บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง

COMPUTER-ASSISTED INSTRUCTION ON WIDE SPAN STRUCTURE

จารุวัส ศรีภูธร

CHARUWAT SRIPHUTHORN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง

COMPUTER - ASSISTED INSTRUCTION ON WIDE SPAN STRUCTURE

จารุวัส ศรีภูธร

CHARUWAT SRIPHUTHORN

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....73658
วัน,เดือน,ปี...26 ก.ค. 2550

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2550

COMPUTER - ASSISTED INSTRUCTION ON WIDE SPAN STRUCTURE

CHARUWAT SRIPHUTHORN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF INDUSTRIAL EDUCATION IN ARCHITECTURE

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2007

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	**บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง**
นักศึกษา	นายจารุวัส ศรีภูธร
รหัสประจำตัว	45063122
ปริญญา	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ สุรศักดิ์ กังขาว
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาหาคุณภาพและประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องโครงสร้างคุมพื้นที่ช่วงกว้าง โดยตั้งสมมุติฐานว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่พัฒนาขึ้น มีคุณภาพอยู่ในระดับดีขึ้นไป และสามารถใช้เป็นสื่อการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า 1 ตามเกณฑ์ Meguigans

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย เป็นนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต แผนกวิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม ที่ผ่านการเรียนเรื่องโครงสร้างคุมพื้นที่ช่วงกว้าง จำนวน 20 คน ได้มาโดยวิธีการสุ่ม

ผลการวิจัยพบว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องโครงสร้างคุมพื้นที่ช่วงกว้าง ที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพด้านเนื้อหาในระดับดี และคุณภาพด้านเทคนิคการผลิตสื่ออยู่ในระดับดีและมีประสิทธิภาพเท่ากับ 1.038 ซึ่ง เป็นไปตามสมมุติฐานการวิจัย และนำไปสอนได้

Thesis Title	Computer - Assisted Instruction on Wide Span Structure
Student	Mr. Charuwat Sriphuthorn
Student ID.	45063122
Degree	Master of Industrial Education
Program	Master of Architecture
Year	2007
Thesis Advisor	Associate Professor Surasak Kangkav
Thesis Co-Advisor	Assistant Professor Dr. Lertlak Klinhom

ABSTRACT

The purposes of this research were to develop and determine quality and efficiencies of Computer - Assisted Instruction on Wind Span Structure . The hypothesis of this study would be at least good level and efficiency more than 1 follow con script Meguigans standard.

The sample group were 20 science bachelor degree students from Architectural Technic branch Faculty of Industrial Technology Phranakhon Rajabhat University.

The results of this study found that the Computer - Assisted Instruction on Wind Span Structure. Met the best quality of the lesson contents, good media product and efficiency was 1.038 according to the assumption.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก รศ.สุรศักดิ์ กังขาว และ ผศ.ดร.เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำให้ความช่วยเหลือ และตรวจสอบแก้ไขเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ตลอดจนปรับปรุงข้อบกพร่องต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.สมพล ดำรงเสถียรและ รศ.ดร.ปรียาพร วงศ์อนุตระโรจน์ ที่กรุณาตรวจสอบกระบวนการวิจัย ให้คำแนะนำเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์จนสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ ตลอดจนข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้า และเป็นแนวทางในการจัดทำวิทยานิพนธ์จนประสบความสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ ตรวจสอบเครื่องมือในการวิจัย ให้ข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเครื่องมือให้มีคุณภาพ

ขอขอบพระ ท่านผู้ปกครองที่เป็นทุก ๆ อย่างตลอดมา และขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

จารุวัส ศรีภูธร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญรูป.....VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2

1.3 สมมติฐานการวิจัย.....3

1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....3

1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....3

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย.....4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....5

2.1 หลักสูตรสถาบันราชภัฏ พ.ศ.2543 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม เทคนิคสถาปัตยกรรม.....5

2.2 หลักสูตรรายวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3 (5554404).....6

2.3 เนื้อหาเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง.....13

2.4 ความหมายและลักษณะของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน.....77

2.5 รูปแบบการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอน.....78

2.6 ลักษณะการเรียนกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน.....81

2.7 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน.....82

2.8 การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน.....84

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์ช่วยสอน.....87

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....90

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....90

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....90

3.3 การรวมรวมข้อมูล.....95

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....96

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....98

4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบประเมินสื่อการสอนด้านเนื้อหา.....98

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบประเมินสื่อการสอนด้านการผลิตสื่อ.....99

4.3 การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
วิชาเทคโนโลยีอาคาร 3.....99

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปราย และข้อเสนอแนะ.....101

5.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....101

5.2 สมมติฐานการวิจัย.....101

5.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....102

5.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....102

5.5 วิธีการดำเนินการวิจัย.....103

5.6 สรุปผลการวิจัย.....103

5.7 อภิปรายผล.....104

5.8 ข้อเสนอแนะ.....105

บรรณานุกรม.....106

ภาคผนวก.....108

ภาคผนวก ก หนังสือราชการ.....109

ภาคผนวก ข ผู้ทรงคุณวุฒิและแบบประเมินสื่อ.....117

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน.....125
ภาคผนวก ง ตัวอย่างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน..... 173
ภาคผนวก จ ภาพการทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง.....179

ประวัติผู้เขียน.....185

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงแผนการสอนวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3.....7

2.2 แสดงการวิเคราะห์หลักสูตรวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3.....11

4.1 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ด้านเนื้อหา.....98

4.2 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความคิดเห็นของผู้ทรงวุฒิด้านการผลิตสื่อ.....99

4.3 แสดงผลการหาค่าประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3 เรื่องโครงสร้างคุมพื้นที่ช่วงกว้าง.....100

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ส่วนประกอบของโค้ง Arch.....15

2.2 รูปแบบของการเรียงหินของโค้ง Arch.....16

2.3 โค้ง Arch ลักษณะต่างๆ.....16

2.4 โค้ง Arch แบบไทยที่ดัดแปลงมาจาก Ported Arch.....17

2.5 การวางโค้ง Arch ลงบนโครงสร้าง.....17

2.6 โมเมนต์ที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง.....18

2.7 แรงที่เกิดขึ้นใน Flat Arch.....18

2.8 การทำแบบนั่งร้านในการก่อสร้างโค้ง Arch.....19

2.9 ระบบโครงสร้างของโค้ง Arch ที่สร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก.....19

2.10 โค้งแบบยืดตึง.....20

2.11 โค้งแบบพับจีบ.....20

2.12 โค้งแบบขนาน.....21

2.13 โค้งแบบไขว้.....21

2.14 โค้งแบบสี่เหลี่ยมไขว้กัน.....21

2.15 โค้งแบบโค้งตามรัศมี.....22

2.16 แรงที่เกิดขึ้นในโค้งโครงสร้าง.....23

2.17 การก่ออิฐในโค้งส่วนของวงกลม.....24

2.18 การก่ออิฐในโค้งครึ่งวงกลม.....24

2.19 การก่ออิฐในโค้งแหลม.....24

2.20 การเรียงอิฐตามแนวตั้งของแผ่นอิฐ.....25

2.21 ลักษณะโค้งประดับ.....25

2.22 Arch ลักษณะจุดศูนย์กลางโค้งจุดเดียว.....26

2.23 Arch ลักษณะจุดศูนย์กลางโค้ง 2 จุด.....27

2.24 Arch ลักษณะจุดศูนย์กลางโค้ง 3 จุด.....27

2.25 Arch ลักษณะจุดศูนย์กลางโค้ง 4 จุด.....28

2.26 ลักษณะโครงสร้างโวลท์.....29

2.27 การสร้างโวลท์แบบต่างๆ.....30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.28 ลักษณะโวลท์ประทุนยาว....30

2.29 ลักษณะของโวลท์ประทุนสั้น....31

2.30 ลักษณะโวลท์ประทุนยื่น....31

2.31 ลักษณะของโวลท์ตัด....32

2.32 ขนาดที่เหมาะสมของ Thin – Shell....32

2.33 หลังคาเปลือกบางชนิดโค้งทางเดียว (Single – Curvature Shell)....33

2.34 รูปแบบของหลังคาเปลือกบางชนิดโค้งสองทาง (Double – Curvature Shell)....34

2.35 Hyperbolic Paraboloid Shell ชนิดมีคานขอบ....35

2.36 Hyperbolic Paraboloid ชนิดไม่มีคานขอบ (Saddle Shell)....35

2.37 หลักเบื้องต้นการสร้างรูป Hyperbolic Paraboloid....36

2.38 การสร้างรูป Hyperbolic Paraboloid แบบต่างๆ....37

2.39 คอนอยด์ (Conoid)....38

2.40 คอนอยด์ยื่น (Cantilevered Conoidal)....38

2.41 แสดงการสร้างโครงสร้างเปลือกบางชนิดหมุนรอบแกน....39

2.42 หลังคารูป Double Torii ขนาด 33 ม. X 33 ม....39

2.43 หลังคาเปลือกแข็งแบบปริซึม....40

2.44 หลังคาเปลือกแข็งบางชนิดไม่มีรูปร่างทางเรขาคณิต....40

2.45 โครงสร้างเรือนรูปรับแรง (Form Resistant Structure)....41

2.46 ลักษณะโค้งของทรงกลม (Curves of Spherical Dome)....41

2.47 ลักษณะโค้งของโดมรูปไข่ (Curvatures of Dome)....42

2.48 การขยายคลี่ผิวโดมออกเป็นแผ่นเรียบตัดขาด หรือผิวตัดขาดจากโค้ง (Development of a Synclastic Surface)....43

2.49 ผิวรูปอานม้าแสดงลักษณะโค้งสองทาง (Saddle Surface)....44

2.50 เส้นความโค้งสำคัญ หรือเส้นความโค้งหลักของผิวอานม้า ถ้าตัดผ่านด้านซ้าย รูป (A)โค้งลง รูปขวา (B) โค้งขึ้น (Principal Curvature Lines Of Saddle Surface)....44

2.51 ลักษณะสถาปัตยกรรมของชาว Assyria 722 – 705 B.C....45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.52 วิหาร Panthenon บนอะโครโปลิสที่กรุงเอเธนส์....46

2.53 ผังแสดงส่วนของ วิหาร Panthenon....46

2.54 ลักษณะ Dome ของชาว Byzentine....47

2.55 การจัดผังแบบ Centralize....48

2.56 การก่อสร้าง Dome ของ Byzentineและโรมัน....49

2.57 ส่วนประกอบของ Dome....50

2.58 Rib Dome or Redial Arch....51

2.59 Membrane Dome....51

2.60 โดมแบบชเวดเลอร์....52

2.61 โดมแบบลาเมลลา....53

2.62 โดมแบบลาเมลลาขนาน....53

2.63 โดมแบบหกเหลี่ยม....54

2.64 โดมยีออเดซิค....55

2.65 ลักษณะของโครงสร้างของ โดมยีออเดซิค....56

2.66 ลักษณะของแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง....57

2.67 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของโดมทรงเตี้ย....57

2.68 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของโดมทรงสูง....58

2.69 แรงเฉือนที่เกิดขึ้นใน Dome....58

2.70 การเปลี่ยนรูปของ Dome....59

2.71 โครงรูปคันธนูแบบวอร์เรน....62

2.72 โครงรูปจั่วปลายยอดแบบ เบลเจียน....62

2.73 โครงรูปจั่วปลายยอดแบบ ฟิงก์....63

2.74 แสดงแรงเฉือนทำให้เกิดแรงดึงในทิศทแยงเอียงลงจากปลายเข้าหาแนว
ศูนย์กลางความยาวช่วง ควรใช้วัสดุให้เหมาะกับแรง....64

2.75 Truss สามเหลี่ยม สังเกตทิศทางของแรงต่างที่รองรับ และที่จุดบรรทุก....64

2.76 Truss มีไม้เป็นส่วนรับแรงอัด....65

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.77 Truss สามเหลี่ยมมีชิ้นส่วนทแยงเป็นส่วนรับแรงดึง เส้นคู่เป็นชิ้นส่วนรับแรงอัด เส้นบางเป็นชิ้นส่วนรับแรงดึง เส้นประเป็นชิ้นส่วนไม่ค่อยมีแรงกระทำไม่จำเป็นต้องมีก็ได้.....65
2.78 Truss สามเหลี่ยมส่วนทแยงเป็นส่วนรับแรงอัด เส้นคู่เป็นชิ้นส่วนรับแรงอัด เส้นบางเป็นชิ้นส่วนรับแรงดึง เส้นประเป็นชิ้นส่วนไม่ค่อยมีแรงกระทำไม่จำเป็นต้องมีก็ได้.....66
2.79 ลักษณะการรับน้ำหนักบรรทุกของโครง Truss ต่างๆ กัน.....67
2.80 ลักษณะ Space Frame แบบสามเหลี่ยม.....68
2.81 รูปแบบของ Space Frame.....70
2.82 Space Frame รูปผลึก.....71
2.83 ความสมดุลของน้ำหนักในเคเบิล.....73
2.84 แรงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในเคเบิล.....73
2.85 ความแตกต่างของแรงที่เกิดขึ้นจากการหย่อนตัวของเคเบิลที่แตกต่างกัน.....74
2.86 องศาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการหย่อนตัวของเคเบิล.....74
2.87 รูปหลายเหลี่ยมของแรงเนื่องจากตำแหน่งและจำนวนจุดบรรทุก.....75
2.88 โค้งโซ่แขวน.....76
2.89 รูปตัดแสดงการฝังยึดของ เคเบิล ในสะพานแขวน.....77
ง.1 แสดงหน้าแรกของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง.....174
ง.2 แสดงการนำเข้าสู่บทเรียน เรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง.....174
ง.3 แสดงหน้าที่ให้นักศึกษากรอบชื่อ-นามสกุลและเลขประจำตัว.....175
ง.4 แสดงหน้าเมนูหลักของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง.....175
ง.5 แสดงหน้าเมนูในบทเรียนที่ 1.....176
ง.6 แสดงรายละเอียดของเนื้อหา.....176
ง.7 แสดงหน้าแรกในการทำแบบทดสอบ.....177
ง.8 แสดงการตอบโต้เมื่อผู้เรียนตอบแบบทดสอบผิด.....177
ง.9 แสดงการตอบโต้เมื่อผู้เรียนตอบแบบทดสอบถูก.....178
ง.10 แสดงหน้าการออกจากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง.....178

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

จ.1 นักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย ทำการศึกษาบทเรียนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง จากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง.....180

จ.2 นักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย ทำการศึกษาบทเรียนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง จากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง.....180

จ.3 ผู้วิจัยอธิบายวิธีการใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง ให้แก่นักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย.....181

จ.4 ผู้วิจัยอธิบายวิธีการใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง ให้แก่นักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย.....181

จ.5 นักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย ทำการศึกษาบทเรียนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง จากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง.....182

จ.6 นักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย ทำการศึกษาบทเรียนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง จากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง.....182

จ.7 นักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย ทำแบบทดสอบบทเรียนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง จากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง.....183

จ.8 นักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย ทำแบบทดสอบบทเรียนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง จากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง.....183

จ.9 นักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย ทำแบบทดสอบบทเรียนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง จากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง.....184

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จุดมุ่งหมายสำคัญของการจัดการเรียนการสอนนั้น คือการให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ ความแตกต่างของการจัดการศึกษาทุกระดับชั้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านสิ่งแวดล้อมรอบตัวผู้เรียนพบว่า ความพร้อม เจตคติ ความสนใจ ในการเรียนรู้อยู่ในระดับที่แตกต่างกัน เป็นที่ยอมรับกันว่าการสอนที่สอดคล้องและสนองความแตกต่างระหว่างบุคคลที่ดีที่สุด คือ การสอนแบบเอกัตบุคคล หรือการเรียนการสอนรายบุคคล ความพยายามที่จะจัดให้ผู้เรียนเรียนรู้ด้วยตนเอง ซึ่งผู้เรียนแต่ละคนใช้เวลาเพื่อทำความเข้าใจในบทเรียนแตกต่างกันตามระดับความสามารถของผู้เรียนเอง และเป็นการจัดการศึกษาที่ให้ผู้เรียนสามารถเรียนได้ด้วยตนเอง บทเรียนนั้นอาจจะอยู่ในรูปแบบของบทเรียนสำเร็จรูป สื่อที่ผลิตเป็นบทเรียนสำเร็จรูปหรือที่เรียกว่าชุดการสอน โดยครูทำขึ้นเองโดยให้สื่อเหล่านี้มุ่งให้การศึกษาที่ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ด้วยตนเอง

ในมหาวิทยาลัยราชภัฏหลายแห่งได้เปิดสอนลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม แผนกวิชา เทคนิคสถาปัตยกรรม ในหลักสูตรมีรายวิชา เทคโนโลยีอาคาร 3 เรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง ซึ่งเป็นวิชาที่มีเนื้อหามากและเข้าใจยาก เนื่องจากผู้สอนต้องอธิบายประวัติ และวิวัฒนาการของโครงสร้างประเภทต่างๆ รวมถึงหลักแนวคิดในการวางโครงสร้างและตัวอย่างของโครงสร้างต่างๆ ส่วนใหญ่เป็นอาคารต่างประเทศ ทำให้ผู้เรียนไม่สามารถเห็นภาพอย่างชัดเจน สื่อการสอนต้องสามารถอธิบายโดยให้ผู้เรียนเห็นภาพในรูปแบบสามมิติได้ รวมทั้งควรมีการเคลื่อนไหวด้วย ซึ่งสื่อการสอนที่เหมาะสมควรเป็นสื่อการสอนที่เป็นลักษณะที่เป็นสื่อผสมเพื่อให้ผู้เรียนสามารถศึกษาด้วยตนเองรวมทั้งโต้ตอบกับสื่อการสอนนั้นด้วย ซึ่งเดิมการเรียนการสอนเป็นแบบบรรยายประกอบแผ่นใส ปัญหาที่พบคือ ผู้เรียนไม่เข้าใจหลักการของโครงสร้างในลักษณะต่างๆ และการนำโครงสร้างในลักษณะต่างๆ ไปใช้ในงานจริง รวมทั้งผู้เรียนไม่สามารถทบทวนบทเรียนได้

ในปัจจุบันระบบสารสนเทศในสถานศึกษามีความเจริญก้าวหน้ามีการใช้อุปกรณ์ต่างๆ ทางสาระสนเทศมาแก้ปัญหาในการเรียนการสอน สื่อที่ถูกนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพคือเครื่องคอมพิวเตอร์ ในการเรียนการสอน เครื่องคอมพิวเตอร์ถูกนำมาสร้างเป็นโปรแกรมการสอนและบทเรียนประเภทต่างๆ คอมพิวเตอร์ที่ถูกนำมาเขียนเป็นโปรแกรมและสร้างเป็นบทเรียนเพื่อใช้ในการเรียนการสอนนั้นเรียกว่า คอมพิวเตอร์ช่วยสอน (Computer Assisted Instruction : CAI) ซึ่งเป็นการเรียนการสอนที่เกิดจากการปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนกับเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยคอมพิวเตอร์จะเสนอเนื้อหาวิชาต่างๆ และยังรวมถึงการวัดผล การทบทวน การทำแบบฝึกหัดอีกด้วย

ด้านการศึกษาในปัจจุบัน คอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทในหลายลักษณะด้วยกัน ได้แก่ ใช้กับการสืบค้นข้อมูล การติดต่อสื่อสาร การบริหาร รวมทั้งคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยเฉพาะการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอน นับว่ามีประโยชน์ต่อการพัฒนาการเรียนการสอนเป็นอย่างมากเนื่องจากเป็นการนำคอมพิวเตอร์มาเป็นตัวกลางแทนสื่อการสอน ซึ่งสามารถใช้ได้กับการเรียนการสอนทุกวิชา การนำคอมพิวเตอร์มาช่วยสอนก็คือ แทนที่ครูจะเป็นผู้สอนเนื้อหาต่างๆ ให้กับผู้เรียนโดยตรงตามระบบการสอนปรกติ ครูก็จะนำบทเรียนซึ่งได้จัดไว้แล้วป้อนเข้าไปในเครื่องคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์ก็จะเสนอเรื่องราวต่างๆ กับผู้เรียนโดยตรง ผู้เรียนสามารถเรียนได้ตามความสามารถของตน สามารถโต้ตอบ ตอบคำถาม ทราบคำตอบได้ทันที และสามารถเรียนบทเรียนซ้ำได้หลายครั้งตามความต้องการ คอมพิวเตอร์ช่วยสอนเป็นการส่งเสริมให้ผู้เรียนเรียนตามเอกัตภาพ มีการป้อนกลับทันที ผู้เรียนทราบคำตอบหรือทราบคำอธิบายทันที ทำให้การเรียนรู้เป็นไปอย่างต่อเนื่อง ผู้เรียนเกิดความตื่นเต้นและรู้สึกไม่เบื่อหน่าย นอกจากนี้ผู้เรียนยังสามารถเลือกเวลาเรียนหรือทบทวนบทเรียนได้ตามสะดวกของตนเอง

จากข้อสังเกตและปัญหาที่พบในการจัดการเรียนการสอนวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3 พบว่าสาเหตุส่วนใหญ่นักศึกษาขาดความรู้ความเข้าใจด้านเนื้อหาภาคทฤษฎี ไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ ดังนั้นเมื่อลงมือปฏิบัติงานผู้เรียน จึงไม่สามารถปฏิบัติงานตามที่รับมอบหมายได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้

ดังนั้นเพื่อให้นักศึกษาได้เข้าใจถึงหลักการต่างๆ ของโครงสร้าง และช่วยให้นักศึกษาที่เรียนอ่อน สามารถใช้เวลานอกเวลาเรียนในการเพิ่มเติมความรู้ เพื่อปรับปรุงการเรียนของตน ผู้วิจัยจึงมีความต้องการที่จะนำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมาใช้สอนในเนื้อหาวิชา เทคโนโลยีอาคาร 3 เรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม แผนกวิชา เทคนิคสถาปัตยกรรม สถาบันราชภัฏ เพื่อเป็นประโยชน์โดยตรงแก่ผู้เรียนและผู้สอนในรายวิชา เทคโนโลยีอาคาร 3 ตลอดจนเป็นแนวทางในการพัฒนาสื่อการเรียนการสอนและเทคโนโลยีมัลติมีเดียต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ในรายวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3 เรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง

1.2.2 เพื่อประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง

1.2.3 เพื่อหาประสิทธิ์ภาพของบทเรียนช่วยสอน เรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

1.3.1 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง โครงสร้างคุมพื้นที่ช่วงกว้าง อยู่ในระดับดีขึ้นไป

1.3.2 ประสิทธิ์ภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง โครงสร้างคุมพื้นที่ช่วงกว้าง เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของ Meguigans

1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

1.4.1 กรอบแนวคิดส่วนการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ขั้นตอนของ ไพโรจน์ ตรีรณธนากุล และคณะ (2542 : 4-13)ได้เสนอขั้นตอนในการพัฒนราบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (CAI) ดำเนินได้เป็น 5 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1. ขั้นวิเคราะห์ (Analysis)
2. ขั้นออกแบบ (Design)
3. ขั้นพัฒนา (Development)
4. ขั้นสร้าง (Implementation)
5. ขั้นประเมินผล (Evaluation)

1.4.2 กรอบแนวคิดในการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

1.4.2.1 ด้านเนื้อหา

1.4.2.2 ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

1.4.3 กรอบแนวคิดด้านการหาประสิทธิ์ภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ผู้วิจัยใช้เกณฑ์มาตรฐานของ Meguigans ในการหาหาประสิทธิ์ภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของการวิจัยดังนี้

1.5.1 บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนพัฒนาขึ้นตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม แผนกวิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ในรายวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3 เรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง

1.5.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.5.2.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ

- นักศึกษาในระดับปริญญาตรี แผนกวิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ ที่ผ่านการเรียนในรายวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3

1.5.2.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ

- นักศึกษาในระดับปริญญาตรี แผนกวิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่ผ่านการเรียนในรายวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3 จำนวน 20 คน

1.5.3 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาได้แก่

1.5.3.1 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง โครงสร้างคุมพื้นที่ช่วงกว้าง

1.5.3.2 ประสิทธิ์ภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง โครงสร้างคุมพื้นที่ช่วงกว้าง

1.5.4 เนื้อหาที่นำมาสร้างเป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน คือ เนื้อหาในรายวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3 ภาคทฤษฎี

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย

1. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (Computer Assisted Instruction : CAI) หมายถึงการนำเอาเครื่องคอมพิวเตอร์มาเป็นสื่อการเรียนการสอน โดยนำเนื้อหาวิชา เทคโนโลยีอาคาร 3 ในเรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง ตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต แผนกวิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม สถาบันราชภัฏพระนคร มาสร้างเป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

2. แบบฝึกหัด หมายถึง เครื่องมือที่ใช้วัดผลสัมฤทธิ์ระหว่างเรียนการเรียน ของผู้เรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง เมื่อผู้เรียนได้เรียนรู้ในแต่ละบท

3. แบบทดสอบ หมายถึง เครื่องมือที่ใช้วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ของผู้เรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง เมื่อผู้เรียนได้เรียนรู้ครบทุกเรื่องแล้ว

4. คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน หมายถึง ผลที่ได้จากการประเมินบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน จากผู้สอน นักศึกษา และผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ด้านคือ ด้านเนื้อหา และด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

5. โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง หมายถึง โครงสร้างที่ออกแบบเพื่อปกคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่หรือมีช่วงระยะระหว่างจุดรองรับที่มีความยาวมาก

6. ประสิทธิ์ภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน หมายถึง ผลที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีของ Meguigans

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้างผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 หลักสูตรสถาบันราชภัฏ พ.ศ. 2543 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม เทคนิคสถาปัตยกรรม

2.2 หลักสูตรรายวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3

2.3 เนื้อหาเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง

2.4 ความหมายและลักษณะของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

2.5 รูปแบบการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอน

2.6 ลักษณะการเรียนกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

2.7 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

2.8 การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

2.1 หลักสูตรสถาบันราชภัฏ พ.ศ.2543 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม เทคนิคสถาปัตยกรรม

จุดประสงค์

1. เพื่อผลิตบัณฑิตทางด้านช่างเทคนิคสถาปัตยกรรม ให้มีความรู้และความสามารถในการที่จะประกอบอาชีพทางด้านสถาปัตยกรรม

2. เพื่อผลิตบัณฑิตให้มีความรู้ความสามารถในการที่จะนำไปประกอบอาชีพ และอาชีพอิสระได้

3. เพื่อผลิตบัณฑิตให้มีความรู้ความสามารถในการคิดริเริ่มสร้างสรรค์ และพัฒนางานทางด้านสถาปัตยกรรม

4. เพื่อผลิตบัณฑิตให้มีพื้นฐานในด้านการศึกษาในระดับที่สูงกว่าปริญญาตรีต่อไป

5. เพื่อผลิตบัณฑิตให้มีเจตคติ คุณธรรม จริยธรรมที่ดีต่อวิชาชีพได้

คุณสมบัติเฉพาะโปรแกรมวิชา

สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ในสายวิชาสถาปัตยกรรม

โครงสร้างหลักสูตร

หลักสูตรมหาวิทยาลัยราชภัฏสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วยหมวดวิชาและกลุ่มวิชา ดังนี้

1. หมวดวิชาการศึกษาทั่วไป (General Education) หมายถึง วิชาการศึกษา ที่นักศึกษาทุกคน ต้องเรียนเพื่อให้มีความรู้อย่างกว้างขวาง และรู้รอบในสิ่งที่จำเป็นเพื่อพัฒนาและเสริมสร้างคุณลักษณะความเป็นมนุษย์และพลเมืองที่ดีให้แก่บัณฑิต ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่พึงต้องมีในยุคนี้และอนาคตในการที่จะปรับตัวให้เข้ากับสภาพการเปลี่ยนแปลง และการแข่งขันอย่างรุนแรงในสังคม และให้ดำรงชีวิตได้อย่างมีความสุข หมวดวิชาการศึกษาทั่วไป แบ่งเป็น 4 กลุ่มวิชาคือ

- กลุ่มวิชาภาษาและการสื่อสาร
- กลุ่มวิชามนุษยศาสตร์
- กลุ่มวิชาสังคมศาสตร์
- กลุ่มวิชาคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

2. หมวดวิชาการศึกษาเฉพาะด้าน (Specialized Education) หมายถึง วิชาเฉพาะทางใดทางหนึ่งที่นักศึกษาแต่ละคนจะเลือกเรียน เพื่อให้มีความรู้ ความสามารถ มีทักษะ รู้เทคนิควิธี และเข้าใจกระบวนการงานอาชีพ ตลอดจนมีเจตคติที่ดีต่องานอาชีพ หมวดวิชาเฉพาะด้าน แบ่งเป็น 3 กลุ่มวิชาคือ

- กลุ่มวิชาเนื้อหา หรือกลุ่มวิชาเอก – โท
- กลุ่มวิชาวิทยาการจัดการ
- กลุ่มวิชาปฏิบัติการและฝึกประสบการณ์วิชาชีพ

3. หมวดวิชาเลือกเสรี (Free Elective) หมายถึง วิชาที่ให้นักศึกษาเลือกเรียนได้ตามความถนัดและความสนใจ เพื่อให้มีโลกทัศน์ที่กว้างขึ้น

2.2 หลักสูตรรายวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3 (5554404)

หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต (ต่อเนื่อง) แผนกวิชา เทคนิคสถาปัตยกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ รายวิชาที่ผู้วิจัยนำมาสร้างเป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน มีรายละเอียดดังนี้

รายวิชา	เทคโนโลยีอาคาร 3 (Building Technology 3)
รหัสวิชา	5554404
หน่วยกิต	2(1-2)
เวลาเรียน	54 คาบต่อภาคเรียน

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาการเขียนแบบ การศึกษาดูงานอาคารชนิดพิเศษที่มีโครงสร้างเฉพาะเพื่อคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่น โรงงาน หอประชุมขนาดใหญ่ อาคารกีฬา หอแสดงนิทรรศการ โดยใช้โครงสร้างต่างๆ เช่น Truss, Shell, Arch, Vault, Dome, โครงแขวน และโครงสร้างคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่

แผนการสอนวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3

ตารางที่ 2.1 แสดงแผนการสอนวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3

สัปดาห์	1
เรื่อง	บทนำ โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง
จุดประสงค์การเรียนรู้	-เพื่อให้ลามารถอธิบายส่วนประกอบของโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง
เนื้อหา	-บทนำโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง -โครงสร้างโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง -ข้อพิจารณาในการเลือกโครงโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง
กิจกรรม	บรรยาย,อธิบาย

สัปดาห์	2-4
เรื่อง	บทที่ 1 โครงสร้าง Arch และ Vault
จุดประสงค์การเรียนรู้	-เพื่อให้สามารถอธิบายส่วนประกอบของโครงสร้าง Arch และ Vault -เพื่อให้สามารถเลือกการใช้โครงสร้าง Arch และ Vault ได้อย่างถูกต้อง -เพื่อให้สามารถอธิบายลักษณะและชนิดของโครงสร้าง Arch และ Vault -เพื่อให้สามารถอธิบายหลักในการวางโครงสร้าง Arch และ Vault
เนื้อหา	-ความหมายและคำจำกัดความของโครงสร้าง Arch -ประวัติความเป็นมาของโครงสร้าง Arch -ส่วนประกอบของโครงสร้าง Arch -ลักษณะของ Arch -การก่อสร้าง Arch ด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สัปดาห์	2-4
เนื้อหา	-ชนิดของโครงสร้าง Arch -การเรียงวัสดุก่อโครงสร้าง Arch -ความหมายและคำจำกัดความของโครงสร้าง Vault -ประวัติความเป็นมาของโครงสร้าง Vault -การรับแรงของโครงสร้าง Vault -ลักษณะของโครงสร้าง Vault
กิจกรรม	บรรยาย,อธิบาย,ทำแบบฝึกหัด

สัปดาห์	5-6
เรื่อง	บทที่ 2 โครงสร้าง Thin - Shell
จุดประสงค์การเรียนรู้	-เพื่อสามารถอธิบายหลักในการวางโครงสร้าง Thin – Shell -เพื่อให้สามารถอธิบายลักษณะและชนิดของโครงสร้าง Thin – Shell -เพื่อให้สามารถเลือกใช้โครงสร้าง Thin – Shell แบบต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง -เพื่อให้สามารถอธิบายแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง Thin – Shell ได้อย่างถูกต้อง
เนื้อหา	-ชนิดของ Thin – Shell -หลักในการวางโครงสร้าง Thin – Shell -การรับแรงของโครงสร้าง Thin – Shell -แรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง Thin – Shell
กิจกรรม	บรรยาย,อธิบาย,ทำแบบฝึกหัด

สัปดาห์	7-8
เรื่อง	บทที่ 3 โครงสร้าง Dome
จุดประสงค์การเรียนรู้	-เพื่อสามารถอธิบายหลักในการวางโครงสร้าง Dome -เพื่อให้สามารถอธิบายลักษณะและชนิดของโครงสร้าง Dome -เพื่อให้สามารถเลือกใช้โครงสร้าง Dome แบบต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สัปดาห์	7-8
จุดประสงค์การเรียนรู้	-เพื่อให้สามารถอธิบายแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง Dome ได้อย่างถูกต้อง
เนื้อหา	-ประวัติความเป็นมาของโครงสร้าง Dome -วิวัฒนาการก่อสร้าง Dome -ส่วนประกอบของโครงสร้าง Dome -ประเภทของ Dome -ลักษณะของแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง Dome
กิจกรรม	บรรยาย,อธิบาย,ทำแบบฝึกหัด

สัปดาห์	-สอบกลางภาค

สัปดาห์	10-13
เรื่อง	บทที่ 4 โครงสร้าง Truss
จุดประสงค์การเรียนรู้	-เพื่อสามารถอธิบายหลักในการวางโครงสร้าง Truss -เพื่อให้สามารถอธิบายลักษณะและชนิดของโครงสร้าง Truss -เพื่อให้สามารถเลือกใช้โครงสร้าง Truss แบบต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง -เพื่อให้สามารถอธิบายแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง Truss ได้อย่างถูกต้อง
เนื้อหา	-โครง Truss แบบต่างๆ -แรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง Truss -หลักในการวางโครงสร้าง Truss
กิจกรรม	บรรยาย,อธิบาย,ทำแบบฝึกหัด

สัปดาห์	14-15
เรื่อง	บทที่ 5 Space Frame
จุดประสงค์การเรียนรู้	-เพื่อสามารถอธิบายหลักในการวางโครงสร้าง Space Frame -เพื่อให้สามารถอธิบายลักษณะและชนิดของโครงสร้าง Space Frame -เพื่อให้สามารถเลือกใช้โครงสร้าง Space Frame แบบต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สัปดาห์	14-15
เนื้อหา	-ลักษณะของ Space Frame -วัสดุที่ใช้ในการทำโครงสร้าง Space Frame -รูปแบบของ Space Frame
กิจกรรม	บรรยาย,อธิบาย,ทำแบบฝึกหัด

สัปดาห์	16-17
เรื่อง	บทที่ 6 Cable
จุดประสงค์การเรียนรู้	-เพื่อสามารถอธิบายหลักในการวางโครงสร้าง Cable -เพื่อให้สามารถอธิบายลักษณะและชนิดของโครงสร้าง Cable -เพื่อให้สามารถเลือกใช้โครงสร้าง Cable แบบต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง -เพื่อให้สามารถอธิบายแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง Cable ได้อย่างถูกต้อง
เนื้อหา	-ลักษณะของ Cable -การนำ Cable ไปใช้ -แรงที่เกิดขึ้นใน Cable
กิจกรรม	บรรยาย,อธิบาย,ทำแบบฝึกหัด

การวิเคราะห์หลักสูตรวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3

ตารางที่ 2.2 แสดงการวิเคราะห์หลักสูตรวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3

ลำดับที่	เนื้อหา	ความรู้	ความจำ	เข้าใจ	นำไปใช้	วิเคราะห์	สังเคราะห์	จำนวนข้อสอบหมด
		10	10	10	10	10	10	60
	บทที่ 1 เรื่องโครงสร้าง Arch และ Vault							
1.	1.1 ความหมายและคำจำกัดความของโครงสร้าง Arch	-	-	2	-	-	-	**2**
2.	1.2 ประวัติความเป็นมาของโครงสร้าง Arch	2	-	-	-	-	-	**2**
3.	1.3 ส่วนประกอบของโครงสร้าง Arch	-	-	2	2	-	-	**4**
4.	1.4 ลักษณะของ Arch	-	-	-	-	2	-	**2**
5.	1.5 การก่อสร้าง Arch ด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก	-	-	-	-	2	-	**2**
6.	1.6 ชนิดของโครงสร้าง Arch	-	2	2	-	-	-	**4**
7.	1.7 การเรียงวัสดุก่อโครงสร้าง Arch	-	2	2	-	-	-	**4**
8.	1.8 ความหมายและคำจำกัดความของโครงสร้าง Vault	-	-	-	-	2	-	**2**
9.	1.9 ประวัติความเป็นมาของโครงสร้าง Vault	2	-	-	-	-	-	**2**
10.	1.10 การรับแรงของโครงสร้าง Vault	-	-	2	2	-	-	**4**
11.	1.11 ลักษณะของโครงสร้าง Vault	-	-	-	-	2	-	**2**
	บทที่ 2 เรื่องโครงสร้าง Thin-Shell							
12.	2.1 ชนิดของ Thin – Shell	-	2	2	-	-	-	**4**
13.	2.2 หลักในการวางโครงสร้าง Thin – Shell	-	-	2	-	2	-	**4**
14.	2.3 การรับแรงของโครงสร้าง Thin – Shell	-	-	-	2	-	-	**2**

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ลำดับที่	เนื้อหา	ความรู้	ความจำ	เข้าใจ	นำไปใช้	วิเคราะห์	สังเคราะห์	จำนวนข้อสอบหมด
		10	10	10	10	10	10	60
15.	2.4 แรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง Thin – Shell	-	-	-	-	2	-	**2**
	บทที่ 3 เรื่องโครงสร้าง Dome							
16.	3.1 ประวัติความเป็นมาของโครงสร้าง Dome	-	2	2	-	-	-	**4**
17.	3.2 วิวัฒนาการก่อสร้าง Dome	2	-	-	-	-	-	**2**
18.	3.3 ส่วนประกอบของโครงสร้าง Dome	-	-	2	-	2	-	**4**
19.	3.4 ประเภทของ Dome	-	2	2	-	-	-	**4**
20.	3.5 ลักษณะของแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง Dome	-	-	-	2	-	-	**2**
	บทที่ 4 เรื่องโครงสร้าง Truss							
21.	4.1 โครง Truss แบบต่างๆ	-	-	2	-	-	-	**2**
22.	4.2 แรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง Truss	-	-	2	-	2	-	**2**
23.	4.3 หลักในการวางโครงสร้าง Truss	-	-	-	-	2	-	**2**
	บทที่ 5 เรื่องSpace Frame							
24.	5.1 ลักษณะของ Space Frame	-	2	2	-	-	-	**4**
25.	5.2 วัสดุที่ใช้ในการทำโครงสร้าง Space Frame	-	-	-	-	2	-	**2**
26.	5.3 รูปแบบของ Space Frame	-	-	-	2	-	-	**2**
	บทที่ 6 เรื่องCable							
27.	6.1 ลักษณะของ Cable	-	2	2	-	-	-	**4**
28.	6.2 การนำ Cable ไปใช้	-	-	-	2	-	-	**2**
29.	6.3 แรงที่เกิดขึ้นใน Cable	-	-	-	-	2	-	**2**
รวม		**6**	**16**	**30**	**12**	**20**	**0**	**84**

2.3 เนื้อหาเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง

2.3.1 โค้งอาร์ค และ โวลท์ (Arch & Vault)

2.3.1.1 Arches

ความหมายและคำจำกัดความ

หมายถึง โค้งในงานสถาปัตยกรรมใช้เหนือช่องว่างแทนคานทับหลัง ซึ่งเป็นชิ้นส่วนโครงสร้าง (Structural Component) ในแนวราบ เข้าใจว่าได้พัฒนามาจากความรู้ในการก่ออิฐหินให้เลื่อมกันจากเสา หรือกำแพงที่รองรับทั้งสองข้าง โดยก่อให้เกิดที่ว่างเหนือระดับเป็นรูปสามเหลี่ยม

ประวัติความเป็นมา

โค้ง (Arches) สันนิษฐานกันว่าเกิดขึ้นเมื่อ 3000 ปีมาแล้ว โดยชาวอียิปต์เป็นชนชาติแรกก่อนใคร โดยได้นำเอกหินก่อหินรูปโค้ง (Arch) แต่ยังไม่นิยมใช้อิฐ เพราะชาวอียิปต์ยังไม่นิยมใช้หลังคา ด้วยแผ่นหินแข็งประเภท Ganite เป็นเส้นระดับ (Horizontal) มากกว่า โค้งของอียิปต์มีลักษณะเป็นยอดแหลม

ต่อมาในดินแดนลุ่มแม่น้ำเปโสโมเตเมีย ซึ่งได้แก่ พวกแอสทีเรียน (Assyrians) และพวกเปอร์เซียในลุ่มแม่น้ำเปโสโมเตเมีย อาศัยอยู่ได้คิดโครงสร้างระบบ Arches ขึ้นมาในรูปแบบของเปโสโมเตเมียโดยเฉพาะ ทั้งนี้เกิดมาจากดินแดนเหล่านี้จำเป็นต้องพัฒนาระบบงานก่อสร้างด้วยอิฐขึ้นมา เนื่องจากว่าในท้องถิ่นนี้ไม่มีหิน จึงได้คิดค้นวิธีก่อสร้างระบบโค้ง (Arches) และโวลท์ (Vault) ขึ้นมาแทนระบบโครงสร้างเสาและคาน ในยุคต่อ ๆ มา Arches เริ่มมีอิทธิพลมากขึ้นในสถาปัตยกรรมในยุคนั้น ๆ เช่น ในสมัยกรีก แต่สถาปัตยกรรมกรีกนั้นยังเน้นหนักไปทางระบบโครงสร้างเสาและคานหิน และตกแต่งลวดลายประดับหัวเสาและคานกันอยู่ ซึ่งเป็นรูปแบบเฉพาะของกรีก

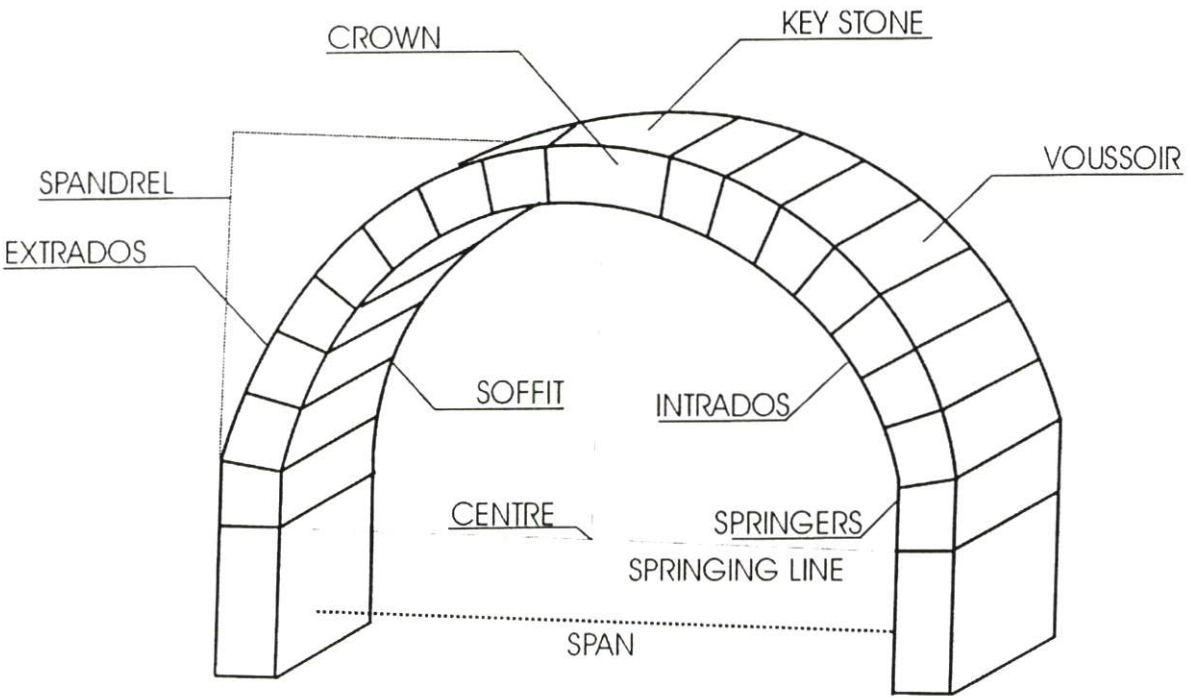
พอมาในยุคสมัยโรมันเรืองอำนาจ รูปแบบสถาปัตยกรรมโรมันได้นำเอาสถาปัตยกรรมกรีกมาผสมผสานกับระบบขโค้งของอีทัสคัน (Etruscan) ออกมาเป็นรูปแบบสถาปัตยกรรมที่ซับซ้อนมโหฬารสวยงามอย่างยิ่ง ในศตวรรษที่ 13 ซึ่งเป็นยุคที่ศาสนาคริสต์เฟื่องฟูที่สุด จนได้ก่อให้เกิดงานสถาปัตยกรรมแบบโกธิค (Gothic Architecture) ขึ้นในยุคสมัยนี้ ได้คิดค้นเทคนิควิทยาการก่อสร้างระบบใหม่ขึ้นโดยนำเอาก้อนหินเล็ก ๆ มาประสมประสานกันเรียงต่อเป็นระบบโค้งแหลม (Pointed Arch) ซึ่งเป็นรูปโฉมที่เด่นชัดในงานสถาปัตยกรรมแบบโกธิค

ส่วนประกอบของ Arch มีดังต่อไปนี้ (Papits Of A Masonry Arch)

Arch Ring	คือ	ส่วนโค้งของ Arch ทั้งหมด
Span	คือ	ความกว้างของ Span ในส่วนที่เปิดโล่ง
Rise	คือ	ความสูง ในส่วนที่เปิดโล่ง

Soffit	คือ	ผิวด้านล่างของ Arch Ring
Back	คือ	ผิวด้านบนของ Arch Ring
Face	คือ	รัศมีของ Arch ด้านขอบล่างในส่วนผิวของ Soffit
Intrados	คือ	รัศมีของ Arch ด้านล่าง
Extrados	คือ	รัศมีของ Arch ด้านบน
Springing Line	คือ	ส่วนของรัศมี Arch ด้านบนในส่วนที่เกือบจะเป็นเส้นตั้งฉาก
Crown	คือ	ส่วนบนสุดของ Arch เป็นส่วนสำคัญของโครงสร้าง Arch เป็นส่วนที่รับแรงอัดของ Arch ทั้งสองข้างไว้เพื่อให้แข็งแรง
Spandrel	คือ	ส่วนของ Arch ทั้งหมด เริ่มตั้งแต่เส้น Springing Line ไปจนถึงส่วนCrown
Voussoirs	คือ	วัสดุแต่ละชิ้นที่นำมาประกอบเป็น Arch
Key Stone	คือ	วัสดุที่นำมาประกอบเป็น Arch ตรงส่วนบนสุดในส่วนของ Crown
Springers	คือ	วัสดุที่นำมาประกอบเป็น Arch ส่วนที่ติดกับ Springing Line เป็นส่วนเริ่มโค้ง
Haunches	คือ	ส่วนล่างหรือขอบของ Arch
Skewbacks	คือ	ส่วนผิวของ Springers
Centre	คือ	จุดศูนย์กลางของส่วนโค้ง

ส่วนประกอบของโค้ง (Papits Of A Masonhy Arch)



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของโค้ง Arch

ลักษณะของ Arch

การก่อสร้างโค้งด้วยวัสดุก่อได้มีบทบาทในการก่อสร้างอาคาร สะพานตั้งแต่สมัยโบราณมาจนถึงสมัยปัจจุบันนี้ ก่อนที่มนุษย์จะรู้จักการใช้คอนกรีตเสริมเหล็กเป็นโครงสร้างอิฐและหินที่ใช้ก่อโค้ง โค้งพืด และโดม ทำหน้าที่เป็นชิ้นส่วนโครงสร้าง (Structural Component)

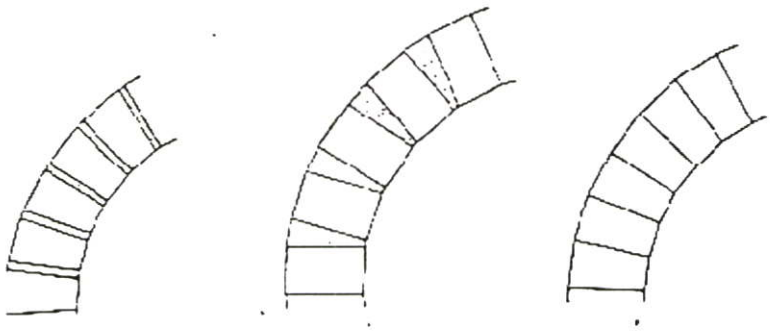
ระหว่างศตวรรษที่ 19 ความรู้ทางเทคนิควิทยาแผนใหม่ได้เจริญก้าวหน้าไปทั่วโลกอย่างรวดเร็ว ในยุคนี้ได้มีการคิดค้นวัสดุก่อสร้าง เครื่องมือ อุปกรณ์ใหม่ ๆ มากมาย อันเป็นอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงในระบบโครงสร้าง และวิธีการก่อสร้างในปัจจุบัน

โค้ง วัสดุก่อในสมัยโบราณนั้น มีการออกแบบให้ตั้งอยู่บนแท่นตอม่อ หรือเสาหรือกำแพงรับน้ำหนัก โดยใช้วัสดุชนิดเดียวกัน ถ้าพิจารณาถึงระบบโครงสร้าง เราอาจพิจารณาให้โค้งสร้างที่มีการตรึงแน่นที่ Supports ที่เดียว แต่เป็นลักษณะกึ่งตรึงแน่น ' Half Fixed Arch '

วิธีการในการทำโค้ง

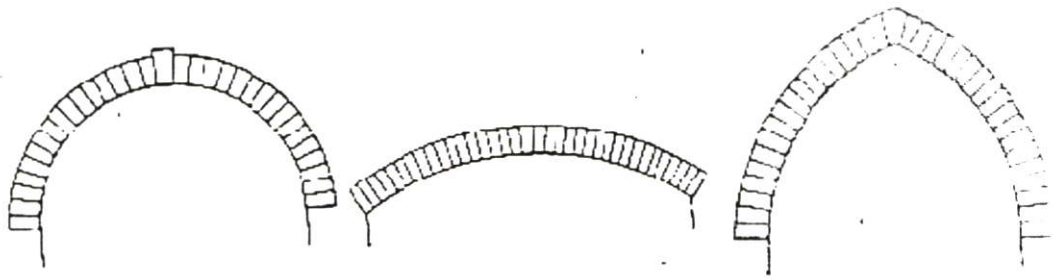
การเรียงวัสดุก่อสร้างตามหลักเทคนิควิทยาการของการเรียงโค้ง เป็นการเรียงตามแนวตั้งของอิฐ น้ำหนักถ่ายไล่กันเต็มเนื้อที่รับน้ำหนัก (Bearing Surface) ของทุกแผ่นอิฐ ถ้าเรียกแรงจะเป็นประเภทแรงอัดตลอด ใช้ได้กับโค้งทุกแบบ ไม่เหมือนการเรียงแบบเหลื่อม (Corralling Type) จะใช้ได้กับโค้งบางแบบเท่านั้น

อิฐก้อนอัด หรือวัสดุอื่น ๆ ที่ก่อโค้งใช้มันเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างยึดอยู่ด้วยกันกับปูนก่อ แต่เราสามารถเรียงให้มันสัมผัสกันสนิทได้ ซึ่งวิธีนี้เราใช้กับชิ้นส่วนที่เป็นก้อนหินตัด (Cut Stone Block) ในการก่อสร้างเรียงหิน

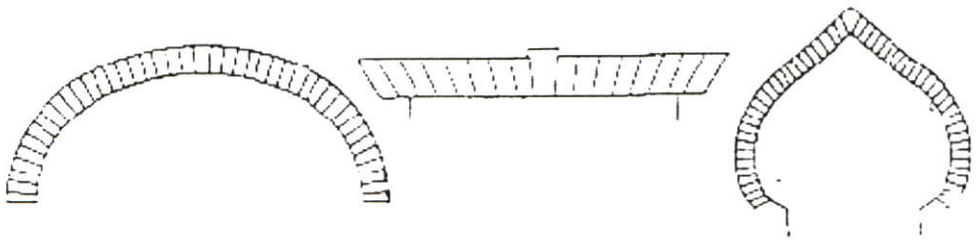


รูปที่ 2.2 รูปแบบของการเรียงหินของโค้ง Arch

โค้งวัสดุก่อเราออกแบบให้เป็นตัวโครงสร้าง แต่บางครั้งเราก็ใช้เพื่อจุดประสงค์ในการตกแต่ง โค้งวัสดุก่อมีหลายแบบ



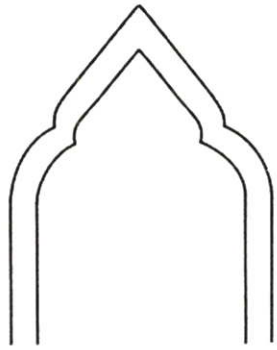
Semi Circular Arch Segmental Arch Ported Arch



Tree Centered Arch Flat Arch Horse Shoe Arch

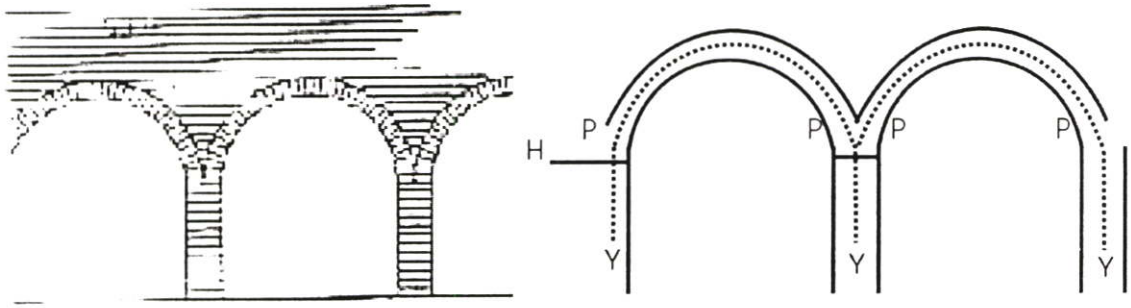
รูปที่ 2.3 โค้ง Arch ลักษณะต่างๆ

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



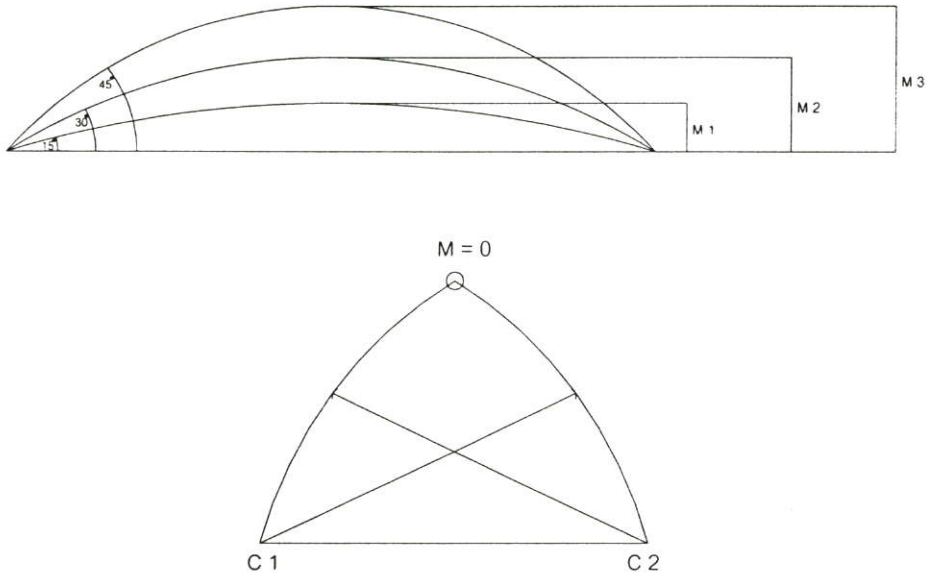
รูปที่ 2.4 โค้ง Arch แบบไทยที่ดัดแปลงมาจาก Ported Arch

โค้งวัสดุก่อในสมัยโบราณเหล่านี้ มีการออกแบบให้ตั้งอยู่บนแท่นตอม่อ หรือเสา หรือกำแพงรับน้ำหนัก โดยใช้วัสดุชนิดเดียวกัน ซึ่งมีการทรงตัวของมันเองอย่างมั่นคง ถ้าจะพิจารณาถึงระบบโครงสร้าง เราอาจจะพิจารณาให้โครงสร้างวัสดุก่อเหล่านี้ให้มีลักษณะเป็นโค้งที่มิได้ตรึงแน่นที่ Supports ที่เดียว แต่เป็นลักษณะกึ่งตรึงแน่น "Half Fixed Arch"



รูปที่ 2.5 การวางโค้ง Arch ลงบนโครงสร้าง

ถ้าจะพิจารณาถึงโมเมนต์ดัดหรือ (Bending Moment) ที่เกิดขึ้นที่ยอดโค้งหรือ (Crown) เราจะเห็นได้ที่โมเมนต์ดัดที่ยอดของโค้งจะเพิ่มทวีขึ้นเป็นลำดับ ในลักษณะที่เป็นปฏิภาคกลับกับการลดของมุม แต่สำหรับโค้งแหลม (Pointed Arch) จะมีลักษณะแตกต่างกันออกไปจากโค้งแบบอื่นๆ คือค่าของโมเมนต์ดัดที่ยอดของโค้งจะไม่มีเลยคือเท่ากับ 0 เพราะเราถือว่า Arch มีลักษณะเป็น One Hinged Arch อย่างไรก็ตาม โมเมนต์ดัดจะเกิดขึ้นได้มากที่ส่วนโค้งของข้างของยอดแหลมในเมื่อน้ำหนักกระทำที่ยอดของโค้ง

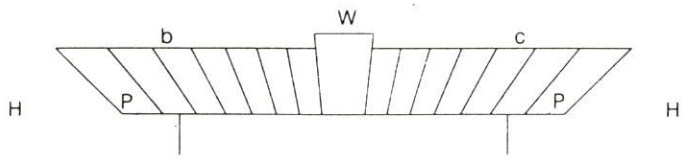


รูปที่ 2.6 โมเมนต์ที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง

โค้งแบบ (Flat Arch) ในสถาปัตยกรรมเป็นที่รู้จักกันดีว่า โค้งแบบนี้ได้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในสถาปัตยกรรมคลาสสิก โค้งแบบนี้ถูกนำมาใช้ในเมื่อมีความต้องการให้เหนือช่องว่างในแนวราบ วัสดุก่อสร้างโค้งแบนจะต้องมีลักษณะเป็นรูปลิ่ม เอียงไล่กันไปโดยตลอดถึง (Supports) สองข้าง ทั้งนี้เพื่อให้แรงต่อเนื่องในวัสดุทั้งหมดมีลักษณะเป็นโค้ง

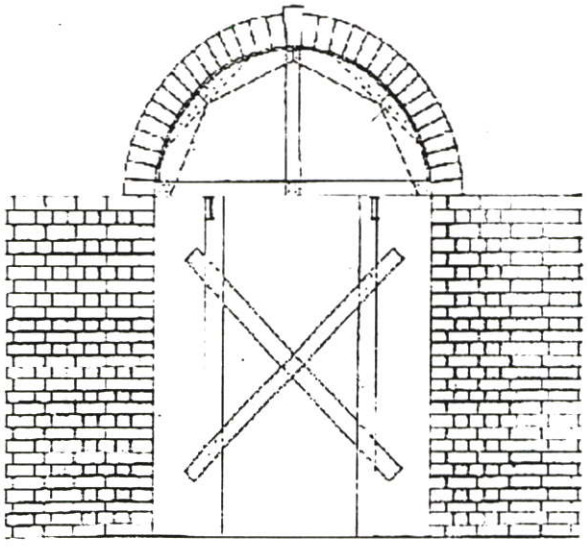
กำแพงอิฐที่ก่อเหนือโค้งจะต้องมีการก่อแบบ English Bond หรือ Flemish Bond เฉพาะน้ำหนักของกำแพงอิฐภายในเนื้อที่ A, B, C จึงจะถ่ายลงบน Flat Arch การพิจารณาแรงในโค้งแบนโดยเราจะถือว่าแรงลัพธ์กระทำที่ยอดโค้ง จะเป็นได้ชัดว่าแรงที่เกิดขึ้นในวัสดุโค้ง คงจะมีลักษณะเป็นแนวโค้ง

a



รูปที่ 2.7 แรงที่เกิดขึ้นใน Flat Arch

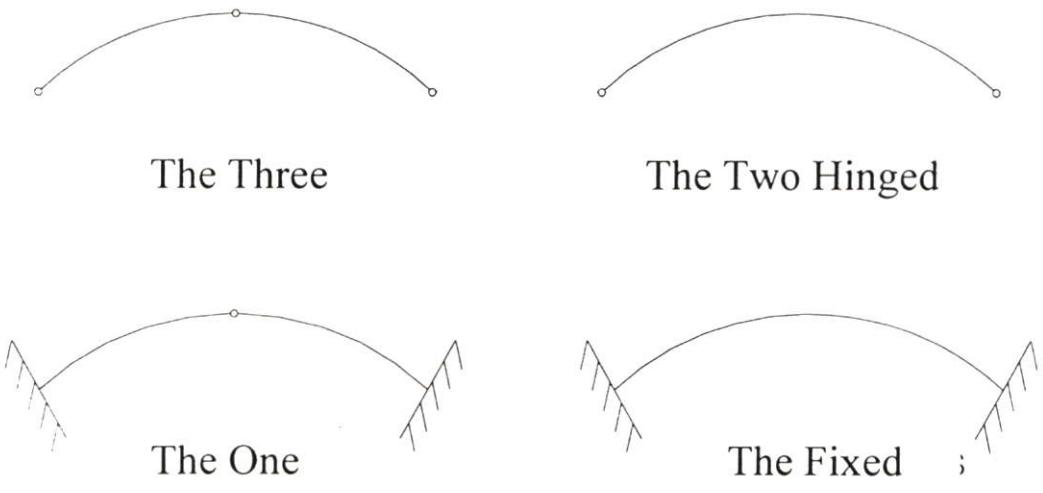
ในการก่อสร้างโค้งด้วยวัสดุก่อ การทำแบบและนั่งร้านมีความจำเป็นจะต้องสร้างขึ้นก่อนที่จะรียงหรือก่อชิ้นส่วนเหล่านั้นทั้งหมด ในวิธีการก่อสร้างนี้เป็นวิธีการที่ได้ปฏิบัติกันมาตั้งแต่สมัยโบราณจนกระทั่งทุกวันนี้ ตามที่แสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การทำแบบนั่งร้านในการก่อสร้างโค้ง Arch

การก่อสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก

ในเมื่อลักษณะของคอนครีตเสริมเหล็กได้เป็นวัสดุก่อสร้างกันโดยแพร่หลาย การก่อโค้งด้วยวัสดุก่อได้เปลี่ยนมาเป็นโค้งคอนครีตเสริมเหล็ก ระบบโครงสร้างชั้นพื้นฐานในปัจจุบัน ได้แบ่งออกเป็น 4 ระบบใหญ่ๆ คือ The Three Hinged, The Two Hinged , The One Hinged, The Fixed Arches ดูตามรูปที่ 2.9

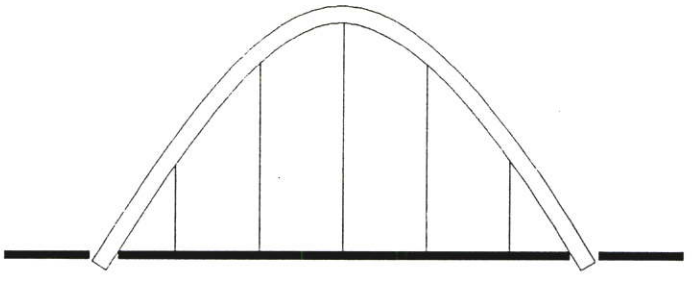


รูปที่ 2.9 ระบบโครงสร้างของโค้ง Arch ที่สร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก

ชนิดของโครงสร้าง Arch

1. แบบโครงยึดตึง

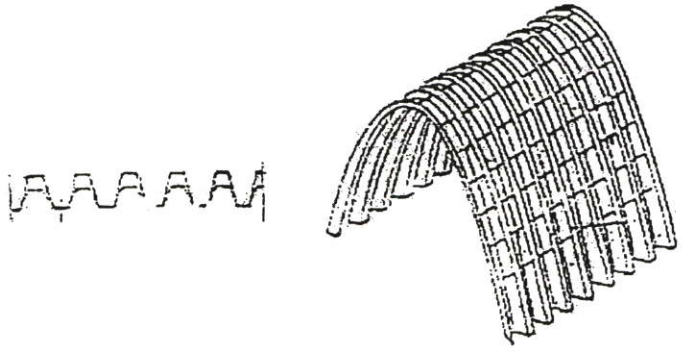
เป็นโครงสร้างแรงกดที่เหมาะสมสำหรับช่วงยาวๆ โค้งนี้มีรูปต่างๆ กันออกไปไม่จำเป็นเฉพาะช่วงยาวๆ ก็ใช้ได้วิธีนี้สถาปนิกผู้มีชื่อของสเปน ใช้เป็นโครงสร้างในการออกแบบโบสถ์ที่บาเซโลนา



รูปที่ 2.10 โค้งแบบยึดตึง

2. แบบพับจีบ

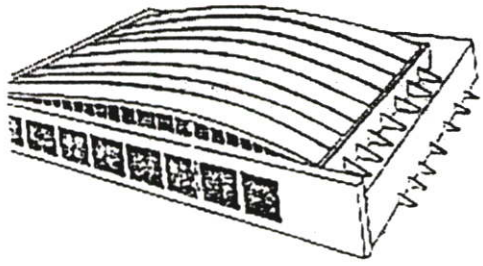
สำหรับรูปโค้งแบบนี้มีลักษณะ โค้งตามอย่างที่เส้นโค้งทรัสมีความเค้นขนานไปกับแกนโค้งเท่านั้น เช่นโรงเก็บเครื่องบินที่ออสเตรเลีย สร้างเมื่อปี ค.ศ.1951



รูปที่ 2.11 โค้งแบบพับจีบ

3. แบบโครงหลังคาโค้ง (เรียงขนาน)

เป็นโค้งหลังคาแบบที่ง่ายที่สุดคือ ใช้โครงโค้งเรียงขนานกันต่อกับส่วนขวางและหลังคาด้วยแผ่นซึ่งรวมไว้เป็นหลังคาแบบทรงถัง ซึ่งจะต่างจากโครงโค้งของวิหารกอธิกที่ใช้โครงไขว้กัน

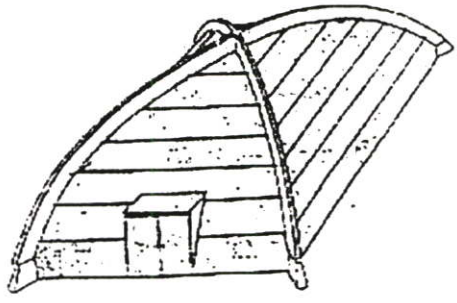


รูปที่ 2.12 โค้งแบบขนาน

รูปที่ 2.13 โค้งแบบไขว้

4. แบบโค้งสี่เหลี่ยมไขว้กัน

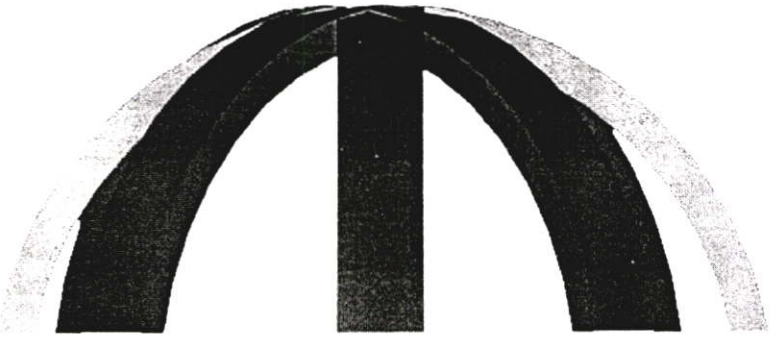
เป็นโค้งที่ใช้คลุมพื้นที่รูปสี่เหลี่ยม มักคลุมโค้งตามช่วงขวางมากกว่าด้านข้างของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โครงสร้างแบบนี้เป็นแบบโวลท์คลุมอยู่ตามปีก หรือมุข และเป็น ค.ส.ล. ใช้ที่ห้องโล่งๆ ใหญ่ๆ เช่นท่าอากาศยาน



รูปที่ 2.14 โค้งแบบสี่เหลี่ยมไขว้กัน

5. แบบโค้งตามรัศมี

โค้งกลม หรือรูปโค้ง ก็ใช้คลุมหลังคาจากศูนย์กลางไปยังเนื้อที่โค้งนั้นๆ เหมือนอย่างวิหารสมัยกอธิค ซึ่งอาจทำด้วยไม้หรือแผ่นสำเร็จรูป



รูปที่ 2.15 โค้งแบบโค้งตามรัศมี

6. แบบ Lamella

เป็นโค้งขนานกัน แคบและเย้ขวางไปตามด้านของพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าตัดกันกับโค้งขนาน เพื่อจะอาศัยการต่อกันกับส่วนตรงกลางให้เป็นประโยชน์

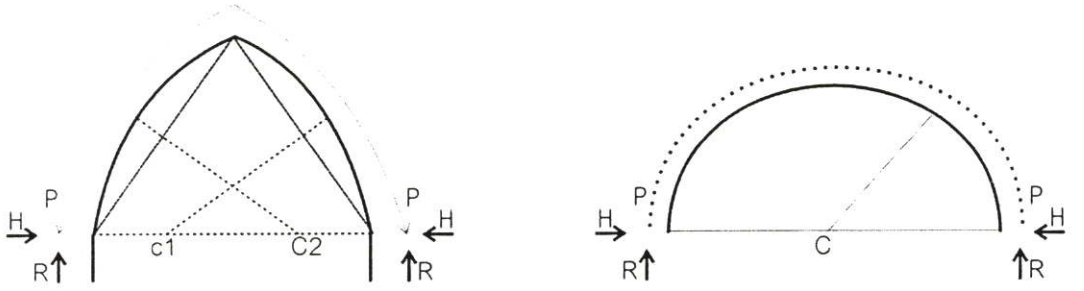
หน้าที่ของโค้ง

หน้าที่ของโค้งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักคือ

1. โค้งโครงสร้าง (Structural Arch)
2. โค้งประดับหรือตกแต่ง (Decorative Arch)

1. โค้งโครงสร้าง

สร้างด้วยวัสดุก่อมาทำหน้าที่รับน้ำหนักมวลที่อยู่เหนือโค้ง แล้วถ่ายน้ำหนักลงสู่ฐานสองข้างหรือโดยรอบ โดยลักษณะการสมดุลที่จุดรองรับ (Support) อย่างเดียวกันกับลักษณะสมดุลของการถ่ายน้ำหนักในองค์สามเหลี่ยม น้ำหนักที่ถ่ายลงมาเป็นลักษณะของแรงกด หรือแรงอัด (Compression)



รูปที่ 2.16 แรงที่เกิดขึ้นในโค้งโครงสร้าง

รูปที่ 2.17 แสดงให้เห็นถึงการถ่ายแรง และการสมดุลของโครงสามเหลี่ยมจั่ว และโครงแหลม (Pointed Arch) ที่ยอดจั่ว หรือยอดโค้งแหลม (Crown) ค่าของโมเมนต์ที่ยอดโค้งแหลมเท่ากับศูนย์ สำหรับโค้งแหลมนี้จะต้องเป็นโค้งด้วยจุดกลางสองจุดและจุดที่สร้างโค้งจะต้องอยู่ระดับของเส้นราบ ซึ่งเป็นเส้นระหว่างจุดที่เส้นโค้งจรดกับจุดรองรับ ส่วนโค้งแบบอื่นๆ จะเกิดโมเมนต์ที่ยอดโค้งและจุดรองรับทั้งสิ้น เมื่อโค้งมีความสูงหรือมุมทีมากขึ้น โค้งนั้นก็จะเกิดโมเมนต์มากขึ้นตามไปด้วย

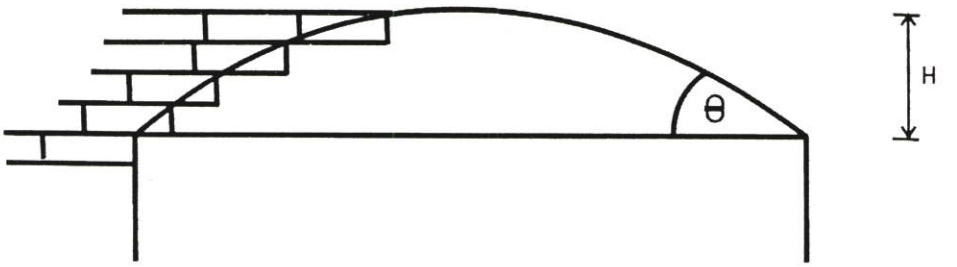
โค้งโครงสร้าง มีลักษณะอย่างเช่น

- โค้งเหนือซุ้มทางเข้าเขตศาสนสถาน
- โค้งอุโมง
- โค้งเหนือประตูหน้าต่าง
- โค้งของโดมทรงระฆัง เช่น พระเจดีย์ทรงระฆังที่ภายในเป็นที่ว่าง
- โค้งของโดมทรงกรวย กลม หรือเหลี่ยม เช่น สถูป เจดีย์ ปราสาทก่ออิฐ ที่ออกแบบให้มีพื้นที่ว่างภายใน

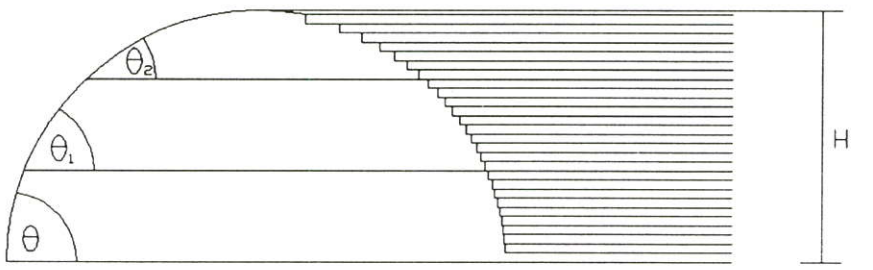
การเรียงวัสดุก่อ

การเรียงแบบเหลื่อม

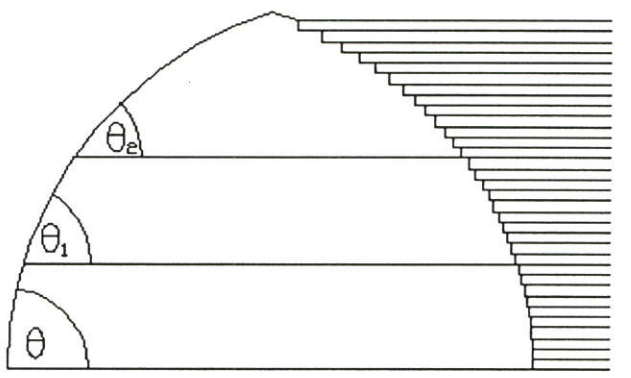
การเรียงวัสดุก่อให้เป็นลักษณะโค้งส่วนใหญ่นิยมก่อหรือเรียงเหลื่อมให้เป็นรูปโค้งแล้วฉาบปูนเพื่อให้ผิวโค้งเรียบ โดยเฉพาะผิวของส่วนที่มองเห็นจากภายนอก การเรียงวัสดุก่อแบบนี้ทำได้สมบูรณ์เฉพาะโค้งแหลม (Point Arch) สำหรับโค้งแบบอื่นๆ เช่น โค้งครึ่งวงกลม และโค้งส่วนของวงกลม โดยเฉพาะที่มีมุม θ น้อยมาก ทำให้ต้องเรียงอิฐให้มีระยะเหลื่อมมากขึ้นจาก ¼ ของความยาวอิฐ ระยะจะมากขึ้นเรื่อยๆ การก่อจะเคลื่อนจากระบบทำให้ทรงตัวไม่ได้



รูปที่ 2.17 การก่ออิฐในโค้งส่วนของวงกลม



รูปที่ 2.18 การก่ออิฐในโค้งครึ่งวงกลม

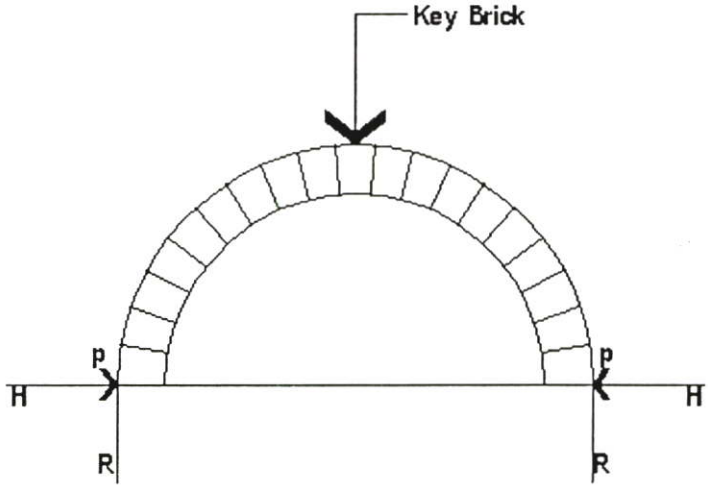


รูปที่ 2.19 การก่ออิฐในโค้งแหลม

สำหรับรูปโค้งแหลมตามรูป 2.19 ช่วงที่อิฐเหลื่อมกันน้อยกว่า ¼ แผ่นอิฐจะอยู่ในระยะโค้งที่ทำมุม θ_1 และ θ_2 ส่วนที่ θ_3 อิฐจะเหลื่อมกันอยู่ในเกณฑ์ ¼ แผ่นอิฐ จนถึงยอดโค้ง (Crown) การก่ออิฐเรียงโค้งชั้นเป็นเหลื่อม จึงใช้ได้กับโค้งแบบโค้งแหลม (Pointed Arch) ซึ่งไทยเราดัดแปลงเป็นโค้งกลีบบัว และกลีบบัวหยก

การเรียงตามแนวตั้ง

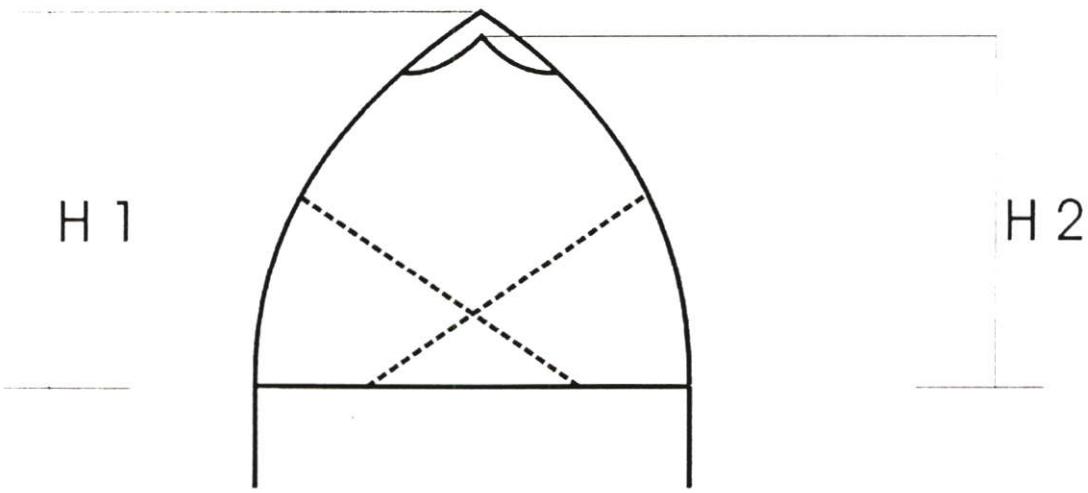
การเรียงวัสดุก่อตามหลักของการเรียงโค้ง เป็นการเรียงตามแนวตั้งของแผ่นอิฐ น้ำหนักที่ถ่ายไล่กันเต็มเนื้อที่รับน้ำหนัก (Bearing Surface) ทุกแผ่นของอิฐ น้ำหนักที่ถ่ายลงบนแนวโค้งและจุดรองรับเป็นแรงอัด การเรียงแบบนี้ใช้ได้กับโค้งทุกแบบ ไม่เหมือนกับการเรียงในลักษณะเหลื่อม (Corralling Type) ที่ใช้ได้กับโค้งบางแบบเท่านั้น



รูปที่ 2.20 การเรียงอิฐตามแนวตั้งของแผ่นอิฐ

2. โค้งประดับหรือตกแต่ง

เป็นโค้งเหนือซุ้มหน้าต่างหรือประตู มีการตกแต่งด้วงลวดลายต่างๆ ของปูนปั้น ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างรับน้ำหนักขององค์อาคาร จะรับน้ำหนักก็เพียงองค์ประกอบงานศิลปกรรมประดับซุ้มเท่านั้น



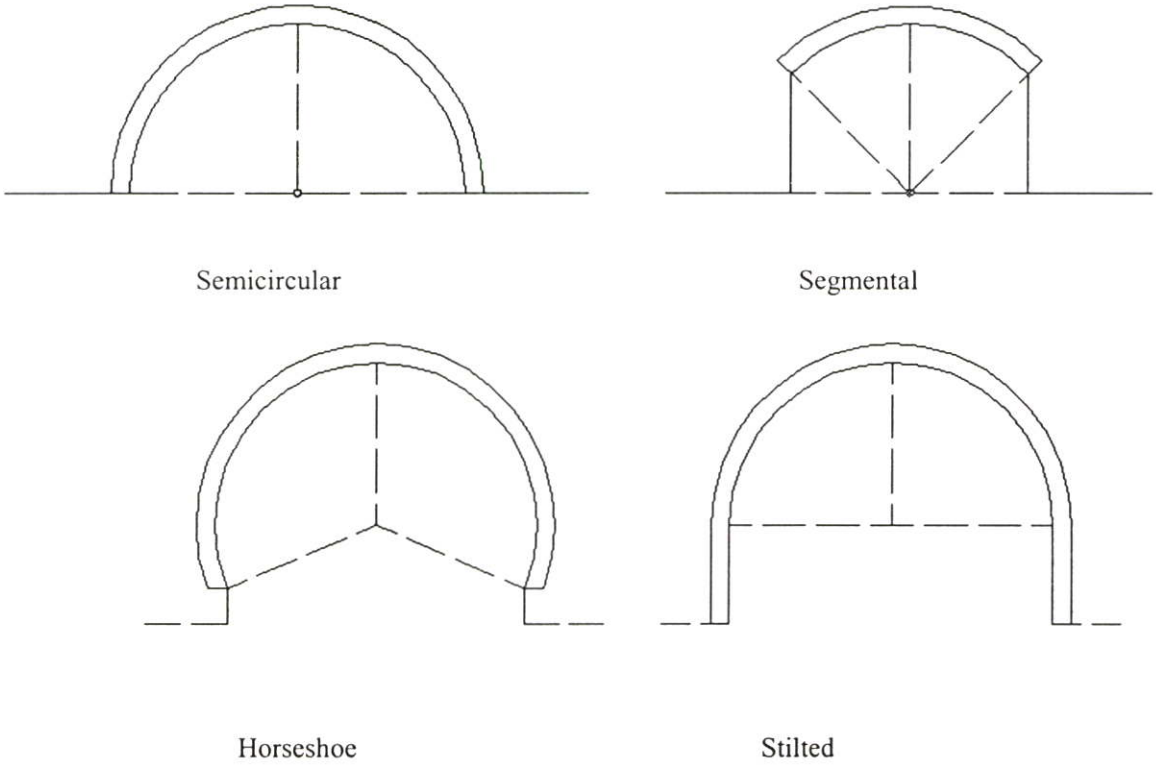
รูปที่ 2.21 ลักษณะโค้งประดับ

ลักษณะของ Arch

พิจารณาตามลักษณะจุดศูนย์กลางของความโค้ง สามารถแบ่งออกเป็นลักษณะใหญ่ๆ 4 แบบ ซึ่งอยู่กับลักษณะของความโค้ง

1. ลักษณะจุดศูนย์กลางโค้งจุดเดียว (One Centered Arch)

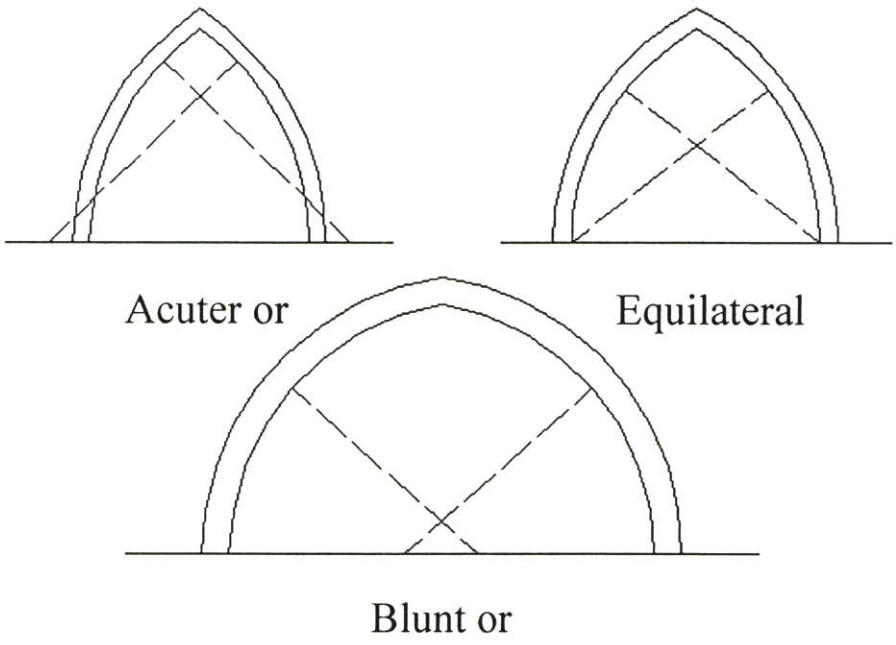
Arch ซึ่งจุดศูนย์กลางความโค้งเพียงจุดเดียวนั้นมี 4 ลักษณะ คือ Semicircular, Segmental , Horseshoe และ Stilted สำหรับ Segmental เป็น Arch ที่มีส่วนโค้งน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของวงกลม และ Stilted นั้นมีลักษณะคล้ายกับ Semicircular แต่ได้เพิ่มส่วนล่างของ Arch ทั้งสองลงมาในลักษณะตรง



รูปที่ 2.22 Arch ลักษณะจุดศูนย์กลางโค้งจุดเดียว

2. ลักษณะจุดศูนย์กลางโค้ง 2 จุด (Two Centered Arch)

มีอยู่ 3 ลักษณะ คือ Acuter or Lancet ,Equilateral และ Blunt or Drop ข้อแตกต่างของ Arch เหล่านี้คือ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางความโค้ง และความกว้างของ Arch สำหรับ Blunt or Drop นั้นจุดศูนย์กลางความโค้งอยู่ภายในความกว้างของ Arch Equilateral นั้นจุดศูนย์กลางความโค้งอยู่ตรงฐานของ Arch ส่วน Acuter or Lancet นั้นจุดศูนย์กลางความโค้งอยู่ภายนอกความกว้างของ Arch



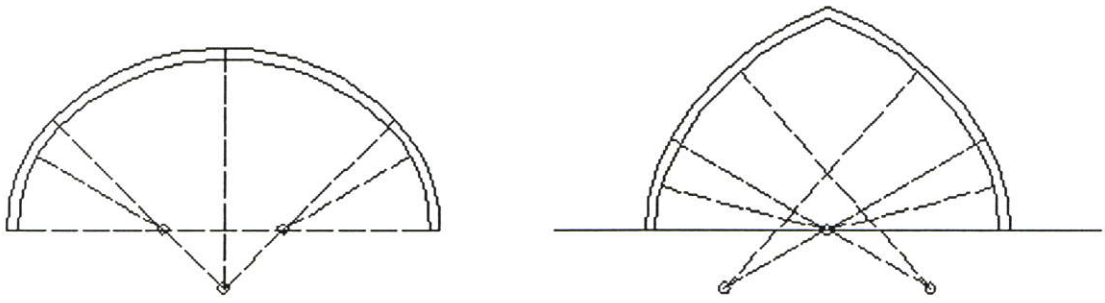
รูปที่ 2.23 Arch ลักษณะจุดศูนย์กลางโค้ง 2 จุด

3. ลักษณะจุดศูนย์กลางโค้ง 3 จุด (Three Centered Arch)

ลักษณะของโค้งซึ่งมีศูนย์กลางโค้ง 3 จุด นั้นแบ่งได้เป็นลักษณะใหญ่ๆ 2 ประการ คือ

- จุดศูนย์กลางความโค้งจุดหนึ่ง เป็นจุดศูนย์กลางของความโค้งตรงส่วนกลาง หรือส่วนบนของ Arch และจุดศูนย์กลางอีกสองจุดเป็นจุดศูนย์กลางของความโค้งทั้งสองด้าน ถัดจากส่วนบน ของ Arch ลงมาจุดศูนย์กลาง 3 จุด (ภาพที่ 1)

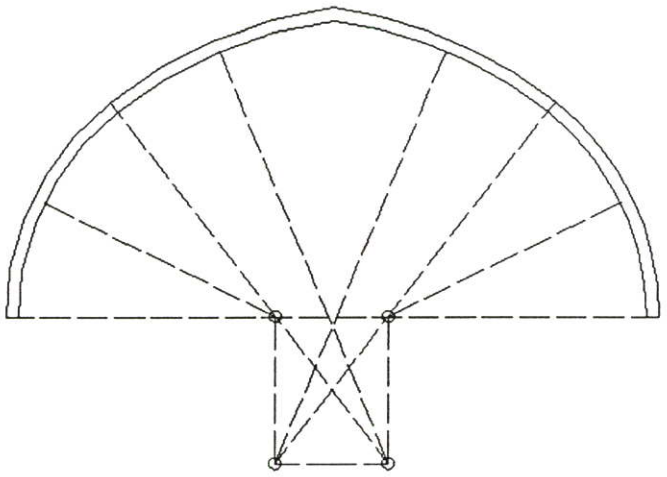
- ลักษณะที่สองนี้กลับกันกับลักษณะที่กล่าวมา คือ จุดศูนย์กลางของโค้งสองจุดเป็นศูนย์กลางของความโค้งส่วนกลางของ Arch และอีกจุดเป็นจุดศูนย์กลางของความโค้งส่วนบนสองด้าน (ภาพที่ 2)



รูปที่ 2.24 Arch ลักษณะจุดศูนย์กลางโค้ง 3 จุด

4. ลักษณะจุดศูนย์กลางโค้ง 4 จุด (Four Centered Arch)

ตัวอย่างของ Arch เช่นนี้คือ Tudor Arch ลักษณะของ Arch ชนิดนี้มีลักษณะใกล้เคียงกับ Arch ที่มีจุดศูนย์กลางโค้ง 3 จุด ในแบบที่สองมาก คือ จุดศูนย์กลางของความโค้งสองจุดเป็นส่วนของรัศมีความโค้งของ Arch ส่วนกลาง และอีกสองจุดเป็นรัศมีความโค้งของส่วนกว้างอีกสองข้าง ซึ่งอยู่ถัดจากส่วนบน หรือส่วนกลางลงมา



รูปที่ 2.25 Arch ลักษณะจุดศูนย์กลางโค้ง 4 จุด

2.3.1.2 Vault

ความหมายและคำจำกัดความ

โวลท์ (Vault) หมายถึง หลังคาโค้งในงานสถาปัตยกรรม โวลท์มีวิวัฒนาการมาจากโค้ง Arch ซึ่งมีลักษณะเป็นโค้ง Arch หลายๆอันแล้วนำมาประกอบติดเข้าไป ซึ่งโวลท์ลักษณะนี้เป็นลักษณะของโวลท์ประทุน (Wagon Vault/Barrel Vault) และโวลท์อีกลักษณะหนึ่งซึ่งเรียกว่าโวลท์ตัด (Intersecting Vault/Cross Vault) ลักษณะโวลท์แบบนี้คือการนำเอาโค้ง Arch มาเรียงไขว้กันเพื่อรองรับเนื้อหนัง (Panel) ของโวลท์ โครงสร้างโวลท์ส่วนใหญ่ ทำเป็นเพดานบนของห้องหลังคาคลุมทางเดินที่มีความยาวมากๆ ซึ่งจะมีเสาสูงเป็นตัวรองรับอีกต่อหนึ่ง

ประวัติและความเป็นมา

หลังคาโค้ง (Vault) ในงานสถาปัตยกรรม ลักษณะการก่อสร้างระบบนี้ เกิดขึ้นเมื่อ 2500 ปีมาแล้ว ในดินแดนเมโสโปเตเมีย ซึ่งเรียกว่า "สถาปัตยกรรมของกลุ่มเชื้อชาติในดินแดนเมโสโปเตเมีย" ได้แก่ พวกแอสซีเรียน และพวกเปอร์เซีย (Assyrians And Persiana) พวกนี้เป็นพวกนักรบและล่าสัตว์ เขาเหล่านี้จะสนใจเกี่ยวข้องด้านวัตถุมากกว่าศาสนาธรรม ซึ่งจะเห็นได้จากการก่อสร้างพระราชวังอันมโหฬารที่ตกแต่งผนังเป็นเรื่องราวเกี่ยวกับการรบทัพจับศึกและการล่าสัตว์ แทนที่จะเป็นการก่อสร้างวิหาร และที่เก็บศพ (Tombs) แบบอียิปต์ แรงงานที่ก่อสร้างงานสถาปัตยกรรมเหล่านี้ส่วน

ใหญ่เป็นเชลยศึกมหาศาลที่จับได้มาจากการสงครามนั่นเอง ในด้านเทคนิคการก่อสร้างของยุคนี้ก็ชี้ชัดให้เราเข้าใจเช่นกันว่า การที่ช่างหรือสถาปนิกในดินแดนแถบนี้จำต้องพัฒนาการก่อสร้างด้วยอิฐขึ้นมาก็เนื่องมาจากท้องถิ่นนี้ไม่มีหิน ผลที่ได้รับคือการวัฒนาการของการก่อสร้างของระบบโค้งและโวลท์ (Arch & Vault) แทนที่จะเป็นระบบเสาคานง่ายๆ แบบอียิปต์

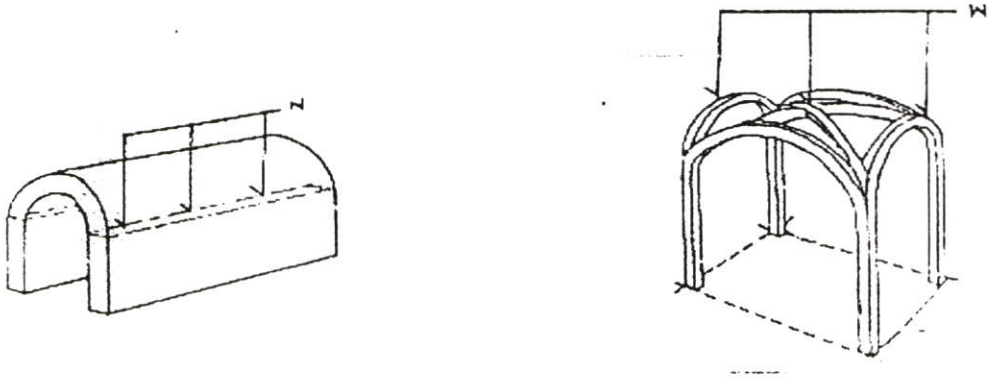
ต่อมาในยุคสมัยกรีกเรืองอำนาจ การวิวัฒนาการการก่อสร้างของกรีกนั้นเหมือนกับของอียิปต์ คือ ระบบเสาคาน แต่ได้มีการพัฒนาการก่อสร้างโดยนำหินมาใช้แทนไม้

ในยุคสมัยโกธิคได้มีการพัฒนาโครงสร้างโวลท์เป็นอย่างมากโดยมีการทำโครงซอย (Intermediate Ribs) ของโวลท์ให้มีจำนวนมากเพื่อลดน้ำหนักของตัวโครงสร้าง สามารถกล่าวได้ว่ายุคโกธิคเป็นยุคที่โวลท์รุ่งเรืองมากที่สุด

โครงสร้าง ธรรมชาติและการรับแรงของโวลท์

ลักษณะของโครงสร้างโวลท์เกิดจากปัญหาและการแก้ไขของสถาปนิกที่ว่า "จะทำอย่างไรจึงจะสร้างหลังคาวัดให้เป็นหินทั้งหมดโดยไม่หนักจนเกินไป" สมัยก่อนการก่อสร้างวัดนั้นสร้างด้วยไม้ มักเกิดไฟไหม้และเกิดอุบัติเหตุบ่อยครั้ง จึงหันมาใช้หินในการสร้างแทน

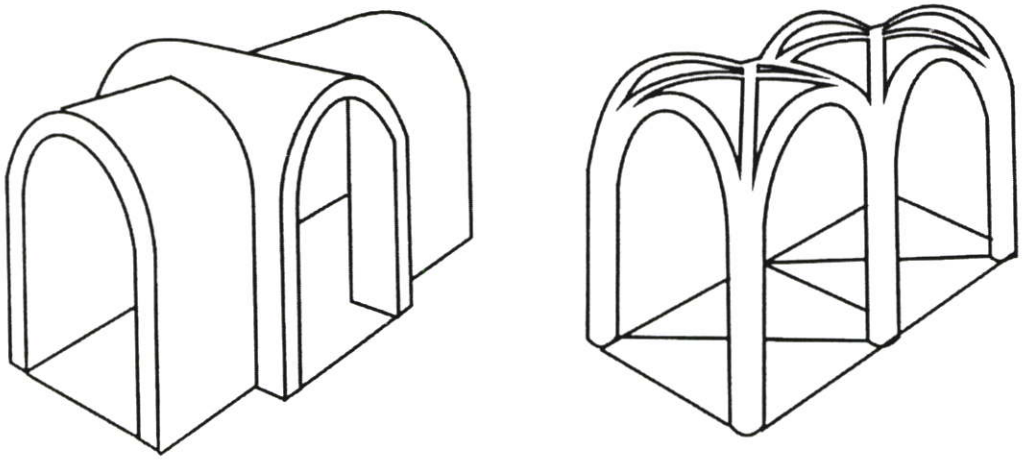
ไม้เป็นวัสดุที่สามารถต่อใช้งานได้ง่าย การที่จะสร้างหลังคาด้วยหินนั้นยากมากเพราะไม่สามารถที่จะหาหินที่มีความยาวพอที่จะพาดข้ามกำแพงจากอีกด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่ง และอีกประการหนึ่งคือ หลังคาที่ทำด้วยหินมีน้ำหนักมากจนเกินไป สถาปนิกจึงคิดค้นที่จะแก้ปัญหานี้โดยการสร้างหลังคาที่มีเพดานโค้ง ซึ่งในสมัยก่อนโครงสร้างโวลท์นั้นเป็นหินซึ่งประกอบด้วยหินตัดเป็นขนาดต่างๆกัน และนำมาวางเรียงเป็นวงโค้ง หินที่เป็นรูปจอบ (Key Stone) อยู่ตรงกลางซึ่งเป็นกุญแจทีบังคับตัวอื่นๆ ให้มั่นคงอยู่ตามที่ของมันได้



รูปที่ 2.26 ลักษณะโครงสร้างโวลท์

โครงของโวลท์ส่วนใหญ่สร้างเป็นการถาวรด้วยการใช้หินตัดกันหลายๆ ขนาดมาเรียงต่อกันโดยมีแนวปูนสอ ที่หนาๆ เป็นตัวเชื่อมซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่ช่วยให้เกิดความยืดหยุ่น แก่โครงสร้าง

ได้ และโครงนั้นจะทำหน้าที่รับแผ่นเนื้อหนังของโวลท์ ซึ่งทำหน้าที่เหมือนวัสดุมุง ประกอบด้วยก้อนเล็กๆ บางๆ มาวางเรียงกัน



รูปที่ 2.27 การสร้างโวลท์แบบต่างๆ

ลักษณะของโครงสร้างโวลท์

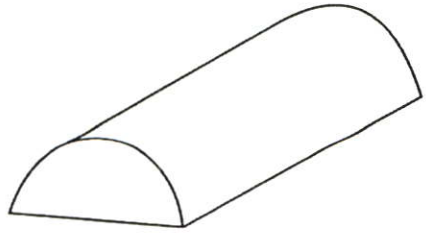
แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. โวลท์ประทุน (Wagon Vault/Barrel Vault)

ลักษณะของโวลท์ประทุนจะมีผนังทึบตัน การเปิดช่องแสงสามารถทำได้น้อยเพราะผนังเป็นส่วนรองรับน้ำหนักของโวลท์ น้ำหนักของโวลท์จะถ่ายอย่างต่อเนื่องไปตามแนวของผนังโวลท์ ประทุนแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1.1 โวลท์ประทุนยาว (Long Span Barrel Vault)

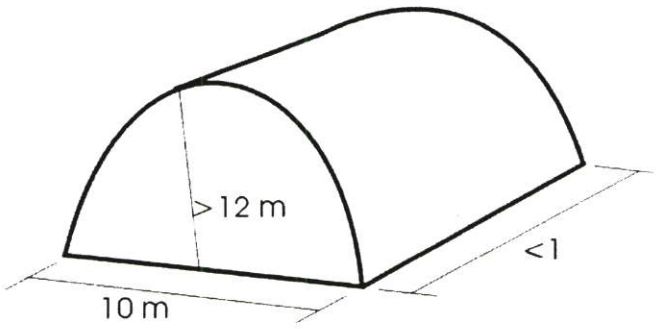
ลักษณะโวลท์ประทุนยาวเป็นโค้งแนวเดียวทำหน้าที่เหมือนคานพาดตามความยาวของโครงโค้ง ความกว้างของตัวโค้งใช้ประมาณ 1/2 ถึง 1/3 ของความยาวช่วง



รูปที่ 2.28 ลักษณะโวลท์ประทุนยาว

1.2 โวลท์ประทุนสั้น (Short Span Barrel Vault)

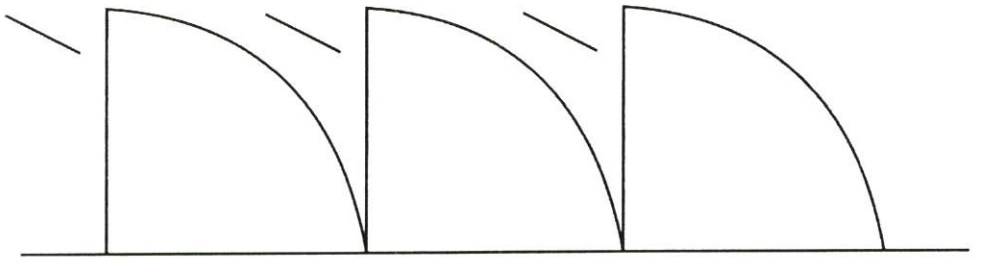
โวลท์แบบนี้ใช้เมื่อต้องการจำกัดการใช้เนื้อที่ภายใต้โครงสร้าง ในกรณีที่ต้องการพื้นที่กว้าง และพื้นที่ที่ต้องจำกัดความยาว ความลึกของโวลท์ประทุนสั้น ไม่ควรน้อยกว่า 1/10ของความยาวหรือความกว้าง แล้วแต่อย่างใดจะมากกว่ากัน



รูปที่ 2.29 ลักษณะของโวลท์ประทุนสั้น

1.3 โวลท์ประทุนรับแสงด้านเหนือ และโวลท์ประทุนยื่น (North Light And Cantilever Barrel Vault)

โวลท์แบบนี้สามารถดัดแปลงใช้ได้มาก เช่นวางเอียงเพื่อรับแสง หรือทำเป็นตัวออกข้างเดียวหรือสองข้าง ความสูงทั้งหมดควรมากกว่า 1/8 ของความยาว ความสูงของตัวโค้งควรมากกว่า 1/25 ของความยาว เมื่อยื่นโค้งออกด้านเดียว ต้องออกแบบฐานให้สามารถกันการพลิกล้มได้ ตัวโครงอาจทำเป็นพาราโบลา หรือวงรีโค้งออกมาจากดินก็ได้

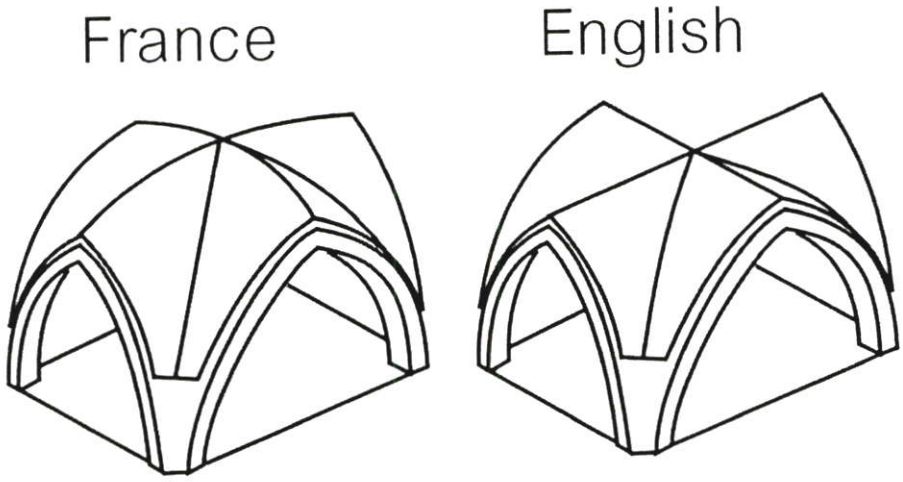


รูปที่ 2.30 ลักษณะโวลท์ประทุนยื่น

2. โวลท์ตัด (Intersecting Vault/Cross Vault)

โวลท์ตัดสร้างขึ้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นของโวลท์ประทุน คือทำอย่างไรจึงสามารถเจาะช่องแสงได้ตามต้องการ จึงทำเป็นโวลท์ตัดที่มีโครงมากขึ้น เพื่อให้ผนังไม่ต้องรับน้ำหนัก มีหน้าที่

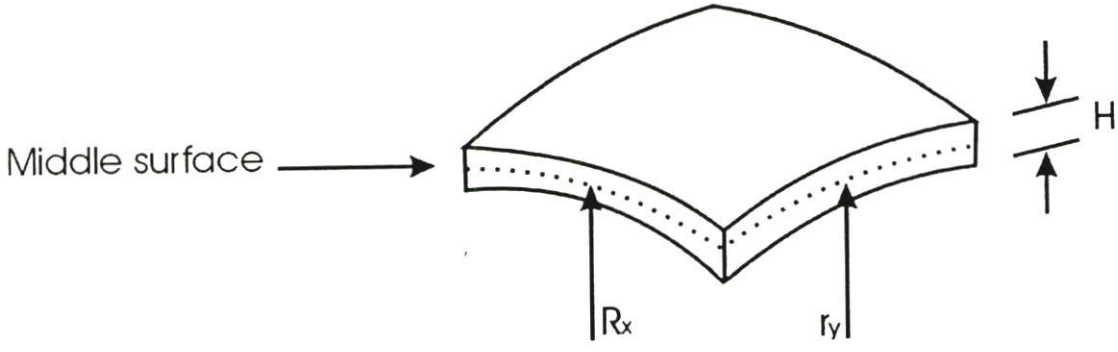
เพียงห่อหุ้มอาคารเท่านั้น ผนังของโวลท์ตัดจึงถูกทำให้เบาบางมากที่สุด จุดประสงค์อีกอย่างก็คือต้องการลดน้ำหนักของโครงสร้าง



รูปที่ 2.31 ลักษณะของโวลท์ตัด

2.3.2 เปลือกแข็งบาง (Thin – Shell)

โครงสร้างชนิดนี้เป็นโครงสร้าง 3 มิติอีกอย่างหนึ่ง ส่วนมากมักจะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก หลักสำคัญก็คือมิติหนึ่งจะต้องน้อยกว่าอีกสองมิติมากๆ จากรูป Shell Element ความหนา H จะต้องน้อยกว่า R/X และ R/Y มากๆ เช่น โครงสร้างขนาด R/X และ R/Y เท่ากับ 30 เมตร ความหนาของเปลือกไม่ควรเกิน 100 มิลลิเมตร เป็นต้น มิฉะนั้นจะผิดจากสมมุติฐานมากจนกลายเป็น " เปลือกหนา" ไป เพราะในการวิเคราะห์ด้วยวิธี "Membrane Theory" ปกติจะคิด "Middle Surface" ที่กึ่งกลางความหนาเท่านั้น



รูปที่ 2.32 ขนาดที่เหมาะสมของ Thin – Shell

ปกติมักนำโครงสร้างเปลือกบ้างไปใช้กับหลังคา เพราะมีความสวยงามอยู่ในตัว จึงมักเรียกกันว่า หลังคาเปลือกบาง (Shell Roof) ลักษณะของแรงในโครงสร้างชนิดนี้แตกต่างกันไปตามรูปลักษณะของหลังคา บางชนิดก็มีแต่ Membrane Stress บางชนิดก็มีโมเมนต์ดัดด้วย

หลังคาเปลือกบางที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ควรจะมีคุณสมบัติดังนี้ คือ

1. ภายในตัวโครงสร้างมีแต่ Membrane Stress
2. Membrane Stress ส่วนใหญ่เป็นแรงอัด
3. แบบหล่อไม่ยุ่งยาก (เพราะปกติโครงสร้างเปลือกบางมักจะแพงที่แบบหล่อ)

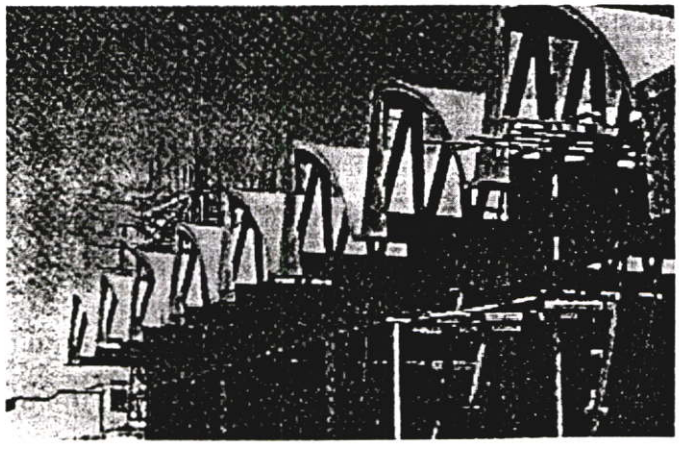
หลังคาเปลือกบางเป็นโครงสร้างที่ประหยัดหากเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน ปกติจะใช้กับอาคารที่มีช่วงกว้างมากๆ และต้องการให้มีความสวยงามในตัว เช่น โรงยิมเนเซี่ยม เพราะหลังคาเปลือกบางจะตั้งอยู่ได้ด้วยตัวเอง ไม่ต้องมีคานเสากลางและแผ่นพื้นหรือโครงหลังคาอื่นอีก ฉะนั้นจะใช้วัสดุก่อสร้างน้อยกว่าโครงหลังคาคอนกรีตชนิดอื่นๆ ข้อเสียเปรียบอย่างเดียวคือราคาทำแบบหล่อมักจะสูง แต่ถ้าเลือกชนิดของหลังคาที่เหมาะสมก็จะไม่แพงจนเกินไป

ชนิดของเปลือกแข็งบาง

หลังคาเปลือกบางอาจแบ่งตามลักษณะรูปร่างของโครงสร้างได้ดังนี้ คือ

1. หลังคาเปลือกบางชนิดโค้งทางเดียว (Single – Curvature Shell)
2. หลังคาเปลือกบางชนิดโค้งสองทาง (Double – Curvature Shell)
3. หลังคาเปลือกบางชนิดหมุนรอบแกน (Shell Of Surface Revolution)
4. หลังคาเปลือกแข็งชนิดแบบปริซึม (Prismatic Shell)
5. หลังคาเปลือกแข็งบางชนิดไม่มีรูปร่างทางเรขาคณิต

1. หลังคาเปลือกบางชนิดโค้งทางเดียว (Single – Curvature Shell)



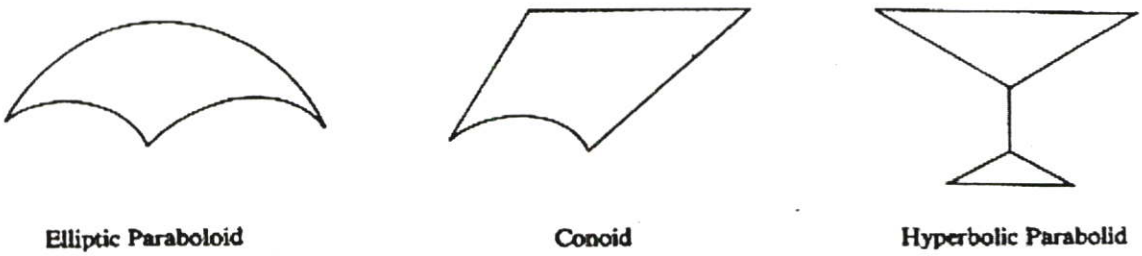
รูปที่ 2.33 หลังคาเปลือกบางชนิดโค้งทางเดียว (Single – Curvature Shell)

ลักษณะหลังคารูปนี้จะโค้งด้านหนึ่ง ส่วนอีกด้านหนึ่งตรง ทั่วไปด้านโค้งมักมีลักษณะเป็นส่วนหนึ่งของวงกลม ธรรมชาติของแรงในตัวโครงสร้างจะเป็นโมเมนต์ดัดเสียเป็นส่วนใหญ่

รูปร่างของหลังคาแบบนี้ค่อนข้างจะตายตัว ดัดแปลงเป็นรูปอื่นได้ยาก

2. หลังคาเปลือกบางชนิดโค้งสองทาง (Double – Curvature Shell)

เปลือกบางชนิดนี้มีได้หลายรูปแบบ Paraboloid , Elliptic Paraboloid , Hyperbolic Paraboloid , Conoid เป็นต้น



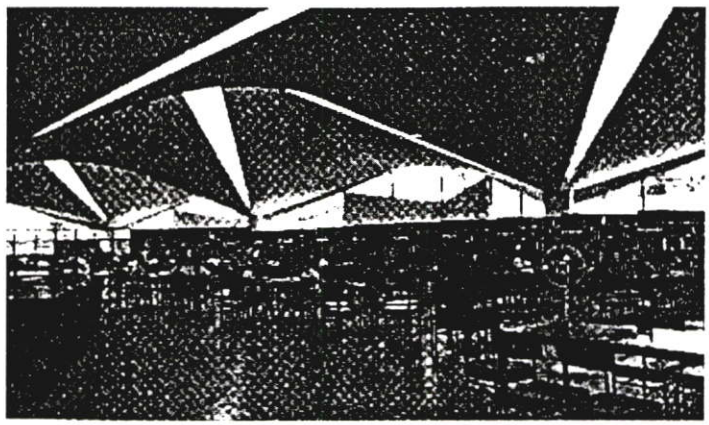
รูปที่ 2.34 รูปแบบของหลังคาเปลือกบางชนิดโค้งสองทาง (Double – Curvature Shell)

สำหรับ Hyperbolic Paraboloid ยังสามารถแยกละเอียดลงไปได้อีก

Hyperbolic Paraboloid

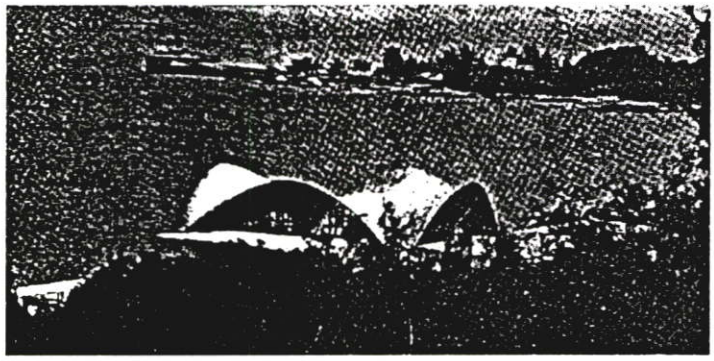
สำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นเมืองร้อน หลังคาเปลือกบางแบบนี้เหมาะสมด้วยประการทั้งปวง กล่าวคือ

1. หน่วยแรงในตัวเปลือกบางมีแรง Membrane Stress เป็นส่วนใหญ่ มีโมเมนต์ดัดเพียงเล็กน้อย ณ ที่รองรับ และแรงส่วนใหญ่เป็นแรงอัด จึงเป็นการประหยัด เพราะคอนกรีตสามารถรับแรงอัดได้ดี ส่วนที่เป็นแรงดึงก็ใช้เหล็กเสริมเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 2.35 Hyperbolic Paraboloid Shell ชนิดมีคานขอบ

2. เมื่อเปรียบเทียบกับหลังคาเปลือกบางรูปอื่นๆ แล้วแบบหล่อของหลังคาเปลือกบางรูปนี้ทำได้ง่ายกว่ามาก เพราะจากเรขาคณิตรูป Hyperbolic Paraboloid เกิดขึ้นจากเส้นตรงสองทางประกอบกันดังจะอธิบายต่อไป ฉะนั้น คร่าวของแบบหล่อก็ประกอบขึ้นตามแนวเส้นตรงนั้นส่วนผิวของแบบหล่อก็จะโค้งไปตามคร่าวโดยอัตโนมัติ



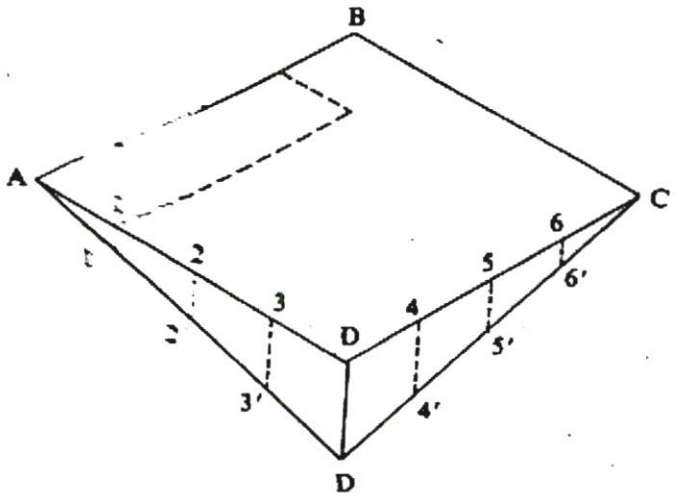
รูปที่ 2.36 Hyperbolic Paraboloid ชนิดไม่มีคานขอบ (Saddle Shell)

3. หากเลือกลักษณะของ Hyperbolic Paraboloid ชนิดที่ต่ำตรงกลางสูงตรงริมการระบายอากาศร้อนจะเป็นไปโดยอัตโนมัติ เพราะธรรมดาอากาศร้อนจะลอยขึ้นสูงออกไปทางช่องเปิดที่เว้นไว้โดยรอบ

4. ลดการแตกร้าวเนื่องจากการยืดหดตัวลงได้มากเนื่องจากหน่วยแรงหลักเป็น Membrane Stress ที่ส่วนใหญ่เป็นแรงอัดดังกล่าวแล้วในข้อ 1.

นอกจากคุณสมบัติต่างๆ ดังกล่าวแล้ว Hyperbolic Paraboloid ยังสามารถนำมาประยุกต์เป็นรูปร่างต่างๆ กันได้มาก

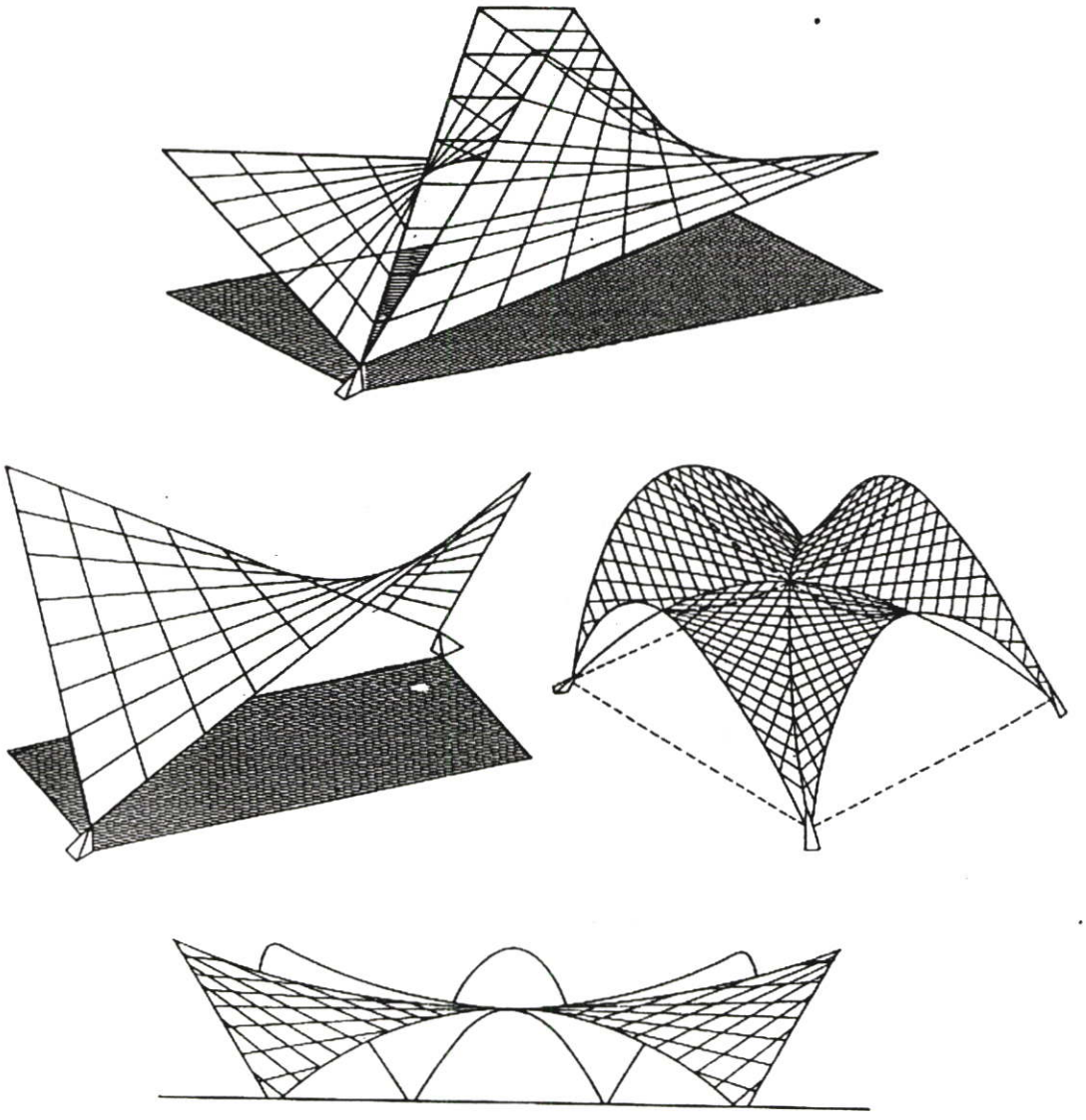
หลักเบื้องต้นการสร้างรูป Hyperbolic Paraboloid



รูปที่ 2.37 หลักเบื้องต้นการสร้างรูป Hyperbolic Paraboloid

ABCD เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าอยู่ในแนวราบแบ่งด้านทั้งสี่ออกเป็นจำนวนช่องเท่าๆ กัน (เฉพาะด้านที่อยู่ตรงข้างกัน ในที่นี้ด้านละ 4 ช่อง ณ จุด 1, 2, 3, 4, 5, 6)

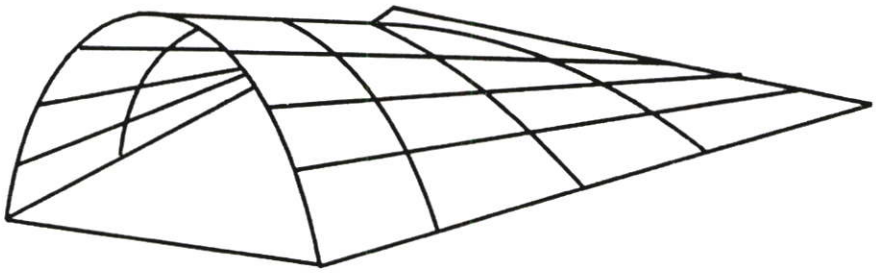
กดมุมใดมุมหนึ่ง เช่น D ลงมาอยู่ที่ D' จุดอื่นๆ ก็จะลดลงมาอยู่ที่ 1',2',3',4',5', และ 6' ABCD' จะกลายเป็นระนาบบิดเบี้ยวเป็นรูป Hyperbolic Paraboloid โดยที่เส้นต่างๆ ที่ลดลงมาอยู่ในระนาบใหม่นี้ยังคงเป็นเส้นตรงทุกเส้นต่อเมื่อประกอบกันเป็นระนาบแล้วจึงเป็นรูป Hyperbolic Paraboloid สามารถประกอบกันเป็นรูปต่างๆ ได้หลายรูปดังแสดงเป็นตัวอย่างขึ้นอยู่กับจำนวนที่รองรับด้วย การสร้างก็ใช้หลักการเดียวกันทั้งสิ้น



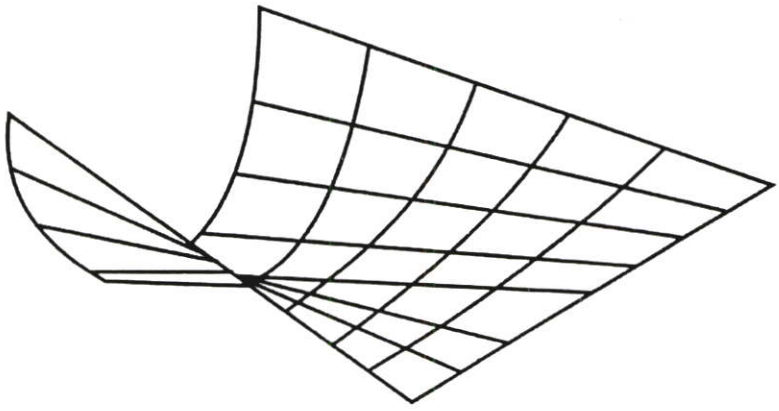
รูปที่ 2.38 การสร้างรูป Hyperbolic Paraboloid แบบต่างๆ

Conoid

คือผิวที่เกิดจากการเลื่อนส่วนเซกเมนต์กับปลายข้างโค้งและอีกปลายให้เป็นเส้นตรง ดูรูปที่ 2.39 คอนอยด์ใช้เป็นเปลือกแข็งยื่นให้ปลายโค้งยึดปลายไว้เรียบยื่นออก กรณีเช่นนี้ความโค้งขวางจึงมักจะโค้งขึ้น ดูรูปที่ 2.40



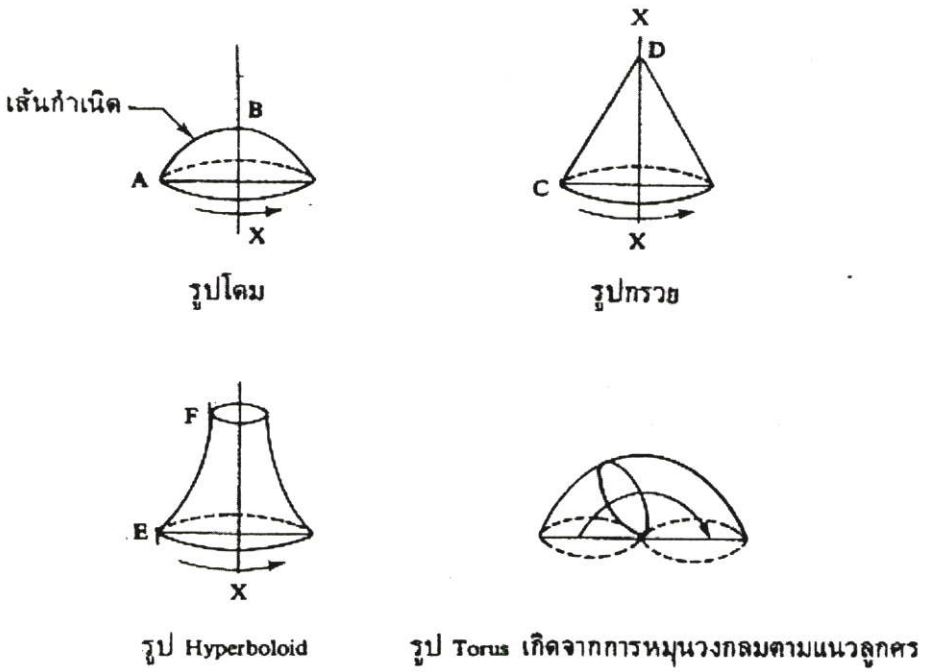
รูปที่ 2.39 คอนอยด์ (Conoid)



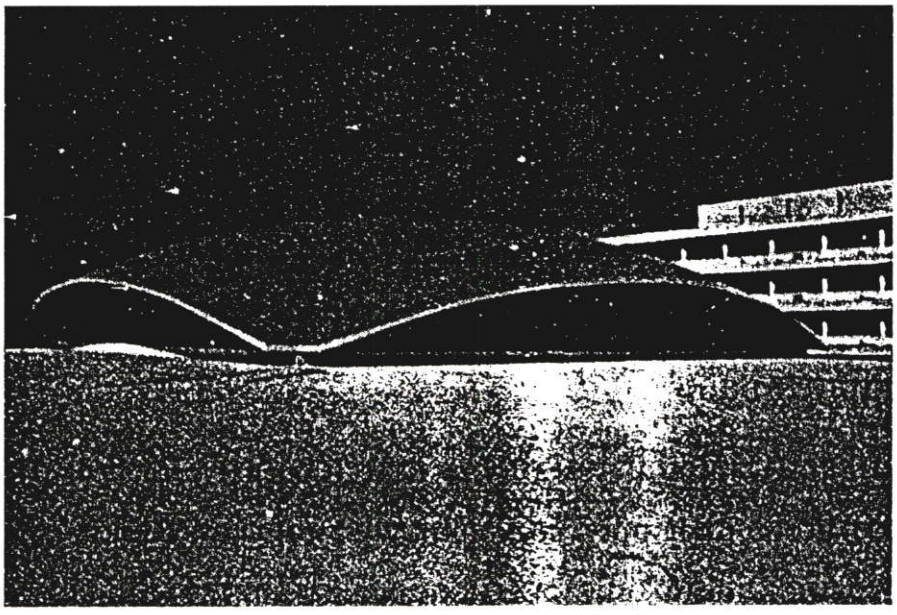
รูปที่ 2.40 คอนอยด์ยื่น (Cantilevered Conoidal)

3. หลังคาเปลือกบางชนิดหมุนรอบแกน (Shell of Surface Revolution)

ตัวอย่างของโครงสร้างเปลือกแข็งบางชนิดนี้ก็มี โดม (Dome) กรวย (Cone) Hyperboloid ถังทรงกระบอก เป็นต้น การสร้างรูปเปลือกบางชนิดนี้จะต้องมีแกนหมุนและเส้นกำหนด (Generating Line) คือเส้นของโครงสร้างซึ่งเมื่อหมุนเส้นกำหนดนี้รอบแกนหมุนก็จะได้โครงเปลือกบางตามที่ต้องการ เช่น เมื่อหมุนเส้น AB รอบแกน X จะได้รูปโดม (ดูรูป 2.41) เช่นเดียวกับการหมุนเส้น CD และ EF รอบแกน X ก็จะได้โครงสร้างรูปกรวยตัด และรูป Hyperboloid ตามลำดับ ส่วนการจะนำไปใช้งานในลักษณะใดก็พิจารณาตามรูปร่างลักษณะของโครงสร้าง เช่น โดมอาจใช้ทำหลังคาสนามกีฬา หรือ Hyperboloid ใช้ทำ Cooling Tower ขนาดใหญ่ก็ได้ เป็นต้น ในบางครั้งอาจไม่ใช้ทั้งหมด แต่ใช้เพียงบางส่วนก็ได้ เช่น หลังคารูปที่ 2.41เป็นหลังคาเปลือกบางชนิด Double Torii เกิดจากรอยตัดของรูป Torus สองรูป รูป Torus คือ รูปที่เกิดจากการหมุนวงกลมรอบแกน X-X



รูปที่ 2.41 แสดงการสร้างโครงสร้างเปลือกบางชนิดหมุนรอบแกน

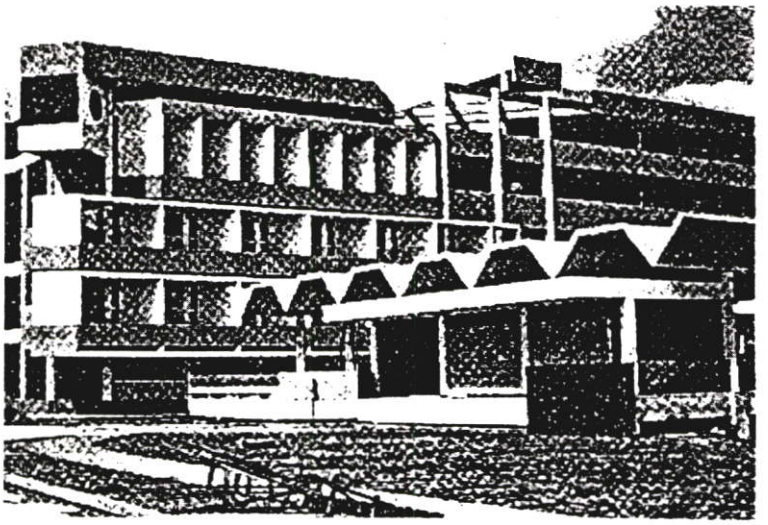


รูปที่ 2.42 หลังคารูป Double Torii ขนาด 33 ม. X 33 ม.

4. หลังคาเปลือกแข็งชนิดแบบปริซึม (Prismatic Shell)

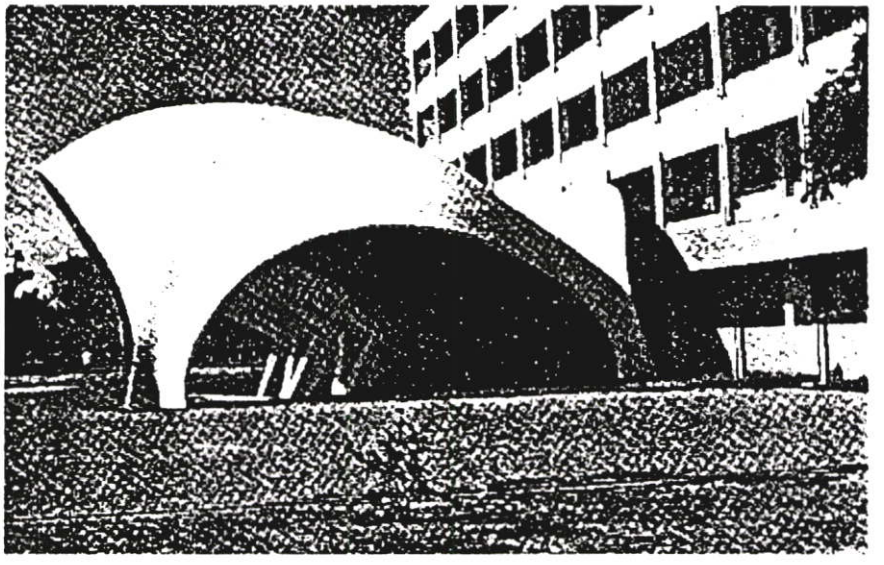
โครงสร้างเปลือกบางชนิดนี้มีลักษณะคล้ายๆ กับชนิดแรกคือหลังคาเปลือกบางชนิดโค้งทางเดียว เพียงแต่เปลี่ยนจากรูปโค้งเป็นรูปสี่เหลี่ยมเท่านั้น ลักษณะของแรงส่วนใหญ่เป็นโมเมนต์

ดัดเช่นเดียวกัน โค้งสร้างของเปลือกบางชนิดนี้มีลักษณะเหมือนคานมากขึ้น ในการวิเคราะห์อาจนำ Beam Theory มาใช้ได้



รูปที่ 2.43 หลังคาเปลือกแข็งแบบปริซึม

5. หลังคาเปลือกแข็งบางชนิดไม่มีรูปร่างทางเรขาคณิต

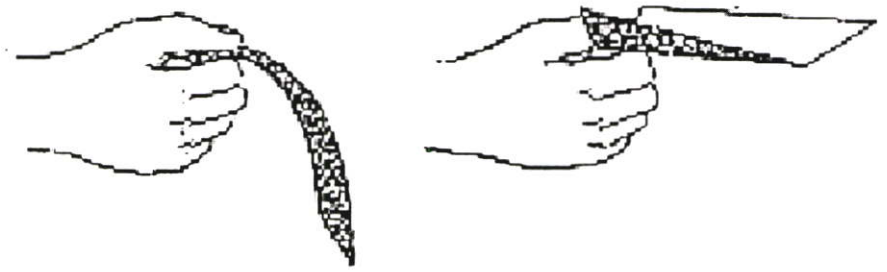


รูปที่ 2.44 หลังคาเปลือกแข็งบางชนิดไม่มีรูปร่างทางเรขาคณิต

ปกติโครงสร้างทุกชนิดจะมีรูปร่างที่ตรงตามรูปทางเรขาคณิตทั้งสิ้น เช่น สี่เหลี่ยม ทรงกลม ทรงกระบอก Elliptic Paraboloid และ Torii เป็นต้น แต่ในกรณี Function มีส่วนสำคัญมากหรือด้วยเหตุผลอย่างอื่น จนมีการกระทบต่อระบบตลอดจนลักษณะโครงสร้างจนบางครั้งทำให้โครงสร้างเปลือกบางผิดรูปจากเรขาคณิตไปมาก ฉะนั้นในการคำนวณจะต้องใช้การทดสอบหุ่นจำลองเป็นหลัก เพราะไม่สามารถจะหาสมการใดๆ มาใช้กับโครงสร้างชนิดนี้ได้ ในการก่อสร้างก็เช่นเดียวกัน แบบหล่อส่วนที่โค้งทำได้ยาก วิธีสะดวกที่สุดก็คือผู้ออกแบบควรจะกำหนด Co-Ordinates ของจุดต่างๆ ให้ชัดเจนทั้ง 3 มิติ กระนั้นก็ตาม ราคาทำแบบหล่อก็ยังคงสูงมากเมื่อเทียบกับโครงสร้างเปลือกบางชนิดอื่นๆ

โครงสร้างเรือนรูปรับแรง (Form Resistant Structure)

แผ่นกระดาษที่เราถือไว้ในมือจะอ่อนโค้งตัวลง ไม่สามารถรับน้ำหนักตัวเองได้ แต่กระดาษแผ่นเดียวกันนี้ค่อยๆ งอให้โค้งขึ้นหน่อยก็จะพอรับน้ำหนักตัวเองไหว และอาจรับบรรทุกน้ำหนักได้เพิ่มขึ้นอีกด้วย (ดูรูป 2.45)



รูปที่ 2.45 โครงสร้างเรือนรูปรับแรง (Form Resistant Structure)

กำลังที่เพิ่มขึ้นนี้มิได้เพิ่มเนื้อวัสดุนั้นเลย แต่ด้วยวิธีใช้เรือนรูปให้เหมาะสมที่จะเป็นโครงสร้าง การที่แผ่นกระดาษโค้งขึ้นนี้ทำให้เกิดความมั่นคงแข็งแรงขึ้นมาก และรับน้ำหนักได้มากขึ้น เพราะมีกิริยาเหมือนคานที่มีความหนา

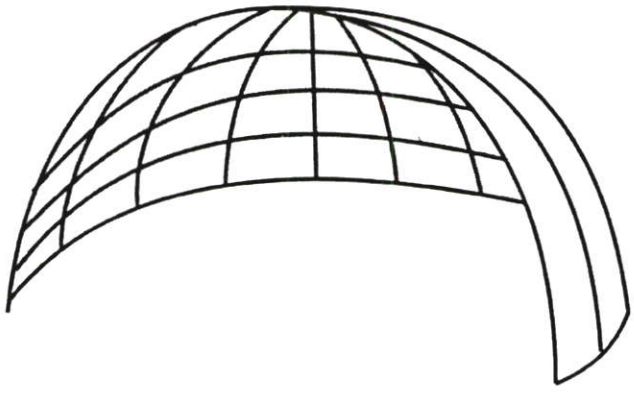
โครงสร้างซึ่งอาศัยรูปร่างเป็นสำคัญ ทำให้เกิดกำลังการรับน้ำหนักเราเรียกว่า โครงสร้างเรือนรูปรับแรง (Form Resistant Structure) โครงสร้างเปลือกแข็งบางต้องใช้ความโค้งเพื่อรับบรรทุกน้ำหนักจัดเป็นพวกโครงสร้างเรือนรูปรับแรง ซึ่งมีรูปร่างให้น้ำหนักบรรทุกเป็นแรงดึงแผ่นที่บางที่กลับบนเป็นล่างก็สามารถรับการบรรทุกได้เท่าเดิม จึงเป็นโครงสร้างเรือนรูปรับแรงเมื่อกลับก็เป็นแรงอัด คือการต้านเหนี่ยวโยง 2 มิติ สำหรับการบรรทุกน้ำหนักนั้นๆ

การเปลี่ยนแปลงง่ายๆ และความไม่เหมาะแก่การต้านแรงอัดหรือแรงเฉือนการใช้โครงสร้างเปลือกแข็งบางจึงต้องถูกจำกัด เปลือกแข็งบางเป็นเรือนรูปรับแรงพอที่จะไม่เกิดความเค้นดัดที่ไม่

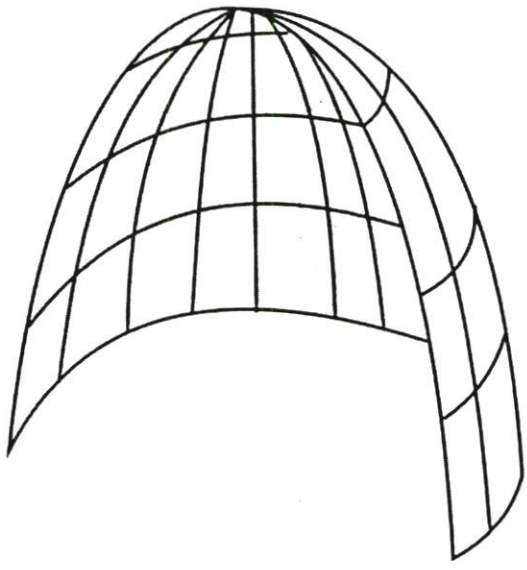
ประสงค์ แต่หนาพอที่จะรับการบรรทุกโดยแรงอัด แรงเฉือน และแรงดึง เปลือกแข็งบางอาจสร้างโดยไม้ เหล็ก และวัสดุพลาสติกจึงเหมาะดียิ่งสำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ความโค้งของเปลือกบาง

ดังกล่าวแล้วในตอนต้นความโค้งของผิวที่จุดใดจะแสดงให้เห็นได้โดยวัดมาจากแนวราบรอบๆ ตั้งฉากกับผิวที่จุดนั้น ความโค้งนี้แตกต่างไปตามแนวราบที่หมุนไป อาจขึ้นหรือลงในทิศทางใดๆ ก็ได้ทุกทางหรือขึ้นบ้างลงบ้าง ยิ่งกว่านั้นผิวโดย ทั่วๆ ไปจะบิดหมุนเพราะความลาดเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ ในขณะที่เคลื่อนไปเป็นมุมฉากกับทิศทางของมุมลาด

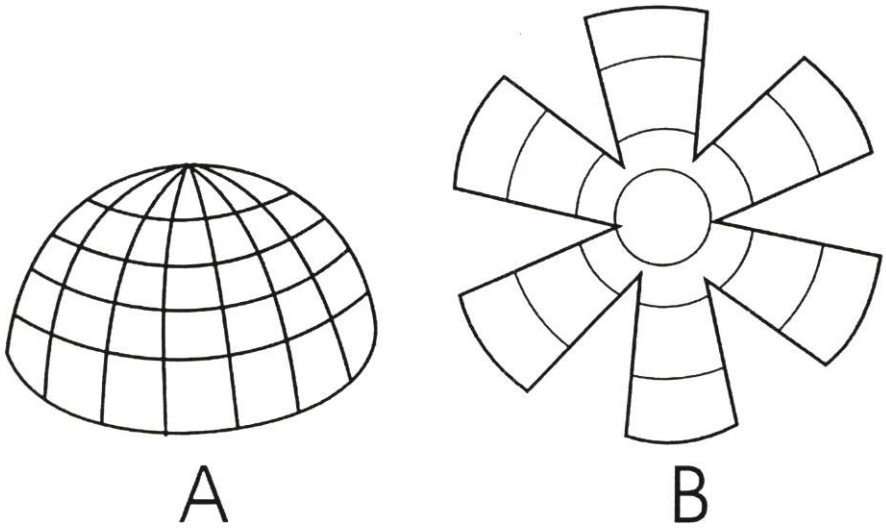


รูปที่ 2.46 ลักษณะโค้งของทรงกลม (Curves of Spherical Dome)



รูปที่ 2.47 ลักษณะโค้งของโดมรูปไข่ (Curvatures of Dome)

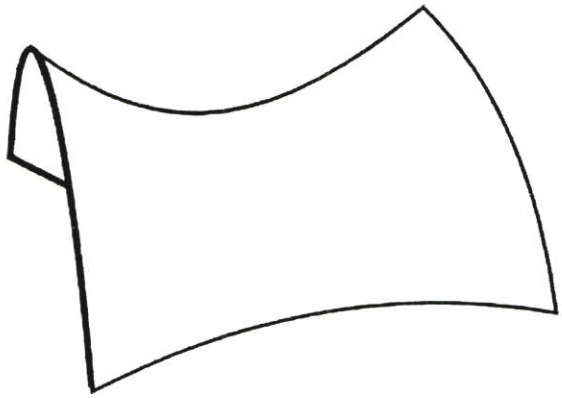
ทุกๆ จุดตัดกันของส่วนโดมมีแนวราบผ่านตลอดแนวตั้งฉากเป็นความโค้งลงมา สำหรับรูปทรงกลมความโค้งจะเหมือนกันหมด ดูรูป 2.47 โดมรูปอื่นๆ จะเปลี่ยนจากโค้งมากที่สุดเป็นโค้งน้อยขณะที่แนวราบนั้นหมุนไป ดูรูป 2.48 หรือจะเปรียบให้เข้าใจง่ายคือผิวโค้งอย่างถ้วยชามและโดม ซึ่งความโค้งเปลี่ยนค่าตามจุดมักจะเป็นโค้งขึ้นหรือโค้งลงเราเรียก ผิวโค้ง เพื่อให้เข้าใจง่ายๆ โค้งลงข้างล่างเราเรียกโค้งบวกและโค้งขึ้นเราเรียกโค้งลบ ด้วยเครื่องหมายแบบนี้โดมจึงเป็นโค้งบวกและถ้วยชามจึงเป็นโค้งลบ ผิวโค้งบวกหรือผิวโค้งลบทุกๆ แบบจัดได้ว่าขยับขยายออกไม้ได้ (Non Developable) เพราะว่าโค้งนี้ทำให้แบนลงไม่ได้หากไม่ตัดออกเป็นส่วนๆ อย่างรูปที่ 2.49



รูปที่ 2.48 การขยายคลี่ผิวโดมออกเป็นแผ่นเรียบตัดขาด หรือผิวตัดขาดจากโค้ง (Development of a Synclastic Surface)

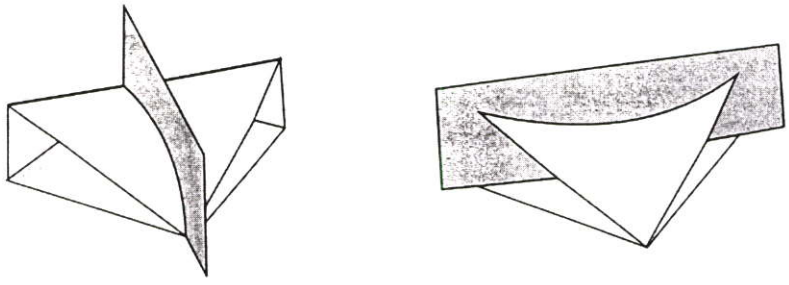
ความโค้งตามแนวทางที่กำหนดให้จะน้อยลงๆ ผิวก็ใกล้จะเหมือนรูปทรงกระบอกเข้าไปทุกที่ ความโค้งของแกนโค้งทรงกระบอก ซึ่งด้านหนึ่งของโค้งสำคัญเป็นศูนย์ ผิวเหมือนหลังคาโค้งถังหรือรางน้ำ ซึ่งความโค้งนี้มักเป็นบวกเสมอ หรือเป็นลบเสมอ แต่หายไปในทางเดียวเรียก โค้งที่ผิวขยับขยายให้ราบได้ (Developable) เพราะโค้งเหล่านี้ทำให้แบนราบได้ โดยไม่ต้องตัดโค้งผิวขยับขยายได้จึงยืดแน่นน้อยแข็งแรงน้อยกว่าผิวโค้ง ซินแคลสติค

อานม้าโค้งลง ข้ามหลังม้าและโค้งขึ้นตามตัวของม้า ถ้าตัดอานม้าโดยแนวราบหมุนทางตั้งความโค้งไม่เปลี่ยนเฉพาะค่าของโค้งแต่เปลี่ยนเครื่องหมายด้วย ส่วนตัดทางนอนก็มีนิสัยเหมือนกันดังรูป 2.49 ขณะที่แนวราบที่อัดหมุนรอบแกนของมัน ความโค้งอานม้านี้ค่อยๆ เปลี่ยนไปจากค่าบวกเป็นค่าลบแล้วก็กลับเป็นค่าบวกอีก



รูปที่ 2.49 ผิวรูปอานม้าแสดงลักษณะโค้งสองทาง (Saddle Surface)

เพราะฉะนั้น ความโค้งจึงหายไปใน 2 แนวทาง โดยทั่วไปแล้วอานม้ามี 2 ทิศทางของค่าโค้งเป็นศูนย์ คือ 2 แนวทางซึ่ง 2 เส้นตรงไปตามผิว ดูรูป 2.50 ทั้งหมดนี้เป็นโค้งที่ขยับขยายไม่ได้ เส้นของความโค้งสำคัญของผิวอานม้าดูรูป 2.51



(A) (B)

รูปที่ 2.50 เส้นความโค้งสำคัญหรือเส้นความโค้งหลักของผิวอานม้า ถ้าตัดผ่านด้านซ้าย
รูป (A) โค้งลง รูปขวา (B) โค้งขึ้น (Principal Curvature Lines Of Saddle Surface)

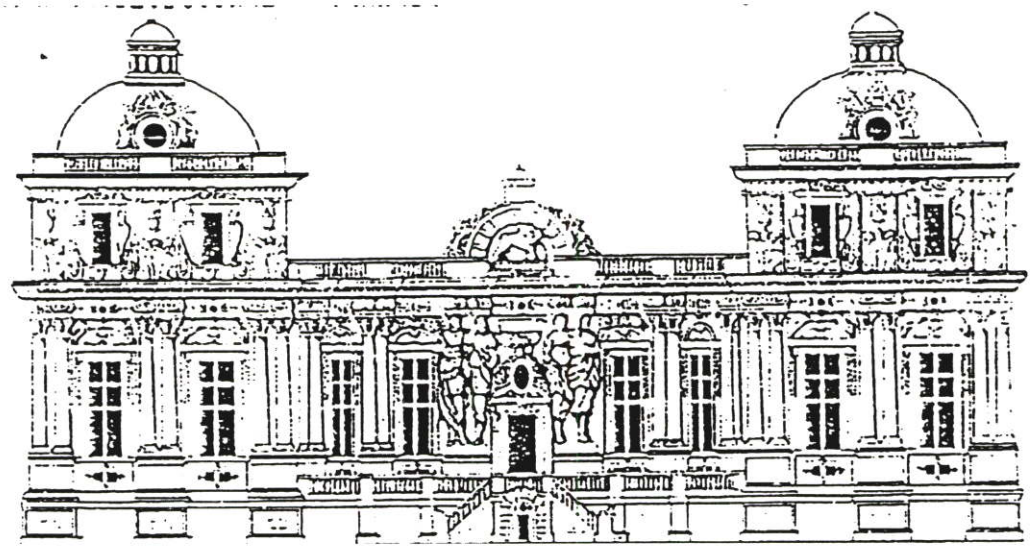
2.3.3 โดม (Dome)

ความหมาย

หมายถึง หลังคาโค้งเหนือพื้นที่ใช้สอยภายในขอบเขตของวงกลม ซึ่งครอบอยู่บนสิ่งก่อสร้างในงานสถาปัตยกรรม ผังพื้นที่ใช้สอยของโดมพัฒนามาจาก Arch และ Vault

ประวัติความเป็นมา

Dome ถูกพัฒนามาจาก Arch และ Vault ที่พัฒนามาจากเสาและคานในอดีต เพื่อสามารถขยายระยะความกว้างของช่วงเสาของอาคารได้มากขึ้น (ระบบก่อสร้างแบบ Bearing Wall) ชาว Assyria เป็นชาติแรกที่นำ Arch และ Vault มาใช้กับอาคารอย่างแพร่หลายจนถูกพัฒนา เป็น Dome ในสมัยต่อมา



รูปที่ 2.51 ลักษณะสถาปัตยกรรมของชาว Assyria 722 – 705 B.C.

ลักษณะ Dome ของชาว Mycenean

Mycenean ได้อพยพสู่แผ่นดินกรีก และสร้าง Dome มาใช้กับอาคารรูป Dome มีความสูง 40 ฟุต โดยปราศจากเสารับโครงสร้างภายใน ทำให้สามารถใช้สอยเนื้อที่อาคารภายในได้อย่างเต็มที่ โดยมีหินขนาดใหญ่เป็นวัสดุก่อสร้าง หลังจากนั้น 1,500 ปี ชาวโรมันก็ได้นำระบบก่อสร้างนี้มาพัฒนาอีกครั้ง

ลักษณะ Dome ของชาว Etruscan

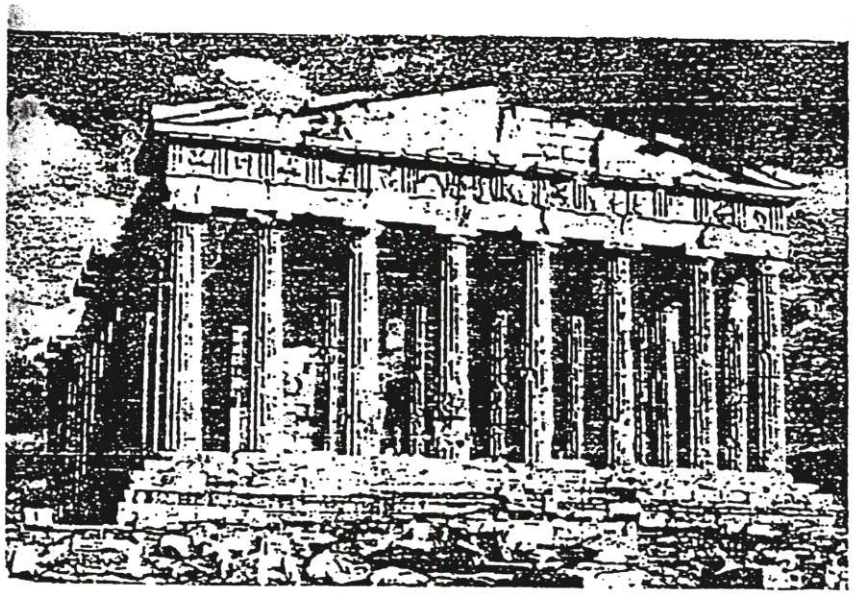
พบมากที่สุดในการก่อสร้างสุสานในบริเวณเขตป่าช้า หรือเมืองแห่งความตาย (Necropolises) โดยทั่วไปจะมีผังของเมืองเป็นวงกลม เรียกว่า Tumulus และจึงก่อสร้างเป็น Dome แต่โดยส่วนมากสถาปัตยกรรมที่ชาว Etruscan นำมาใช้อย่างแพร่หลาย ยังคงเป็น Arch และ Vault

ลักษณะ Dome ของชาว Roman

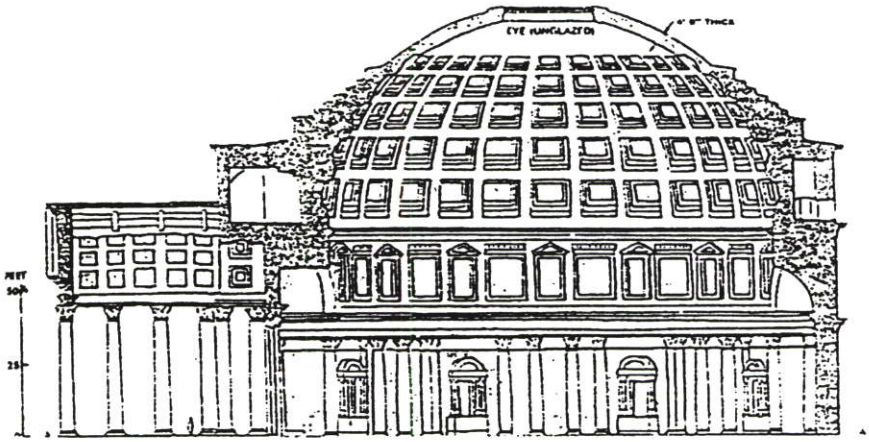
โรมันนับว่าเป็นชาติที่นำ Dome มาใช้อย่างแพร่หลายมาก โดยเฉพาะสามารถพบเห็นโดยทั่วไปกับอาคารราชการ และอาคารศาสนา เช่น Basilica หรือวิหารต่างๆ เช่น Panthenon

Temple ซึ่ง ก่อสร้างหลังคาโดมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 144 ฟุต ตรงกลางเจาะช่องแสง กว้าง 30ฟุต โดยถือว่า วิหาร Panthenon เป็นต้นแบบของอาคารที่มี Dome ทั้งหลายในเวลาต่อมา

อาคารของชาวโรมันมีลักษณะหรูหราใหญ่โต วัสดุที่ใช้จึงใหญ่โต คงทนถาวร สถาปัตยกรรมโรมันนั้นตั้งอยู่บนพื้นฐานของ Arch ซึ่งวามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ และสนองความต้องการของชาวโรมันได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้เพราะการสร้างด้วย Arch มาเป็น Dome ซึ่งถือเป็นการพัฒนาที่สำคัญโดยการสร้างโค้ง Arch บนพื้นที่วงกลม Arch แต่ละอันจะมาพบกันที่จุดศูนย์กลางความโค้งจนทำให้เกิดเป็น Dome และรูปตัดของ Dome ไม่ว่า ณ. จุดใดๆ ก็จะออกมาในรูปของ Arch



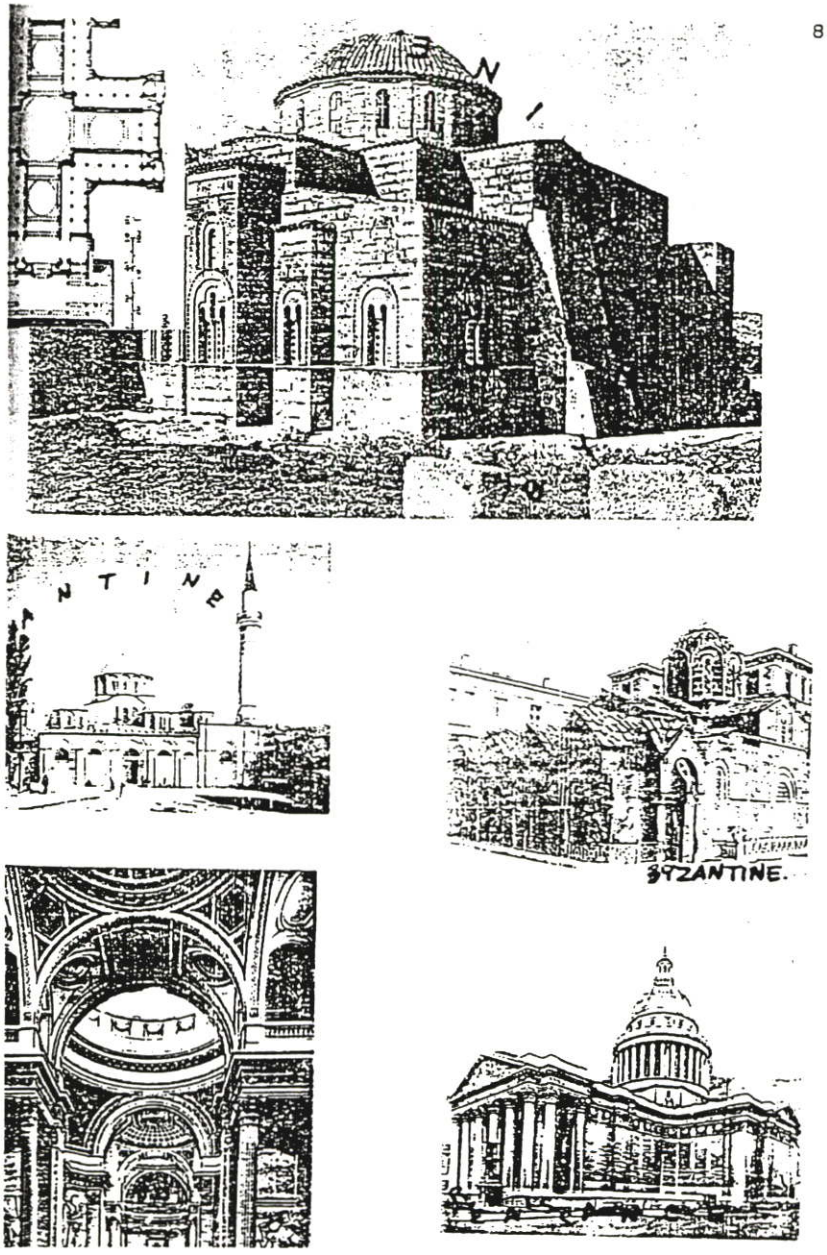
รูปที่ 2.52 วิหาร Panthenon บนอะโครโปลิสที่กรุงเอเธนส์



รูปที่ 2.53 ผังแสดงส่วนของ วิหาร Panthenon

ลักษณะ Dome ของชาว Byzentine

มีลักษณะของการผสมผสานรูปแบบทางสถาปัตยกรรมทั้งจากกรีก และโรมันจนเป็นรูปแบบเฉพาะตัว เช่นวิหารเซนต์ มาร์ค วิหารเซนต์ โซเฟียซึ่งมีหลังคาเป็นโดมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 108 ฟุต สูง 180 ฟุต ซึ่งรับอิทธิพลมาจาก วิหาร Panthenon อย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้สถาปัตยกรรม Byzentine ยังแพร่หลายในรัสเซีย ซึ่งโบสถ์หลายๆ แห่งยังปรากฏ Dome รูปหัวหอมให้เห็นอยู่มากมายหลายแห่ง



รูปที่ 2.54 ลักษณะ Dome ของชาว Byzentine

ปัจจุบัน Dome นับเป็นสถาปัตยกรรมที่ถูกคิดค้น พัฒนาหาแนวทาง ตลอดจนวัสดุก่อสร้าง วิธีการก่อสร้าง ที่มีความทันสมัยมากขึ้น อีกทั้งยังใช้เวลาการก่อสร้างน้อยลงกว่าในอดีต ด้วยวิทยาการที่ก้าวหน้า ดังนั้น Dome จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้กับอาคารสมัยใหม่ในปัจจุบันได้อย่างลงตัว

กุญแจสำคัญของสถาปัตยกรรม Byzentine คือการใช้ Dome และผังแบบ Centralized ซึ่งได้รับแรงบันดาลใจจากวิธีการสร้าง Dome ของชาวโรมันนั่นเอง แต่เนื่องจาก Dome ในสมัยนั้นยังมีข้อบกพร่องและการใช้ผังแบบวงกลมนั้นก็มีความคล่องตัวน้อย ไม่เพียงพอต่อความต้องการประโยชน์ใช้สอย

ปัญหาที่เกิดจากโครงสร้างและการวางสิ่งก่อสร้างต่างๆ ดังกล่าวเป็นสาเหตุให้สถาปนิก Byzentine ต้องหาวิธีอื่นมาใช้แก้ไข เพื่อให้สิ่งก่อสร้างมีความเหมาะสมกับยุคสมัยมากขึ้น ในเมื่อผังแบบกลมมีความคล่องตัวน้อย ชาว Byzentine จึงหันมาใช้ผังที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมที่มีความคล่องตัวกว่า โดยพัฒนาใช้กับหลังคาแบบโดม และปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากกว่าของเดิม ด้วยเหตุนี้เองจึงได้คิดค้นวิธีการรับน้ำหนักโยใช้ Pendentives ขึ้น คือ เมื่อสร้างโดมกลมลงบนผังสี่เหลี่ยมทำให้เหลือเนื้อที่รูปสามเหลี่ยมเล็กอยู่ 4 รูป เนื้อที่เหล่านี้คือส่วนที่เรียกว่า Pendentive นั่นเอง วิธีก่อสร้าง Dome Pendentives นั้นนอกจาก Dome สามารถคลุมพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส ได้แล้วยังสามารถก่อสร้างอาคารได้สูงขึ้น การเจาะช่องแสงทำได้อิสระมากขึ้น เพราะกำแพงไม่ได้เป็นส่วนรับน้ำหนักแบบของโรมัน

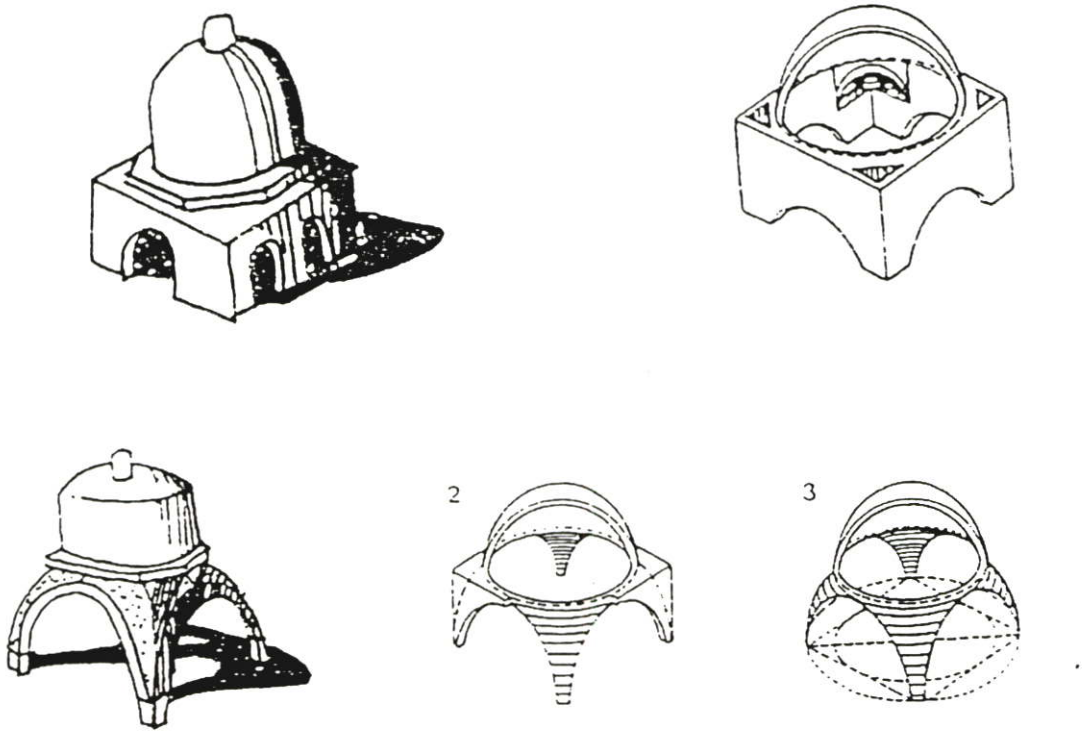
การสร้าง Dome ลงบนผังสี่เหลี่ยมทำให้การออกแบบคล่องตัวขึ้น การสร้างให้มี Dome สำคัญแห่งเดียวดูเป็นผลไม่น่าพอใจนัก ดังนั้นจึงมีการจัดหมวดหมู่ของ Dome ย่อย โดยประชิดแต่ละด้านเข้าด้วยกันกัน การจัดผังแบบนี้เรียกว่า Centralize ซึ่ง Byzentine ได้มาจากชาวกรีก ซึ่งการจัดแบบนี้ทำให้ได้ประโยชน์ใช้สอยมากขึ้น

รูปที่ 2.55 การจัดผังแบบ Centralize

วิวัฒนาของการก่อสร้าง

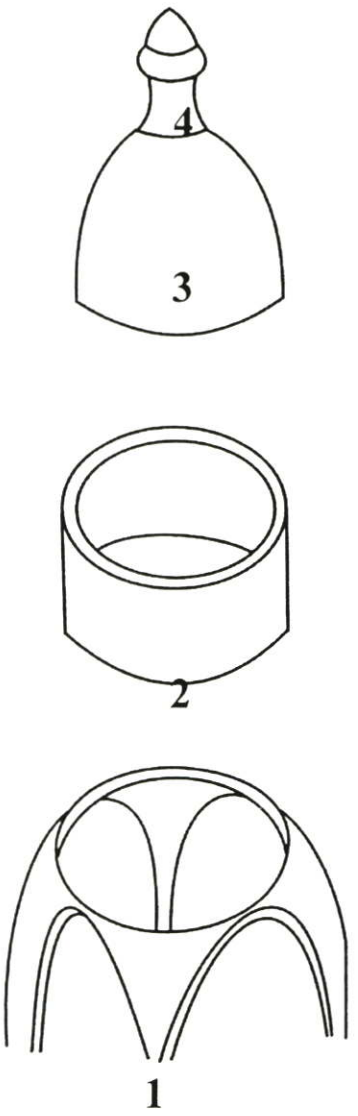
1. มุมของสี่เหลี่ยมเชื่อมต่อกันด้วยแผ่นหินแข็ง วิธีนี้เรียกว่า "Squinches" วิธีนี้สถาปนิกมุสลิมนิยมนำไปใช้กับโครงสร้างของ Dome สุเหร่า

2. ใช้ Pendentives ใส่ลงในช่องว่างระหว่าง Arch ทั้ง 4 ที่ใช้สร้างสี่เหลี่ยม วิธีนี้เป็นวิธีแก้ปัญหาของชาว Byzentine



รูปที่ 2.56 การก่อสร้าง Dome ของ Byzentineและโรมัน

ส่วนประกอบของ Dome



1. ส่วนฐาน เป็นรูป สี่เหลี่ยม หลายเหลี่ยม หรือกลมก็ได้
2. ผนังโค้งรอบ Dome
3. ตัว Dome
4. หอคอยเล็ก มีหรือไม่มีก็ได้

รูปที่ 2.57 ส่วนประกอบของ Dome

ประเภทของ Dome

Dome แบ่งออกเป็น 3 ประเภท

1. Dome ไม้
2. Dome คอนกรีต
3. Dome โลหะ

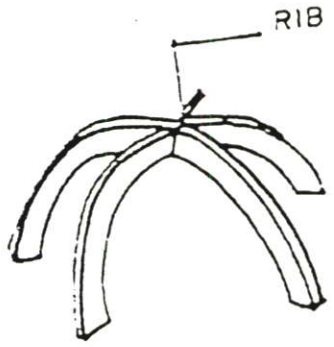
1. Dome ไม้

คือ Domeที่มีโครงสร้างที่ทำจากไม้ มีมาตั้งแต่สมัยโบราณ เริ่มกำเนิดมาจาก Dome ของอินเดียนแดง ลักษณะของ Dome ไม้ประกอบด้วย เฟรมคานไม้ จัดเป็นระยะช่วงระหว่างขอบแรงดึง ซึ่งรองรับไว้ด้วยเสา และมีขอบวงแหวนรัดยึดอีกทีหนึ่ง เพื่อนำแผ่นที่เป็นวัสดุผิวมาตีปิดทับอีกทีหนึ่ง

2. Dome คอนกรีต

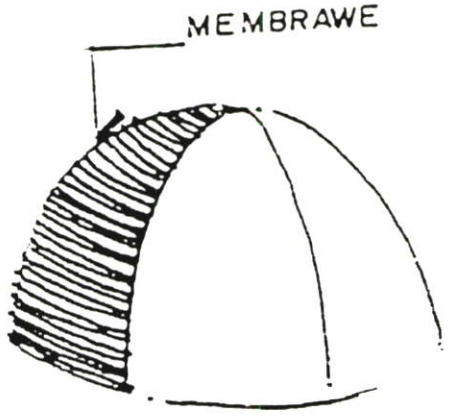
Dome คอนกรีต แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

2.1 Rib Dome or Redial Arch คือ Dome ที่สร้างขึ้นมาโดยมีโครงคอนกรีตหล่อขึ้นมาในลักษณะโค้ง



ที่ 2.58 Rib Dome or Redial Arch

2.2 Membrane Dome คือ Dome ที่สร้างโดยการหล่อคอนกรีต ขึ้นเป็นรูป Dome โยไม่มีโครงลักษณะเป็นเปลือกบาง โดยเป็นโครงสร้างในตัวเอง มีการใช้ทฤษฎีเปลือกแข็งปฏิรูป (Shell Of Revolution)



รูปที่ 2.59 Membrane Dome

หลักในการออกแบบก่อสร้าง Dome คอนกรีต

1. ความโค้งของเปลือกต้องต่อเนื่องกันตลอด
2. ความหนาของเปลือกต้องเสมอกันตลอด หรือจะเปลี่ยนแปลงต้องค่อยๆ หนาขึ้นหรือบางลง ไม่ใช่เปลี่ยนแปลงเป็นร่องสัน หนา – บาง ในทันที เพราะจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความเค้นคัดในโครง

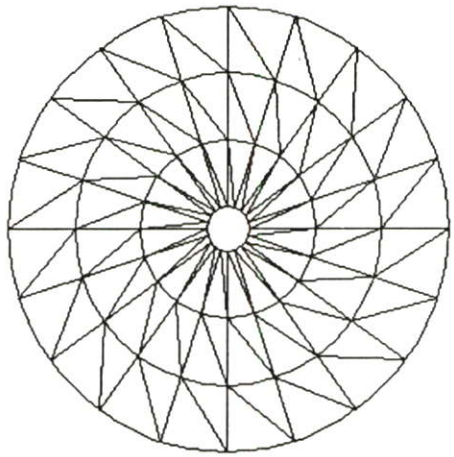
3. เปลือกแข็งต้องบาง ยิ่งบางยิ่งดี
4. การบรรทุกน้ำหนักต้องต้องเฉลี่ยเท่ากันตลอด ห้ามมิให้มีน้ำหนักลงเป็นจุด
5. จุดรองรับต้องออกแบบให้ยึดแน่น และต่อเนื่องกันตลอด
6. จุดรองรับต้องแข็งแรงป้องกันการเปลี่ยนรูปได้

3. Dome โลหะ

Dome โลหะแบ่งออกเป็น 6 ชนิดคือ

1. โดมแบบชเวดเลอร์

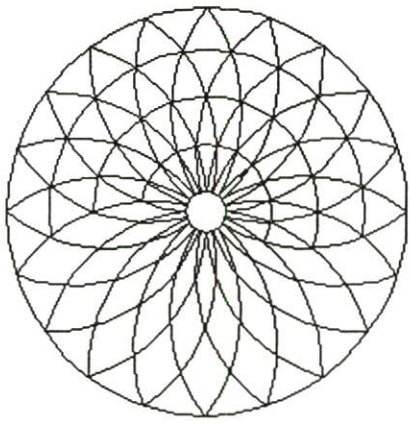
แรกเริ่มทีเดียว โดมชเวดเดอร์ หรือโดมแบบกลาครอบนี้ดังดีพิมพ์เผยแพร่แต่ ปี ค.ศ. 1886 ดังที่แสดงภาพไว้ เป็นแบบเดียวกับมาตรฐานมีค้ำขวาง โดยที่พหูมุขนี้เป็นการคาดคิดได้ทางสถิตย์ และไม่มีการแปรแปลรงรูปได้เลย เพราะผิวทั้งหมดแบ่งเป็นสามเหลี่ยมประกอบกันแน่นหมด โดยที่โครงแบบ 3 มิตินี้จะมั่นคงทางสถิตย์ก็ต้องยึดเกร็งเป็นสำคัญ



รูปที่ 2.60 โดมแบบชเวดเลอร์

2. แบบลาเมลลา

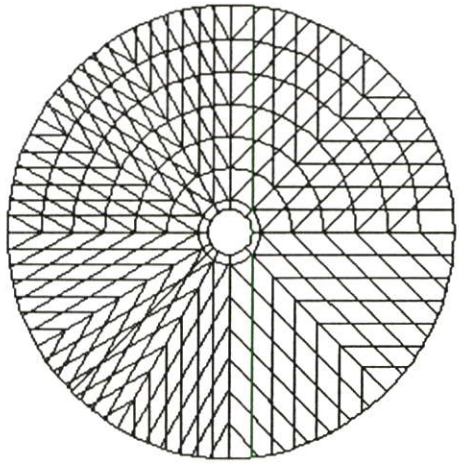
ในโครงระแนงหรือโครงแบบลาเมลลา ทุกๆ ชิ้นส่วนที่ตัดกันหรือติดต่อกันระอยู่ในเส้นรัศมีแต่ส่วนครีบแต่ละเมอริเดียนนี้แทนด้วยครีบคู่ค้ำขวาง ครีบเหล่านี้ร่วมกับเคร่าคือเป็นคอร์ดของ วงกลมเส้นรุ้งละติจูดประกอบกันเป็นรูปสามเหลี่ยม เป็นโครง 3 มิติแข็งแรง โครงหลังคาอาจออกแบบใช้แผ่นแผงแทนส่วนเคร่า อย่างแบบเทคนิคที่ใช้แบบโดมไม้ลาเมลลา ใช้ไม้บางปูพื้นหลังคา



รูปที่ 2.61 โดมแบบลาเมลลา

3. แบบลาเมลลาขนาน

ใช้ลดจำนวนส่วนกรีบที่ตอนบนของโดมที่มีระยะแคบมาก ยากที่จะประกอบและต้องลดขนาดให้เล็กลงจะได้เหมาะมัธยัสถ์ไม่เกินกำลังกิริยาความเค้นให้มากมายไป โดยเปล่าประโยชน์ ถึงแม้ว่าแต่ละส่วนนี้เสมอกันที่เส้นศูนย์กลาง รูปร่างที่เกิดขึ้นนั้นให้ชิดตรงขอบของแต่ละส่วนโดมที่แบ่งไม่เสมอกันกับส่วนโค้งอื่นๆ เห็นความแตกต่างกันมาก ดูไม่เป็นระเบียบสวยงามเสมอๆ กันเหมือนอย่างโดมแบบอื่นๆ



รูปที่ 2.62 โดมแบบลาเมลลาขนาน

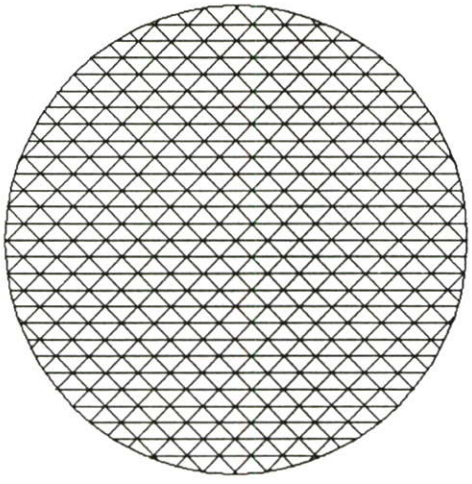
4. แบบเปลือกแข็งบาง

เป็นแผ่นเหล็กโค้งไม่มีครีบหรือแผ่นพลาสติก เป็นโดมเล็กๆ เพราะแรงทั้งหมดนี้ต้องรับด้วยเรือนรูปของแผ่นบางนี้เอง การบิดโค้งในแผ่นจึงเป็นอุปสรรคสำคัญในการออกแบบไม่ให้

โดมนี้ใหญ่กว้างได้ จึงต้องเป็นแผ่นหนามากตั้ง 5/8 นิ้ว อย่างแผ่นผิวหนัก 25.6 ปอนด์ต่อตารางฟุต ที่ใช้เป็นโดมครึบทรงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 200 ฟุตที่ต้องสร้างตามรายการของสถาบันอเมริกันปิโตรเลี่ยม

5. แบบหกเหลี่ยม

แบบหกเหลี่ยมเป็นโครงท่อเหล็ก เพราะเหมาะกับข้อต่อที่หล่อ หรืออัด หรือเชื่อม ท่อเหล่านี้รองรับแผ่นเหล็กหรือเหล็กผสมคอนกรีต แผ่นดินเผา แผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ แล้วก็คลุมด้วยแผ่น ค.ส.ล. หรือเปลือกแข็งอื่นๆ เพราะลักษณะของทรงกลมและหกเหลี่ยมนี้ ทุกๆ ส่วนท่อไม่อาจปรับให้ได้ขนาดยาวเหมือนกันหมด แม้ความแตกต่างจะพยายามให้มีน้อย ความยามมาตรฐานมักจะประมาณ 6 ฟุต ตามในรูปจะเห็นรูปหกเหลี่ยมแบบพารามิดชัด ส่วนกลาง 6 ชั้นต้องยาวกว่าส่วนขอบเล็กน้อย มีเส้นแกนแบ่งเสมอๆ กัน ให้เห็นความแตกต่างของชิ้นส่วนที่สั้นกว่าตรงขอบๆ ชัดแต่ข้อต่อทั้งหมดอยู่ตรงบริเวณผิวของทรงกลมนี้



รูปที่ 2.63 โดมแบบหกเหลี่ยม

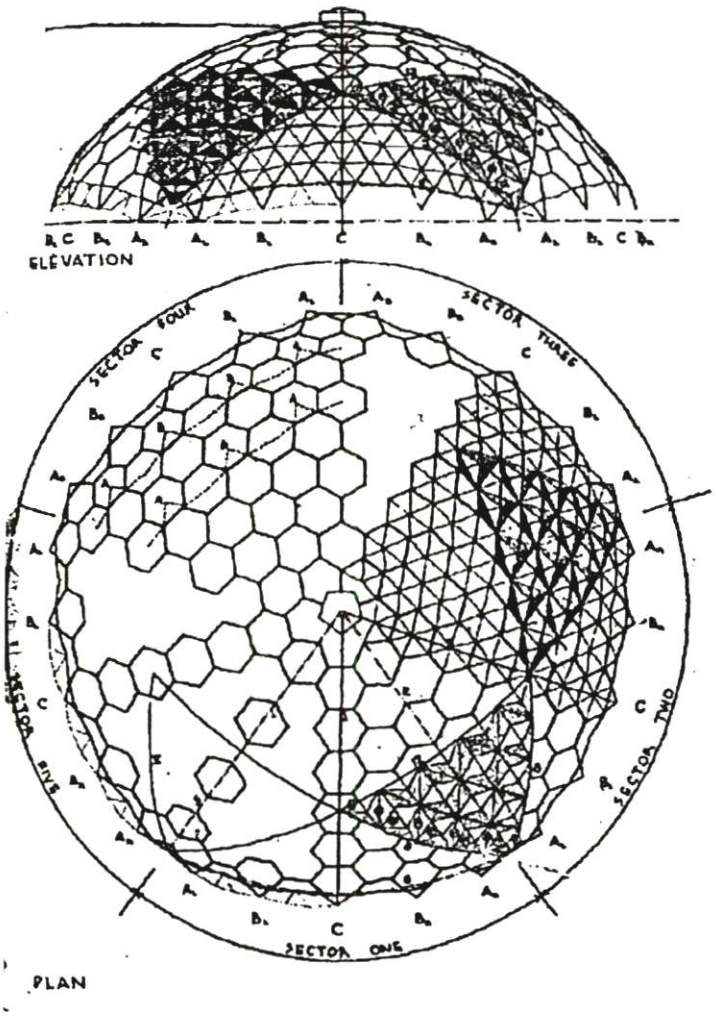
6. โดมยีออเดซิค

โดมทรงกลมประกอบด้วยชิ้นส่วนที่ยาวเสมอกัน ค้นคิดโดยท่าน ฟูลเลอร์ ซึ่งท่านกล่าวว่า "เป็นโครงสร้างที่ใช้แต่ไม่ยอมให้เล็ดลอดเกิดความแตกต่างกันที่สุด ระหว่างน้ำหนักบรรทุกภายในและภายนอก หรือแรงที่กระแทก แต่ยังช่วยให้กระจายไปทุกๆ แนวทางควบคุมการแผ่กระจายไว้ได้

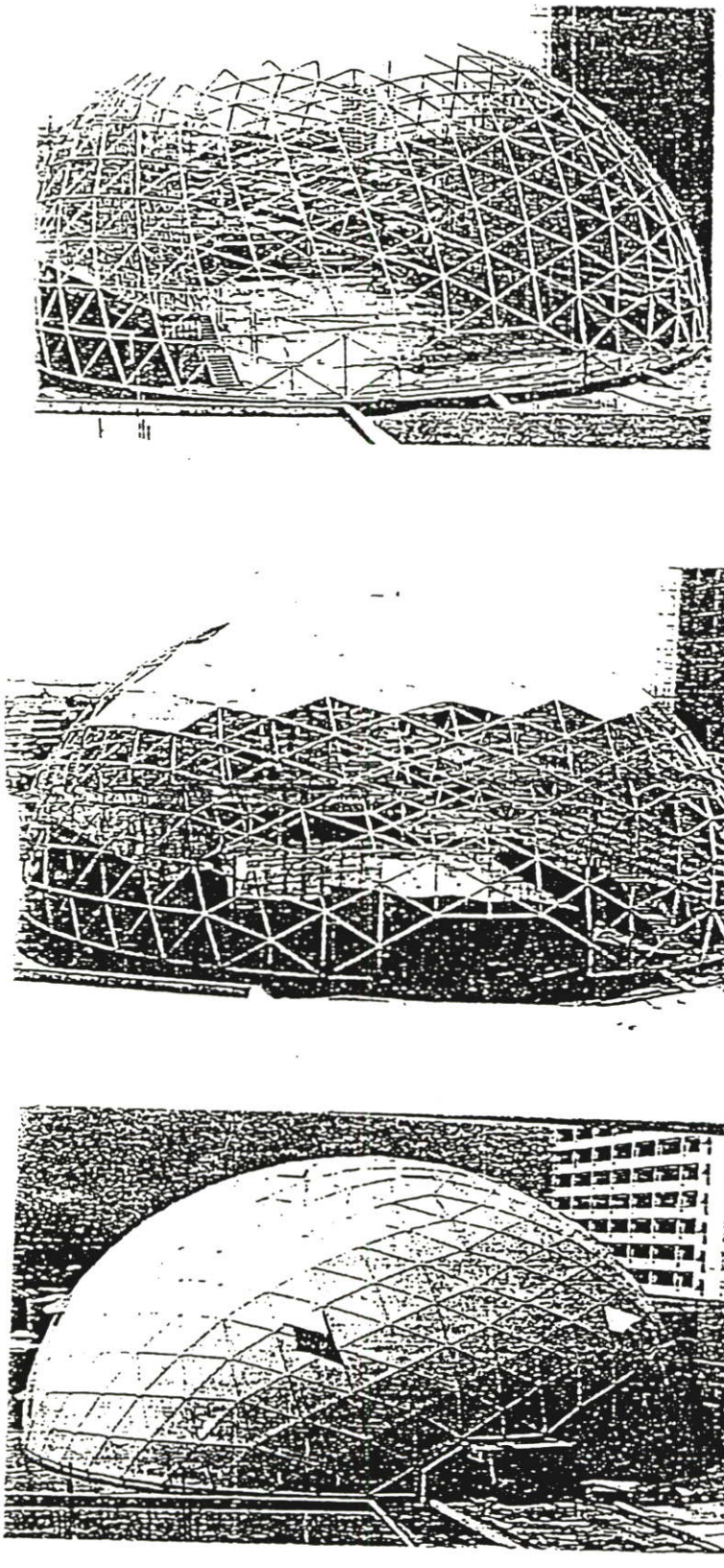
ความจริงผิวรูปทรงกลมนี้เป็นผิวซึ่งไม่อาจแบ่งให้เป็นส่วนโค้งอาร์คที่มีขนาดเท่าๆ กันได้เป็นจำนวนแน่นอนตายตัวได้เลย ดังนั้น แต่ละชิ้นส่วนจึงขนาดต่างๆ กัน แม้จะเป็นลวดลายพยายามให้คล้ายให้เคียงเหมือนๆ กัน

ส่วนต่างๆ ของโดมนี้ที่ง่ายต่อการประกอบ ประกอบจากส่วนบนลงมาก่อนหรือจากส่วนล่างก่อนแล้วก็ยกขึ้นพอประกอบได้สะดวกทีละชิ้นส่วนก็ได้ โดยไม่ต้องสิ้นเปลืองนั่งร้าน

มาก เพราะแต่ละชิ้นส่วนก็ช่วยกันยึดตรงตัวมั่นคงดีพอควรอยู่แล้ว เพราะชิ้นส่วนของโดมหรือชิ้นส่วนทรัสของโดม ยีออเดซิคนี้ต้องสัมพันธ์กันตลอดส่วนโดมทรงกลมก็เหมาะที่จะรับแรงอัดตามรัศมีจึงเหมาะที่จะเป็นถังเก็บแก๊ส โครงยวดยานและสถานีอวกาศนอกโลกต่างๆ ความลึกของทรัสที่ประกอบเป็นผิวทรงกลมนี้แข็งแรงลมได้ดียิ่ง



รูปที่ 2.64 โดมยีออเดซิค



รูปที่ 2.65 ลักษณะของโครงสร้างของ โดมยีออเดซิค

ลักษณะของแรงที่เกิดขึ้นใน Dome

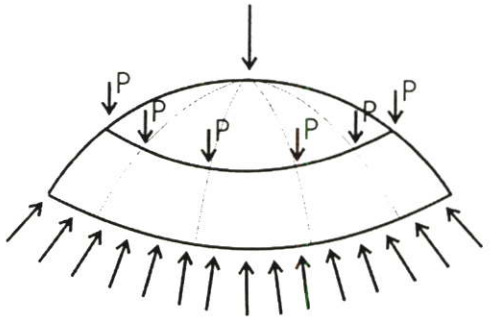
การถ่ายแรงที่เกิดขึ้นใน Dome ขึ้นอยู่กับทิศทาง 2 แรง คือ

1. แนวดิ่งเส้นตรง (Longitudinally Section)

ทำหน้าที่ถ่ายแรงอัด จะมากที่สุดที่ขอบเสาของโดม คือ จะบรรทุกทางแนวตั้ง

2. แนวขนานนอนเส้นรุ้ง (Latitudinal Section)

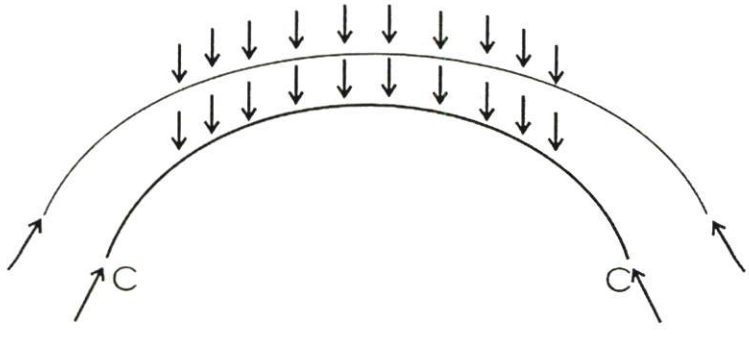
ส่วนแนวแรงวงแหวนที่อยู่เหนือเส้นรุ้งที่ทำมุม 49, 50, 51, 52 องศา กับแนวตั้งของ Dome จะรับแรงอัด ส่วนที่ต่ำลงมาจะรับแรงดึงความเค้นแนวเมอริเดียนในโดม



รูปที่ 2.66 ลักษณะของแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง

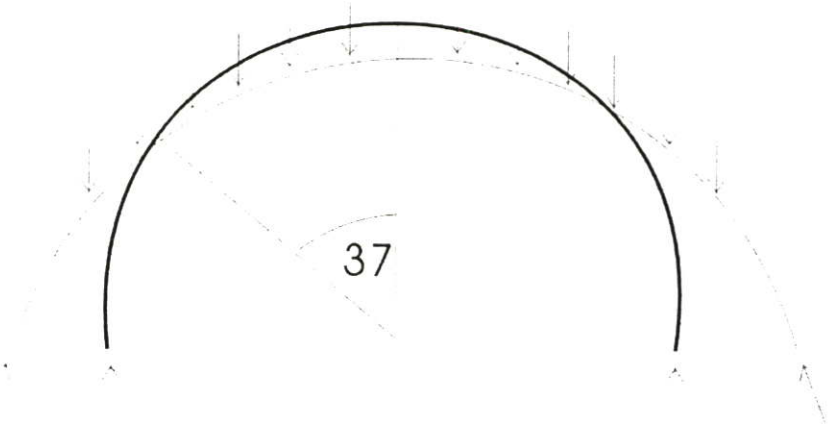
จากรูป จะเห็นความเค้นที่เกิดขึ้นขนานกัน เป็นแนวอัดในทางเมอริเดียน และเสมอเท่ากันตลอดเส้นขนาน เพราะ Dome และการบรรทุกเสมอกันตรงแกน แต่ละเมอริเดียนจะมีลักษณะเหมือนกัน คือ เหนี่ยวเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกโดยไม่มีความเค้นดัดเลย

การเปลี่ยนแปลงของ Dome เมื่อได้รับการบรรทุก สำหรับ Dome ที่มีความสูงน้อยจะมีการหดตัวของเส้นขนาน และรัศมีของ Dome จะลดลง เส้นขนานเป็นแรงอัด และการต้านทานลดลง ทำให้เส้นเมอริเดียนหดตัวเข้า



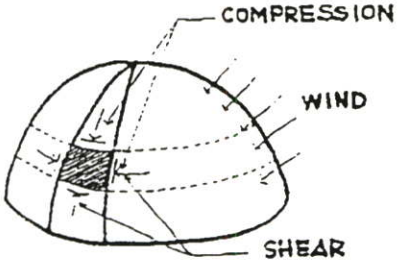
รูปที่ 2.67 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของโดมทรงเตี้ย

แต่วิหารเป็น Dome ที่สูงมาก ๆ จุดของส่วนยอด Dome จะเคลื่อนเข้ามาข้างใน เมื่อกิริยารับน้ำหนักบรรทุก ทำให้จุดต่าง ๆ ของส่วนล่างจะเคลื่อนออกนอกแกนเส้นขนานของแนวเส้นขนาน มีเส้นหนึ่งที่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงความยาวเลย เมื่อส่วนด้านบนของ Dome เกิดแรงอัด และส่วนด้านล่างของ Dome เกิดแรงดึง โดยเส้นนี้จะอยู่ที่มุมประมาณ 57 องศา จากแกนที่ไม่เปลี่ยนแปลงความยาว



รูปที่ 2.68 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของโดมทรงสูง

แรงเฉือนที่เกิดขึ้นใน Dome จะต้องมีการดึงเหนี่ยวสำหรับการบรรทุก ทุกอย่าง โดยจะเป็นโครงสร้างมั่นคงในทุก ๆ ภาวะ เช่น Dome ต้องต้านทานการบรรทุกทางข้าง เช่น แรงลมอัดและแรงลมดูด โดยเกิดความเค้นแผ่นบาง 3 ชนิด ความเค้นเฉือนเนื่องจากแรงลม มีกำลังประมาณ 100 ไมล์ ต่อชั่วโมง ลมบน Dome พาด 3 นิ้ว ช่วงยาว 10 ฟุต จะเกิดแรงเฉือนแผ่นบาง 6.45 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว

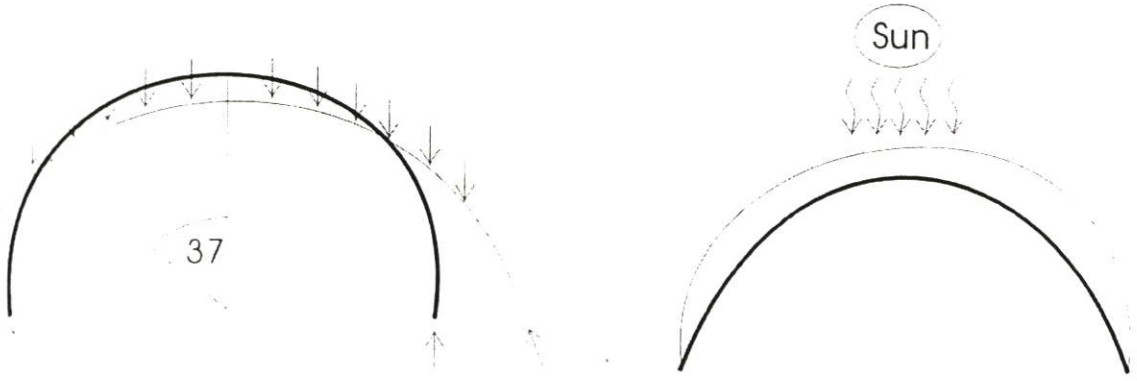


รูปที่ 2.69 แรงเฉือนที่เกิดขึ้นใน Dome

Dome ต้องรับน้ำหนักบรรทุกด้วยความเค้นแผ่นบางมีแรงอัด แรงดึง และแรงเฉือน เพราะเมื่อเกิดแรงเฉือนขึ้น ก็ทำให้โยงเหนี่ยวไปถึงการบรรทุกน้ำหนักทั้งหมดด้วย เพราะความบางถ้ามีใน Dome ที่ใด Dome อาจเกิดความเค้นดัดเกินกว่าที่กำหนดไว้ได้ง่าย

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการรับน้ำหนักบรรทุกของ Dome บาง ๆ สมมุติให้ Dome มีการเคลื่อนตัวได้เล็กน้อย พอที่แผ่นบางจะเกิดความเค้น เมื่อ Dome เกิดความเค้นแผ่นบาง เนื่องจากการบรรทุกน้ำหนัก ก็เกิดความเครียดทำให้ยอด Dome เกิดเลื่อนทางตั้งเล็กน้อย ความเค้นแผ่นบางนี้ก็เขยิบไปที่ใกล้เคียงด้วย แล้วเกิดความแตกต่างขึ้นใน Dome นี้ทั้งหมดแทนที่จะเป็นขอบของเปลือกแข็งแห่งเดียว

เนื่องจากความเค้นแผ่นบางทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลง ความโค้งยุบเบี้ยวขึ้นทันทีและเกิดความเค้นดัดบริเวณที่รอบ ๆ ขอบของเปลือกแข็ง



Dome อาจยุบต่ำลงมาเมื่อมีแรงกด (P) มาก ๆ

Dome อาจมีการขยายตัวสูงขึ้น เมื่อได้รับความร้อนจากแสงแดดมาก ๆ

รูปที่ 2.70 การเปลี่ยนรูปของ Dome

2.3.4 โครงทรัส (Truss)

โครงสร้างแบบโครงประกอบขึ้นจากท่อนซึ่งรับแรงโดยตรง จัดประกอบกันเป็นโครงต่อยึดติดเป็นรูปสามเหลี่ยมหลายรูปในระนาบเดียวกัน น้ำหนักบรรทุกที่ถ่ายทอดลงบนโครงแบบนี้มักจัดให้ลงตรงจุดที่เป็นมุมของรูปสามเหลี่ยม (Panel Point) ตรงปลายที่ท่อนรับน้ำหนักพบกัน แล้วจัดให้ปลายทั้งสองข้างของโครงสร้างแบบโครงนี้พาดบนจุดที่รองรับ ถ่ายน้ำหนักลงทางดิ่งที่ปลายข้างใดข้างหนึ่งหรือทั้งสองปลาย และควรจัดให้เคลื่อนตัวทางนอนได้ เพื่อป้องกันแรงที่เกิดจากการยืดและหดตัวของโครงสร้าง

อันดับของโครงสร้างแบบโครง จัดเรียงตามประสิทธิภาพของการถ่ายทอดน้ำหนักลงจุดรองรับ เป็นการประหยัดวัสดุประกอบโครงมากที่สุด เมื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกเท่ากันและพาดช่วงกว้างเท่ากัน จัดได้ดังนี้

1. โครงรูปคันธนู (Bowstring Truss)
2. โครงรูปจั่วปลายยอด (Pitched Truss)
3. โครงรูปแบนตั้ง (Flash Truss)

โครงรูปคันธนู (Bowstring Truss)

ถ้าน้ำหนักบรรทุกบนโครงประเภทนี้มีมาก และถ่ายทอดลงสม่ำเสมอแผ่ตลอดความยาวเท่าๆ กัน ใช้โครงแบบนี้ประหยัดที่สุด และยิ่งใช้รูปพาราโบลา จะถูกต้องตามทฤษฎีมาก เพราะน้ำหนักถ่ายทอดลงบนท่อนโค้ง และขื่อตัวดึงและตัวยึดอย่างตรงไปตรงมา หน้าตัดของท่อนโค้งจะรับเฉพาะแรงอัดเท่านั้นไม่เกิดแรงดัดไม่ต้องใส่ตัวตั้งเพื่อช่วยในการรับแรงดัด แต่โครงส่วนมากยังรับแรงหรือน้ำหนักบรรทุกที่ไม่ถ่วงเท่าๆกันตลอดเหมือนดังกล่าว อาจต้องรับน้ำหนักจร น้ำหนักแรงลม จึงต้องใส่ตัวตั้งเข้าไว้เพื่อความสะดวกในการสร้าง การประกอบและการเลื่อยตัดให้ได้รูป จึงมักทำท่อนโค้งเป็นรูปส่วนของวงกลม และใส่ตัวตั้งเพื่อช่วยลดขนาดหน้าตัดของท่อนโค้ง

ตามช่วงกว้างที่เคยสร้างมาแล้ว ความประหยัดขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้วิธีการบรรทุกน้ำหนัก ระยะห่างของการวางโครง ขนาดหน้าตัดของวัสดุ ความยาวที่หาได้ การทำรอยต่อและวิธีประกอบเป็นตัวโครง ช่วงกว้างมากถึง 75.00 ม. สามารถทำได้โดยใช้วัสดุที่หาได้ง่ายในท้องตลาด อัตราส่วนของโครงกับช่วงยาวของโครงกับช่วงยาวควรอยู่ระหว่าง 1 : 6 – 8

โครงรูปจั่วปลายยอดอยู่บน (Pitched Truss)

โครงแบบนี้มีข้อดีคือ ส่วนหนึ่งของน้ำหนักบรรทุกที่พาดอยู่บนโครงถ่ายทอดลงจุดรองรับโดยตรง เลือกใช้วัสดุมุงหลังคาง่าย ใช้พาดช่วงยาวปานกลางท่อนบนของโครงใช่ท่อนรูปตรงธรรมดา วิธีสร้างประกอบง่ายแต่ต้องมีตัวตั้งค้ำยัน การติดตั้งกับโครงรองรับทำได้ง่าย ความกว้างของช่วงพาดได้ถึง 24.00 ม. ระยะห่างระหว่างโครงประมาณ 4.50 – 6.00 ม. อัตราส่วนของโครงกับช่วงยาวของโครงกับช่วงยาวควรใช้ประมาณ 1 : 5 – 6 – 7

โครงรูปแบนตั้ง (Flash Truss)

ประสิทธิภาพและความประหยัดของโครงด้อยกว่าโครงสองชนิดที่กล่าวมาแล้ว ข้อดีก็คือเหมาะสำหรับใช้เป็นโครงพื้น โครงหลังคาดาดฟ้าขึ้นไปใช้งานข้างบน การค้ำยึดยันกับเสารองรับทำได้ง่ายมาก เพราะท่อนบนและท่อนล่างของโครงอยู่ติดขนานกับตัวเสาแล้ว การเดินท่ออุปกรณ์อาคารขนาดใหญ่ทำได้ตลอดทั่วบริเวณในความลึกของโครง เมื่อโครงมีความลึกมากใช้เนื้อที่ในโครงเป็นห้องใช้งานได้ แรงเกิดในตัวตั้งของโครงแบบนี้มากกว่าที่เกิดขึ้นในโครงสองชนิดแรก การทำรอยต่อยุ่งยากสิ้นเปลืองมากกว่า ความกว้างของช่วงพาดได้ถึง 24.00 ม. อัตราส่วนของโครงกับช่วงยาวของโครงกับช่วงยาวควรใช้ประมาณ 1 : 8 – 10

การป้องกันการเปลี่ยนรูปและการป้องกันการเลื่อนตัว

เมื่อช่วงมีความกว้างมากขึ้น โครงที่เลือกใช้ยิ่งมีความลึกเพิ่มมากขึ้น เกิดการแอ่นตัวตกท้องช้างที่ช่วงกลางมากขึ้น แก้ไขหรือป้องกันล่วงหน้าโดยออกแบบใช้ขนาดหน้าตัดของวัสดุโตกว่าที่ได้จากการคำนวณ ใช้วัสดุก่อสร้างที่มีคุณภาพรับแรงดี ทำรอยต่อน้อยจุด ให้แผงรูปสามเหลี่ยม (Panel) น้อยรูปที่สุด เพื่อให้รอยต่อมีน้อยลดงานประกอบยึดลง ทำการประกอบได้เร็วขึ้น

ข้อเปรียบเทียบในการใช้ตัวค้ำยัน ยึด ตั้ง ตัวตั้งของโครงต่อแบบต่างๆ

1. โครงรูปคันธนู (ดูรูป 2.71)

แบบวอเรน (Warren) เมื่อท่อนโค้งบนสั้นไม่ต้องมีดั้งตัวดิ่ง แต่เมื่อท่อนโค้งบนยาวขึ้นควรแบ่งท่อนโค้งบนด้วยตัวตั้ง แต่เป็นการเพิ่มรอยต่อขึ้น

2. โครงรูปจั่วปลายยอด (ดูรูป 2.72,2.73)

แบบเบลเจียน (Belgian) อาจโผล่ตัวค้ำยันมารับแป (Purling) หรือตงรับหลังคาได้ แรงในท่อนตั้งทุกตัวมีขนาดใกล้เคียงกันมาก การออกแบบรอยต่อทำได้ง่าย อาจใช้แผ่นเหล็กช่วยยึด แบบฟิงค์ (Fink) เมื่อตัวค้ำยันยาวมาก การใช้วิธีอื่นอาจเกิดแรงในตัวค้ำยันมาก ใช้หน้าตัดใหญ่จึงใช้แบบนี้ วิธีนี้มีข้อเสียคือแรงในตัวค้ำยันมาก ตรงที่ท่อนทั้งสามต่อกัน ออกแบบรอยต่อยากขึ้น ใช้ความลึกมาก

แบบแพรทท์ (Pratt) ตัวตั้งซึ่งรับแรงอัด มีความยาวน้อยลงกว่าท่อนรับแรงอัดในแบบเบลเจียน (Belgian) และ เฮา (Howe) ดังนั้นเราอาจลดขนาดท่อนรับแรงอัดลงได้

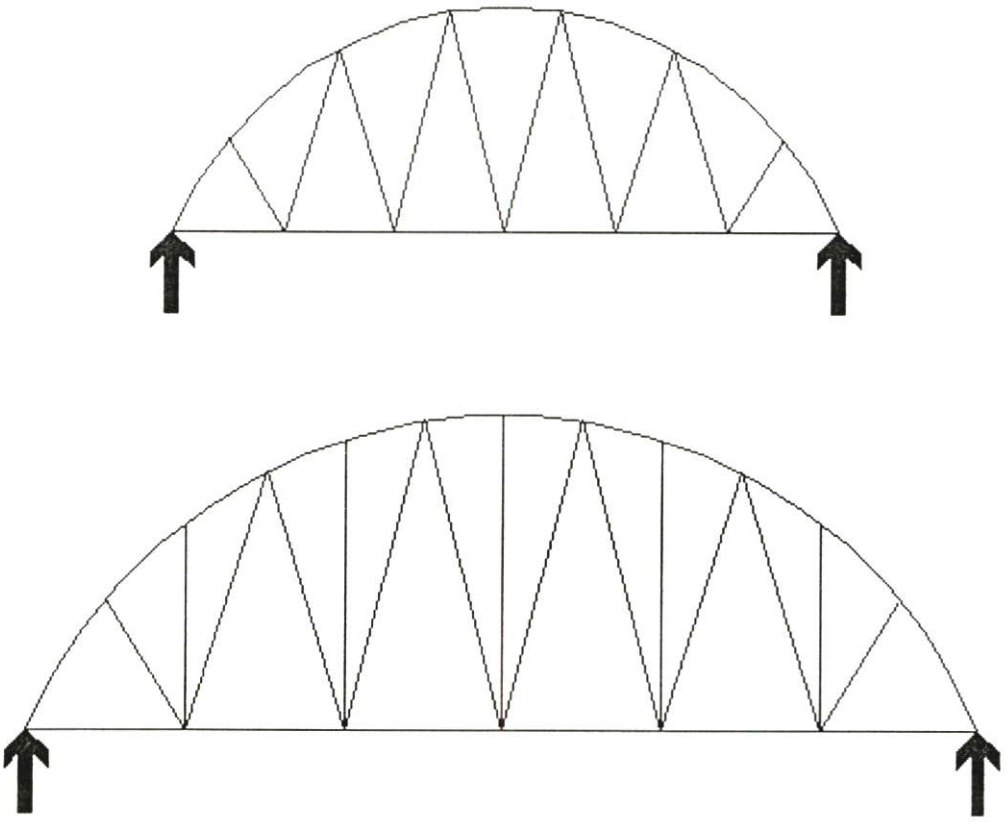
แบบเฮา (Howe) ทั้งแบบแพรทท์ และ แบบ เฮา ถ้าแรงในท่อนรับแรงอัดมาก ตั้งอยู่เป็นหลักรับแรงอัดแล้ว ใช้แบบนี้ดี ออกแบบรอยต่อง่าย สามารถห้อยโครง (Frame) ลงมารับปั้นจั่น (Crane) ชนิดเลื่อนได้

3. โครงรูปแบนตั้ง

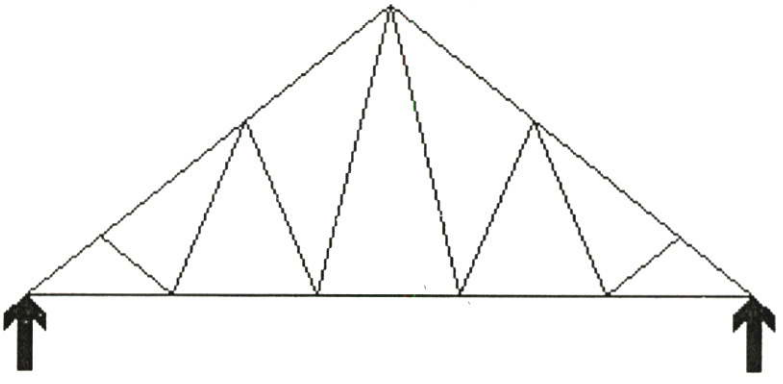
แบบแพรทท์ (Pratt) ตัวตั้งรับแรงอัดมีความยาวน้อย สั้น เสายึดกับโครงดีมาก

แบบเฮา (Howe) ใช้เมื่อจุดรองรับเป็นเสาหรือบ่ายื่น (Corbel) และแรงอัดในท่อนมีขนาดน้อย

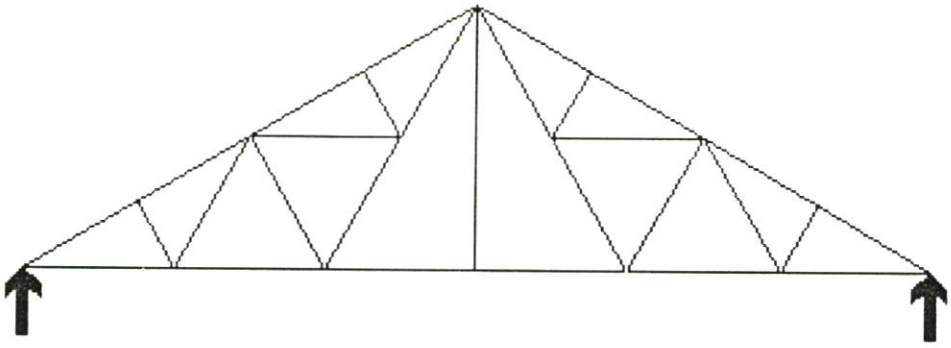
แบบวอเรน (Warren) ใช้เมื่อทำรอยต่อแบบทาบ (Lapped Joint) และเมื่อความลึกของโครงน้อยกว่าความยาวของรูปแผงสามเหลี่ยม (Panel) แรงที่เกิดขึ้นมีขนาดไล่เลี่ยกัน เมื่อช่วงกว้างมากขึ้น อาจใส่ตัวตั้งช่วยแบ่งความยาวท่อนซึ่งรับแรงอัดให้สั้นเข้า



รูปที่ 2.71 โครงรูปคันธนูแบบวอร์เรน



รูปที่ 2.72 โครงรูปจั่วปลายยอดแบบ เบลเจียน



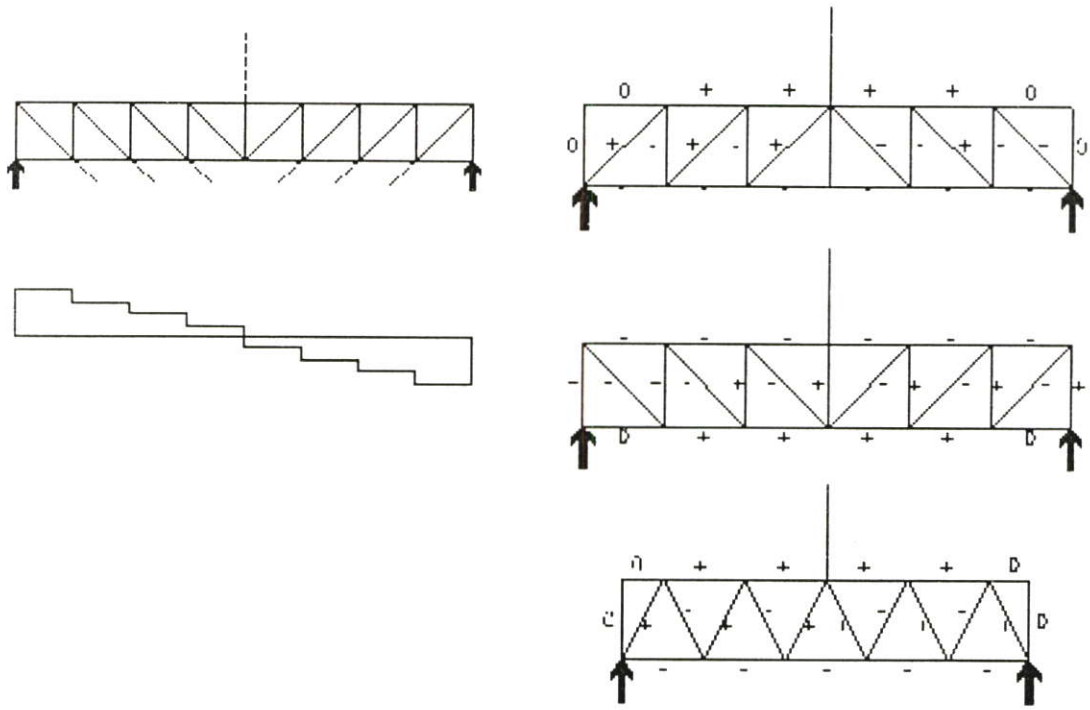
รูปที่ 2.73 โครงรูปจั่วปลายยอดแบบ ฟิงก์

โครงที่ใช้เป็นโครงหลังคามีเครื่องมุง

ช่วงหลังคาที่กว้างมาก ความลึกของโครงสร้างหลังคาก็ยิ่งมากขึ้น ในกรณีที่ใช้เป็นโครงสร้างแบบโครง Truss ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ท่อนตั้งมักใส่เพื่อช่วยในการแบ่งความยาวของท่อนรับแรงอัด ท่อนบน เพื่อให้หัวต่อของแผงสามเหลี่ยมเป็นที่วางตัวรับจันทัน จะเห็นได้ว่าท่อนบนมักเป็นช่วงเท่าๆกัน และความยาวไม่มากเท่าท่อนล่าง (Bottom Chord) ซึ่งรับแรงดึง (Tension) อาจใช้หน้าตัดได้เล็กกว่า เพราะไม่เกิดแรงโก่งเดาะ (Buckling) เพราะแรงดึงทำให้ตึงตัวอยู่ตลอดเวลา

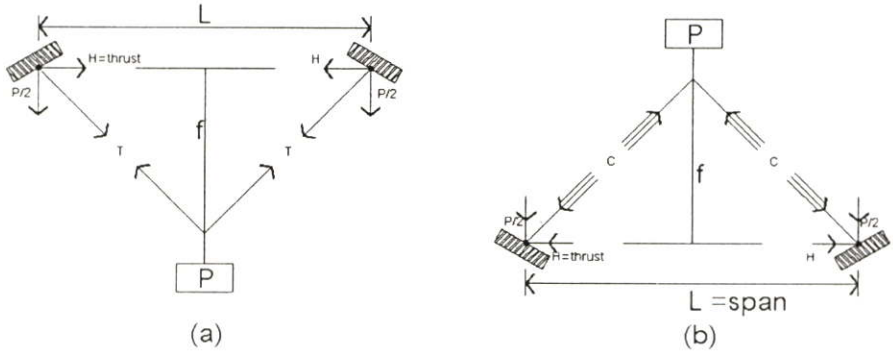
เมื่อมีช่วงมากกว่า 30.00 ม. โครงหลังคาอาจต้องเป็นรูปโครงคันธนูหรือรูปโค้งพระจันเสี้ยว (Crescent) ซึ่งอาจเป็นแบบมีจุดขยับตัว 2 จุด หรือโค้งมีจุดขยับตัว 3 จุด

ในโครงต่อรูปแบนตั้ง (Flat Truss) เนื่องจากแรงเฉือน (Shearing Force) ทำให้เกิดแรงดึงในทิศทแยงเอียงลงจากปลายโครงและพุ่งหาจุดกึ่งกลางความยาวช่วง ดังนั้นตัวค้ำ ตัวยึด (Bracing Bars) ซึ่งใช้ต้านแรงเฉือนนี้ก็ควรใช้วัสดุให้เหมาะกับแรงซึ่งอาจเกิดเป็นแรงดึง หรือแรงอัดก็ได้ แล้วแต่การจัดรูปแบบของโครง (ดูรูป 2.74)



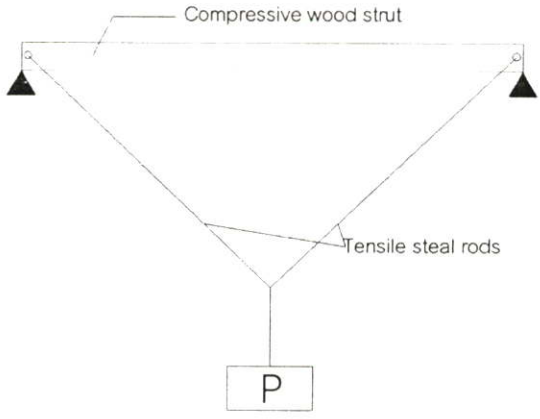
รูปที่ 2.74 แสดงแรงเฉือนทำให้เกิดแรงดึงในทิศทแยงเอียงลงจากปลายเข้าหาแนวศูนย์กลางความยาวช่วง ควรใช้วัสดุให้เหมาะกับแรง

แรงบรรทุกที่ส่วนบนของ Trussนี้ ไปตามแนวทางเคร่าแรงอัดกับรองรับ ซึ่งจะเป็นกิริยาต่อแรงทางตั้งเท่ากับครึ่งของน้ำหนักบรรทุก และโดยแรงธรัสต์ทางนอก H ดังรูป 2.78



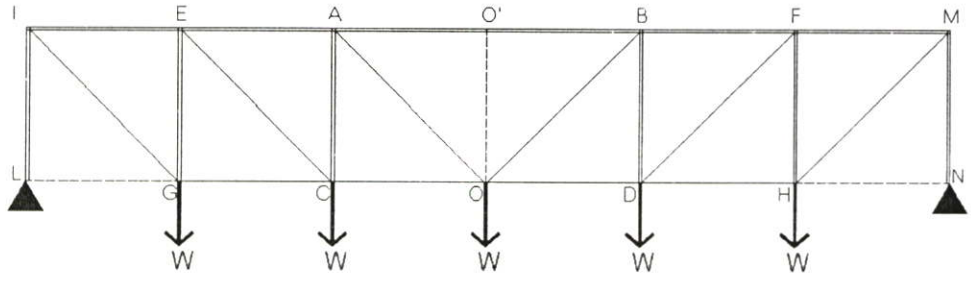
รูปที่ 2.75 Truss สามเหลี่ยม สังเกตทิศทางของแรงต่างที่รองรับ และที่จุดบรรทุก

แรงธรัสต์ก็จะดูดหายไปด้วยเสาครีบของวัสดุแรงอัด เช่น อิฐก่อ หรือโดยส่วนแรงดึง เช่น เหล็กดึงยึด โครงสร้าง Truss ง่ายๆ เป็นไม้ประกอบกับเหล็กดึงยึดนี้นิยมใช้กันแต่สมัยกลาง เพื่อรับหลังคาบ้านเล็กๆ และโบสถ์แล้ว ยังมีเหตุผลพอที่จะเชื่อได้ว่า ตามโบสถ์กรีกก็คลุมหลังคาใช้โครง Truss แบบนี้เหมือนกัน เมื่อช่วงยาวมากเข้าๆ ควรจะแขวนลวดดึงขึงนี้ รูปสามเหลี่ยมโครงเหมือนๆ กันนี้อาจสร้างไว้ด้วย การหย่อนแอ่นบวก (Positive Sag) คือใช้ลวดเหล็กเป็นส่วนแรงดึง และใช้ไม้แทนแรงอัดที่เคยเป็นเหล็กดึงยึด



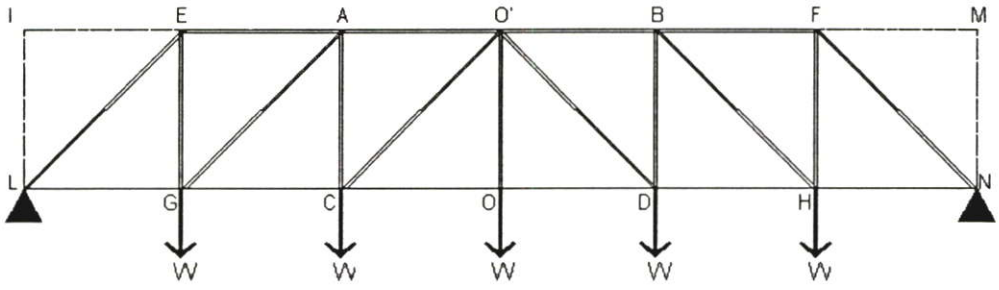
รูปที่ 2.76 Trus s มีไม้เป็นส่วนรับแรงอัด

Truss ที่เหมาะจะเป็นช่วงระยะไกลๆ โดยส่วนแรงดึง และส่วนแรงอัดเท่านั้น ซึ่งประกอบกันเข้าโดย Truss สามเหลี่ยมมีส่วนคอร์ดบน (Upper Cord) และมีชิ้นส่วนทางตั้งเป็นเคร่าตั้งแรงอัดและชิ้นส่วนทางนอนล่าง ส่วน ขวางล่าง หรือ คอร์ดล่าง และ ค้ำยัน หรือ ค้ำขวาง เป็นแรงดึง



รูปที่ 2.77 Truss สามเหลี่ยมมีชิ้นส่วนทแยงเป็นส่วนรับแรงดึง เส้นคู่เป็นชิ้นส่วนรับแรงอัด เส้น บางเป็นชิ้นส่วนรับแรงดึง เส้นประเป็นชิ้นส่วนไม่ค่อยมีแรงกระทำไม่จำเป็นต้องมีก็ได้

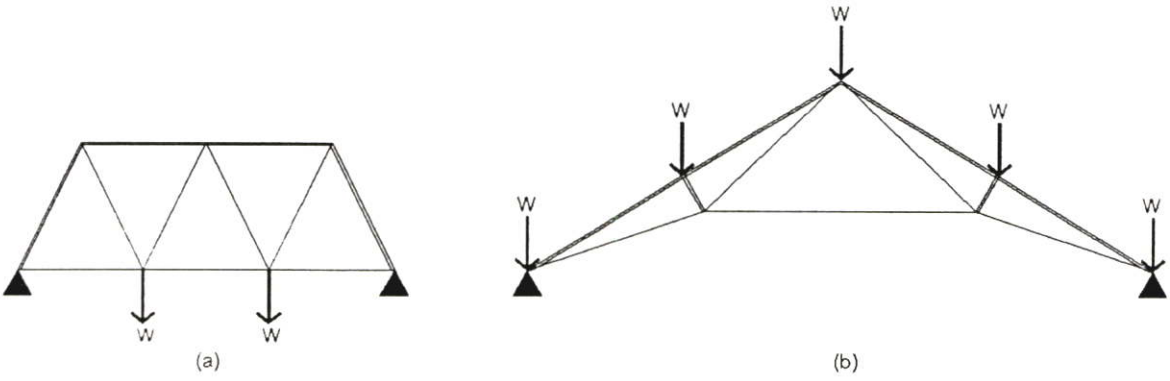
น้ำหนักบรรทุกตรงกลาง W_1 ตามแนวช่วงตลอดค้ำขวางแรงดึงไปยังจุดบน A และ B (เคร่าตั้ง 00' ไม่ได้รับน้ำหนักบรรทุกอะไรเพราะว่าแรงด้านนอนของชิ้นส่วน O'A และ O'B จะไม่สมดุลทรงตัวได้) แรงอัดของชิ้นส่วนดึงบนคือ AB จะดูดหายแรงธรัสต์ ขณะที่เคร่าตั้งแรงอัด Ac และ BD ถ่ายปฏิกิริยาทางตั้งเท่ากับครึ่ง W_1 ลงไปยังจุด C และ D ค้ำขวางแรงดึง CE นำแนวช่องปฏิกิริยา และน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้น W_2 ไปยัง E, และเกิดแรงดึงในชิ้นส่วนคอร์ดล่าง CO ชิ้นส่วนดึงยึดแรงอัด EA จะดูดหายแรงธรัสต์ และเคร่าตั้งคอร์ด EG จะถ่ายแรงปฏิกิริยาทางตั้งไปที่ G กลไกการนำแนวแรงปรากฏในส่วนผืนอื่นๆ ของโครงธรัสต์นี้ทั้งหมด จนกระทั่งเคร่าตั้งแรงอัดอันสุดท้าย Il และ MN รับน้ำหนักของ Truss ไปยังส่วนรองรับ L และ N ถ้าน้ำหนักบรรทุกของธรัสต์ลงที่เพียงแนวผืนที่จุด O, C, D, ฯลฯ ชิ้นส่วน Truss จะไม่เป็นแรงดึงหรือแรงอัด โดยที่น้ำหนักบรรทุกมักจะลงระหว่างจุดต่างๆ ตามแนวที่ชิ้นส่วนล่าง คอร์ดล่างนั้นมักจะเกิดแรงอัดโค้งได้บ้างด้วย



รูปที่ 2.78 Truss สามเหลี่ยมส่วนทแยงเป็นส่วนรับแรงอัด เส้นคู่เป็นชิ้นส่วนรับแรงอัด เส้นบางเป็นชิ้นส่วนรับแรงดึง เส้นประเป็นชิ้นส่วนไม่ค่อยมีแรงกระทำไม่จำเป็นต้องมีก็ได้

ถ้ากลับกัน โดยส่วนลาดของค้ำขวางของชิ้นส่วนเหล่านี้เป็นแรงอัด และส่วนเคร่าตั้งเป็นแรงดึง น้ำหนักบรรทุก W1 ก็จะถ่ายแรงไปโดยเป็นแรงดึงทางเคร่าตั้งจาก O ไปยัง O' และต่ำลงเป็นแรงอัดต่ำจาก O' ไป C และ D CD ก็เป็นชิ้นส่วนแรงดึงยึด Truss สามเหลี่ยม CO'D จะวางยึดบนแผงผืนติดต่อกันที่ C และ D ที่นี่เองน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น W_2 และ W_3 ที่เลือกให้บรรทุกก็จะถ่ายไปยังจุด A และ B โดยส่วนแรงดึงด้านตั้ง และต่ำลงยังส่วนแรงดึงด้านทะแยงที่ G และ H GC และ DH ก็คงเป็นส่วนดึงยึดอีก การนำแนวช่องน้ำหนักบรรทุกก็ต่อเนื่องอย่างนี้ต่อไป จนกระทั่งด้านทะแยงแรงอัดอันสุดท้ายจะรับน้ำหนักต่อไปยังรองรับ ในโครง Truss นี้ส่วนเคร่าตั้ง Ll MN และคอร์ดบนไม่จำเป็นอะไรเลย ในทำนองเดียวกัน ในรูป 2.77 เคร่าตั้งปลายทั้งสอง และชิ้นส่วนคอร์ดล่างก็ไม่มีความจำเป็นอะไรเลย ถ้า Truss ดังรูป 2.77 ต้องรองรับลงโดยตรงที่ L และ M โครง Truss แบบนี้ทั้งหมดแต่สำหรับโครง Truss นี้มักจะอยู่ส่วนใต้ของถนนแบบที่สองรูป 2.78 ใช้กันมากใน

โครงสะพานรถไฟต่างๆ ซึ่งส่วนโครง Truss มักอยู่บนรถไฟทางชิ้นส่วนคอร์ดบน เคร่าตั้งและค้ำขวางอาจยึดติดโค้งเมื่อเกิดแรงอัดมากๆ ถ้าไม่ออกแบบให้เหมาะสมเรียบร้อย



รูปที่ 2.79 ลักษณะการรับน้ำหนักบรรทุกของโครง Truss ต่างๆ กัน

การร่วมกันทั้งชิ้นส่วนแรงดึงและแรงอัดนี้ เหมาะที่จะใช้เป็นงานโครงสร้างซึ่งแตกต่างกันมาก ผู้อ่านคงจะศึกษาแนวทางค้นหาทดลองกลไกของแรงต่างๆ ใน Truss ง่ายๆ ดังรูป 2.81 จะเห็นได้ว่าน้ำหนักนั้นลงอย่างไร เป็นไปทางไหนชิ้นส่วนของต่างๆ นั้น อาจติดแน่นต่อกันด้วยวิธีย้ำหรือเชื่อมกับแผ่นปะกับ (Gusset Plate) ที่ตรงต่อชนกัน

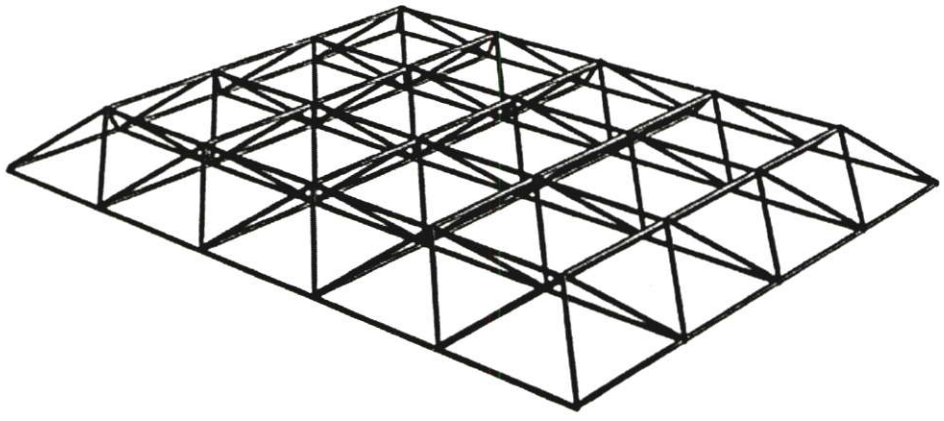
2.3.5 สเปซเฟรม (Space Frame)

ปรกติหลังคานั้นมีทรัสหลายๆ ทรัสขนานกันรับไว้ น้ำหนักก็เฉลี่ยบรรทุกลงที่คานขวางและแผ่นหลังคา มาที่รองรับเหล่านี้ ถ้าหากหลังคาคลุมพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้า น้ำหนักทั้งหมดก็รองรับโดยเสาหรือกำแพง 2 ข้างเท่านั้น แต่อีก 2 ข้างไม่ได้รองรับน้ำหนักอะไรเลย และถ้าหากมีน้ำหนักมาลงที่ทรัสสนี้ ทรัสนี้ก็รับไว้เองทั้งหมดเท่านั้น เพราะส่วนขวางของทรัสนี้ก็ไม่ยึดแน่นแข็งแรงพอที่จะช่วยรับการบรรทุกได้ จึงพูดได้ว่า กิริยารับการบรรทุกน้ำหนักนั้นแยกให้แต่ละทรัสรับแต่ของตัวเอง ด้านใดก็เพียงด้านเดียวเท่านั้น

แต่ถ้าจะให้ได้ผลดีและเป็นประโยชน์แก่โครงสร้างยิ่งๆ ขึ้นโครงหลังคานี้จะยึดแน่นติดกับโครงทรัสขวางด้วย

ส่วนที่อยู่ระหว่างทั้งสองทรัสซึ่งใช่ร่วมกันเป็นส่วนสำคัญของทั้งสองทรัสนี้คือ Space Frames ที่ประกอบเป็นโครงหลังคาคลุมพื้นที่กว้างๆ ใหญ่ๆ ได้ประหยัดมาก คือ Space Frames ก็จำแนกตามรูปร่างที่ประกอบกันก็เป็นรูปสามเหลี่ยม แต่ถ้าประกอบกัน 2 ด้านตั้งฉากกันเฉยๆ ไม่มีส่วนค้ำขวางระหว่างกัน คือไม่มี Space Frame มายึดกันก็เป็นโครงทรัสธรรมดายึดกัน Space Frame แข็งแรงกว่าโครงทรัสขนานธรรมดามาก จังทำได้ลึกน้อยกว่า ทั้งความลึกของทรัสทั้งส่วนด้านนอน

ทั้งชิ้นบนและชิ้นล่าง ความลึกมักจะเป็นประมาณ 1 ใน 10 ของช่วงระยะแต่ใน Space Frame อาจตื้นกว่ามาก คือลึกเพียง 1 ใน 20 หรือ 30 ของช่วงระยะเท่านั้น



รูปที่ 2.80 ลักษณะ Space Frame แบบสามเหลี่ยม

วัสดุ

Space Frame โดยทั่วไปมักสร้างด้วยวัสดุพวกโลหะเป็นส่วนมากเช่น เหล็กหรืออะลูมิเนียม แต่วัสดุอื่นๆ เช่น ค.ล.ส. หรือไม่ก็ทำได้ก็ใช้กันได้ถ้าปัญหาหรือข้อต่อเพื่อให้การก่อสร้างง่ายสะดวกดี ทุกส่วนโครงมักจะเป็นขนาดเดียวกัน เช่นถ้าส่วนโครงนี้ทำด้วยท่อก็ควรต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเหมือนกัน ความหนาของส่วนท่ออาจหนาแตกต่างกัน (แม้ว่าจะสิ้นเปลืองมากกว่า) ก็ควรจะจัดให้มีความเค้นเหมือนกัน มิฉะนั้น ส่วนใหญ่ของส่วนโค้งต้องขนาดใหญ่เกินไปเพื่อให้น้ำหนักจากที่หนักที่สุดจะได้ไม่เกินความเค้น

ความลึก

ความสำคัญส่วนใหญ่คือความลึกของส่วนโครงสร้างใดๆ ต้องให้มีแกนโมเมนต์พอเพียงระหว่างขอบบนและขอบล่าง ฉะนั้นความลึกของ Space Frame ก็พอใกล้เคียงกับโครงทรัสสหน้าราบ ที่รับการบรรทุกคล้ายๆ กัน โครงทรงผลึกเดี่ยวๆ (Single Prismatic Frame) เมื่อต้องบรรทุกหนักๆ จะต้องลึกจาก 1/6 ถึง 1/12 ของส่วนระยะ สำหรับแบบตรงพื้นโดยสมบูรณ์มีคอร์ดบนคอร์ดล่าง เป็นตาราง 2 ทางหรือ 3 ทาง คล้ายๆ กับ Space Frame จะยอมให้ลึกอย่างน้อยที่สุด 1/20 ถึง 1/24 ของช่วง

การคาดคิดของแรง

ทรัสสหน้าราบส่วนมากที่ใช้ในการก่อสร้างตึกอาคารมักคาดคิดคำนวณสถิตยศาสตร์ได้ (Statically Determinate) แรงต่างๆ (ความเค้นในส่วนโครง) หาได้จากแบบรูปแรง แมกซเวล ครีโมนา (Maxwell Cremona Diagrams) ก็ถูกต้องพอแล้ว แต่สำหรับโครงสร้าง 3 มิติ แม้จะเป็นการคาดคิดทางสถิตย์ได้ด้วยสมการต่างๆ อย่างเดียวมักจะไม่ถูกต้องเพียงพอแก่การออกแบบให้

มัธยัสถ์ได้ ตัวเลขที่ได้จากส่วนโครงเดียวหรือส่วนโครงหลายส่วนตามข้อต่อต่างๆ มักจะสถิตย์เกินจริงไปตามการบรรทุกที่กำหนดไว้ ส่วนปลายข้อต่อต่างๆ ต้องนำมาคิดด้วย วิธีหาผลลัพธ์ด้วยสมการพลังงาน (Energy Equation) จะถูกต้องดีกว่า แต่ก็ยืดยาวเกินไป การทดสอบจากหุ่นจำลองเป็นวิธีที่ดีที่สุด แม้ออกจะแพงหน่อยก็ตาม

ชนิด

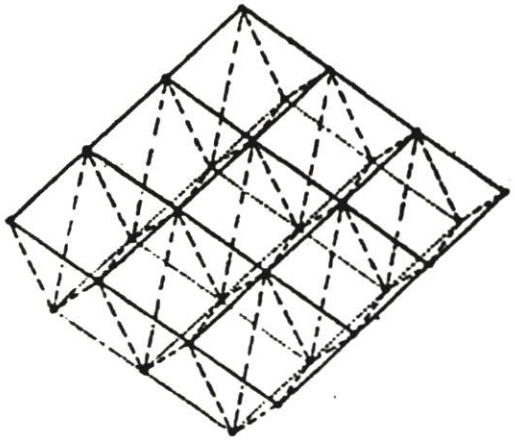
ชนิดต่างๆ ของ Space Frame มักจะแยกแยะด้วยจำนวนเหลี่ยมๆ หลายเหลี่ยมหลายมุข (Polyhedron) พหูมุข จากที่ประกอบหรือสร้างขึ้นมา

ตัวอย่างโครงสร้างง่ายๆ อย่าง หอ หรือ ทรัสโดดเดี่ยว (Isolated Truss) Space Frame จะคิดได้ว่าเป็นเพียง หลายมุขเชิงเดียว (Single Polyhedron) พหูเดี่ยว ถ้ามีอะไรปิดหลายเหลี่ยมนี้ก็จะเป็นผิวหน้ายึดเกร็ง (คือเป็นสามเหลี่ยมสมบูรณ์ Completely Triangulated) คือ ยึดเกร็งโดยตัวเอง ดังนั้น หอสามเหลี่ยมจัตุรัสหกเหลี่ยมดังรูปแรกนี้ต้องโปร่งข้างในโดยสิ้นเชิง ได้เกิดหน้าราบทางบนและหน้าราบทางล่างเป็นรูปสามเหลี่ยม หอต่างๆ นี้อาจลวงได้ถ้าวางบนด้านข้างอย่าง คานใหญ่ทรัสเดี่ยว (Single Truss Girder)

ถ้าหอตัวอย่างทั้งสามนี้ เขียนรูปด้านแสดงเท่ากันตามแกนส่วนโครงทางตั้งและทางนอนจะต้องมีความยาวเท่ากัน ส่วนทแยงจากด้านต่างๆ และขวางส่วนจัตุรัสบนและล่างนี้ต้องยาวกว่า

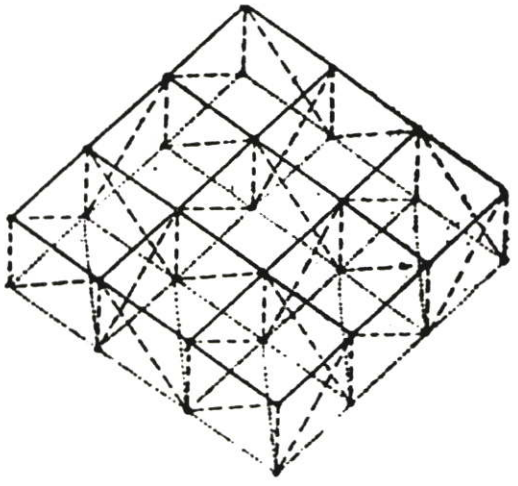
ในการเสาะหาลวดลายรูปร่างของ Space Frame ที่เหมาะจะเป็นพื้นหรือโครงหลังคา เราจำเป็นต้องตรวจสอบชิ้นส่วนระแนงที่ประกอบกันเข้าเป็นส่วนใน Space Frame ต่างๆ กันของรูปหลายเหลี่ยมนี้ ถ้าเราเจาะจงดูพวกระแนงที่ให้เป็นระดับหน้าราบบน (อย่างในพื้น) และส่วนขนานหน้าราบล่าง (อย่างในเพดานหรือพื้นล่าง)

ส่วนโครงทั้งหมดที่อยู่ในหน้าราบบน ดังแสดงไว้เป็นเส้นเต็มส่วนที่อยู่หน้าราบล่างทั้งหมดเป็นเส้นจุดๆ และส่วนโครงที่อยู่ระหว่างหน้าราบทั้งสองนี้เป็นเส้นประๆ ขีดๆ ทรงผลึกสามเหลี่ยม (Triangular Prism) ปริซึมสามเหลี่ยมใช้เป็นหน่วยเรขาคณิตมาตรฐานให้เป็นทรัสหน้าราบ หรือทรัสสระนาบ 2 ชุด มาพบกันเป็นมุมฉาก คือ มุม 90 องศาในรูป รูป ลูกเต๋า (Cube หรือ ทรงผลึกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า) ก็ให้เป็นทรัสสระนาบ ทรัสหน้าราบ 2 ชุดเหมือนกัน สังเกตได้ว่าเส้นทแยงไม่ได้จัดไว้แผน ทั้งนี้เพื่อการยึดเกร็งอย่างน้อยที่ปลายของระบบพื้นนี้ต้องเป็นรูปสามเหลี่ยมดังแสดงไว้ พื้นหรือหลังคานี้ต้องใช้ประโยชน์จากการยึดเกร็งเป็นสำคัญ



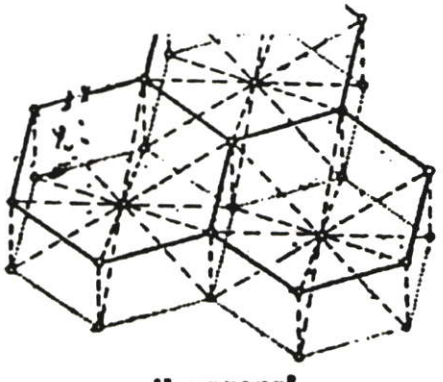
Triangular

space frame 3 เหลี่ยมประกอบกัน



Rectangular

space frame 4 เหลี่ยมประกอบกัน



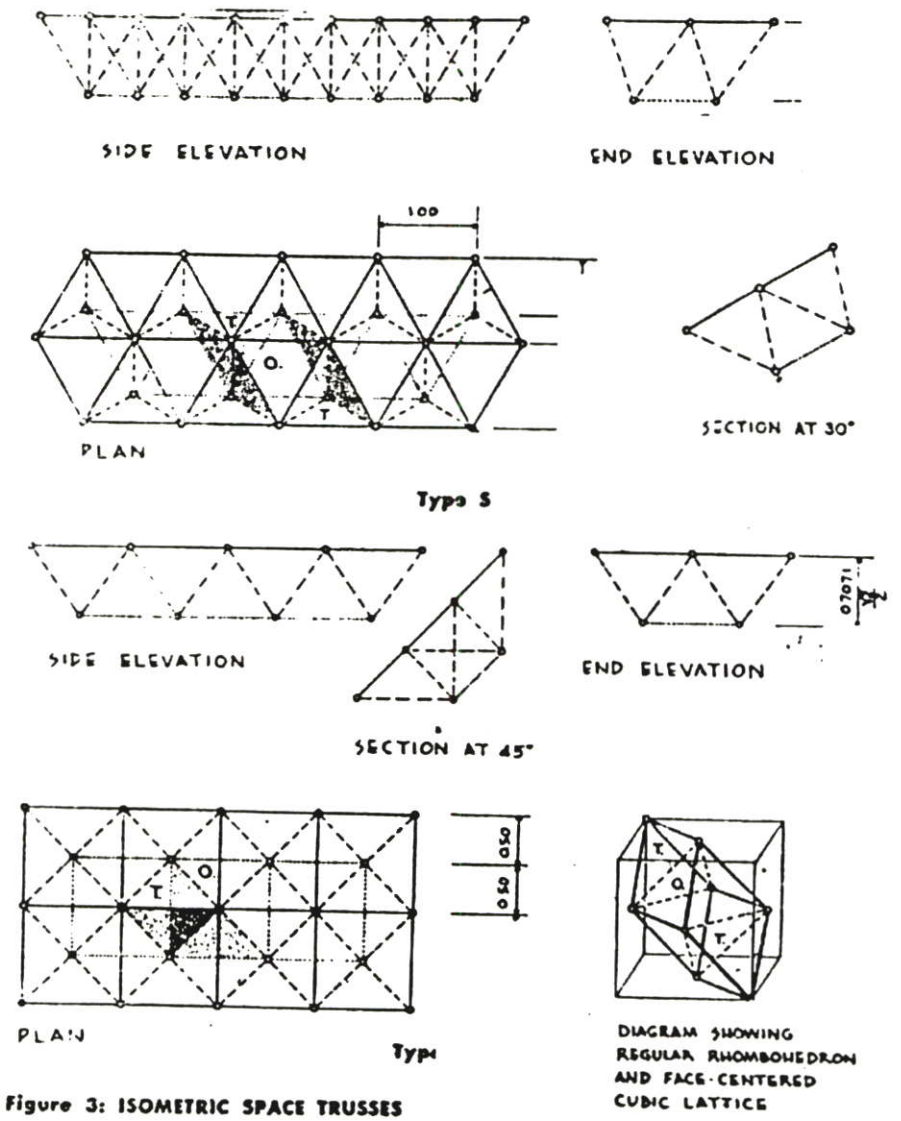
Hexagonal

space frame 6 เหลี่ยมประกอบกัน

รูปที่ 2.81 รูปแบบของ Space Frame

ทรงผลึกรูปหกเหลี่ยมให้หน้าราบบนและล่างเป็นรูปหกเหลี่ยมต่อติดด้านทางตั้งที่แต่ละมุม และทแยงจากมุมบน และไปยังเส้นผ่าศูนย์กลางตรงกันข้ามกับมุมล่าง สังเกตดูรอยต่อที่ตรงเส้นทแยงผ่านติดกัน รูปทรงผลึกหกเหลี่ยม 3 ผลึกนี้จำเป็นเพื่อการยึดเกร็ง

สำหรับรูปแปดหน้า แปดเหลี่ยม = ฉกมุข (Octahedral) รวมกับสี่หน้าสี่เหลี่ยม (จัตุรมุข = Tetrahedral) แล้วก็จะเกิดเป็น โครงสเปซเฟรมด้านเท่า (Isometric Space Frame) ระแนงเหล่านี้จะแผ่นไปกับรูป ด้านแหลมธรรมดา (Rhombohedron ทรงผลึกรูปสี่เหลี่ยมเย้สร้างได้จากรูปแปดหน้าแปดเหลี่ยม Octahedral 1 รูป และรูปสี่หน้า 2 รูป มาประกอบกัน) ถ้าให้สวยโครงนี้มีความยาวเท่ากันหมดก็จะเป็นเหมือนอย่างรูปผลึกที่เรียก หน้าตรงกลางเป็นรูปลูกบาศก์ (The Crystal Lographer's Face-Centered Cubic) ดังรูป 2.84



รูปที่ 2.82 Space Frame รูปผลึก

ถ้า Space Frame ด้านเท่าเป็นระแนงนี้ตัดโดยหน้าราบคือระนาบใดๆ ที่มีหน้าเป็นแปดหน้า Octahedral (และหน้าสี่เหลี่ยมด้วย) แล้วผลก็เป็น Space Frame ชนิด T ดังได้แสดงรูปล่างที่เรียกดังนี้เพราะว่าเป็นลวดลายรูปสามเหลี่ยมในแผ่นหรืออีกนัยหนึ่ง Space Frame ระแนงนี้ตัดออกโดยหน้าระนาบใดๆ ที่มีจัตุรัสอยู่ตรงกลางของรูปแปดหน้า ผลที่ได้รับจะเป็น Space Frame ด้านเท่าชนิด S (Isometric Space Frame Type S.) เพราะว่าเกิดเป็นรูปจัตุรัสปรากฏบนแผนโครงทรัสสแบบนี้มีส่วนที่เป็นไปได้ง่ายกับแผนของตึกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ขอได้สังเกตอีกสักครั้งว่า สมการสำหรับจำนวนของส่วนโครงนี้จะไม่เป็นที่ถูกต้องนักเว้นไว้แต่จะต้องมีจำนวนตัวกำลังอย่างน้อย 6 ตัวกำลังสองที่ระนาบบน และ 2 ตัวกำลังสองในระนาบล่าง

ขอได้สังเกตอีกสักครั้งว่า สมการสำหรับจำนวนของส่วนโครงนี้จะไม่เป็นที่ถูกต้องนักเว้นไว้แต่จะต้องมีจำนวนตัวกำลังอย่างน้อย 6 ตัวกำลังสองที่ระนาบบน และ 2 ตัวกำลังสองในระนาบล่าง

โครงตาราง (Grid Frameworks) แบบโครงหน้าราบคือระนาบเดียวเป็นวัสดุเนื้อเดียวกันสนิท (Monolithic) ต่อเนื่องกันตลอด โดยมากมักจะเสมอเหมือนกัน ยึดติดต่อกันโดยเป็นชุดๆ ชิ้นส่วนทางยาวและชิ้นส่วนโครงทางขวาง เพื่อไว้ต้านแรงที่กระทำตั้งฉากกับระนาบโดยเหตุนี้เอง

Space Frame เป็นโครงมีหลายระนาบ ต่อเนื่องกันและร่วมมีกิริยาเป็น 3 มิติ เพื่อต้านแรงที่กระทำทุกๆ ด้าน

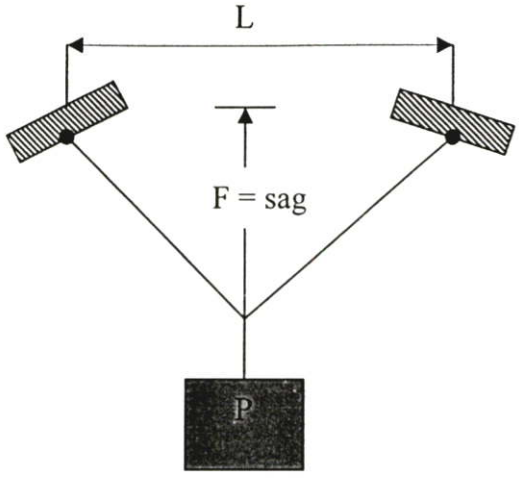
คานระแนง (Lattice Girder) เป็นแบบทรัสสคาดคิดไม่ได้ประกอบด้วยชิ้นส่วนแรงดึงภายใน และชิ้นส่วนแรงอัดจัด เป็นลวดลายยึดกันไว้กับส่วนคอร์ดบนและคอร์ดล่าง เพื่อจะต้านแรงกระทำในเส้นแนวกับระนาบหรือพื้นราบแบบนี้

2.3.6 เคเบิล (Cable)

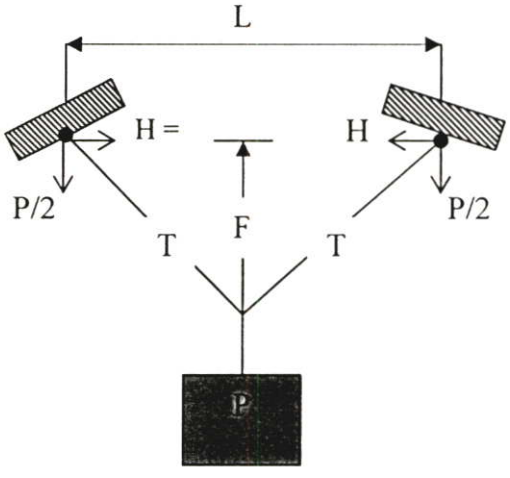
เหล็กมีกำลังแรงดึงสูง ร่วมกับสมรรถนะทางแรงดึงธรรมดาแล้ว ลวดเคเบิล (Cable) จึงเป็นวัสดุโครงสร้างที่ดีที่สุดสำหรับช่วงระยะเวลายาว

ลวดเคเบิล – ไหวตัวได้เพราะใช้หน้าตัดค่อนข้างเล็กๆ ถ้าเปรียบกับความยาว การยืดไหวได้นี้จึงไม่มีการต้านทานต่อการตัดโค้งเลย เพราะว่าความเค้นที่ไม่เสมอกันเนื่องจากการดัดโค้งนี้ได้ป้องกันไว้ด้วย การไหวตัวได้ (Flexibility) แรงดึงจึงแบ่งเฉลี่ยเท่าๆ กัน หมดระหว่างเส้นลวดเล็กที่ฝังอยู่ในเคเบิลนั้น ทุกๆ เส้นลวดเล็กๆ นี้ต้องรับความเค้นตามพิกัดอัตราปลอดภัยเหมือนกันหมด

เพื่อจะให้เข้าใจง่ายถึงกลไกการรองรับน้ำหนักทางตั้งของลวดเคเบิล พิจารณาลวดที่ผูกปลายไว้แน่นทั้งสองปลายให้รับน้ำหนักถ่วงตรงกลาง เนื่องจากกิริยาของการบรรทุกน้ำหนักนี้ลวดก็จะเป็นรูปสามเหลี่ยมเสมอกันทั้งสองข้างของจุดบรรทุกน้ำหนัก และครึ่งของน้ำหนักบรรทุกนี้รองรับด้วยแรงดึงสามัญของลวดแต่ละครึ่งดังรูป 2.83

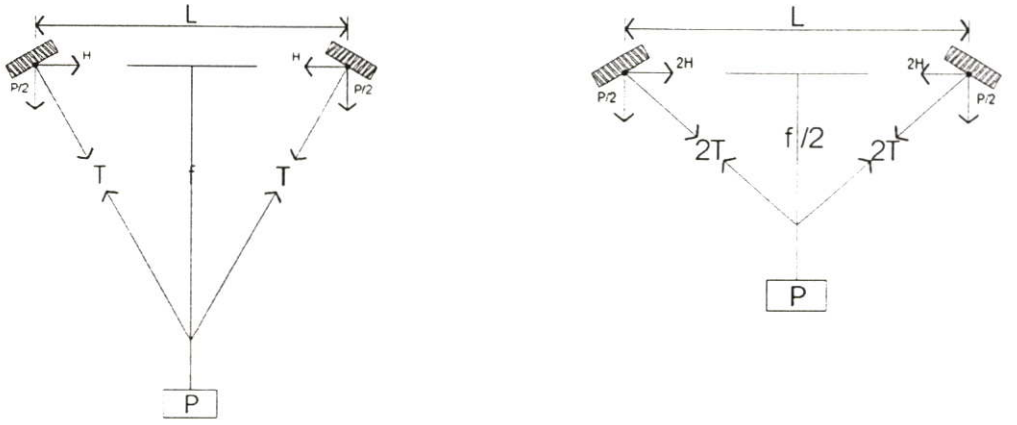


รูปที่ 2.83 ความสมดุลของน้ำหนักในเคเบิล

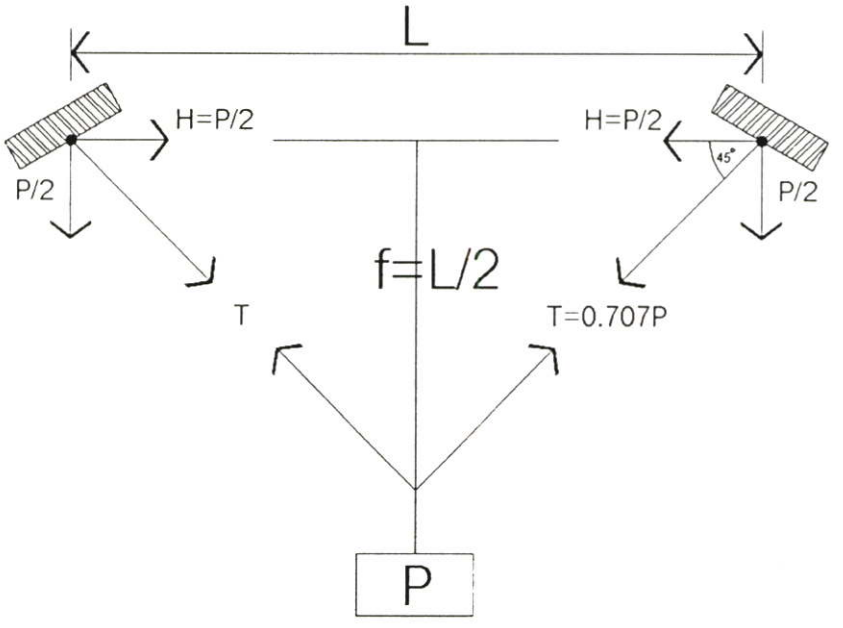


รูปที่ 2.84 แรงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในเคเบิล

สำหรับรูปสามเหลี่ยมของลวดเคเบิลนี้เกิดได้จาก การหย่อน (Sag) เป็นระยะทางตั้งจากจุดรองรับมาถึงจุดที่ต่ำสุด ถ้าไม่มีการหย่อนลงมานี้เส้นลวดจะรับน้ำหนักบรรทุกไม่ได้เลย เพราะแรงดึงในลวดจะเป็นทางราบ และไม่มีแรงต้านจะไปเสมอสมดุลกับแรงน้ำหนักบรรทุกทางตั้ง สำหรับที่รองรับนั้นเกิดแรงดึงทางเอนลาดของลวดที่หย่อนตัวลงนี้อาจแยกเป็นสองแรงคู่ประกอบ (Components) แรงด้านตั้งจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของน้ำหนักบรรทุก และแรงด้านนอนดึงเข้าข้างในที่เรียกว่า ธรัสต์ (Thrust) ดูรูป 2.84 ถ้ารองรับไม่ยึดแน่นกับทางราบคือปล่อยให้เกิดการเคลื่อนตัวได้ จะเลื่อนเคลื่อนเข้ามาทางแรงดึงนั้น และ 2 ด้านของลวดแขวนนี้ก็จะเป็นแนวตรงทางตั้ง (คือหมดแรงถึงธรัสต์ระหว่าง 2 รองรับปลายเส้นลวดนั้น)



รูปที่ 2.85 ความแตกต่างของแรงที่เกิดขึ้นจากการหย่อนตัวของเคเบิลที่แตกต่างกัน

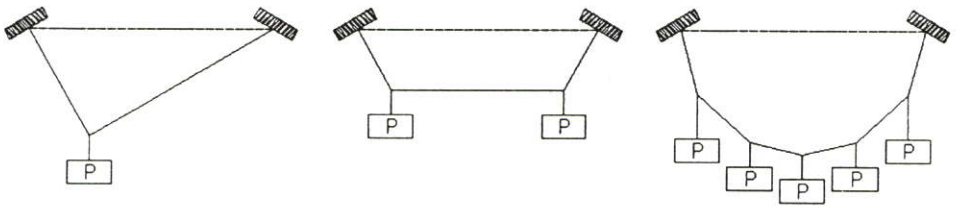


รูปที่ 2.86 องศาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการหย่อนตัวของเคเบิล

ปัญหาสำคัญในการใช้ลวดเคเบิลนี้ให้ประหยัด ทำอย่างไรนั้นถ้าให้ลวดหย่อนตัวมากก็ต้องใช้ลวดยาวมาก แต่ลดแรงดึงในลวดน้อยลงและลดให้ลวดมีหน้าตัดเล็กลงได้ แต่ถ้าให้หย่อนตัวน้อยลงและลดความยาวของลวดลงด้วยต้องเพิ่มหน้าตัดลวด เพราะเกิดแรงดึงสูงมากในลวด ถ้าหากเป็นจำนวนมากทั้ง 2 ค่านี้ ก็จะมีค่าปริมาณทางแรงดึงน้อย และการหย่อนตัวมากจึงควรกำหนดค่าต่ำสุดของการหย่อนตัวปานกลาง การหย่อนตัวที่เหมาะสมดุล หรือการหย่อนตัวที่ประหยัดที่สุดนั้น สำหรับระยะทางราบที่กำหนดให้ระยะรองรับก็เป็นครึ่งของช่วงกว้าง จึงเป็นสามเหลี่ยมเสมอกันทั้งสองข้าง และเส้นลวดต้องประมาณ 45 องศากับเส้นทางราบ จึงจะได้แรงธรัสต์เป็นเครื่อง

ของน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดแล้วแรงดึงก็เป็นค่ามุม Sine ของ 45° คือประมาณ 0.707 ของน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดนี้

ถ้าหากจุดบรรทุกน้ำหนัก เลื่อนมาจากจุดกึ่งกลางของช่วงระยะ ลวดก็เปลี่ยนรูป และปรับตัวเองให้เข้าเหมาะกับการบรรทุกน้ำหนัก โดยเกิดมุมลาดไม่เสมอกัน

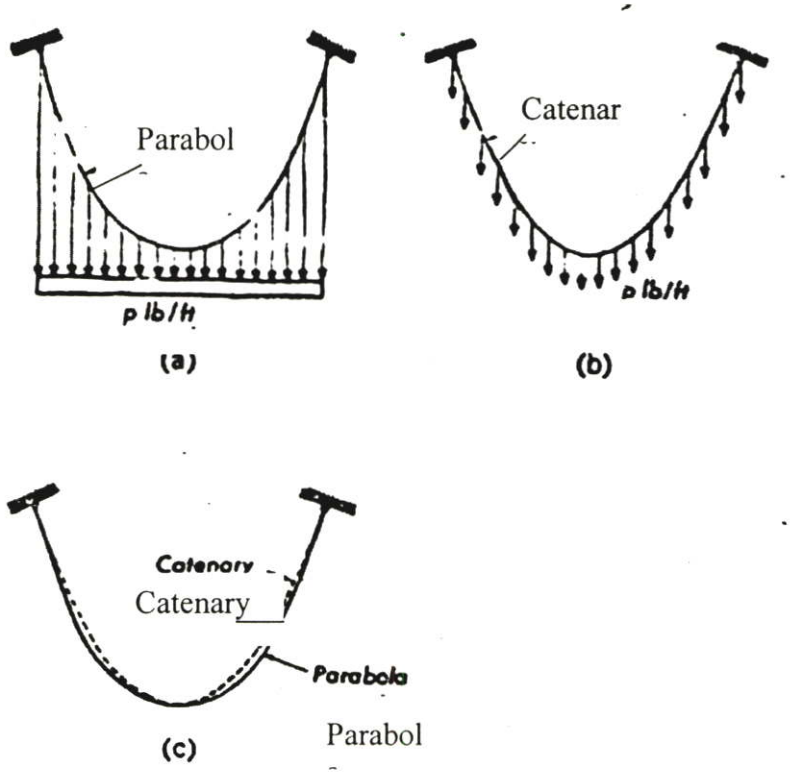


รูปที่ 2.87 รูปหลายเหลี่ยมของแรงเนื่องจากตำแหน่งและจำนวนจุดบรรทุก

ที่รองรับน้ำหนักก็เกิดปฏิกิริยาทางตั้งต่างกัน แต่มีแรงธรัสต์เหมือนกัน โดยที่ลวดเคเบิลหย่อนตัวสมดุลในทางแนวนอน ค่าของแรงธรัสต์ก็แตกต่างจากค่าของแรงบรรทุกลวดตรงกลางแต่คงแตกต่างกันเหมือนการหย่อนตัว ผู้อ่านลองทดสอบดูง่ายๆ เอาเชือกผูกห่วงกุญแจไว้ให้แน่นแล้วจับเชือกห่างออกจากห่วงกุญแจต่างๆ ระยะกันก็จะรู้สึกได้ดีว่ามือข้างใดหนักกว่ากัน

หากเกิดมีการบรรทุกน้ำหนักเท่าๆ กัน 2 น้ำหนักลงบนลวดให้เสมอกันทั้งสองข้าง ลวดก็คงปรับตัวเองรับการบรรทุกได้โดยรูปร่างแตกต่างกันไปเป็น 3 ด้านเท่าๆ กัน ถ้าเพิ่มจำนวนบรรทุกมากขึ้นลวดก็เกิดรูปทรงตัวใหม่อีก เป็นเส้นตรงระหว่างจุดบรรทุกน้ำหนักนั้นๆ และเปลี่ยนรูปในแนวทางที่จุดบรรทุกน้ำหนักนั้นลงบรรทุก รูปร่างที่เป็นขึ้นตามจุดต่างๆ ที่บรรทุกน้ำหนักในลวดดึงแขวนไว้นั้นเรียกว่า รูปหลายเหลี่ยมลวดโซ่แขวนปลาย (Funicular Polygon มาจาก Funis ภาษาละติน, Rope แปลว่าเชือกหรือลวด Poly หรือ Polys กรีกแปลว่า, มาก, หลาย, Gonia ภาษากรีกแปลว่า มุม) เป็นรูปร่างธรรมชาติของลวดเมื่อรับแรงดึงเนื่องจากการบรรทุกน้ำหนัก

เมื่อบรรทุกน้ำหนักเพิ่มจำนวนจุดบรรทุกมากขึ้น ลวดก็เป็นรูปหลายๆ เหลี่ยมเพิ่มขึ้น เพิ่มด้านเล็กๆ ละเอียดมากขึ้น จนกระทั่งเป็นรูปโค้งเรียบ เป็นโค้งสมบูรณ์ลักษณะคล้ายโค้งพาราโบลา ถ้าบรรทุกน้ำหนักจำนวนจุดบรรทุกมากๆ เข้า เหมือนอย่างโซ่รูปหลายเหลี่ยมก็มนๆ เข้าเป็นโค้งโซ่หย่อน โซ่ลวดแขวน 2 ปลาย เรียกโค้งโซ่แขวน (Funicular Curve) ตัวอย่าง รูปหลายเหลี่ยมลวดโซ่แขวนปลายสำหรับน้ำหนักบรรทุกเท่าๆ กัน ลงระยะทางนอนเท่ากันเป็นรูปโค้งเรขาคณิต ต้องจำให้ดี คือ พาราโบลา จุดที่หย่อนตัวเหมาะที่สุดสำหรับลวดดึงโค้งพาราโบลาคือเท่ากับหนึ่งในสามช่วงระยะของลวด



รูปที่ 2.88 โค้งโซ่แขวน

ถ้ามีน้ำหนักเท่าๆ กันบรรทุกเฉลี่ยเสมอๆ กันตลอดความยาวของลวดเคเบิลมากกว่าจะตามทางราบ เส้นโค้งโซ่แขวนจะแตกต่างกับโค้งพาราโบลาธรรมดา แม้โดยทั่วๆ ไปจะเป็นรูปร่างคล้ายๆ กันคือเป็นโค้งแบบโซ่ (Catenary) คือโค้งธรรมชาติ การหย่อนตัวที่ดีที่สุดของโซ่แขวนปลายทั้งสองนี้ เหมือนกับโค้งพาราโบลา

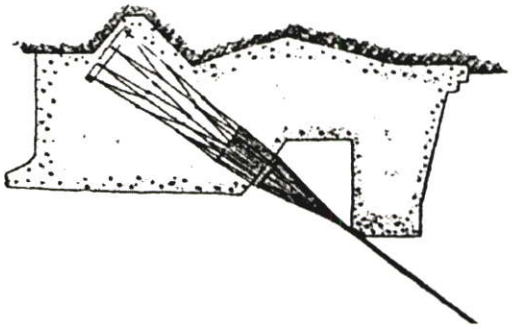
ลวดต้องรับบรรทุกน้ำหนักตัวเอง (น้ำหนักตาย) และน้ำหนักเฉลี่ยเท่าๆ กันลงบรรทุกทางราบนำให้เกิดเป็นรูปโค้งรูปร่างไม่โค้งหนีไปจากรูปโค้งโซ่แขวนและพาราโบลา โค้งลวดขึงดึงของสะพานแบบแขวนนี้ โดยมากเป็นโค้งอย่างที่ใช้รับน้ำหนักตัวเอง และยึดมั่นธรัสต์กับส่วนถนนเป็นสะพานช่วงยาวๆ

ลวดดึงขึงจะเป็นระยะช่วงยาวได้มากที่สุด ถ้าเพียงรับน้ำหนักบรรทุกตัวเอง แต่อาจขาดได้เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกลงไปอีกเพียงเล็กน้อย สมมติถ้าการหย่อนตัวที่เหมาะสมที่สุดเป็น 1 ใน 3 เมื่อต้องการหาน้ำหนักลวดดึงขึงที่น้อยที่สุดนั้นจะพบว่า ลวดดึงขึงได้ตั้งช่วงระยะ 12 ไมล์ ระยะใกล้ที่สุดนี้ต้องแล้วแต่ขนาดหน้าตัดของลวดดึงขึง โดยที่น้ำหนักของลวด และกำลังแรงดึงของลวดเป็นปฏิภาคกับเนื้อที่หน้าตัด

อาจมีผู้สงสัยว่าเมื่อลวดเคเบิลนี้มีสมรรถนะและความประหยัด ทำไมจึงไม่ใช้กันให้บ่อยๆ ในโครงสร้างซึ่งเล็กกว่านั้นมาก ข้อจำกัดตัวในการประยุกต์ลวดดึงขึงนี้โดยตรงก็อยู่ที่การปรับตัวเมื่อเกิดการเปลี่ยนน้ำหนักบรรทุกไป ลวดดึงขึงไม่คงตัวแข็งแรงเกรงอยู่ อย่างโครงสร้างประเภทอื่นๆ และความมั่นคงแข็งแรง เป็นความต้องการเบื้องต้นของระบบโครงสร้างทั้งหลาย น้ำหนัก

ต่างๆ ที่แขวนหิ้วจากลวดดึงขึงในสะพานแบบสะพานลิงนี้ ใช้แต่มีความประสงค์แต่เพียงเพื่อรับน้ำหนักถนนเท่านั้น แต่ยังต้องเป็นความมั่นคงของลวดดึงขึงไว้ต้านทานการเคลื่อนไหวตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ด้วย

ทรัสยึดมั่นนี้ปรกติมักจะแข็งแรงในแนวแกนของสะพาน แต่มีความแข็งแรงน้อยในด้านข้าง จึงอธิบายได้ว่าสะพานแขวนนี้เกิดการเคลื่อนตัวได้มากเนื่องจากแรงลมพัดทางด้านข้าง ยิ่งกว่านั้นถนนยาวๆ และจุดยึดก็ตื้นเหลือเกิน เปรียบเหมือนแถบริบบิ้นบางๆ จึงสั่นไหวได้ง่ายๆ ในทางตั้งที่อาจเกิดการบิดหันและการแกว่งกวัดทางตั้ง เมื่อมีลมพัดเข้านานๆ



รูปที่ 2.89 รูปตัดแสดงการฝังยึดของ เคเบิล ในสะพานแขวน

ธรรมดาลวดเคเบิลไม่ใช่โครงสร้างรองรับตัวเองได้เลย เว้นทางหนึ่งทางใดที่พอจะรับแรงธรัสต์นั้นซึ่งในช่วงกว้างแล้วจะสูงมากอาจจะถึงล้านๆ ปอนด์ทีเดียวในการออกแบบสะพานแขวนนี้ได้ใช้ลวดดึงทาบทางช่วงใหญ่กลาง ข้างหอคอยสูงไปเป็นลวดดึงขึงแขวนลอยช่วงริมไว้แล้วก็ยังยึดลวดดึงขึงไว้กับดิน ท่อนฝังยึดนี้มักจะ เป็น ค.ส.ล. เหล็กเสริมมากๆ ปรกติมักหล่อยึดไว้กับชั้นหินและด้านข้างแรงธรัสต์โดยกิริยาของน้ำหนักตัวเอง และปฏิกิริยาของหินบริเวณที่ยึดด้านนั้นแรงกดในหอคอย การอัดโค้งในโครงธรัสต์ และแรงเฉือนในแท่งฝังยึดเป็นส่วนสำคัญต่อการทรงตัว และกำลังของลวดดึงขึงในสะพานแขวน

2.4 ความหมายและลักษณะของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

คอมพิวเตอร์ช่วยสอน หมายถึง วิธีการเรียนซึ่งใช้คอมพิวเตอร์เป็นสื่อ ในการเสนอเนื้อหาด้วยบทเรียนโปรแกรมที่เตรียมไว้อย่างเหมาะสม เป็นการเรียนโดยตรงและเป็นการเรียนแบบที่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างนักเรียนกับคอมพิวเตอร์ (วีระ ไทยพานิช. 2527 : 8)

คอมพิวเตอร์ช่วยการเรียนการสอน คือการนำเอาคอมพิวเตอร์มาช่วยในการเรียนการสอนโดยที่เนื้อหารายวิชา แบบฝึกหัด การทดสอบ จะถูกพัฒนาขึ้นในรูปแบบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผู้เรียนจะเรียนจากบทเรียนคอมพิวเตอร์ โดยคอมพิวเตอร์จะสามารถเสนอเนื้อหาวิชาซึ่งอาจจะเป็น

ทั้งรูปและตัวหนังสือ และภาพกราฟฟิค สามารถถามคำถาม รับคำตอบจากผู้เรียน ตรวจคำตอบ และการแสดงผลการเรียนในรูปแบบของข้อมูลย้อนกลับให้กับผู้เรียน (ขณิษฐา ชานนท์. 2532 : 8)

คอมพิวเตอร์ช่วยสอน คือกระบวนการสอนที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการใช้คอมพิวเตอร์เป็นสื่อการเรียนแบบโต้ตอบ (Interaction Mode)เพื่อก่อให้เกิดการเรียนแบบเอกัตบุคคลสำหรับผู้เรียนแต่ละคนได้แก่ การฝึกทักษะ การสอนแบบตัวต่อตัว สถานการณ์จำลอง เกมส์ และการแก้ปัญหา

คอมพิวเตอร์ช่วยสอน คือการนำเอาคอมพิวเตอร์มาใช้เป็นสื่อหรือเครื่องมือในการเรียนการสอน (ผดุง อารยะวิญญู. 2527 : 1) โปรแกรมสำหรับการเรียนการสอน มักบรรจุเนื้อหาเกี่ยวกับที่ครูจะสอน แต่แทนที่ครูจะเป็นผู้เสนอเนื้อหาวิชาด้วยตนเอง ครูก็บรรจุเนื้อหาเหล่านั้นไว้ในโปรแกรม และนักเรียนสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง คอมพิวเตอร์ช่วยสอนจึงเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยให้นักเรียนเรียนรู้ด้วยตนเอง โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นผู้ถ่ายทอดวิชาแทนครู

จากความหมายของคอมพิวเตอร์ช่วยสอนดังกล่าว สามารถสรุปความหมายของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ได้ว่าหมายถึง การนำคอมพิวเตอร์มาใช้เป็นสื่อในการเรียนการสอน โดยสามารถใช้รูปแบบต่าง ๆ กัน เช่น โปรแกรมฝึกทักษะ โปรแกรมทบทวนบทเรียน เป็นต้นอาจใช้ประกอบการเรียนการสอนเป็นบางส่วนหรือทั้งหมดของบทเรียนผู้เรียนจะศึกษาเนื้อหาวิชาจากบทเรียนคอมพิวเตอร์

2.5 รูปแบบการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ช่วงโชติ พันธ์เวช (2535 : 11-31) คอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีหลายประเภทแต่พอจำแนกออกได้ตามลักษณะและวิธีการเสนอบทเรียนเป็น 6 ประเภทดังนี้

2.5.1 โปรแกรมแบบผู้ช่วยสอน (Tutorial) บทเรียนนี้เป็นโปรแกรมที่นิยมใช้กันมากสร้างขึ้นในลักษณะบทเรียนโปรแกรมจะมีกรอบสอนเป็นบทนำ คำอธิบาย ซึ่งประกอบด้วยตัวทฤษฎีกฎเกณฑ์เป็นการสอนสิ่งใหม่ที่ผู้เรียนไม่เคยเรียนมาก่อน โดยคอมพิวเตอร์จะเสนอเนื้อหาวิชาเป็นระบบเรียงลำดับจากง่ายไปหายาก มีกรอบคำถาม จะมีการตั้งคำถามของเนื้อหาที่เพิ่งจะเรียนจบไป เพื่อตรวจสอบความเข้าใจ มีการตรวจคำตอบ และมีการแสดงผลย้อนกลับ ถ้าผู้เรียนตอบถูก จะเสนอกรอบต่อไป แต่ถ้าตอบผิดก็จะมีการช่วยเหลือ หรือสอนซ่อมเสริมเสียก่อนส่วนประกอบของโปรแกรมประกอบด้วย

1. บทนำ
2. เสนอเนื้อหารายละเอียด
3. คำถามและคำตอบ
4. การตัดสินคำตอบ
5. ให้ข้อมูลป้อนกลับหรือแก้ไข

6. การซ่อมเสริม

7. การจบบทเรียน

โปรแกรมประเภทนี้ สามารถเสนอบทเรียนได้ 2 รูปแบบ คือ บทเรียนแบบเส้นตรง (Linear Program) และบทเรียนแบบสาขา (Branching Tutorial)

2.5.2 โปรแกรมฝึกและปฏิบัติ (Drill And Practice) เป็นโปรแกรมที่สร้างง่ายและเรียนจะตอบถูก ใช้เสริมเมื่อครูผู้สอนได้สอนเนื้อหาบทเรียนไปแล้ว โดยออกแบบไว้สำหรับการทบทวน การทำแบบฝึกหัดฝึกทักษะ โดยมุ่งพัฒนาความรู้ความเข้าใจในเรื่องใดเรื่องหนึ่งโดยเฉพาะ เช่น การสะกด การอ่าน และนิยมใช้กันมากในการฝึกทักษะทางคณิตศาสตร์ คำถามในโปรแกรมแบบนี้ควรได้ผ่านการวิเคราะห์หาค่าสถิติมาแล้ว โปรแกรมที่ดีควรมีการประเมินข้อบกพร่องของผู้เรียนว่าจำเป็นต้องฝึกหัดที่ระดับความรู้ใดและบอกสาเหตุของความบกพร่องในการตอบผิด ส่วนประกอบของโปรแกรมแบบฝึกหัดมีดังนี้

1. บทนำ
2. การเลือกคำถามหรือปัญหา
3. คำถามและคำตอบ
4. การตัดสินคำตอบ
5. ให้ข้อมูลป้อนกลับ
6. จบโปรแกรม

2.5.3 โปรแกรมการจำลองสถานการณ์ (Simulation) เป็นการจำลองสถานการณ์ให้ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงโดยมีเหตุการณ์สมมติ หรือสภาพการณ์ต่าง ๆ ซึ่งสถานการณ์จริงในบางครั้งอาจเกิดอันตรายหรือสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก เช่น การฝึกหัดขับเครื่องบิน การทดลองทางเคมี การจราจร การฝึกหัดผ่าตัดของนักศึกษาแพทย์ เป็นต้น ในปัจจุบันสามารถเรียนโดยการจำลองให้สถานการณ์เหมือนจริง ผู้เรียนได้มีโอกาสวิเคราะห์ ตัดสินใจ และโต้ตอบ มีตัวแปรหรือทางเลือกให้หลาย ๆ ทาง จุดมุ่งหมายของโปรแกรมนี้ เพื่อช่วยให้ผู้เรียนได้สร้างรูปแบบการตอบสนองที่เป็นประโยชน์กับเหตุการณ์จริง และเพื่อเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ทดสอบเหตุการณ์ต่าง ๆ อย่างปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ โปรแกรมนี้เน้นให้ผู้เรียนรู้จักการปฏิบัติจริงในกิจกรรมต่าง ๆ ที่จำลองจากสภาพจริงที่เกิดขึ้น โปรแกรมแบบจำลองสถานการณ์แบ่งเป็น 4 ประเภทดังนี้

- การจำลองสถานการณ์เชิงกายภาพ เป็นการจำลองสถานการณ์เกี่ยวกับเครื่องจักรกล เพื่อให้ผู้เรียนได้เรียนรู้วิธีการใช้ วิธีการบังคับให้เครื่องจักรกลนั้นทำงาน หรือเกี่ยวข้องกับเครื่องมือวิทยาศาสตร์ในห้องปฏิบัติการที่จะต้องใช้ในการทดลอง เช่น การฝึกหัดขับเครื่องบิน การจำลองเครื่องคิดเลขเพื่อใช้ฝึกหัดใช้เครื่องคิดเลข เป็นต้น

- จำลองสถานการณ์เชิงขั้นตอนการทำงาน เป็นการจำลองสถานการณ์เกี่ยวกับขั้นตอนการทำงานของเครื่องมือ เช่น การใช้เครื่องคิดเลข การใช้โทรศัพท์ การแยกสาร การวินิจฉัยสาเหตุที่เครื่องยนต์ขัดข้อง เป็นต้น

- การจำลองสถานการณ์เชิงเหตุการณ์ เป็นการจำลองสถานการณ์ เกี่ยวกับทัศนคติ ความคิดเห็น และพฤติกรรมของมนุษย์ในเหตุการณ์ต่าง ๆ โดยทั่วไปจะเน้นให้ผู้เรียนค้นหาผลลัพธ์ ผู้เรียนจะมีบทบาทเป็นส่วนหนึ่งในสถานการณ์นั้น ตัวอย่างโปรแกรมประเภทนี้ เช่น โปรแกรม Tenure ซึ่งให้ผู้เล่นสวมบทบาทของครูใหม่ เพื่อแก้ปัญหาด้านนักเรียน ปัญหาผู้ร่วมงาน และผู้อำนวยการ โดยโปรแกรมจะสุ่มให้ตัวละครในเรื่องมีบทบาทต่างๆ เมื่อจบโปรแกรม จะได้รับการประเมินว่าครูคนนี้จะได้รับการว่าจ้างต่อหรือไม่ อีกตัวอย่างหนึ่งคือ Odell Lake เป็นโปรแกรมที่ผู้เรียนเล่นบทบาทเป็นปลา ที่จะต้องต่อสู้เพื่อให้ชีวิตอยู่รอด เช่น หนีจากปลาใหญ่ นก การตกเบ็ด และการหาเลี้ยงตนด้วยปลาเล็ก แมลง เป็นต้น

- การจำลองสถานการณ์เชิงกระบวนการ เป็นการจำลองสถานการณ์ที่ผู้เรียนไม่ได้ร่วมมีบทบาท แต่คอยสังเกตดูกระบวนการที่เกิดขึ้น สามารถเร่งหรือลดความเร็วของสถานการณ์นั้นได้ เช่น โปรแกรมด้านเศรษฐศาสตร์ เกี่ยวกับการทำนายสิ่งที่เกิดขึ้นในอนาคต โปรแกรมการคาดคะเนจำนวนประชากรกลุ่มๆ เป็นต้น

2.5.4 โปรแกรมแบบการเกมส์การศึกษา (Instructional Games) โปรแกรมประเภทนี้จะออกแบบทั้งเพื่อให้ความรู้ และความบันเทิง ทำให้ผู้เรียนมีความสนุกสนานและเป็นสื่อกลางการเรียนรู้ในสิ่งต่างๆ เช่น ข้อเท็จจริง ทฤษฎี กระบวนการ ทักษะ ทัศนคติ นอกจากนี้ยังเกิดทักษะการแข่งขันความรู้สึกของการแพ้ – ชนะ เหตุผลที่ดีและไม่ดี การเลือกโปรแกรมเกมควรให้เหมาะสมกับระดับการเรียนรู้ของผู้เรียน และมีจุดมุ่งหมายเพื่อการศึกษาโปรแกรมแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

1. เกมผจญภัย
2. เกมคำศัพท์
3. เกมกระดาน
4. เกมไพ่
5. เกมการต่อสู้
6. เกมตรรกะ
7. เกมฝึกทักษะ
8. เกมบทบาทสมมติ
9. เกมคำถามทางโทรศัพท์

2.5.5 โปรแกรมสาธิต (Demonstration) โปรแกรมประเภทนี้มีลักษณะคล้ายกับการสาธิตของครู วัตถุประสงค์ของโปรแกรมนี้ เพื่อใช้สาธิตประกอบการบรรยายเนื้อหาหัวข้อใดหัวข้อหนึ่ง เพื่อช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจในสิ่งที่เรียนได้ดียิ่งขึ้น ส่วนใหญ่เป็นการแสดงขั้นตอนหรือวิธีการทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ เช่น การโคจรของดาวเคราะห์ในระบบสุริยจักรวาล โครงสร้างของอะตอม การหมุนเวียนของโลหิต การไหลของกระแสน้ำในมหาสมุทร การย่อยอาหาร การเขียนกราฟแสดงรายละเอียด เป็นต้น

2.5.6 โปรแกรมทดสอบ (Test Application) เป็นโปรแกรมที่ใช้ทดสอบนักเรียนโดยตอนหลังจากที่ได้เรียนเนื้อหาหรือฝึกปฏิบัติแล้ว โดยสร้างข้อสอบที่ต้องการสอบไว้ล่วงหน้าในแผ่นโปรแกรม การสอบลักษณะนี้ จะช่วยทำให้นักเรียนมีความรู้สึกอิสระจากการผูกมัดทางด้านกฎต่างๆ ที่เกี่ยวกับการสอบ คอมพิวเตอร์จะรับคำตอบและทำการบันทึกผล ประมวลผลตรวจให้คะแนนและแสดงผลการสอบให้นักเรียนทราบทันทีที่ทำการสอบเสร็จ

2.6 ลักษณะการเรียนกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ลักษณะการเรียนกับคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนักเรียนจะมานั่งหน้าเครื่องคอมพิวเตอร์และเริ่มติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้รหัสผ่าน คอมพิวเตอร์จะส่งข้อความปรากฏบนจอภาพว่านักเรียนคนนี้มีสิทธิ์จะเรียนหรือไม่ วิชาอะไร ต่อไปนักเรียนจะเลือกวิชาเรียน โดยคอมพิวเตอร์จะตรวจดูว่านักเรียนได้เรียนไปถึงไหนแล้ว จากนั้นก็จะสอนต่อไป โดยวิธีการเสนอบทเรียน ถามปัญหา เมื่อนักเรียนตอบแล้วคอมพิวเตอร์ก็จะตรวจสอบดูว่าถูกต้องหรือไม่ อย่างไร ถ้าตอบผิดคอมพิวเตอร์จะเตือน และเสนอแนวทางแก้ปัญหา จากนั้นคอมพิวเตอร์จะพิจารณาพฤติกรรมการเรียนของนักเรียนเท่าที่ผ่านมาว่าจะเสนอบทเรียนอะไรต่อไป และใช้วิธีการสอบแบบไหน นอกจากนี้คอมพิวเตอร์สามารถทดสอบและเก็บคะแนนการทดสอบของนักเรียนได้ และสามารถตรวจสอบได้ว่านักเรียนใช้เวลาเรียนหรือ ตอบคำถามนานเท่าใด แบบฝึกหัดหรือปัญหาดังกล่าวแม้จะเป็นปัญหาแบบเดียวกัน แต่คอมพิวเตอร์จะมีวิธีการเสนอคำถามต่างๆ กัน ทำให้นักเรียนไม่สามารถลอกแบบกันได้ เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่ง ครูผู้สอนก็อาจจะถามคอมพิวเตอร์เพื่อดูคะแนนของแต่ละคน และจะทราบว่านักเรียนแต่ละคน ได้พัฒนาตนเองไปในทางที่ดีขึ้นหรือไม่ นักเรียนคนไหนพัฒนาตนเองน้อยเกินไป ครูก็สามารถเรียกนักเรียนเป็นส่วนตัวมาสอบถาม ว่ามีปัญหาใดบ้างเพราะบางทีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ทำไว้ อาจจะไม่เหมาะสมกับนักเรียนต่อไป และถ้าเป็นเพราะตัวนักเรียนไม่เข้าใจครูจะได้แก้ไขได้ถูกต้อง ทำให้การเรียนของนักเรียนเป็นไปอย่างได้ผลดียิ่งขึ้น

ลักษณะของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจะเป็นไปตามรูปแบบหรือกระบวนวิธีการเรียนการสอนโดยใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งในแต่ละวิธีการสอนจะมีขั้นตอนการสอนที่แตกต่างกัน บทเรียน

คอมพิวเตอร์ช่วยสอน ก็จะต้องเป็นโปรแกรม ที่ดำเนินขั้นตอนตามรูปแบบวิธีการสอนนั้นๆ อย่างไรก็ตาม ในการสอนเรามีกิจกรรมหรือขั้นตอนใหญ่ๆ ที่ทุกวิธีการสอนมักจะดำเนินตามดังนี้ คือ

1. การสอนเนื้อหา ในกรณีที่จะสอนเนื้อหาใหม่หรืออาจจะเป็นการสรุป เนื้อหาที่เคยเรียนมาก่อน เพื่อเป็นการทบทวนบทเรียน

2. ปฏิสัมพันธ์ของนักเรียนในขั้นตอนนี้นักเรียนจะตอบคำถามที่ครูหรือคอมพิวเตอร์ถามเกี่ยวกับเนื้อหาที่เสนอไป กิจกรรมขั้นตอนนี้จะเป็นการโต้ตอบกันระหว่างนักเรียนกับคอมพิวเตอร์

3. ประเมินผลการตอบสนองของนักเรียนว่าบรรลุถึงเกณฑ์ที่ตั้งไว้อย่างไร

4. จัดกิจกรรมให้นักเรียนทำต่อไป โดยอาศัยผลจากการประเมินว่า ควรจะทำอะไรต่อไป

โดยสรุปลักษณะของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน คือ การนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการเรียนการสอน การทบทวน การทำแบบฝึกหัด หรือการวัดผล นักเรียนแต่ละคนจะได้นั่งอยู่หน้าไมโคร คอมพิวเตอร์แต่ละเครื่อง เรียกโปรแกรมสำเร็จรูปที่นัดเตรียมไว้สำหรับการสอนวิชานั้นๆ ขึ้นมาบนจอภาพ โดยจอภาพจะแสดงเรื่องราวเป็นคำอธิบาย เป็นบทเรียน หรือจะเป็นการแสดงรูปภาพซึ่งผู้เรียนจะต้องอ่านดู แต่ละคนจะใช้เวลาทำความเข้าใจไม่เท่ากัน รอจนกว่าจะพร้อม แล้วก็จะส่งคอมพิวเตอร์ว่าต้องการทำต่อคอมพิวเตอร์อาจให้ทำต่อ หรืออาจจะทดสอบความรู้ด้วยการป้อนคำถามซึ่งอาจจะเป็นทั้งแบบฝึกหัด หรือเป็นทั้งแบบทดสอบเลย ส่วนมากแบบฝึกหัดหรือแบบทดสอบจะเป็นแบบให้เลือกหรือปรนัย เมื่อทำแล้วคอมพิวเตอร์จะตรวจให้เลย มีการชมเชยและให้กำลังใจด้วยถ้าทำถูก ตำหนิหรือต่อว่าบ้าง ถ้าทำผิด หรืออาจจะสั่งให้กลับไปอ่านใหม่ เป็นต้น หลังจากนั้นจะแจ้งผลให้ทราบว่าทำถูกกี่ข้อ ทำผิดกี่ข้อ จำเป็นหรือไม่จำเป็นที่จะต้องกลับไปศึกษาบทเรียนนั้นใหม่ หรืออาจจะให้ศึกษาบทใหม่ต่อไปได้เลย

2.7 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ความรู้ หรือ ทักษะที่เกิดจากการเรียนรู้รายวิชาต่างๆ ที่กำหนดไว้ในหลักสูตร

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ชุดของข้อความที่สร้างอย่างมีระบบเพื่อใช้วัดพฤติกรรมของผู้เรียน อาจจะวัดทางด้านสมอง ทางด้านอารมณ์ และทางด้านความเคลื่อนไหวของร่างกายก็ได้ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. แบบทดสอบของครู หมายถึงชุดของข้อคำถามที่ครูเป็นผู้สร้างขึ้น ซึ่งเป็นคำถามที่ถามเกี่ยวกับความรู้ที่นักเรียนได้ในห้องเรียน เพื่อตรวจสอบว่า นักเรียนมีความรู้มากแค่ไหน บกพร่องที่ตรงไหน จะได้สอนซ่อมเสริม หรือเป็นการวัดความพร้อมที่จะเรียนบทเรียนใหม่

2. แบบทดสอบมาตรฐาน แบบทดสอบประเภทนี้ สร้างจากผู้เชี่ยวชาญแต่ละสาขาวิชาหรือจากครูผู้สอนวิชานั้น แต่ผ่านการทดลองหลายครั้งจนกระทั่งมีคุณภาพดีพอแบบทดสอบมาตรฐานจะมีคู่มือดำเนินการสอบ บอกวิธีการสอบ และมีมาตรฐานในด้านการแปลคะแนนด้วย

แบบทดสอบที่ดีต้องมีความตรง ความเป็นปรนัย ประสิทธิภาพ ความยากง่ายพอเหมาะ อำนาจจำแนก ความเที่ยง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ความตรง แบบทดสอบที่จะได้ชื่อว่ามีความตรงก็ต่อเมื่อ แบบทดสอบนั้นสามารถวัดในสิ่งที่เราต้องการวัดได้อย่างถูกต้อง ครบถ้วน ตามความมุ่งหมายที่ต้องการวัดก่อนสอนเรามักจะตั้งวัตถุประสงค์ของการสอนไว้ว่า ต้องการให้ผู้เรียนเกิดความสามารถเช่นใดบ้าง หรือมีความรู้ทางด้านใดบ้างการเขียนแบบทดสอบก็จะต้องเขียนให้ตรงตามวัตถุประสงค์นั้น

2. ความเป็นปรนัย เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สำคัญอีกประการหนึ่งของเครื่องมือการวัดผลที่ดีการสร้างคำถามในแบบทดสอบทุกข้อ คำถามต้องชัดเจนจำเพาะเจาะจงนักเรียนอ่านคำถามแล้วเข้าใจความหมายเป็นแนวเดียวกันว่าข้อสอบถามอะไร ทุกคนสามารถตรวจให้คะแนนตรงกันและแปลความหมายของคะแนนได้ตรงกัน

3. ประสิทธิภาพ หมายถึง ข้อคำถามนั้นวัดผลได้จริง และทำงานได้อย่างถูกต้องมากที่สุดโดยใช้เวลาแรงงานและเงินน้อยที่สุด

4. ความยากง่ายพอเหมาะข้อสอบที่ดีต้องไม่ยากเกินไป และไม่ง่ายเกินไป แต่ละข้อนั้นควรมีความยากง่ายเฉลี่ยแล้วจะมีนักเรียน 50 เปอร์เซ็นต์ตอบได้ถูกต้อง แต่จะมีอีกราว 50 เปอร์เซ็นต์ตอบผิดหรือไม่ได้ ข้อสอบที่ยากเกินกว่าความสามารถของนักเรียนจะตอบได้นั้น ไม่มีความหมายเพราะไม่สามารถจำแนกนักเรียนออกได้ว่า ใครเก่งหรืออ่อน ในทางตรงข้าม ถ้าข้อสอบง่ายเกินไปนักเรียนตอบถูกหมด ก็ไม่สามารถแยกนักเรียนได้ว่าใครเก่งใครอ่อน

5. ความเที่ยง หมายถึง ความสามารถของข้อสอบที่สามารถให้คะแนนได้คงที่กล่าวคือถ้านำแบบทดสอบไปวัดกับนักเรียนคนเดิม คะแนนการสอบทั้งสองครั้ง ควรได้คะแนนคงที่เหมือนเดิม

ข้อสอบแบบเลือกตอบ เป็นข้อสอบที่สามารถป้องกันการเดาได้มาก เนื่องจากมีตัวเลือกได้หลายแนวทางที่จะเลือกตอบได้ โครงสร้างของข้อสอบแบบเลือกตอบประกอบด้วยสองส่วนส่วนที่หนึ่ง เรียกว่า คำถาม ส่วนที่สองเรียกว่า ตัวเลือก ตัวเลือกประกอบด้วยตัวเลือกถูกและผิด การเขียนข้อสอบแบบเลือกตอบ มีหลักการดังต่อไปนี้

1. เขียนคำถามให้เป็นประโยคคำถามสมบูรณ์ ชัดเจน และถามให้ตรงจุด

2. คำถามหนึ่งข้อควรถามเพียงจุดประสงค์เดียว และมีตัวเลือกถูกเพียงตัวเดียว

3. ควรเป็นคำถามที่อ่านแล้ว ผู้สอบต้องใช้ความคิดในระดับสูง ไม่ใช่เป็นการถามเพียงความรู้ความจำเท่านั้น

4. คำถามไม่ควรใช้คำปฏิเสธ และไม่ให้ข้อสอบข้อหนึ่งไปแนะนำคำตอบของข้อสอบอีกข้อหนึ่ง

5. ใช้ภาษาไม่ซับซ้อน เหมาะกับวัยของนักเรียน

6. เขียนตัวเลือกให้เป็นอิสระขาดจากกัน

7. คัดคำฟุ่มเฟือยหรือซ้ำกัน ในตัวคำถามและตัวเลือกที่ไม่จำเป็นออก

8. ตัดข้อความของตัวเลือกทุกตัวเลือกให้มีความยาวพอๆ กัน และเรียงลำดับจากข้อความสั้นไปหายาว ถ้าเป็นตัวเลขก็เรียงจากน้อยไปหามาก

9. ต้องกระจายตัวถูกให้มีทุกตัวเลือก และไม่ควรใช้ตัวเลือกแบบปลายปิดปลายเปิด

การทำการวิจัยเกี่ยวกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน นักวิจัยส่วนมากสนใจผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มที่เรียนโดยใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน และไม่ใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เช่น Noel Charles Johnson ศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องการใช้บทเรียนและในวิชาสถิติเช่นเดียวกัน Song, Pil Won พบว่า ไม่พบความแตกต่างระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มที่เรียนโดยใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนและเรียนจากครู นอกจากนี้ มะลิ จุลวงษ์ ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ซ่อมเสริมรายวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่เรียนซ่อมเสริมจากคอมพิวเตอร์และเรียนจากครู ผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของทั้งสองกลุ่มแตกต่างกัน

จะเห็นว่า ผลการวิจัยมีทั้งที่ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ของกลุ่มทดสอบและกลุ่มควบคุมแตกต่างกัน และไม่แตกต่างกัน แม้แต่ในวิชาเดียวกันเช่น วิชาสถิติ ถ้าใช้โปรแกรมบทเรียนที่แตกต่างกัน กลุ่มตัวอย่างไม่ตรงกัน ผลการวิจัยก็อาจแตกต่างกันได้ ดังนั้นในการศึกษาจากการจัดการเรียนการสอนโดยใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจึงควรศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วย

2.8 การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

จากตัวอย่างระบบสื่อการสอนที่มีผู้ทำขึ้นแล้ว เราสามารถนำมาเป็นแนวทางในการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนได้ โดยพิจารณาให้สอดคล้องกับแนวพื้นฐานของระบบการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน และสอดคล้องกับการนำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไปใช้ในการเรียนการสอน ซึ่งแยกเป็นหัวข้อได้ดังนี้

ขั้นตอนการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

2.8.1 การวิเคราะห์ผู้เรียน เป็นการทำความรู้จักกลุ่มเป้าหมายที่จะนำสื่อไปใช้ ต้องศึกษาในส่วนที่เกี่ยวกับวุฒิภาวะและระดับสติปัญญา วุฒิภาวะทางกาย ภาษา ลักษณะทาง

2.8.2 การวิเคราะห์เนื้อหา เป็นการเลือกสรรเนื้อหาที่จะนำมาสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยเลือกเนื้อหาที่มีการฝึกทักษะทำซ้ำบ่อยๆ มีภาพประกอบเป็นเนื้อหาที่คิดว่าถ้าใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแล้วจะประหยัดเวลาในการสอนได้มากกว่าวิธีเดิม เป็นเนื้อหาที่สามารถจำลองอยู่ในรูปการสาธิตได้ จากนั้นนำเนื้อหาของวิชามาวิเคราะห์และจำแนกเป็นหน่วยและหัวเรื่อง เพื่อกำหนดแนวคิดที่แยกย่อยลงไปตามลำดับ กำหนด “คำหลัก” ที่จะนำไปเป็นฐานในการกำหนดสื่อ

2.8.3 การกำหนดแนวคิด เป็นการกำหนดแนวคิดที่สิ่งสอดคล้องกับหน่วยและหัวเรื่องโดยสรุปในภาพรวมของสาระและหลักการที่สำคัญของเนื้อหา

2.8.4 การกำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ เป็นการกำหนดสิ่งที่ผู้เรียนควรรู้และความสามารถของผู้เรียนเมื่อการเรียนสิ้นสุดลง จุดประสงค์การเรียนรู้นี้ต้องสอดคล้องกับหัวเรื่อง โดยกำหนดเป็นจุดประสงค์ทั่วไปก่อนแล้วเปลี่ยนเป็นจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

2.8.5 การสร้างแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน แบบทดสอบต้องใช้เกณฑ์ตามจุดประสงค์การเรียนรู้ดังนั้นจึงต้องทำหลังจากการกำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ แล้วจึงคิดกิจกรรมการเรียนการสอนที่จะให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบนี้ได้

2.8.6 การเลือกภาษาที่จะสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ภาษาที่ใช้ในการเขียนบทเรียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถทำให้ 2 วิธี

2.8.6.1 การใช้โปรแกรมภาษาคอมพิวเตอร์ (Programming Language) เป็นการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้น เช่น ภาษาเบสิก (Basic) ภาษาปาสคาล (Pascal) ภาษาซี (C) ซึ่งผู้เขียนโปรแกรมต้องมีความรู้ในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นอย่างดีในกรณีนี้อาจเป็นการร่วมมือกันระหว่างผู้สอนเนื้อหาและโปรแกรมเมอร์

2.8.6.2 การใช้โปรแกรมสำเร็จรูป หรือโปรแกรมสร้างบทเรียน (Authoring System) หรือเรียกว่าโปรแกรมการประพันธ์ (Authoring Language) ซึ่งโปรแกรมนี้ออกแบบไว้สำหรับการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนโดยเฉพาะ ดังนั้นการใช้งานจึงง่ายและสะดวกต่อครูผู้สอนที่ไม่มีทักษะทางด้านการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ตัวอย่างโปรแกรมของต่างประเทศที่ค่อนข้างจะมีมาตรฐาน เช่น Plato, Authoware, Hyper Card, Vital และ Ten Cores

2.8.7 การสร้างบทเรียนบนกระดาษ เป็นการนำเนื้อหาจากการวิเคราะห์และสิ่งที่คาดหวังจากผู้เรียนมาผสมผสานเรียงลำดับ โดยการเขียนผังงาน (Layout Content) เพื่อแสดงการเริ่มต้นและจุดจบของเนื้อหา แสดงการเชื่อมต่อและความสัมพันธ์ของการเชื่อมโยงบทเรียนแสดงปฏิสัมพันธ์ของกรอบต่างๆ ของบทเรียนและเลือกวิธีการเสนอเนื้อหาของบทเรียน ซึ่งอาจจะสร้างในลักษณะแบบเส้นทางเดียว (Linear Program) ประกอบด้วยกรอบเนื้อหาหรือกรอบคำถามเรียงต่อกันไปเรื่อยๆ ผู้เรียนต้องเรียนเนื้อหาเหมือนกันหมด หรือแบบแตกกิ่ง (Branching Program) ซึ่งผู้เรียนสามารถเลือกเรียนได้ตามระดับความรู้ ความเข้าใจและขีดความสามารถของผู้เรียน วางแนวทางในการนำเสนอในรูปของสตอรีบอร์ด (Storyboard) ออกแบบสำหรับการแสดงบนจอภาพโดยคำนึงการให้สี แสง เสียง ภาพ กราฟฟิกต่างๆ ขนาดและแบบตัวอักษรการตอบสนองการเสริมแรงต่างๆ โดยอาศัยหลักจิตรวิทยาการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับวัยของผู้เรียนจากนั้นนำหัวข้อย่อยของเนื้อหามาเขียนเป็นกรอบในกระดาษก่อน ในแต่ละหัวข้อย่อยอาจเขียนได้หลายกรอบก็ได้ แต่ละกรอบต้องมีจุดประสงค์การเรียนรู้เพียงข้อเดียว บางกรอบอาจมีคำอธิบายตัวอย่างและคำถาม แต่บางกรอบอาจไม่มีคำถามก็ได้

2.8.8 การเขียนโปรแกรมนำกรอบที่สร้างเสร็จแล้วสร้างเป็นโปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยเลือกใช้โปรแกรมภาษาคอมพิวเตอร์หรือใช้โปรแกรมสำเร็จรูป สำหรับการวิจัยครั้ง

นี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปโดยเลือกใช้โปรแกรม Macromedia Flash แล้วทดสอบการแสดงออกหน้าจอภาพ หลังจากได้มีการตรวจแก้ไขข้อผิดพลาดของโปรแกรมแล้ว นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างไปให้ครูผู้สอนเนื้อหา ตรวจความถูกต้องบนจอภาพ แก้ไขแล้วนำไปทดสอบการทำงานใหม่ หากยังมีข้อบกพร่องอีกก็ต้องปรับปรุงแก้ไขจนกว่าจะสามารถนำไปใช้งานได้

2.8.9 การประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยแบ่งการประเมินคุณภาพออกเป็น 2 ด้าน

2.8.9.1 ด้านเนื้อหา

- เนื้อหามีความสอดคล้องกับจุดประสงค์
- การแบ่งเนื้อหามีความเหมาะสม
- ความถูกต้องของเนื้อหา
- ความเหมาะสมในการจัดลำดับการนำเสนอเนื้อหา
- การใช้ภาษาที่ถูกต้อง มีความเหมะสมกับผู้เรียน และสื่อความหมายได้ชัดเจน
- โครงสร้างของเนื้อหาชัดเจน เชื่อมโยงความรู้เดิมกับความรู้ใหม่

2.8.9.2 ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

ด้านตัวอักษร

- ขนาดของตัวอักษรที่ใช้ อ่านง่ายและชัดเจน
- รูปแบบของตัวอักษรที่ใช้ สวยงาม อ่านง่าย และชัดเจน
- ความเหมาะสมของสีตัวอักษร และสีของพื้นที่ใช้
- ความเหมาะสมของการจัดวางตัวอักษรหรือข้อความในแต่ละกรอบ
- ความถูกต้องของข้อความตามหลักภาษา

ด้านภาพนิ่ง

- ขนาดของภาพที่ใช้เหมาะสม
- สีและความชัดเจนของภาพที่ใช้
- ความเหมาะสมของภาพที่ใช้ในการสื่อความหมาย
- ความสมดุลของการจัดวางภาพในแต่ละกรอบ
- ความเหมาะสมของภาพที่ใช้ประกอบเนื้อหา

ด้านภาพเคลื่อนไหว

- ขนาดของภาพที่ใช้เหมาะสม
- ความชัดเจนของภาพที่ใช้
- ความเหมาะสมของภาพที่ใช้ในการสื่อความหมาย

- ความสมดุลของการจัดวางภาพในแต่ละกรอบ
- ความเหมาะสมของจำนวนภาพที่ใช้ประกอบเนื้อหา

ด้านเสียง

- ระดับความดังของเสียงที่ใช้อธิบายเนื้อหาเหมาะสม
- ระดับความดังของดนตรีที่ใช้ประกอบเหมะสม
- ความชัดเจนของเสียงอธิบาย
- ความถูกต้องของเสียงอธิบายตามหลักภาษา

ด้านปฏิสัมพันธ์

- เปิดโอกาสให้ผู้เรียนตอบโต้กับบทเรียน
- การควบคุมบทเรียนทำได้ง่าย และสะดวก
- ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงเนื้อหาภายในหน่วยเรียน
- ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงระหว่างบทเรียนแต่ละหน่วยการเรียน
- ความเหมาะสมของการให้ข้อมูลย้อนกลับ และการเสริมแรง

รูปแบบการโต้ตอบกับบทเรียนเป็นมาตรฐานเดียวกัน

2.8.10 การผลิตคู่มือคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ซึ่งเป็นคู่มือสำหรับนักศึกษาเพื่อใช้ควบคู่กับการใช้บทเรียน โดยที่คู่มือประกอบด้วย คำนำ สารบัญ รายละเอียดของบทเรียนคอมพิวเตอร์ที่ช่วยสอนวิธีการศึกษาบทเรียน แผนผังแนวคิด วัตถุประสงค์การเรียนรู้ แบบฝึกหัดของแต่ละหน่วยย่อย

2.8.11 การหาประสิทธิ์ภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานของ Meguigans (เสาวนีย์ สิกขาบัณฑิต . 2542 : 163 – 179)

สูตรการหาประสิทธิ์ภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

$$\text{Meguigans Ratio} = \frac{M_2 - M_1}{P - M_1} + \frac{M_2 - M_1}{P}$$

Meguigans Ratio = ประสิทธิ์ภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

M_1 = ผลคะแนนเฉลี่ยจากการสอบก่อนเรียน (Pretest)

M_2 = ผลคะแนนเฉลี่ยจากการสอบหลังเรียน (Posttest)

P = คะแนนเต็มของข้อสอบ

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

กิตติพงศ์ โรจน์พงศ์พิชญ์ (2546 : 1) ได้ทำการวิจัยศึกษาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องการจัดป้องกันอุบัติเหตุในงานก่อสร้าง และเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ผลการวิจัยสรุปว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์

ช่วยสอนที่ได้สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 89.50 : 84.63 สูงกว่ามาตรฐาน 80 : 80 และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสูงกว่านักศึกษาที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

พิชญา จันทร์ลอย (2546 : 1) ได้ทำการวิจัยศึกษาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชา การออกแบบเขียนแบบภูมิสถาปัตยกรรม เรื่อง การจัดสวนแบบญี่ปุ่น กลุ่มตัวอย่างนักศึกษา จำนวน 20 คน ผลการวิจัยปรากฏว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชา การออกแบบเขียนแบบภูมิสถาปัตยกรรม เรื่อง การจัดสวนแบบญี่ปุ่น ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 86.25/85.00 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ 80/80

รุ่งโรจน์ แก้วอุไร ทำการวิจัยเรื่องการศึกษาเปรียบเทียบผลการเรียนรู้จากการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอน ที่มีการเสริมแรงแบบมีเสียงสัญญาณประกอบ กับไม่มีเสียงสัญญาณประกอบ กลุ่มตัวอย่างนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ภาคเรียนที่2 ปีการศึกษา 2531 จำนวน 40 คน โดยใช้สุ่มอย่างง่ายแบ่งเป็นกลุ่มทดลอง 2 กลุ่มๆ ละ 20 คน ให้กลุ่มที่1 เรียนจากคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่มีการเสริมแรงแบบไม่มีเสียงสัญญาณประกอบ และกลุ่มที่2 เรียนจากคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่มีการเสริมแรงแบบมีเสียงสัญญาณประกอบ

ผลการวิจัยปรากฏว่า จากการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอน ที่มีการเสริมแรงแบบมีเสียงสัญญาณประกอบ กับไม่มีเสียงสัญญาณประกอบ มีผลการเรียนรู้ทั้ง 2 ไม่แตกต่างกัน

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาค้นคว้าวิจัย เกี่ยวกับการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอน พบว่าคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีคุณค่าต่อการเรียนการสอนหลายๆ ด้านดังนี้

1. คอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพิ่มแรงจูงใจในการเรียนรู้ให้แก่ผู้เรียน เนื่องจากการเรียนด้วยคอมพิวเตอร์นั้นเป็นประสบการณ์ที่แปลกใหม่

2. ช่วยลดปัญหาในชั้นเรียนระหว่างผู้สอนกับผู้เรียน และระหว่างผู้เรียนกับผู้เรียนที่มีพื้นฐานความรู้แตกต่างกัน ทำให้ผู้สอนมีเวลาว่างพอที่จะแนะนำ และการกวดขัน การเรียนของผู้เรียน

3. การเรียนโดยคอมพิวเตอร์ช่วยสอน จะช่วยให้ผู้เรียนให้ศึกษาได้ตามความสามารถของผู้เรียนโดยลดปัญหาการเหลื่อมล้ำในกระบวนการเรียนการสอนได้ และทำให้เกิดการเรียนการสอนแบบเอกัตบุคคล

4. ช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการเรียนการสอน ลดความจำเป็นที่ต้องใช้ผู้สอนที่มีประสบการณ์ ลดความจำเป็นในการใช้เครื่องมือที่มีราคาแพงและเสี่ยงอันตรายสามารถปรับปรุงเนื้อหาของบทเรียนได้อย่างรวดเร็ว

5.การใช้สีภาพลายเส้นที่แลดูคล้ายเคลื่อนไหว ตลอดจนเสียงดนตรีจะเป็นการสร้างความเหมือนจริง และเร้าใจผู้เรียนให้เกิดความอยากรู้ ทำแบบฝึกหัดหรือกิจกรรมต่างๆ เหล่านี้ เป็นต้น

6. เป็นเครื่องมือช่วยสอนในแง่ของการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการสอนตลอดจนพัฒนาการสอน การวางแผนหลักสูตร และการประเมินผลการเรียน

7. ผู้เรียนเรียนได้ดีกว่า และรวดเร็วกว่าการสอนตามปกติผู้เรียนสามารถเรียนได้ตามเวลาที่เขาสะดวก และตามความสามารถของเขาเอง จะเรียนช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับความรู้พื้นฐาน และความสามารถของผู้เรียนเอง

8. สามารถประเมินผลความก้าวหน้าของผู้เรียนโดยอัตโนมัติ

9. เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้เรียนและทำงานกับโปรแกรมที่กว้างขวางและดีกว่าการสอนตามปกติ

10. ผู้เรียนจะเรียนเป็นขั้นตอนทีละน้อย จากง่ายไปหายาก และสามารถแอบพลิกดูคำตอบได้ก่อน จึงเป็นการบังคับผู้เรียนให้เรียนรู้จริงก่อนจึงผ่านบทเรียนไป

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้างการวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงการทดลอง (Experimental Research) ผู้วิจัยได้เรียบเรียงวิธีการดำเนินการวิจัยจึงได้กำหนดขั้นตอนของการวิจัยดังนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.3 การดำเนินการทดลอง

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.1.1 ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต แผนกวิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม ที่ผ่านการเรียนในรายวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3

3.1.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต แผนกวิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม ที่ผ่านการเรียนในรายวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3 จำนวน 20 คน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

1. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง
2. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่เรียนรู้จากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง ระหว่างเรียนแต่ละหน่วย และหลังเรียนครบทุกหน่วย
3. แบบประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง

3.2.1 ขั้นตอนการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ผู้วิจัยสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง ได้ดำเนินการสร้างบทเรียนตามขั้นตอนของ ไพโรจน์ ตรีรณธนากุล และคณะ (2542 : 4-13)ได้เสนอขั้นตอนในการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (CAI) ดำเนินได้เป็น 5 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1. ขั้นวิเคราะห์ (Analysis)
2. ขั้นออกแบบ (Design)
3. ขั้นพัฒนา (Development)
4. ขั้นสร้าง (Implementation)
5. ขั้นประเมินผล (Evaluation)

รายละเอียดของการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนทั้ง 5 ขั้นตอนหลัก ผู้วิจัยได้ดัดแปลงการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ดังนี้

1. ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analysis) มีขั้นตอน ดังนี้

1.1 กำหนดเนื้อหา เรื่อง รายวิชา ที่จะนำมาสร้างเป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยเลือกเนื้อหาเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้างเฉพาะภาคทฤษฎี ตามหลักสูตรสถาบันราชภัฏ พ.ศ.2543 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม แผนกวิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม (ตามหลักสูตรสถาบันราชภัฏ พ.ศ.2543 หมวดวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : 104-134)

2. ขั้นออกแบบ (Design) มีขั้นตอน ดังนี้

2.1 กำหนดวิธีการนำเสนอ ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้ที่กำหนดของเนื้อหาแต่ละตอน

2.2 สร้างแผนการนำเสนอบทเรียนเป็นแผนภูมิ (Course Flow Chart) และลำดับการนำเสนอบทเรียน

3. ขั้นพัฒนา (Development) มีขั้นตอน ดังนี้

3.1 นำเนื้อหามากำหนดการนำเสนอในรูปแบบ Story Board และนำเสนออาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม และผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา และแก้ไขปรับปรุงให้สมบูรณ์

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา

1. อาจารย์ภัทราวดี ไชยะมงคล	อาจารย์ประจำแผนกวิชาช่างเทคนิคสถาปัตยกรรม สาขาวิชาช่างเทคนิคสถาปัตยกรรม สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตนนทบุรี
2. อาจารย์มณฑล จันทร์แจ่มใส	อาจารย์ประจำสาขาวิชาช่างสถาปัตยกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

3. อาจารย์ฤทธิรงค์ พงษ์เจริญ อาจารย์ประจำสาขาวิชาช่างสถาปัตยกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

4. ขั้นสร้าง (Implementation) มีขั้นตอน ดังนี้

4.1 เลือก software หรือโปรแกรมสำเร็จรูปที่เหมาะสมและสามารถตอบสนองต่อความต้องการที่กำหนดไว้ เป็นตัวจัดการนำเสนอบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

4.2 จัดเตรียมรูปภาพ เสียง หรือการถ่ายวีดีโอ หรือภาพนิ่ง หรือ Caption ไว้ให้พร้อมที่จะใช้งาน

4.3 จัดเตรียมรูปภาพ เสียง หรือการถ่ายวีดีโอ หรือภาพนิ่ง หรือ Caption เข้าในโปรแกรมเพื่อสร้างบทเรียน

5. ขั้นประเมินผล (Evaluation) มีขั้นตอน ดังนี้

5.1 หาคุณ ภาพ (Quality Evaluation) จัดส่งให้อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม และผู้ทรงคุณวุฒิด้านเทคนิคการผลิตสื่อ จำนวน 3 ท่าน ประเมินคุณภาพสื่อ และนำมาแก้ไขปรับปรุงให้สมบูรณ์

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

1. อาจารย์ สุรดา ชำนาญดี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
2. อาจารย์ สำอางค์ ลำขำเงิน คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
3. อาจารย์ ประดิษฐ์ วิลัยรัตน์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

3.2.2 ขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

1. ศึกษาและวิเคราะห์จุดประสงค์และเนื้อหาเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้างวิชาเทคโน โลยีอาคาร 3 ตามหลักสูตรสถาบันราชภัฏ พ.ศ. 2543 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม แผนกวิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม

2. กำหนดจุดประสงค์ที่จะออกข้อสอบ ให้ครอบคลุมเนื้อหาตามหลักสูตรและเรื่องที่ทำวิจัย โดยพิจารณาว่าจะวัดพฤติกรรมย่อยแต่ละพฤติกรรมอย่างละกี่ข้อ

3. ทำตารางวิเคราะห์ข้อสอบ โดยยึดตามจุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อกำหนดข้อสอบของแต่ละวัตถุประสงค์ และกำหนดขั้นตอนการวัดผล

4. กำหนดรูปแบบของคำถามและศึกษาวิถีการเขียนข้อสอบ โดยเลือกสร้างแบบทดสอบเป็นแบบเลือกตอบ ชนิด 4 ตัวเลือก ถ้าตอบถูกได้ 1 คะแนน ถ้าตอบผิด ได้ 0 คะแนน

5. ตรวจทานข้อสอบ คือนำข้อสอบที่ได้เขียนไว้มาพิจารณาอีกครั้ง โดยพิจารณาความถูกต้อง สามารถวัดจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ต้องการได้หรือไม่ ภาษาที่ใช้ชัดเจนหรือไม่ ทำการแก้ไขปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

6. เสนอแบบทดสอบต่อผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม เพื่อพิจารณาปรับปรุงแก้ไข

7. นำแบบทดสอบที่สร้างเสร็จแล้วไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา จำนวน 3 ท่าน พิจารณาประเมิน ตรวจสอบว่าข้อสอบแต่ละข้อวัดตามจุดประสงค์ที่ระบุไว้หรือไม่ โดยหาค่าความสอดคล้องข้อคำถามกับจุดประสงค์การเรียนรู้ของแบบทดสอบ การพิจารณากำหนดเกณฑ์การให้คะแนนแต่ละข้อไว้ดังนี้

คะแนน +1 เมื่อแน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้

คะแนน 0 เมื่อไม่แน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้

คะแนน –1 เมื่อแน่ใจว่าข้อคำถามไม่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้

บันทึกผลการพิจารณาของผู้ทรงคุณวุฒิในแต่ละข้อแล้วนำไปหาดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ซึ่งข้อที่ใช้ได้จะต้องมีค่าตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป

สูตรการหาดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (บุญเชิด ภิญโญ อนันต์พงษ์. 2538 : 88-89)

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

เมื่อ IOC แทน ดัชนีความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้

$\sum R$ แทน ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิทั้งหมด

N แทน จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิ

8. นำแบบทดสอบที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปทดสอบกับ นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม แผนกวิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม สถาบันราชภัฏพระนคร ที่เคยเรียนวิชานี้มาก่อน จำนวน 30 คน

9. นำผลการทดสอบทำการวิเคราะห์เพื่อหาความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และค่าความเชื่อมั่นโดยใช้วิธีหาค่า KR-20 ตามสูตรที่กำหนดไว้

โดยใช้สูตรในการหาความยากง่ายของแบบทดสอบ ดังนี้ (บุญชม ศรีสะอาด. 2535 : 81)

$$P = \frac{R}{N}$$

เมื่อ P = ค่าความยากง่ายของคำถามแต่ละข้อ

R = จำนวนผู้ตอบถูกในแต่ละข้อ

N = จำนวนผู้เข้าสอบทั้งหมด

สูตรสัดส่วนความแตกต่างระหว่างกลุ่มสูง-กลุ่มต่ำ เป็นการหาค่าอำนาจจำแนกรายข้อ ดังนี้ (เอกวิทย์ แก้วประดิษฐ์. 2537 : 112)

$$r = \frac{R_u - R_e}{N/2}$$

เมื่อ r = ค่าอำนาจจำแนกเป็นรายข้อ

R_u = จำนวนผู้ที่ตอบถูกในข้อนั้นในกลุ่มเก่ง

R_e = จำนวนผู้ที่ตอบถูกในข้อนั้นในกลุ่มอ่อน

N = จำนวนผู้เข้าสอบทั้งหมด

สูตรหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ ใช้สูตร KR – 20 ของ Kuder- Richardson Formula 20 (รวีวรรณ ชินะตระกูล. 2542 : 145)

$$r_{tt} = \frac{K}{K-1}\left(1 - \frac{\sum pq}{S^2}\right)$$

เมื่อ r_{tt} = ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ

K = จำนวนแบบทดสอบทั้งหมด

p = สัดส่วนของผู้ตอบถูกในข้อหนึ่งๆ (R/N)

เมื่อ R แทนจำนวนผู้ตอบถูกในข้อนั้น ๆ

N แทนจำนวนผู้สอบ

q = สัดส่วนของผู้ตอบผิดในข้อหนึ่งๆ เท่ากับ (1 – p)

S^2 = ความแปรปรวนของข้อสอบทั้งสองฉบับ

สูตรหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ ใช้สูตร KR – 20 ของ Kuder- Richardson Formula 20 (รวีวรรณ ชินะตระกูล. 2542 : 145)

จากการทดสอบสามารถวิเคราะห์หาความสอดคล้อง ความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และค่าความเชื่อมั่นได้ดังนี้คือค่าความสอดคล้องระหว่าง 0.66 – 1.00 ค่าความยากง่าย 0.45 – 0.80 ค่าอำนาจจำแนก 0.40 – 0.80 และค่าความเชื่อมั่น 0.85

10. นำแบบทดสอบไปใส่ในบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

3.2.3 แบบประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

1. กำหนดหัวข้อและสร้างแบบประเมินบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยผู้วิจัยได้แบ่งออกเป็นสองด้านคือ ด้านเนื้อหา และด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

โดยลักษณะของแบบประเมิน เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า เป็น 5 ระดับ และมีเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้

ระดับความคิดเห็น 5 ระดับ

ระดับ 5 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอยู่ในระดับ ดีมาก

ระดับ 4 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอยู่ในระดับ ดี

ระดับ 3 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอยู่ในระดับ ปานกลาง

ระดับ 2 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอยู่ในระดับ พอใช้

ระดับ 1 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอยู่ในระดับ ควรปรับปรุง

เกณฑ์การประเมินคุณภาพ

4.50 – 5.00 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอยู่ในระดับ ดีมาก

3.50 – 4.49 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอยู่ในระดับ ดี

2.50 – 3.49 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอยู่ในระดับ ปานกลาง

1.50 – 2.49 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอยู่ในระดับ พอใช้

1.00 – 1.49 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอยู่ในระดับ ควรปรับปรุง

ในการประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนั้น จะต้องได้ผลในระดับดีขึ้นไป จึงจะถือว่าผ่านเกณฑ์ การประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ

2. นำแบบประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนให้อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ตรวจสอบและนำไปปรับปรุงตามคำแนะนำ

3. หาความเที่ยงตรงของแบบประเมินบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนโดยนำแบบประเมินให้ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาตรวจสอบความถูกต้องและให้ข้อเสนอแนะ

4. ผู้วิจัยรับมาปรับปรุงแก้ไขเพื่อนำไปใช้จริงต่อไป

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ติดต่อขอรับหนังสือขออนุญาตเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัย และขอเชิญผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือวิจัย จากภาควิชาครุศาสตร์สถาปัตยกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2. การเก็บรวบรวมเพื่อหาคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง ที่สร้างขึ้นไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิ ด้านเนื้อหาและด้านเทคนิคการผลิตสื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสม และทำการประเมินตามรายการแบบประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่แจกให้ นำคะแนนที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าทางสถิติและปรับปรุงแก้ไข

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่

1. หาคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง ที่ได้จากการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา และด้านเทคนิคการผลิตสื่อ และวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เรียนและผู้สอน โดยใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Diviation) (รวีวรรณ ชินะตระกูล. 2542 : 163 – 179)

1.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Mean)

$$\overline{X} = \frac{\sum X}{n}$$

เมื่อ X = คะแนนแต่ละค่าในชุดข้อมูล

$\overline{X}$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากแบบประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิ

$\sum X$ = ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

n = จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิ

1.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Diviation)

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

เมื่อ $S.D.$ = ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X = ค่าคะแนนแต่ละค่าในชุดข้อมูล

$\overline{X}$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากผู้ทรงคุณวุฒิ

n = จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิ

2. หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง ที่ได้จากการทำแบบทดสอบก่อนเรียน และแบบทดสอบหลังเรียนของกลุ่มตัวอย่าง

2.1 นำข้อมูลที่ได้จากการทำแบบทดสอบก่อนเรียน และแบบทดสอบหลังเรียนของกลุ่มตัวอย่างมาหาค่าคะแนนเฉลี่ย (ชูศรี วงศ์รัตนะ . 2534 : 40)

2.2 นำข้อมูลที่ได้มาทำการหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ตามเกณฑ์มาตรฐานของ Meguigans (เสาวนีย์ สิกขาบัณฑิต . 2542 : 163 – 179) เป็นการตัดสินโดยใช้สูตร

$$\text{Meguigans Ratio} = \frac{M_2 - M_1}{P - M_1} + \frac{M_2 - M_1}{P}$$

Meguigans Ratio = ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

M_1 = ผลคะแนนเฉลี่ยจากการสอบก่อนเรียน (Pretest)

M_2 = ผลคะแนนเฉลี่ยจากการสอบหลังเรียน (Posttest)

P = คะแนนเต็มของข้อสอบ

ค่าที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 1 ถือว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่พัฒนาขึ้นชิ้นนี้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐานของ Meguigans

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัย เพื่อเป็นการพัฒนาคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อทบทวนวิชาเรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง หลักสูตรสถาบันราชภัฏ พ.ศ. 2543 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม เทคนิคสถาปัตยกรรม โดยนำเนื้อหาทั้งหมดมาสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้วยโปรแกรม Macromedia Flash Professional ไปทดลองกับนักศึกษานักศึกษาในระดับปริญญาตรี แผนกวิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่ผ่านการเรียนในรายวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3 เรื่องโครงสร้างคุมพื้นที่ช่วงกว้าง เพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง โดยการวิเคราะห์ด้วยหลักการทางสถิติ และเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับดังนี้

4.1 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านเนื้อหา

4.2 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

4.3 ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

4.1 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านเนื้อหา

การประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง ทำการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่านซึ่งผลการประเมินมีรายละเอียดดังในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย		
	$\bar{x}$	S.D.	ความหมาย
1. เนื้อหาและการดำเนินเรื่อง	4.33	0.57	ดี
2. รูปภาพ และภาษา	4.33	0.57	ดี
3. เวลาเรียน	4.33	0.57	ดี
4. ระดับของการเรียน	4.33	0.57	ดี
ค่าเฉลี่ย	4.33	0.57	ดี

จากตารางที่ 4.1 ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหามีความคิดเห็น โดยแบ่งตามหัวข้อและมีความคิดเห็นอยู่ในระดับดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ4.33 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.57

4.2 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

การประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง ทำการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่านซึ่งผลการประเมินมีรายละเอียดดังในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความคิดเห็นของผู้ทรงวุฒิด้านการผลิตสื่อ

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย		
	$\bar{x}$	S.D.	ความหมาย
1. เร้าความสนใจ	4	1.07	ดี
2. บอกวัตถุประสงค์	4.33	0.57	ดี
3. ทบทวนความรู้เดิม	4.33	0.57	ดี
4. การนำเสนอเนื้อหาใหม่	4.33	0.57	ดี
5. การชี้แนวทางในการเรียนรู้	3.66	1.00	ดี
6. กระตุ้นการตอบสนอง	3.66	1.00	ดี
7. ให้ข้อมูลย้อนกลับ	5.00	0.81	ดี
8. มีการทดสอบความรู้	4.66	0.70	ดีมาก
9. การจำแนกและการนำไปใช้	4.66	0.70	ดีมาก
ค่าเฉลี่ย	4.26	0.76	ดี

จากตารางที่ 4.2 ผู้ทรงวุฒิด้านการผลิตสื่อมีความคิดเห็น โดยแบ่งตามหัวข้อและมีความคิดเห็นอยู่ในระดับดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ4.26 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ0.76

4.3 ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวนวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3 เรื่องโครงสร้างคุมพื้นที่ช่วงกว้าง ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์โดยการพิจารณาจากผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ซึ่งต้องผ่านเกณฑ์ ค่าที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 1 ถือได้ว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่พัฒนาชิ้นนี้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน Meguigans

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการหาค่าประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาเทคโนโลยี อาคาร 3 เรื่องโครงสร้างคุมพื้นที่ช่วงกว้าง

M1 (Pretest)	M2 (Posttest)	P	Meguigans
39.85	67.6	80	1.038

จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่าผลการทดสอบก่อนเรียน คะแนนเต็ม 80 คะแนน ได้คะแนนเฉลี่ยคะแนนคิดเป็นร้อยละ 39.85 (M1) และแบบทดสอบหลังเรียน คะแนนเต็มทั้งหมด 80 คะแนน ได้คะแนนเฉลี่ย 67.6 คะแนน นำไปแทนค่าตามสูตร Meguigans จะได้ค่าเท่ากับ 1.038 ซึ่งค่าที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 1 ถือได้ว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่พัฒนาชิ้นนี้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ Meguigans สอดคล้องกับสมมุติฐานที่ตั้งไว้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปราย และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัย (Research) โดยมุ่งศึกษาเทคโนโลยีการศึกษา เพื่อการสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในรายวิชาประวัติศาสตร์สถาปัตยกรรม 2 สำหรับนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

5.2 สมมติฐานการวิจัย

5.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

5.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

5.5 วิธีการดำเนินการวิจัย

5.6 สรุปผลการวิจัย

5.7 อภิปรายผล

5.8 ข้อเสนอแนะ

5.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

5.1.1 เพื่อพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในรายวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3 เรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง

5.1.2 เพื่อประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง

5.1.3 เพื่อหาประสิทธิ์ภาพของบทเรียนช่วยสอน เรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง

5.2 สมมติฐานการวิจัย

5.2.1 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง โครงสร้างคุมพื้นที่ช่วงกว้าง อยู่ในระดับดีขึ้นไป

5.2.2 ประสิทธิ์ภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง โครงสร้างคุมพื้นที่ช่วงกว้าง เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของ Meguigans

5.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

5.3.1. ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏ หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต แผนกวิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม ที่ผ่านการเรียนในรายวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3

5.3.2. กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต แผนกวิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม ที่ผ่านการเรียนในรายวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3 จำนวน 20 คน

5.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชารายวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3 เรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง และประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.4.1 แบบประเมินสื่อการสอนด้านเนื้อหา ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหามีความคิดเห็น โดยแบ่งตามหัวข้อและมีความคิดเห็นอยู่ในระดับดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.57

5.4.2 แบบประเมินสื่อการสอนด้านการผลิตสื่อ ผู้ทรงวุฒิด้านการผลิตสื่อมีความคิดเห็นโดยแบ่งตามหัวข้อและมีความคิดเห็นอยู่ในระดับดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.26 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.76

5.4.3 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3 มีค่าดัชนีดังต่อไปนี้ ค่าความสอดคล้องระหว่าง 0.66 – 1.00 ค่าความยากง่าย 0.45 – 0.80 ค่าอำนาจจำแนก 0.40 – 0.80 และค่าความเชื่อมั่น 0.85

5.4.4 ผลการหาค่าประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาเทคโนโลยีอาคาร 3 เรื่องโครงสร้างคุมพื้นที่ช่วงกว้าง ผลการทดสอบก่อนเรียน คะแนนเต็ม 80 คะแนน ได้คะแนนเฉลี่ยคะแนนคิดเป็นร้อยละ 39.85 (M1) และแบบทดสอบหลังเรียน คะแนนเต็มทั้งหมด 80 คะแนน ได้คะแนนเฉลี่ย 67.6 คะแนน นำไปแทนค่าตามสูตร Meguigans จะได้ค่าเท่ากับ 1.038 ซึ่งค่าที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 1 ถือได้ว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่พัฒนาขึ้นนี้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ Meguigans สอดคล้องกับสมมุติฐานที่ตั้งไว้

5.5 วิธีการดำเนินการวิจัย

5.5.1 ติดต่อขอรับหนังสือขออนุญาตเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัย และขอเชิญผู้ทรง คุณวุฒิ ตรวจเครื่องมือวิจัย จากภาควิชาครุศาสตร์สถาปัตยกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

5.5.2 การเก็บรวบรวมเพื่อหาคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง ที่สร้างขึ้นไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิ ด้านเนื้อหาและด้านเทคนิคการผลิตสื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสม และทำการประเมินตามรายการแบบประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่แจกให้ นำคะแนนที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าทางสถิติและปรับปรุงแก้ไข

5.5.3 ดำเนินการทดลองแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

5.5.3.1 การทดลองเพื่อปรับปรุงบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน กับนักศึกษาที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างจำนวน 12 คน (อ่อน ปานกลาง เก่ง) เพื่อศึกษาข้อบกพร่องและนำไปปรับปรุงแก้ไข

5.5.3.2 การดำเนินการทดลองหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 20 คน เพื่อหาประสิทธิภาพ

5.5.4 นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

5.6 สรุปผลการวิจัย

ผลการหาคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน รายวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3 เรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.6.1 คุณภาพด้านเนื้อหา ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหามีความคิดเห็น โดยแบ่งตามหัวข้อและมีความคิดเห็นอยู่ในระดับดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.57

5.6.2 คุณภาพด้านเทคนิคการผลิตสื่อ ผู้ทรงวุฒิด้านการผลิตสื่อมีความคิดเห็น โดยแบ่งตามหัวข้อและมีความคิดเห็นอยู่ในระดับดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ4.26 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ0.76

5.6.3 ค่าประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาเทคโนโลยีอาคาร 3 เรื่อง โครงสร้างคุมพื้นที่ช่วงกว้าง ผลการทดสอบก่อนเรียน คะแนนเต็ม 80 คะแนน ได้คะแนนเฉลี่ย คะแนนคิดเป็นร้อยละ 39.85 (M1) และแบบทดสอบหลังเรียน คะแนนเต็มทั้งหมด 80 คะแนน ได้คะแนนเฉลี่ย 67.6 คะแนน นำไปแทนค่าตามสูตร Meguigans จะได้ค่าเท่ากับ 1.038 ซึ่งค่าที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 1 ถือได้ว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่พัฒนาขึ้นนี้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ Meguigans สอดคล้องกับสมมุติฐานที่ตั้งไว้

5.7 อภิปรายผล

5.7.1 ผลการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาเทคโนโลยีอาคาร 3 เรื่องโครงสร้างคุมพื้นที่ช่วงกว้าง ผลการประเมินด้านสื่อและด้านเนื้อหา ที่ได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาอยู่ในระดับ 4.33 จัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี และด้านเทคนิคการผลิตสื่อ ได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิด้านเทคนิคการผลิตสื่ออยู่ในระดับ 4.26 จัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ทั้งนี้เนื่องจากผู้วิจัยพัฒนาให้นักศึกษาได้เรียนรู้และบรรลุวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ตั้งไว้ มีการกำหนดวัตถุประสงค์ของการเรียนไว้อย่างชัดเจน ความถูกต้องและเหมาะสมของการใช้ภาษา อีกทั้งสื่อยังสามารถใช้ข้อมูลย้อมกลับแก่ผู้เรียนได้ทันที ทำให้ผู้เรียนไม่รู้สึกเบื่อหน่ายในบทเรียน ดังนั้นจึงส่งผลให้ผู้เรียนเกิดการฝึกฝนและทบทวนให้เกิดความเข้าใจมากยิ่งขึ้น

5.7.2 ผลการหาประสิทธิภาพของสื่อโดยใช้เกณฑ์ของ Meguigans กับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 20 คน พบว่าผลการเรียนรู้ของนักศึกษา จากการทำแบบฝึกหัดก่อนเรียนและแบบทดสอบหลังเรียนจะได้ค่าเท่ากับ 1.038 ซึ่งค่าที่คำนวณไว้มีค่ามากกว่า 1 ถือได้ว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่พัฒนาชิ้นนี้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ของ Meguigans ทั้งนี้เนื่องการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีกระบวนการและขั้นตอนที่เชื่อถือได้ มีการวางแผนอย่างเป็นระบบและได้พิจารณาเนื้อหาอย่างเหมาะสม อีกทั้งยังได้ผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านเนื้อหาและทางด้านเทคนิคการผลิตสื่อและได้ผ่านการทดลองใช้มาแล้วถึง 2 ครั้ง ก่อนนำไปทดลองทำการเรียนการสอน ดังนั้นจึงทำให้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ของ Meguigans

เมื่อพิจารณาโดยละเอียดพบว่า การทำแบบทดสอบก่อนเรียนโดยที่นักศึกษาอาศัยผลการศึกษาของการเรียนที่ผ่านมาจะได้ผลลัพธ์น้อยกว่าการที่นักศึกษาได้เรียนในแต่ละหน่วยในบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ทำให้เกิดความคิดรวบยอดที่ดีขึ้น นอกจากนี้แล้ว บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสามารถให้นักศึกษาเรียนซ้ำแล้วซ้ำอีกได้ตามต้องการ และสามารถย้อนกลับไปเรียนในเนื้อหาเดิมหรือทำความเข้าใจกับเนื้อหานั้น ๆ ได้นานเท่าที่ต้องการ โดยไม่มีแรงกดดันจากลุ่มเพื่อนและผู้สอนมาเกี่ยวข้องประกอบกัน การรู้ผลคะแนนของการทำแบบทดสอบก่อนเรียน ทำให้นักศึกษาสามารถแก้ไขทราบข้อบกพร่องได้ทันทีเนื่องจากภายในข้อสอบมีคำตอบเฉลย ผลตอบของตนเองจะเป็นแรงหนุนให้ผู้เรียนสนใจที่จะตอบคำถามใหม่ต่อไปเรื่อย ๆ

ดังนั้นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาเทคโนโลยีอาคาร 3 เรื่องโครงสร้างคุมพื้นที่ช่วงกว้าง ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเป็นบทเรียนที่มีคุณภาพ และสามารถนำไปใช้กับผู้เรียนเนื้อหานี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.8 ข้อเสนอแนะ

5.8.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1. การนำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาเทคโนโลยีอาคาร 3 เรื่องโครงสร้างคุมพื้นที่ช่วงกว้าง ไปใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์มีขีดความสามารถต่ำกว่า อาจมีผลต่อการแสดงผล คือ จะทำให้การแสดงผลช้า

2. การนำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไปใช้ ไม่ควรมีขีดจำกัดเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ เพื่อตอบสนองความแตกต่างระหว่างบุคคล

3. ควรเปิดโอกาสให้นักศึกษา ให้เรียนบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนตามลำพัง เพื่อให้นักศึกษาเกิดสมาธิในการเรียน

5.8.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. การกำหนดเรื่องที่จะนำมาสร้างเป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ควรเป็นเรื่องที่น่าสนใจ และสามารถที่จะนำมาเสนอในรูปแบบคอมพิวเตอร์ช่วยสอนได้อย่างเหมาะสม

2. ต้องศึกษาเนื้อหาที่จะนำมาสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนให้เกิดความเข้าใจ เพื่อให้เกิดแนวความคิดในการนำเสนอรูปแบบที่น่าสนใจในบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้น

3. การทำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนควรใช้วิธีอื่น ๆ เพื่อให้มีการพัฒนาอย่างหลากหลาย

บรรณานุกรม

การุณ จันทรางสุข. 2542. **โครงสร้างช่วงกว้าง.** กรุงเทพฯ : ม.ป.พ.

กินดานันท์ มลิทอง. 2531. **เทคโนโลยีการศึกษาร่วมสมัย.** กรุงเทพฯ : ภาควิชาโสตทัศนศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ขนิษฐา ชานนท์. 2531. "เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์กับการเรียนการสอน." **เทคโนโลยีการศึกษา.** ฉบับปฐมฤกษ์ : 7-13.

ช่วงโชติ พันธ์เวช. 2535. **คอมพิวเตอร์เพื่อการเรียน.** กรุงเทพฯ

ชัยยงค์ พรหมวงศ์. 2521. **ระบบสื่อการสอน.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ไชยยศ เรืองสุวรรณ. 2526. **เทคโนโลยีการศึกษาหลักการ และแนวปฏิบัติ.** กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช.

ถนอมพร เลาหจรัสแสง. 2541. **คอมพิวเตอร์ช่วยสอน.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ดวงกมล โพรดักชั่น

นงนุช วรรธนวหะ. 2535. **คอมพิวเตอร์ช่วยในการเรียนการสอน.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัย รามคำแหง

บุญชม ศรีสะอาด. 2535. **การวิจัยเบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่5 . กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น.

ประเสริฐ ผลดี. 2527. **การออกแบบโครงสร้าง.** กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์.

ผดุง อารยะวิญญู. 2527. **ไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อการศึกษา.** กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น

ยืน ภู่วรวรรณ. 2531. "การใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ในการเรียนการสอน" **ไมโครคอมพิวเตอร์.** 36(กุมภาพันธ์) : 120-129.

รวีวรรณ ชินะตระกูล. 2535. **วิจัยการศึกษา.** กรุงเทพฯ : ภาพพิมพ์.

วสันต์ อติศัพท์. 2530. "คอมพิวเตอร์ช่วยสอน" **วารสารศึกษาศาสตร์.**1(18) : 17-27

วาสนา ชาวหา. 2533. **สื่อการเรียนการสอน.** กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

วิสิทธิ์ อุตศยพงศา. 2544. **ระบบโครงสร้าง.** กรุงเทพฯ : ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วีระ ไทยพานิช. 2527. "บทบาทและปัญหาการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอน." รวมบทความเทคโนโลยีการศึกษา.ศูนย์เทคโนโลยีทางการศึกษา กรมการศึกษานอกโรงเรียน.

ศิโรตม์ ชมบุญ. 2543. **"บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง พระราชบัญญัติควบคุมอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่พิเศษ"** วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สำนักงานมาตรฐานการศึกษา สำนักงานสภาสถาบันราชภัฏ. 2543. **รหัสและคำอธิบายรายวิชา หลักสูตรสถาบันราชภัฏ พ.ศ. 2543** : สำนักงานสภาสถาบันราชภัฏ.

อรพันธุ์ ประสิทธรัตน์. 2530. **คอมพิวเตอร์เพื่อการเรียนการสอน.** กรุงเทพฯ : คราฟแมนเพรส.

อำนวย พานิชกุล. 2517. **การวิเคราะห์โครงสร้าง.** พระนคร : แผนกวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อำนวย พัฒนางกูล. 2508. **โครงสร้างสำนึก.** พระนคร : ศิลปสถาบัน.

อำนวย พัฒนางกูล. 2508. **โครงสร้างใคร.** พระนคร : ศิลปสถาบัน.

อำนวย พัฒนางกูล. 2508. **โครงสร้างประยุกต์.** พระนคร : แพร่พิทยา.

Alessi, Stephen M.a, Stephennd llip. 1985. **Computer-Based Instruction :** Methods And Development. Englewoo Cliff, New Jersey : Prentice – Hall Inc.

Gagne' Robert Mills. 1985. **The Condition of learning and Theory of Instruction.** New York : Rinehert and Winston.

Kuder, G.F. and M.W. Richardson. 1937. "The Calculation of Test Reliability Coefficients Based upon the Method of Rational Eguivalenee," **Journal of Educational Psychology**.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
หนังสือราชการ

ที่ ศธ 0524.04/ 0888

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

๗ มีนาคม 2550

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านการผลิตสื่อเพื่อการวิจัย

เรียน อาจารย์ประดิษฐ์ วิลัยรัตน์

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านการผลิตสื่อเพื่อการวิจัย

ด้วย นายจารุวัส ศรีภูธร นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง" โดยมี รศ.สุรศักดิ์ กังขาว เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร.เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์นี้ว่ามีความถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของนายจารุวัส ศรีภูธร มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์รวีวรรณ ชินะตระกูล)
คณบดีคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02- 326-4325

ที่ ศธ 0524.04 0883

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

มีนาคม 2550

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านการผลิตสื่อเพื่อการวิจัย

เรียน อาจารย์สำอางค์ ลำขำเงิน

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านการผลิตสื่อเพื่อการวิจัย

ด้วย นายจารุวัส ศรีภูธร นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง" โดยมี รศ.สุรศักดิ์ กังขาว เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร.เลิศลักษณ์ กลินหอม เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์นี้ว่ามีความถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของนายจารุวัส ศรีภูธร มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์รวีวรรณ ชินะตระกูล)
คณบดีคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02- 326-4325

ที่ ศธ 0524.04/ 0888

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

7 มีนาคม 2550

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านเนื้อหาเพื่อการวิจัย

เรียน อาจารย์ฤทธิรงค์ พงษ์เจริญ

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านเนื้อหาเพื่อการวิจัย

ด้วย นายจารุวัส ศรีภูธร นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง" โดยมี รศ.สุรศักดิ์ กังขาว เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร.เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์นี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของนายจารุวัส ศรีภูธร มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์รวีวรรณ ชินะตระกูล)
คณบดีคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02- 326-4325

ที่ ศธ 0524.04 0888 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

มีนาคม 2550

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านเนื้อหาเพื่อการวิจัย

เรียน อาจารย์มณฑล จันทร์แจ่มใส

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านเนื้อหาเพื่อการวิจัย

ด้วย นายจารุวัส ศรีภูธร นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง" โดยมี รศ.สุรศักดิ์ กังขาว เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร.เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์นี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของนายจารุวัส ศรีภูธร มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์รวีวรรณ ชินะตระกูล)
คณบดีคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร 02-326-4325

ที่ ศธ 0524.04 0888

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

มีนาคม 2550

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านเนื้อหาเพื่อการวิจัย

เรียน อาจารย์ภัทราวดี ไชยะมงคล

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านเนื้อหาเพื่อการวิจัย

ด้วย นายจารุวัส ศรีภูธร นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง" โดยมี รศ.สุรศักดิ์ กังขาว เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร.เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์นี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของนายจารุวัส ศรีภูธร มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์รวีวรรณ ชินะตระกูล)
คณบดีคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02-326-4325

ที่ ศธ 0524.04/ 0888

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

7 มีนาคม 2550

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านการผลิตสื่อเพื่อการวิจัย

เรียน อาจารย์สุรดา ชำนาญดี

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านการผลิตสื่อเพื่อการวิจัย

ด้วย นายจารุวัส ศรีภูธร นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง" โดยมี รศ.สุรศักดิ์ กังขาว เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร.เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์นี้ว่ามีความถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของนายจารุวัส ศรีภูธร มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์รวีวรรณ ชินะตระกูล)
คณบดีคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02- 326-4325

ที่ ศธ 0524.04/ 0888

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

7 มีนาคม 2550

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านการผลิตสื่อเพื่อการวิจัย

เรียน อาจารย์สุรดา ชำนาญดี

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านการผลิตสื่อเพื่อการวิจัย

ด้วย นายจารุวัส ศรีภูธร นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง" โดยมี รศ.สุรศักดิ์ กังขาว เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร.เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์นี้ว่ามีความถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของนายจารุวัส ศรีภูธร มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์รวีวรรณ ชินะตระกูล)
คณบดีคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02- 326-4325

ภาคผนวก ข

ผู้ทรงคุณวุฒิและแบบประเมินสื่อ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิด้านการผลิตสื่อ

อาจารย์ สุรดา ชำนาญดี
คณะครุศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

อาจารย์ สำอางค์ ลำขำเงิน
คณะครุศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

อาจารย์ ประดิษฐ์ วิลัยรัตน์
คณะครุศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา

อาจารย์ภัทราวดี ไชยะมงคล
อาจารย์ประจำแผนกวิชาช่างเทคนิคสถาปัตยกรรม
สาขาวิชาช่างเทคนิคสถาปัตยกรรม
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตนนทบุรี

อาจารย์มณฑล จันทร์แจ่มใส
อาจารย์ประจำสาขาวิชาช่างสถาปัตยกรรม
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

อาจารย์ฤทธิรงค์ พงษ์เจริญ
อาจารย์ประจำสาขาวิชาช่างสถาปัตยกรรม
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

การประเมินสื่อการเรียนด้านการผลิตสื่อ

ประเภทสื่อ คอมพิวเตอร์ช่วยสอน

เรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง

คำชี้แจง : บทเรียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ที่ท่านกำลังประเมินอยู่นี้ มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ใดโปรดทำเครื่องหมาย / ลงในช่องประเมินผลตามความคิดเห็นของท่าน การประเมินแบ่งออกเป็น5 เกณฑ์การให้คะแนน คือ

5 หมายถึงดีมาก

4 หมายถึง ดี

3 หมายถึงปานกลาง

2 หมายถึงพอใช้

1 หมายถึงปรับปรุง

ลำดับที่	รายการประเมิน(สื่อ)	ระดับความสอดคล้อง					
		5	4	3	2	1	หมายเหตุ
1	เร้าความสนใจ						
	- บทเรียนมีลักษณะจูงใจ น่าสนใจในการเรียน.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- การวางรูปแบบของหน้าจอ.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- การออกแบบข้อความให้สวยงามและเร้าใจ.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ความเหมาะสมของกราฟิก.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ความเหมาะสมของเสียงและจังหวะ.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ระยะเวลาในการนำเสนอ.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2	บอกวัตถุประสงค์						
	- ลักษณะตรงตามเนื้อหารายวิชา.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ข้อความถูกต้องตามเนื้อหาและหลักเกณฑ์.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ภาษาที่ใช้กะทัดรัดเข้าใจง่าย.....	...	...	...	.....	.....	.....

ลำดับที่	รายการประเมิน(สื่อ)	ระดับความสอดคล้อง					
		5	4	3	2	1	หมายเหตุ
3	ทบทวนความรู้เดิม						
	- มีลักษณะสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของบทเรียน.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- เปิดโอกาสให้ผู้เรียนศึกษาได้.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
4	การนำเสนอเนื้อหาใหม่						
	- ความถูกต้องของเนื้อหาและหลักเกณฑ์.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของบทเรียน.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ความยาวของเนื้อหาและทบเรียนเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ควบคุมทิศทางและความช้าเร็วในการเรียน.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ความเหมาะสมในการนำเข้าสู่เนื้อหา.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ความเหมาะสมในรูปแบบและวิธีการนำเสนอ.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- เทคนิคการนำเสนอทำให้เห็นความต่อเนื่องของเนื้อหา...	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ใช้ภาษาที่สั้น กระชับ ถูกต้อง และเหมาะสมกับระดับผู้เรียน.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ความเหมาะสมในการใช้ภาพ เสียง และหรือกราฟิกประกอบ.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ความเหมาะสมกับภาพในด้านการสื่อความหมาย.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ความสอดคล้องระหว่างปริมาณภาพกับปริมาณของเนื้อหา.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ความเหมาะสมของสี ขนาด และรูปร่างตัวอักษร.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- คุณภาพของภาพ กราฟิก เสียง และภาพเคลื่อนไหวประกอบบทเรียน.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
5	การชี้แนวทางในการเรียนรู้						
	- บอกวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้ก่อนเข้บทเรียน.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- เครื่องหมายหรือสัญลักษณ์ในการชี้แนวทาง.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

ลำดับที่	รายการประเมิน(สื่อ)	ระดับความสอดคล้อง					
		5	4	3	2	1	หมายเหตุ
6	กระตุ้นการตอบสนอง - เปิดโอกาสให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในบทเรียนตลอดการเรียน - ความหลากหลายและความเหมาะสมของรูปแบบของการมีปฏิสัมพันธ์..... - กระตุ้นการตอบสนองความต้องการของผู้เรียน.....	....	....	....	....	....	....
7	ให้ข้อมูลย้อนกลับ - ความเหมาะสมและความถูกต้องตามหลักการให้ผลย้อนกลับ.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
8	มีการทดสอบความรู้ - มีการประเมินแบบฝึกหัดเป็นระยะ ๆ เพื่อประเมินความเข้าใจของผู้เรียนพร้อมทั้งให้คำชี้แนะที่เหมาะสม..... - มีจำนวนคำถามครอบคลุมเนื้อหาและวัตถุประสงค์..... - เปิดโอกาสให้ผู้เรียนทดสอบก่อนหรือหลังเรียนเพื่อวัดระดับความรู้..... - มีเทคนิคการออกข้อสอบหรือแบบทดสอบที่ถูกต้องตามหลักการวัดและประเมินผล..... - ผู้เรียนสามารถทราบระดับความสามารถของตนอง.....	....	....	....	....	....	....
8	การจำแนกและการนำไปใช้ - ลักษณะแหล่งข้อมูลที่มีประโยชน์..... - การสรุปประเด็นที่ชัดเจนและกะทัดรัด.....	....	....	....	....	....	....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

( )

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

แบบประเมินสื่อการเรียนด้านเนื้อหา

ประเภทสื่อ คอมพิวเตอร์ช่วยสอน

เรื่อง โครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง

คำชี้แจง : บทเรียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ที่ท่านกำลังประเมินอยู่นี้ มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ใด โปรดทำเครื่องหมาย / ลงในช่องประเมินผลตามความคิดเห็นของท่านการประเมินแบ่งออกเป็น5 เกณฑ์การให้คะแนน คือ

5 หมายถึงดีมาก

4 หมายถึง ดี

3 หมายถึงปานกลาง

2 หมายถึงพอใช้

1 หมายถึงปรับปรุง

ลำดับที่	รายการประเมิน(เนื้อหา)	ระดับความสอดคล้อง					
		5	4	3	2	1	หมายเหตุ
1	เนื้อหาและการดำเนินเรื่อง						
	- เนื้อหามีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ความเหมาะสมนำเข้าสู่เนื้อหา.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ความถูกต้องของเนื้อหา.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ความถูกต้องในลำดับเนื้อหาตามขั้นตอน.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ความสอดคล้องของเนื้อหาแต่ละตอน.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ความชัดเจนในการอธิบายเนื้อหา.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2	รูปภาพ และภาษา						
	- ความถูกต้องของรูปภาพตามเนื้อหา.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ความถูกต้องของภาษาที่ใช้.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ความสอดคล้องระหว่างรูปภาพกับคำบรรยาย.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

ลำดับที่	รายการประเมิน(เนื้อหา)	ระดับความสอดคล้อง					
		5	4	3	2	1	หมายเหตุ
3	เวลาเรียน						
	- ความเหมาะสมเวลาเรียนกับเนื้อหาในภาพ.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ความเหมาะสมเวลาเรียนกับเนื้อหาบรรยาย.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ความเหมาะสมของเวลาเรียนทั้งเรื่อง.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
4	ระดับของการเรียน						
	- ความเหมาะสมของเนื้อหาในแต่ละระดับการเรียน.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ความเหมาะสมของเวลาเรียนในแต่ละระดับการเรียน.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ความเหมาะสมในการจัดระดับการเรียน.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	- ความเหมาะสมในการกำหนดเกณฑ์ในการเปลี่ยนระดับการเรียน.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

1. ความคิดเห็น ด้านเนื้อหา.....
2. ความคิดเห็น ด้านอื่น ๆ.....

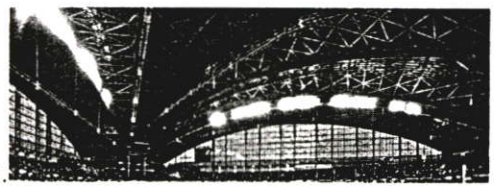
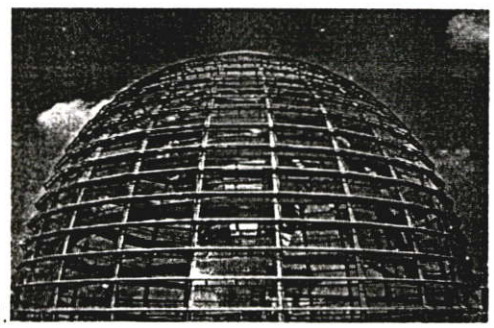
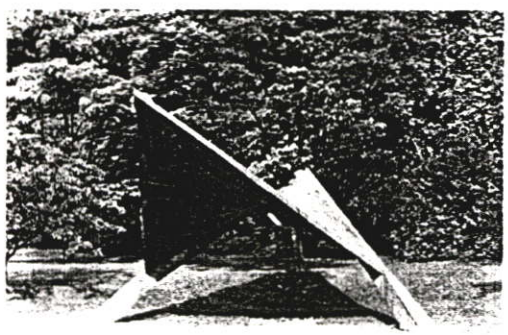
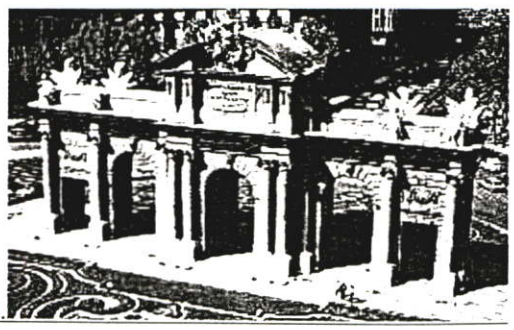
ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

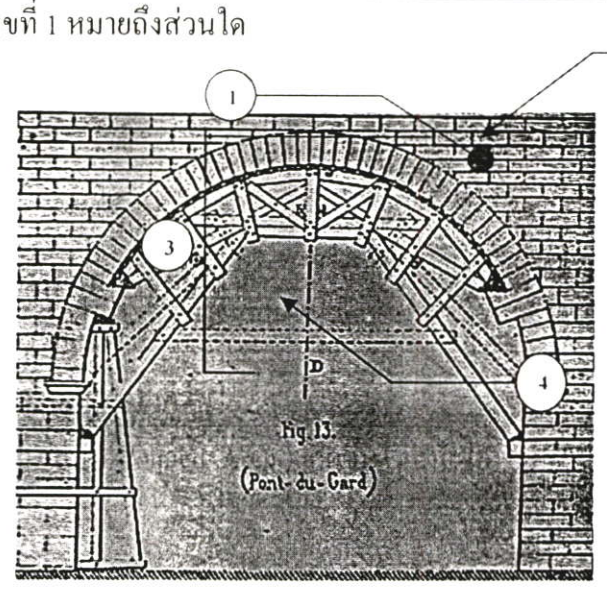
( )

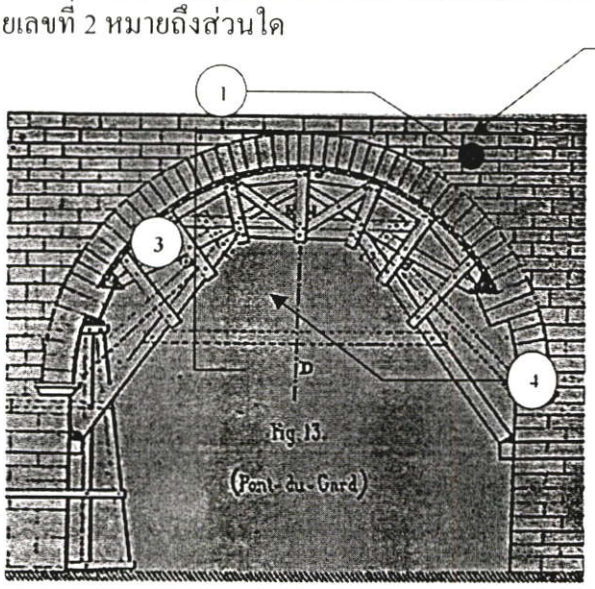
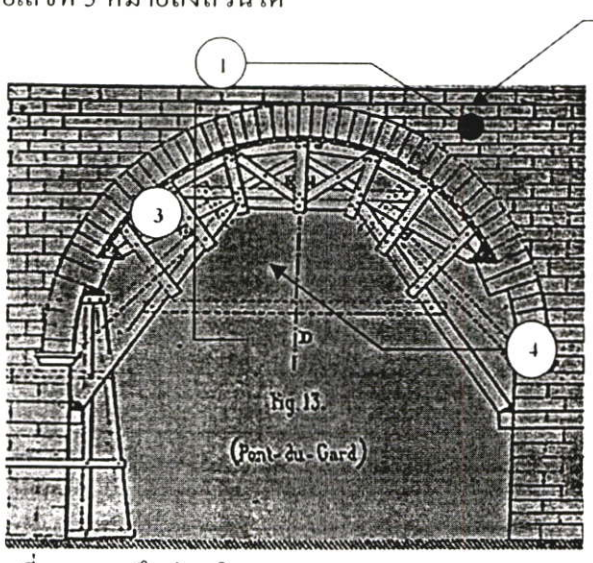
...../...../.....

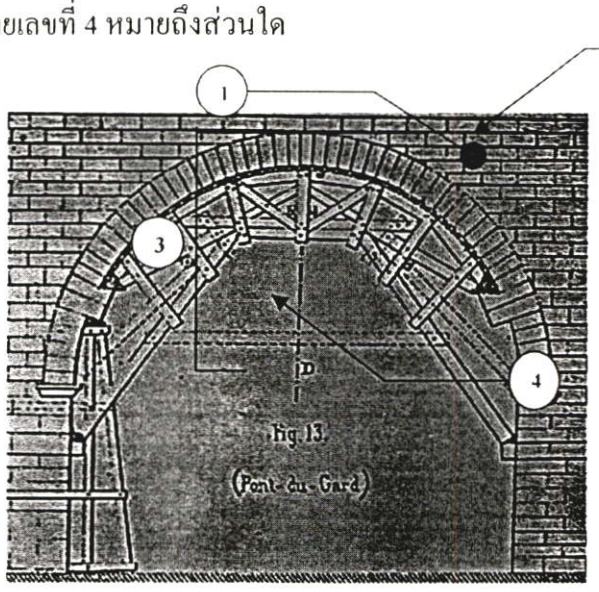
ภาคผนวก ค

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

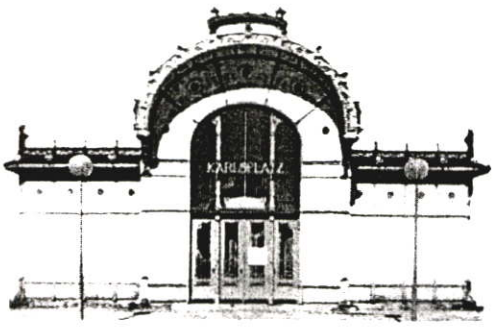
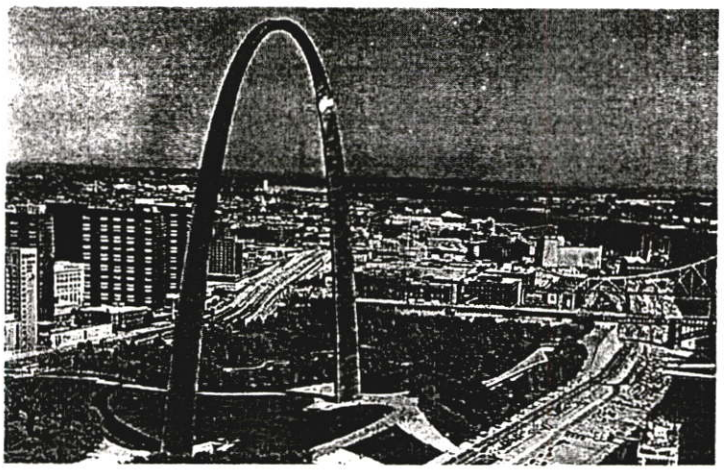
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
1. ข้อใดคือความหมายของระบบโค้ง (Arches) ที่ถูกต้องที่สุด ก. โค้งในงานสถาปัตยกรรมใช้เหนือช่องว่างแทนคานทับหลัง ข. โค้งโครงสร้างที่ใช้แทนคานคอดิน ค. โครงสร้างที่ขึ้นรูปในลักษณะครึ่งวงกลม ง. โค้งในงานสถาปัตยกรรมใช้แทนผนัง	1	0.7	0.2	0.21
2. ภาพในข้อใดเป็นโครงสร้างระบบโค้ง (Arches) ก.  ข.  ค.  ง. 	0.66	0.65	0.3	0.23

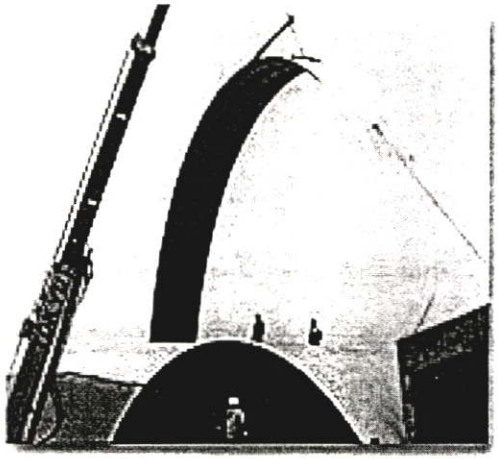
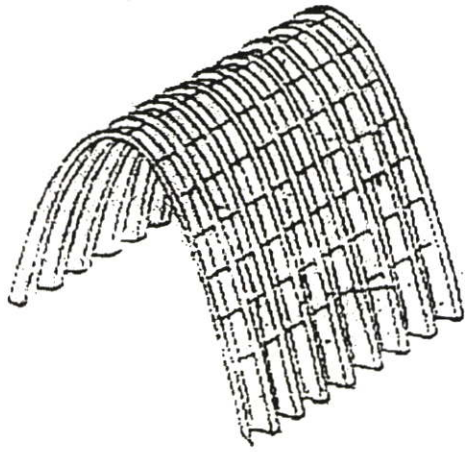
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
3. ระบบโค้ง (Arches) มีรูปโฉมที่เด่นชัดในงานสถาปัตยกรรมใด ก. สถาปัตยกรรมแบบอีทัสคัน ข. สถาปัตยกรรมแบบคลาสสิก <u>ค. สถาปัตยกรรมแบบโกธิค</u> ง. สถาปัตยกรรมแบบโมเดิร์น	1	0.7	0.4	0.21
4. ระบบโค้งแหลม (Pointed Arch) เกิดขึ้นในสมัยใด ก. เปอร์เซีย ข. อีทัสคัน <u>ค. โกธิค</u> ง. โมเดิร์น	1	0.55	0.3	0.25
5. หมายเลขที่ 1 หมายถึงส่วนใด  ก. Key Stone <u>ข. Crown</u> ค. Spandrel ง. Soffit	1	0.7	0.4	0.21

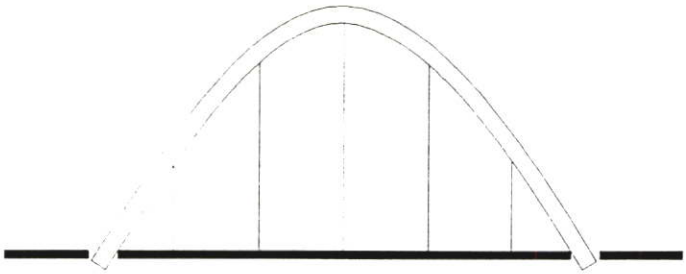
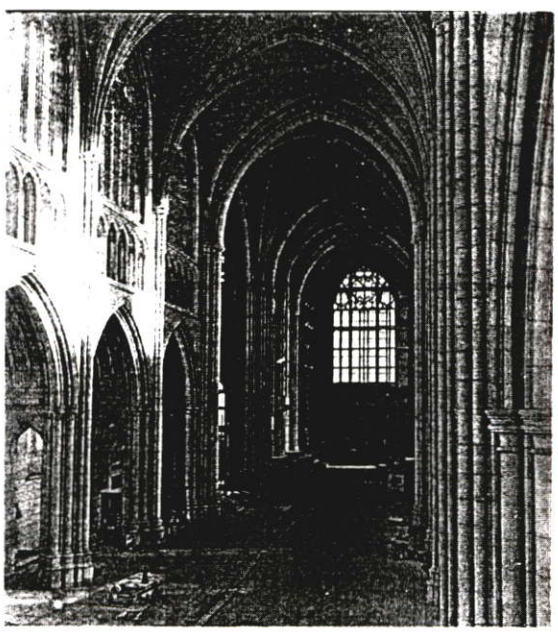
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
6. หมายเลขที่ 2 หมายถึงส่วนใด 				
ก. Key Stone				
ข. Crown				
ค. Spandrel				
ง. Soffi	1	0.8	0.2	0.16
7. หมายเลขที่ 3 หมายถึงส่วนใด 				
หมายเลขที่ 3 หมายถึงส่วนใด				
ก. Key Stone				
ข. Crown				
ค. Spandrel				
ง. Soffit	1	0.3	0.4	0.25

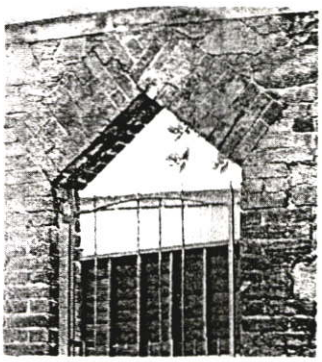
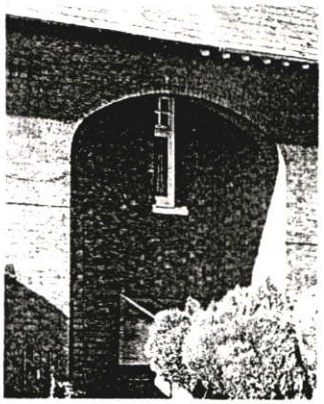
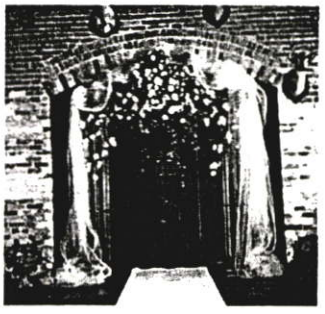
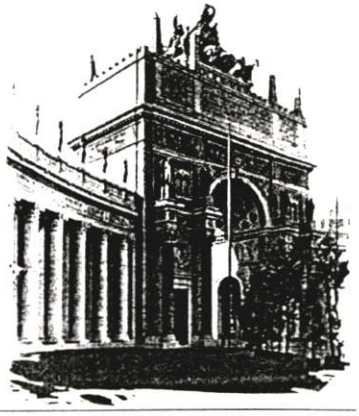
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
8. หมายเลขที่ 4 หมายถึงส่วนใด 				
ก. Key Stone				
ข. Crown				
ค. Spandrel				
<u>ง. Soffit</u>	1	0.5	0.3	0.24
9. เทคนิคการเรียงโค้งในข้อใดเป็นใช้กับการเรียงโค้งแบบบาง				
<u>ก. การเรียงแบบเหลื่อม</u>				
ข. การเรียงตามแนวตั้ง				
ค. การเรียงตามแนวขวาง				
ง. การเรียงแบบซ้อนกัน	1	0.4	0.3	0.24
10. เทคนิคการเรียงโค้งในข้อใดเป็นใช้กับการเรียงโค้งแบบบาง				
<u>ก. การเรียงแบบเหลื่อม</u>				
ข. การเรียงตามแนวตั้ง				
ค. การเรียงตามแนวขวาง				
ง. การเรียงแบบซ้อนกัน	0.66	0.7	0.3	0.17

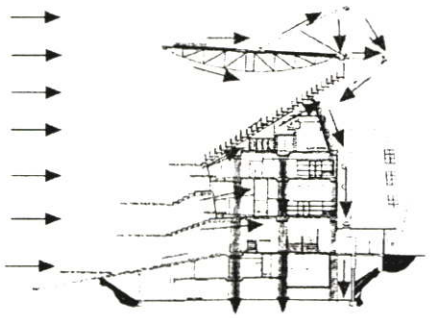
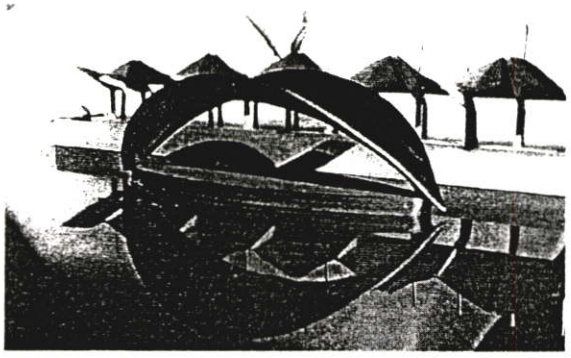
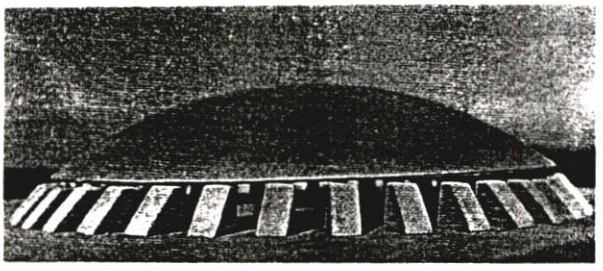
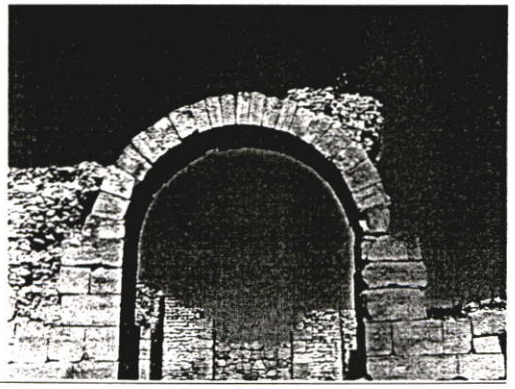
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
11. ส่วนใดของระบบโค้งที่รับน้ำหนักมากที่สุด ก. หมายเลขที่1 ข. หมายเลขที่ 2 ค. หมายเลขที่ 3 ง. หมายเลขที่ 4	1	0.55	0.4	0.25
12. โครงสร้าง Arch เป็นโครงสร้างที่รับแรงชนิดใด ก. แรงอัด ข. แรงดึง ค. แรงอัดและแรงดึง ง. แรงดัด	0.66	0.7	0.3	0.17
13. จากรูป คือ โครงสร้าง Arch แบบใด ก. Segmental Arch ข. Tree Centered Arch ค. Semi Circular Arch ง. Horse Shoe Arch	1	0.65	0.5	0.16

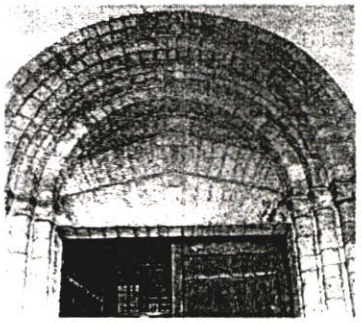
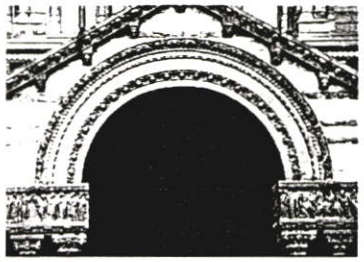
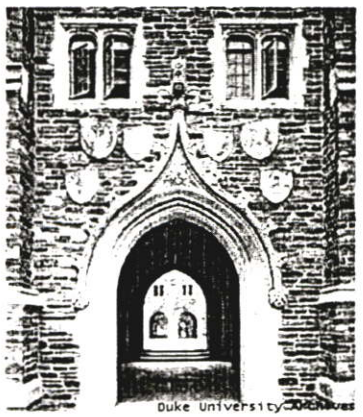
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
14. โครงสร้าง Arch ในภาพใช้ระบบโครงสร้างใด  ก. The Three Hinged ข. The Two Hinged ค. The One Hinged ง. The Fixed Arches	1	0.5	0.4	0.15
15. โครงสร้าง Arch ในภาพใช้ระบบโครงสร้างใด  ก. The Three Hinged ข. The Two Hinged ค. The One Hinged ง. The Fixed Arches	1	0.35	0.5	0.25

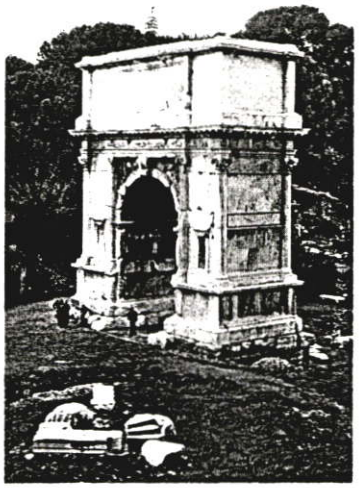
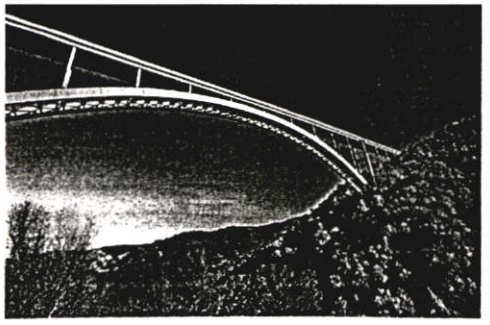
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
16. โครงสร้าง Arch ในภาพใช้โครงสร้างชนิดใด  ก. แบบโครงยึดตึง ข. แบบพับจีบ <u>ค. แบบโครงหลังคาโค้ง</u> ง.แบบโค้งสี่เหลี่ยมไขว้กัน	1	0.4	0.4	0.24
17. โครงสร้าง Arch ในภาพใช้โครงสร้างชนิดใด  ก. แบบโครงยึดตึง <u>ข. แบบพับจีบ</u> ค. แบบโครงหลังคาโค้ง ง.แบบโค้งสี่เหลี่ยมไขว้กัน	0.66	0.4	0.5	0.24

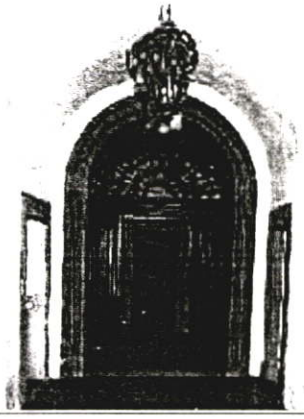
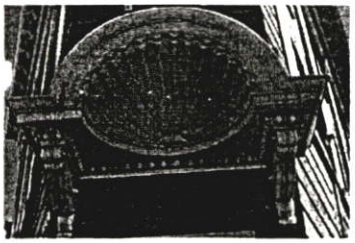
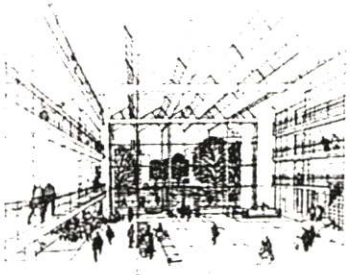
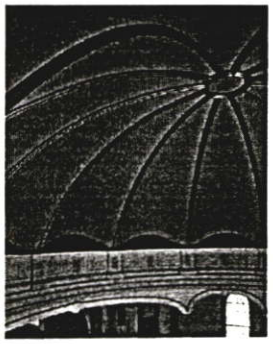
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
18. โครงสร้าง Arch ในภาพใช้โครงสร้างชนิดใด  ก. แบบโครงยึดตึง ข. แบบโค้งตามรัศมี ค. แบบโครงหลังคาโค้ง ง.แบบ Lamella	1	0.4	0.3	0.24
19. โครงสร้าง Arch ในภาพใช้โครงสร้างชนิดใด  ก. แบบโครงยึดตึง ข. แบบโค้งตามรัศมี ค. แบบโครงหลังคาโค้ง ง.แบบ Lamella	.066	0.6	0.3	0.61

แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
20. ภาพใดต่อไปนี้เป็นการเรียงวัสดุของระบบโค้งโครงสร้าง ก.  ข.  ค.  ง. 	1	0.3	0.3	0.23

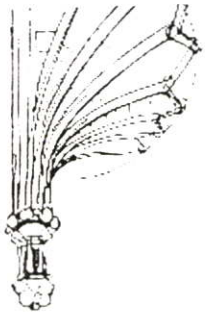
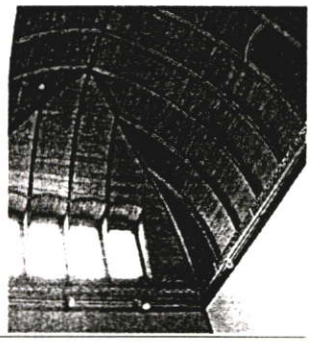
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
21. ภาพใดต่อไปนี้เป็นระบบโค้งโครงสร้าง ก.  ข.  ค.  ง. 	1	0.5	0.4	0.25

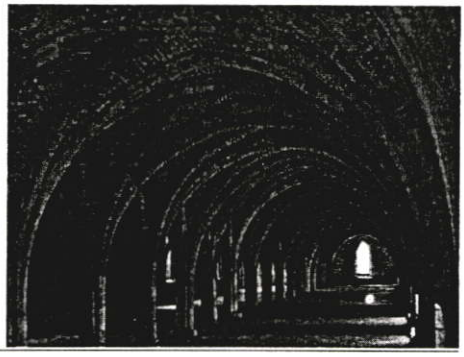
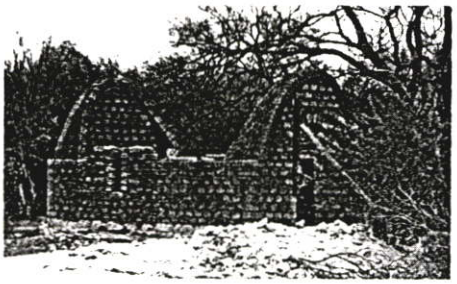
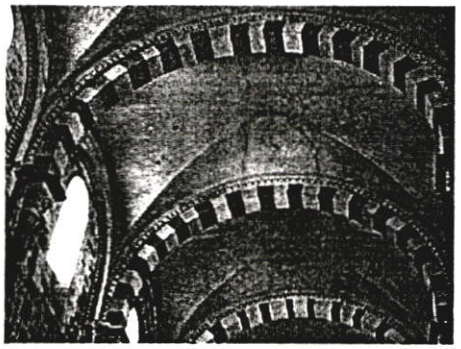
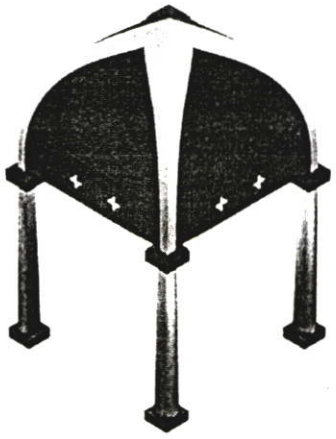
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
22. ภาพใดต่อไปนี้เป็นการเรียงวัสดุของระบบโค้งประดับหรือตกแต่ง ก. ข.  ค.  ง. 	1	0.45	0.4	0.24

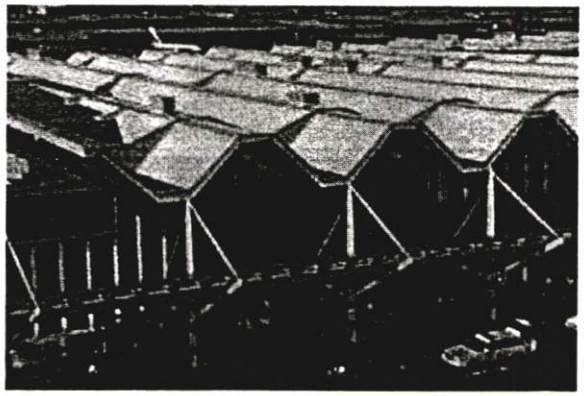
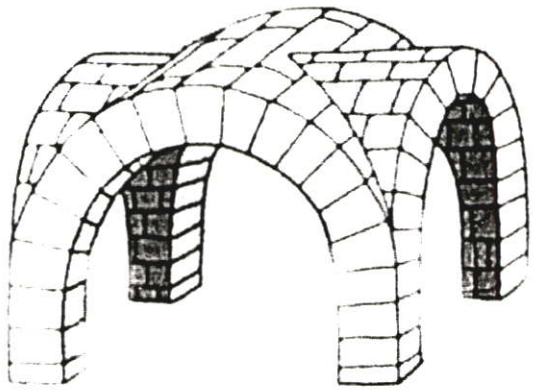
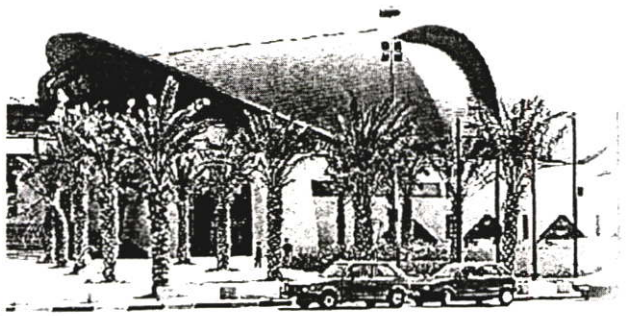
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
23. ภาพใดต่อไปนี้เป็นระบบโค้งประดับหรือตกแต่ง ก.  ข. ค. ง. 	1	0.7	0.2	0.19

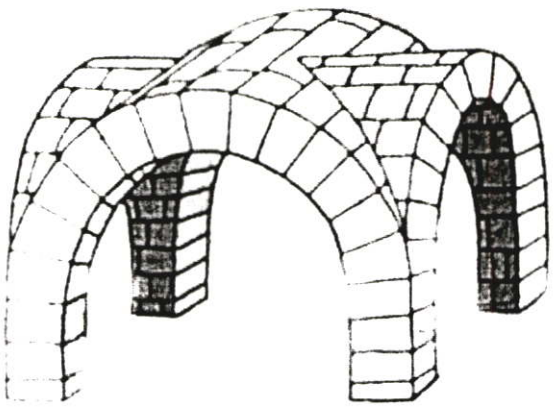
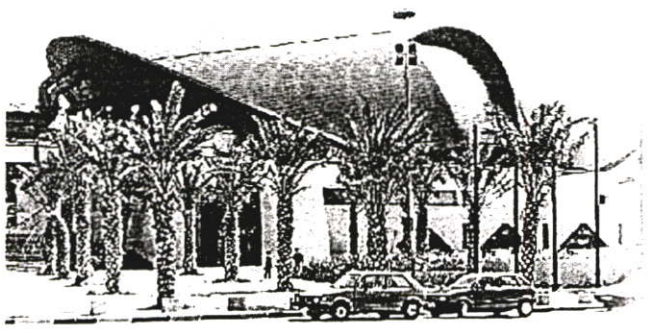
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
24. ข้อใดคือคำจำกัดความของโครงสร้างโวลท์ (Vault) ก. หลังคาโค้งในงานสถาปัตยกรรม ข. โวลท์มีวิวัฒนาการมาจากโค้ง Arch ค. ลักษณะเป็นโค้ง Arch หลายๆอันมาประกอบติดกัน ง. การนำเอาโค้ง Arch มาเรียงไขว้กัน	1	0.4	0.3	0.14
25. ภาพใดต่อไปนี้คือโครงสร้างโวลท์ ก.  ข.  ค.  ง. 	1	0.4	0.3	0.16

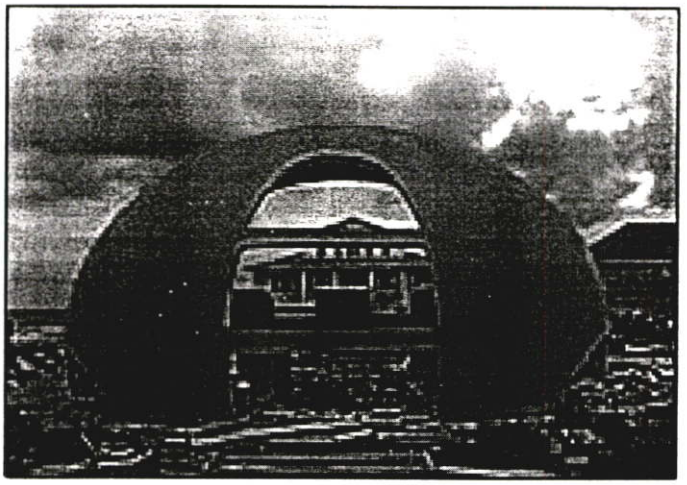
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
26. โครงสร้าง Vault เกิดขึ้นในยุคใด ก. กรีก <u>ข. เปอร์เซีย</u> ค. โรมัน ง. อียิปต์	1	0.35	0.3	0.16
27. ส่วนประกอบใดของโครงสร้าง Vault ที่ได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในสถาปัตยกรรมแบบโกธิก ก. รูปแบบของโครงสร้างโวลท์ ข. ลักษณะการใช้งานโครงสร้างโวลท์ <u>ค. โครงซอยของโครงสร้างโวลท์</u> ง. วัสดุคลุมโครงสร้างโวลท์	1	0.5	05	0.25
28. หินรูปแบบใดในโครงสร้างโวลท์ที่เรียกว่า Key Stone ก. รูปสี่เหลี่ยม <u>ข. รูปจอบ</u> ค. รูปลิ่ม ง. รูปวงรี	1	0.7	0.3	0.17
29. วิธีการลดปัญหาน้ำหนักของหินที่ทำเป็นวัสดุมุงหลังคาของโครงสร้างโวลท์คือ ก. นำหินมาติดเป็นขนาดต่าง ๆ กันและนำมาวางเรียงเป็นสามเหลี่ยม ข. นำหินมาตัดเป็นขนาดต่าง ๆ กันและนำมาวางต่อกัน ค. นำหินมาตัดเป็นขนาดต่าง ๆ กันและนำมาวางเรียงซ้อนกัน <u>ง. นำหินมาตัดเป็นขนาดต่างๆกัน และนำมาวางเรียงเป็นวงโค้ง</u>	1	0.3	0.5	0.23
30. วัสดุที่ใช้เป็นตัวเชื่อมของวัสดุมุงหลังคาคือ <u>ก. ปูนสอ</u> ข. ดินเหนียว ค. ยางไม้ ง. มูลสัตว์	1	0.6	0.4	0.26

แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
31. สาเหตุที่ทำให้หินเป็นวัสดุมุงหลังคาที่มีความนิยมมากกกว่าไม้ในโครงสร้างโวลท์คือ ก. น้ำหนักของวัสดุ ข. วิธีการก่อสร้าง ค. ความคงทนถาวร ง. ความสวยงาม	1	0.35	0.3	0.25
32. ภาพใดต่อไปนี้ภาพของโครงสร้างโวลท์ประทุน (Wagon Vault/Barrel Vault) ก.  ข. ค.  ง.	1	0.35	0.5	0.25

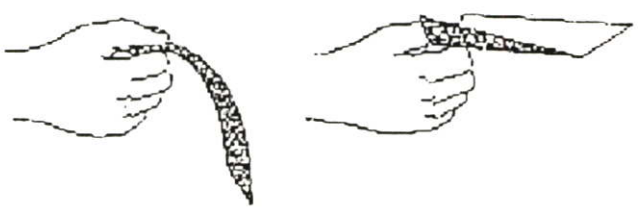
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
33. ภาพใดต่อไปนี้เป็นภาพของโครงสร้างโวลท์ตัด (Intersecting Vault/Cross Vault) ก.  ข.  ค.  ง. 	1	0.5	01.3	0.25

แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
34. ระบบโครงสร้าง Thin – Shell ในภาพใดเหมาะกับประเทศไทยมากที่สุด ก.  ข.  ค. ง. 	1	0.35	0.3	0.25

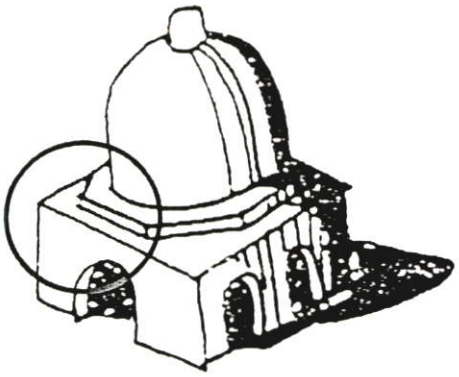
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
35. ภาพใดคือระบบโครงสร้าง Thin – Shell แบบหลังคาเปลือกแข็งชนิดแบบปริซึม ก. ข.  ค. ง. 	1	0.4	0.2	0.24

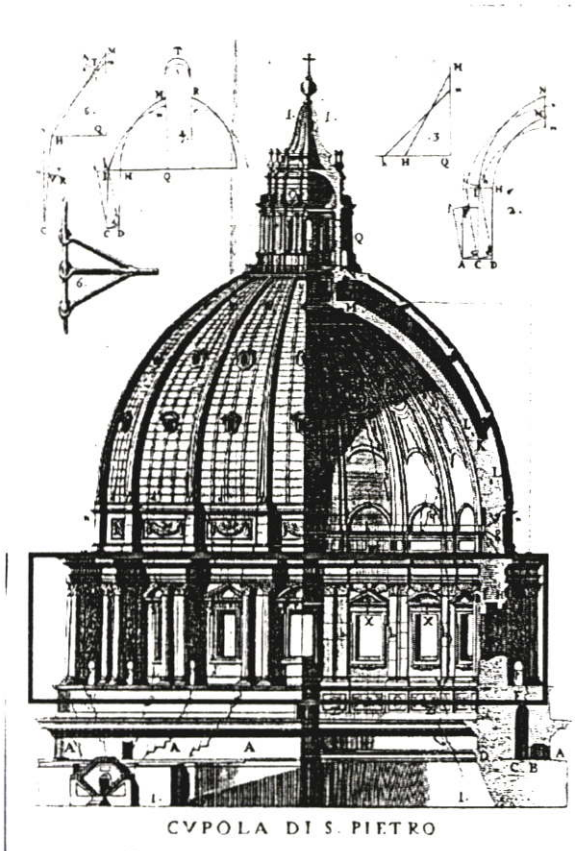
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
36. ภาพต่อไปนี้เป็นระบบโครงสร้าง Thin – Shell แบบใด  ก. หลังคาเปลือกบางชนิดโค้งสองทาง ข. หลังคาเปลือกบางชนิดหมุนรอบแกน ค. หลังคาเปลือกแข็งชนิดแบบปริซึม <u>ง. หลังคาเปลือกแข็งบางชนิดไม่มีรูปร่างทางเรขาคณิต</u>	1	0.5	0.3	0.25

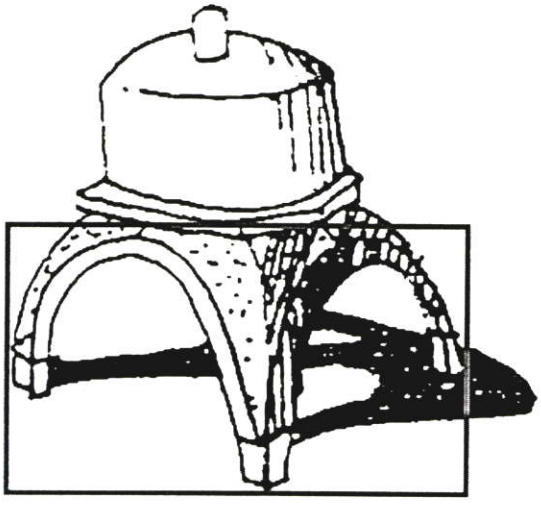
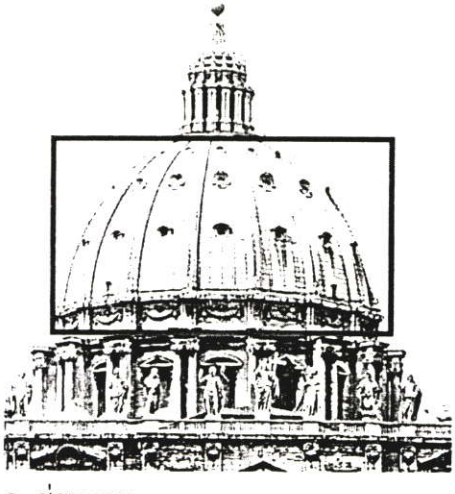
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
37. ระบบโครงสร้าง Thin – Shell จะต้องมีความหนาของวัสดุมุงไม่เกินเท่าใด ก. 100 มิลลิเมตร ข. 1000 มิลลิเมตร ค. 500 มิลลิเมตร ง. 5000 มิลลิเมตร	1	0.3	0.3	0.23
38. แนวความคิดหลัก(Concept) ของโครงสร้าง Thin-shell คือข้อใด ก. การใช้รูปร่างของโครงสร้างทำให้เกิดกำลังการรับน้ำหนัก ข. การใช้วัสดุพิเศษในการก่อสร้างเพื่อให้เกิดกำลังการรับน้ำหนัก ค. การออกแบบการถ่ายแรงในโครงสร้างเพื่อให้เกิดกำลังการรับน้ำหนัก ง. การใช้วิธีการก่อสร้างที่ทันสมัยเพื่อโครงสร้างให้เกิดกำลังการรับน้ำหนัก	1	0.55	0.4	0.25
39. ระบบโครงสร้าง Thin – Shell ใช้สิ่งใดรับน้ำหนัก ก. เนื้อวัสดุ ข. โครงสร้าง ค. ความโค้ง ง. ความกว้าง	1	0.55	0.3	0.25
40. วัสดุที่เหมาะสมที่สุดในการใช้มุงหลังคาระบบโครงสร้าง Thin – Shell ก. ไม้ ข. พลาสติก ค. คอนกรีตเสริมเหล็ก ง. เหล็ก	0.66	0.66	0.2	0.16

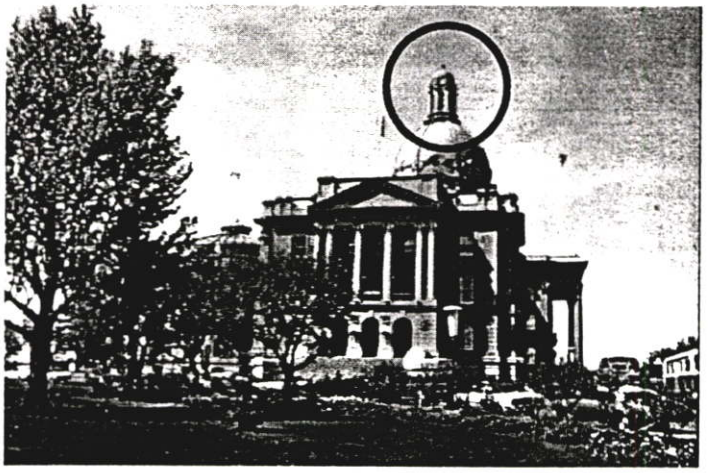
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
41. ภาพต่อไปนี้แสดงถึงอะไร  ก. โครงสร้างเปลือกบาง ข. โครงสร้างเรือนรูปรับแรง ค. โครงสร้างขนาด R/X และ R ง. โครงสร้างโค้งเปลือกบาง	1	0.65	0.3	0.25
42. โครงสร้าง Thin-shell ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดควรมีคุณสมบัติตามข้อใด ก. Membrane Stress ส่วนใหญ่เป็นแรงอัด ข. Membrane Stress เป็นแรงดึง ค. Membrane Stress เป็นแรงดึงและแรงอัด ง. Membrane Stress เป็นโมเมนต์ดัด	0.66	0.55	0.2	0.25
43. เมืองในแถบเขตร้อนชื้นเหมาะกับ Thin-shell ชนิดใด ก. Paraboloid ข. Elliptic Paraboloid ค. Hyperbolic Paraboloid ง. Conoid	0.66	0.66	0.2	0.16
44. ลักษณะแรงที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างแบบ Single – Curvature Shell มากที่สุดคือ ก. แรงดึง ข. แรงอัด ค. โมเมนต์ดัด ง. แรงเฉือน	1	0.6	0.3	0.16

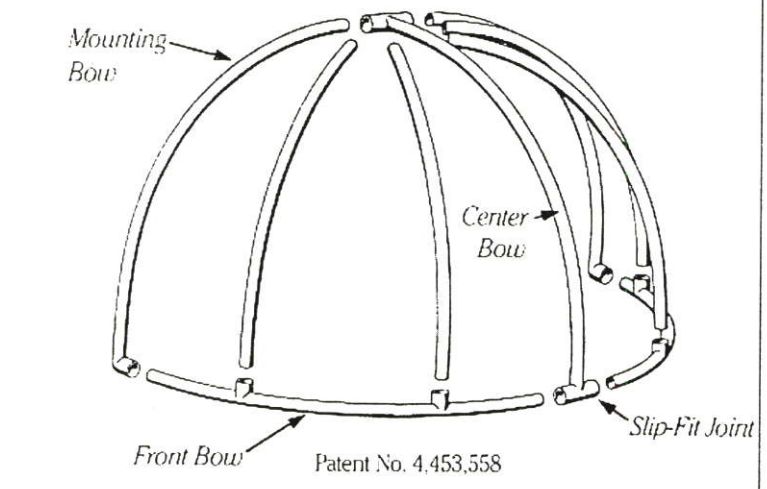
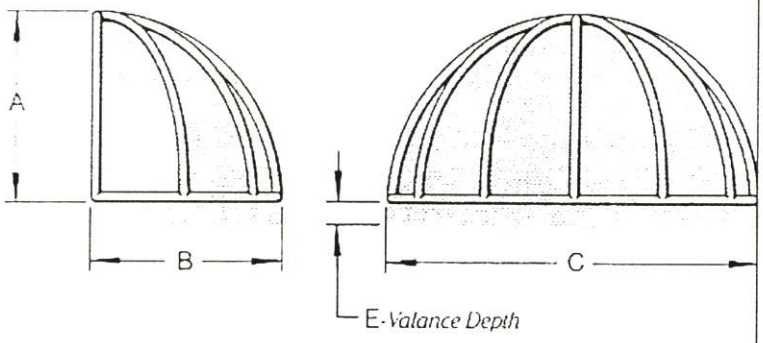
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
45. แรงชนิดใดที่เกิดในโครงสร้าง Thin-shell แบบ Prismatic Shell มากที่สุด ก. แรงดึง ข. แรงอัด <u>ค. โมเมนต์ดัด</u> ง. แรงเฉือน	1	0.4	0.4	0.24
46. ข้อใดความหมายของโดม ก. หลังคาโค้ง <u>ข. หลังคาทรงกลม</u> ค. อาคารโค้ง ง. อาคารทรงกลม	0.66	0.35	0.3	0.25
47. สาเหตุในการพัฒนาจนเกิดโครงสร้างโดม <u>ก. เพื่อระยะกว้างของเสาที่เพิ่มมากขึ้น</u> ข. เพื่อเพิ่มความสูงของอาคาร ค. เพื่อสถาปัตยกรรมแนวใหม่ ง. เพื่อความเชื่อในศาสนาคริสต์	1	0.45	0.2	0.25
48. ในสมัยโรมันโครงสร้างโดมนิยมสร้างเป็นสิ่งก่อสร้างใด ก. บ้าน <u>ข. วิหาร</u> ค. สุสาน ง. โรงนา	0.66	0.4	0.3	0.24
49. ข้อใดช่วยให้โครงสร้างโดมมีความคล่องตัวภายในโครงสร้างมากขึ้น <u>ก. การสร้างผนังเป็นสี่เหลี่ยม</u> ข. การจัดหมวดหมู่ของอาคารให้ประชิดกัน ค. การลดขนาดรัศมีของโดมให้เล็กลง ง. การลดความสูงของตัวอาคาร	1	0.6	0.3	0.16

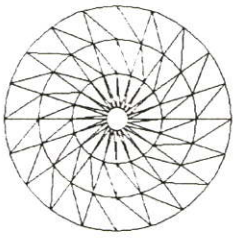
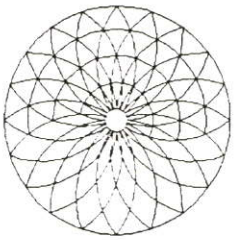
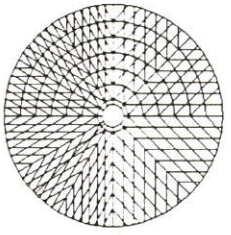
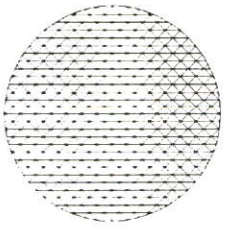
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
50. ส่วนการก่อสร้างดังกล่าวใช้วัสดุใด  ก. ปูน <u>ข. หิน</u> ค. เหล็ก ง. ศิลาแลง	1	0.5	0.3	0.25
51. ปัจจุบันเราจะพบโครงสร้างโดมได้ในสถาปัตยกรรมใด ก. อนุสรณ์สถาน ข. สุสาน <u>ค. สุเหร่า</u> ง. อนุสาวรีย์	0.66	0.55	0.3	0.25

แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
52. ส่วนประกอบที่อยู่ในกรอบสีแดงต่อไปนี้มีชื่อเรียกว่าอะไร  CVPOLA DI S. PIETRO ก. ส่วนฐาน ข. ผนังโค้ง ค. หลังคา ง. หอคอยเล็ก	1	0.35	0.3	0.25

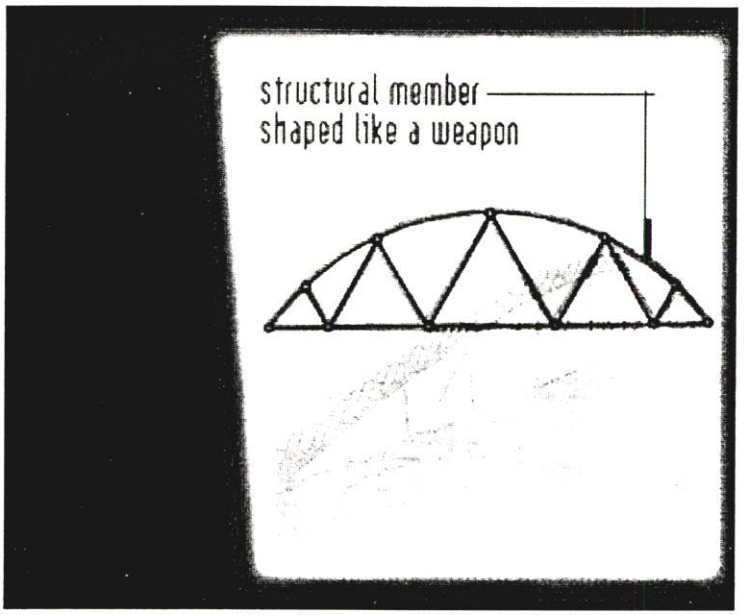
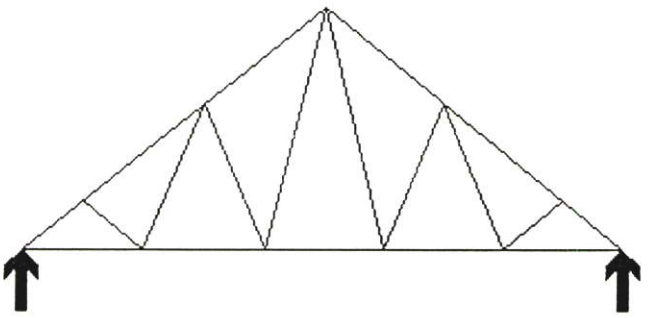
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
53. ส่วนประกอบที่อยู่ในกรอบสีแดงต่อไปนี้มีชื่อเรียกว่าอะไร  <u>ก. ส่วนฐาน</u> ข. ผนังโค้ง ค. หลังคา ง. หอคอยเล็ก	1	0.5	0.2	0.25
54. ส่วนประกอบที่อยู่ในกรอบสีแดงต่อไปนี้มีชื่อเรียกว่าอะไร  ก. ส่วนฐาน ข. ผนังโค้ง <u>ค. หลังคา</u> ง. หอคอยเล็ก	1	0.4	0.2	0.24

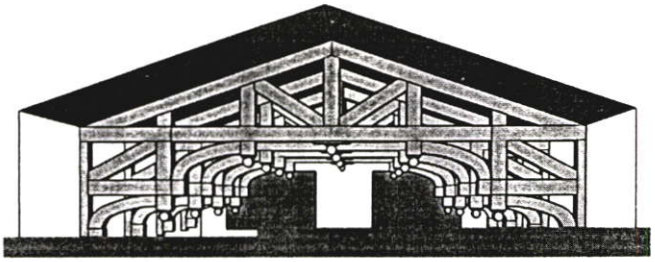
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
55. ส่วนประกอบที่อยู่ในวงกลมสีแดงต่อไปนี้มีชื่อเรียกว่าอะไร  ก. ส่วนฐาน ข. ผนังโค้ง ค. หลังคา <u>ง. หอคอยเล็ก</u>	1	0.5	0.2	0.25
56. โดมที่สร้างจากไม้มีต้นกำเนิดมาจากชนชาติใด ก. เอสกีโม <u>ข. อินเดียนแดง</u> ค. โคมันยอง ง. อินคา	1	0.3	02	0.23

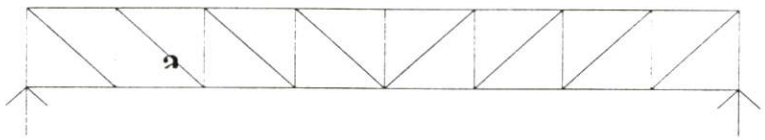
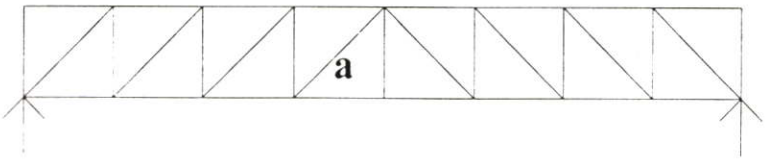
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
57. ข้อใดคือชื่อเรียกของโดมของภาพต่อไปนี้  				
ก. Rib Dome or Redial Arch				
ข. Membrane Dome				
ค. ชเวดเลอร์				
ง. ลาเมลลาขนาน	1	0.45	03	0.25

แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
58. ข้อใดไม่ใช่หลักในการออกแบบก่อสร้าง Dome คอนกรีต ก. ความโค้งของเปลือกต้องต่อเนื่องกันตลอด ข. เปลือกแข็งต้องบาง ยิ่งบางยิ่งดี ค. น้ำหนักลงเป็นจุด ง. จุดรองรับต้องออกแบบให้ยึดแน่น และต่อเนื่องกันตลอด	.066	0.5	0.5	0.16
59. ภาพในข้อใดคือภาพแปลนของโดมแบบลาเมลลา ก.  ข.  ค.  ง. 	1	0.6	03	0.16

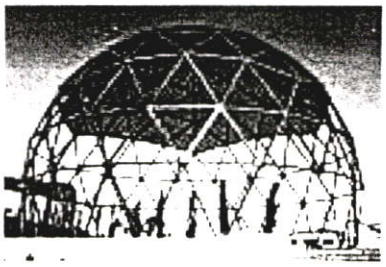
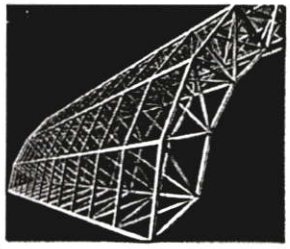
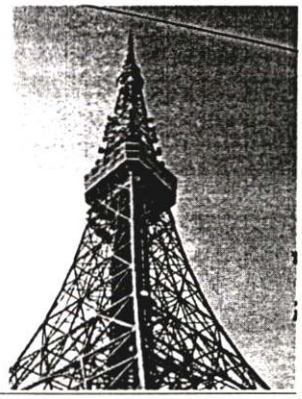
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
60. ข้อใดคือคำจำกัดความของโดมแบบยีออเดซิค ก. โดมที่มีทรัสเป็นโครงสร้าง ข. โดมทรงกลมประกอบด้วยชิ้นส่วนที่ยาวเสมอกัน ค. โดมที่มีแปลนเหมือนรวงผึ้ง ง. โดมที่สามารถทนแรงอัดได้ดี	1	0.55	03	0.25
61. แรงที่เกิดขึ้นในแนวดิ่งของโครงสร้าง Dome คือแรงชนิดใด ก. แรงดึง ข. แรงอัด ค. โมเมนต์ดัด ง. แรงเฉือน	1	0.3	0.5	0.23
62. แรงที่เกิดขึ้นในแนวดิ่งของโครงสร้าง Dome คือแรงชนิดใด ก. แรงดึง ข. แรงอัด ค. โมเมนต์ดัด ง. แรงเฉือน	1	0.6	0.2	0.16
63. แรงที่เกิดขึ้นในแนวนอน ของโครงสร้าง Dome ซึ่งแนวแรงทำมุมมากกว่า 52องศา กับแนวตั้งของ Dome คือแรงชนิดใด ก. แรงดึง ข. แรงอัด ค. โมเมนต์ดัด ง. แรงเฉือน	0.66	0.6	0.3	0.16
64. Truss ในข้อใดสามารถสร้างให้มีช่วงกว้าง (span) มากที่สุด ก. Bowstring Truss ข. Pitched Truss ค. Flash Truss ง. Warren Truss	0.66	0.4	0.2	0.24

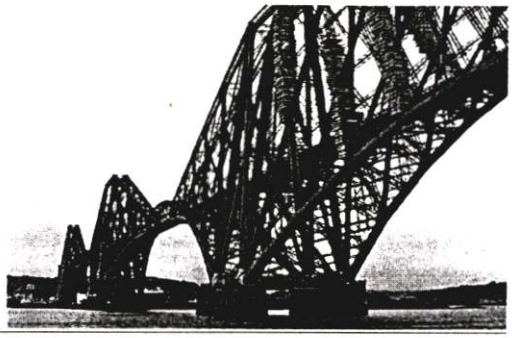
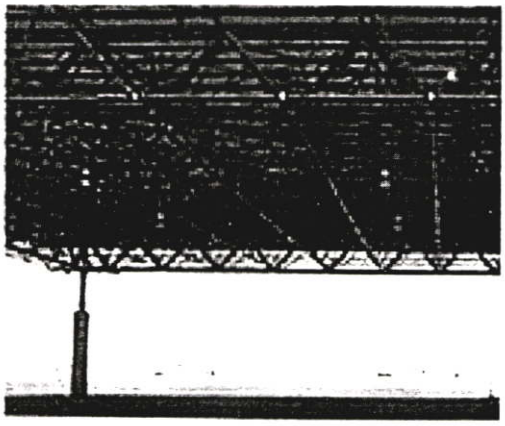
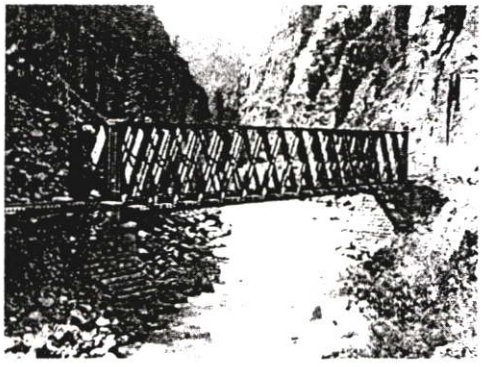
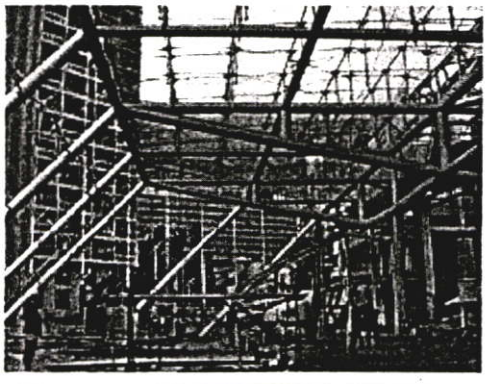
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
65. รูปภาพต่อไปนี้คือ Truss แบบใด  ก. Warren Truss ข. Pitched Truss ค. Belgian Truss ง. Fink Truss	1	0.35	0.2	0.25
66. รูปภาพต่อไปนี้คือ Truss แบบใด  ก. Warren Truss ข. Pitched Truss ค. Belgian Truss ง. Fink Truss	1	0.65	0.2	0.25

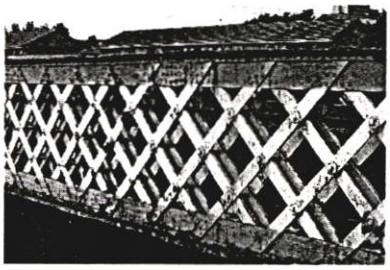
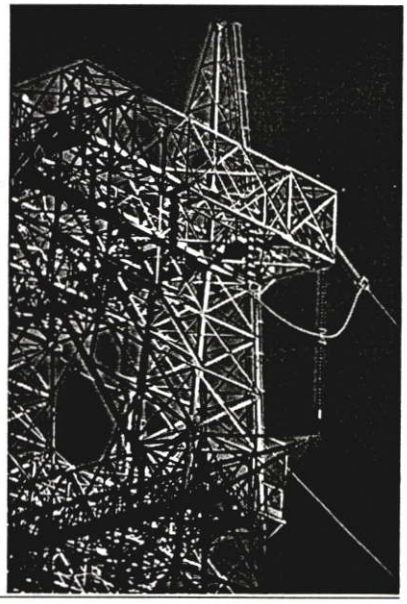
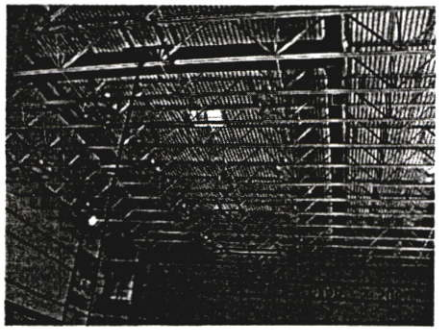
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
67. รูปภาพต่อไปนี้คือ Truss แบบใด ก. Warren Truss ข. Pitched Truss ค. Belgian Truss ง. Fink Truss	1	0.4	0.2	0.24
68. รูปภาพต่อไปนี้คือ Truss แบบใด  ก. Warren Truss ข. Pitched Truss ค. Belgian Truss ง. Fink Truss	1	0.45	0.4	0.25
69. Truss ในข้อใดจะเกิดแรงในท่อนตั้งของโครงสร้างมากที่สุด ก. Bowstring Truss ข. Pitched Truss ค. Flash Truss ง. Warren Truss	0.66	0.65	0.3	0.25

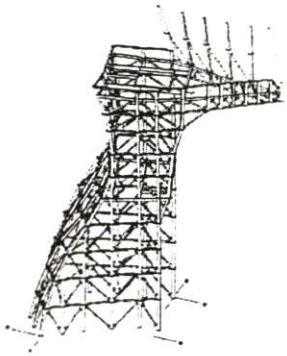
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
70. ท่อน a ในโครงสร้าง Truss ดังรูปรับแรงชนิดใด  ก. แรงอัด <u>ข. แรงดึง</u> ค. แรงเฉือน ง. โมเมนต์ดัด	1	0.55	0.2	0.25
71. ท่อน a ในโครงสร้าง Truss ดังรูปรับแรงชนิดใด  <u>ก. แรงอัด</u> ข. แรงดึง ค. แรงเฉือน ง. โมเมนต์ดัด	1	0.45	0.2	0.25
72. ข้อใดจุดที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายน้ำหนักลงบนโครง Truss ก. ตรงกลางของโครงสร้าง ข. จุดกึ่งกลางของชิ้นส่วนที่ประกอบเป็นโครงสร้าง ค. ส่วนบนสุดของโครงสร้าง <u>ง. ตรงจุดที่เป็นรูปสามเหลี่ยมของโครงสร้าง</u>	0.66	0.55	0.3	0.25
73. ข้อใดคือวัตถุประสงค์ของการใส่ท่อนตั้งในโครง Truss <u>ก. เพื่อช่วยแบ่งความยาวของท่อนรับแรงอัดท่อนบน</u> ข. เพื่อช่วยในการรับแรงของโครงสร้าง ค. เพื่อช่วยจับยึดโครงสร้างระหว่างท่อนบนกับท่อนล่างทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงมากขึ้น ง. เพื่อเพิ่มจุดรับแรงของโครงสร้าง	1	0.45	02	0.25

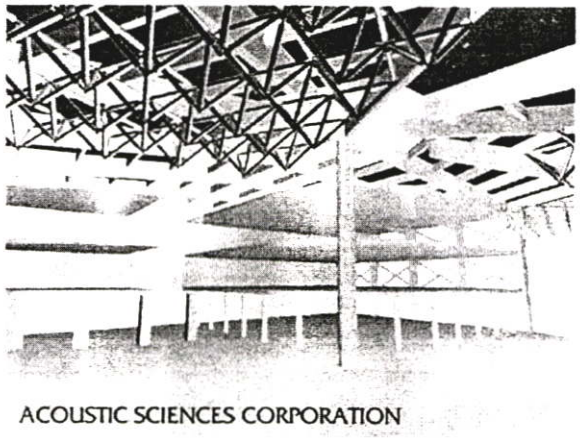
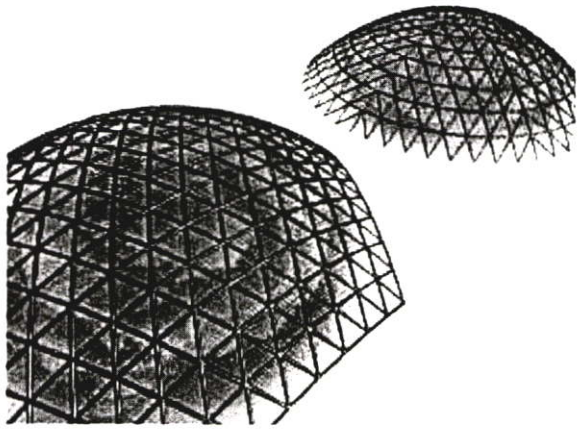
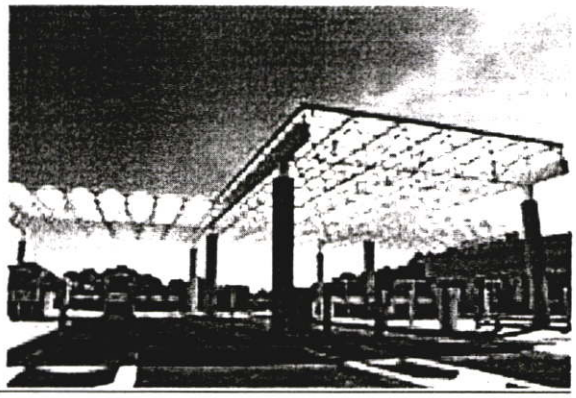
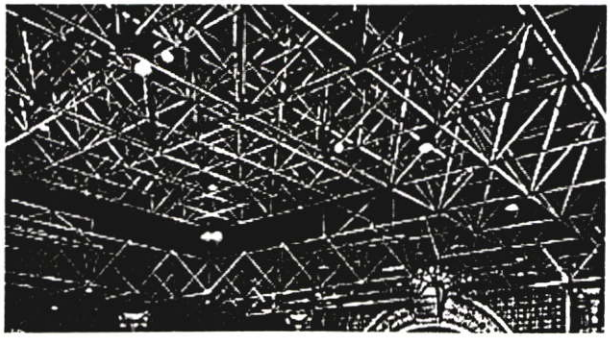
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
74. โครงสร้าง Space Frame รับน้ำหนักส่วนใดของโครงสร้าง ก. หลังคา ข. พื้น ค. เพดาน ง. เสา	1	0.65	0.3	0.25
75. โครงสร้าง Space Frame เป็นส่วนประกอบระหว่างโครงสร้างใดกับโครงสร้างใด ก. หลังคากับวัสดุมุง ข. หลังคากับเสา ข. เสากับคาน ง.. คานกับพื้น	1	0.6	0.2	0.16
76. ข้อต่อในโครงสร้าง Space Frame ก่อให้ปัญหาในโครงสร้าง มีวิธีแก้ไขอย่างไร ก. ทุกส่วนของโครงสร้างควรมีขนาดเดียวกัน ข. ทุกส่วนของโครงสร้างควรมีความหนาเดียวกัน ค. ทุกส่วนของโครงสร้างควรมีน้ำหนักเท่ากัน ง. ทุกส่วนของโครงสร้างควรเป็นทรงกลม	0.66	0.6	0.3	0.16
77. ในโครงสร้าง Space Frame มีแรงอะไรที่เกิดในวัสดุมากที่สุด ก. แรงดึง ข. แรงอัด ค. แรงเค้น ง. แรงเฉือน	1	0.6	0.3	0.16
78. โครงสร้าง Space Frame จะรับน้ำหนักได้มากหรือน้อย สามารถวัดได้จาก ก. ความหนาของชิ้นส่วนประกอบ ข. รูปร่างของรอยต่อ ค. รูปทรงของชิ้นส่วนประกอบ ง. ความลึกของโครงสร้าง	1	0.5	0.2	0.15

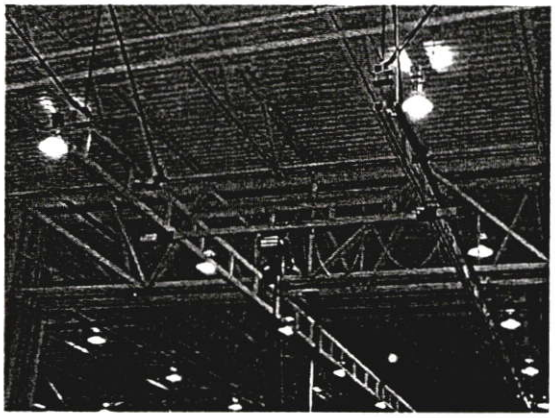
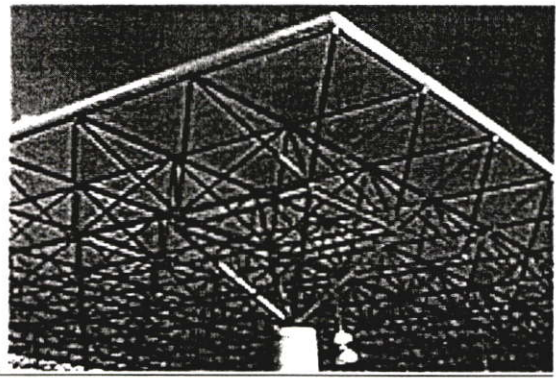
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
79. ข้อเสียของโครงสร้าง Space Frame คือ ก. มีรูปแบบจำกัด ข. สิ้นเปลืองวัสดุ ค. รอยต่อทำได้ยาก ง. อายุการใช้งานสั้น	1	0.45	0.2	0.25
80. ข้อใดคือโครงสร้าง Space Frame แบบ Isolated Truss ก. ข.  ค.  ง. 	1	0.5	0.3	0.15

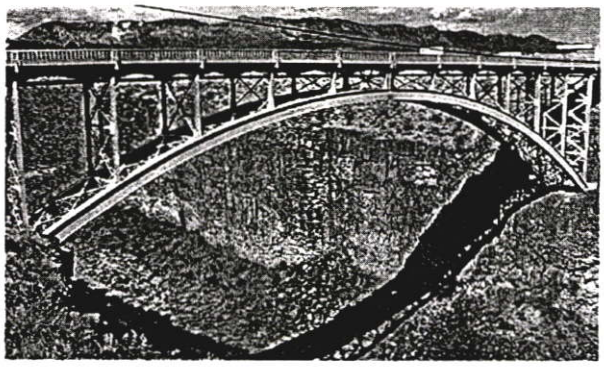
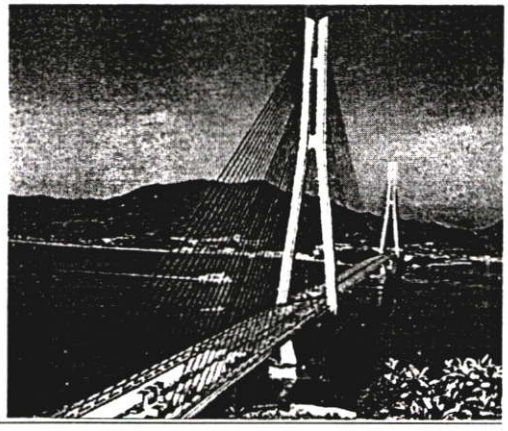
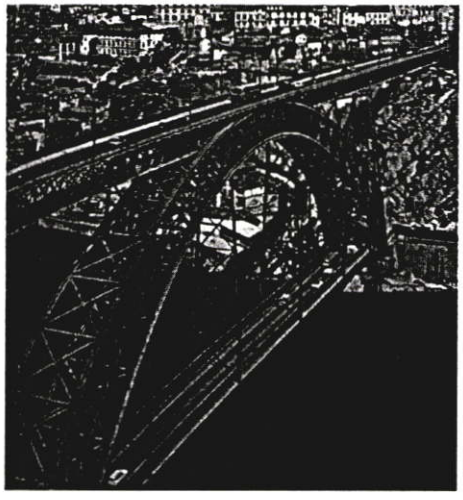
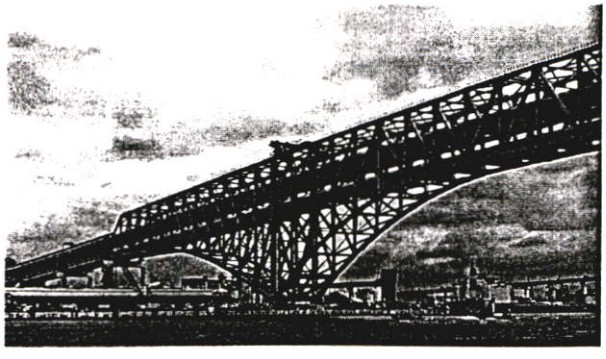
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
81. ข้อใดคือโครงสร้าง Space Frame แบบ Single Polyhedron ก.  ข.  ค.  ง. 	1	0.6	0.2	0.16

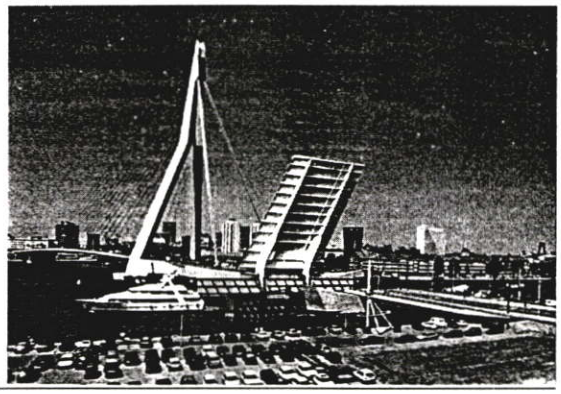
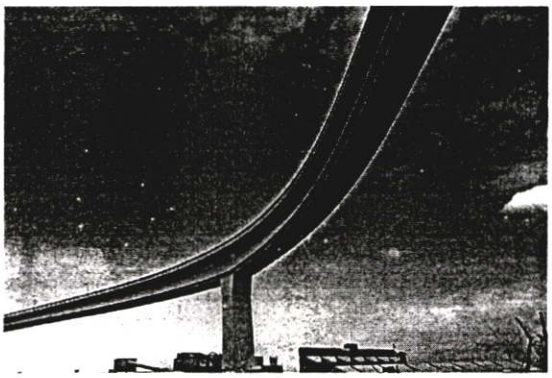
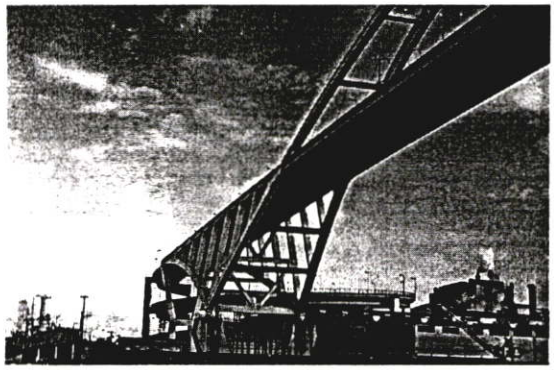
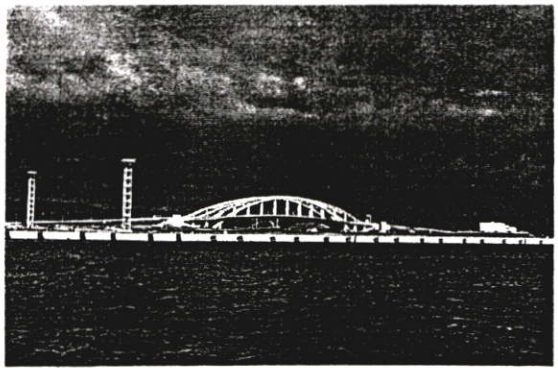
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
82. ข้อใดคือโครงสร้าง Space Frame แบบ Completely Triangulated ก.  ข. ค.  ง. 	1	0.5	0.2	0.25

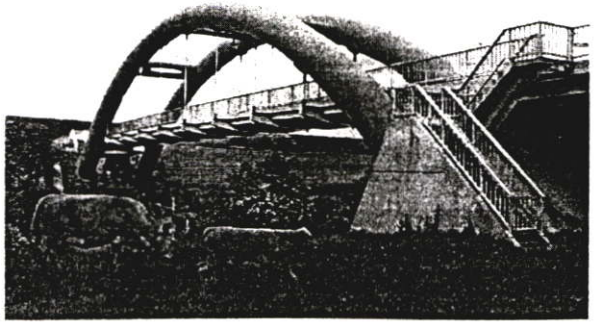
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
83. ข้อใดคือโครงสร้าง Space Frame แบบ Single Truss Girder ก. ข. ค.  ง.	1	0.6	0.3	0.16

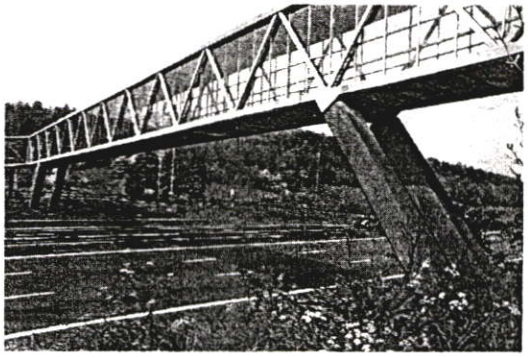
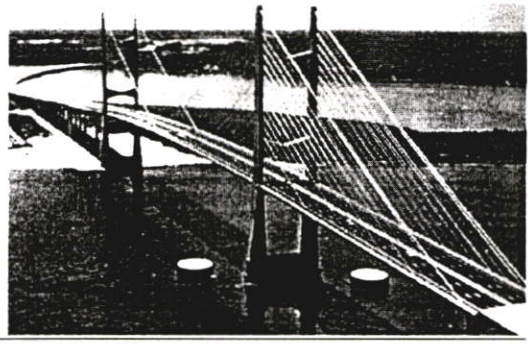
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
84. ข้อใดคือโครงสร้าง Space Frame แบบ Cube ก.  ข.  ค.  ง. 	1	0.6	0.3	0.16

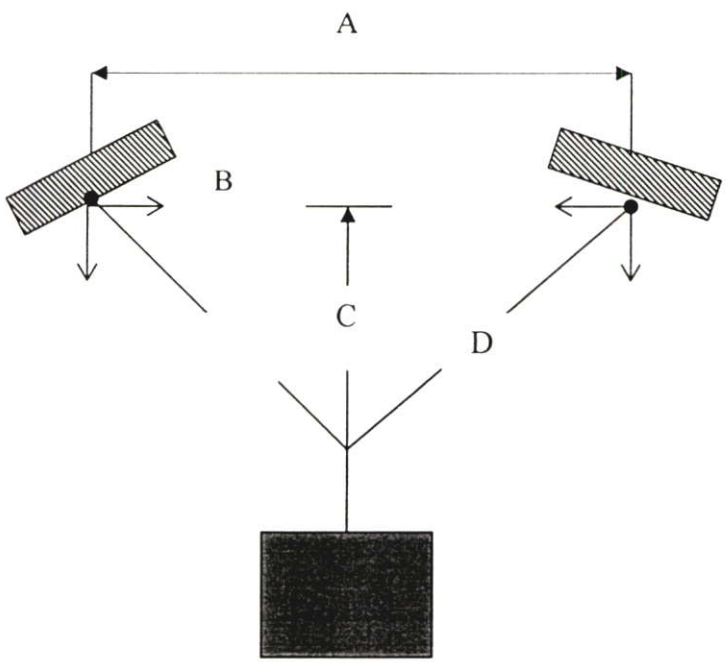
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
85. ข้อใดคือโครงสร้าง Space Frame แบบ Isometric Space Frame ก.  ข.  ค. ง.	1	0.5	0.3	0.16

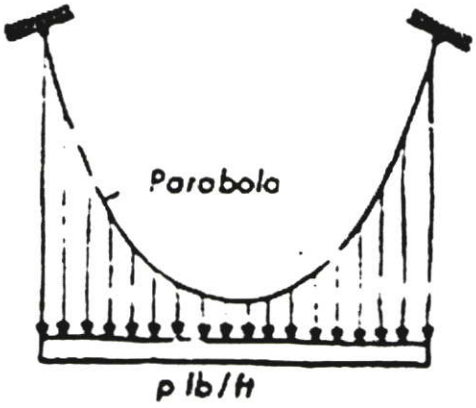
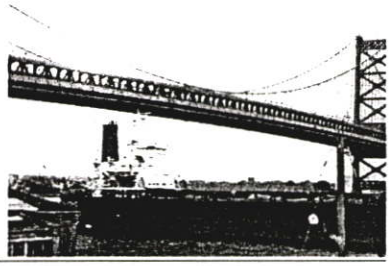
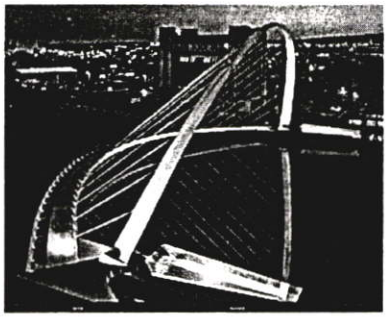
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
86. ข้อใดต่อไปนี้คือโครงสร้าง Cable ก.  ข.  ค.  ง. 	1	0.4	0.4	0.25

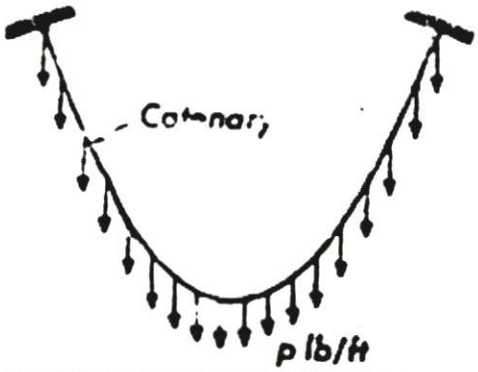
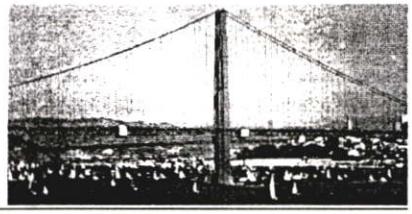
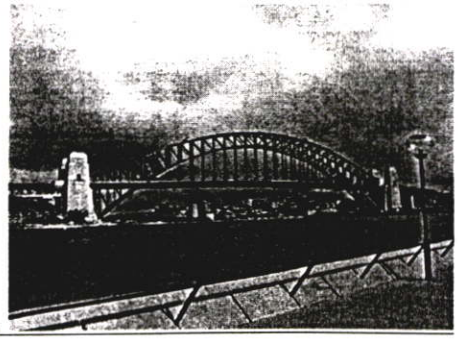
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
87. ข้อใดต่อไปนี้คือโครงสร้าง Cable ก.  ข.  ค.  ง. 	1	0.5	0.4	0.25

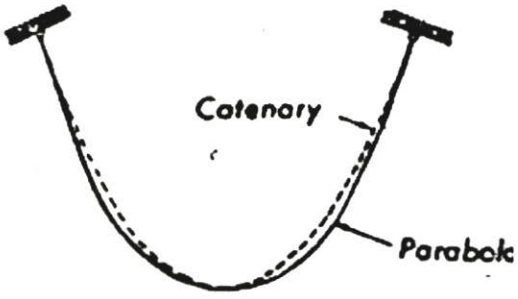
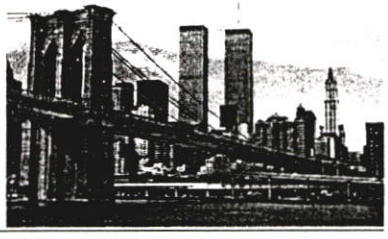
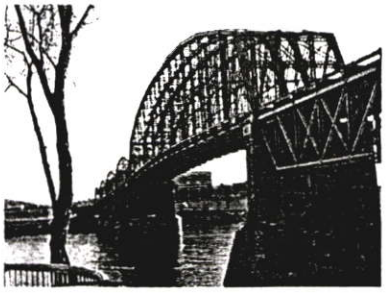
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
88. ข้อใดต่อไปนี้คือโครงสร้าง Cable ก. ข. ค. ง. 	1	0.55	0.4	0.25

แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
89. ข้อใดต่อไปนี้คือโครงสร้าง Cable ก.  ข.  ค. ง.	1	0.6	0.4	0.25

แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
90. โครงสร้าง Cable เหมาะสมกับการก่อสร้างแบบใด ก. โครงสร้างช่วงยาว ข. โครงสร้างแนวดิ่ง ค. โครงสร้างที่ซับซ้อน ง. โครงสร้างใต้ดิน	1	0.6	0.3	0.16
91. ข้อใดต่อไปนี้ทำให้โครงสร้าง Cable สามารถทำงานได้ ก. แรงลม ข. แรงในแนวดิ่ง ค. แรงในแนวนอน ง. แรงจร	1	0.7	0.3	0.25
92. Thrus เป็นชื่อของแรงในข้อใด  ก. A ข. B ค. C ง. D	1	0.5	0.2	0.25

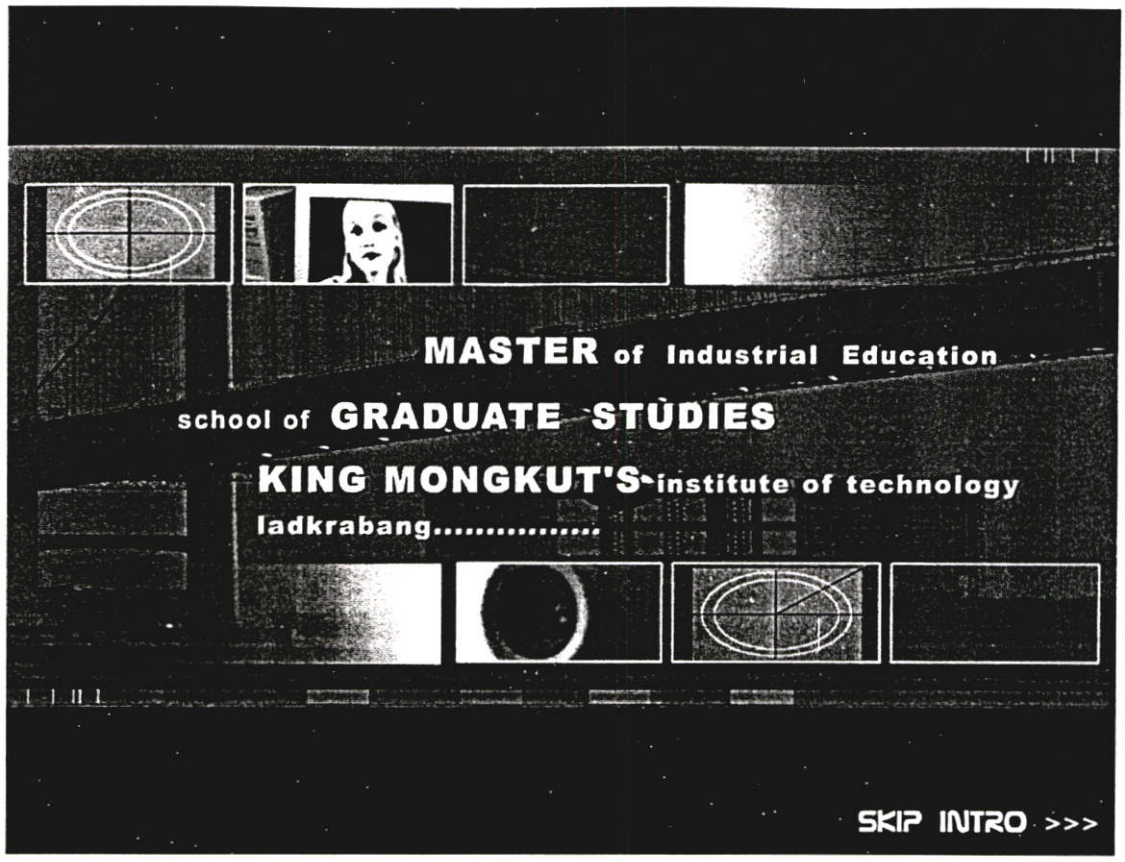
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
93. ข้อใดต่อไปนี้ทำหน้าที่รับน้ำหนักเหมือนในภาพ  ก.  ข.  ค. ง.	1	0.5	0.2	0.25

แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
94. ข้อใดต่อไปนี้ทำหน้าที่รับน้ำหนักเหมือนในภาพ  ก. ข.  ค. ง. 	1	0.5	0.2	0.25

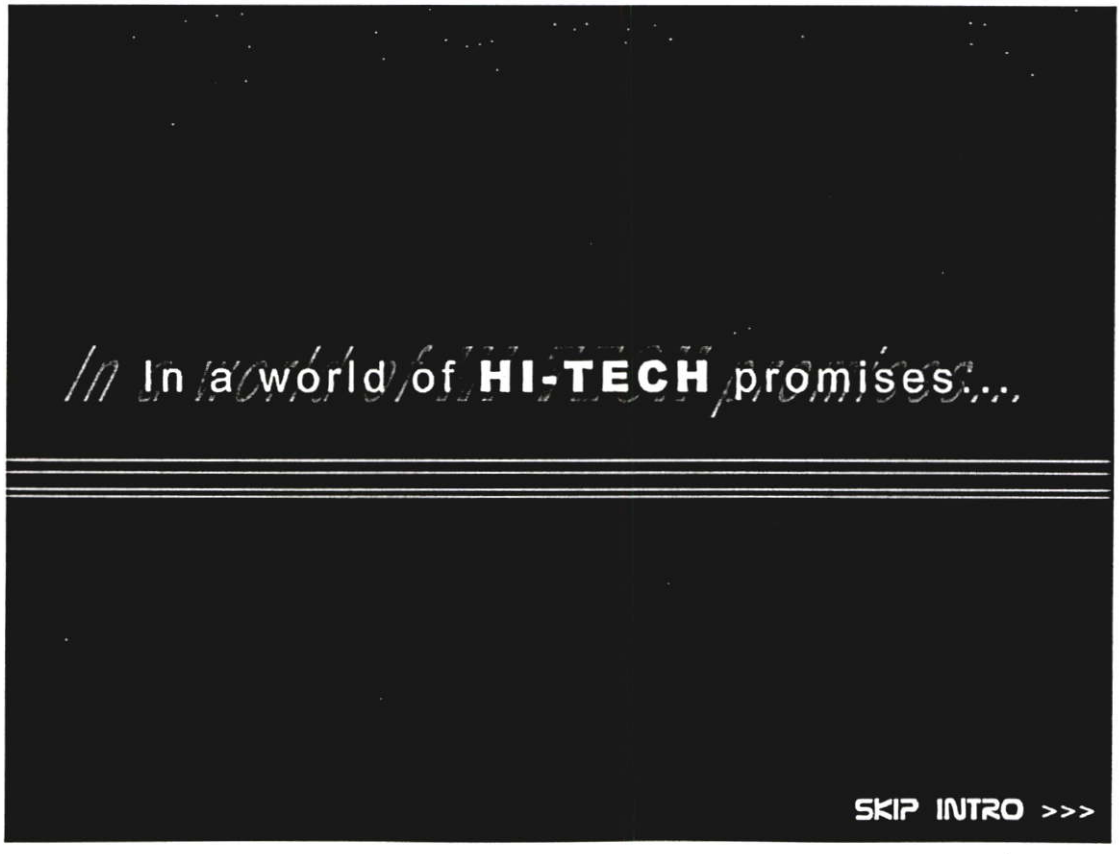
แบบทดสอบ	ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
	IOC	P	D	pq
95. ข้อใดต่อไปนี้ทำหน้าที่รับน้ำหนักเหมือนในภาพ  (c) ก. ข.  ค.  ง.	1	0.5	0.2	0.25

ภาคผนวก ง

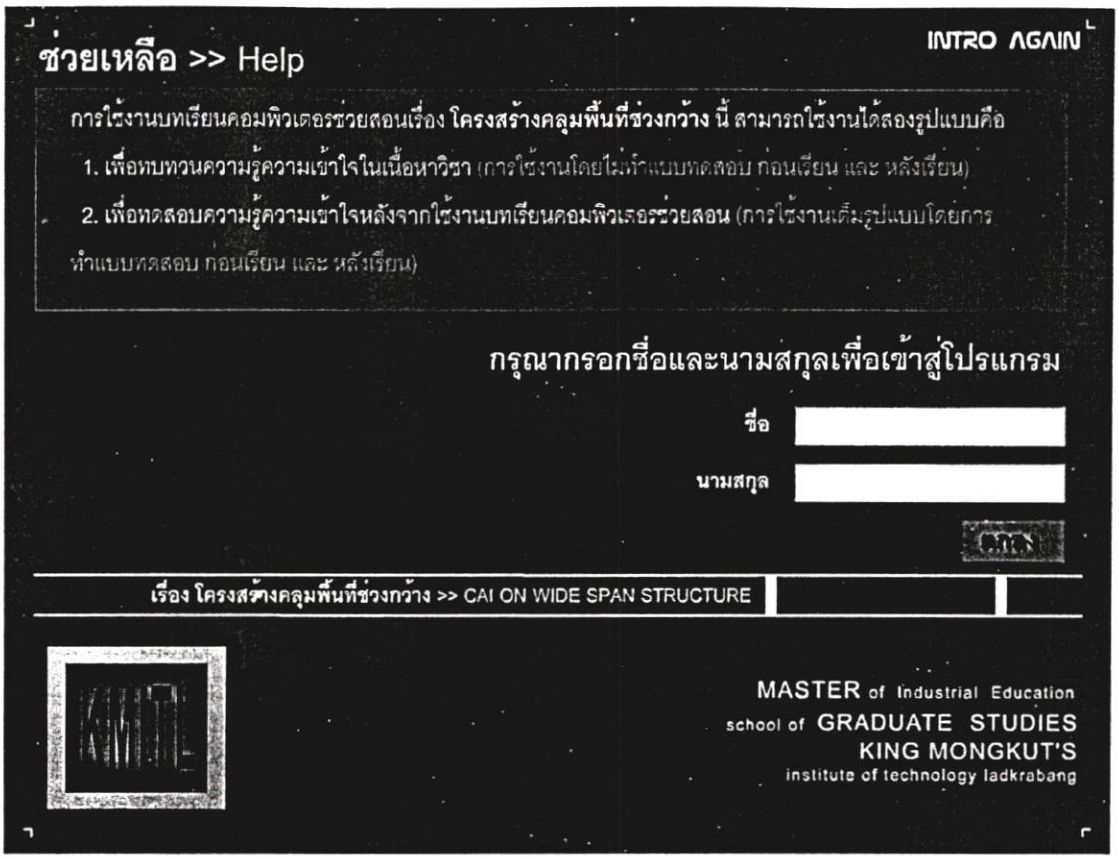
ตัวอย่างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน



รูปที่ ง.1 แสดงหน้าแรกของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง

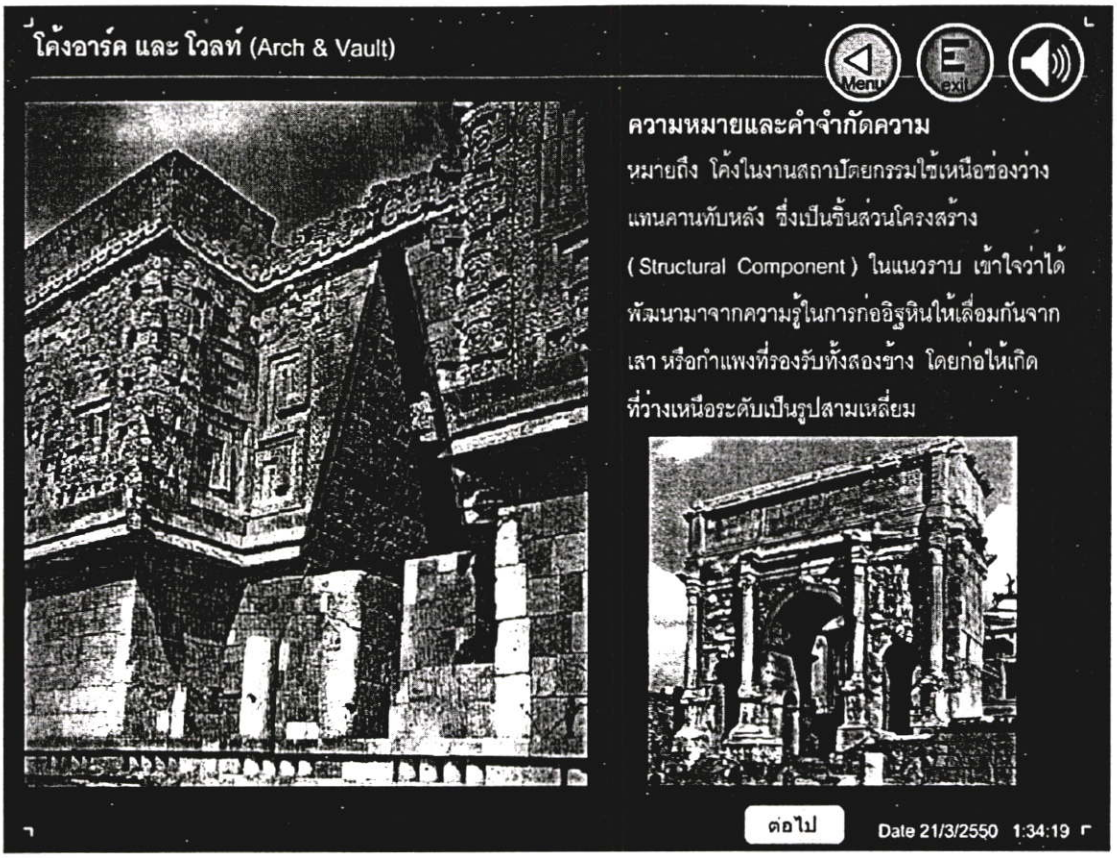


รูปที่ ง.2 แสดงการนำเข้าสู่บทเรียน เรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง

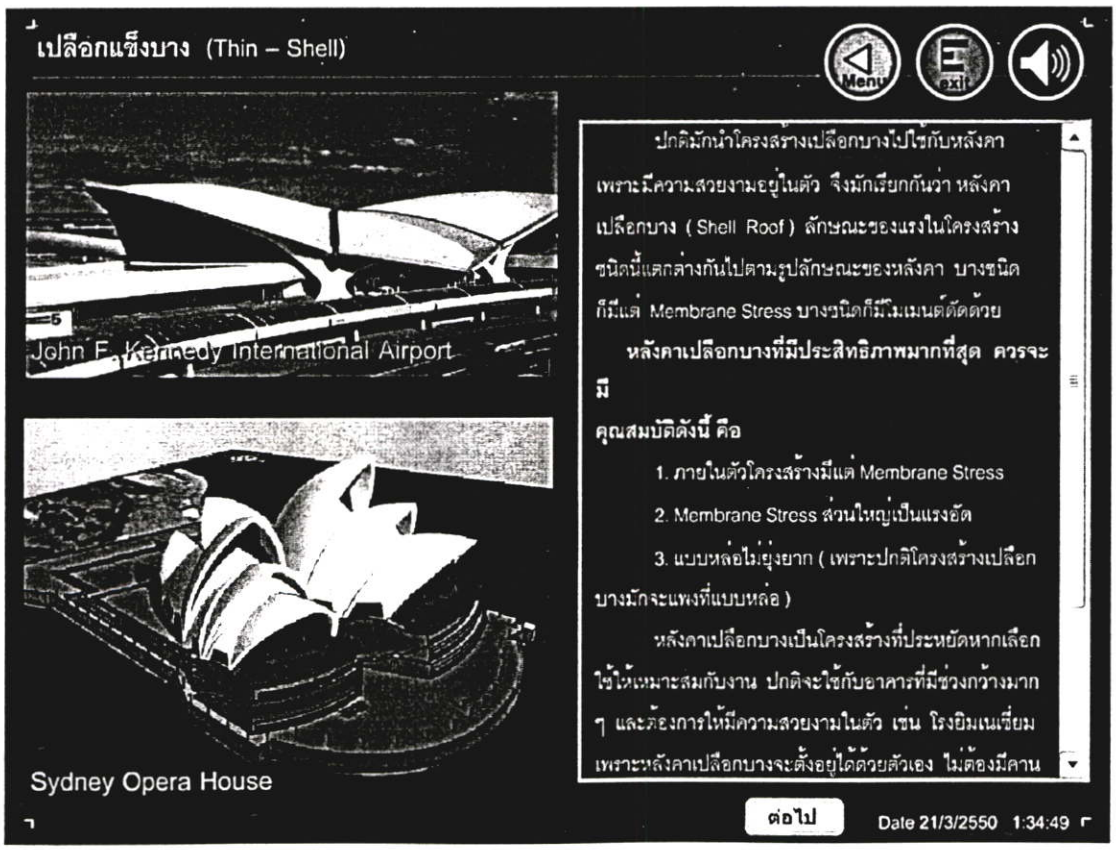


รูปที่ ง.3 แสดงหน้าที่ให้นักศึกษากรอบชื่อ-นามสกุล

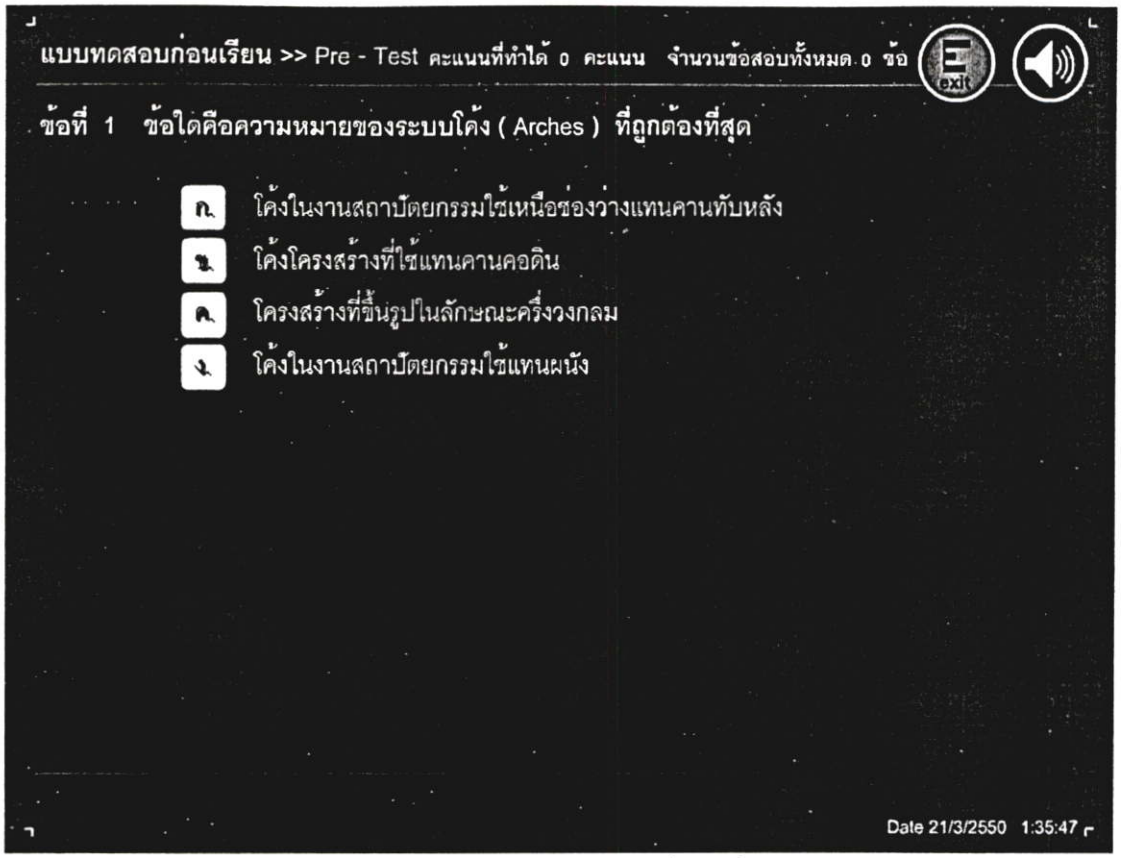
รูปที่ ง.4 แสดงหน้าเมนูหลักของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง



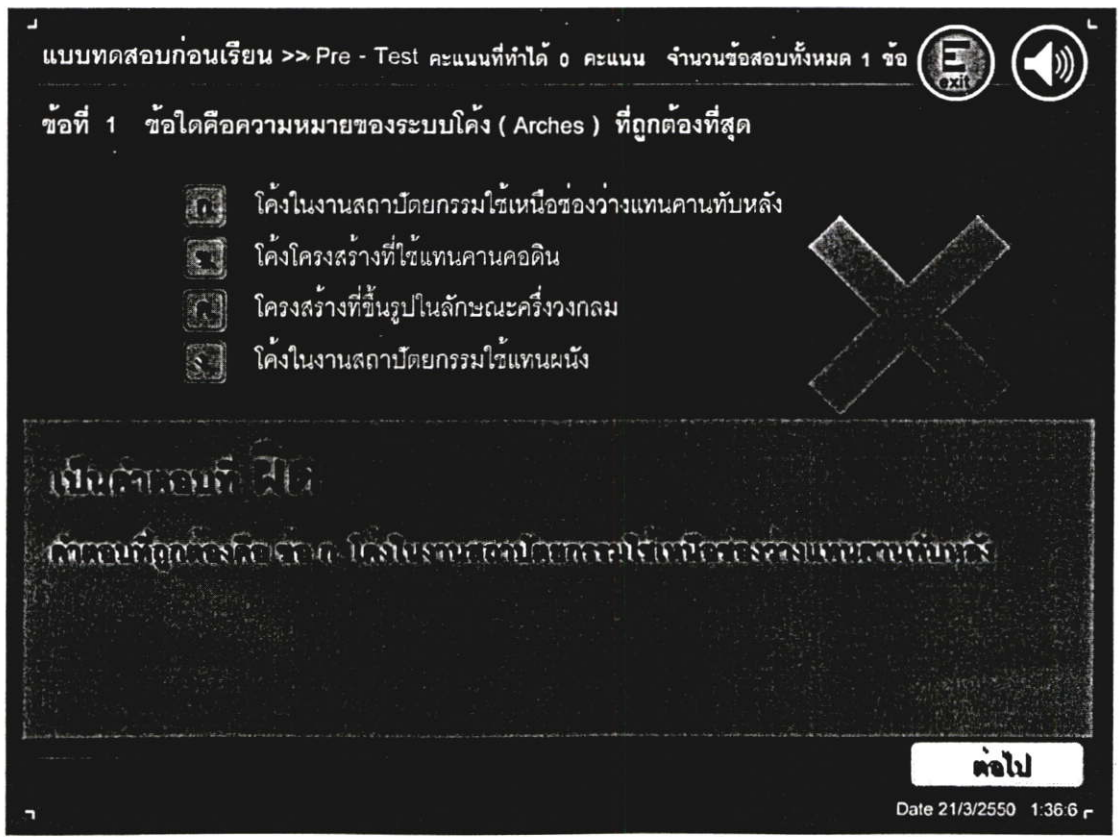
รูปที่ ง.5 แสดงหน้าเมนูในบทเรียนที่ 1



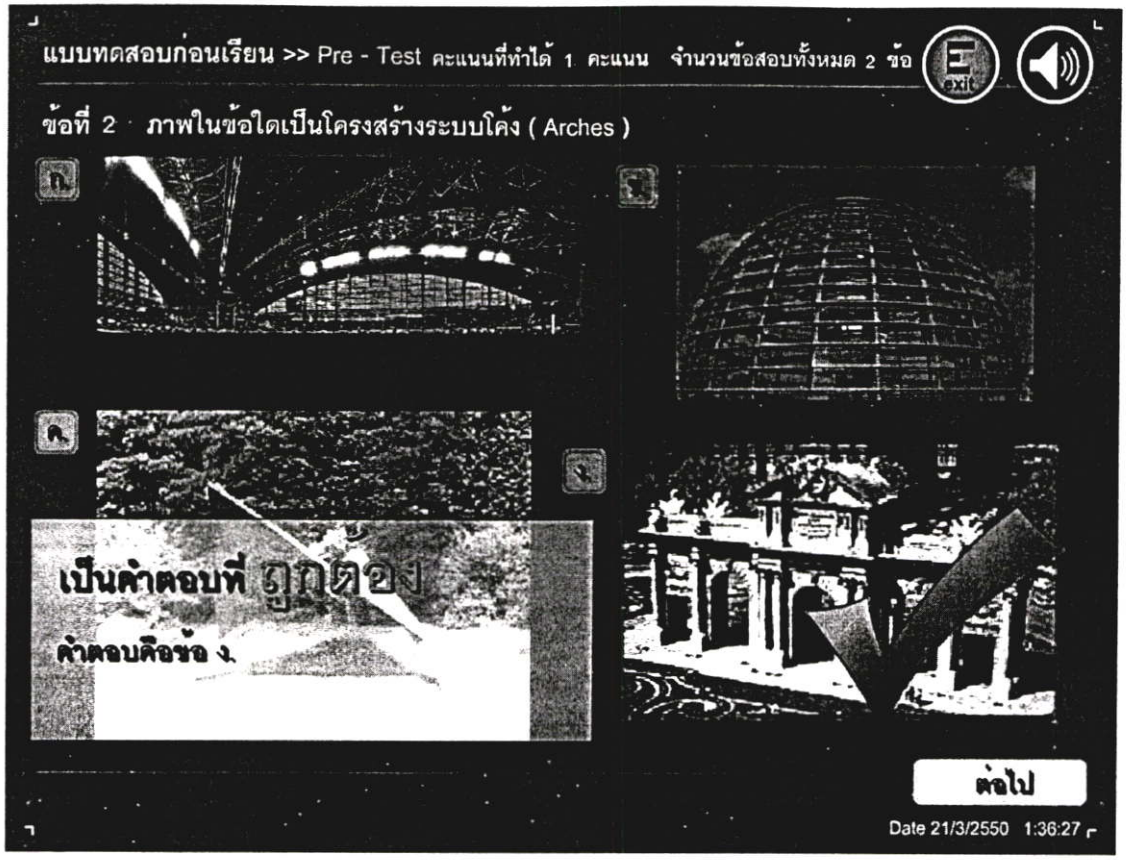
รูปที่ ง.6 แสดงรายละเอียดของเนื้อหา



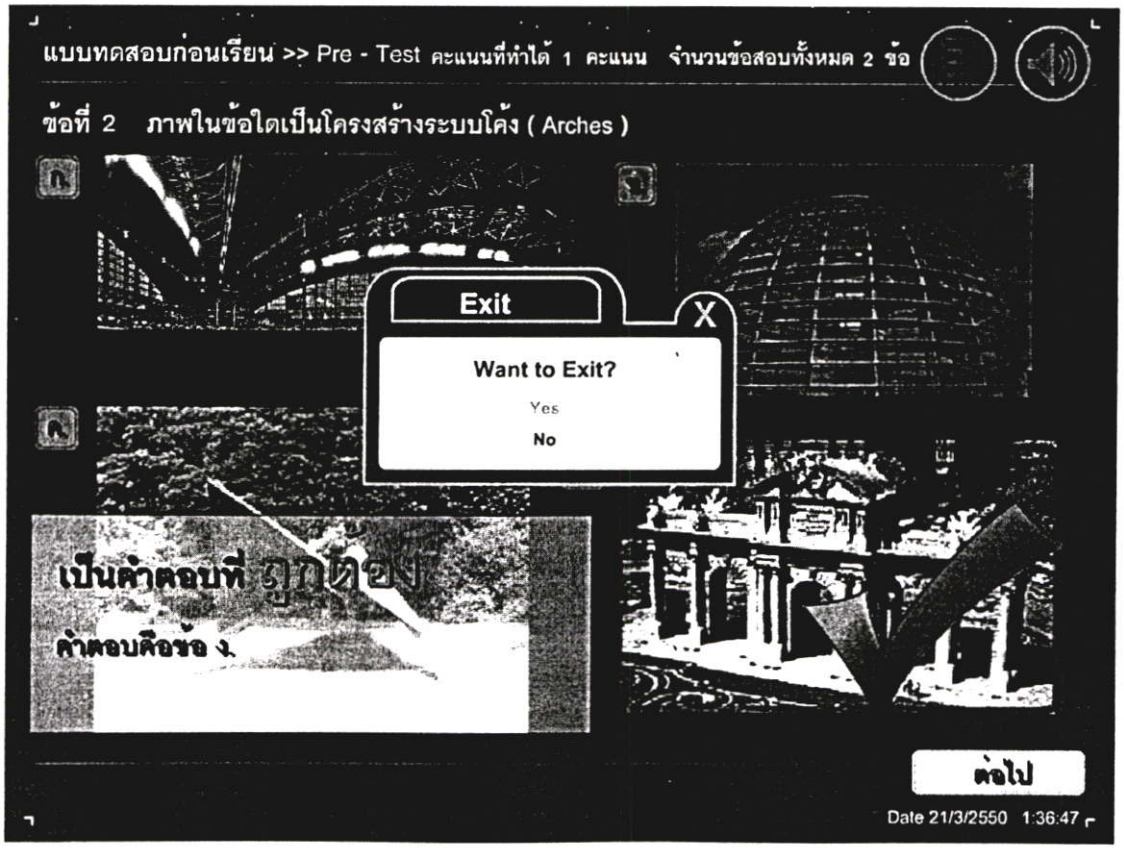
รูปที่ ง.7 แสดงหน้าแรกในการทำแบบทดสอบ



รูปที่ ง.8 แสดงการตอบโต้เมื่อผู้เรียนตอบแบบทดสอบผิด



รูปที่ ง.9 แสดงการตอบโต้เมื่อผู้เรียนตอบแบบทดสอบถูก

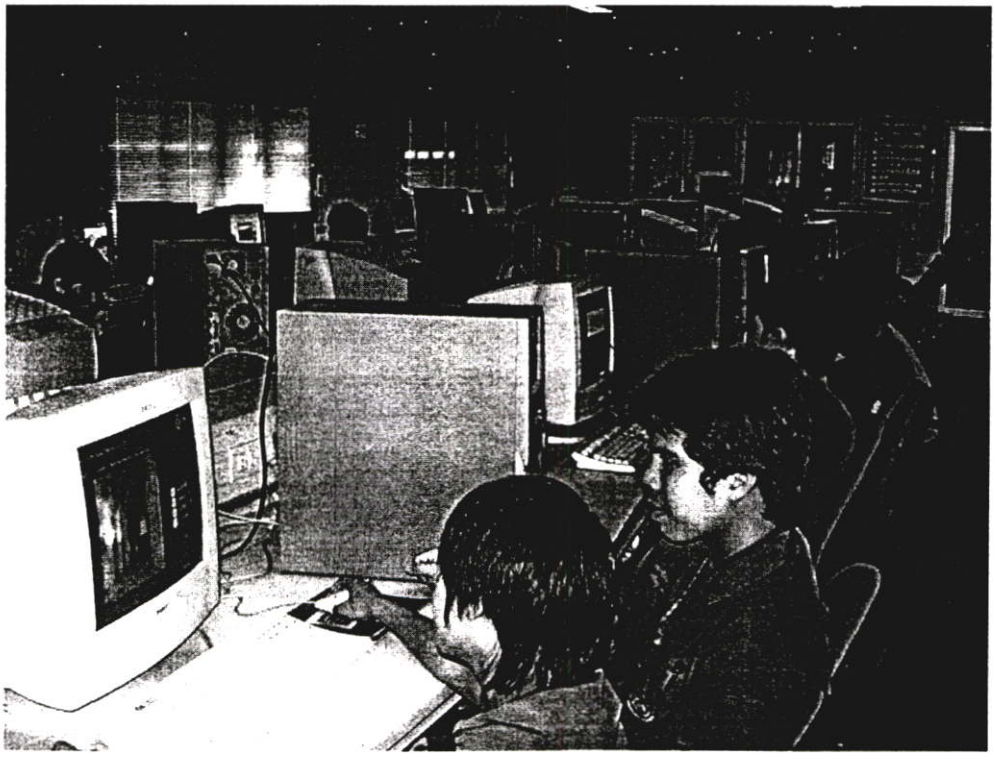


รูปที่ ง.10 แสดงหน้าการออกจากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง

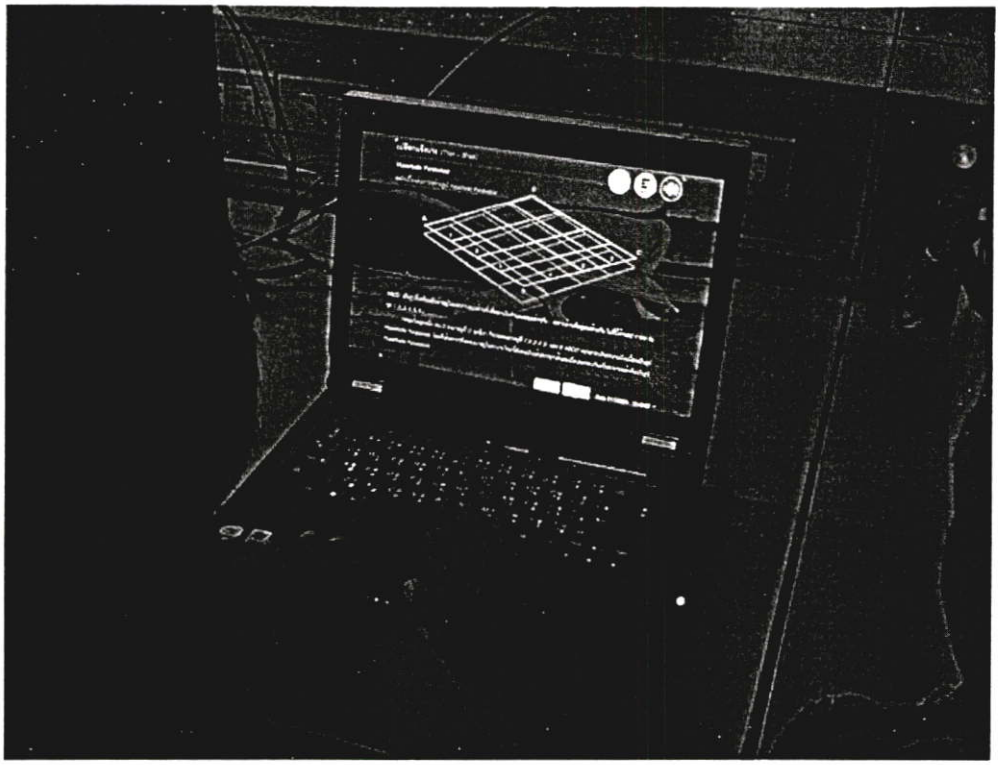
ภาคผนวก

ภาพการทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง

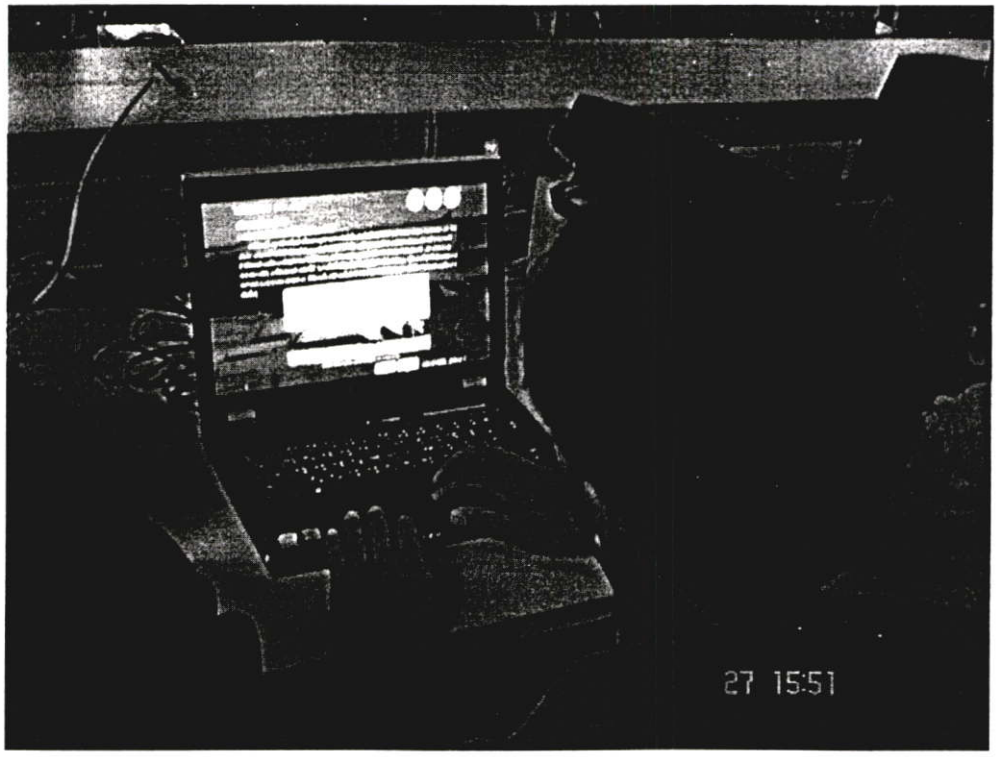
รูปที่ จ.1 นักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย ทำการศึกษาบทเรียนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง จากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง



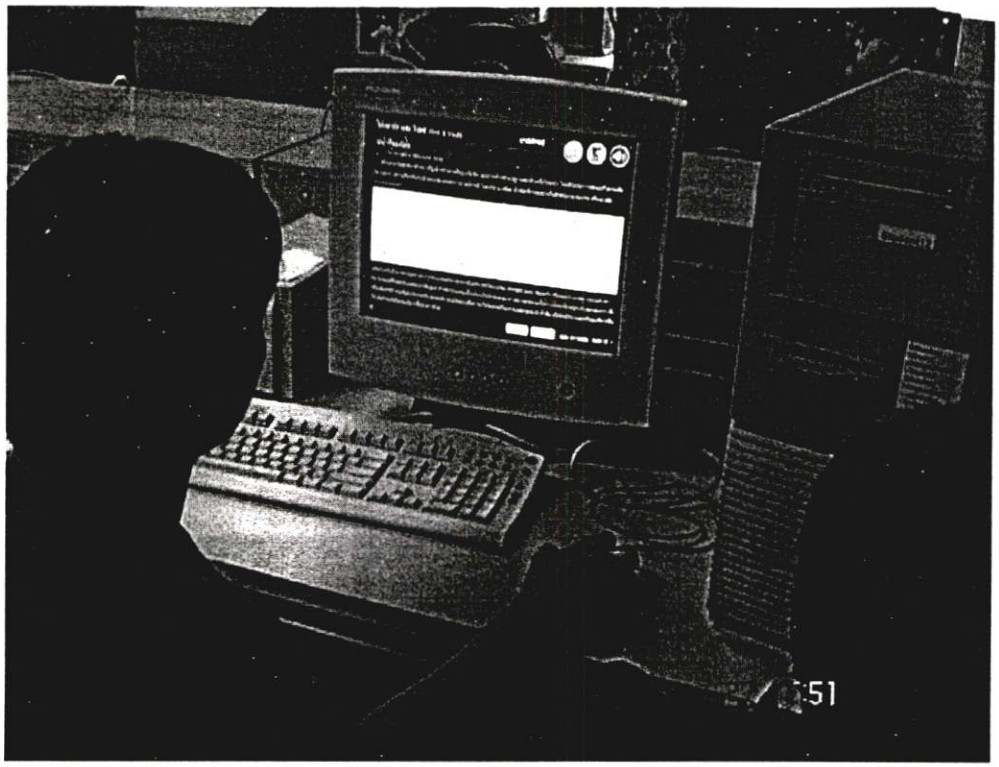
รูปที่ จ.2 นักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย ทำการศึกษาบทเรียนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง จากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง



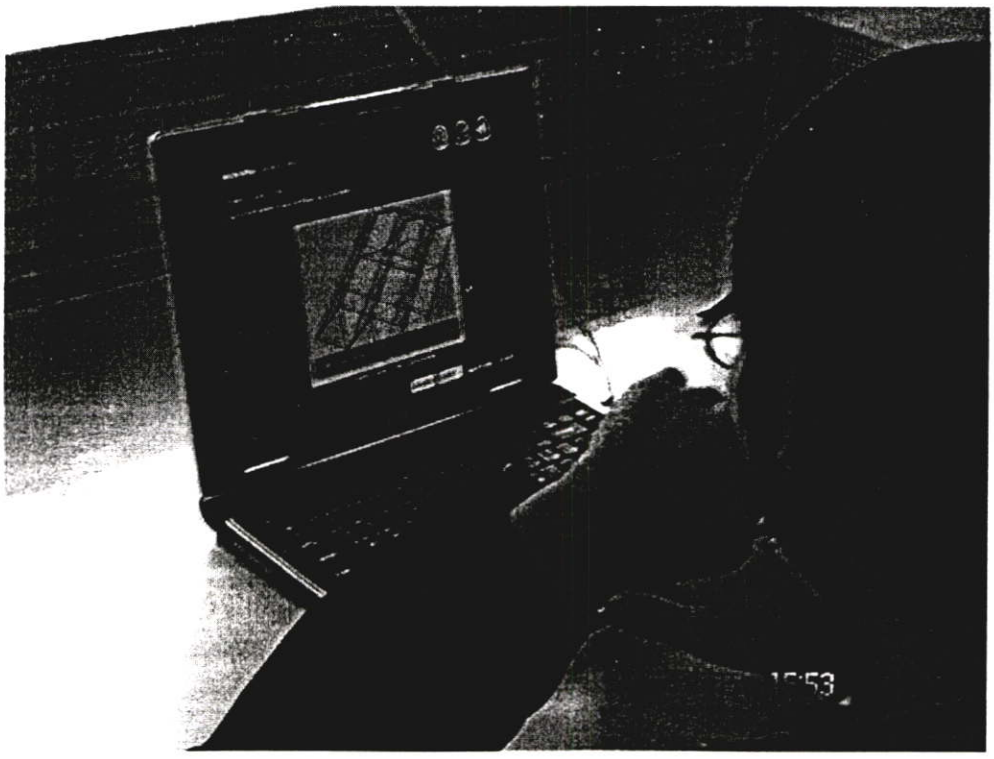
รูปที่ จ.3 ผู้วิจัยอธิบายวิธีการใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง ให้แก่นักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย



รูปที่ จ.4 ผู้วิจัยอธิบายวิธีการใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง ให้แก่นักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย

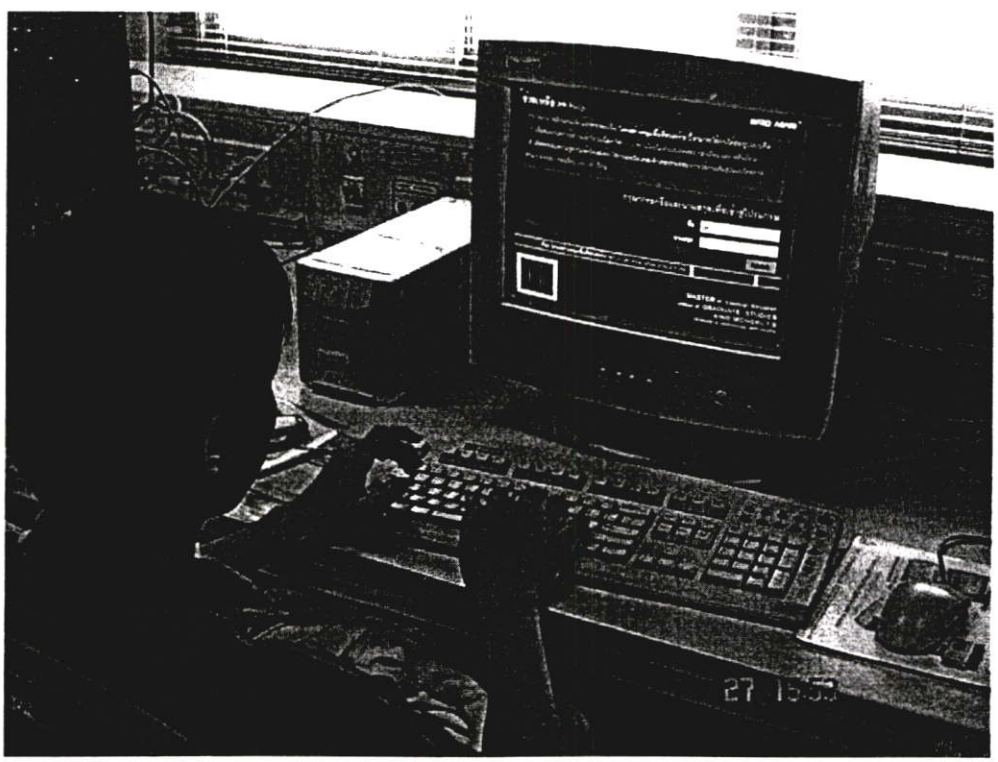


รูปที่ จ.5 นักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย ทำการศึกษาบทเรียนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง จากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง



รูปที่ จ.6 นักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย ทำการศึกษาบทเรียนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง จากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง

รูปที่ จ.7 นักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย ทำแบบทดสอบบทเรียนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง จากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง



รูปที่ จ.8 นักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย ทำแบบทดสอบบทเรียนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง จากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง

รูปที่ จ.9 นักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย ทำแบบทดสอบบทเรียนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง จากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องโครงสร้างคลุมพื้นที่ช่วงกว้าง

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล	นายจารุวัส ศรีภูธร
เกิด	18 ธันวาคม 2522
สถานที่เกิด	จ.ปัตตานี
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท แซฟไฟร์ รีเสิร์ช แอนด์ ดีเวลล็อปเม็นท์ จำกัด
ตำแหน่ง	Project Manager
โทรศัพท์	0-8503-75028
e-mail	pinn_sapphire@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

ระดับอนุบาลศึกษา	โรงเรียน วรคามินอนุสร ปัตตานี
ระดับชั้นประถมศึกษา	โรงเรียน วรคามินอนุสร ปัตตานี
ระดับชั้นมัธยมศึกษา	โรงเรียน เดชะปัตนยานุกูล ปัตตานี
ระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	โรงเรียน เทคโนโลยีลานนา
ระดับปริญญาตรี	สถาบันราชภัฏพระนคร ครุศาสตร์สถาปัตยกรรม
ระดับปริญญาโท(พ.ศ.2546)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาปัตยกรรม