
|              | 2.1 ความเหมาะสมของเวลากับการนำเสนอเนื้อหา       | 4            | 5       | 4       | 4.33      | 0.58 | ดี    |
|              | 2.2 ความเหมาะสมของเวลากับคำบรรยาย               | 5            | 5       | 4       | 4.67      | 0.58 | ดีมาก |
|              | 2.3 ความเหมาะสมของเวลาในการนำเสนอบทเรียนทั้งหมด | 4            | 4       | 4       | 4.00      | 0.00 | ดี    |
| ค่าเฉลี่ยรวม |   | 4.44         | 4.78    | 4.33    | 4.52      | 0.45 | ดีมาก |

ตารางที่ ค 3 สรุปผลการประเมินคุณภาพด้านเนื้อหา และด้านสื่อของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลกหะ

| ข้อที่ | รายการประเมินด้านเนื้อหา | ผลการประเมิน |         |         |           |      |       |
|--------|--------------------------|--------------|---------|---------|-----------|------|-------|
|        |                          | คนที่ 1      | คนที่ 2 | คนที่ 3 | $\bar{X}$ | S.D  | ระดับ |
| 1      | ค่าเฉลี่ยรวมด้านสื่อ     | 4.53         | 4.60    | 4.40    | 4.51      | 0.46 | ดีมาก |
| 2      | ค่าเฉลี่ยรวมด้านเนื้อหา  | 4.44         | 4.78    | 4.33    | 4.52      | 0.45 | ดีมาก |
|        | ค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมด      | 4.50         | 4.67    | 4.37    | 4.51      | 0.46 | ดีมาก |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**แบบประเมินความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม**  
(สำหรับผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา)

**คำชี้แจง :** แบ่งหลักเกณฑ์ออกเป็น 2 ข้อ ดังนี้

(1) หลักเกณฑ์ของวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม เพื่อประเมินแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะมีวัตถุประสงค์ดังนี้

(1.1) สามารถบอกและอธิบายได้ถึง แหล่งกำเนิด ที่มาของโลหะ

(1.2) สามารถบอกและอธิบายได้ถึง คุณสมบัติลักษณะของ เหล็ก ทองแดง อลูมิเนียม และแมกนีเซียม

(1.3) สามารถบอกและอธิบายได้ถึงกระบวนการผลิตของโลหะจำพวก เหล็ก ทองแดง อลูมิเนียม และแมกนีเซียมได้

(1.4) สามารถบอกและอธิบายได้ลักษณะการนำไปใช้งานของโลหะจำพวก เหล็ก ทองแดง อลูมิเนียม และแมกนีเซียมได้

(2) หลักเกณฑ์การประเมินความสอดคล้องให้ท่านกาเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่าง ที่ตรงกับความคิดเห็นว่าในแบบทดสอบแต่ละข้อมีค่าความสอดคล้องกับพฤติกรรมการเรียนรู้มากหรือน้อย โดยพิจารณาถึงความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ดังนี้

คะแนน +1 สำหรับแบบทดสอบที่มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

คะแนน 0 สำหรับแบบทดสอบที่ไม่แน่ใจว่ามีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

คะแนน -1 สำหรับแบบทดสอบที่ไม่มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

ขอขอบพระคุณท่านที่ได้กรุณาเป็นผู้ทรงคุณวุฒิประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ เป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ลงชื่อ.....

(นายประเสริฐ ศรีพนม)

ผู้วิจัย

## แบบประเมินความสอดคล้อง

## ระหว่าง

## แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

| แบบทดสอบสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม  | เกณฑ์การพิจารณาความสอดคล้อง |   |    |
|--|-----------------------------|---|----|
|  | 1                           | 0 | -1 |
| <p>1) ข้อใด คือ ความหมายของ แร่โลหะ (Metallic Mineral)</p> <p>ก. แร่ที่มีธาตุโลหะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ สามารถนำไปถลุงและแยกเอาโลหะในแร่มาใช้ประโยชน์ได้ เช่น แร่ทองแดง ดีบุก สังกะสี เหล็ก เงิน ตะกั่ว เป็นต้น</p> <p>ข. ธาตุหรือสารประกอบอนินทรีย์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีส่วนประกอบทางเคมีตั้งแต่ชนิดเดียวจนถึงหลายชนิดปนกัน</p> <p>ค. เป็นวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในการแยกโลหะออกจากแหล่งแร่และสารประกอบ</p> <p>ง. ถูกทุกข้อ</p>  | 1                           | 0 | -1 |
| <p>2) สินแร่เฮมาไทต์ (Hematite) มีชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์ ว่าอย่างไร</p> <p>ก. เฟอโรโซเฟอริกออกไซด์ (<math>Fe_3O_4</math>) มีลักษณะเป็นสินแร่สีดำ</p> <p>ข. เหล็กคาร์บอเนต (Iron carbonate; <math>FeCO_3</math>) มีลักษณะเป็นสินแร่สีน้ำตาล</p> <p>ค. เหล็กออกไซด์ (<math>Fe_2O_3</math>) มีลักษณะเป็นสินแร่สีแดง</p> <p>ง. เหล็กออกไซด์และน้ำ (<math>Fe_2O_3 \cdot H_2O</math>) มีลักษณะเป็นสินแร่สีน้ำตาล</p>  | 1                           | 0 | -1 |
| <p>3) ข้อใดอธิบายลักษณะของเตาสูง (Blast Furnace) ได้ถูกต้องที่สุด</p> <p>ก. เตาสูงมีลักษณะเป็นปล่องสูงเรียวขึ้นไปจนถึงปากปล่อง ส่วนตรงกลางเตาจะป่องและค่อยๆ เรียวลงมายังก้นเตา เปลือกนอกของเตาหุ้มด้วยเหล็กแผ่น ผนังภายในเรียงด้วยอิฐทนไฟ</p> <p>ข. เตาสูงมีลักษณะเป็นปล่องสูงรูปสี่เหลี่ยม สูงขึ้นไปจนถึงปากปล่อง เปลือกนอกของเตาหุ้มด้วยเหล็กแผ่น ผนังภายในเรียงด้วยอิฐทนไฟ</p> <p>ค. เตาสูงมีลักษณะเป็นปล่องสูงรูปสามเหลี่ยม สูงขึ้นไปจนถึงปากปล่อง</p> <p>ง. ผิดทุกข้อ</p> | 1                           | 0 | -1 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|  |   |   |    |
|--|---|---|----|
| <p>4) เตาสูง (Blast Furnace) จะทำงานติดต่อกันตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลานาน ประมาณกี่ปีจึงจะปิดซ่อมแซมครั้งหนึ่ง</p> <p>ก. ประมาณ 20 ปี</p> <p>ข. ประมาณ 15 ปี</p> <p>ค. ประมาณ 10 ปี</p> <p>ง. ประมาณ 5 ปี</p>   | 1 | 0 | -1 |
| <p>5) ข้อใดอธิบายส่วนประกอบและลักษณะของ ฐานเตาสูง (Foundation) ได้ถูกต้องที่สุด</p> <p>ก. เป็นส่วนที่รองรับน้ำหนักของเตาทั้งหมด ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ฐานรากตอกเป็นพื้นคอนกรีตอัดแรงเพื่อป้องกันพื้นทรุด</p> <p>ข. เป็นส่วนที่รองรับน้ำหนักของเตาทั้งหมด ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ฐานรากจะต้องตอกเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงเพื่อป้องกันพื้นทรุด เนื่องจากขณะทำการหลุงจะมีน้ำหนักของตัวเตาของวัตถุดิบที่ใส่ลงไปในเตา และน้ำหนักเหล็กดิบที่กำลังหลอมละลาย</p> <p>ค. เป็นส่วนที่รองรับน้ำหนักของเตาทั้งหมด ทำด้วยคอนกรีตฉาบเรียบ ฐานรากจะต้องตอกเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงเพื่อป้องกันพื้นทรุด เนื่องจากขณะทำการหลุงจะมีน้ำหนักของตัวเตาของวัตถุดิบที่ใส่ลงไปในเตา และน้ำหนักเหล็กดิบที่กำลังหลอมละลาย</p> <p>ง. ผิดทุกข้อ</p> | 1 | 0 | -1 |
| <p>6) ที่บริเวณก้นเตา (Hearth) มีรูสำหรับเจาะเอาน้ำเหล็กออก ถัดขึ้นไปสูงจากรูเจาะที่เอาน้ำเหล็กออกแต่อยู่คนละข้างของเตา จะมีรูเจาะอีกรูหนึ่ง สำหรับระบายขี้ตะกรัน (Slag) ยกทราบว่าทำไมจึงเจาะรูระบายขี้ตะกรันสูงกว่ารูระบายเอาน้ำเหล็กออก</p> <p>ก. เพราะขี้ตะกรันเบากว่าน้ำเหล็ก</p> <p>ข. เพราะขี้ตะกรันหนักกว่าน้ำเหล็ก</p> <p>ค. เพื่อความสะดวกและสวยงาม</p> <p>ง. ผิดทุกข้อ</p>   | 1 | 0 | -1 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|   |   |   |    |
|---|---|---|----|
| 7) ข้อใดอธิบายลักษณะของงานอุตสาหกรรมที่นำเหล็กแต่ละประเภทไปใช้งานได้ตรงประเด็นที่สุด  | 1 | 0 | -1 |
| <p>ก. เหล็กหล่อสีเทา นำไปใช้เป็นชิ้นส่วนจักรเย็บผ้า ฐานเครื่องจักร ท่อ ไอเสียส่วนต่อจากเครื่องเลื่อย กระจบอกสูบ ลูกสูบ ล้อเบรค แบบหล่อ วาล์ว เป็นต้น</p> <p>ข. เหล็กหล่อสีขาว นำไปใช้เป็นชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่สามารถต้านทานการเสียดสี แต่รับแรงกระแทกได้น้อย เช่น เครื่องมือที่ใช้กดของแข็ง ผ้าเบรค งานเจียรไนเพชรพลอย หัวพ่นทราย ใช้บุผนังเครื่องไม้ เป็นต้น</p> <p>ค. เหล็กหล่อเหนียว นำไปใช้เป็น กระจบอกวาล์ว เพลลาข้อเหวี่ยง เลื่อยปัม งานเบรค งานคัดลศ แม่พิมพ์ และกระปุกเกียร์ เป็นต้น</p> <p>ง. ถูกทุกข้อ</p> |   |   |    |
| 8) สินแร่ทองแดงที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการผลิตโลหะทองแดงส่วนมากจะเป็นแร่ประเภท ซัลไฟด์ (sulfide) ซึ่งมีสองชนิด ด้วยกันคือข้อใด   | 1 | 0 | -1 |
| <p>ก. สินแร่ลิโมนิท์ (Limonite) และสินแร่ซิเดอไรท์ (Siderite)</p> <p>ข. สินแร่ชาลโคไซต์ (Chalcocite) และสินแร่ชาลโคไพไรท์ (Chalcopyrite)</p> <p>ค. สินแร่แม่เหล็ก (Magnetite) และสินแร่ชาลโคไพไรท์ (Chalcopyrite)</p> <p>ง. ผิดทุกข้อ</p>   |   |   |    |
| 9) ทองแดง (Copper) มีชื่อย่อทางสัญลักษณ์ คือข้อใด   | 1 | 0 | -1 |
| <p>ก. <math>CuFeS_2</math></p> <p>ข. <math>CO_3</math></p> <p>ค. <math>Cu</math></p> <p>ง. <math>Cu_2S</math></p>   |   |   |    |
| 10) การเผาหรือย่างในอากาศจะได้ทองแดงที่มีความบริสุทธิ์ประมาณกี่เปอร์เซ็นต์  | 1 | 0 | -1 |
| <p>ก. 99~100%</p> <p>ข. 87~90%</p> <p>ค. 70~80%</p> <p>ง. 97~99%</p>  |   |   |    |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|   |   |   |    |
|---|---|---|----|
| <p>11) ขั้นตอนใดที่ทำให้ทองแดงมีความบริสุทธิ์มากถึง 99%</p> <p>ก. ขั้นตอนการย่าง</p> <p>ข. ขั้นตอนการถลุงในเบ้า</p> <p>ค. ขั้นตอนการแยกด้วยไฟฟ้า</p> <p>ง. ขั้นตอนการคัดหัวแร่</p>  | 1 | 0 | -1 |
| <p>12) ข้อใดต่อไปนี้อธิบายถึงขั้นตอนหรือวิธีการถลุงแร่ทองแดงได้ถูกต้องมากที่สุด</p> <p>ก. วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า วิธีคัดเอาหัวแร่ วิธีการย่าง และวิธีถลุงในเบ้า</p> <p>ข. วิธีคัดเอาหัวแร่ วิธีการย่าง วิธีถลุงในเบ้า และวิธีการแยกด้วยไฟฟ้า</p> <p>ค. วิธีการย่าง วิธีคัดเอาหัวแร่ วิธีถลุงในเบ้า และวิธีการแยกด้วยไฟฟ้า</p> <p>ง. วิธีถลุงในเบ้า วิธีคัดเอาหัวแร่ วิธีการย่าง และวิธีการแยกด้วยไฟฟ้า</p> | 1 | 0 | -1 |
| <p>13) เมื่อทำการย่างซัลไฟด์จะทำให้เกิดก๊าซใดในบรรยากาศ</p> <p>ก. เกิดออกซิไดซ์ในบรรยากาศ</p> <p>ข. เกิดออกซิเจนในบรรยากาศ</p> <p>ค. เกิดคาร์บอนในบรรยากาศ</p> <p>ง. ข้อ ข และข้อ ค ถูก</p>   | 1 | 0 | -1 |
| <p>14) ข้อใดอธิบายถึงคุณสมบัติของทองแดงได้ถูกต้องมากที่สุด</p> <p>ก. ทองแดงเป็นตัวนำทางไฟฟ้าได้ดี ทนต่อการกัดกร่อน และสามารถดึงให้เป็นเส้นได้</p> <p>ข. ทองแดงเป็นตัวนำทางไฟฟ้าได้ไม่ดี ไม่ทนการกัดกร่อน และไม่สามารถดึงให้เป็นเส้นได้</p> <p>ค. ทองแดงเป็นตัวนำความร้อนที่ดี และไม่มีสารแม่เหล็ก</p> <p>ง. ถูกทั้งข้อ ก และข้อ ค</p>   | 1 | 0 | -1 |

|   |   |   |    |
|---|---|---|----|
| <p>15) เมื่อทองแดงถูกคินฟ้าอากาศภายนอกจะเกิดเบสิกคาร์บอเนต (Basic Carbonate) เป็นสีอะไรและมีประโยชน์อย่างไร</p> <p>ก. เป็นสีแดง ช่วยทำให้น้ำไฟฟ้าได้ดี</p> <p>ข. เป็นสีชมพูอ่อนๆ ช่วยป้องกันทองแดงให้คงทนได้เป็นอย่างดี</p> <p>ค. เป็นสีเขียวๆ บางๆ จับอยู่ที่ผิวสิ่งนี้ป้องกันทองแดงให้คงทนได้เป็นอย่างดี</p> <p>ง. ผิดทุกข้อ</p>  | 1 | 0 | -1 |
| <p>16) นักเคมีคนแรกที่พยายามทดลองแยกอะลูมิเนียมออกจากสารอะลูมินา คือใคร</p> <p>ก. ฟรีดริช โวเลอร์ (Friedrich Wohler)</p> <p>ข. ฮันส์ คริสเตียน เออร์สเตด (Hans Christian Oersted)</p> <p>ค. เซอร์ฮัมฟรีย์ เดวี (Sir Humphry Davy)</p> <p>ง. ผิดทุกข้อ</p>   | 1 | 0 | -1 |
| <p>17) “กระบวนการของ ฮอลล์-เฮรูลต์” (Hall-Héroult process) ใครเป็นผู้ค้นพบกระบวนการแยกอะลูมิเนียมวิธีนี้</p> <p>ก. ฟรีดริช โวเลอร์ และเซอร์ฮัมฟรีย์ เดวี</p> <p>ข. ฮันส์ คริสเตียน เออร์สเตด และเซอร์ฮัมฟรีย์ เดวี</p> <p>ค. เซอร์ฮัมฟรีย์ เดวี และฟรีดริช โวเลอร์</p> <p>ง. ชาร์ลส มาร์ติน ฮอลล์ และปอล ลูส์ ตูส์แซนต์ แอรูลต์</p>   | 1 | 0 | -1 |
| <p>18) ทำไมจึงต้องนำสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide ) ไปผสมกับแร่บอกไซต์ที่ผ่านการบดให้มีขนาดเล็กลง ข้อใดอธิบายได้ถูกต้องที่สุด</p> <p>ก. เพราะว่าการใช้สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นด่าง และความร้อน ทำให้สารอะลูมินาในแร่บอกไซต์ละลายออกมาในรูปของสารประกอบอะลูมิเนียม ไฮดรอกไซด์ (Al(OH)<sub>3</sub>)</p> <p>ข. เพราะที่สารละลายอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ถูกทำให้เย็น และปล่อยให้ตกตะกอนออก</p> <p>ค. เพราะว่าจะทำให้อะลูมิเนียมเหลวจะเกิดขึ้นที่ขั้วแคโทด</p> <p>ง. ผิดทุกข้อ</p> | 1 | 0 | -1 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|   |   |   |    |
|---|---|---|----|
| <p>19) วิธีการแยกสารอลูมิเนียมออกจากแร่บอกไซต์ โดยวิธีของเบเยอร์ (Bayer Process) มีกี่ขั้นตอนอะไรบ้าง</p>   | 1 | 0 | -1 |
| <p>ก. มี 4 ขั้นตอน คือ การย่อย, การทำให้ใส การทำให้ตกตะกอน และการเผาไล่น้ำ</p> <p>ข. มี 5 ขั้นตอน คือ การย่อย, การทำให้ใส, การทำให้ตกตะกอน, การเผาไล่น้ำ และแยกด้วยไฟฟ้า</p> <p>ค. มี 4 ขั้นตอน คือ การย่อย, การทำให้ใส, การทำให้ตกตะกอน, และแยกด้วยไฟฟ้า</p> <p>ง. มี 4 ขั้นตอนคือการย่อย, การทำให้ใส, การเผาไล่น้ำ และแยกด้วยไฟฟ้า</p>  |   |   |    |
| <p>20) อลูมิเนียมมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่กี่องศา</p> <p>ก. 990°C</p> <p>ข. 1050°C</p> <p>ค. 660°C</p> <p>ง. 860°C</p>   | 1 | 0 | -1 |
| <p>21) ข้อใดอธิบายถึงคุณสมบัติของอลูมิเนียม ได้ดีและชัดเจนที่สุด</p> <p>ก. มีน้ำหนักมาก, จุดหลอมเหลวสูง, เป็นโลหะที่ไม่มีพิษต่อร่างกาย</p> <p>ข. มีน้ำหนักเบา, มีความเหนียวมาก, จุดหลอมเหลวต่ำ, เป็นโลหะที่ไม่มีพิษต่อร่างกาย</p> <p>ค. มีน้ำหนักเบา, มีความเหนียวน้อย, จุดหลอมเหลวสูง, เป็นโลหะที่ไม่มีพิษต่อร่างกาย</p> <p>ง. มีน้ำหนักเบา, มีความเหนียวมาก, จุดหลอมเหลวต่ำ, เป็นโลหะที่มีพิษต่อร่างกาย</p> | 1 | 0 | -1 |
| <p>22) อลูมิเนียมฟอยล์แผ่นชนิดบาง ใช้กับกลุ่มผลิตภัณฑ์ประเภทใด</p> <p>ก. หม้อน้ำรถยนต์, เครื่องทำความเย็นรถยนต์</p> <p>ข. บรรจุภัณฑ์อาหารว่าง, บรรจุภัณฑ์ช็อคโกแลต, ฉลากปิดสินค้า, ของบรรจุถุงยางอนามัย</p> <p>ค. ฝาเหล็ก, ฝากระป๋องด้านบน</p> <p>ง. ฝาขวด, ฉนวนกันความร้อน</p>   | 1 | 0 | -1 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|  |   |   |    |
|--|---|---|----|
| <p>23) อลูมิเนียมแผ่นเรียบ ใช้กับกลุ่มผลิตภัณฑ์ประเภทใด</p> <p>ก. แผงบรรจุยาเม็ด, เทปอลูมิเนียม</p> <p>ข. ฝาเครื่องดื่มบำรุงกำลัง</p> <p>ค. ป้ายโฆษณา, ป้ายทางหลวง, ป้ายสินค้า</p> <p>ง. ถูกทุกข้อ</p> | 1 | 0 | -1 |
| <p>24) โลหะแมกนีเซียมได้มาจากแหล่งกำเนิดใด</p> <p>ก. น้ำทะเลและสินแร่หินปูนโคโลไมต์</p> <p>ข. น้ำจืดและสินแร่หินปูนโคโลไมต์</p> <p>ค. น้ำทะเลและสารสังเคราะห์</p> <p>ง. น้ำทะเลและน้ำจืด</p>           | 1 | 0 | -1 |
| <p>25) แมกนีเซียม (Magnesium) มีชื่อย่อทางสัญลักษณ์คือข้อใด</p> <p>ก. Mg.</p> <p>ข. MI.</p> <p>ค. Ms.</p> <p>ง. Mn.</p>  | 1 | 0 | -1 |
| <p>26) วิธีการแยกสารประกอบของแมกนีเซียมด้วยกระแสไฟฟ้าสารแมกนีเซียมจะเกาะติดที่ขั้วใด</p> <p>ก. แคโทด</p> <p>ข. แอโนด</p> <p>ค. แอโนด และแคโทด</p> <p>ง. ผิดทุกข้อ</p>                                  | 1 | 0 | -1 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|   |   |   |    |
|---|---|---|----|
| <p>27) วิธีการแยกสารประกอบของแมกนีเซียมด้วยกระแสไฟฟ้าจะได้ก๊าซคลอรีน<br/>เกาะติดที่ขั้วใด</p> <p>ก. แคโทด<br/>ข. แอโนด<br/>ค. แอโนด และแคโทด<br/>ง. ผิดทุกข้อ</p>   | 1 | 0 | -1 |
| <p>28) แมกนีเซียมมีจุดหลอมเหลวกี่องศา</p> <p>ก. 1050°C<br/>ข. 950°C<br/>ค. 700°C<br/>ง. 650°C</p>   | 1 | 0 | -1 |
| <p>29) แมกนีเซียมมีสีอะไร</p> <p>ก. ขาวปนแดง<br/>ข. เขียวปนเทา<br/>ค. ขาวปนเทา<br/>ง. ฟ้าปนน้ำตาล</p>   | 1 | 0 | -1 |
| <p>30) โลหะผสมระหว่าง แมกนีเซียมกับอลูมิเนียม (Mg + Al) โลหะผสมแมกนีเซียม<br/>ชนิดนี้มี อลูมิเนียมเป็นธาตุผสมหลักและมีแมงกานีสกับสังกะสีเป็นธาตุผสมรอง<br/>โลหะผสมชนิดนี้จะมี ความแข็งแรงทนทานสูง นำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ประเภทใด</p> <p>ก. งานหล่อ งานตีขึ้นรูป ชิ้นส่วนรถยนต์ ชิ้นส่วนเครื่องจักร<br/>ข. ทำหลอดไฟถ้ำยรูป ใช้ทำดอกไม้ไฟ<br/>ค. เครื่องเป่าลม ตัวกล้องถ้ำยรูป<br/>ง. ข้อ ก และ ข้อ ค ถูก</p> | 1 | 0 | -1 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**เฉลย : แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับวัดอุปประสงค์เชิงพฤติกรรม**

|      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| ข้อ  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| เฉลย | ก | ก | ก | ก | ข | ก | ง | ข | ค | ง  | ค  | ข  | ก  | ง  | ค  |

|      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| ข้อ  | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| เฉลย | ก  | ง  | ก  | ก  | ค  | ข  | ข  | ค  | ก  | ก  | ก  | ข  | ง  | ค  | ก  |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ 1 ผลการวิเคราะห์หาค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับ  
วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม มีรายละเอียดดังนี้

| แบบทดสอบ<br>ทั้งหมดมี 30 ข้อ | ผู้ทรงคุณวุฒิ |         |         | $\Sigma R$ | IOC  | ผลการประเมิน |
|------------------------------|---------------|---------|---------|------------|------|--------------|
|                              | คนที่ 1       | คนที่ 2 | คนที่ 3 |            |      |              |
| 1                            | 1             | 1       | 1       | 3          | 1.00 | สอดคล้อง     |
| 2                            | 1             | 1       | 0       | 2          | 0.67 | สอดคล้อง     |
| 3                            | 1             | 0       | 1       | 2          | 0.67 | สอดคล้อง     |
| 4                            | 1             | 1       | 1       | 3          | 1.00 | สอดคล้อง     |
| 5                            | 0             | 1       | 1       | 2          | 0.67 | สอดคล้อง     |
| 6                            | 1             | 1       | 0       | 2          | 0.67 | สอดคล้อง     |
| 7                            | 1             | 1       | 1       | 3          | 1.00 | สอดคล้อง     |
| 8                            | 1             | 1       | 1       | 3          | 1.00 | สอดคล้อง     |
| 9                            | 0             | 1       | 1       | 2          | 0.67 | สอดคล้อง     |
| 10                           | 1             | 1       | 1       | 3          | 1.00 | สอดคล้อง     |
| 11                           | 1             | 1       | 0       | 2          | 0.67 | สอดคล้อง     |
| 12                           | 1             | 1       | 1       | 3          | 1.00 | สอดคล้อง     |
| 13                           | 0             | 1       | 1       | 2          | 0.67 | สอดคล้อง     |
| 14                           | 1             | 1       | 1       | 3          | 1.00 | สอดคล้อง     |
| 15                           | 1             | 1       | 1       | 3          | 1.00 | สอดคล้อง     |
| 16                           | 1             | 1       | 1       | 3          | 1.00 | สอดคล้อง     |
| 17                           | 0             | 1       | 1       | 2          | 0.67 | สอดคล้อง     |
| 18                           | 1             | 1       | 1       | 3          | 1.00 | สอดคล้อง     |
| 19                           | 1             | 1       | 1       | 3          | 1.00 | สอดคล้อง     |
| 20                           | 1             | 1       | 1       | 3          | 1.00 | สอดคล้อง     |
| 21                           | 1             | 1       | 1       | 3          | 1.00 | สอดคล้อง     |
| 22                           | 1             | 1       | 1       | 3          | 1.00 | สอดคล้อง     |
| 23                           | 1             | 1       | 1       | 3          | 1.00 | สอดคล้อง     |
| 24                           | 1             | 0       | 1       | 2          | 0.67 | สอดคล้อง     |
| 25                           | 1             | 1       | 1       | 3          | 1.00 | สอดคล้อง     |
| 26                           | 1             | 1       | 1       | 3          | 1.00 | สอดคล้อง     |
| 27                           | 1             | 0       | 1       | 2          | 0.67 | สอดคล้อง     |
| 28                           | 1             | 1       | 1       | 3          | 1.00 | สอดคล้อง     |
| 29                           | 0             | 1       | 1       | 2          | 0.67 | สอดคล้อง     |
| 30                           | 1             | 1       | 1       | 3          | 1.00 | สอดคล้อง     |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑ 1 ผลการวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และค่าความเชื่อมั่น ดังมีรายละเอียด  
ดังนี้

| แบบทดสอบ<br>ทั้งหมดมี 30 ข้อ | $f_H$ | $f_L$ | $P = \frac{f_H + f_L}{N_H + N_L}$ | $r = \frac{f_H - f_L}{N_H}$ | q    | pq               | ผลการประเมิน<br>รายข้อ |
|------------------------------|-------|-------|-----------------------------------|-----------------------------|------|------------------|------------------------|
| 1*                           | 10    | 5     | 0.50                              | 0.33                        | 0.50 | 0.25             | สอดคล้อง               |
| 2                            | 9     | 4     | 0.43                              | 0.33                        | 0.57 | 0.25             | สอดคล้อง               |
| 3*                           | 10    | 5     | 0.50                              | 0.33                        | 0.50 | 0.25             | สอดคล้อง               |
| 4*                           | 9     | 4     | 0.43                              | 0.33                        | 0.57 | 0.25             | สอดคล้อง               |
| 5*                           | 8     | 3     | 0.37                              | 0.33                        | 0.63 | 0.23             | สอดคล้อง               |
| 6*                           | 9     | 4     | 0.43                              | 0.33                        | 0.57 | 0.25             | สอดคล้อง               |
| 7*                           | 9     | 4     | 0.43                              | 0.33                        | 0.57 | 0.25             | สอดคล้อง               |
| 8                            | 10    | 3     | 0.43                              | 0.47                        | 0.57 | 0.25             | สอดคล้อง               |
| 9                            | 8     | 3     | 0.37                              | 0.33                        | 0.63 | 0.23             | สอดคล้อง               |
| 10                           | 9     | 4     | 0.43                              | 0.33                        | 0.57 | 0.25             | สอดคล้อง               |
| 11*                          | 10    | 4     | 0.47                              | 0.40                        | 0.53 | 0.25             | สอดคล้อง               |
| 12*                          | 9     | 3     | 0.40                              | 0.40                        | 0.60 | 0.24             | สอดคล้อง               |
| 13                           | 10    | 4     | 0.47                              | 0.40                        | 0.53 | 0.25             | สอดคล้อง               |
| 14*                          | 10    | 5     | 0.50                              | 0.33                        | 0.50 | 0.25             | สอดคล้อง               |
| 15*                          | 10    | 4     | 0.47                              | 0.40                        | 0.53 | 0.25             | สอดคล้อง               |
| 16                           | 9     | 4     | 0.43                              | 0.33                        | 0.57 | 0.25             | สอดคล้อง               |
| 17*                          | 9     | 3     | 0.40                              | 0.40                        | 0.60 | 0.24             | สอดคล้อง               |
| 18*                          | 8     | 3     | 0.37                              | 0.33                        | 0.63 | 0.23             | สอดคล้อง               |
| 19*                          | 8     | 3     | 0.37                              | 0.33                        | 0.63 | 0.23             | สอดคล้อง               |
| 20                           | 8     | 3     | 0.37                              | 0.33                        | 0.63 | 0.23             | สอดคล้อง               |
| 21*                          | 9     | 4     | 0.43                              | 0.33                        | 0.57 | 0.25             | สอดคล้อง               |
| 22*                          | 9     | 3     | 0.40                              | 0.40                        | 0.60 | 0.24             | สอดคล้อง               |
| 23                           | 10    | 5     | 0.50                              | 0.33                        | 0.50 | 0.25             | สอดคล้อง               |
| 24*                          | 10    | 5     | 0.50                              | 0.33                        | 0.50 | 0.25             | สอดคล้อง               |
| 25                           | 10    | 4     | 0.47                              | 0.40                        | 0.53 | 0.25             | สอดคล้อง               |
| 26*                          | 9     | 3     | 0.40                              | 0.40                        | 0.60 | 0.24             | สอดคล้อง               |
| 27                           | 10    | 4     | 0.47                              | 0.40                        | 0.53 | 0.25             | สอดคล้อง               |
| 28*                          | 10    | 4     | 0.47                              | 0.40                        | 0.53 | 0.25             | สอดคล้อง               |
| 29*                          | 9     | 3     | 0.40                              | 0.40                        | 0.60 | 0.24             | สอดคล้อง               |
| 30*                          | 9     | 3     | 0.40                              | 0.40                        | 0.60 | 0.24             | สอดคล้อง               |
|                              |       |       |                                   |                             |      | $\sum pq = 7.31$ |                        |

\* หมายถึง ข้อสอบที่เลือกเอาไปเป็นแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑๒ ผลการวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และค่าความเชื่อมั่น ดังมีรายละเอียด  
ดังนี้

| ประชากร (n) | $X$            | $X^2$             |
|-------------|----------------|-------------------|
| คนที่ 1     | 9              | 81                |
| คนที่ 2     | 9              | 81                |
| คนที่ 3     | 18             | 324               |
| คนที่ 4     | 17             | 289               |
| คนที่ 5     | 16             | 256               |
| คนที่ 6     | 8              | 64                |
| คนที่ 7     | 9              | 81                |
| คนที่ 8     | 15             | 225               |
| คนที่ 9     | 17             | 289               |
| คนที่ 10    | 9              | 81                |
| คนที่ 11    | 17             | 289               |
| คนที่ 12    | 8              | 64                |
| คนที่ 13    | 16             | 256               |
| คนที่ 14    | 18             | 324               |
| คนที่ 15    | 16             | 256               |
| คนที่ 16    | 18             | 324               |
| คนที่ 17    | 9              | 81                |
| คนที่ 18    | 9              | 81                |
| คนที่ 19    | 17             | 289               |
| คนที่ 20    | 20             | 64                |
| คนที่ 21    | 11             | 121               |
| คนที่ 22    | 17             | 289               |
| คนที่ 23    | 10             | 100               |
| คนที่ 24    | 17             | 289               |
| คนที่ 25    | 12             | 144               |
| คนที่ 26    | 17             | 289               |
| คนที่ 27    | 8              | 64                |
| คนที่ 28    | 10             | 100               |
| คนที่ 29    | 16             | 256               |
| คนที่ 30    | 9              | 81                |
| คะแนนรวม    | $\sum x = 390$ | $\sum x^2 = 5532$ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) หาค่าระดับความยากง่าย โดยแทนค่าลงในสมการสูตร ดังนี้

สมการสูตร

$$P = \frac{f_H + f_L}{N_H + N_L}$$

เมื่อ

- $P$  หมายถึง ระดับความยากง่ายของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน  
 $f_H$  หมายถึง จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มสูง  
 $f_L$  หมายถึง จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มต่ำ  
 $N_H$  หมายถึง จำนวนนักศึกษาทั้งหมดในกลุ่มสูง  
 $N_L$  หมายถึง จำนวนนักศึกษาทั้งหมดในกลุ่มต่ำ

(2) หาค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ โดยแทนค่าลงในสมการสูตร ดังนี้

สมการสูตร

$$r = \frac{f_H - f_L}{N_H}$$

เมื่อ

- $r$  หมายถึง ค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ  
 $f_H$  หมายถึง จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มสูง  
 $f_L$  หมายถึง จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มต่ำ  
 $N_H$  หมายถึง จำนวนนักศึกษาทั้งหมดในกลุ่มสูง

(3) หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ก่อนอื่นต้องทำการแทนค่าหาความแปรปรวนของคะแนนผู้เข้าสอบทั้งหมดก่อนแล้วจึง หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ดังสมการต่อไปนี้

สมการสูตร

$$r_{tt} = \frac{k}{k-1} \left[ 1 - \frac{\sum pq}{S_i^2} \right] \quad \text{และ} \quad S_i^2 = \frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

- $r_{tt}$  หมายถึง ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน  
 $k$  หมายถึง จำนวนข้อสอบทั้งหมด  
 $p$  หมายถึง สัดส่วนของผู้ที่ตอบถูก  
 $q$  หมายถึง สัดส่วนของผู้ที่ตอบผิด  
 $S_i^2$  หมายถึง ความแปรปรวนของคะแนนผู้เข้าสอบทั้งหมด  
 $n$  หมายถึง จำนวนผู้เข้าสอบ  
 $\sum x$  หมายถึง คะแนนรวมของผู้เข้าสอบ

แทนค่าลงในสมการ

$$\begin{aligned}
 S_i^2 &= \frac{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}{n(n-1)} \\
 &= \frac{30(5532) - (390)^2}{30(30-1)} \\
 S_i^2 &= 15.93
 \end{aligned}$$

แทนค่าเพื่อหาค่าความเชื่อมั่น

$$\begin{aligned}
 r_{tt} &= \frac{k}{k-1} \left[ 1 - \frac{\sum pq}{S_i^2} \right] \\
 &= \frac{30}{(30-1)} \left[ 1 - \frac{7.31}{15.93} \right] \\
 r_{tt} &= 0.56
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ

(แบบทดสอบมีทั้งหมด 20 ข้อ 20 คะแนน)

คำชี้แจง จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว โดยกาเครื่องหมาย ( X ) ลงในกระดาษคำตอบที่แจกให้

- 1) ข้อใด คือ ความหมายของ แร่โลหะ (Metallic Mineral)
  - ก. แร่ที่มีธาตุโลหะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ สามารถนำไปถลุงและแยกเอาโลหะในแร่มาใช้ประโยชน์ได้ เช่น แร่ทองแดง ดีบุก สังกะสี เหล็ก เงิน ตะกั่ว เป็นต้น
  - ข. ธาตุหรือสารประกอบอนินทรีย์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีส่วนประกอบทางเคมีตั้งแต่ชนิดเดียวจนถึงหลายชนิดปนกัน
  - ค. เป็นวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในการแยกโลหะออกจากแหล่งแร่และสารประกอบ
  - ง. ถูกทุกข้อ
- 2) ข้อใดอธิบายลักษณะของเตาสูง (Blast Furnace) ได้ถูกต้องที่สุด
  - ก. เตาสูงมีลักษณะเป็นปล่องสูงเรียวยาวขึ้นไปจนถึงปากปล่อง ส่วนตรงกลางเตาจะป่องและค่อยๆ เรียวลงมายังก้นเตา เปลือกนอกของเตาหุ้มด้วยเหล็กแผ่น ฉนวนภายในเรียงด้วยอิฐทนไฟ
  - ข. เตาสูงมีลักษณะเป็นปล่องสูงรูปสี่เหลี่ยม สูงขึ้นไปจนถึงปากปล่อง เปลือกนอกของเตาหุ้มด้วยเหล็กแผ่น ฉนวนภายในเรียงด้วยอิฐทนไฟ
  - ค. เตาสูงมีลักษณะเป็นปล่องสูงรูปสามเหลี่ยม สูงขึ้นไปจนถึงปากปล่อง เปลือกนอกของเตาหุ้มด้วยเหล็กแผ่น ฉนวนภายในเรียงด้วยอิฐทนไฟ
  - ง. ผิดทุกข้อ
- 3) เตาสูง (Blast Furnace) จะทำงานติดต่อกันตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลานานประมาณกี่ปีจึงจะปิดซ่อมแซมครั้งหนึ่ง
  - ก. ประมาณ 20 ปี
  - ข. ประมาณ 15 ปี
  - ค. ประมาณ 10 ปี
  - ง. ประมาณ 5 ปี
- 4) ข้อใดอธิบายส่วนประกอบและลักษณะของ ฐานเตาสูง (Foundation) ได้ถูกต้องที่สุด
  - ก. เป็นส่วนที่รองรับน้ำหนักของเตาทั้งหมด ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ฐานรากตอกเป็นพื้นคอนกรีตอัดแรงเพื่อป้องกันพื้นทรุด
  - ข. เป็นส่วนที่รองรับน้ำหนักของเตาทั้งหมด ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ฐานรากจะต้องตอกเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงเพื่อป้องกันพื้นทรุด เนื่องจากขณะทำการถลุงจะมีน้ำหนักของตัวเตาของวัตถุดิบที่ใส่ลงไปในเตา และน้ำหนักเหล็กดิบที่กำลังหลอมละลาย
  - ค. เป็นส่วนที่รองรับน้ำหนักของเตาทั้งหมด ทำด้วยคอนกรีตฉาบเรียบ ฐานรากจะต้องตอกเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงเพื่อป้องกันพื้นทรุด เนื่องจากขณะทำการถลุงจะมีน้ำหนักของตัวเตาของวัตถุดิบที่ใส่ลงไปในเตา และน้ำหนักเหล็กดิบที่กำลังหลอมละลาย
  - ง. ผิดทุกข้อ

**แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ**

(แบบทดสอบมีทั้งหมด 20 ข้อ 20 คะแนน)

**คำชี้แจง** จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว โดยกาเครื่องหมาย ( X ) ลงในกระดาษคำตอบที่แจกให้

- 5) ที่บริเวณก้นเตา (Hearth) มีรูสำหรับเจาะเอาน้ำเหล็กออก ถัดขึ้นไปสูงจากรูเจาะที่เอาน้ำเหล็กออกแต่อยู่คนละข้างของเตา จะมีรูเจาะอีกรูหนึ่ง สำหรับระบายขี้ตะกรัน (Slag) ยากทราบว่าทำไมจึงเจาะรูระบายขี้ตะกรันสูงกว่ารูระบายเอาน้ำเหล็กออก
- เพราะขี้ตะกรันเบากว่าน้ำเหล็ก
  - เพราะขี้ตะกรันหนักกว่าน้ำเหล็ก
  - เพื่อความสะดวกและสวยงาม
  - ผิดทุกข้อ
- 6) ข้อใดอธิบายลักษณะของงานอุตสาหกรรมที่นำเหล็กแต่ละประเภทไปใช้งานได้ตรงประเด็นที่สุด
- เหล็กหล่อสีเทา นำไปใช้เป็นชิ้นส่วนจักรเย็บผ้า ฐานเครื่องจักร ท่อไอเสียส่วนต่อจากเครื่อง เสื้อสูบ กระบอกสูบ ลูกสูบ ล้อเบรก แบบหล่อ วาล์ว เป็นต้น
  - เหล็กหล่อสีขาว นำไปใช้เป็นชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่สามารถต้านทานการเสียดสี ได้รับแรงกระแทกได้น้อย เช่น เครื่องมือที่ใช้ขุดของแข็ง ผ้าเบรก งานเฉื่อยระไนเพชรพลอย หัวฟันทราย ใช้บุผนังเครื่องไม้ เป็นต้น
  - เหล็กหล่อเหนียว นำไปใช้เป็น กระบอกวาล์ว เพลาช้อเหวี่ยง เสื้อปั๊ม งานเบรก งานคัตลัช แม่พิมพ์ และกระปุกเกียร์ เป็นต้น
  - ถูกทุกข้อ
- 7) ขั้นตอนใดที่ทำให้ทองแดงมีความบริสุทธิ์มากถึง 99%
- ขั้นตอนการย่าง
  - ขั้นตอนการถลุงในเบ้า
  - ขั้นตอนการแยกด้วยไฟฟ้า
  - ขั้นตอนการกัดหัวแร่
- 8) ข้อใดต่อไปนี้อธิบายถึงขั้นตอนหรือวิธีการถลุงแร่ทองแดงได้ถูกต้องมากที่สุด
- วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า วิธีคัดเอาหัวแร่ วิธีการย่าง และวิธีถลุงในเบ้า
  - วิธีคัดเอาหัวแร่ วิธีการย่าง วิธีถลุงในเบ้า และวิธีการแยกด้วยไฟฟ้า
  - วิธีการย่าง วิธีคัดเอาหัวแร่ วิธีถลุงในเบ้า และวิธีการแยกด้วยไฟฟ้า
  - วิธีถลุงในเบ้า วิธีคัดเอาหัวแร่ วิธีการย่าง และวิธีการแยกด้วยไฟฟ้า
- 9) ข้อใดอธิบายถึงคุณสมบัติของทองแดงได้ถูกต้องมากที่สุด
- ทองแดงเป็นตัวนำทางไฟฟ้าได้ดี ทนต่อการกัดกร่อน และสามารถดึงให้เป็นเส้นได้
  - ทองแดงเป็นตัวนำทางไฟฟ้าได้ไม่ดี ไม่ทนต่อการกัดกร่อน และไม่สามารถดึงให้เป็นเส้นได้
  - ทองแดงเป็นตัวนำความร้อนที่ดี และไม่มีสารแม่เหล็ก
  - ถูกทั้งข้อ ก และข้อ ค

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ

(แบบทดสอบมีทั้งหมด 20 ข้อ 20 คะแนน)

คำชี้แจง จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว โดยกาเครื่องหมาย ( X ) ลงในกระดาษคำตอบที่แจกให้

- 10) เมื่อทองแดงถูกคินฟ้าอากาศภายนอกจะเกิดเบสิกคาร์บอเนต (Basic Carbonate) เป็นสีอะไรและมีประโยชน์อย่างไร
- เป็นสีแดง ช่วยทำให้น้ำไฟฟ้าได้ดี
  - เป็นสีชมพูอ่อนๆ ช่วยป้องกันทองแดงให้คงทนได้เป็นอย่างดี
  - เป็นสีเขียวๆ บางๆ จับอยู่ที่ผิวสิ่งนี้ป้องกันทองแดงให้คงทนได้เป็นอย่างดี
  - ผิดทุกข้อ
- 11) “กระบวนการของ ฮอลล์-เฮอรูลต์” (Hall-Héroult process) ใครเป็นผู้ค้นพบกระบวนการแยกอะลูมิเนียมวิธีนี้
- ฟรีดริช ไวลเลอร์ และเซอร์ฮัมฟรีย์ เดวีส์
  - ฮันส์ คริสเตียน เออร์สเตด และเซอร์ฮัมฟรีย์ เดวีส์
  - เซอร์ฮัมฟรีย์ เดวีส์ และฟรีดริช ไวลเลอร์
  - ชาร์ลส มาร์ติน ฮอลล์ และปอล ลูยส์ ตูส์แซนต์ แอรูลต์
- 12) ทำไมจึงต้องนำสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide ) ไปผสมกับแร่บอกไซต์ที่ผ่านการบดให้มีขนาดเล็กลง ข้อใดอธิบาย ได้ถูกต้องที่สุด
- เพราะว่าการใช้สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นด่าง และความร้อน ทำให้สารอะลูมินาในแร่บอกไซต์ละลายออกมาในรูปของสารประกอบอะลูมิเนียม ไฮดรอกไซด์ (Al(OH)<sub>3</sub>)
  - เพราะว่าสารละลายอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ถูกทำให้เย็น และปล่อยให้ตกตะกอนออก
  - เพราะว่าจะทำให้อะลูมิเนียมเหลวจะเกิดขึ้นที่ขั้วแคโทด
  - ผิดทุกข้อ
- 13) วิธีการแยกสารอะลูมิเนียมออกจากแร่บอกไซต์ โดยวิธีของเบเยอร์ (Bayer Process) มีกี่ขั้นตอนอะไรบ้าง
- มี 4 ขั้นตอน คือ การย่อย, การทำให้ใส, การทำให้ตกตะกอน และการเผาไล่น้ำ
  - มี 5 ขั้นตอน คือ การย่อย, การทำให้ใส, การทำให้ตกตะกอน, การเผาไล่น้ำ และแยกด้วยไฟฟ้า
  - มี 4 ขั้นตอน คือ การย่อย, การทำให้ใส, การทำให้ตกตะกอน, และแยกด้วยไฟฟ้า
  - มี 4 ขั้นตอน คือ การย่อย, การทำให้ใส, การเผาไล่น้ำ และแยกด้วยไฟฟ้า
- 14) ข้อใดอธิบายถึงคุณสมบัติของอะลูมิเนียมได้ดีและชัดเจนที่สุด
- มีน้ำหนักมาก, จุดหลอมเหลวสูง, เป็นโลหะที่ไม่มีพิษต่อร่างกาย
  - มีน้ำหนักเบา, มีความเหนียวมาก, จุดหลอมเหลวต่ำ, เป็นโลหะที่ไม่มีพิษต่อร่างกาย
  - มีน้ำหนักเบา, มีความเหนียวน้อย, จุดหลอมเหลวสูง, เป็นโลหะที่ไม่มีพิษต่อร่างกาย
  - มีน้ำหนักเบา, มีความเหนียวมาก, จุดหลอมเหลวต่ำ, เป็นโลหะที่มีพิษต่อร่างกาย
- 15) อะลูมิเนียมฟอสเฟตแผ่นชนิดบาง ใช้กับกลุ่มผลิตภัณฑ์ประเภทใด
- หม้อน้ำรถยนต์, เครื่องทำความเย็นรถยนต์
  - บรรจุภัณฑ์อาหารว่าง, บรรจุภัณฑ์ช็อคโกแลต, ฉลากปิดสินค้า, ของบรรจุถุงยางอนามัย
  - ฝาเหล็ก, ฝากระป๋องค้ำบน
  - ฝ้าเพดาน, ฉนวนกันความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ

(แบบทดสอบมีทั้งหมด 20 ข้อ 20 คะแนน)

คำชี้แจง จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว โดยกาเครื่องหมาย ( X ) ลงในกระดาษคำตอบที่แจกให้

- 16) โลหะแมกนีเซียมได้มาจากแหล่งกำเนิดใด
- น้ำทะเลและสินแร่หินปูนโคโลไมต์
  - น้ำจืดและสินแร่หินปูนโคโลไมต์
  - น้ำทะเลและสารสังเคราะห์
  - น้ำทะเลและน้ำจืด
- 17) วิธีการแยกสารประกอบของแมกนีเซียมด้วยกระแสไฟฟ้าสารแมกนีเซียมจะเกาะติดที่ขั้วใด
- แคโทด
  - แอโนด
  - แอโนด และแคโทด
  - ผิดทุกข้อ
- 18) แมกนีเซียมมีจุดหลอมเหลวกี่องศา
- 1050°C
  - 950°C
  - 700°C
  - 650°C
- 19) แมกนีเซียมมีสีอะไร
- ขาวปนแดง
  - เขียวปนเทา
  - ขาวปนเทา
  - ฟ้าปนน้ำตาล
- 20) โลหะผสมระหว่าง แมกนีเซียมกับอลูมิเนียม (Mg + Al) โลหะผสมแมกนีเซียมชนิดนี้มี อลูมิเนียมเป็นธาตุผสมหลักและมีแมงกานีสกับสังกะสีเป็นธาตุผสมรอง โลหะผสมชนิดนี้จะมีความแข็งแรงทนทานสูงนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ประเภทใด
- งานหล่อ งานตีขึ้นรูป ชิ้นส่วนรถยนต์ ชิ้นส่วนเครื่องจักร
  - ทำหลอดไฟถ้ำรูป ใช้ทำดอกไม้ไฟ
  - เครื่องเป่าลม ตัวกลิ้งถ้ำรูป
  - ข้อ ก และ ข้อ ค ถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โดทะ**

(แบบทดสอบมีทั้งหมด 20 ข้อ 20 คะแนน)

**คำชี้แจง** จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว โดยกาเครื่องหมาย (X) ลงในกระดาษคำตอบที่แจกให้

**เฉลย : แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของ บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โดทะ**

|      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| ข้อ  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| เฉลย | ก | ก | ค | ข | ก | ง | ค | ข | ง | ค  | ง  | ก  | ก  | ข  | ข  |

|      |    |    |    |    |    |
|------|----|----|----|----|----|
| ข้อ  | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| เฉลย | ก  | ก  | ง  | ค  | ก  |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข 1 คะแนนผลสัมฤทธิ์การทำแบบทดสอบท้ายบทเรียนและแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

| ประชากร<br>(n = 30) | หน่วยการเรียนรู้<br>ที่ 1 | หน่วยการเรียนรู้<br>ที่ 2 | คะแนนรวม<br>ท้ายบทเรียน<br>(คะแนนรวมเต็ม 30 คะแนน) | คะแนนรวม<br>ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน<br>(คะแนนเต็ม 20 คะแนน) |
|---------------------|---------------------------|---------------------------|--|---|
|                     | คะแนนเต็ม<br>15 คะแนน     | คะแนนเต็ม<br>15 คะแนน     | $\sum x$   | $\sum F$  |
| 1.                  | 13                        | 14                        | 27   | 18  |
| 2.                  | 13                        | 12                        | 25   | 17  |
| 3.                  | 11                        | 15                        | 26   | 18  |
| 4.                  | 13                        | 14                        | 27   | 18  |
| 5.                  | 13                        | 14                        | 27   | 18  |
| 6.                  | 13                        | 14                        | 27   | 18  |
| 7.                  | 13                        | 13                        | 26   | 17  |
| 8.                  | 14                        | 14                        | 28   | 19  |
| 9.                  | 13                        | 14                        | 27   | 18  |
| 10.                 | 13                        | 15                        | 28   | 18  |
| 11.                 | 13                        | 12                        | 25   | 17  |
| 12.                 | 12                        | 14                        | 26   | 18  |
| 13.                 | 14                        | 14                        | 28   | 19  |
| 14.                 | 13                        | 13                        | 26   | 17  |
| 15.                 | 12                        | 13                        | 25   | 17  |
| 16.                 | 13                        | 14                        | 27   | 18  |
| 17.                 | 14                        | 12                        | 26   | 18  |
| 18.                 | 14                        | 14                        | 28   | 18  |
| 19.                 | 13                        | 12                        | 25   | 16  |
| 20.                 | 12                        | 15                        | 27   | 18  |
| 21.                 | 13                        | 14                        | 27   | 18  |
| 22.                 | 14                        | 12                        | 26   | 19  |
| 23.                 | 13                        | 13                        | 26   | 17  |
| 24.                 | 13                        | 13                        | 26   | 18  |
| 25.                 | 12                        | 15                        | 27   | 17  |
| 26.                 | 14                        | 14                        | 28   | 18  |
| 27.                 | 14                        | 12                        | 26   | 19  |
| 28.                 | 14                        | 14                        | 28   | 19  |
| 29.                 | 12                        | 15                        | 27   | 18  |
| 30.                 | 12                        | 13                        | 25   | 17  |
| ค่าเฉลี่ย รวม       | 13.00                     | 13.57                     | 26.57  | 17.83   |
|                     |                           | ค่าคะแนนรวม               | 797  | 535   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าเพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียน โดยใช้สูตร E1/E2 (ชัยขงค์ พรหมวงศ์. 2543:491)

$$E1 = \left[ \frac{\sum X/n}{A} \right] \times 100$$

$$E2 = \left[ \frac{\sum F/n}{B} \right] \times 100$$

เมื่อ

E1 แทน ประสิทธิภาพของกระบวนการเรียน

E2 แทน ประสิทธิภาพของผลลัพธ์

$\sum X$  แทน คะแนนรวมของการทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

$\sum F$  แทน คะแนนรวมของการทำแบบทดสอบหลังเรียนครบทุกหน่วยการเรียนรู้

n แทน จำนวนผู้เรียน

A แทน คะแนนเต็มของแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

B แทน คะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังเรียนครบทุกหน่วยการเรียนรู้

แทนค่าสูตร

$$\begin{aligned} E1 &= \left[ \frac{\sum x/n}{A} \right] \times 100 \\ &= \left[ \frac{797/30}{30} \right] \times 100 \\ E1 &= 88.56 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E2 &= \left[ \frac{\sum F/n}{B} \right] \times 100 \\ &= \left[ \frac{535/30}{20} \right] \times 100 \\ E2 &= 89.17 \end{aligned}$$

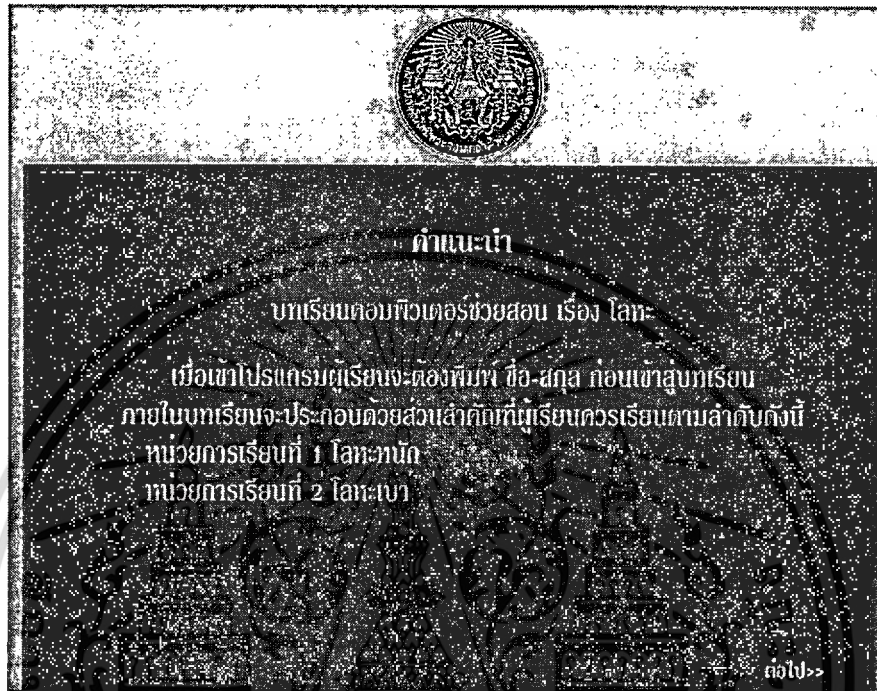
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะ

➤ คำแนะนำการใช้โปรแกรม



➤ ลงทะเบียนผู้เรียน

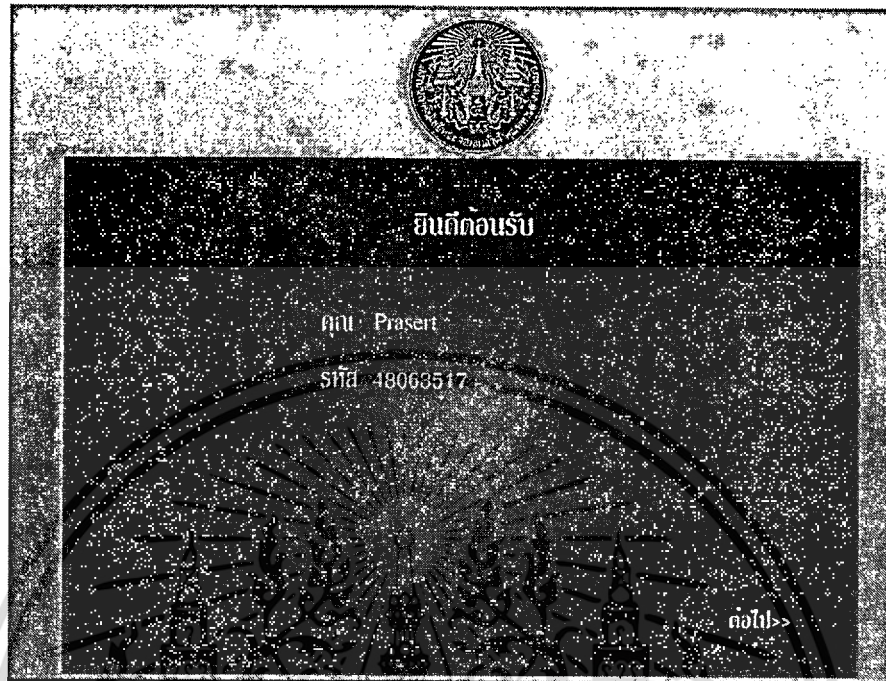
กรณาทิมพ์

ชื่อ-สกุล

รหัสนักศึกษา

ดำเนินการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



➤ **เมนูหลัก :** หน้าแรกของบทเรียน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมนูย่อ : ของหน่วยการเรียนรู้ที่ 1 โลหะหนัก เรื่อง เหล็ก

**บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะหนัก**

วัตถุประสงค์ ทบทวน

**หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 โลหะหนัก**

- 1.1 เหล็ก
  - 1.1.1 ความหมายและที่มาของแหล่งกำเนิด
  - 1.1.2 สิบแร่เหล็ก
  - 1.1.3 กระบวนการถลุงสิบแร่เหล็กด้วยเตาสถู
  - 1.1.4 โลหะประเภทเหล็ก
  - 1.1.5 คุณสมบัติของธาตุต่างๆและการนำไปใช้งาน

ณฐพร พรสวรรค์ สัปดาห์ 48063517

- เมนูย่อ : ของหน่วยการเรียนรู้ที่ 1 โลหะหนัก เรื่อง ทองแดง

**บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โลหะหนัก**

วัตถุประสงค์ ทบทวน

**หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 โลหะหนัก**

- 1.2 ทองแดง
  - 1.2.1 ความเป็นมาและที่มาของแหล่งกำเนิด
  - 1.2.2 สิบแร่ทองแดง
  - 1.2.3 การถลุงทองแดง
  - 1.2.4 คุณสมบัติและการนำไปใช้งาน

ณฐพร พรสวรรค์ สัปดาห์ 48063517

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล : นายประเสริฐ ศรีพนม

วัน เดือน ปี เกิด : 25 สิงหาคม 2508

สถานที่อยู่ภูมิลำเนา : 114/40 ซ.พจนา ถ.มิตรภาพ เขตเทศบาลนครขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น (40000) เบอร์โทรมือถือ 081-6134179, (043-238117)

สถานที่ทำงาน : บริษัท เซอีโซ จำกัด  
263 (นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง) ถ.ฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว  
เขตลาดกระบัง กทม. (10520)

ตำแหน่ง : QMR&EMR/QA. Engineer

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น : ม.3 โรงเรียนน้ำพองศึกษา

ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย : ปวช. สาขาช่างไฟฟ้า  
วิทยาลัยเทคโนโลยีภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จ. ขอนแก่น

ระดับอนุปริญญา : ปวส. สาขาไฟฟ้ากำลัง  
วิทยาลัยเทคโนโลยีภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จ. ขอนแก่น

ระดับปริญญาตรี : อส.บ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จ.ขอนแก่น

ระดับปริญญาโท : ค.อ.ม. สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้