ระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กน้ำหนักเบาราคาประหยัด

นายธีรชาติ คงหอม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIGHT WEIGHT AND COST EFFICIENCY REINFORCED CONCRETE FLOOR SYSTEM

Mr. Teerachart Khonghorm

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กน้ำหนักเบาราคาประหยัด
โดย	นายธีรชาติ คงหอม
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต นิตยะ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เทิดศักดิ์ เตชะกิจขจร)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.สุธีวัน โล่ห์สุวรรณ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ธีรชาติ คงหอม : ระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กน้ำหนักเบาราคาประหยัด (LIGHT WEIGHT AND COST EFFICIENCY REINFORCED CONCRETE FLOOR SYSTEM) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศ. ดร. สุนทร บุญญาธิการ, 123 หน้า.

จากการศึกษาระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กรูปแบบเดิม(Postension) ช่วงยาว 8.00 ม. พบว่าการออกแบบก่อสร้างพื้นมีขนาดค่อนข้างหนาทำให้น้ำหนักบรรทุกตายตัวมีน้ำหนักมากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักบรรทุกจรใช้งาน ตามข้อกำหนดของพระราชบัญญัติการก่อสร้างและข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ทำให้โครงสร้างอาคารทั้งระบบมีความหนาเกินความจำเป็นซึ่งจะส่งผลกระทบดังต่อไปนี้

1. การถ่ายน้ำหนักบรรทุกของตัวอาคารส่งผลต่อฐานรากและเสาเข็ม

2. ระยะเวลาและงบประมาณในการก่อสร้าง

3. พลังงานที่ใช้ในการก่อสร้างและพลังงานที่ใช้ในอาคาร

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบพื้นขนาด ความหนาเท่ากับ 0.05 ม. ความกว้างเท่ากับ 1.20 ม. และความยาวเท่ากับ 8.00 ม. โดยใช้โฟมมาแทนส่วนของคอนกรีตบริเวณใต้ท้องพื้นเพื่อลดน้ำหนักบรรทุกตายตัวได้ 600 กก./ตร.ม. ในราคาค่าก่อสร้างพื้นเท่ากัน เมื่อเทียบกับระบบพื้น Postension ที่มีความหนาเท่ากัน

แนวคิดนี้จึงเป็นการประยุกต์ใช้กับระบบพื้นรูปแบบใหม่เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ผลวิจัยของการออกแบบพื้นรูปแบบใหม่ เปรียบเทียบกับพื้นรูปแบบเดิม พบว่า

1. น้ำหนัก พื้นรูปแบบใหม่และพื้นรูปแบบเดิมมีน้ำหนักเท่ากันน้ำหนักเท่ากัน

2. เวลาในการก่อสร้าง พื้นรูปแบบใหม่เสร็จเร็วกว่าพื้นรูปแบบเดิม จากเดิม 9 วัน เป็น 5 วัน เร็วกว่า 4 วัน (คิดเป็น 89%)

3. งบประมาณในการก่อสร้าง พื้นรูปแบบใหม่ใช้งบประมาณน้อยกว่าพื้นแบบเดิมเท่ากับ 5,077 บาท (คิดเป็น 28%)

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2557

5573335125 : MAJOR ARCHITECTURE
KEYWORDS:

TEERACHART KHONGHORM: LIGHT WEIGHT AND COST EFFICIENCY REINFORCED CONCRETE FLOOR SYSTEM. ADVISOR: PROF. DR. SOONTORN BOONYATIKARN, 123 pp.

From the study of the typical posttension 8-meter concrete slab, it was found that they are generally thick, causing its dead load to be high when compared to its live load, when built according to the Construction Legislation and The Engineering Institute of Thailand (EIT). This led to excessively thick slab system that affects the following:

1. The load bearing of the slabs that changes structure of the groundwork and the pile.

2. The construction budget and completion time.

3. The energy used in construction and building operation.

This study tested a slab with the measurements of 0.05 m thickness, 1.20 m width, and 8 m length. Foam is used to replace the concrete in the bottom of the slab to reduce dead weight by 600 kg/m^2, but construction cost is still the same as the posttension floor system of the same length.

Integrating these concepts to find a new slab type to solve the mentioned issues, it yielded the following results:

1. Weight - the new and old slab systems weigh the same.

2. Construction time - the new design can be constructed 4 days (or 89 percent) faster than the old, from 9 days to 5 days.

3. Construction budget - the new design costs 5,077 baht(or 28 percent) less than the old design.

Department: Architecture Student's Signature .....
Field of Study: Architecture Advisor's Signature .....
Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ จะสำเร็จไม่ได้หากไม่ได้รับความความอนุเคราะห์รวมทั้งสิ่งอำนวยความสะดวกในการดำเนินการต่างๆ จากบุคคลที่เกี่ยวข้องมากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ศ.ดร.สุนทร บุญญาธิการ ที่กรุณาได้ถ่ายทอดองค์ความรู้ทางวิชาการมากมาย รวมทั้งให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำในทุกๆเรื่องไม่ว่าจะในเรื่องของการศึกษาแม้กระทั้งการทำงาน ส่วนวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ก็ได้ความกรุณาในฐานะที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์นี้ และขอขอบคุณ รศ.ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ามาเป็นประธานการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ ผศ.ดร.เทิดศักดิ์ เตชะกิจขจร รศ.ดร.ชวลิต นิตยะ และ ดร.สุธีวัน โล่ห์สุวรรณ ที่กรุณาสละเวลามาร่วมเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ พร้อมทั้งให้คำชี้แนะต่างๆเพื่อเป็นการปรับปรุงแก้ไขในการสอบและทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความกรุณาในการทำการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณอาจารย์และบุคลากรต่างๆ ในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างสูงในการจัดทำวิทยานิพนธ์ เพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยดี และขอขอบคุณ ดี เอ็น เอ รีสอร์ท แอนด์ สปา ในการให้สถานที่ พื้นที่ วัสดุอุปกรณ์ ในการทำงาน ขอบคุณ บริษัท อิตาเลี่ยนไทย ช่างเทคนิคก่อสร้าง รวมทั้งพนักงานทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือมาตลอด 2 ปีที่ผ่านมา และขอขอบคุณ น้องๆร่วมชั้นเรียน ศูนย์เชี่ยวชาญทางเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกคนผู้ร่วมในชะตากรรมเดียวกัน ซึ่งให้การสนับสนุนเป็นกำลังใจและช่วยเหลือกันเสมอตลอดระยะเวลาที่อยู่ด้วยกัน

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่ น้อง ผู้มีพระคุณอีกหลายท่าน ที่ให้อิสระทางความคิด และที่ให้การสนับสนุนทั้งกำลังกาย และกำลังใจ แก่ผู้วิจัยจนกระทั่งสำเร็จบรรลุตามเป้าหมายในชีวิต และให้วิทยานิพนธ์สำเร็จได้ในครั้งนี้ ขอขอบคุณ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญภาพ 10

สารบัญตาราง 15

บทที่ 1 บทนำ 16

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 16

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 18

1.3 ขอบเขตการวิจัย 18

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย 18

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 18

บทที่ 2 ปริทัศน์วรรณกรรม 19

2.1 แนวคิดในการศึกษา 19

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย 19

2.2.1 ทฤษฎีโครงสร้าง 19

2.2.2 ทฤษฎีการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก 42

1) แผนภาพลำดับขั้นตอนการออกแบบ (Design Process) 44

2) มาตรฐาน ข้อกำหนดในการออกแบบ 44

3) น้ำหนักบรรทุก 45

4) การออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Design Method) 52

5) การออกแบบโดยวิธีวิธีกำลัง (Strength Design Method) 53

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

6) การออกแบบและการถ่ายน้ำหนักลงสู่โครงสร้าง 60
2.2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับเทคนิคการก่อสร้าง 67
2.2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับการประมาณราคาการก่อสร้าง 69
2.2.5 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย 71
1) ซีเมนต์และคอนกรีต 71
2) น้ำ (WATER) มาตรฐาน ว.ส.ท. 1007-34 74
3) เหล็กเสริมคอนกรีต 75
4) โฟมเอกส์แพนด์โพลีสไตลีน (EPS) 76
2.2.6 นวัตกรรมการใช้โครงสร้างจากฉนวน [9] 77
2.3 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 78
2.3.1 อาคารโค้งเปลือกบางโครงสร้างโฟม 78
2.3.2 คุรุสัมมนาคาร 79
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย 82
3.1 กรอบแนวคิดของการดำเนินการวิจัย 82
3.2 วิธีการศึกษาและระเบียบวิธีการวิจัย 82
3.3 ประชากรศึกษาและกลุ่มตัวอย่าง 83
3.4 แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย 84
3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 84
3.6 วิธีดำเนินการรวบรวมข้อมูล 85
3.7 วิธีจัดกระทำกับข้อมูล 85
บทที่ 4 ผลของการศึกษาและอภิปรายผล 86
4.1 การศึกษากระบวนการออกแบบและก่อสร้างพื้น 86
4.2 การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบและก่อสร้าง 87

หน้า

4.3 การออกแบบพื้น 88
4.4 ผลการออกแบบและก่อสร้าง 93
4.5 ขบวนการวัดค่าการรับน้ำหนักและตรวจสอบการแอ่นตัว 105
4.5.1 การควบคุมระยะแอ่นตัว 105
4.5.2 การรับน้ำหนัก 107
4.6 ระยะเวลาในการก่อสร้าง 114
4.7 งบประมาณในการก่อสร้าง 115
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 116
5.1 สรุปผล 116
5.2 ข้อเสนอแนะ 116
รายการอ้างอิง 117
ภาคผนวก 119
ภาคผนวก ก ตารางช่วยคำนวณ 120
ภาคผนวก ข หน่วยน้ำหนักโดยประมาณของวัสดุ 121
ภาคผนวก ค-1 จำนวนเส้นและพื้นที่ภาคตัดขวางของเหล็กเสริม 122
ภาคผนวก ค-2 เส้นรอบรูปของเหล็กเสริม 122
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 123

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1.1 อาคารที่อยู่ในเขตควบคุมอาคารจะต้องออกแบบตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร, กฎกระทรวง, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง หรือข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เป็นต้น 16

ภาพที่ 1.2 ระบบพื้นชนิดต่างๆ 17

ภาพที่ 2.1 น้ำหนักบรรทุกตายตัว(Dead Load) [1] 20

ภาพที่ 2.2 น้ำหนักบรรทุกจร(Live Load) [2] 20

ภาพที่ 2.3 แรงต้านทานแรงกระทำ(Reactive Force) [3] 21

ภาพที่ 2.4 แสดงสัญลักษณ์ของฐานรองรับแบบยึดหมุนเคลื่อนที่ได้ (Roller Supports) [3] 22

ภาพที่ 2.5 แสดงฐานรองรับแบบยึดหมุนเคลื่อนที่ได้(Roller Supports) [3] 22

ภาพที่ 2.6 แสดงสัญลักษณ์ของฐานรองรับแบบยึดหมุนเคลื่อนที่ไม่ได้ (Hinge Supports) [3] 23

ภาพที่ 2.7 แสดงฐานรองรับแบบยึดหมุนเคลื่อนที่ไม่ได้ (Hinge Supports) [3] 23

ภาพที่ 2.8 แสดงสัญลักษณ์ของฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed Supports) [3] 24

ภาพที่ 2.9 แสดงฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed Supports) [3] 24

ภาพที่ 2.10 แสดงจุดต่อแบบยึดหมุน (Pinned Joints) [3] 24

ภาพที่ 2.11 แสดงจุดต่อแบบยึดรั้ง (Rigid Joints) [3] 25

ภาพที่ 2.12 แสดงสัญลักษณ์ของน้ำหนักกระทำเป็นจุด [3] 25

ภาพที่ 2.13 แสดงสัญลักษณ์ของน้ำหนักกระทำแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ(Uniform Load) [3] 26

ภาพที่ 2.14 แสดงสัญลักษณ์ของน้ำหนักกระทำแบบแผ่กระจายไม่สม่ำเสมอ(Non-Uniform Load) [3] .. 26

ภาพที่ 2.15 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายหรือโครงสร้างแบบดีเทอร์มิเนท [3] 27

ภาพที่ 2.16 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายหรือโครงสร้างแบบอินดีเทอร์มิเนท [3] 28

ภาพที่ 2.17 แสดงการเขียนผังอิสระของแรง [3] 29

ภาพที่ 2.18 แสดงคานช่วงเดียวธรรมดา [3] 31

ภาพที่ 2.19 แสดงคานยื่น [3] 31

ภาพที่ 2.20 แสดงคานช่วงเดียวปลายยื่น [3] 32
ภาพที่ 2.21 แสดงพฤติกรรมการรับแรง [3] 32
ภาพที่ 2.22 แสดงแรงภายในคานดีเทอร์มิเนท [3] 32
ภาพที่ 2.23 แสดงเครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนแรงในแนวแกน [3] 33
ภาพที่ 2.24 แสดงเครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนแรงเฉือน [3] 33
ภาพที่ 2.25 แสดงเครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนโมเมนต์ดัด [3] 34
ภาพที่ 2.26 แสดงลักษณะแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด [3] 35
ภาพที่ 2.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก แรงเฉือน และโมเมนต์ดัด [3] 36
ภาพที่ 2.28 แสดงการเขียนแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด [3] 38
ภาพที่ 2.29 ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้าง 44
ภาพที่ 2.30 ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้าง [7] 50
ภาพที่ 2.31 แรงลมตามกฎกระทรวง 51
ภาพที่ 2.32 แรงแผ่นดินไหวตามกฎกระทรวง 52
ภาพที่ 2.33 คานรับน้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ดัดจากน้ำหนักบรรทุก 53
ภาพที่ 2.34 หน่วยแรงดัดจากน้ำหนักบรรทุกและหน่วยแรงต้านทาน 54
ภาพที่ 2.35 (a) คานต่อเนื่องมากกว่าสองช่วง (b) คานต่อเนื่องสองช่วง (c) พื้นช่วงยาวไม่เกิน 3 เมตร [7] .. 59
ภาพที่ 2.36 แบบแปลนอาคาร 60
ภาพที่ 2.37 พื้นทางเดียวรับน้ำหนักบรรทุก 60
ภาพที่ 2.38 พื้นทางเดียวรับน้ำหนักบรรทุก 61
ภาพที่ 2.39 (ก) คานรองรับ 2 ด้าน (ข)คานรองรับ 4 ด้าน 61
ภาพที่ 2.40 แบบรูปตัดพื้นทางเดียวตามทิศทางด้านสั้น 61
ภาพที่ 2.41 เหล็กตีนการองรับเหล็กเสริมชั้นบน 62
ภาพที่ 2.42 รูปตัดแผ่นพื้น แสดงการวางเหล็กเสริมคอม้า 62
ภาพที่ 2.43 การเสริมเหล็กคอม้าเส้นเว้นเส้นในพื้นทางเดียว 63

ภาพที่ 2.44 ตัวอย่างรายละเอียดการเสริมเหล็กคอม้าเส้นเว้นเส้นในพื้นทางเดียว 63
ภาพที่ 2.45 พื้นสองทางรับน้ำหนักบรรทุก 63
ภาพที่ 2.46 เหล็กเสริมชั้นล่างในพื้นสองทาง 64
ภาพที่ 2.47 รูปแบบการเสริมเหล็กในพื้นสองทาง 64
ภาพที่ 2.48 ตัวอย่างการเสริมเหล็กในพื้นสองทาง 65
ภาพที่ 2.49 หน้าตัดแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป 65
ภาพที่ 2.50 การยกวางแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป 66
ภาพที่ 2.51 แบบรายละเอียดพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป 66
ภาพที่ 2.52 แบบรายละเอียดพื้นวางบนดิน 67
ภาพที่ 2.53 การก่อสร้างพื้นหล่อในที่ 69
ภาพที่ 2.54 หลักเกณฑ์ในการคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง 70
ภาพที่ 2.55 แสดงกรรมวิธีการผลิตซีเมนต์แบบผสมเหลว ของบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด 72
ภาพที่ 2.56 แสดงกรรมวิธีการผลิตซีเมนต์แบบผสมแห้ง ของบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด 72
ภาพที่ 2.57 ลักษณะของเหล็กเสริมในคอนกรีต 76
ภาพที่ 2.58 แสดง DIAGRAM ของแรงในคาน พื้น และผิวโครงสร้าง (รศ.ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์, 2554).. 77
ภาพที่ 2.59 แสดงการใช้วัสดุก่อสร้างในโครงสร้างพร้อมฉนวนโดยใช้วัสดุที่รับแรงอัดCOMPRESSIVE ด้านบนและวัสดุที่รับแรงดึง TENSILE พร้อมกับการใช้ฉนวนที่มีการยึดผิวทั้งแรงดึงและแรงอัด เพื่อให้ผิวโครงสร้างคงอยู่ได้ตาม DIAGRAM การรับแรง (รศ.ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์, 2554)..... 78
ภาพที่ 2.60 บริเวณภายนอกของอาคารโดมโครงสร้างเปลือกบางด้วยโฟม 79
ภาพที่ 2.61 บริเวณภายในของอาคารโดมโครงสร้างเปลือกบางด้วยโฟม 79
ภาพที่ 2.62 บริเวณภายนอกของคุรุสัมมนาคาร ซึ่งเป็นโครงสร้างเปลือกแข็งบาง 80
ภาพที่ 2.63 บริเวณภายในของคุรุสัมมนาคาร ซึ่งเป็นโครงสร้างเปลือกแข็งบาง 81
ภาพที่ 4.1 รูปด้านหน้าพื้นรูปแบบใหม่ (ขนาด 1.2 x 8.00 ม.) 89
ภาพที่ 4.2 รูปด้านข้างพื้นรูปแบบใหม่ (ขนาด 1.20 x 8.00 ม.) 89

ภาพที่ 4.3 รูปด้านบนพื้นรูปแบบใหม่ (ขนาด 1.20 x 8.00 ม.) 90
ภาพที่ 4.4 รูปตัดพื้นรูปแบบใหม่ (ขนาด 1.20 x 8.00 ม.) 90
ภาพที่ 4.5 รูปตัดพื้นรูปแบบเดิม (ขนาด 1.20 x 8.00 ม.) 91
ภาพที่ 4.6 น้ำหนักพื้นที่ความยาวต่างๆ 91
ภาพที่ 4.7 ขั้นตอนการขนย้ายแผ่นโฟม Eps หนา 10 นิ้ว ยาว 8.00 ม. จากโรงงาน 93
ภาพที่ 4.8 ขั้นตอนการขนย้ายแผ่นโฟม Eps หนา 10 นิ้ว ยาว 8.00 ม. ลงหน้างานทดสอบ 94
ภาพที่ 4.9 แผ่นโฟม Eps หนา 10 นิ้ว ยาว 8.00 ม. 94
ภาพที่ 4.10 ขั้นตอนการปรับพื้นที่ 95
ภาพที่ 4.11 วางผัง กำหนดจุดวางแผ่นพื้นโฟม Eps หนา 10 นิ้ว ยาว 8.00 ม. 95
ภาพที่ 4.12 เข้าแบบพื้นพร้อมค้ำยันแผ่นพื้น 96
ภาพที่ 4.13 ปูแผ่นพลาสติกรองแผ่นพื้นและทาน้ำมัน เสร็จเรียบร้อย 96
ภาพที่ 4.14 วางแผ่นโฟม Eps เข้าในแบบ เรียบร้อย 97
ภาพที่ 4.15 ขั้นตอนการผูกเหล็กเสริมคอนกรีต 97
ภาพที่ 4.16 ตีแบบปิดหัว-ท้าย พร้อมวางเหล็ก DB25 จำนวน 2 เส้น 98
ภาพที่ 4.17 หลังจากผูกเหล็กเรียบร้อย นำมาวางบนแผ่นโฟม Eps 98
ภาพที่ 4.18 รถปูนและรถเครนยกกะบะคอนกรีตสำเร็จ พร้อมหน้างาน 99
ภาพที่ 4.19 เริ่มขั้นตอนการเทคอนกรีต 99
ภาพที่ 4.20 การจี้เขย่าคอนกรีตเพื่อให้คอนกรีตสามารถถูกอัดแน่นในแบบหล่อได้อย่างเต็มที่ 100
ภาพที่ 4.21 ใช้เกรียงไม้ เก็บผิวหน้าพื้นคอนกรีต เพื่อความเรียบร้อยและสวยงาม 100
ภาพที่ 4.22 ขั้นตอนการเทคอนกรีตสำเร็จรูป เสร็จเรียบร้อย 101
ภาพที่ 4.23 หลังจากทิ้งให้แผ่นพื้นแข็งตัว ก็ทำการแกะแบบพร้อมทาน้ำยาบ่มคอนกรีต 101
ภาพที่ 4.24 ตรวจสอบแผ่นพื้นหลังจากอายุครบ 28 วัน 102
ภาพที่ 4.25 แผ่นพื้นพร้อมที่จะถูกยกวางบน Support ที่เตรียมไว้ 102
ภาพที่ 4.26 Support ที่เตรียมไว้ ด้านซ้าย 103

ภาพที่ 4.27 Support ที่เตรียมไว้ ด้านขวา 103

ภาพที่ 4.28 แผ่นพื้นถูงวางไว้บน Support เรียบร้อย 104

ภาพที่ 4.29 ตรวจสอบความเรียบร้อย หลังจากแผ่นพื้นถูกวางเรียบร้อย 104

ภาพที่ 4.30 ตัวอย่างการวางคอนกรีตทรงลูกบาศก์ ขนาด 0.15 x 01.5 x 0.15 ม. น้ำหนัก 8.00 กิโลกรัม ต่อ 1 ก้อน ซึ่งจะนำมาทดสอบ โดยการแทนน้ำหนัก Live Load = 200 กก./ตร.ม. 107

ภาพที่ 4.31 ตัวอย่างการวางคอนกรีตทรงลูกบาศก์ ขนาด 0.15 x 01.5 x 0.15 ม. น้ำหนักเฉลี่ย 8.00 กิโลกรัม ต่อ 1 ก้อน ซึ่งจะนำมาทดสอบ โดยการแทนน้ำหนัก Live Load = 200 กก./ตร.ม. ... 108

ภาพที่ 4.32 ทำการเชื่อมอุปกรณ์ตรวจสอบการแอ่นตัวของแผ่นพื้น 108

ภาพที่ 4.33 ขึงเส้นเอ็น เพื่อตรวจสอบการแอ่นตัวของแผ่นพื้น 109

ภาพที่ 4.34 วัดระยะทุกๆ 1.00 ม. เพื่อวางก้อนทดสอบ 109

ภาพที่ 4.35 หลังจากได้ระยะทุกๆ 1.00 ม. ก็ทำการตีเส้นแบ่งเป็น 8 ส่วน 110

ภาพที่ 4.36 ตรวจสอบความยาวของแผ่นพื้น เท่ากับ 8.00 ม. 110

ภาพที่ 4.37 ชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่างคอนกรีต 111

ภาพที่ 4.38 ชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่างคอนกรีต 111

ภาพที่ 4.39 วางแท่งคอนกรีต โดยแต่ละส่วนรับน้ำหนัก LL=200 Kg./m^2 112

ภาพที่ 4.40 ตรวจสอบการแอ่นตัวของแผ่นพื้น ที่ระยะ 4.00 ม. เท่ากับ 15.0 มม. 112

ภาพที่ 4.41 วางแท่งคอนกรีต โดยแต่ละส่วนรับน้ำหนัก LL=248 Kg./m^2 113

ภาพที่ 4.42 ตรวจสอบการแอ่นตัวของแผ่นพื้น ที่ระยะ 4.00 ม. เท่ากับ 1.9 ซม. 113

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 หน่วยน้ำหนักของวัสดุ 46
ตารางที่ 2.2 น้ำหนักบรรทุกจรตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 47
ตารางที่ 2.3 น้ำหนักบรรทุกจร (L_0) ตามข้อกำหนด ASCE 7 48
ตารางที่ 2.4 การลดน้ำหนักบรรทุกจรตามชั้นของอาคาร 49
ตารางที่ 2.5 แรงดันลมตามกฎกระทรวง 51
ตารางที่ 2.6 ตัวคูณเพิ่มน้ำหนัก U ตามมาตรฐาน ACI 318-11 56
ตารางที่ 2.7 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการวางเหล็กเสริม 57
ตารางที่ 2.8 ค่าโมเมนต์และแรงเฉือนโดยใช้สัมประสิทธิ์ของ ACI 58
ตารางที่ 2.9 ประเภทอาคารและระยะเวลาในการถอดแบบหล่อ 68
ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินการวิจัย 83
ตารางที่ 3.2 จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยทั้งสิ้น 84
ตารางที่ 4.1 น้ำหนักแผ่นพื้น 91
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบรายการคำนวณของพื้นทั้งสองรูปแบบ 92
ตารางที่ 4.3 ความลึกน้อยที่สุดของคานตามมาตรฐาน ACI 106
ตารางที่ 4.4 ค่าสูงสุดที่ยอมให้ของระยะแอ่นที่คำนวณได้ 106
ตารางที่ 4.5 ระยะเวลาในการก่อสร้าง 114
ตารางที่ 4.6 งบประมาณในการก่อสร้างของพื้นรูปแบบใหม่และพื้นรูปแบบใหม่ 115

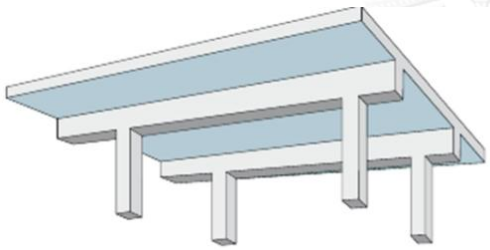
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

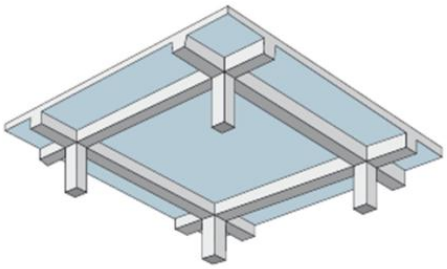
ปัจจุบันอาคารส่วนใหญ่เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก การออกแบบยังใช้หลักการออกแบบและก่อสร้าง ตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร กฎกระทรวง และวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ หรือข้อกำหนดที่มีผลบังคับใช้ในแต่ละท้องที่ตามความเหมาะสม เช่น ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เทศบัญญัติ เป็นต้น

ภาพที่ 1.1 อาคารที่อยู่ในเขตควบคุมอาคารจะต้องออกแบบตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร, กฎกระทรวง, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง หรือข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เป็นต้น

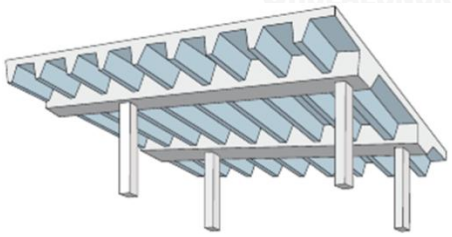
ทั้งนี้เพื่อความแข็งแรงและปลอดภัยการออกแบบที่มีการเผื่อค่ากำลังหรือ อัตราส่วนความปลอดภัยของโครงสร้างค่อนข้างสูงและที่สำคัญรูปแบบของการออกแบบพื้น ไม่ว่าจะเป็นพื้นทางเดียว (one way slab), พื้นสองทาง (two way slab), พื้นระบบตง(Ribbed, Joist Slab), พื้นกระทง(Waffle slabs) หรือแม้กระทั้งพื้นสำเร็จก็จะยึดติดกับรูปแบบเดิมๆ คือ การออกแบบคานที่จะมารองรับพื้นจะเน้นความกว้างสุดและความยาวสุดของช่วงเสา ที่ผ่านมาการออกแบบแบบนี้ก็เพื่อที่จะทำให้มีช่วงเสายาวๆและจำนวนเสาน้อยลงแต่ก็จะส่งผลต่อ ความหนาของพื้นและขนาดของคานที่ใหญ่ขึ้น ส่งผลต่อน้ำหนักของอาคารและสิ่งที่จะตามมาก็คือ ระยะเวลาในการก่อสร้าง ต้นทุนในการก่อสร้างและที่สำคัญการออกแบบไม่คำนึงถึงการออกแบบที่จะทำให้อาคารประหยัดพลังงาน จากที่กล่าวมามีหลักการออกแบบและก่อสร้างอีกหลายวิธี ที่จะทำให้ช่วงเสามีระยะห่างกันได้มากขึ้นและใช้จำนวนเสาที่น้อยลง จึงมีแนวคิดที่จะออกแบบ ที่จะทำให้ลดน้ำหนักอาคารลง ลดระยะเวลาในการก่อสร้าง ลดต้นทุนในการก่อสร้างและที่สำคัญลดการใช้พลังงานในอาคาร



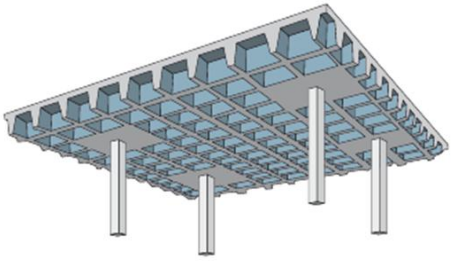
(ก) พื้นทางเดียว (one way slab)



(ข) พื้นสองทาง (two way slab)



(ค) พื้นตง (Ribbed slabs)



(ง) พื้นกระทง (Waffle slabs)

ภาพที่ 1.2 ระบบพื้นชนิดต่างๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn Un

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาวิธีการออกแบบและก่อสร้างพื้นรูปแบบเดิมที่นิยมใช้ในปัจจุบัน
2. หาวิธีการปรับปรุง พัฒนา พื้นรูปแบบเดิม
3. แนวทางการออกแบบพื้นรูปแบบใหม่

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาเฉพาะพื้นทางเดียว (one way slab) ช่วงเดียวและมีความกว้าง 1.20 ม. ของพื้นรูปแบบเดิมเพื่อนำมาออกแบบเป็นพื้นรูปแบบใหม่ ที่เป็นพื้นทางเดียว (one way slab) จำนวน 1 ช่วง และมีความกว้าง 1.20 ม. ยาว 8.00 ม.

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1. ศึกษาวิธีการการออกแบบและก่อสร้างพื้นรูปแบบเดิม ด้วยวิธีการศึกษาจากข้อกำหนดและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง รวมถึงรายการคำนวณโครงสร้าง งบประมาณในการก่อสร้าง เทคนิคการก่อสร้างรูปแบบพื้น เวลาในการก่อสร้างและอุณหภูมิพื้นผิวของพื้นรูปแบบเดิม

2. หาวิธีการปรับปรุงพื้นรูปแบบเดิม โดยการวิเคราะห์ตัวแปร ที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบและก่อสร้างพื้นรูปแบบเดิม เสนอรูปแบบ วิธีการออกแบบและก่อสร้างพื้นรูปแบบใหม่ ที่ได้พัฒนาจากรายการคำนวณโครงสร้างและเทคนิคการก่อสร้าง ก่อสร้างพื้นรูปแบบใหม่ ทดสอบความแข็งแรงของพื้น และวัดค่าต่างๆเพื่อเก็บเป็นข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียและข้อจำกัดของพื้นรูปแบบใหม่และพื้นรูปแบบเดิม

3. สรุปผลและแนวทางในการออกแบบพื้นรูปแบบใหม่

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. หลักการ แนวคิด ทฤษฎี รูปแบบของการออกแบบและก่อสร้างพื้น
2. ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบพื้น
3. พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กรูปแบบใหม่

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรม

2.1 แนวคิดในการศึกษา

แนวคิดในการออกแบบ ระบบพื้น คอนกรีตเสริมเหล็ก (ค.ส.ล.) น้ำหนักเบาราคาประหยัด เพื่อลดน้ำหนักอาคาร ลดต้นทุนการก่อสร้าง ลดระยะเวลาในการก่อสร้าง และที่สำคัญลดการใช้พลังงานในอาคารอันเนื่องมาจากความร้อนที่ผ่านเข้ามาในตัวอาคาร โดยออกแบบเป็นพื้นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว(one way slab) ความกว้าง 1.20 ม. ความยาว 8.00 ม. โดยมีคานรองรับพื้นที่ขอบพื้นและโฟมตลอดความยาวของแผ่นพื้น วัตถุประสงค์ก็เพื่อลดความหนาของพื้น ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของ พรบ.การก่อสร้างและข้อกำหนดของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) ที่กล่าวว่า อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของพื้นต้องไม่เกิน L/25 จากที่กล่าวมาทำให้พื้นรูปแบบใหม่นี้ มีความหนาน้อยมากเมื่อเทียบกับพื้นรูปแบบเดิมอีกทั้งโฟมทำหน้าที่เป็นเสมือนไม้แบบ โดยมีตัวแปรที่นำมาพิจารณาในการออกแบบพื้นรูปแบบใหม่ดังนี้

1. น้ำหนักบรรทุก (น้ำหนักจรและน้ำหนักคงที่)
2. รูปแบบพื้น (one way)
3. ความกว้างพื้น, ความหนาพื้น, ความยาวพื้น (ม.)
4. ช่วงของพื้น (1 ช่วง)
5. ประเภทและขนาดของเหล็กเสริม

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

2.2.1 ทฤษฎีโครงสร้าง

ก. แรงที่กระทำต่อโครงสร้าง

แรงที่กระทำต่อโครงสร้างโดยทั่วไปจะมีอยู่ 2 ชนิด คือ

1) แรงกระทำ (Active Force)

แรงกระทำ หมายถึง น้ำหนักของโครงสร้างเองหรือน้ำหนักบรรทุกที่กระทำบนโครงสร้าง ซึ่งน้ำหนักบรรทุกที่กระทำบนโครงสร้างยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ น้ำหนักบรรทุกแบบตายตัว (Dead Load) เช่น น้ำหนักของแผ่นพื้น, ผนังถ่ายลงคาน, น้ำหนักกระเบื้องมุงหลังคาถ่ายลงบนแป เป็นต้น ดังภาพที่ 2.1 และน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) เช่น น้ำหนักของคนที่ใช้อาคาร โต๊ะ ตู้ที่วางบนอาคาร และแรงลม เป็นต้น ดังภาพที่ 2.2

ภาพที่ 2.1 น้ำหนักบรรทุกตายตัว(Dead Load) [1]

ภาพที่ 2.2 น้ำหนักบรรทุกจร(Live Load) [2]

2) แรงต้านทานแรงกระทำ (Reactive Force)

แรงต้านทานแรงกระทำ เป็นแรงที่เกิดขึ้นบริเวณฐานรองรับ เพื่อให้เกิดสภาวะสมดุล(Equilibrium) โดยทั่วไปจะเรียกว่า แรงปฏิกิริยา(Reaction) ซึ่งแรงปฏิกิริยาจะกระทำใน แนวตั้งฉากและแนวขนานกับฐานรองรับ นอกจากนี้แล้วยังมีโมเมนต์ดัดอีกหนึ่งตัวที่เกิดขึ้นคล้ายกับแรงปฏิกิริยา โดยโมเมนต์ดัดจะต้านทานต่อการหมุนหรือการดัดโค้งของโครงสร้างอันเนื่องมาจากแรงกระทำ ดังภาพที่ 2.3

ภาพที่ 2.3 แรงต้านทานแรงกระทำ(Reactive Force) [3]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ข. ฐานรองรับ (Supports)

ฐานรองรับของโครงสร้างจริงมีหลายรูปแบบ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภท ให้โครงสร้างเกิดการสมดุล มีความมั่นคง แข็งแรง ในการวิเคราะห์หาค่าแรงต่างๆ ของโครงสร้าง เพื่อออกแบบส่วนต่างๆ ของอาคาร จะต้องมีการกำหนดสัญลักษณ์ และเครื่องหมายสำหรับฐานรองรับแต่ละแบบ เพื่อความเข้าใจที่ตรงกันและสะดวกในการคำนวณ ฐานรองรับของโครงสร้างมีหลายรูปแบบ ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะฐานรองรับที่สำคัญ ซึ่งเป็นพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ขั้นสูงต่อไป ชนิดของฐานรองรับ สำหรับโครงสร้างโดยทั่ว ๆ ไปแบ่งออกเป็น 3 ชนิดดังนี้

1) ฐานรองรับแบบยึดหมุนเคลื่อนที่ได้ (Roller Supports)

ฐานรองรับแบบนี้ยอมให้เกิดการหมุนได้รอบแกน ค่าของโมเมนต์ดัดที่ฐานรองรับแบบนี้จึงเป็นศูนย์ หรือที่รองรับแบบนี้ไม่สามารถรับโมเมนต์ดัดได้นั่นเอง นอกจากนี้ฐานรองรับแบบนี้ยั งยอมให้มีการเคลื่อนที่ได้ตามแนวขนานกับฐานรองรับ จึงไม่สามารถรับแรงตามแนวขนานกับฐานรองรับหรือตามแนวนอนได้ เพราะฉะนั้นฐานรองรับแบบนี้จึงสามารถรับแรงได้เพียงแรงเดียว คือ แรงตามแนวตั้งฉากกับฐานรองรับ หรือตามแนวดิ่งเท่านั้น

ภาพที่ 2.4 แสดงสัญลักษณ์ของฐานรองรับแบบยึดหมุนเคลื่อนที่ได้ (Roller Supports) [3]

ภาพที่ 2.5 แสดงฐานรองรับแบบยึดหมุนเคลื่อนที่ได้(Roller Supports) [3]

2) ฐานรองรับแบบยึดหมุนเคลื่อนที่ไม่ได้ (Hinge Supports)

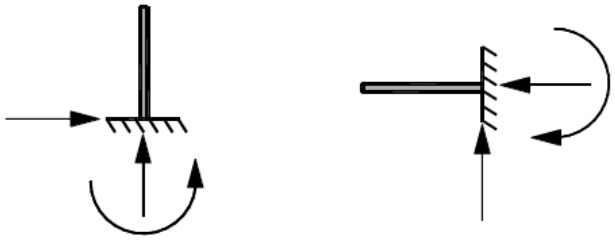
ฐานรองรับแบบยึดหมุนเคลื่อนที่ไม่ได้ หรือบางครั้งเรียกว่า ฐานรองรับแบบบานพับ ซึ่งฐานรองรับแบบนี้จะไม่ยอมให้เกิดการเคลื่อนที่ทั้งในแนวขนานและตั้งฉากกับฐานรองรับ แต่จะยอมให้เกิดหมุนได้รอบแกน ดังนั้นฐานรองรับแบบนี้จึงสามารถรับแรงได้ 2 แรง คือ แรงตามแนวขนานกับฐานรองรับหรือแนวนอน และแรงตามแนวตั้งฉากกับฐานรองรับหรือแนวดิ่ง แต่ไม่สามารถรับโมเมนต์ดัดได้หรือโมเมนต์ดัดมีค่าเป็นศูนย์นั่นเอง

ภาพที่ 2.6 แสดงสัญลักษณ์ของฐานรองรับแบบยึดหมุนเคลื่อนที่ไม่ได้ (Hinge Supports) [3]

ภาพที่ 2.7 แสดงฐานรองรับแบบยึดหมุนเคลื่อนที่ไม่ได้ (Hinge Supports) [3]

3) ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed Supports)

ฐานรองรับแบบนี้จะยึดแน่นอยู่กับที่ไม่ยอมให้มีการหมุน หรือมีการเคลื่อนที่ใดๆ ทั้งสิ้น ดังนั้นจึงสามารถรับแรงได้ทั้งแนวขนานกับฐานรองรับ แนวตั้งฉากกับฐานรองรับ และยังสามารถรับโมเมนต์ดัดได้อีกด้วย

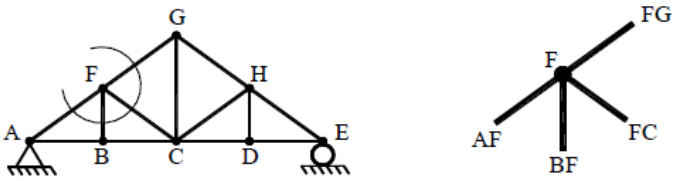


ภาพที่ 2.8 แสดงสัญลักษณ์ของฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed Supports) [3]

ภาพที่ 2.9 แสดงฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed Supports) [3]

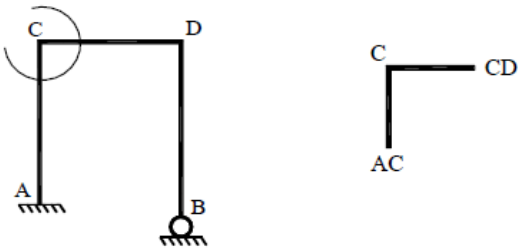
นอกจากฐานรองรับทั้ง 3 แบบตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีจุดต่อ(Joints) ของโครงสร้างที่ใช้กับโครงข้อหมุนหรือโครงถัก(Trusses) และโครงข้อแข็งหรือโครงเกร็ง(Rigid Frames) เพื่อให้ชิ้นส่วนของโครงสร้างหรือองค์อาคาร(Members) มาต่อยึดเข้าด้วยกัน ซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือ

1. จุดต่อแบบยึดหมุน (Pinned Joints) จุดต่อแบบนี้จะถ่ายแรงจากองค์อาคารหนึ่งไปยังอีกองค์อาคารหนึ่ง แต่จะไม่มีการถ่ายโมเมนต์ดัด เพราะฉะนั้นค่าโมเมนต์ดัดที่จุดต่อนี้จะมีค่าเป็นศูนย์ (M = 0) จุดต่อแบบนี้จะใช้กับโครงสร้างที่เป็นโครงสร้างข้อหมุนหรือโครงถัก (Trusses)



ภาพที่ 2.10 แสดงจุดต่อแบบยึดหมุน (Pinned Joints) [3]

2. จุดต่อแบบยึดรั้ง (Rigid Joints) จุดต่อแบบนี้จะถ่ายโมเมนต์ดัดจากองค์อาคารหนึ่งไปยังอีกองค์อาคารหนึ่ง เพราะฉะนั้นค่าโมเมนต์ดัดที่จุดต่อนี้ จะไม่เท่ากับศูนย์ ($M \neq 0$) ถ้าองค์อาคารใดองค์อาคารหนึ่งตรงจุดต่อนี้หมุนไปเป็นมุมเท่าใดองค์อาคารอื่นๆ ที่อยู่ที่จุดต่อเดียวกันจะหมุนไปในทิศทางเดียวกันและขนาดมุมที่เท่ากันด้วย จุดต่อแบบนี้จะใช้กับโครงสร้างที่เป็นโครงข้อแข็งหรือโครงเกร็ง (Rigid Frames)



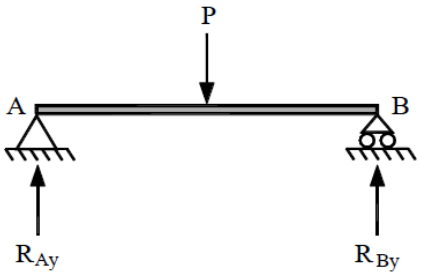
ภาพที่ 2.11 แสดงจุดต่อแบบยึดรั้ง (Rigid Joints) [3]

ค. น้ำหนักบรรทุกบนโครงสร้าง (Load)

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้าง อาจเป็นน้ำหนักของตั วโครงสร้างเองหรือน้ำหนักภายนอกที่มากระทำ เช่น น้ำหนักของผู้คนที่ใช้อาคาร น้ำหนักสิ่งของต่างๆ แรงลม เป็นต้น น้ำหนักบรรทุกบนโครงสร้างที่จะใช้สำหรับการวิเคราะห์หาค่าแรงต่างๆ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

1) น้ำหนักกระทำเป็นจุด (Point Load หรือ Concentrated Load)

น้ำหนักที่กระทำเป็นจุด เป็นน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้างบนพื้นที่ที่มีขนาดเล็กๆ จนถือว่าเป็นจุดได้ เช่น น้ำหนักจากแปถ่ายลงบนจันทัน น้ำหนักจากคานถ่ายลงสู่เสา เป็นต้น

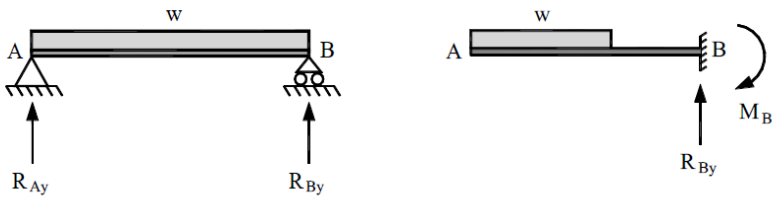


ภาพที่ 2.12 แสดงสัญลักษณ์ของน้ำหนักกระทำเป็นจุด [3]

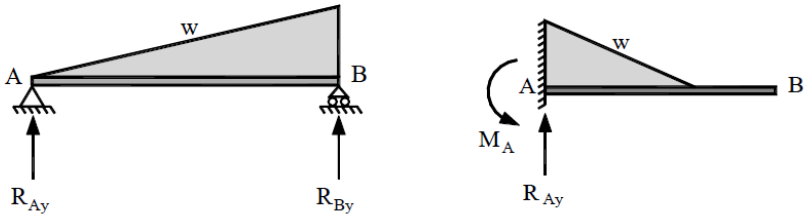
2) น้ำหนักกระทำแบบแผ่กระจาย (Distributed Load)

น้ำหนักกระทำแบบแผ่กระจาย เป็นน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้างเป็นบริเวณกว้าง อาจจะเป็นบางส่วนหรือทั้งหมดของโครงสร้างก็ได้ เช่น น้ำหนักของผนังที่ถ่ายลงบนคาน น้ำหนักของกระเบื้องถ่ายลงบนแป หรือแรงลมที่กระทำต่อผนังของอาคาร เป็นต้น น้ำหนักแบบแผ่

กระจายยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ น้ำหนักกระทำแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ และน้ำหนักกระทำแบบแผ่กระจายไม่สม่ำเสมอคืออาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างสม่ำเสมอก็ได้



ภาพที่ 2.13 แสดงสัญลักษณ์ของน้ำหนักกระทำแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ(Uniform Load) [3]



ภาพที่ 2.14 แสดงสัญลักษณ์ของน้ำหนักกระทำแบบแผ่กระจายไม่สม่ำเสมอ(Non-Uniform Load) [3]

ง. สมการสมดุล (Equilibrium Equations)

ในทางสถิตยศาสตร์ การสมดุล (Equilibrium) หมายถึง สภาวะที่วัตถุหรือโครงสร้างอยู่นิ่งกับที่ไม่มีการเคลื่อนที่ใดๆ เมื่อมีแรงมากระทำภายใต้สภาวะสมดุลนี้ตามกฎข้อที่สามของ นิวตันจะได้สมการสมดุล 3 สมการ ได้แก่

$\sum Fx = 0$ หมายถึง ผลรวมทางพีชคณิตของแรงตามแนวนอนหรือแนวแกน x มีค่าเท่ากับศูนย์

$\sum Fy = 0$ หมายถึง ผลรวมทางพีชคณิตของแรงตามแนวดิ่งหรือแนวแกน y มีค่าเท่ากับศูนย์

$\sum M = 0$ หมายถึง ผลรวมทางพีชคณิตของโมเมนต์ของแรงรอบจุดใดๆ มีค่าเท่ากับศูนย์

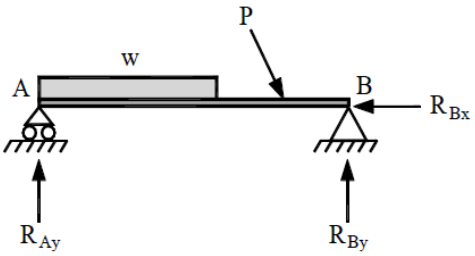
จ. ประเภทของโครงสร้าง (Type of Structure)

โครงสร้างที่มีอยู่ทั่วไปมีหลากหลายรูปแบบเพื่อการใช้งานหลากหลายวัตถุประสงค์โครงสร้างบางชนิด สร้างขึ้นอย่างง่ายๆ ก็เพียงพอที่จะให้เกิดการใช้งานอย่างปลอดภัย แต่โครงสร้างบางประเภทก็ต้องสร้างขึ้นอย่างพิถีพิถัน มีความยุ่งยากซับซ้อนมากขึ้น เพื่อการใช้งานที่

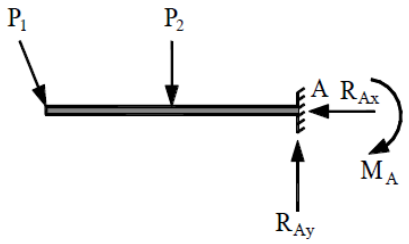
ปลอดภัย เช่น โครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ และรับแรงมากขึ้น โครงสร้างโดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) โครงสร้างอย่างง่ายหรือโครงสร้างแบบดีเทอร์มิเนท (Determinate Structure)

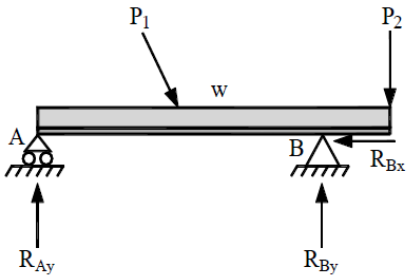
โครงสร้างประเภทนี้จะมีแรงปฏิกิริยาและโมเมนต์ต้านทานต่างๆ หรือที่เรียกว่าตัวไม่ทราบค่า (Unknown) ไม่เกินจำนวนสมการสมดุล ซึ่งจะมีฐานรองรับที่ทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาพอดีที่จะทำให้โครงสร้างนั้นมีเสถียรภาพหรือทรงตัวอยู่ได้ (Stable) ถ้าเอาฐานรองรับตัวใดตัวหนึ่งของโครงสร้างออกไปโครงสร้างนั้นจะไม่มีเสถียรภาพหรือทรงตัวอยู่ไม่ได้ (Unstable) โครงสร้างชนิดนี้สามารถวิเคราะห์หาค่าแรงปฏิกิริยาและโมเมนต์ต้านทานต่างๆ ได้โดยใช้สมการสมดุลตามลำพัง



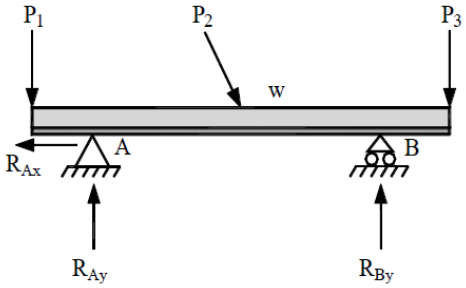
ก.คานช่วงเดียวธรรมดา



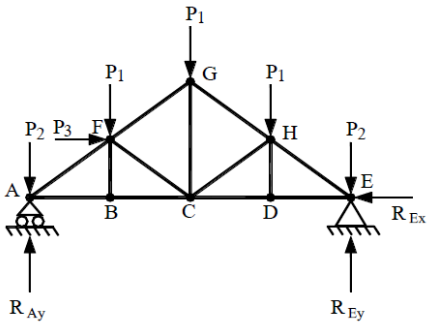
ข.คานยื่น



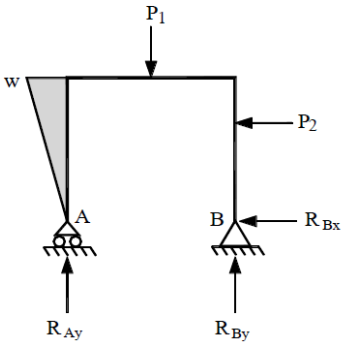
ค.คานช่วงเดียวธรรมดาปลายยื่นข้างเดียว



ง.คานช่วงเดียวธรรมดาปลายยื่นสองข้าง



จ.โครงข้อหมุนหรือโครงถัก

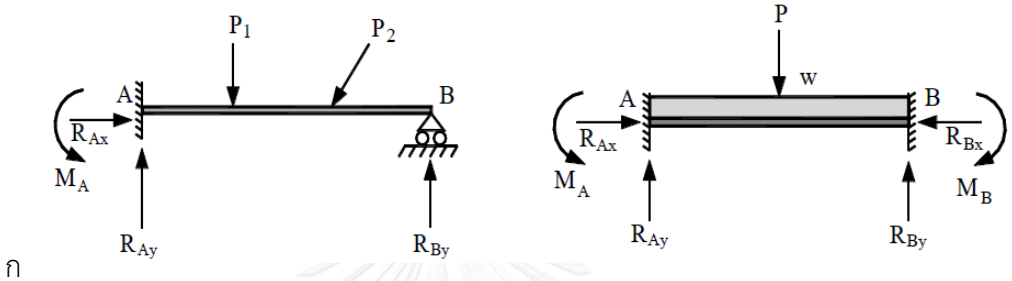


ฉ.โครงข้อแข็งหรือโครงเกร็ง

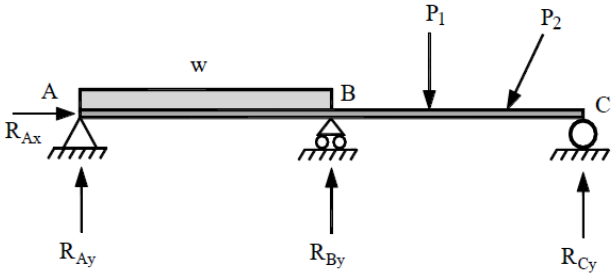
ภาพที่ 2.15 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายหรือโครงสร้างแบบดีเทอร์มิเนท [3]

2) โครงสร้างอย่างยากหรือโครงสร้างแบบอินดีเทอร์มิเนท (Indeterminate Structure)

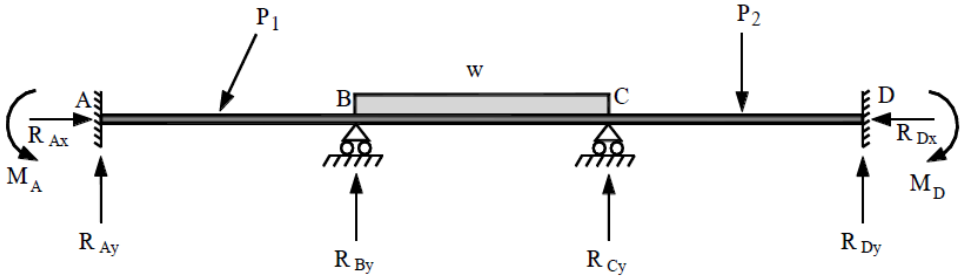
โครงสร้างประเภทนี้จะมีจำนวนของแรงปฏิกิริยาและโมเมนต์ต้านทานต่างๆ หรือตัวไม่ทราบค่า (Unknown) เกินกว่าจำนวนของสมการสมดุลจึงไม่สามารถวิเคราะห์หาค่าแรงต่างๆ โดยใช้สมการสมดุลเพียงลำพังได้ จำนวนตัวไม่ทราบค่าที่เกินจากจำนวนสมการสมดุลนี้เรียกว่า ดีกรีของความยาก (Degree of Statically Indeterminancy ; SI) เช่น ถ้าจำนวนตัวไม่ทราบค่าเกินไป 1 ตัว เรียกว่า มีดีกรีความยากเท่ากับหนึ่ง หรือ 1° SI เป็นต้น



ก .คานช่วงเดียว 1° SI ข.คานช่วงเดียว 2° SI



ค.คานต่อเนื่อง 1° SI



ง.คานต่อเนื่อง 5° SI

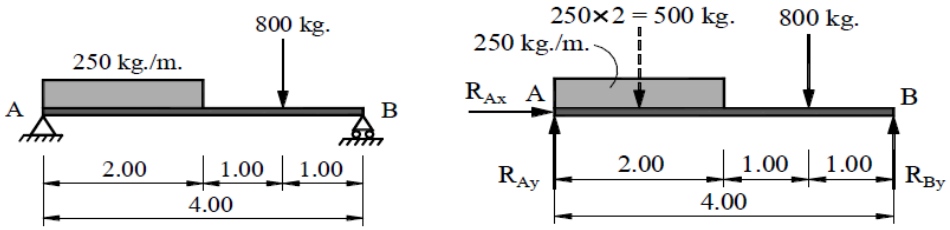
ภาพที่ 2.16 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายหรือโครงสร้างแบบอินดีเทอร์มิเนท [3]

ฉ. แรงปฏิกิริยา (Reaction)

แรงปฏิกิริยา (Reaction) เป็นแรงต้านแรงกระทำซึ่งเกิดบริเวณฐานรองรับของโครงสร้างเพื่อให้เกิดการสมดุลในโครงสร้างขึ้น การวิเคราะห์หาค่าแรงปฏิกิริยาเป็นสิ่งสาคัญอย่างยิ่ง เพราะค่าแรงปฏิกิริยาจะเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์หาค่าแรงอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างและการคำนวณออกแบบส่วนของโครงสร้างต่อไป ดังนั้นต้องศึกษารายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องรวมทั้งขั้นตอนการคำนวณ เพื่อให้สามารถวิเคราะห์หาค่าแรงปฏิกิริยาได้อย่างถูกต้อง และนำไปออกแบบโครงสร้างได้อย่างถูกต้องเหมาะสม มีความปลอดภัยในการใช้งานต่อไป

1) ผังอิสระของแรง (Free Body Diagram)

ตัวย่อของผังอิสระของแรงใช้ F.B.D. การเขียนผังอิสระของแรงจะเป็นการใส่สัญลักษณ์ของแรงปฏิกิริยาตรงฐานรองรับ และเขียนแรงกระทำลงบนรูปอิสระตามที่กำหนด ถ้าแรงกระทำเป็นแรงเอียงก็ทำการ แตกแรงให้เรียบร้อย การเขียน ผังอิสระของแรงนี้จะเป็นประโยชน์มากสำหรับการพิจารณาแรงต่างๆ ให้ครบถ้วน สะดวกในการวิเคราะห์หาค่าแรงและการตรวจสอบ ตัวอย่างการเขียนผังอิสระ เช่น



ก. Loading Diagram (L.D.) ข. Free Body Diagram (F.B.D.)

ภาพที่ 2.17 แสดงการเขียนผังอิสระของแรง [3]

2) ขั้นตอนการหาแรงปฏิกิริยาในโครงสร้างแบบง่ายหรือแบบดีเทอร์มิเนท

การหาแรงปฏิกิริยาของโครงสร้างแบบง่ายหรือแบบดีเทอร์มิเนท หาได้ 2 วิธี คือ โดยการเขียนรูป (Graphical Method) และการคำนวณ (Analitical Method) สำหรับวิธีการเขียนรูปนั้นไม่ค่อยได้รับความนิยมเพราะไม่ค่อยแม่นยำ และผิดพลาดได้ง่าย ในที่นี้จึงกล่าวถึงวิธีการคำนวณเท่านั้น ซึ่งทำได้โดยการใช้สมการสมดุลทั้ง 3 สมการในการวิเคราะห์ตามขั้นตอนดังนี้

ก) พิจารณาฐานรองรับของโครงสร้างว่าเป็นแบบใด แล้วใส่สัญลักษณะของแรงปฏิกิริยาตามแบบของฐานรองรับพร้อมทั้งสมมุติทิศทางของแรงปฏิกิริยา ถ้าสมมุติไม่ถูกค่าแรงปฏิกิริยาที่ได้จะมีค่าเป็นลบก็ทำการกลับหัวลูกศรหรือทิศทางของแรงปฏิกิริยาก็จะได้ทิศทางที่ถูกต้อง

ข) พิจารณาน้ำหนักบรรทุกที่กระทำบนโครงสร้าง ถ้ามีแรงที่กระทำในแนวเอียงให้ทำการแตกแรงเอียงนั้นให้อยู่ในแนวแกน X และแกน Y สำหรับน้ำหนักบรรทุกชนิดแผ่กระจายให้ทำการรวมแรงและแรงลัพธ์ที่ได้จะกระทำผ่านจุดศูนย์กลางของน้ำหนักแผ่กระจายนั้น

ค) ใช้สมการสมดุลทั้ง 3 สมการ วิเคราะห์หาค่าแรงปฏิกิริยาและโมเมนต์ ต้านทานที่เกิดขึ้นบริเวณฐานรองรับ

ง) ตรวจสอบความถูกต้อง แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งและแนวนอนรวมทั้งโมเมนต์ดัด โดยใช้สมการสมดุลทั้ง 3 สมการ

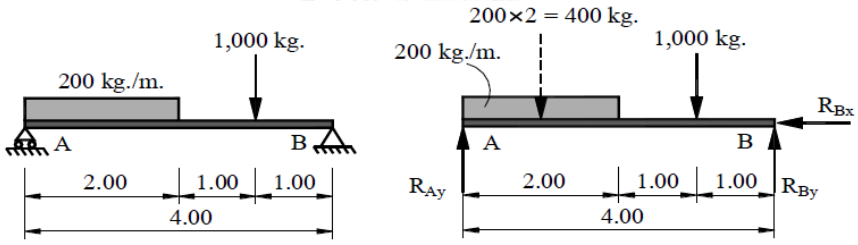
3) การคำนวณหาค่าแรงปฏิกิริยาของโครงสร้าง

ในที่นี้จะกล่าวถึง การหาแรงปฏิกิริยาในโครงสร้างแบบง่ายหรือแบบ ดีเทอร์มิเนท โดยมีน้ำหนักกระทำบนโครงสร้าง ในลักษณะต่างๆ ได้แก่ น้ำหนักกระทำเป็นจุด (Point Load) น้ำหนักแผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอ (Uniformly Distributed Load) น้ำหนักแผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอในทางเพิ่มขึ้นหรือลดลง (Uniformly Varying Distributed Load) และแรงคู่ควบ (Couples) หรือโมเมนต์ดัดที่กระทำต่อโครงสร้าง ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง การหาแรงปฏิกิริยาของคานช่วงเดียว

แรงปฏิกิริยาของคานช่วงเดียว ความยาว 4.00 ม. รับน้ำหนักแผ่กระจายสม่ำเสมอและน้ำหนักกระทำเป็นจุด ดังแสดงในรูป

วิธีทำ



Loading Diagram (L.D.) Free Body Diagram (F.B.D.)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หา R_{Ay} ; กำหนดให้จุด B เป็นจุดหมุน

$\sum M_B = 0$ ⟲+ ;

$(R_{Ay} \times 4) - (200 \times 2 \times 3) - (1{,}000 \times 1) = 0$

$4 R_{Ay} - 1{,}200 - 1{,}000 = 0$

$4R_{Ay} = 1{,}000 + 1{,}200$

$R_{Ay} = \dfrac{(1{,}000 + 1{,}200)}{4}$

$\therefore \quad R_{Ay} = 550 \text{ kg.} \uparrow$

หา R_{By}

$\sum F_y = 0$; ↑+

$R_{Ay} + R_{By} - (200 \times 2) - 1{,}000 = 0$

$550 + R_{By} - 400 - 1{,}000 = 0$

$$R_{By} = 1{,}000 + 400 - 500$$

$$\therefore \quad R_{By} = 850 \text{ kg.} \uparrow$$

หา R_{Bx}

$\sum F_x = 0 \; ; \rightarrow +$

$$\therefore \quad R_{By} = 0 \text{ kg.}$$

ตรวจสอบ

$\sum F_y = 0 \; ; \uparrow +$

$$550 + 850 - (200 \times 2) - 1{,}000 = 0$$

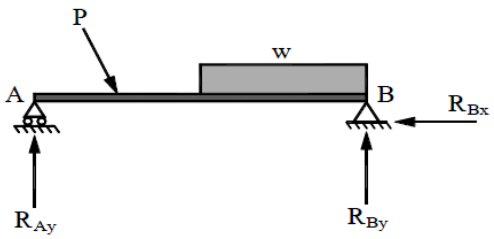
$$\therefore \quad 0 = 0 \qquad \text{O.K.}$$

ช. แรงเฉือนและโมเมนต์ดัด

1) ชนิดของคานดีเทอร์มิเนท

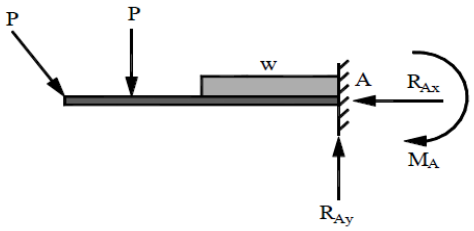
ชนิดของคานมีมากมายหลายชนิดทั้งคานดีเทอร์มิเนทและคานอินดีเทอร์มิเนท ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะคานดีเทอร์มิเนท ซึ่งเป็นคานที่สามารถวิเคราะห์หาค่าแรงปฏิกิริยาและโมเมนต์ดัดได้ด้วยการใช้สมการสมดุลเพียงลำพัง อันได้แก่

ก) คานช่วงเดียวธรรมดา (Simple Beam) คือ คานช่วงเดียวที่มีฐานรองรับด้านหนึ่งเป็น Roller Supports และอีกด้านหนึ่งเป็น Hinge Supports



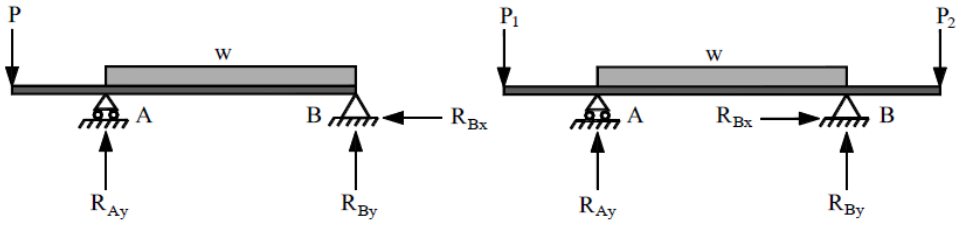
ภาพที่ 2.18 แสดงคานช่วงเดียวธรรมดา [3]

ข) คานยื่น (Cantilever Beam) คือ คานยื่นที่มีฐานรองรับเพียงด้านเดียว ซึ่งเป็นฐานรองรับแบบยึดแน่น หรือ Fixed Supports ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะเป็นอิสระ



ภาพที่ 2.19 แสดงคานยื่น [3]

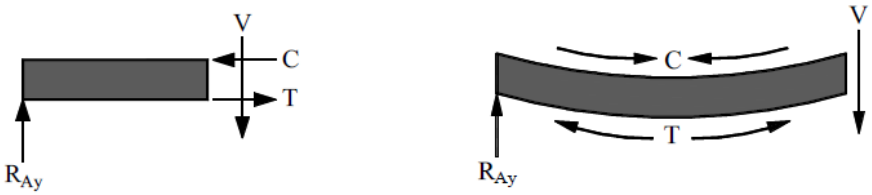
ค) คานช่วงเดียวปลายยื่น (Overhanging Beam) คือ คานที่มีฐานรองรับสองข้างเหมือนคานช่วงเดียวธรรมดา แต่จะมีปลายยื่นข้างเดียวหรือยื่นทั้งสองข้างก็ได้



ภาพที่ 2.20 แสดงคานช่วงเดียวปลายยื่น [3]

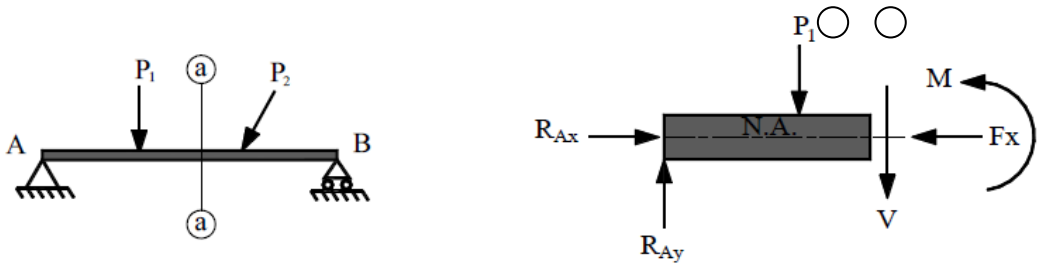
2) พฤติกรรมการรับแรงของคานดีเทอร์มิเนท

พฤติกรรมการรับแรงของคานโดยทั่วไปจะรับแรงอัด (Compression ; C) ในส่วนบนสุดและจะรับแรงดึง (Tension ; T) ในส่วนล่างสุด ดังแสดงในภาพ



ภาพที่ 2.21 แสดงพฤติกรรมการรับแรง [3]

เมื่อคานถูกแรงและโมเมนต์ดัดกระทำจากภายนอกจะเกิดแรงและโมเมนต์ดัดขึ้นภายในหน้าตัดใดๆ ของคาน ซึ่งเราสามารถคำนวณหาค่าแรงเหล่านั้นได้ด้วยการใช้สมการสมดุล และเมื่อตัดคานที่หน้าตัดใดๆ จะพบแรงที่เกิดขึ้นดังแสดงในภาพ



ก. คานช่วงเดียวธรรมดา ข. Section a - a

ภาพที่ 2.22 แสดงแรงภายในคานดีเทอร์มิเนท [3]

2.1) แรงตามแนวแกน (Fx)

แรงตามแนวแกน เป็นแรงที่เกิดขึ้นตามแนวแกนสะเทิน (Natral Axis ; N.A.) ของคาน แต่แรงนี้ไม่มีผลต่อการรับน้ำหนักของคานจึงสามารถตัดออกไปได้

2.2) แรงเฉือน (Shearing Force ; V)

แรงเฉือน เป็นแรงที่จะทำให้คานขาดออกจากกันในแนวดิ่ง ซึ่งมีผลมากต่อโครงสร้างอาคาร

2.3) โมเมนต์ดัด (Bending Moment ; M)

โมเมนต์ดัด เป็นผลที่เกิดขึ้นจากการที่คานถูกแรงเฉือนพยายามจะเฉือนให้คานขาดออกจากกันจนเกิดการโค้งงอของคานซึ่งมีผลต่อโครงสร้างของอาคารมากเช่นกัน

3) เครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนแรง

เพื่อการสื่อความหมายและความเข้าใจที่ตรงกันจำเป็นต้องมีการกำหนดเครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนแรงขึ้น และโดยทั่วไปแล้วเครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนแรงจะใช้ดังต่อไปนี้

3.1) เครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนแรงในแนวแกน

โดยทั่วไปแรงในแนวแกนจะเป็นแรงอัดและแรงดึง เครื่องหมายแทนแรงอัดจะใช้เครื่องหมายลบ (–) ส่วนแรงดึงจะใช้เครื่องหมาย บวก (+) สัญลักษณ์แทนแรงอัดจะใช้หัวลูกศรวิ่งเข้าหากัน และสัญลักษณ์แทนแรงดึงจะใช้หัวลูกศรวิ่งออกจากกัน ดังภาพ

ก. แสดงแรงอัด มีค่าเป็นลบ ข. แสดงแรงดึง มีค่าเป็นบวก

ภาพที่ 2.23 แสดงเครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนแรงในแนวแกน [3]

3.2) เครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนแรงเฉือน

สำหรับแรงเฉือนก็จะมีสองค่า คือค่าบวกและค่าลบเหมือนกัน โดยพิจารณาคานจากซ้ายไปขวาและกำหนดให้แรงที่มีทิศทางขึ้นมีค่าเป็นบวก แรงที่มีทิศทางลงมีค่าเป็นลบ ถ้าตัดคานที่หน้าตัดใดๆ แล้วมีแรงที่พยายามเฉือนให้ชิ้นส่วนของคานด้านซ้ายมีทิศทางขึ้นและคานด้านขวา มือมีทิศทางลงแรงเฉือนตรงนั้นจะมีค่าเป็นบวก และตรงข้ามกัน ถ้าแรงพยายามเฉือนให้ชิ้นส่วนของคานด้านซ้ายมีทิศทางลงและคานด้านขวามือมีทิศทางขึ้นแรงเฉือนก็จะมีค่าเป็นลบ ดังแสดงในรูป

ก.แสดงแรงเฉือนเป็นบวก ข. แสดงแรงเฉือนเป็นลบ

ภาพที่ 2.24 แสดงเครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนแรงเฉือน [3]

3.3) เครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนโมเมนต์ดัด

โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นภายในคานจะมีทั้งโมเมนต์บวกและโมเมนต์ลบ โดยทั่วไปจะกำหนดให้โมเมนต์หมุนตามเข็มนาฬิกามีค่าเป็นบวก และโมเมนต์หมุนทวน เข็มนาฬิกามีค่าเป็นลบ หรือโมเมนต์ที่ดัดให้คานแอ่นลงด้านล่างมีค่าเป็นบวก และโมเมนต์ที่ดัดให้คานโก่งขึ้นข้างบนมีค่าเป็นลบ ดังแสดงในภาพ

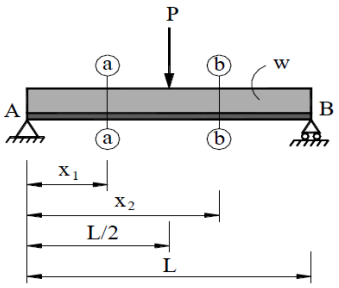
ภาพที่ 2.25 แสดงเครื่องหมายและสัญลักษณ์แทนโมเมนต์ดัด [3]

4) การคำนวณหาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในคานดีเทอร์มิเนท

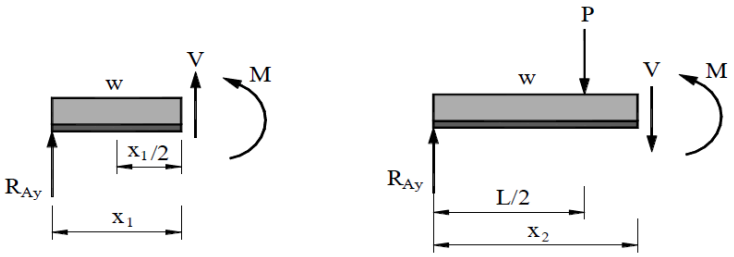
การหาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในคานเป็นขั้นตอนสำคัญในการออกแบบโครงสร้าง ถ้าหากค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดไม่ถูกต้อง การออกแบบก็ย่อมจะผิดพลาด โครงสร้างไม่มีความปลอดภัยในการใช้งาน เป็นอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน เพราะฉะนั้นจะต้องมีความเข้าใจในพฤติกรรมการรับแรงของคาน รู้ถึงวิธีการหาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดอย่างถูกต้อง และสามารถเขียนแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดได้อย่างถูกต้อง

4.1) สมการของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด

ในการคำนวณหาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด โดยทั่วไปจะใช้สมการ สมดุล คือ $\sum F_y = 0$ ใช้สำหรับหาค่าแรงเฉือน และ $\sum M = 0$ ใช้สำหรับหาค่าโมเมนต์ดัด ซึ่งจะพิจารณาจุดที่ตัดเสมอ และการพิจารณาตัดส่วนของคานเพื่อสร้างสมการของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดนั้น จะตัดเป็นช่วงๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงของแรงกระทำ ซึ่งสมการที่สร้างขึ้นมาใช้เฉพาะช่วงที่พิจารณานั้น ๆ ตัวอย่างเช่น



ก.



ข.หน้าตัด ⓐ - ⓐ ค. หน้าตัด ⓑ - ⓑ

ภาพที่ 2.26 แสดงลักษณะแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด [3]

ที่หน้าตัด a - a (สำหรับ ระยะ 0 – L/2)

สมการของแรงเฉือน

$\sum Fy = 0$

$$R_{Ay} - (w.x_1) - V = 0$$

$$V = R_{Ay} - (w.x_1)$$

สมการของโมเมนต์ดัด

$\sum M_{cut} = 0$

$$(R_{Ay}.x1) - (w.x_1.\frac{x_1}{2}) - M = 0$$

$$M = (R_{Ay}.x_1) - (w.x_1.\frac{x_1}{2})$$

ที่หน้าตัด b - b (สาหรับ ระยะ L/2 – L)

สมการของแรงเฉือน

$\sum Fy = 0$

$$R_{Ay} - (w.x_2) - P - V = 0$$

$$V = R_{Ay} - (w.x_2) - P$$

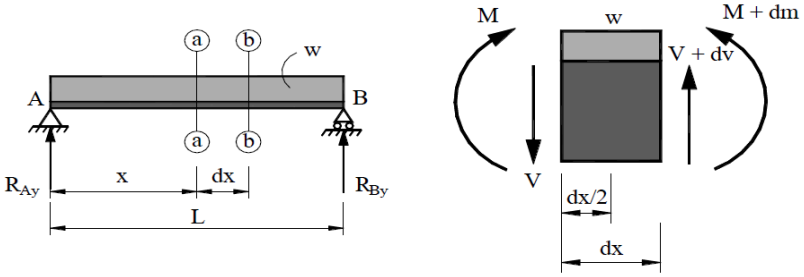
สมการของโมเมนต์ดัด

$\sum M_{cut} = 0$

$$(R_{Ay}.x_2) - (w.x_2.\frac{x_2}{2}) - [P(x_2 - L/2)] - M = 0$$

$$M = (R_{Ay}.x_2) - (w.x_2.\frac{x_2)}{2} - [P(x_2 - L/2)]$$

4.2) ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก แรงเฉือน และโมเมนต์ดัด



ภาพที่ 2.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก แรงเฉือน และโมเมนต์ดัด [3]

จากภาพที่ 2.27 พิจารณาหน้าตัดคานเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ ขนาดความยาวเท่ากับ dx ที่หน้าตัด a – a จะได้แรงเฉือนคือ V และโมเมนต์ดัด คือ M ถ้าพิจารณาที่หน้าตัด b – b ซึ่งห่างจากหน้าตัด a – a เท่ากับ dx จะได้ค่าแรงเฉือนเท่ากับ V + dv และค่าโมเมนต์ดัด เท่ากับ M + dm จะได้

สมการของแรงเฉือน

$\sum Fy = 0$

$$V + (w.dx) = V + dv$$

$$\therefore \quad dv = w.dx$$

สรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงค่าของแรงเฉือนระหว่างจุดสองจุด มีค่าเท่ากับน้ำหนักทั้งหมดระหว่างจุดสองจุดนั้น

สมการของโมเมนต์ดัด

$\sum M = 0$

$$M + (V.dx) + (w.dx.\frac{x_2}{2}) = M + dm$$

แต่ $w.dx.\frac{x_2}{2}$ มีค่าน้อยมากจึงตัดออกไป

$$\therefore \quad dm = V.dx$$

สรุปได้ว่า ค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น ณ หน้าตัดใดๆ จะมีค่าเท่ากับผลบวกสะสมของพื้นที่แรงเฉือนระหว่างจุดสองจุดนั้น

ข้อสังเกต การหาค่าโมเมนต์ดัดสามารถทำได้ทั้งสองวิธี คือ การสร้างสมการโมเมนต์ดัดคำนวณหา และโดยวิธีการบวกสะสมของพื้นที่แรงเฉือน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3) การเขียนแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด

ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง จำเป็นจะต้องทราบค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นและเปลี่ยนแปลงไป ณ หน้าตัดต่างๆ ตลอดความยาวของโครงสร้างนั้นๆ ซึ่งการแสดงค่าของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดด้วยแผนภาพจะช่วยให้มองภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

4.3.1) แผนภาพของแรงเฉือน (Shearing Force Diagram ; S.F.D.) แผนภาพของแรงเฉือน คือแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเฉือน ณ หน้าตัดต่างๆ กับความยาวขององค์อาคาร

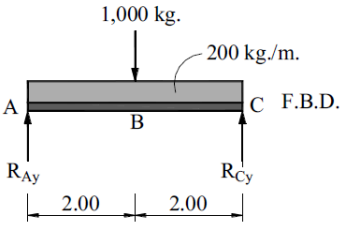
4.5.2) แผนภาพของโมเมนต์ดัด (Bending Moment Diagram ; B.M.D.) แผนภาพของโมเมนต์ดัด คือแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมเมนต์ดัด ณ หน้าตัดต่างๆ กับความยาวขององค์อาคาร

4.5.3) ขั้นตอนการเขียนแผนภาพแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด ก่อนที่จะทำการเขียนแผนภาพแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด จะต้องคานวณหาค่าแรงปฏิกิริยาให้เรียบร้อยก่อน เสร็จแล้วจึงคำนวณหาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดโดยการสร้างสมการเป็นช่วงๆ

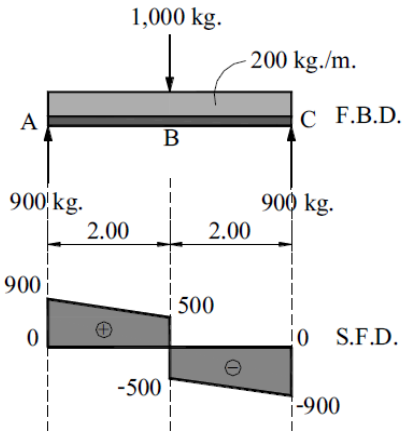
ก. เขียนแผนภาพอิสระของแรง (Free Body Diagram ; F.B.D.) โดยยกโจทย์มาเขียน โดยไม่ต้องใส่สัญลักษณ์ของฐานรองรับแต่ให้ใส่แรงปฏิกิริยาที่คำนวณได้ลงไปแทน

ข. เขียนแผนภาพของแรงเฉือน (Shearing Force Diagram ; S.F.D.) ถัดลงไปจาก F.B.D. โดยเริ่มพิจารณาจากจุดซ้ายมือสุด นาค่าแรงเฉือนที่คำนวณได้มาเขียนตามแกนคาน โดยค่าแรงเฉือนที่เป็นบวกจะเขียนเหนือแกนคาน ส่วนค่าแรงเฉือนที่เป็นลบจะเขียนใต้แกนคาน เมื่อเชื่อมจุดต่างๆ ที่เขียน ด้วยเส้นตรงหรือเส้นโค้งตามสมการ ของแรงเฉือนจะได้แผนภาพของแรงเฉือนตามต้องการ

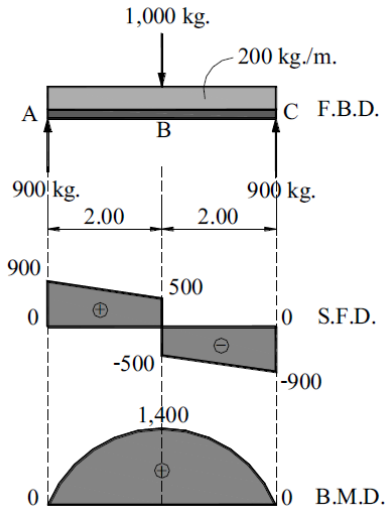
ค. เขียนแผนภาพของโมเมนต์ดัด (Bending Moment Diagram ; B.M.D.) ถัดลงไปจาก S.F.D. โดยสร้างเส้นตามแนวนอนแทนแกนของคาน ให้ตรงกับ S.F.D. โดยเริ่มพิจารณาจากด้านซ้ายมือสุด นำค่าโมเมนต์ดัดที่คำนวณได้มาเขียนตามแนวแกนคาน โดยค่าโมเมนต์ดัดที่เป็นบวกจะเขียนเหนือแกนคาน ส่วนค่าโมเมนต์ดัดที่เป็นลบจะเขียนใต้แกนคาน เมื่อเชื่อมจุดต่างๆ ที่เขียนด้วยเส้นตรงหรือเส้นโค้งตามสมการของโมเมนต์ดัดจะได้แผนภาพของโมเมนต์ดัดตามต้องการดังภาพที่ 2.28



ก.



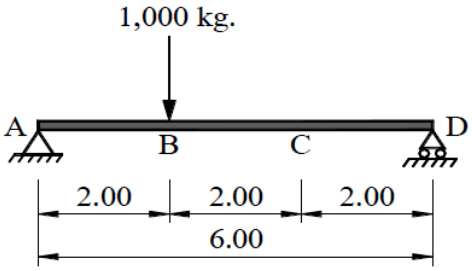
ข.



ค.

ภาพที่ 2.28 แสดงการเขียนแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด [3]

ตัวอย่าง จงเขียนแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดของคานช่วงเดียว ซึ่งรับน้ำหนักดังแสดงในรูป พร้อมทั้งหาค่าแรงเฉือน (Va , Vb , Vc , Vd) และโมเมนต์ดัด (Ma , Mb , Mc , Md)



วิธีทำ

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ

$\sum M_D = 0$;

$$(R_{Ay} \times 6) - (1{,}000 \times 4) = 0$$
$$6\,R_{Ay} - 4{,}000 = 0$$
$$R_{Ay} = \frac{4{,}000}{6}$$
$$R_{Ay} = 666.67 \text{ kg.}$$

$\sum M_A = 0$ ⟲ ;

$$(1{,}000 \times 2) - (R_{Dy} \times 6) = 0$$
$$2{,}000 - 6\,R_{Dy} = 0$$
$$\frac{2{,}000}{6} = R_{Dy}$$
$$\therefore \quad R_{Dy} = 333.33 \text{ kg.} \uparrow$$

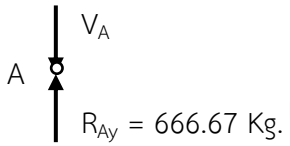
ตรวจสอบ

$\sum Fy = 0$; ↑ +

$$R_{Ay} + R_{Dy} - 1{,}000 = 0$$
$$666.67 + 333.33 - 1{,}000 = 0 \quad \text{O.K.}$$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าแรงเฉือน ณ จุดที่พิจารณาโดยใช้สมการ $\sum Fy = 0$ ให้แรงที่มีทิศทางขึ้นเป็นบวก และแรงที่มีทิศทางลงเป็นลบ

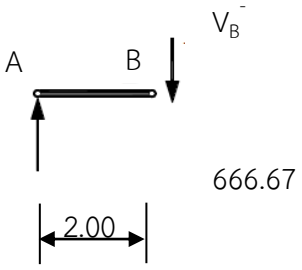
พิจารณาจุด A ; Section $a^+ - a^+$



$$\sum Fy = 0$$
$$V_A = R_{Ay} = 666.67 \text{ kg.}$$

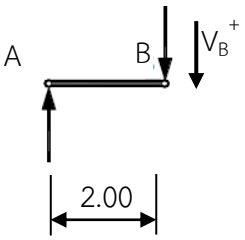
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พิจารณาจุด B ; Section $b^- - b^-$ (ก่อนหน้าแรง 1,000 kg. กระทำ)



$$\sum Fy = 0$$
$$V_B^- = R_{Ay} = 666.67 \text{ kg.}$$

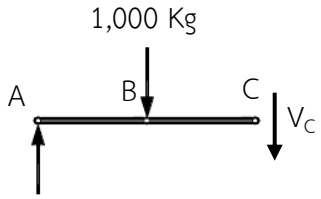
พิจารณาจุด B ; Section $b^+ - b^+$ (หลังแรง 1,000 kg. กระทำ)



$\sum Fy = 0$

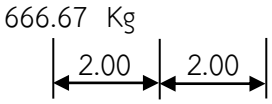
$V_B^+ = 666.67 - 1{,}000 = -333.33$ kg.

พิจารณาจุด C ; Section c – c

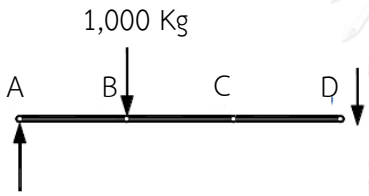


$\sum Fy = 0$

$V_C = 666.67 - 1{,}000 = -333.33$ kg.

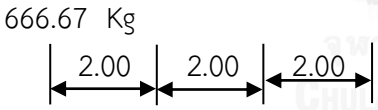


พิจารณาจุด D ; Section $d^- - d^-$ (ก่อนหน้าแรง R_{Dy} กระทำ)

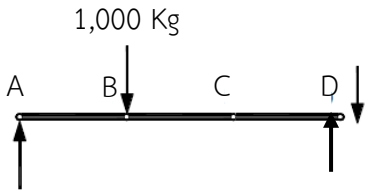


$\sum Fy = 0$

$Vd^- \quad V_d^- = 666.67 - 1{,}000 = -333.33$ kg.

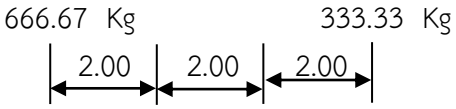


พิจารณาจุด D ; Section $d^+ - d^+$ (หลังแรง R_{Dy} กระทำ)



$\sum Fy = 0$

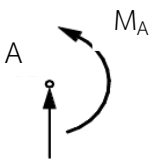
$Vd^+ \quad V_d^+ = 666.67 - 1{,}000 + 333.33 = 0$ kg.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนที่ 3 หาค่าโมเมนต์ดัด ณ จุดที่พิจารณาโดยใช้สมการ ∑Mcut = 0 และให้โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกามีค่าเป็นบวก โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกามีค่าเป็นลบ

พิจารณาจุด A



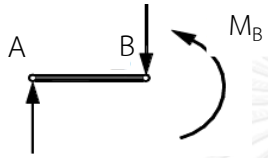
$\sum M_A = 0$

$M_A = 0$ Kg.-m.

666.67 Kg.

พิจารณาจุด B

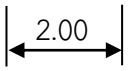
1,000 Kg.



$\sum M_B = 0$

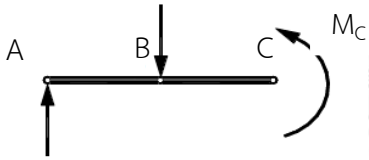
$M_B = (666.67 \times 2) = 1.333.34$ kg-m.

666.67 Kg.



พิจารณาจุด C

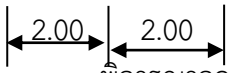
1,000 Kg.



$\sum M_C = 0$

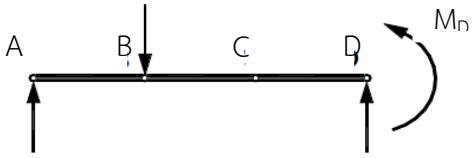
$M_C = (666.67 \times 4) - (1,000 \times 2) = 666.68$ kg-m.

666.67 Kg.



พิจารณาจุด D

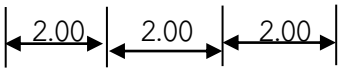
1,000 Kg.



$\sum M_D = 0$

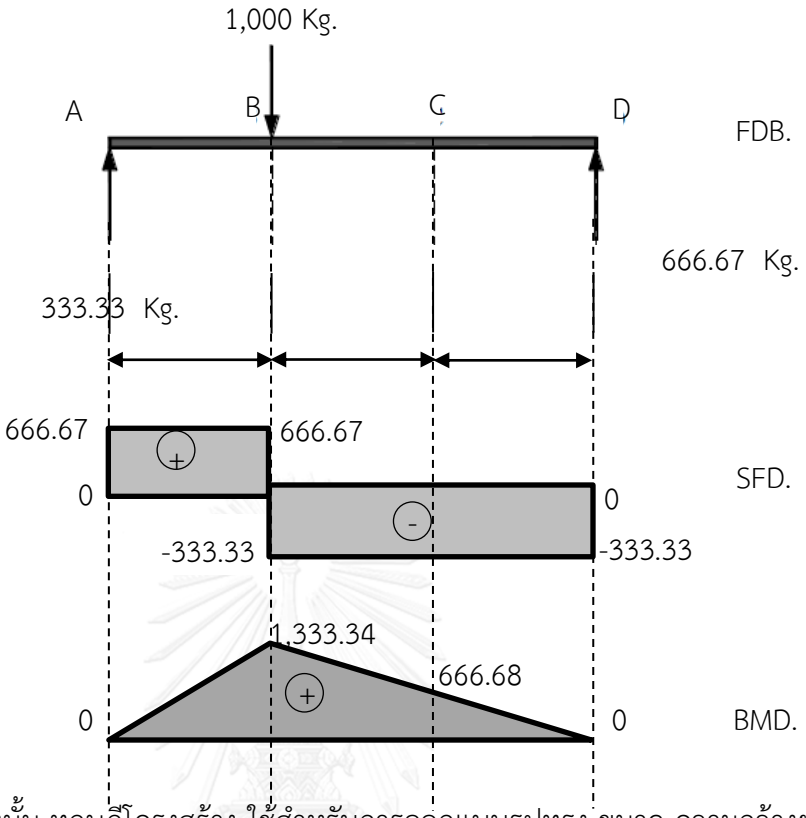
$M_D = (666.67 \times 6) - (1,000 \times 4) = 0$ kg-m.

666.67 Kg. 333.33 Kg.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนที่ 4 เขียนแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด



ดังนั้น ทฤษฎีโครงสร้าง ใช้สำหรับการออกแบบรูปทรง ขนาด ความกว้างยาวของโครงสร้าง เพื่อหาค่าโมเมนต์ดัด แรงเฉือนและแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับและแรงอื่นๆที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง ค่าที่ได้จะนำไปใช้สำหรับการออกแบบต่อไป ตัวแปรที่สำคัญของทฤษฎีนี้ก็คือ รูปทรง ความกว้าง ความยาว น้ำหนักตายตัวและน้ำหนักจร

2.2.2 ทฤษฎีการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กคือขั้นตอนในการเลือกวัสดุและจัดขนาดวัดส่วนขององค์ประกอบต่างๆของโครงสร้างตามหลักการทางด้านวิศวกรรม เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ โครงสร้างจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขทางด้านความปลอดภัย การใช้งาน ความประหยัด และเข้ากับสภาพแวดล้อม

วิศวกรโครงสร้างเป็นหนึ่งในทีมงานออกแบบอาคาร สะพาน และโครงสร้างต่างๆ ในกรณีของอาคารสถาปนิกมักเป็นผู้จัดเตรียมแบบของอาคารโดยรวมเกี่ยวกับรูปลักษณ์ภายนอกและรูปแบบการใช้งานภายใน จากนั้นจึงแจกจ่ายให้วิศวกรงานระบบไฟฟ้า ระบบเครื่องกล ระบบสุขาภิบาล และวิศวกรโครงสร้างทำการออกแบบ

ในเชิงวิศวกรรมโครงสร้างผู้ออกแบบควรคำนึงถึงปัจจัยหลักห้าประการคือ

เสถียรภาพ ความมั่นคงของโครงสร้างโดยรวม ซึ่งถือเป็นปัจจัยที่สาคัญที่สุดที่ต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรกในการออกแบบ เพราะอาจทำให้โครงสร้างวิบัติพังทลายได้

ความปลอดภัย ส่วนต่างๆของโครงสร้างจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอในการรองรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัย

ความสามารถในการใช้งาน โครงสร้างจะต้องอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ตามความต้องการของผู้ใช้งานโดยไม่มีการแอ่นตัว เอียง สั่นสะเทือน หรือแตกร้าว ที่มากเกินไปจนไม่สามารถใช้งานได้

ความประหยัด ราคาของโครงสร้างไม่ควรเกินงบประมาณที่ตั้งไว้ โดยผู้ออกแบบควรคำนึงถึงหลายปัจจัยเช่น ปริมาณวัสดุ ค่าแรงงาน ความยากง่ายในการก่อสร้าง ระยะเวลา ความสะดวกในการขนส่ง การบำรุงรักษาหรือซ่อมแซม

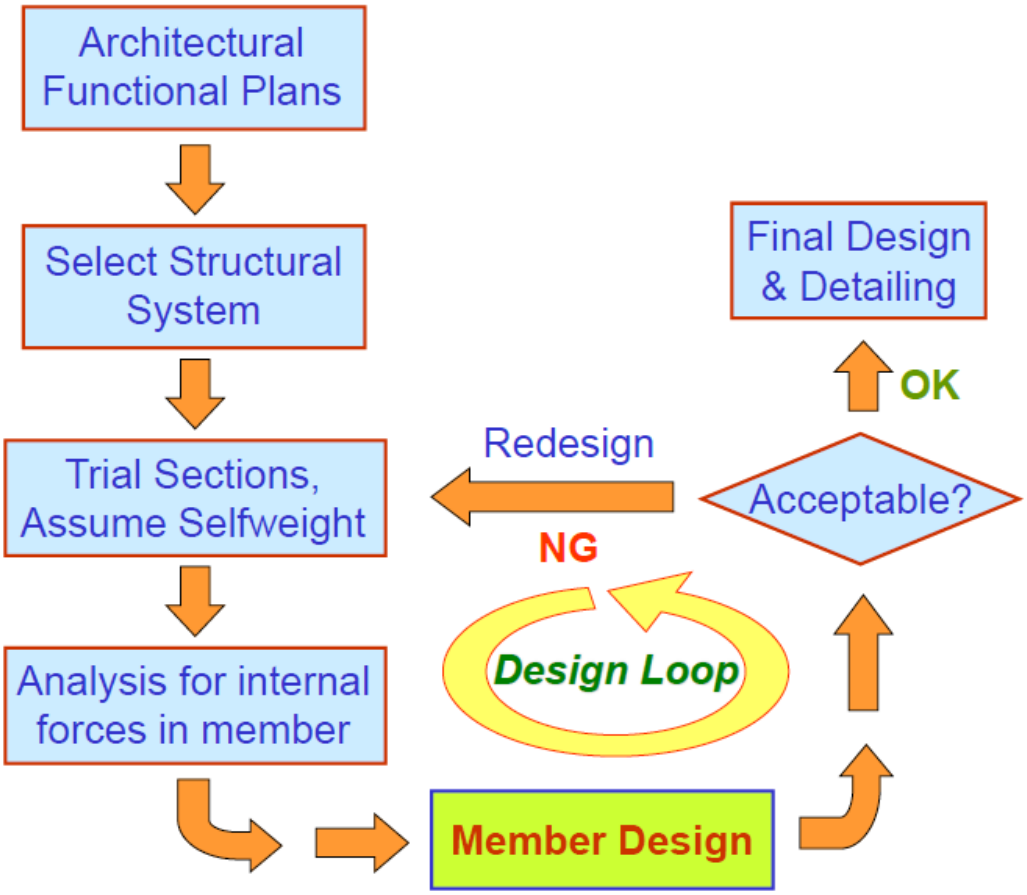
สิ่งแวดล้อม โครงสร้างที่ดีควรจะเข้ากันได้กับสภาวะแวดล้อมในบริเวณนั้น และมีความสวยงาม

มาตรฐานข้อกำหนดในการออกแบบ น้ำหนักบรรทุกและวิธีการออกแบบ (Specification, Loads and Design Methods) มีดังนี้

1) ลำดับขั้นตอนการออกแบบโครงสร้าง
2) มาตรฐาน ข้อกำหนดในการออกแบบ
3) น้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร
4) การออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน
5) การออกแบบโดยทฤษฎีกำลังประลัย
6) การถ่ายเทน้ำหนักบรรทุกในโครงสร้าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1) แผนภาพลำดับขั้นตอนการออกแบบ (Design Process)



ภาพที่ 2.29 ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้าง

วิศวกรโครงสร้างจะเลือกระบบโครงสร้างที่เหมาะสมเช่น โครงสร้างเหล็ก หรือคอนกรีตเสริมเหล็ก การออกแบบเริ่มต้นโดยการประมาณขนาดหน้าตัดองค์อาคารเพื่อคำนวณน้ำหนักองค์อาคารเพื่อใช้ร่วมกับน้ำหนักบรรทุกอื่นในการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อให้ได้แรงภายในแต่ละองค์อาคาร เมื่อทำการออกแบบองค์อาคารแล้วจะทำการตรวจสอบองค์อาคารที่ได้ออกแบบและที่ใช้ในการวิเคราะห์ ถ้ามีความแตกต่างกันจะทำการปรับขนาดองค์อาคารแล้วทำการวิเคราะห์และออกแบบใหม่อีกครั้งเรียกว่า “วนรอบออกแบบ (Design Loop)” จนกระทั่งได้ผลที่ยอมรับได้จึงทำการออกแบบโดยละเอียดต่อไป

2) มาตรฐาน ข้อกำหนดในการออกแบบ

สูตรต่างๆที่ใช้การคำนวณออกแบบจะต้องมีการอ้างอิงที่มา ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นไปตามมาตรฐานหรือข้อกำหนดในการออกแบบของแต่ละประเทศ ข้อกำหนดเหล่านี้ถูกจัดทำขึ้นโดยองค์กรต่างๆ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการออกแบบโดยอาจแบ่งได้เป็นสองประเภทคือ

ข้อกำหนดที่มีผลบังคับใช้ทางกฎหมายและข้อกำหนดที่แนะนำโดยองค์กรวิชาชีพข้อกำหนดที่มีผลบังคับใช้ทางกฎหมายเป็นข้อบังคับที่มีไว้เพื่อให้มั่นใจในความปลอดภัยของสาธารณชนซึ่งผู้ออกแบบจะต้องปฏิบัติตาม มิฉะนั้นจะมีความผิดตามกฎหมาย ข้อกำหนดประเภทนี้จะแตกต่างกันไปตามพื้นที่ สำหรับประเทศไทยมีพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 มีกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527), กฎกระทรวง ฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) และข้อกำหนดในแต่ละท้องที่เช่น ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร หรือเทศบัญญัติ และมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง

สำหรับองค์กรวิชาชีพในประเทศไทยที่ออกข้อกำหนดทางด้านวิศวกรรมคือ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย(ว.ส.ท.) โดยข้อกำหนดที่เกี่ยวกับคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีสองฉบับคือ มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน(ว.ส.ท. 1007-34) และ มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง(ว.ส.ท. 1008-38) โดยข้อกำหนดที่ใช้จะนำมาจาก Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary ของ American Concrete Institute (ACI)

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและก่อสร้างอาคารโครงสร้างคอนกรีตจะอยู่ในความดูแลของ ACI Committee 318 ซึ่งจะพัฒนาปรับปรุงมาตรฐานออกมาเป็นระยะๆคือ โดยมีเลขสองตัวสุดท้ายคือปีที่เริ่มใช้ เช่น ACI318-89 เริ่มใช้ในปี ค.ศ. 1989 ซึ่งจะตรงกับของ ว.ส.ท. 1008-38 จากนั้นก็จะเป็น ACI 318-95 จนมาถึง ACI 318-05 ในปัจจุบัน [4]

3) น้ำหนักบรรทุก

ข้อกำหนดเกี่ยวกับน้ำหนักบรรทุกในสหรัฐอเมริกาจะระบุอยู่ใน Building Code ของแต่ละพื้นที่ซึ่งอาจจะแตกต่างกันไป สำหรับสหรัฐอเมริกาจะใช้ตามมาตรฐาน Uniform Building Code (UBC) ซึ่งตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 ได้เปลี่ยนชื่อเป็น International Building Code (IBC) [5]และ ASCE Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE 7) [6] สำหรับประเทศไทยมีการกำหนดน้ำหนักบรรทุกจรไว้บ้างในกฎกระทรวง ฉบับที่ 6 แต่เป็นการกำหนดไว้นานแล้วดังนั้นจึงค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับความเป็นจริงในปัจจุบัน ดังนั้นผู้ออกแบบจึงควรพิจารณา ควรใช้วิจารณญาณประกอบตามความเหมาะสม

3.1) น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Loads)

น้ำหนักบรรทุกคงที่หรือน้ำหนักบรรทุกตายตัวคือไม่มีการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ น้ำหนักตัวโครงสร้างเอง และน้ำหนักวัสดุที่ถูกติดตั้งถาวรกับโครงสร้างเช่น ผนัง วัสดุปูพื้น วัสดุมุงหลังคา ฝ้าเพดาน

ตารางที่ 2.1 หน่วยน้ำหนักของวัสดุ

น้ำหนักวัสดุ	**กก./ม.^{3}**
คอนกรีต	2,320
คอนกรีตเสริมเหล็ก	2,400
ไม้	500-1,200
เหล็ก	7,850
น้ำหนักวัสดุปูผิว	**กก./ม.^{2}**
กระเบื้องลอนคู่	14
กระเบื้องซีแพคโมเนีย	50
เหล็กรีดลอน, สังกะสี	5
ซีเมนต์ขัดมันหนา 2.5 ซ.ม.	50
กระเบื้องปูพื้น	100
พื้นปูหินอ่อน, หินแกรนิต	150
น้ำหนักผนัง	**กก./ม.^{2}**
ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูน	180
ผนังอิฐมอญเต็มแผ่นฉาบปูน	360
ผนังอิฐบล็อกหนา 7 ซ.ม.	120
ผนังอิฐบล็อกหนา 9 ซ.ม.	160

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2) น้ำหนักบรรทุกจร (Live Loads)

เนื่องจากการใช้งานในข้อกำหนดอาคารส่วนใหญ่จะมีตารางน้ำหนักจรให้เพื่อความสะดวกในการออกแบบโดยจะระบุเป็นน้ำหนักแผ่คงที่ต่อพื้นที่อาคาร ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 น้ำหนักบรรทุกจรในอาคารจะขึ้นกับลักษณะการใช้งาน

ตารางที่ 2.2 น้ำหนักบรรทุกจรตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6

ประเภทและส่วนต่างๆ ของอาคาร	**น้ำหนักจร (กก./ม.^{2})**
(1) หลังคา	30
(2) กันสาดหรือหลังคาคอนกรีต	100
(3) ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องน้ำ ห้องส้วม	150
(4) ห้องแถว ตึกแถวที่ใช้พักอาศัย อาคารชุด หอพัก โรงแรม และห้องคนไข้พิเศษของโรงพยาบาล	200
(5) สำนักงาน ธนาคาร	250
(6) (ก) อาคารพาณิชย์ ส่วนของห้องแถว ตึกแถวที่ใช้เพื่อการพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย โรงเรียน และโรงพยาบาล	300
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารชุด หอพัก โรงแรม สำนักงาน และธนาคาร	300
(7) (ก) ตลาด อาคารสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องประชุม ห้องอ่านหนังสือในห้องสมุดหรือหอสมุดที่จอดหรือเก็บรถยนต์นั่งหรือจักรยานยนต์	400
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย	500
(8) (ก) คลังสินค้า โรงกีฬา พิพิธภัณฑ์ อัฒจันทร์ โรงงานอุตสาหกรรมโรงพิมพ์ ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ	500
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของตลาด อาคารสรรพสินค้า ห้องประชุม หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องสมุด และหอสมุด	500
(9) ห้องเก็บหนังสือของห้องสมุดหรือหอสมุด	600
(10) ที่จอดหรือเก็บรถบรรทุกเปล่า	800

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.3 น้ำหนักบรรทุกจร (L_0) ตามข้อกำหนด ASCE 7

ลักษณะการใช้งาน	น้ำหนักแผ่ ก.ก./ม.^{2}	น้ำหนักเป็นจุด ก.ก.
ที่พักอาศัย	200	
อาคารสานักงาน		
ล็อบบี้และทางเดินชั้นแรก	500	900
สำนักงาน	250	900
ทางเดินชั้นบน	400	900
โรงเรียน		
ห้องเรียน	200	450
ทางเดินชั้นบน	400	450
ทางเดินชั้นแรก	500	450
บันไดและทางออก	500	
โกดังเก็บสินค้า		
สินค้าเบา	600	
สินค้าหนัก	1,200	

3.3) การลดน้ำหนักบรรทุกจร (Reduction in Live Loads)

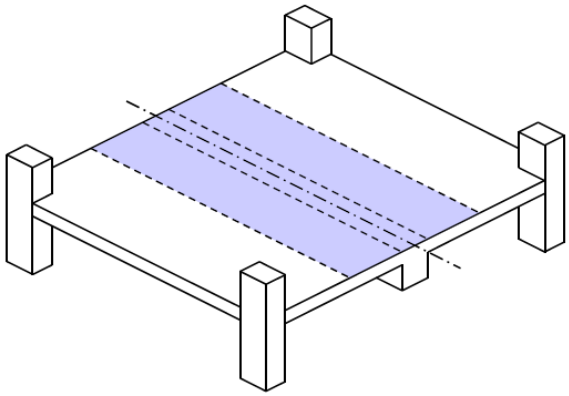
น้ำหนักบรรทุกจรที่ให้ไว้ในตารางเป็นค่ามากที่สุดที่คาดว่าจะเกิดขึ้น เมื่อพื้นที่รับน้ำหนักบรรทุกมีขนาดใหญ่ขึ้นโอกาสที่น้ำหนักบรรทุกจะถึงค่ามากที่สุดนั้นจะลดลง ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 กำหนดให้สามารถลดน้ำหนักจรได้ในอาคารหลายชั้นโดยกำหนดให้ลดลงตามชั้นของอาคาร

ตารางที่ 2.4 การลดน้ำหนักบรรทุกจรตามชั้นของอาคาร

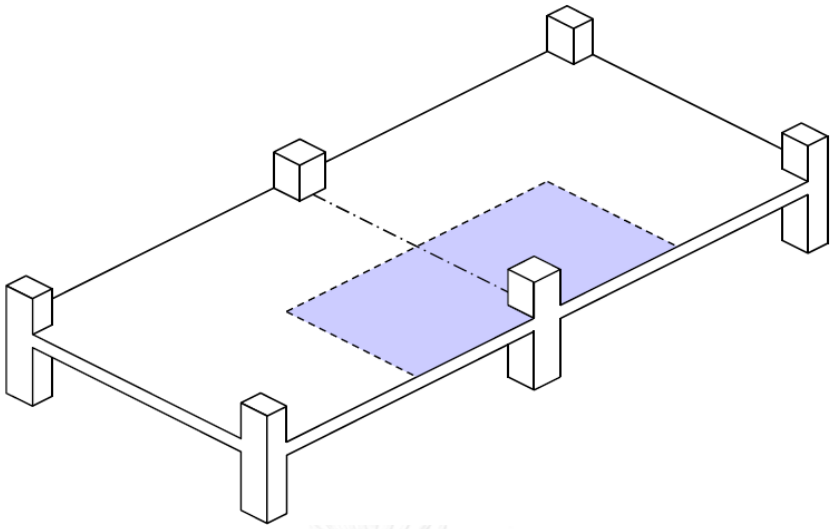
การรับน้ำหนักของพื้น	อัตราการลดน้ำหนักบรรทุกจรบนพื้นแต่ละชั้นเป็นร้อยละ
(1) หลังคาหรือดาดฟ้า	0
(2) ชั้นที่หนึ่งถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	0
(3) ชั้นที่สองถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	0
(4) ชั้นที่สามถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	10
(5) ชั้นที่สี่ถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	20
การรับน้ำหนักของพื้น	**อัตราการลดน้ำหนักบรรทุกจรบนพื้นแต่ละชั้นเป็นร้อยละ**
(6) ชั้นที่ห้าถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	30
(7) ชั้นที่หกถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	40
(8) ชั้นที่เจ็ดถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้าและชั้นต่อลงมา	50

มาตรฐาน ASCE 7 จะกำหนดเป็นตัวคูณลดค่าน้ำหนักบรรทุกจร (Live-load reduction factor) ขึ้นกับพื้นที่รับน้ำหนัก (Tributary area, A_T) ซึ่งจะขยายจากคานหรือเสาไปยังตำแหน่งที่แรงเฉือนเป็นศูนย์โดยรอบองค์อาคารที่พิจารณา เพื่อความสะดวกอาจใช้ระยะครึ่งหนึ่งระหว่างจุดรองรับเช่นในคานดังในภาพที่ 2.30(ก) และน้ำหนักลงเสาดังในรภาพที่ 2.30(ข) โดยยอมให้ใช้น้ำหนักจรลดค่า L จากค่า L_0 จากตารางที่ 2.3 ในการออกแบบองค์อาคาร ขึ้นกับพื้นที่ A_T รับน้ำหนัก

$$L = L_0\left[0.25 + \frac{4.57}{\sqrt{K_{LL} A_T}}\right] \qquad (2.1)$$



(ก) คานภายใน



(ข) เสาต้นริม

ภาพที่ 2.30 ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้าง [7]

ค่าแฟกเตอร์ K_{LL} ขึ้นกับลักษณะของส่วนประกอบโครงสร้างดังนี้

เสาภายในและเสาภายนอกที่ไม่มีพื้นยื่น	$K_{LL} = 4$
เสาภายนอกที่มีพื้นยื่น	$K_{LL} = 3$
เสามุมที่มีพื้นยื่น	$K_{LL} = 2$
เสาภายในและคานขอบที่ไม่มีพื้นยื่น	$K_{LL} = 2$
องค์อาคารอื่น	$K_{LL} = 1$

3.4) แรงลม (Wind Loads)

แรงลมเป็นน้ำหนักบรรทุกจากสิ่งแวดล้อม (Environmental Load) โดยแรงดันลมที่บนผิวอาคารแนวดิ่งเกิดขึ้นจะเป็นไปตามความเร็วลมยกกำลังสอง

$$q = 0.5 \rho V^2 \qquad (2.2)$$

เมื่อ q = แรงดันลมบนผิวอาคารแนวดิ่งตั้งฉากกับทิศทางลม (กก./ม.^{2})

ρ = ความหนาแน่นมวลอากาศ (ประมาณ 1.25 กก./ม.^{3})

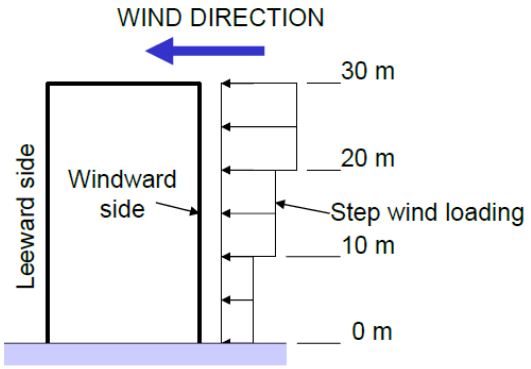
V = ความเร็วลมเฉลี่ย (เมตร/วินาที)

การคำนวณแรงลมโดยละเอียดตามมาตรฐาน ASCE7 หรือมาตรฐานการของกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ.1311-50 นั้นมีรายละเอียดที่ต้องพิจารณามากเช่นความเร็วลมเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่ซึ่งเป็นค่าทางสถิติ และแรงดันบนพื้นที่ผิวด้านต่างของอาคารที่มีความแตกต่างกัน

ตามกฎกระทรวงได้กำหนดแรงลมบนผิวอาคารแนวดิ่งอย่างง่ายโดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามความสูงในลักษณะของขั้นบันได ดังแสดงในตารางที่ 2.5 และภาพที่ 2.31

ตารางที่ 2.5 แรงดันลมตามกฎกระทรวง

ความสูงอาคาร h (เมตร)	หน่วยแรงลม (กก./ม.^{2})
น้อยกว่า 10	50
10 ≤ h < 20	80
20 ≤ h < 40	120
มากกว่า 40	160



ภาพที่ 2.31 แรงลมตามกฎกระทรวง

3.5) แรงแผ่นดินไหว (Earthquake Loads)

แผ่นดินไหวเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติที่สามารถก่อให้เกิดความเสียหายอย่างร้ายแรงต่อโครงสร้าง ในหลายพื้นที่ซึ่งอยู่ในโซนที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวจะต้องคำนึงถึงแรงแผ่นดินไหวในการออกแบบโครงสร้าง สำหรับประเทศไทยแม้ว่าจะไม่เคยเกิดแผ่นดินไหวรุนแรง แต่ก็มีแผ่นดินไหวขนาดเล็กเกิดขึ้นบ่อยครั้งทางภาคเหนือและตะวันตก

กฎกระทรวง พ.ศ. 2550 กำหนดให้พิจารณาแรงสั่นสะเทือนแผ่นดินโดยคำนวณเป็นแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear) ดังนี้

$$V = Z\,I\,K\,C\,S\,W \qquad (2.3)$$

เมื่อ V = แรงเฉือนที่ฐานอาคาร

Z = สัมประสิทธิ์ความเข้มของแผ่นดินไหว

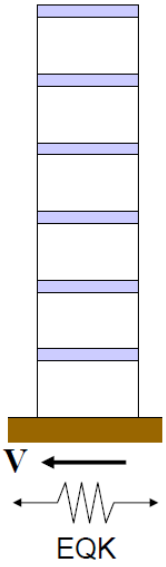
I = สัมประสิทธิ์ความสำคัญของอาคาร

K = สัมประสิทธิ์โครงสร้าง

C = สัมประสิทธิ์คุณสมบัติทางพลศาสตร์ของโครงสร้าง

S = สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างชั้นดินและโครงสร้าง

W = น้ำหนักโครงสร้าง



ภาพที่ 2.32 แรงแผ่นดินไหวตามกฎกระทรวง

4) การออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Design Method)

การออกแบบโดย วิธีหน่วยแรงใช้งาน(Working Stress Design, WSD) เป็นวิธีเก่าที่ใช้มาตั้งแต่ต้นยุค 1900 ถึงช่วงต้นยุค 1960 ต่อมาได้มีการพัฒนา วิธีกำลังประลัย (Ultimate Strength Design, USD) ซึ่งต่อมาเปลี่ยนชื่อเป็น วิธีกำลัง(Strength Design Method, SDM) ในประเทศไทยยังคงใช้วิธีหน่วยแรงใช้งานกันอยู่บางส่วน ในวิธีหน่วยแรงใช้งานส่วนโครงสร้างจะถูกออกแบบให้หน่วยแรงที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกขณะใช้งานไม่เกินค่าที่ยอมให้ โดยที่คุณสมบัติทางกลศาสตร์ของส่วนโครงสร้างเป็นแบบอีลาสติก น้ำหนักบรรทุกใช้งานได้แก่ น้ำหนักบรรทุกคงที่ (น้ำหนักของตัวโครงสร้างเอง) น้ำหนักบรรทุกจรได้แก่ ผู้อยู่อาศัย สิ่งของที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ หิมะ ลม และแผ่นดินไหว ซึ่งจะถูกสมมุติให้เกิดขึ้นเมื่อโครงสร้างถูกใช้งาน วิธีหน่วยแรงใช้งานอาจถูกแสดงได้ดังนี้

$$f \le [\text{ หน่วยแรงที่ยอมให้ fallow }] \qquad (2.4)$$

เมื่อ

f = หน่วยแรงอีลาสติกที่คำนวณได้ เช่น จากสูตรการดัด f = Mc/I สำหรับคาน

fallow = หน่วยแรงที่จำกัดโดยมาตรฐานอาคารเป็นเปอร์เซ็นต์ของกำลังรับแรงอัด fC' สำหรับคอนกรีต หรือของหน่วยแรงจุดคราก fy สำหรับเหล็กเสริม

ข้อจำกัดของวิธีหน่วยแรงใช้งาน

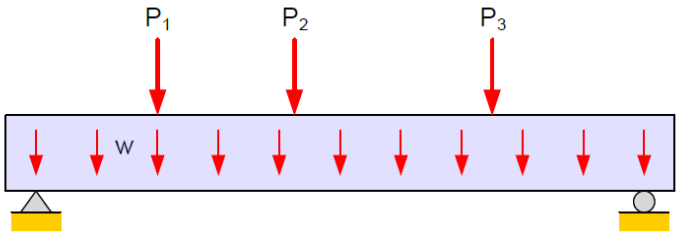
1. เนื่องจากข้อจำกัดอยู่ที่หน่วยแรงทั้งหมดอยู่ภายใต้น้ำหนักใช้งานจึงไม่มีวิธีง่ายๆ ที่จะใช้กับระดับความไม่แน่นอนของน้ำหนักหลายๆชนิดโดยทั่วไปการประมาณน้ำหนักคงที่จะทำได้แม่นยำกว่าน้ำหนักจรซึ่งจะประมาณจากลักษณะการใช้งานของอาคารและอาจจะมีการกระจายตัวที่แปรเปลี่ยนหรือไม่แน่นอนได้

2. ความคืบและการหดตัวซึ่งเป็นผลจากเวลาที่ผ่านไปที่สำคัญในโครงสร้างจะไม่สามารถแสดงได้ไม่ง่ายโดยการคำนวณแบบอีลาสติกของหน่วยแรง

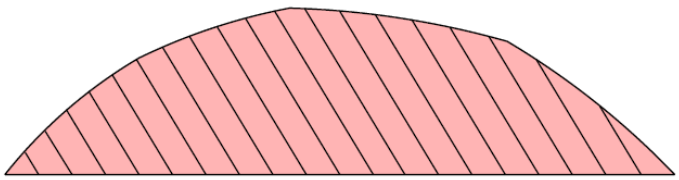
3. หน่วยแรงในคอนกรีตไม่เป็นสัดส่วนกับหน่วยการยืดหดจนถึงกำลังวิบัติทำให้ไม่สามารถรู้ความปลอดภัยที่แฝงอยู่ได้ เมื่อเปอร์เซ็นต์ของ fC' ถูกใช้เป็นหน่วยแรงที่ยอมให้

5) การออกแบบโดยวิธีวิธีกำลัง (Strength Design Method)

ภาพที่ 2.33(ก) แสดงคานที่รองรับน้ำหนักตัวเอง w บวกกับน้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด P1, P2 และ P3 ซึ่งทำให้เกิดโมเมนต์ดัดในภาพที่ 2.33(ข) ซึ่งเป็นแรงภายในซึ่งเป็นผลจากน้ำหนักบรรทุกแรงภายในตัวอื่นได้แก่ แรงเฉือน, แรงตามแนวแกน, โมเมนต์บิด, การโก่งแอ่น และการสั่นสะเทือน



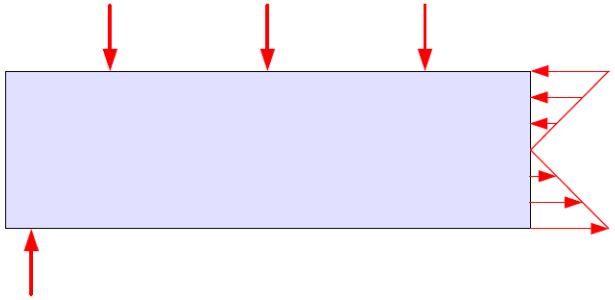
(ก) คานรับน้ำหนักบรรทุก



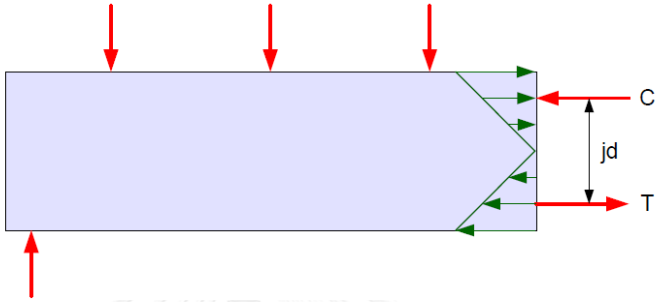
(ข) แผนภูมิโมเมนต์ดัด

ภาพที่ 2.33 คานรับน้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ดัดจากน้ำหนักบรรทุก

ภาพที่ 2.34(ก) แสดงหน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดคานซึ่งเป็นผลมาจากแรงที่มากระทำในภาพที่ 2.34(ข) หน่วยแรงดัดนี้อาจถูกแทนด้วยแรง C และ T อยู่ห่างกันเป็นระยะ jd แรงคู่ควบนี้คือ โมเมนต์กระทำ (Acting Moment) ซึ่งพยายามจะทำให้เกิดการเสียรูปทรงทำให้เกิดแรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุเป็นแรงคู่ควบที่มีขนาดเท่ากันในทิศทางตรงกันข้ามเรียกกว่า โมเมนต์ต้านทาน (Resisting Moment)



(ก) หน่วยแรงดัดบนหน้าตัด



(ข) หน่วยแรงต้านทานภายใน

ภาพที่ 2.34 หน่วยแรงดัดจากน้ำหนักบรรทุกและหน่วยแรงต้านทาน

เมื่อน้ำหนักบรรทุกหรือแรงที่มากระทำเพิ่มขึ้น หน่วยแรงต้านทานจะเพิ่มขึ้นตามเพื่อรักษาสมดุลจนกระทั่งหน้าตัดวิบัติ โมเมนต์มากที่สุดที่หน้าตัดสามารถต้านทานได้เรียกว่า กำลังโมเมนต์ (Moment Strength) คำว่า กำลัง (Strength) ยังถูกใช้ในลักษณะเดียวกันสำหรับกำลังเฉือน (Shear Strength) และกำลังแรงตามแนวแกน (Axial Load Strength)

วิธีกำลัง (Strength Design Method, SDM) เป็นวิธีการออกแบบที่ถูกพัฒนาให้มีความแม่นยำในการคำนวณกำลังจากพฤติกรรมของคอนกรีตเสริมเหล็กในการรับน้ำหนักบรรทุกผลการทดสอบองค์อาคารจนถึงจุดวิบัติถูกนำมาใช้ในการพัฒนาวิธีการออกแบบ

ในวิธีกำลังน้ำหนักบรรทุกใช้งานจะถูกเพิ่มขึ้นโดย ตัวคูณน้ำหนัก (Load factors) เพื่อให้ได้น้ำหนักขณะเกิดการวิบัติ น้ำหนักนี้จะถูกเรียกว่า น้ำหนักประลัย (U , Ultimate load) หรือน้ำหนักเพิ่มค่า (Factored Load) ในทางกลับกันกำลังขององค์อาคารจนถูกลดลงโดย ตัวคูณลดกำลัง (ø, Strength Reduction Factor) โดยค่าตัวคูณทั้งสองจะถูกกำหนดตามมาตรฐาน ในการออกแบบโครงสร้างหรือส่วนโครงสร้างจะถูกกำหนดสัดส่วนให้มีกำลังออกแบบ øSn มีค่าไม่น้อยกว่ากำลังที่ต้องการ U ที่คำนวณจากน้ำหนักเพิ่มค่า

กำลังออกแบบ ≥ กำลังที่ต้องการ

หรือ $$\text{ø Sn} \geq U \qquad (2.5)$$

เมื่อ Sn คือ กำลังระบุ (Nominal Strength) ที่คำนวณตามทฤษฎี กำลังที่ต้องการ U คำนวณโดยใช้ตัวคูณน้ำหนักกับน้ำหนักบรรทุกใช้งานได้แก่ น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load, D), น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load, L), แรงลม W, แรงแผ่นดินไหว E, แรงดันดิน H, แรงดันของไหล F, น้ำหนักหิมะ S, น้ำหนักฝน R และผลจากสิ่งแวดล้อม T อาทิเช่น การทรุดตัว, ความคืบ, การหดตัว และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

สมการ(2.5) เป็นการกำหนดโดยทั่วไป เมื่อนำไปใช้งานออกแบบองค์อาคารรับแรงที่เฉพาะเจาะจงเช่น โมเมนต์, แรงเฉือน และแรงตามแนวแกน จะเขียนเป็น

$$\text{ø } M_n \geq M_u \qquad (2.6ก)$$

$$\text{ø } V_n \geq V_u \qquad (2.6ข)$$

$$\text{ø } P_n \geq P_u \qquad (2.6ค)$$

โดยที่ตัวห้อย n หมายถึงกำลังระบุของโมเมนต์, แรงเฉือน และแรงตามแนวแกน ตามลำดับ และตัวห้อย u หมายถึงการเพิ่มค่าของโมเมนต์, แรงเฉือน และแรงตามแนวแกน โดยในการเพิ่มค่าจะทำโดยใช้ตัวคูณเพิ่มค่ากับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน หรือคูณกับแรงภายในที่เป็นผลมาจากน้ำหนักบรรทุกใช้งาน

5.1) น้ำหนักบรรทุกร่วม (Load Combinations)

มาตรฐานการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังของ ว.ส.ท. 1008-38 กำหนดให้กำลังที่ต้องการ U สำหรับน้ำหนักบรรทุกคงที่ D และน้ำหนักบรรทุกจร L ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า

$$U = 1.4\,D + 1.7\,L \qquad (2.7)$$

ในกรณีที่ต้องคำนึงถึงผลของแรงลม W ในการออกแบบร่วมกับน้ำหนักบรรทุกอื่นต้องพิจารณา U เพิ่มขึ้นอีกกรณีเพื่อนำมาเปรียบเทียบใช้ค่าที่มากกว่าไปการออกแบบ

$$U = 0.75\,(1.4\,D + 1.7\,L + 1.7\,W) \qquad (2.8)$$

หรือ $U = 1.05\,D + 1.275\,L + 1.275\,W$

นอกจากนั้นสาหรับสถานะการณ์ที่น้ำหนักคงที่เป็นตัวน้ำหนักถ่วงเพื่อสร้างเสถียรภาพเมื่อถูกแรงลมกระทำ (เช่น หอคอยหรือกำแพง) ความเป็นไปได้ที่จะลดน้ำหนักคงที่ต้องถูกพิจารณาแทนที่จะเป็นน้ำหนักประลัย ว.ส.ท. จึงกำหนดให้พิจารณาอีกกรณีคือ

$$U = 0.9\,D + 1.3\,W \qquad (2.9)$$

ถ้าต้องคำนึงถึงการต้านทานแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว หรือแรง E ที่รวมอยู่ในการคำนวณออกแบบให้ใช้สมการ (2.8) และ (2.9) โดยแทนค่า W ด้วย 1.1E

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ถ้าต้องคำนึงถึงการต้านทานแรงดันดิน H ในการคำนวณออกแบบ กำลังที่ต้องการ U อย่างน้อยที่สุดต้องเท่ากับ

$$U = 1.4\ D + 1.7\ L + 1.7\ H \qquad (2.10)$$

ยกเว้นในกรณีที่ D หรือ L ลดผลของ H ให้ใช้ค่า 0.9 D แทน 1.4 D และให้ L มีค่าเท่ากับศูนย์ในการหาค่ากำลังที่ต้องการ U สูงสุด

$$U = 0.9\ D + 1.7\ H \qquad (2.11)$$

สำหรับ แรงดันของของเหลว F มีความสูงที่ควบคุมได้สมการ (2.10) และ (2.11) จะถูกใช้ยกเว้น 1.7 H ถูกเปลี่ยนเป็น 1.4 F เนื่องจากความหนาแน่นของเหลวมีค่าแน่นอนแรงดันจึงถูกคิดเหมือนน้ำหนักคงที่ โดยใช้ตัวคูณ 1.4 ในทางตรงข้ามแรงดันดินมีคุณสมบัติแปรเปลี่ยนมากกว่า จึงถูกคิดเป็นน้ำหนักจรโดยใช้ตัวคูณ 1.7 เมื่อผลของโครงสร้าง T ของการทรุดตัวต่างกัน ความคืบ การหดตัวหรือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอาจจะมีผลสำคัญ ก็จะถูกรวมเข้าไปกับน้ำหนักคงที่

$$U = 0.75\ (1.4D + 1.4T + 1.7L) \qquad (2.12)$$

แต่ต้องไม่น้อยกว่า $U = 1.4\ (D + T)$ (2.13)

ตัวคูณ 0.75 ถูกใช้เพื่อระลึกว่ามีความน่าจะเป็นที่จะเกิดน้ำหนักพร้อมกันมีน้อย ค่าตัวคูณลดกาลังและตัวคูณเพิ่มน้ำหนักที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งหมดนั้นเป็นค่าเก่าเพื่อให้ตรงกับที่ ว.ส.ท. กำหนด สำหรับค่าใหม่ตามมาตรฐาน ACI 318-11 จะเป็นดังนี้

ตารางที่ 2.6 ตัวคูณเพิ่มน้ำหนัก U ตามมาตรฐาน ACI 318-11

กรณีบรรทุก	**ตัวคูณเพิ่มนำหนัก**
พื้นฐาน	$U = 1.2\ D + 1.6\ L + 0.5\ (L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
น้ำหนักคงที่	$U = 1.4\ D$
หิมะ, ฝน, อุณหภูมิ, และลม	$U = 1.2\ (D + F + T) + 1.6\ (L + H) + 0.5\ (L_r \text{ or } S \text{ or } R)$ $U = 1.2\ D + 1.6\ (L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (1.0\ L \text{ or } 0.5\ W)$ $U = 1.2\ D + 1.0\ W + 1.0\ L + 0.5\ (L_r \text{ or } S \text{ or } R)$ $U = 0.9\ D + 1.0\ W$
แผ่นดินไหว	$U = 1.2\ D + 1.0\ E + 1.0\ L + 0.2\ S$ $U = 0.9\ D + 1.0\ E$

5.2) กำลังที่คำนวณออกแบบ(Design Strength)

กำลังที่คำนวณออกแบบขององค์อาคารคือกำลังระบุที่คำนวณตามข้อกำหนดและสมมุติฐานตามทฤษฎีการออกแบบโดยวิธีกำลังคูณด้วยตัวคูณลดกำลัง ø โดย ว.ส.ท. กำหนดให้ใช้ค่าดังต่อไปนี้

- การดัดร่วมกับแรงดึงหรือไม่มีแรงดึง ø = 0.90
- แรงดึงตามแนวแกน ø = 0.90
- แรงเฉือนและแรงบิด ø = 0.85
- แรงอัดในเสาปลอกเกลียว ø = 0.75
- แรงอัดในองค์อาคารอื่น ๆ ø = 0.70
- แรงกดบนคอนกรีต ø = 0.70

5.3) ขนาดและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้

แม้ว่าในการออกแบบจะพิจารณาถึง ขนาด ระยะช่องว่าง และตำแหน่งของเหล็กเสริมที่แน่นอน ในทางปฏิบัติอาจเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้บ้าง ถือเป็นความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

ขนาดทั้งหมดของคอนกรีตเสริมเหล็กจะถูกกำหนดโดยวิศวกรเป็นจำนวนเต็มเซ็นติเมตร สำหรับคาน เสา และผนัง บางครั้งใช้ครึ่งเซ็นติเมตรสำหรับพื้นบาง และบ่อยครั้งที่เพิ่มทีละ 10 ซ.ม. ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้สำหรับการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดของเสาและคาน และในความหนาของพื้นและผนังจะ +1.0 ซ.ม.และ -0.5 ซ.ม.

เมื่อขนาดที่กำหนดมากกว่า 30 ซ.ม. แต่ไม่เกิน 90 ซ.ม. สำหรับคอนกรีตฐานราก การแปรเปลี่ยนของขนาดแปลนจะเป็น +5.0 ซ.ม. และ -1.0 ซ.ม. ขณะที่ความหนาย่อมรับความคลาดเคลื่อน -5% ของความหนาที่กำหนด ตัวคูณลดกำลัง ø ตั้งใจจะถูกใช้ในสถานะการซึ่งความคลาดเคลื่อนหลายตัวอาจมารวมกัน ทำให้กำลังลดลงจากที่คำนวณโดยใช้ขนาดที่กำหนด

โดยปกติเหล็กเสริมจะถูกกำหนดความยาวเพิ่มทีละ 10 ซ.ม. และความคลาดเคลื่อนในการวางเหล็กถูกกำหนดใน ACI Code สำหรับระยะหุ้มของคอนกรีตและความลึกประสิทธิผล d (ระยะจากหน้ารับแรงอัดถึงศูนย์กลางของเหล็กรับแรงดึง) ในส่วนโครงสร้างรับแรงดัน ผนัง และส่วนโครงสร้างรับแรงอัด ความคลาดเคลื่อนที่กำหนดดังนี้

ตารางที่ 2.7 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการวางเหล็กเสริม

ความลึกประสิทธิผล (*d*, ซม.)	**ความคลาดเคลื่อน**	
	ของความลึก (ซม.)	**ของระยะหุ้ม (ซม.)**
d ≥ 20	±1.0	-1.0
d > 20	±1.2	-1.2

โดยไม่คำนึงถึงความคลาดเคลื่อนที่กำหนดระยะหุ้มที่ได้ไม่ควรน้อยกว่าสองในสามของระยะหุ้มน้อยสุดตามที่กำหนดในแบบ เนื่องจากความลึกประสิทธิผลและระยะหุ้มเป็นส่วนประกอบของความลึกทั้งหมด เมื่อความคลาดเคลื่อนของการจัดวางเหล็กและระยะหุ้มมารวมกันความคลาดเคลื่อนทั้งหมดของขนาดอาจจะเกิน ดังนั้นการปรับแก้ในที่ก่อสร้างอาจจะต้องทำซึ่งอาจจะสำคัญเป็นพิเศษสำหรับหน้าตัดที่บางมาก สำหรับตำแหน่งของเหล็กตามยาวของขนาดและของการงอเหล็ก ความคลาดเคลื่อนคือ ø5 ซ.ม. ยกเว้นปลายที่ไม่ต่อเนื่องซึ่งความคลาดเคลื่อนจะเป็น ø1.2 ซ.ม.

5.4) วิธีการวิเคราะห์โครงสร้าง

องค์อาคารทุกตัวในโครงสร้างจะได้รับการออกแบบมาเพื่อรองรับผลที่มากที่สุดของน้ำหนักประลัย ซึ่งพิจารณาโดยทฤษฎีการวิเคราะห์แบบอิลาสติก หรืออาจใช้ค่าประมาณของโมเมนต์และแรงเฉือนสำหรับการออกแบบคานต่อเนื่องและพื้นทางเดียว ซึ่งค่าประมาณที่ได้จะเผื่อค่อนข้างมากในกรณีที่องค์อาคารดัดนั้นเป็นส่วนหนึ่งของโครงข้อแข็ง เนื่องจากรูปแบบน้ำหนักบรรทุกที่แตกต่างกัน

ACI ได้กำหนดสัมประสิทธิ์เพื่อใช้ในการประมาณค่ามากที่สุดของโมเมนต์และแรงเฉือนในคานและพื้นทางเดียวต่อเนื่อง โมเมนต์จะมีค่าเท่ากับผลคูณของสัมประสิทธิ์และ $w_u l_n^2$ เมื่อ w_u คือน้ำหนักประลัยต่อหน่วยความยาว และ l_n คือระยะห่างระหว่างผิวในของที่รองรับสำหรับการหาโมเมนต์บวก หรือค่าเฉลี่ยของสองช่วงคานที่ติดกันสำหรับโมเมนต์ลบ แรงเฉือนจะหาได้โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์คูณกับ $w_u l_n/2$ ตารางที่ 2.8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ต่างเช่นเดียวกับในภาพที่ 2.35

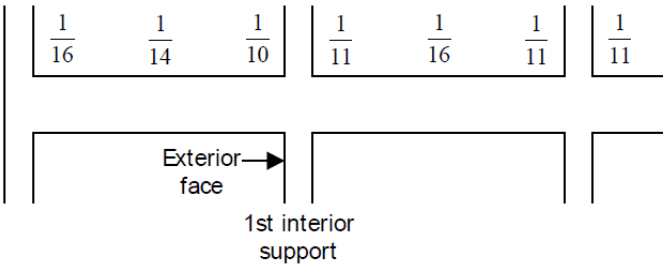
ค่าสัมประสิทธิ์ ACI เหล่านี้ได้มาจากการวิเคราะห์แบบอีลาสติก โดยพิจารณาเลือกวางน้ำหนักจรเพื่อให้ได้โมเมนต์บวกหรือลบมากที่สุดที่หน้าตัดวิกฤติ ซึ่งจะใช้ได้ภายใต้เงื่อนไขดังนี้

1. มีช่วงคานตั้งแต่ 2 ช่วงขึ้นไป
2. มีช่วงยาวเท่ากันโดยประมาณ โดยช่วงที่ติดกันมีความยาวต่างกันไม่เกิน 20%
3. รับน้ำหนักแผ่สม่ำเสมอเต็มทุกช่วง
4. น้ำหนักจรไม่เกิน 3 เท่าของน้ำหนักบรรทุกคงที่
5. องค์อาคารมีลักษณะเป็นปริซึมหน้าตัดคงที่

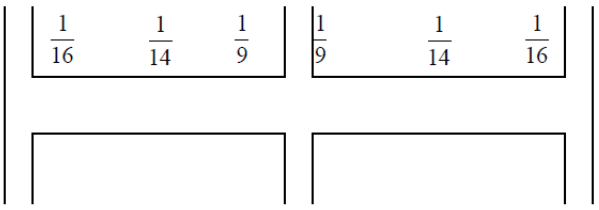
ตารางที่ 2.8 ค่าโมเมนต์และแรงเฉือนโดยใช้สัมประสิทธิ์ของ ACI

(ก) โมเมนต์บวก	
คานช่วงปลาย	
- ปลายไม่ต่อเนื่องไม่ยึดรั้งกับที่รองรับ	$w_u l_{n2}/11$
- ปลายไม่ต่อเนื่องหล่อเป็นเนื้อเดียวกันกับที่รองรับ	$w_u l_{n2}/14$
คานช่วงใน	$w_u l_{n2}/16$
(ข) โมเมนต์ลบ	
โมเมนต์ลบที่ขอบนอกของที่รองรับตัวในตัวแรก	
- เมื่อมี 2 ช่วง	$w_u l_{n2}/9$
- เมื่อมีมากกว่า 2 ช่วง	$w_u l_{n2}/10$
โมเมนต์ลบที่ขอบของที่รองรับตัวในอื่นๆ	$w_u l_{n2}/11$
โมเมนต์ลบที่ขอบของที่รองรับทุกแห่งสำหรับ	
- พื้นที่มีช่วงยาวไม่เกิน 3.00 ม. และ	$w_u l_{n2}/12$

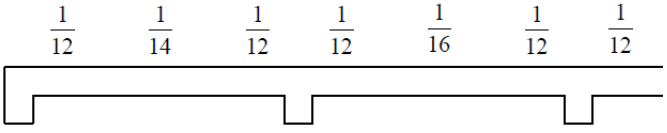
- คานที่มีอัตราส่วนสติฟเนสของเสาต่อคาน > 8	$w_u l_{n2}/12$
โมเมนต์ลบที่ขอบในของที่รองรับตัวริมที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกับที่รองรับ	
- เมื่อที่รองรับเป็นคานขอบ	$w_u l_{n2}/24$
- เมื่อที่รองรับเป็นเสา	$w_u l_{n2}/16$
(ค) แรงเฉือน	
แรงเฉือนที่ขอบของที่รองรับตัวในแรก 1.15	$w_u l_n/2$
แรงเฉือนที่ขอบของที่รองรับตัวอื่นๆ	$w_u l_n/2$



(a) Continuous beam with more than 2 spans



(b) Continuous beam with 2 spans



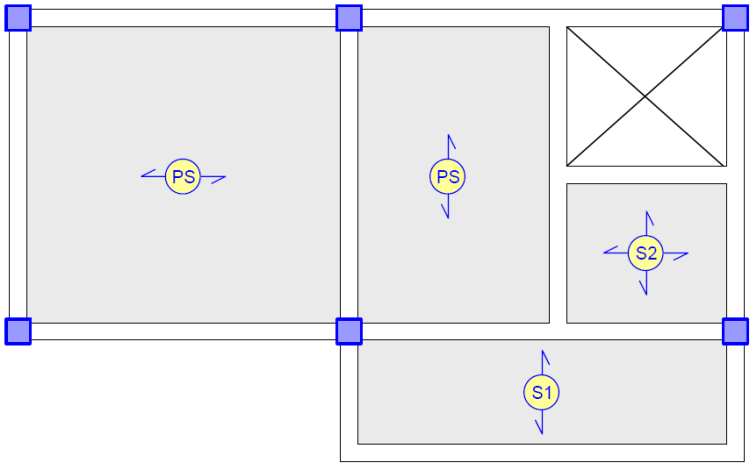
(c) Slab with span not exceeding 3 m and column/beam stiffness ratio > 8

ภาพที่ 2.35 (a) คานต่อเนื่องมากกว่าสองช่วง (b) คานต่อเนื่องสองช่วง (c) พื้นช่วงยาวไม่เกิน 3 เมตร [7]

6) การออกแบบและการถ่ายน้ำหนักลงสู่โครงสร้าง

6.1) พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

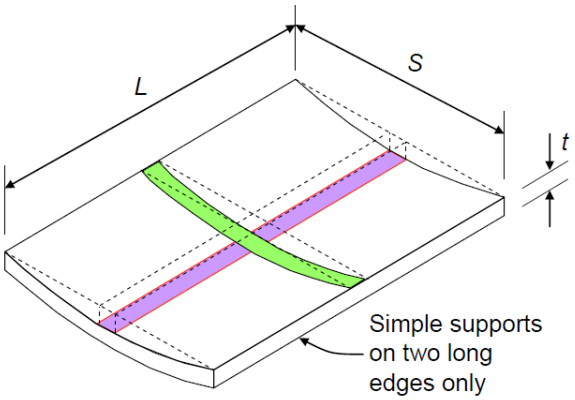
พื้นคือองค์อาคารที่มีลักษณะเป็นแผ่นในแนวราบมีหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกจรจากการใช้งานอาคารและน้ำหนักบรรทุกคงที่ของตัวพื้นเองและวัสดุปูทับผิวหน้า จากแบบแปลนในแต่ละชั้นจะแสดงพื้นพร้อมระบุหมายเลขกำกับได้แก่ S1, S2,... คือพื้นหล่อในที่ทางเดียวหรือสองทาง, SP หรือ PS คือ พื้นสำเร็จรูป (Precasted Slab) และ GS คือพื้นบนดิน



ภาพที่ 2.36 แบบแปลนอาคาร

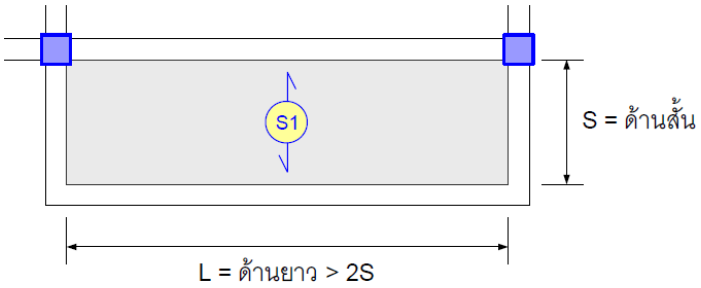
6.2) พื้นทางเดียว (One-way Slab) S1

คือพื้นที่มีด้านยาว (L) เกินสองเท่าของด้านสั้น (S) พฤติกรรมการรับน้ำหนักเป็นไปในทิศทางเดียวคือด้านสั้น ดังนั้นจึงมีลักษณะเช่นเดียวกับคาน จุดรองรับของพื้นที่ขอบทั้งสองข้างของด้านสั้น การเสริมเหล็กในพื้นมีทั้งสองทิศทางเป็นตะแกรงเพื่อต้านทานการแตกร้าว เสริมเหล็กล่างเพื่อรับโมเมนต์บวกบริเวณกลางช่วง และเสริมเหล็กบนเพื่อรับโมเมนต์ลบที่บริเวณจุดรองรับ



ภาพที่ 2.37 พื้นทางเดียวรับน้ำหนักบรรทุก

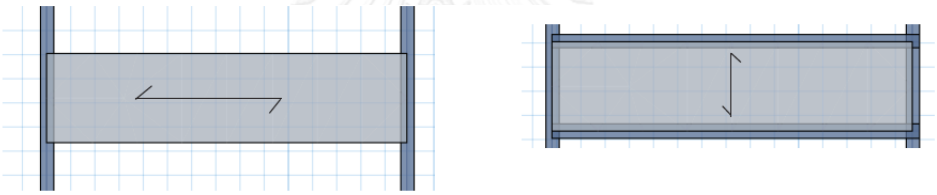
การเขียนสัญลักษณ์พื้นทางสั้นจะเขียนชื่อพื้น S1, S2,... ภายในวงกลม และเขียนลูกศรทางเดียวขนานกับทิศทางสั้น (S) ซึ่งเป็นทิศทางในการรับน้ำหนักบรรทุก



ภาพที่ 2.38 พื้นทางเดียวรับน้ำหนักบรรทุก

ลักษณะของพื้นเสริมเหล็กทางเดียว

พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียวใช้กับแผ่นพื้นที่ด้านยาวมีความยาวมากกว่า 2 เท่าของด้านสั้น โดยมีคานรองรับตลอดแนวความยาวของแผ่นพื้นทั้งสองด้าน

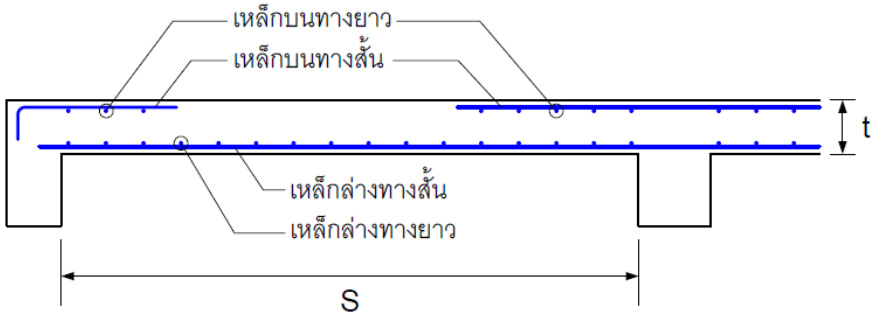


(ก)

(ข)

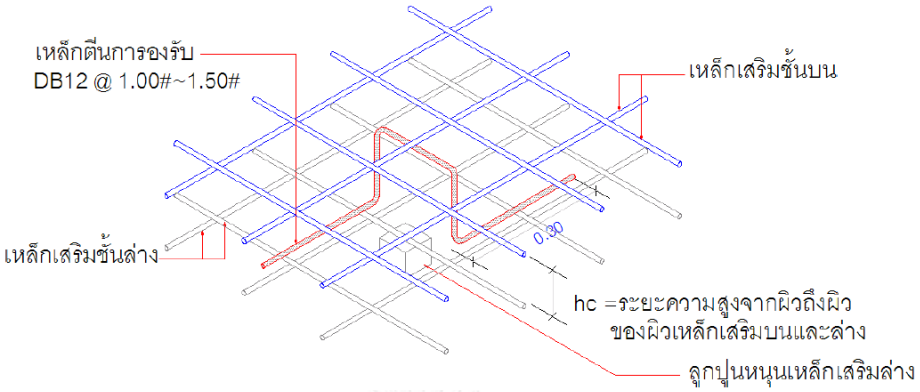
ภาพที่ 2.39 (ก) คานรองรับ 2 ด้าน (ข)คานรองรับ 4 ด้าน

แบบรายละเอียดของพื้นทางสั้นมักเขียนเฉพาะรูปตัดด้านข้างของพื้นในทิศทางสั้น โดยมีเหล็กเสริมทางสั้นซึ่งเป็นทิศทางหลักเขียนเป็นเส้นแสดงเหล็กล่างและเหล็กบนเช่นเดียวกับในคาน และเขียนเหล็กเสริมในทิศทางยาวเป็นจุดเพื่อกันการแตกร้าวและช่วยยึดเหล็กทางสั้นเป็นตะแกรง



ภาพที่ 2.40 แบบรูปตัดพื้นทางเดียวตามทิศทางด้านสั้น

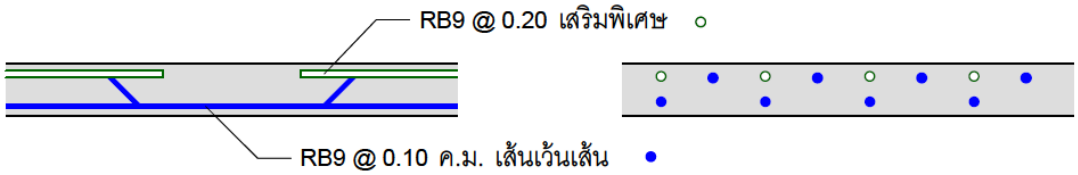
การเสริมเหล็กในพื้นแบบแยกเป็นตะแกรงเหล็กชั้นบนและชั้นล่าง เพื่อให้เหล็กเสริมอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการในขณะที่เทคอนกรีต สำหรับเหล็กล่างจะใช้ลูกปูนหนุน และจะใช้เหล็กตีนกาช่วยในการรองรับเหล็กชั้นบน



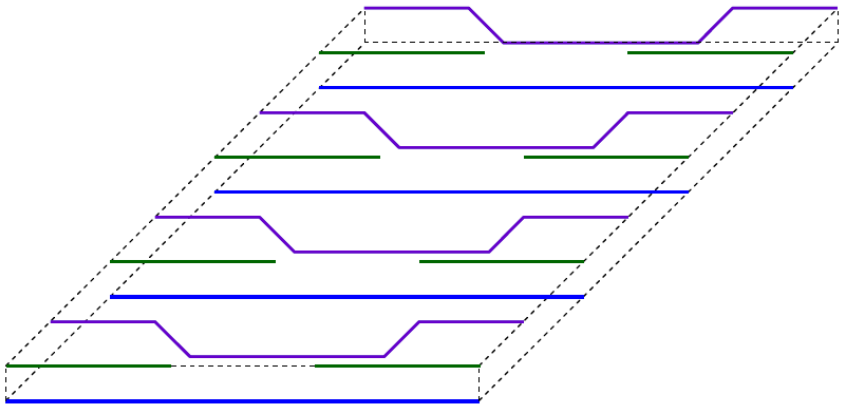
ภาพที่ 2.41 เหล็กตีนการองรับเหล็กเสริมชั้นบน

การเสริมเหล็กอีกแบบหนึ่งเรียกว่าแบบ “คอม้าเส้นเว้นเส้น” โดยจะดัดเหล็กล่างเป็นคอม้าขึ้นมาเป็นเหล็กบนเส้นเว้นเส้นเพื่อเป็นการรองรับเหล็กชั้นบนและช่วยลดเหล็กเสริมที่ใช้ไปในตัวจากนั้นเสริมเหล็กบนพิเศษในตำแหน่งของเหล็กล่างที่ไม่ถูกดัดขึ้นมา วิธีการนี้จะได้ปริมาณเหล็กเสริมบนที่ปลายช่วงและเหล็กล่างที่กลางช่วงเท่ากัน เช่น ในตัวอย่างข้างล่าง ปริมาณเหล็กเสริมคือ RB9 @ 0.10 ม. (A_s = 6.36 ซม.^{2}/ความยาว 1 ม.)

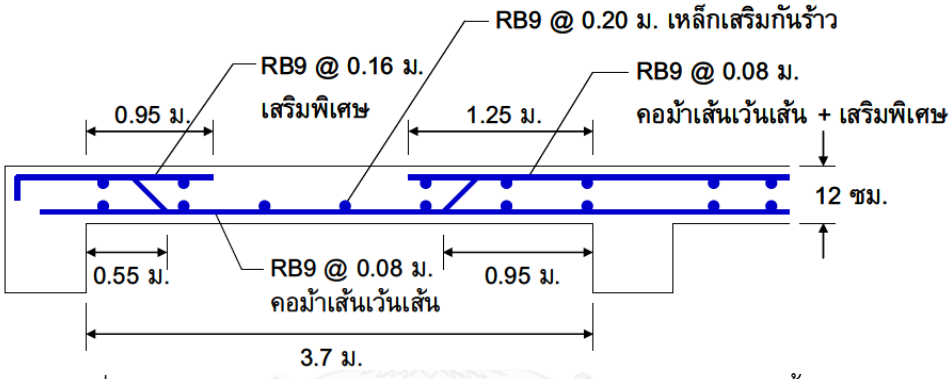
การเสริมเหล็กอีกแบบหนึ่งเรียกว่าแบบ “คอม้าเส้นเว้นเส้น” โดยจะดัดเหล็กล่างเป็นคอม้าขึ้นมาเป็นเหล็กบนเส้นเว้นเส้นเพื่อเป็นการรองรับเหล็กชั้นบนและช่วยลดเหล็กเสริมที่ใช้ไปในตัวจากนั้นเสริมเหล็กบนพิเศษในตำแหน่งของเหล็กล่างที่ไม่ถูกดัดขึ้นมา วิธีการนี้จะได้ปริมาณเหล็กเสริมบนที่ปลายช่วงและเหล็กล่างที่กลางช่วงเท่ากัน เช่นในตัวอย่างข้างล่าง ปริมาณเหล็กเสริมคือ RB9 @ 0.10 ม. (As = 6.36 ซม.^{2}/ความยาว 1 ม.)



ภาพที่ 2.42 รูปตัดแผ่นพื้น แสดงการวางเหล็กเสริมคอม้า



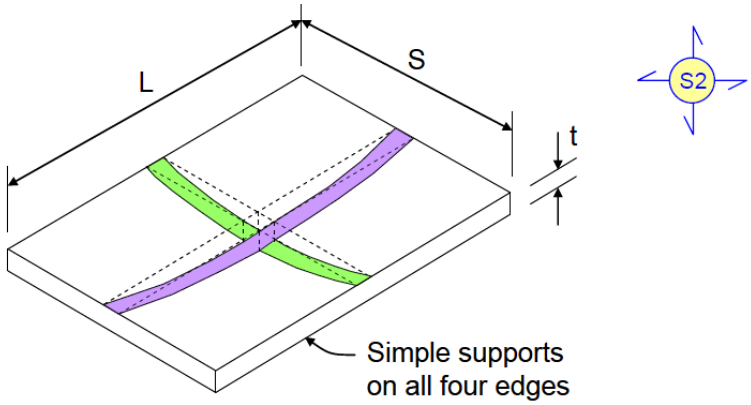
ภาพที่ 2.43 การเสริมเหล็กคอม้าเส้นเว้นเส้นในพื้นทางเดียว



ภาพที่ 2.44 ตัวอย่างรายละเอียดการเสริมเหล็กคอม้าเส้นเว้นเส้นในพื้นทางเดียว

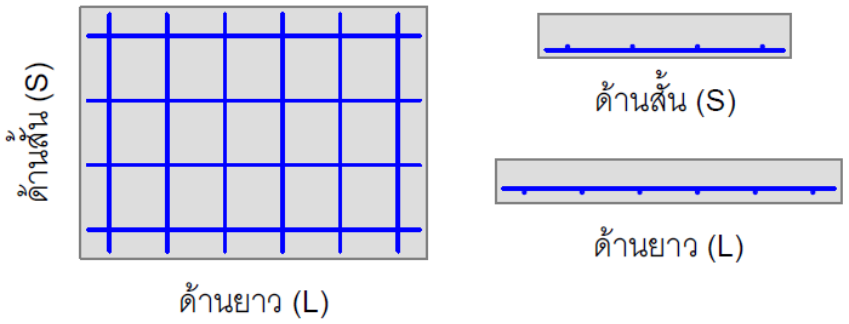
6.3) พื้นสองทาง (Two-way Slab) S2

สำหรับพื้นที่มีด้านยาว (L) ไม่เกินสองเท่าของด้านสั้น (S) พฤติกรรมการรับน้ำหนักเป็นไปในสองทิศทาง ตัวอย่างเช่นพื้น S2 ในรูปที่ 2.45 สัญลักษณ์ที่เขียนจะเป็นลูกศรสองทิศทาง



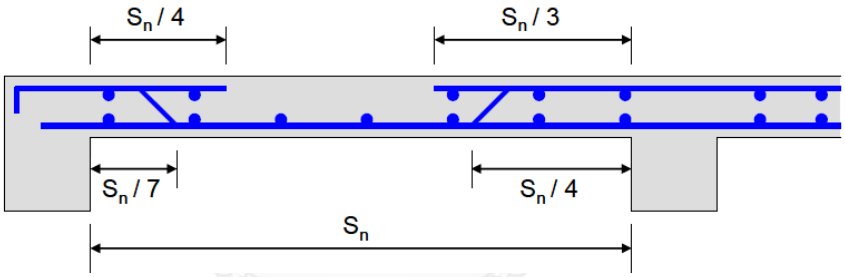
ภาพที่ 2.45 พื้นสองทางรับน้ำหนักบรรทุก

การเสริมเหล็กเพื่อรับน้ำหนักจึงจำเป็นต้องมีทั้งสองทิศทางเป็นตะแกรงเหล็กชั้นล่าง โดยเหล็กทิศทางสั้นจะอยู่ล่างเพื่อให้มีความลึกมากกว่าเนื่องจากต้องรับโมเมนต์ดัดมากกว่า เหล็กในทิศทางสั้นจะแสดงเป็นจุดและเส้นสลับกันในแต่ละทิศทางหน้าตัด

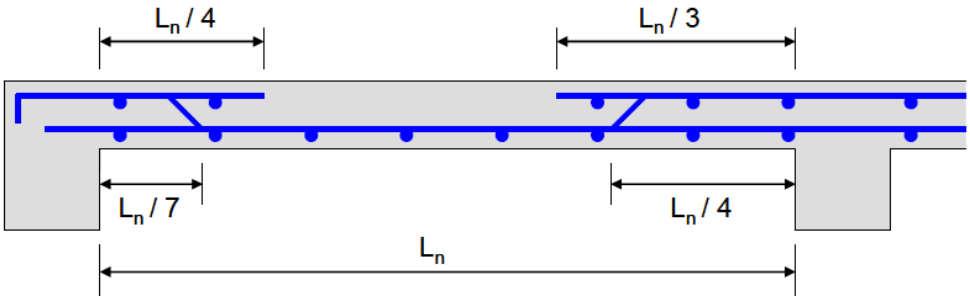


ภาพที่ 2.46 เหล็กเสริมชั้นล่างในพื้นสองทาง

ส่วนเหล็กชั้นบนในแต่ละทิศทางนั้นสามารถเลือกแบบแยกอิสระจากชั้นล่าง หรือแบบคอม้าเส้นเว้นเส้นเช่นเดียวกับในพื้นทางเดียว

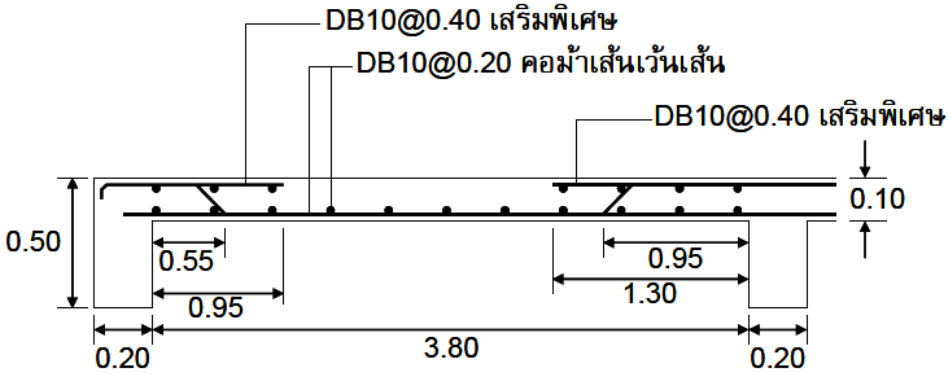


ก. รูปตัดด้านสั้น

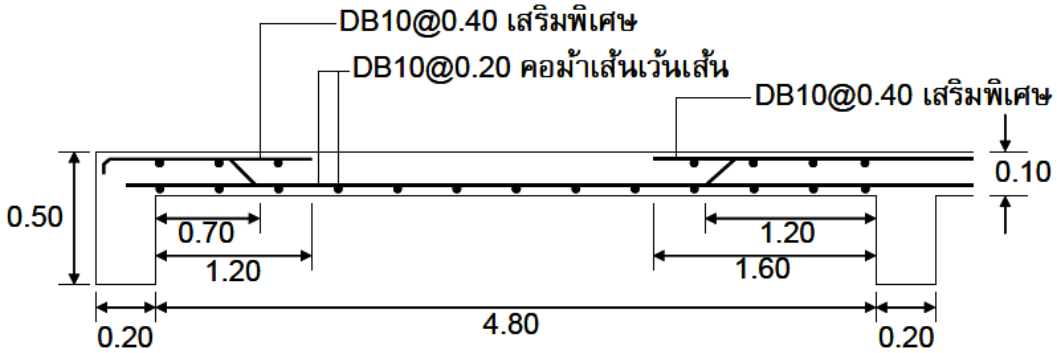


ข. รูปตัดด้านยาว

ภาพที่ 2.47 รูปแบบการเสริมเหล็กในพื้นสองทาง



ก.พื้นด้านสั้น

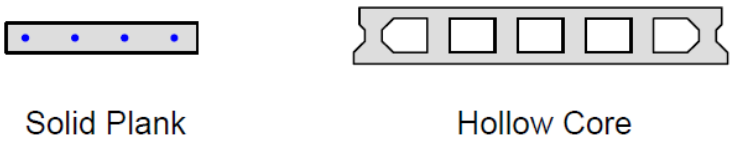


ข.พื้นด้านยาว

ภาพที่ 2.48 ตัวอย่างการเสริมเหล็กในพื้นสองทาง

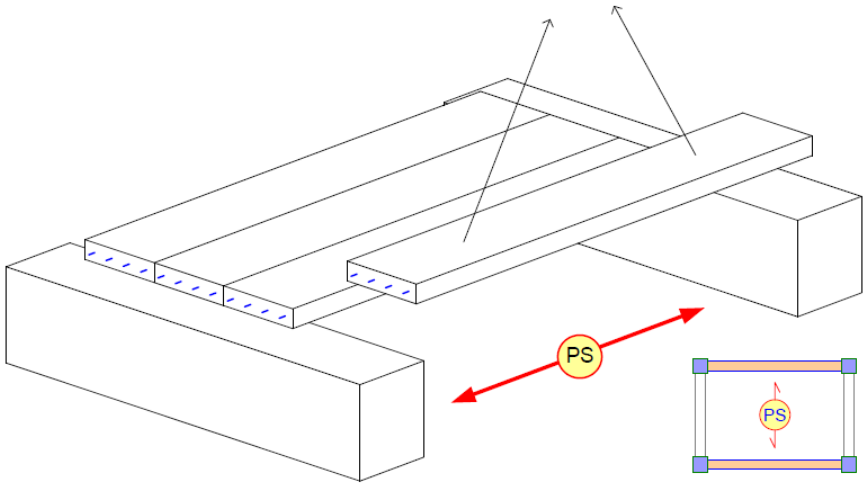
6.4) พื้นสำเร็จรูป (Precasted Slab) SP หรือ PS

พื้นสำเร็จรูปใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันสำหรับพื้นภายในอาคารทั่วไป เนื่องจากมีความสะดวกรวดเร็วในการก่อสร้าง โดยพื้นสำเร็จรูปซึ่งถูกหล่อเป็นแผ่นคอนกรีตอัดแรงมาจากโรงผลิตจะมีหน้าตัดสี่เหลี่ยมตัน (Solid Plank) กว้าง 30-35 ซม. หนา 5 ซม. และจำนวนลวดอัดแรงตามการออกแบบ จะใช้สำหรับงานขนาดเล็ก และหน้าตัดกลวง (Hollow Core) กว้าง 60 ซม. หนา 10-30 ซม. จะใช้สำหรับงานขนาดใหญ่



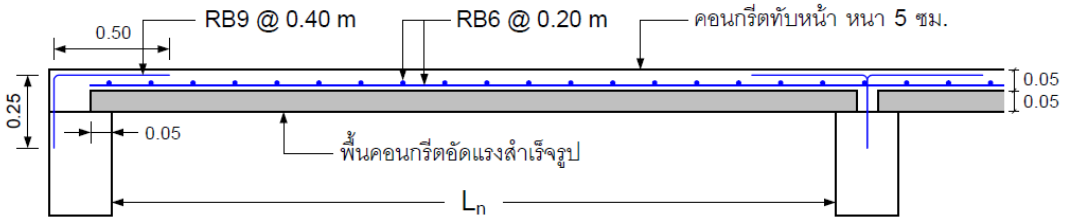
ภาพที่ 2.49 หน้าตัดแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป

เมื่อขนส่งมาถึงสถานที่ก่อสร้างแผ่นพื้นจะถูกยกขึ้นวางพาดระหว่างคานรองรับ จากนั้นปูตะแกรงเหล็กแล้วเทคอนกรีตทับหน้า



ภาพที่ 2.50 การยกวางแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป

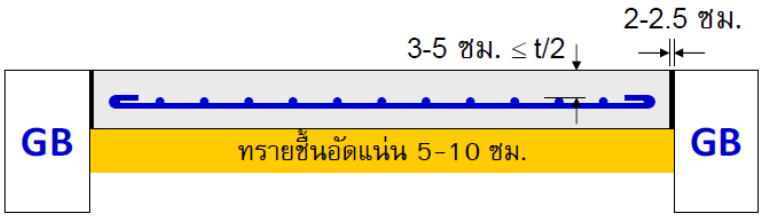
พื้นสำเร็จรูปมีการรับน้ำหนักในหนึ่งทิศทางตามการยกวางพาดของพื้น จึงใช้เขียนลูกศรทิศทางเดียวเช่นเดียวกับพื้นทางเดียว ลูกศรจะชี้ขนานกับการวางพื้น ตะแกรงที่วางทับหน้าอาจเป็นเหล็ก RB6 (6 ม.ม.) ดังในรูปข้างล่าง หรือตะแกรงลวดเหล็ก (Wire Mesh) ขนาด 4 ม.ม.



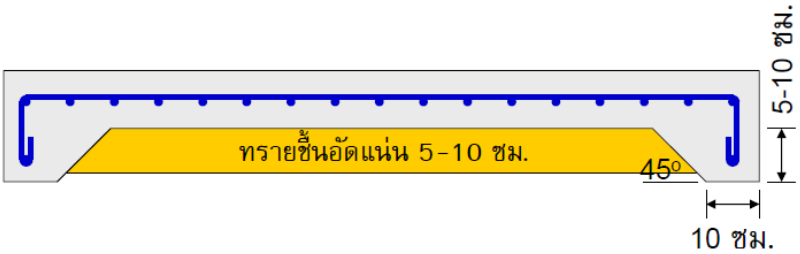
ภาพที่ 2.51 แบบรายละเอียดพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป

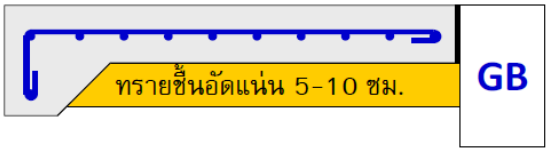
6.5) พื้นบนดิน (Slab on Ground) SG หรือ GS

พื้นคอนกรีตซึ่งใช้พื้นดินเป็นที่รองรับทำบนพื้นที่มีสภาพดินแข็งแรงเพียงพอในการรับน้ำหนัก โดยปรับพื้นดินให้ได้ระดับ บดอัดดินให้แน่นแล้วปรับระดับด้วยทรายหยาบและคอนกรีตหยาบ ที่ขอบพื้นภายในอาคารจะเว้นร่องไว้ แล้วยาแนวด้วยวัสดุยืดหยุ่นเช่นยางมะตอย ขอบของพื้นภายนอกจะทำเป็นขอบหนาเพื่อกันดินไหลออก



ก. พื้นภายใน





ข. พื้นภายนอก

ภาพที่ 2.52 แบบรายละเอียดพื้นวางบนดิน

ดังนั้น ทฤษฎีการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ใช้สำหรับการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งระบบของโครงสร้าง โดยจะนำค่าที่ได้จากทฤษฎีโครงสร้าง มาทำการออกแบบผลที่ได้จากทฤษฎีนี้ก็คือ ขนาดหน้าตัดและจำนวนเหล็กเสริมหลักและเหล็กเสริมรอง ในชิ้นส่วนโครงสร้างที่เราทำการออกแบบ

2.2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับเทคนิคการก่อสร้าง

พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่สามารถก่อสร้างได้ 2 ลักษณะคือ การก่อสร้างพื้นร่วมกับคาน หรือการก่อสร้างพื้นหลังการเทคานแล้วเสร็จ

การก่อสร้างพื้นหล่อในที่ มีขั้นตอนดังนี้

1) ตรวจสอบระดับหลังคาน ระดับท้องพื้นให้ถูกต้องตามแบบก่อสร้าง

2) การติดตั้งนั่งร้านเพื่อก่อสร้างพื้นอาจทำไปพร้อมกับท้องคาน หรืออาจก่อสร้างคานแล้วเสร็จก่อนแล้วค่อยติดตั้งท้องพื้น โดยมีค้ำยันที่เพียงพอ แข็งแรง สามารถรับน้ำหนักของคอนกรีต ไม้แบบ และน้ำหนักจรของคนงานขณะปฏิบัติงานได้

3) จัดดวางเหล็กเสริมคาน พื้น ให้ได้ขนาด ตำแหน่ง และระยะถูกต้องตามแบบก่อสร้าง

4) ทำการเข้าแบบคานและพื้น พร้อมทั้งค้ำยันแบบหล่อให้แข็งแรงสามารถรับแรงดันคอนกรีตได้ และหาระดับการเทคอนกรีต

5) ตรวจสอบแบบหล่อว่ามีรอยรั่วหรือเข้าแบบสนิทหรือไม่ ถ้าติดตั้งแบบหล่อสนิทแล้ว ทำความสะอาดแบบหล่อ และฉีดน้ำหรือราดน้ำปูนก่อนเทคอนกรีตเพื่อป้องกันไม่ให้ไม้แบบดูดน้ำจากคอนกรีต

6) เทคอนกรีตและใช้เครื่องสั่นคอนกรีตทำให้คอนกรีตแน่นตัว พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างคอนกรีตเพื่อนำไปทดสอบหากำลังอัด

7) เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ประมาณ 1-2 วัน ถอดแบบด้านข้าง และทำการบ่มคอนกรีตส่วนค้ำยันทิ้งไว้อีก 14 วันแล้วจึงถอดออก

ตารางที่ 2.9 ประเภทอาคารและระยะเวลาในการถอดแบบหล่อ

ประเภทขององค์อาคาร	ระยะเวลา *
แบบข้างกำแพง, ข้างเสา, ข้างคาน, ฐานราก	2
แบบล่างรองรับท้องพื้น	7
แบบท้องพื้นเมื่อถอดเสร็จแล้วให้ค้ำยันกลางพื้นต่ออีก	21
แบบล่างรองรับท้องคาน	14
แบบท้องคานเมื่อถอดเสร็จแล้วให้ค้ำยันกลางคานต่ออีก	14

* ทั้งนี้ให้ยกเว้นกรณีที่ใช้ซีเมนต์พอร์ตแลนด์ชนิดแข็งตัวเร็ว ซึ่งให้ถือกำหนอถอดแบบได้ทั้งหมดเมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 7 วัน

ดังนั้นทฤษฎีเกี่ยวกับเทคนิคการก่อสร้าง ใช้สำหรับการทำงานให้ถูกหลักวิชาการ เช่น กระบวนการทำงาน การทำแบบหล่อ การถอดแบบหล่อ การค้ำยันแบบและโครงสร้าง การบ่มคอนกรีต การต่อทาบเหล็กระยะทาบเหล็กให้เป็นไปตามข้อกำหนดคือ 30 เทาของขนาดเส้นผาศูนยกลางสำหรับเหล็กขอออยและ 60 เทาของขนาดเส้นผาศูนยกลางสำหรับเหล็กกลม ตำแหนงการทาบใหอยู่ในดุลยพินิจของผู้ควบคุมงานและตำแหน่งการหยุดเทคอนกรีต เมื่อการเทคอนกรีตส่วนใดจะเทรวดเดียวจนเสร็จไม่ได้ก็ให้หยุดเทให้ตรงตามที่ระบุไว้ในแบบรูปหรือตามที่กำหนดดังนี้

1. เสา ให้เทถึงระดับ 2.5 ซม. ต่ำกว่าท้องคานหัวเสา
2. คาน ให้เทถึงกลางคานในแนวตั้งฉากกับท้องคาน
3. พื้น ให้เทถึงกลางแผนในแนวตั้งฉากกับท้องพื้น เป็นต้น

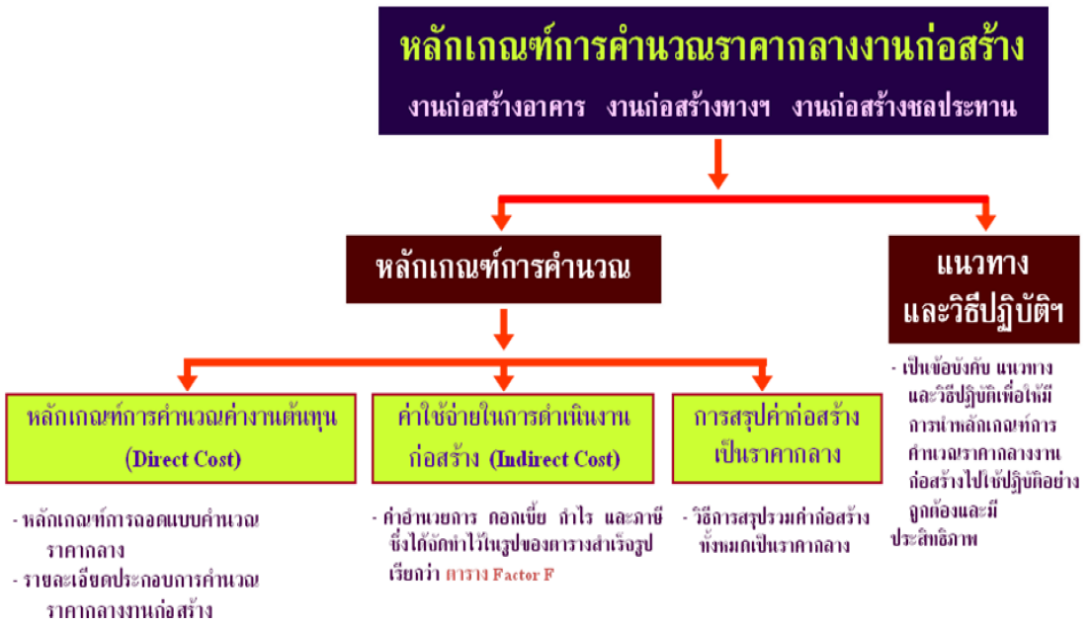
ซึ่งที่กล่าวมาทั้งหมดส่งผลโดยตรงต่อกำลังของโครงสร้างอาคาร

ภาพที่ 2.53 การก่อสร้างพื้นหล่อในที่

2.2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับการประมาณราคาการก่อสร้าง

การประมาณราคาแบบละเอียดตามหลักเกณฑ์การกำหนดราคากลางงานก่อสร้างของทางราชการ (ตามมติคณะรัฐมนตรี 6 กุมภาพันธ์ 2550) เป็นวิธีการประมาณราคาที่เป็นที่ยอมรับของทางราชการและเอกชนเนื่องจากได้ราคาที่ไม่สูงจนผู้ประกอบการได้กำไรมากเกินกว่าที่ควรได้รับและเป็นราคาที่ไม่ต่ำจนผู้ประกอบการไม่สามารถที่จะดำเนินการก่อสร้างได้ และเอกชนได้มีส่วนร่วมในการกำหนดหลักเกณฑ์ดังกล่าวด้วย ส่วนดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง เป็นดัชนีที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงของราคาสินค้าวัสดุก่อสร้างโดยเฉลี่ย ซึ่งเป็นต้นทุนส่วนใหญ่ของการก่อสร้างอาคารต่าง ๆ อีกทั้งสำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ กระทรวงพาณิชย์ ก็ได้จัดทำดัชนีราคาวัสดุก่อสร้างทุกเดือน

คณะรัฐมนตรีได้ประชุมปรึกษาเมื่อวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2550 ลงมติเห็นชอบหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง ตามที่กระทรวงการคลัง (คณะกรรมการกำกับนโยบายราคากลางงานก่อสร้าง) เสนอให้ใช้หลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้างที่ปรับปรุงใหม่ ที่มีคณะอนุกรรมการพิจารณาปรับปรุงหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง ประกอบด้วยผู้แทนหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งในส่วนของภาครัฐ เอกชน และผู้ทรงคุณวุฒิ รวม 13 ท่าน โดยมอบหมายให้รองอธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมืองในขณะนั้น (นายคุโณดม ธรรมาภรณ์พิลาศ) เป็นประธานอนุกรรมการ ผู้อำนวยการสำนักพัฒนามาตรฐานระบบพัสดุภาครัฐ กรมบัญชีกลาง เป็นอนุกรรมการและเลขานุการ และให้คณะอนุกรรมการฯ มีอำนาจหน้าที่พิจารณาทบทวนในรายละเอียดและเสนอแนะแนวทางและวิธีการในการปรับปรุงหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง ทั้งในส่วนของการคำนวณค่างานต้นทุน Factor F และรายละเอียดประกอบการคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องตามข้อมูลข้อเท็จจริงปัจจุบันและสร้างความเป็นธรรมให้แก่ทุกฝ่าย โดยให้ส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ และหน่วยงานอื่นของรัฐถือปฏิบัติ อีกทั้งให้สำนักงบประมาณและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องใช้หลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้างนี้ประกอบการพิจารณาจัดสรรหรือตั้งงบประมาณสำหรับโครงการ/งานก่อสร้างของทางราชการ มีผลบังคับใช้เมื่อวันที่ 21 มีนาคม 2550 โดยมีหลักเกณฑ์ในการคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง



ภาพที่ 2.54 หลักเกณฑ์ในการคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง

ดังนั้น ทฤษฎีการประมาณราคาค่าก่อสร้างใช้สำหรับหางบประมาณในการก่อสร้าง เช่น จำนวนวัสดุอุปกรณ์ จำนวนแรงงาน ค่าดำเนินการ กำไรและภาษี เป็นต้น

2.2.5 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

1) ซีเมนต์และคอนกรีต

มีสิ่งก่อสร้างในปัจจุบันเป็นจำนวนมากที่ทำขึ้นด้วยส่วนผสมของซีเมนต์ หิน ทราย และน้ำ เราเรียกส่วนผสมนี้ว่า คอนกรีต คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีปริมาณการใช้งานเพิ่มขึ้นทุกที ทั้งนี้ เพราะไม้ซึ่งเป็นวัสดุก่อสร้างที่เคยใช้มาแต่เดิมหายากขึ้น ราคาแพง ไม่ทนทาน รับน้ำหนักได้น้อยไม่เหมาะสำหรับการก่อสร้างอาคาร หรือสิ่งก่อสร้างใหญ่ๆ และคอนกรีตสามารถหล่อเป็นรูปร่างต่างๆ ตามต้องการได้ จึงสะดวกต่องานก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารหลายๆ ชั้น สะพาน โรงงาน ท่อระบายน้ำ เขื่อนกั้นน้ำ เป็นต้น คอนกรีตจะแข็งแรงมากขึ้นถ้าใส่เหล็กไว้ภายใน เราเรียกคอนกรีตชนิดนี้ว่า "คอนกรีตเสริมเหล็ก" (reinforced concrete)

ในสมัยโบราณเมื่อยังไม่มีการค้นพบซีเมนต์วัสดุก่อสร้างที่ใช้กับงานก่อสร้างใหญ่ๆ เป็นส่วนผสมของปูนขาว ทราย และน้ำ อาจมีวัสดุอื่นผสม เช่น น้ำอ้อย เป็นต้น เพื่อให้ปูนขาวและทรายยึดตัวกันดีขึ้น เราเรียกส่วนผสมนี้ว่า "ปูนสอ" (mortar) ในทางปฏิบัติคนสมัยก่อนมักจะเรียกปูนสอว่า ซีเมนต์ คำว่าซีเมนต์มาจากภาษาละติน ซึ่งแปลว่า "ตัด" โดยใช้เรียกหินปูนที่ตัดเป็นชิ้นๆ เพื่อจะนำมาเผาเป็นปูนขาว แต่ซีเมนต์ในปัจจุบันหมายถึง ตัวประสานวัสดุสองชนิด หรือหลายๆ ชนิดให้ติดแน่น ในกรณีของคอนกรีต หรือคอนกรีตเสริมเหล็ก ซีเมนต์เป็นตัวทำให้ทราย หิน และเหล็ก ยึดติดกันแน่น เมื่อแห้ง และแข็งตัวดีแล้ว

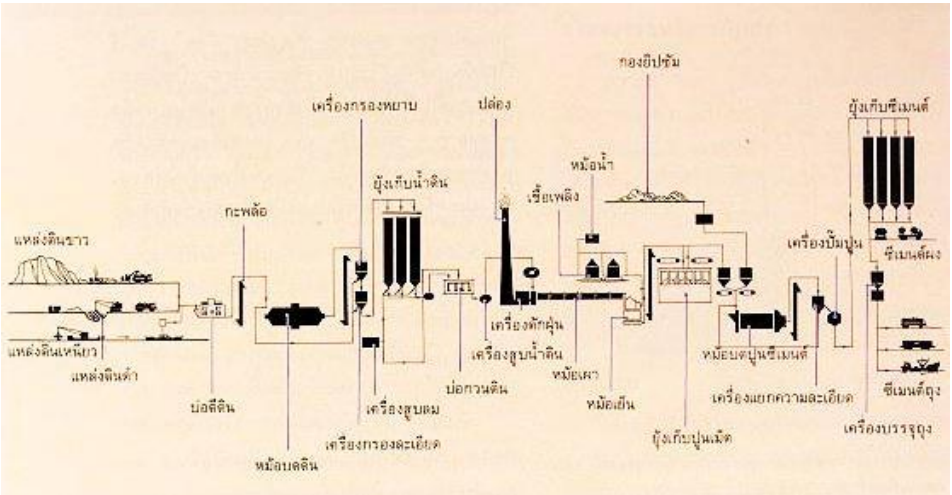
1.1) ซีเมนต์ ตามความหมายของการใช้งานทางวิศวกรรม แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ บิทูมินัส (bituminous) และนอนบิทูมินัส (nonbituminous)

บิทูมินัสซีเมนต์ ได้แก่ มะตอย (asphalts) และ น้ำมันยาง (tars) เราใช้มะตอย หรือน้ำมันยางเป็นตัวประสานหิน หรือกรวดในการทำผิวถนน นอกจากนี้ ยังใช้บิทูมินัสซีเมนต์ผสมกับหิน ทราย ราดทำผิวถนน และเรียกส่วนผสมนี้ว่า แอสฟัลต์คอนกรีต (asphalt concrete)

นอนบิทูมินัสซีเมนต์ ได้แก่ อะลูมินาซีเมนต์ (alumina cement) และปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ (portland cement) มีลักษณะเป็นผงสีเทาอ่อนต้องผสมน้ำปริมาณมากพอสมควร แล้วทิ้งไว้ให้แห้งจึงจะแข็งตัว เรามักจะนิยมเรียกซีเมนต์ชนิดนี้ว่า ไฮดรอลิกซีเมนต์ (hydraulic cement) ทั้งนี้เพราะต้องใช้น้ำผสม และแข็งตัวในน้ำได้ ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์เป็นซีเมนต์ที่ใช้ในการก่อสร้างมากที่สุด

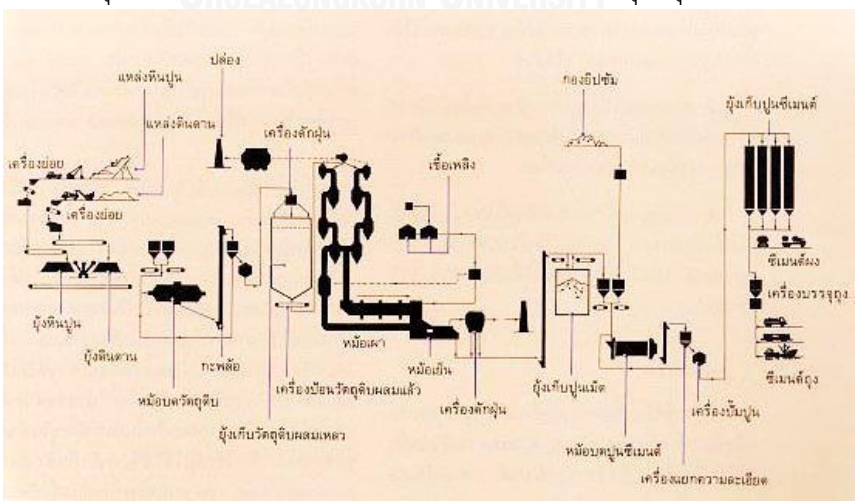
การผลิตปอร์ตแลนด์ซีเมนต์

โดยทั่วๆ ไป กรรมวิธีการผลิตมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบผสมเหลว (wet process) และแบบผสมแห้ง (dry process)



ภาพที่ 2.55 แสดงกรรมวิธีการผลิตซีเมนต์แบบผสมเหลว ของบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด

แบบผสมเหลว วัตถุดิบคือ ดินขาว หรือปูนมาร์ล (marl or calcium cabonate) ดินเหนียว (clay) และดินดำ ผสมวัตถุดิบทั้งสามชนิดกับน้ำในบ่อตีดิน (wash mill) กวนให้เข้ากันเรียกว่า น้ำดิน (slushy) แล้วกรองเอาก้อนหินก้อนดินออก น้ำดินที่ละลายเข้ากันดีแล้วนำไปเผาในหม้อเผาแบบหมุน ความร้อนในหม้อเผาประมาณ 2,500-3,000 องศาเซลเซียส จะทำให้น้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำดินระเหยกลายเป็นเม็ดปูนซีเมนต์ (clinker) จากนั้นก็นำเม็ดปูนไปบด เติมยิปซัม (gypsum) ลงไปเล็กน้อย เพื่อชะลอการแข็งตัวของซีเมนต์ขณะใช้งาน หลังจากนั้นจะลำเลียงไปเก็บไว้ในยุ้งเก็บซีเมนต์ผง (cement silo) เพื่อรอการบรรจุลงถุงต่อไป



ภาพที่ 2.56 แสดงกรรมวิธีการผลิตซีเมนต์แบบผสมแห้ง ของบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด

แบบผสมแห้ง วิธีนี้ใช้วัตถุดิบสำคัญ 2 ชนิด คือ หินปูน (limestone) และดินดาน (shale) มาผสมกันให้ถูกส่วน แล้วนำไปบดให้เป็นผงละเอียดตามต้องการ ต่อไปจึงนำไปเก็บไว้ในยุ้งเก็บ เพื่อรอส่งไปเผาให้สุกเช่นเดียวกับแบบผสมเหลวในเตาเผาแบบหมุน และบดเป็นผงซีเมนต์อีกครั้ง แบบผสมแห้งเป็นวิธีที่ไม่ต้องการใช้น้ำเข้าผสม และวัตถุดิบที่ใช้ก็ต้องอยู่ในลักษณะแห้งด้วย ปัจจุบันนี้นิยมใช้แบบผสมแห้งแทนแบบผสมเหลวซึ่งส่วนใหญ่เลิกใช้แล้ว ซีเมนต์เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ความร้อนที่เกิดจากสารประกอบที่มีน้ำอยู่ด้วย (heat of hydration)

ตามมาตรฐานของสมาคมทดสอบวัสดุอเมริกา(American Society for Testing Materials; ASTM) [8] ได้แบ่งประเภทของปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์ แบ่งเป็น 4 ประเภท คือ

1. ปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์ รหัส C-150 ประเภทที่ 1-5
2. ปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์กักอากาศ รหัส C-175
3. ปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์เตาถลุงรหัส C-205
4. ปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน รหัส C-340

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะรายละเอียดของปูนซิเมนต์รหัส C-150 ประเภทที่ 1-5 เท่านั้น

ประเภทที่ 1 ปูนซิเมนต์ปอร์ตธรรมดา ใช้งานก่อสร้างทั่วไป เช่น ทำผิวถนน สะพาน ท่อระบายน้ำ เป็นต้น ซีเมนต์ชนิดนี้มีข้อเสียคือ ไม่ทนต่อสารที่เป็นด่าง ในโครงสร้าง หรืออาคารที่มีสารเป็นด่างอยู่ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมเคมี เป็นต้น จะไม่นิยมใช้ซีเมนต์ชนิดนี้

ประเภทที่ 2 ปูนซิเมนต์ปอร์ตดัดแปลง ให้ความร้อนและทนด่างได้ปานกลาง ซีเมนต์ชนิดนี้เมื่อผสมกับน้ำจะคายความร้อนออกต่ำกว่าชนิดธรรมดา และมีความต้านทานต่อสารที่เป็นด่างได้บ้าง เหมาะสำหรับงานก่อสร้างตอม่อขนาดใหญ่ในบริเวณที่มีอากาศร้อนจัด

ประเภทที่ 3 ปูนซิเมนต์ปอร์ตให้กำลังอัดเร็ว ซีเมนต์ชนิดนี้เกิดแรงสูงเร็วในระยะแรก เหมาะสำหรับงานที่ต้องการถอดไม้แบบเร็ว และต้องการประหยัดซีเมนต์ ซีเมนต์ชนิดนี้มีเนื้อละเอียดมากกว่าชนิดอื่นๆ แต่อาจทำให้เกิดรอยร้าวบนผิวคอนกรีตได้ง่าย

ประเภทที่ 4 ปูนซิเมนต์ปอร์ตเกิดความร้อนต่ำ ซีเมนต์ชนิดนี้มีอัตราการคายความร้อนต่ำมาก เหมาะสำหรับงานก่อสร้างใหญ่ๆ โดยเฉพาะการสร้างเขื่อน

ประเภทที่ 5 ปูนซิเมนต์ปอร์ตทนซัลเฟตสูงชนิดมีความต้านทานต่อสารที่เป็นด่าง ซีเมนต์ชนิดนี้ใช้สำหรับอาคารที่ต้องสัมผัสกับสารที่เป็นด่างอย่างแรง โดยปกติซีเมนต์ชนิดนี้จะแข็งตัวช้ากว่าธรรมดา

1.2) คอนกรีต คือ ส่วนผสมของซีเมนต์ ทราย และหิน หรือซีเมนต์ ทราย และกรวด ตามสัดส่วนแล้วเติมน้ำลงไปเพื่อให้ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ กลายเป็นตัวประสานซึ่งจะยึดทรายกับหิน หรือกรวดเข้าด้วยกันเป็นก้อนแข็ง สัดส่วนที่ใช้โดยทั่วๆ ไปคือ

(1) 1:2:4 ใช้ผสมทำคอนกรีตสามัญทุกชนิด ประกอบด้วยซีเมนต์ 1 ส่วน ทราย 3 ส่วน และหิน หรือกรวด 4 ส่วน

(2) 1:1.5:3 สำหรับคอนกรีตที่ต้องการรับแรงสูงเป็นพิเศษ เช่น ตอม่อใต้น้ำ

(3) 1:3:6 เป็นคอนกรีตหยาบ ใช้เทเหนือเสาเข็มเพื่อรองรับฐานราก สัดส่วนนี้เป็นสัดส่วนโดยน้ำหนัก แต่ในทางปฏิบัติทั่วไปแล้วสะดวกที่จะใช้สัดส่วนโดยปริมาต**ร**

1.3) คอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตอัดแรง เราทราบกันอยู่แล้วว่าวัตถุเปราะเช่นคอนกรีต หรืออิฐหินนั้นจะสามารถทนต่อแรงกดได้สูง แต่ในขณะเดียวกันไม่สามารถทนต่อแรงดึง หรือแรงดัดได้มากนัก จึงใช้เหล็กใส่ไว้ภายในคอนกรีต เหล็กที่ใส่มักเป็นเหล็กเส้น หรือเหล็กรูปพรรณ เมื่อเทคอนกรีตลงไป คอนกรีตที่แห้งแล้วจะยึดติดแน่นกับเหล็ก เรียกว่า คอนกรีตเสริมเหล็ก ฉะนั้น เพื่อให้คอนกรีตมีความคล่องตัวในการใช้งานยิ่งขึ้นจึงได้มีการค้นคว้าคอนกรีตอัดแรง (prestressed concrete) ขึ้น

คอนกรีตอัดแรงมี 2 ชนิด ชนิดแรกใช้วิธีดึงเหล็กก่อน (pretensioning method) เช่น การทำเสาไฟฟ้าคอนกรีตอัดแรง จะต้องทำแบบเสาไฟฟ้าเป็นโครงเหล็กวางบนพื้นดินก่อน แล้วร้อยลวดเหล็กไปตามความยาวของแบบ ดึงเหล็กนี้ให้ยืดออกตามรายการที่คำนวณไว้ จากนั้นก็จะเทคอนกรีตลงในแบบ เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ปล่อยแรงที่ดึงออก เหล็กเส้นที่เป็นโครงภายในก็จะหดตัวกลับ การหดตัวกลับของเหล็กจะทำให้เสาคอนกรีตนั้นมีแรงอัดอยู่ในตัวเองตลอดเวลา อีกวิธีหนึ่งใช้วิธีดึงเหล็กทีหลัง (posttensioning method) เช่น คานสะพานคอนกรีตอัดแรง วิธีทำนั้นจะต้องทำแบบคาน และวางท่อที่จะสอดเหล็กไว้ตลอดความยาวของคาน เมื่อเทคอนกรีตลงในแบบจนแข็งตัวแล้ว ก็ร้อยลวดเหล็กตามท่อ ยึดปลายเหล็กข้างหนึ่งกับปลายคานให้แน่น แล้วดึงเหล็กอีกปลายหนึ่งให้ยืดออกตามรายการคำนวณ แล้วใช้ลิ่มยึดปลายเหล็กไว้กับปลายคานอีกข้างหนึ่งเป็นเสร็จการ ในกรณีนี้ก็จะเป็นการเพิ่มแรงอัดให้กับคานคอนกรีตก่อนที่จะนำคอนกรีตไปใช้งาน เมื่อนำคานคอนกรีตไปทำสะพาน คานนี้จะรับน้ำหนักบรรทุกจร (live load) ทำให้เกิดแรงดึง และแรงดัดขึ้น ซึ่งจะหักล้างกับแรงอัดที่มีอยู่แล้วในคานคอนกรีต ดังนั้นจะไม่เกิดแรงดึงในคานคอนกรีต

จะเห็นได้ว่า คอนกรีตอัดแรงได้ช่วยให้วิศวกร สามารถใช้คอนกรีตสร้างสะพาน หรือคานคอนกรีต ที่มีช่วงยาวมากๆ ทำเสาไฟฟ้าแรงสูงคอนกรีตแทนเสาไม้ ซึ่งเหมาะสมกับความต้องการของประเทศ

2) น้ำ (WATER) มาตรฐาน ว.ส.ท. 1007-34

ในการผลิตคอนกรีต น้ำทำหน้าที่ 3 ประการ

2.1) ใช้ผสมในการทำคอนกรีต

2.2) ใช้บ่มคอนกรีตให้มีกำลังเพิ่มขึ้น

2.3) ใช้ล้างมวลรวมที่สกปรก

น้ำที่ใช้ผสมในการทำคอนกรีตทำหน้าที่

- ก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นกับปูนซีเมนต์

- ทำหน้าที่หล่อลื่นเพื่อให้คอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวสามารถเทได้
- เคลือบหิน ทราย ให้เปียก เพื่อให้ซีเมนต์เพสต์สามารถเข้าเกาะได้โดยรอบ

สิ่งที่ควรคำนึงถึง

- ต้องเป็นน้ำที่สะอาด เช่น น้ำประปา เพราะจะมีผลต่อคุณภาพของซีเมนต์เพสต์
- น้ำมีหน้าที่ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์เรียกว่า“ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น” ซึ่งปฏิกิริยานี้จะทำต่อเนื่องไปประมาณ 28 วัน
- ปริมาณน้ำที่ใช้ในปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ปูนซีเมนต์ 100 กก. จะใช้น้ำอย่างน้อยโดยประมาณ 24 ลิตร ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น หรือ น้ำ : ซีเมนต์ (w/c) = 0.24
- น้ำส่วนเกินเพื่อให้คอนกรีตมีความเหลวพอที่จะเทลงแบบได้เราต้องใช้น้ำมากขึ้นโดยทั่วไปจะใช้น้ำประมาณ 48 - 80 ลิตรต่อปูนซีเมนต์ 100 กก.
- การผสมคอนกรีตยิ่งใช้น้ำน้อยคอนกรีตก็จะมีคุณภาพดี ถ้าใช้น้ำมากกำลังจะตกความแข็งแรงจะลดลง (การใช้น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทลดน้ำจึงทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงคุณภาพดีขึ้นได้)

3) เหล็กเสริมคอนกรีต

เหล็กเสริมที่ใช้ในงานคอนกรีตเสริมเหล็กแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ

3.1) เหล็กเส้นกลม (Round Bar; RB) ตามมาตรฐาน มอก.20-2527 มีกำลังรับแรงดึงที่จุดครากไม่น้อยกว่า 2400 ksc.(กก./ตร.ซม.) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดต่างๆ เช่น RB6 (หมายถึง Round Bar ขนาด ศก.6 มม.), RB9, RB12, RB15, RB19, RB25 เนื่องจากผิวเหล็กที่มีลักษณะกลมเรียบจึงทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีตไม่ดีจึงต้องมีการงอขอเพื่อที่จะสามารถถ่ายแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.2) เหล็กข้ออ้อย (Deformed Bars; DB) ตามมาตรฐาน มอก.24-2536 เนื่องจากผิวของเหล็กมีลักษณะเป็นปล้องๆ คล้ายอ้อย จึงเรียกว่าเหล็กข้ออ้อย กำหนดให้เหล็กข้ออ้อยมีชั้นคุณภาพหลายชั้น เช่น SD30, SD40, SD50 มีกำลังรับแรงดึงที่จุดครากไม่น้อยกว่า 3000, 4000, 5000 ksc.ตามลำดับ โดยปกติจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เช่น DB10(หาในตลาดทั่วไปยาก), DB12(หมายถึง Deformed Bar ขนาด ศก.12มม.), DB16, DB20, DB25, DB28, DB32 ผิวของเหล็กเส้นจะมีลักษณะเป็นปล้องเพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวให้เหล็กกับคอนกรีตมากขึ้น

(ก) ลักษณะของเหล็กเส้นกลม (ข) ลักษณะของเหล็กเส้นข้ออ้อย

ภาพที่ 2.57 ลักษณะของเหล็กเสริมในคอนกรีต

4) โฟมเอกส์แพนด์โพลีสไตลีน (EPS)

เป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิดหนึ่ง คิดค้นละพัฒนาครั้งแรกที่ประเทศเยอรมัน เริ่มนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ และฉนวนกันความร้อน – เย็น ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1958 เป็นต้นมา โดยเริ่มจากสาร Styrene Monomers ซึ่งสกัดจากน้ำมันผ่านขบวนการ Polymerization ได้เป็น Polystyrene เมื่อผสมสารพองตัว (blowing agent หรือ expanding agent) คือ Pentane ซึ่งเป็น pure hydrocarbon (ไม่มีสาร halogens หรือ CFC ที่ทำลายชั้น ozone ในบรรยากาศ) จะได้เป็นเม็ดพลาสติค EPS Resin ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนจากไอน้ำจะทำให้เม็ด EPS ขยายตัวขึ้น 30 – 50 เท่า แล้วแต่ความหนาแน่นที่ต้องการได้เป็น pre-foamed beads หลังจากระยะพักตัวแล้วสามารถนำไปผ่านขบวนการภายใต้ความดันไอน้ำขึ้นรูปเป็นชิ้นงานโฟม (EPS Foam Products) ต่อไป

คุณสมบัติของ EPS FOAM

1. น้ำหนักเบา (Light weight) เนื่องจากส่วนประกอบเป็นอากาศถึง 98% จึงนับเป็นสารที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบาที่สุดในปัจจุบัน

2. ปกป้องกันกระแทก (Protective) เนื่องจากมีคุณสมบัติอันดีเลิศในการดูดซับแรงกระแทก แรงกด (Shock Absorbency and Compression Resistance)

3. คงทน (Durable) ทนต่อความชื้น ความเย็น ความร้อน ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษ มีผิวหน้าที่ไม่แข็งกระด้าง จึงเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ปกป้องสินค้า

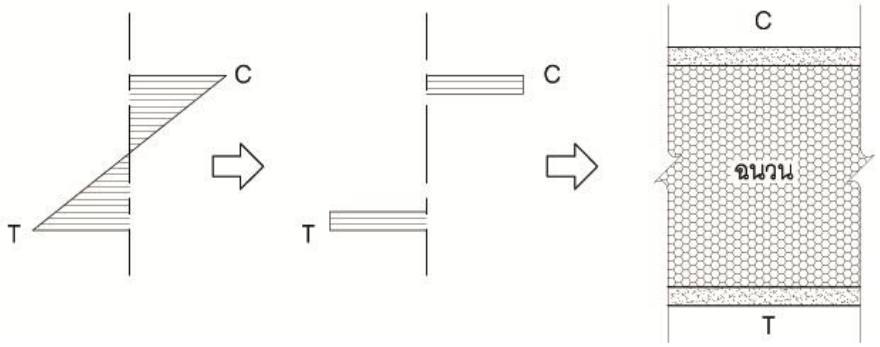
4. ฉนวนกันความร้อน – เย็น (Thermal Insulating Properties) จึงใช้เป็นประโยชน์ในการบรรจุและถนอมอาหาร เวชภัณฑ์ เคมีภัณฑ์ต่าง ๆ และใช้ในอุตสาหกรรมห้องเย็น งานก่อสร้าง

5. มีความหลากหลาย (Versatile) สามารถผลิตให้มีรูปทรงและขนาดต่าง ๆ ได้ตามความต้องการใช้งาน

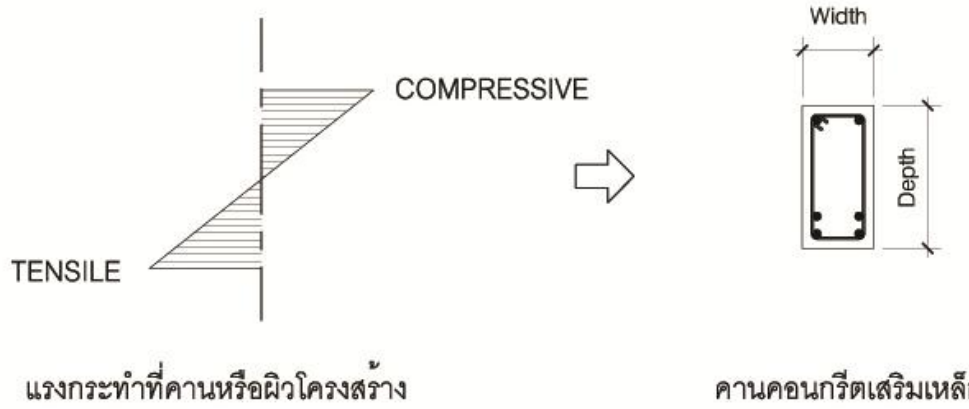
2.2.6 นวัตกรรมการใช้โครงสร้างจากฉนวน [9]

อาคารทั่วไปมักใช้โครงสร้างที่มีความหนาและหนัก เนื่องจากใช้เนื้อวัสดุในการรับแรงทั้งน้ำหนักของโครงสร้าง (Dead Load) และน้ำหนักบรรทุก (Live Load) ปัจจุบันอาคารมีความจำเป็นต้องออกแบบให้มีการประหยัดพลังงานและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ลักษณะโครงสร้างอาคารจึงควรน้ำหนักเบา เพื่อลดการสะสมความร้อนและความชื้น ซึ่งมีผลกับระบบปรับอากาศและฐานรากขนาดใหญ่ที่ต้องรองรับน้ำหนักของโครงสร้างเองดังนั้นการออกแบบโครงสร้างยุคใหม่จึงเป็นนวัตกรรมที่ผสมผสานลักษณะโครงสร้างที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามมาตรฐานแต่มีน้ำหนักของโครงสร้างที่เบาและเป็นฉนวนกันความร้อนความชื้น วัสดุที่นำมาใช้ในการสร้างนวัตกรรมโครงสร้างที่มีน้ำหนักเบาคือ โฟม EPS (Expanded Polyethylene) ร่วมกับการใช้วัสดุผิวที่สามารถรับแรงอัดและแรงดึงได้ตามการใช้งานจริง

การพัฒนาแนวความคิดโดยใช้วัสดุที่มีความสามารถในการรับแรงอัดที่ผิวด้านบนของโครงสร้าง เช่น คอนกรีตที่สามารถรับแรงอัดสูงแต่มีความบางทำให้น้ำหนักเบา การใช้วัสดุที่มีความสามารถในการรับแรงดึงสูงควบคู่กับ ไฟเบอร์กลาส ที่มีความยืดหยุ่นสูงเพื่อรับแรงดึงของผิวด้านล่างของโครงสร้าง บริเวณระหว่างผิวบนและผิวล่างของโครงสร้างใช้วัสดุฉนวนที่มีความสามารถกันความร้อนความชื้นได้ดีเหมาะสมกับภูมิอากาศร้อนชื้น โดยยึดผิวรับแรงอัดด้านบนและผิวรับแรงดึงด้านล่าง เพื่อให้โครงสร้างทั้ง 3 ส่วนทำงานร่วมกัน จึงเกิดนวัตกรรมวัสดุก่อสร้างที่มีน้ำหนักเบารับน้ำหนักบรรทุกได้รวมถึงมีค่าความเป็นฉนวนที่เหมาะสม วัสดุดังกล่าวสามารถใช้เป็นองค์ประกอบของอาคารได้ทั้งผนัง พื้น และหลังคาของอาคาร ผลงานนี้จึงนับเป็นนวัตกรรมที่สามารถนำไปขยายผลได้ทั้งอาคารเก่าและอาคารที่จะก่อสร้างใหม่ เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างของฐานราก ค่าใช้จ่ายด้านการใช้พลังงานในอาคารซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายระยะยาว การขยายผลนวัตกรรมนี้สามารถช่วยลดความต้องการใช้พลังงานของประเทศในมูลค่ามหาศาลเมื่อเทียบกับอัตราส่วนรายได้มวลรวม (GDP) (รศ.ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์, 2554)



ภาพที่ 2.58 แสดง DIAGRAM ของแรงในคาน พื้น และผิวโครงสร้าง (รศ.ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์, 2554)



ภาพที่ 2.59 แสดงการใช้วัสดุก่อสร้างในโครงสร้างพร้อมฉนวนโดยใช้วัสดุที่รับแรงอัดCOMPRESSIVE ด้านบนและวัสดุที่รับแรงดึง TENSILE พร้อมกับการใช้ฉนวนที่มีการยึดผิวทั้งแรงดึงและแรงอัด เพื่อให้ผิวโครงสร้างคงอยู่ได้ตาม DIAGRAM การรับแรง (รศ.ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์, 2554)

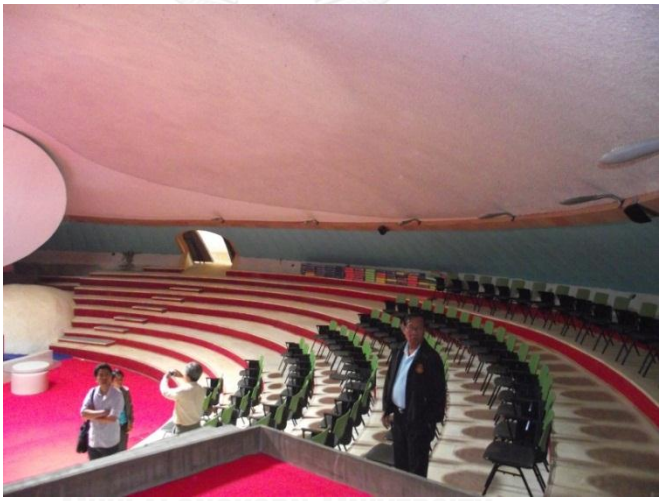
2.3 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 อาคารโค้งเปลือกบางโครงสร้างโฟม

DNA รีสอร์ทเขาใหญ่ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา (ศ.ดร.สุนทร บุญญาธิการ, รศ.ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์, 2552)

ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ และรองศาสตราจารย์ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์ (2552) ทำการก่อสร้างอาคารรูปโดม โดยใช้โฟมมีความหนา 8 นิ้ว หุ้มด้วยตาข่ายไฟเบอร์ที่ผิวบนล่างและมีการฉาบทับด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับน้ำ ทรายและน้ำยาประสานโฟม โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโดมถึง 31.00 เมตร และมีความหนาเพียง 0.20 ม. ซึ่งบางมากเมื่อเทียบกับความยาวของโครงสร้าง ซึ่งตามทฤษฎีจะมีสูตร L/180คือความยาวรอบพื้นหารด้วย180 จะมีค่าที่ออกมาเป็นความหนาพื้น เท่ากับ 0.55 เมตร และจะต้องเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก (ค.ส.ล.) แต่โดมนี้มีความหนาเพียง 0.20 เมตร ซึ่งมีความหนาน้อยกว่ามาตรฐานถึง 0.35 เมตร คิดเป็น 2.75 เท่า (175 เปอร์เซ็นต์) และที่สำคัญวัสดุหลักที่ใช้เป็นโครงสร้างหลักคือโฟม นับว่าโดมที่ DNA รีสอร์ทเขาใหญ่ เป็นการฉีกกฎเกณฑ์หลักการของการออกแบบโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ตามมาตรฐานความยาวต่อความลึกหรือความยาวต่อความ ซึ่งถือว่ามากที่สุดในโลกก็ว่าได้ ในความเป็นจริง โฟมไม่สามารถรับน้ำหนักอะไรได้มากเป็นแต่เพียงตัวกลางและทำหน้าที่ฉนวนกันความร้อนเท่านั้น แต่ประเด็นอยู่ที่ ความสามารถในการรับน้ำหนักของโฟมที่ใช้ทำเป็นโครงสร้างหลักอยู่ที่รูปทรงและผิวบนล่างโดยที่ ผิวบนทำหน้าที่รับแรงอัดและผิวล่างทำหน้าที่รับแรงดึง โดยที่โฟมเป็นตัวทำให้เกิดระยะห่างของแนวแกนสะเทินของแรงอัดและแรงดึง ประกอบกับโฟมมีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีตถึง 45 เท่า ทำให้โครงสร้างดังกล่าวสามารถอยู่ได้ ซึ่งผู้วิจัยถือว่าเป็นนวัตกรรมใหม่ของการออกแบบโครงสร้างอาคาร เพราะไม่จำเป็นต้องใช้วัสดุชนิดเดียวกันทั้งหมดทั้งโครงสร้าง

ภาพที่ 2.60 บริเวณภายนอกของอาคารโดมโครงสร้างเปลือกบางด้วยโฟม



ภาพที่ 2.61 บริเวณภายในของอาคารโดมโครงสร้างเปลือกบางด้วยโฟม

2.3.2 คุรุสัมมนาคาร

นครราชสีมาซึ่งเป็นโครงสร้างเปลือกแข็งบาง (ดร.วทัญญู ณ ถลาง และ นคร ศรีวิจารย์, 2503)

อ.วทัญญู ณ ถลาง และ อ.นคร ศรีวิจารย์(2503) ทำการออกแบบและก่อสร้างคุรุสัมนาคาร นครราชสีมาซึ่งเป็นโครงสร้างเปลือกแข็งบางหนึ่งเดียวในประเทศไทยอาคารโมเดิร์นรูปทรงประหลาด เหมือนโค้งอานม้าประกอบกัน 3 ชิ้น หรือที่เรียกว่าไฮเพอบิริคพาลาโบลอยด์ (Hyperbolic Paraboliod) ตั้งตระหง่าน (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอิสาน) เป็นผลงานที่สะท้อนประวัติศาสตร์และพัฒนาการด้านสถาปัตยกรรมในประเทศไทย อีกหลังนึงอาจจะกล่าวได้ว่าเป็นอาคารหลังเดียวในประเทศไทย ที่ใช้โครงสร้างเปลือกแข็งบาง (Thin Shell) และมีการเปลี่ยนถ่ายผิวคว่ำลงหรือที่เรียกว่า ไฮเพอบิริคพาลาโบลอยด์ (Hyperbolic Paraboliod) ลักษณะสำคัญของอาคารคุรุสัมมนาคาร คือ รูปทรงของเปลือกผิวอาคารที่เป็นทั้งโครงสร้างเป็นทั้งหลังคา ซึ่งเป็นผลมาจากวิวัฒนาการ

เทคโนโลยีทางด้านวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม (เมื่อ50 ปีก่อน) ซึ่งมีลักษณะเปลือกผิวคุรุสัมนาคาร เป็นเปลือกผิวที่ได้จากการถ่ายเปลี่ยน(Translation Surfaces) หมายถึง ผิวเปลือกบางที่ได้จากการเลื่อนผืนไปตามระนาบโค้งสองระนาบทีอยู่หัวและท้ายในแนวทางกับระนาบที่เลื่อนจากที่กล่าวมาวัสดุส่วนใหญ่เป็น คอนกรีตเสริมเหล็ก (ค.ส.ล.) ที่มีความหนาของโครงสร้าง 0.30 เมตรและมีความยาวของช่วงเสา 25.00 เมตร ซึ่งตามทฤษฎีจะมีสูตร L/180 คือความยาวรอบพื้นหารด้วย180 จะมีค่าที่ออกมาจะต้องใช้ความหนาพื้น เท่ากับ 0.55 เมตร จากโครงสร้างดังกล่าว ทำให้พื้นมีความหนาน้อยกว่ามาตรฐานถึง 0.25 เมตร คิดเป็น 1.83 เท่า (85 เปอร์เซ็นต์)

ภาพที่ 2.62 บริเวณภายนอกของคุรุสัมมนาคาร ซึ่งเป็นโครงสร้างเปลือกแข็งบาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

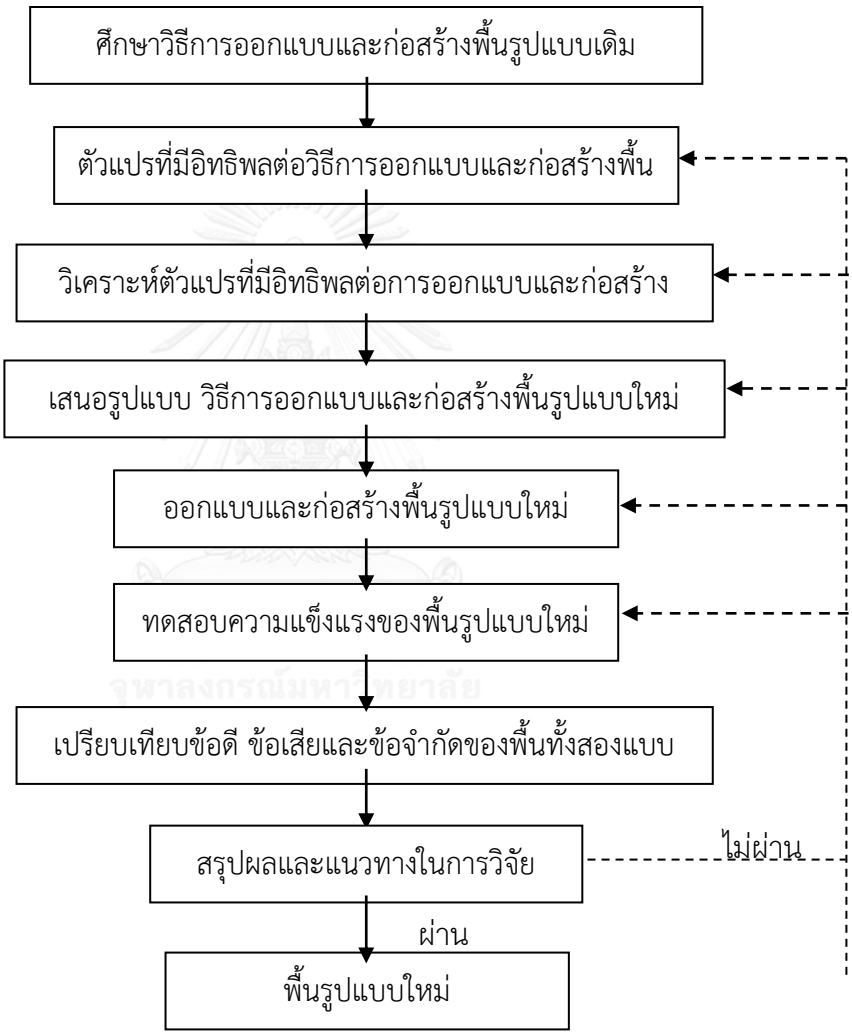
ภาพที่ 2.63 บริเวณภายในของคุรุสัมมนาคาร ซึ่งเป็นโครงสร้างเปลือกแข็งบาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

จากความสำคัญของเรื่องที่ศึกษาและเพื่อสนองต่อวัตถุประสงค์รวมทั้งแนวคิดและทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น วิธีการและขั้นตอนต่างๆที่จำเป็นเพื่อให้บรรลุเป้าหมายของการวิจัยมีดังนี้

3.1 กรอบแนวคิดของการดำเนินการวิจัย



แผนภูมิที่ 3.1 กรอบแนวคิดของการดำเนินการวิจัย [10]

3.2 วิธีการศึกษาและระเบียบวิธีการวิจัย

3.2.1 ศึกษาวิธีการออกแบบและก่อสร้างพื้นรูปแบบเดิม ด้วยวิธีการศึกษาจากข้อกำหนดและมาตรฐานต่างๆ จากรายการคำนวณ งบประมาณในการก่อสร้าง เทคนิคก่อสร้าง เวลาในการก่อสร้างและอุณหภูมิพื้นผิวของพื้นรูปแบบเดิม

3.2.2 ศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบและก่อสร้างพื้นรูปแบบเดิม

3.2.3 วิเคราะห์ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบและก่อสร้างพื้นรูปแบบเดิม

3.2.4 เสนอรูปแบบ วิธีการออกแบบและก่อสร้างพื้นรูปแบบใหม่ที่ได้พัฒนาจาก รายการคำนวณโครงสร้างและเทคนิคการก่อสร้าง

3.2.5 ออกแบบพื้นรูปแบบใหม่

3.2.6 ก่อสร้างพื้นรูปแบบใหม่

3.2.7 ทดสอบความแข็งแรงของพื้นรูปแบบใหม่และวัดค่าต่างๆเพื่อเก็บเป็นฐานข้อมู

3.2.8 เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียและข้อจำกัดของพื้นรูปแบบใหม่และพื้นรูปแบบเดิมสรุปผลและแนวทางในการวิจัย

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินการวิจัย

ที่	การดำเนินการศึกษา	พ.ศ. 2557					
		พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
1	ศึกษาการออกแบบและก่อสร้างพื้นรูปแบบเดิม						
2	สำรวจหาปัญหา สาเหตุและข้อจำกัด						
3	วิเคราะห์หาปัญหา สาเหตุและข้อจำกัด						
4	เสนอรูปแบบการออกแบบและก่อสร้างพื้นรูปแบบใหม่						
5	ออกแบบพื้นรูปแบบใหม่						
6	ก่อสร้างพื้นรูปแบบใหม่						
7	ทดสอบความแข็งแรงของพื้นรูปแบบใหม่						
8	เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียและข้อจำกัดของพื้นทั้งหมด						
9	สรุปผลและหาแนวทางในการวิจัย						

3.3 ประชากรศึกษาและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรศึกษาและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือพื้นทางเดียว (One Way Slab) โดยได้แบ่งรูปแบบพื้นออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

3.3.1 พื้นรูปแบบใหม่ คือ คานที่รับพื้นมีขนาดคงที่ตลอดความยาว

3.3.2 พื้นรูปแบบเดิม คือ พื้น One Way Slab ทั่วไป

3.3.3 พื้นรูปแบบเดิม คือ พื้น Joist Slab, Ribbed Slab ทั่วไป

พื้นทั้งรูปแบบใหม่และรูปแบบเดิมมีตัวแปรที่เหมือนกันที่ทำให้โครงสร้างมีผลแตกต่างกันออกไปได้แก่ รูปแบบพื้น ความกว้างพื้นและความยาวพื้น โดยที่พื้นที่ใช้ในการออกแบบมี 1 รูปแบบ คือ พื้น 1 ช่วง ความกว้างของพื้นเท่ากับ 1.20 ม. และความยาวของพื้นเท่ากับ 8 .00 ม. จากที่กล่าวมาจะได้ประชากรของพื้นรูปแบบใหม่ จำนวน 1 ตัวอย่าง พื้นรูปแบบเดิม(Ribbed Slab) จำนวน 1 ตัวอย่าง รวมเป็นจำนวนพื้นทั้งสิ้น 2 ตัวอย่าง

ตารางที่ 3.2 จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยทั้งสิ้น

ที่	รายการ	จำนวน	หมายเหตุ
1	พื้นรูปแบบใหม่ กว้าง 1.20 ม. ยาว 8.00 ม.	1	
2	พื้นรูปแบบเดิม กว้าง 1.20 ม. ยาว 8.00 ม.	1	Ribbed Slab
รวมตัวอย่าง		2	

3.4 แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเพื่อออกแบบพื้นรูปแบบใหม่ แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

3.4.1 ข้อมูลปฐมภูมิ

1) ออกแบบเขียนแบบพื้นรูปแบบใหม่
2) คำนวณโครงสร้างพื้นรูปแบบใหม่
3) ก่อสร้างพื้นรูปแบบใหม่
4) ทดสอบและเก็บข้อมูลต่างๆของพื้นรูปแบบใหม่โดยตรง

3.4.2 ข้อมูลทุติยภูมิ

1) รูปแบบพื้นเดิม ที่มีขนาดเท่าและใกล้เคียงกับพื้นรูปแบบใหม่
2) รายการคำนวณโครงสร้างพื้นรูปแบบเดิม
3) บันทึกข้อมูลการก่อสร้างพื้นรูปแบบเดิม
4) บันทึกข้อมูลทางด้านเวลาการก่อสร้าง พื้นรูปแบบเดิม
5) บันทึกเวลาการก่อสร้าง พื้นรูปแบบเดิม

3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.5.1 เครื่องมือและเอกสารที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล

1) ตารางบันทึกข้อมูล ขนาดและน้ำหนัก
2) ตารางบันทึกข้อมูล รายการคำนวณพื้นและคาน
3) ตารางบันทึกข้อมูล รายการประมาณราคา
4) บันทึกข้อมูลจุดบกพร่องแยกตามสาเหตุ (Check Sheet)
5) การตรวจสอบและการทดสอบคอนกรีต (ตามมาตรฐาน วสท. A.C.I., A.S.T.M.)
6) มาตรฐานการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ว.ส.ท.
7) ตารางบันทึกข้อมูล เกี่ยวกับอุณหภูมิที่พื้นผิวพื้น

3.5.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

1) ตารางและกราฟแสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักพื้นและคาน
2) ตารางและกราฟแสดงการเปรียบเทียบโมเมนต์และแรงเฉือนพื้นและคาน 3) ตารางและกราฟแสดงการเปรียบเทียบงบประมาณในการก่อสร้าง
4) ตารางและกราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิวพื้น

5) ตารางบันทึกผลการทดสอบคอนกรีต และการควบคุมคุณภาพคอนกรีต(ตามมาตรฐาน วสท., A.C.I., A.S.T.M. และ มอก. 396-2524) นำมาทำการปรียบเทียบกันเพื่อทำการวิเคราะห์

3.5.3 เครื่องมือที่ใช้ในการนำเสนอ

1) เอกสาร

2) Power Point

3.6 วิธีดำเนินการรวบรวมข้อมูล

3.6.1 รวบรวมข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับพื้นรูปแบบเดิม (1 พ.ค. 57 – 31 ส.ค. 57)

3.6.2 บันทึกข้อมูลเกี่ยวกับปัญหา สาเหตุและข้อจำกัด (1 มิ.ย. 57 – 15 ก.ย. 57)

3.6.3 บันทึกข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบพื้นรูปแบบใหม่ (15 ส.ค. 57 – 30 ก.ย. 57)

3.6.4 บันทึกข้อมูลเกี่ยวกับการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย (1 ต.ค. 57 – 15 ต.ค. 57)

3.6.5 วิเคราะห์และสรุปผล (15 ต.ค. 57 – 30 ต.ค. 57)

3.7 วิธีจัดกระทำกับข้อมูล

3.7.1 ทำการเปรียบเทียบข้อมูลต่างๆจากตารางและกราฟเพื่อหาผลต่างและร้อยละ

3.7.2 วิเคราะห์ข้อมูล

3.7.3 นำผลจากการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อดำเนินการสรุปและเปรียบเทียบในเรื่อง

1) น้ำหนักของโครงสร้างพื้นทั้งสองรูปแบบ

2) ระยะเวลาในการก่อสร้าง

3) งบประมาณในการก่อสร้าง

4) ความร้อนที่ผิวพื้นซึ่งจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลของการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 การศึกษากระบวนการออกแบบและก่อสร้างพื้น

ในการออกแบบและก่อสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก จะเริ่มจากการเลือกรูปแบบพื้น พิจารณาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อกำลัง คำนวณโครงสร้าง เขียนแบบและทำการก่อสร้างซึ่งมีขั้นตอนทั้งหมด 5 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1) ขั้นตอนการเลือกรูปแบบพื้น
2) ขั้นตอนการพิจารณาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบพื้น
3) ขั้นตอนการคำนวณโครงสร้าง
4) ขั้นตอนการเขียนแบบ
5) ขั้นตอนการก่อสร้าง

4.1.1 ขั้นตอนการเลือกรูปแบบพื้น

พิจารณาในเรื่องดังต่อไปนี้

1) วัสดุที่ใช้ทำเป็นโครงสร้างพื้น (คอนกรีต เหล็กและไม้เป็นต้น)
2) รูปแบบพื้น (พื้นทางเดียว พื้นสองทาง พื้นยื่นและพื้นสำเร็จเป็นต้น)
3) ความหนา (ม.)
4) ความกว้าง (ม.)
5) ความยาว (ม.)

4.1.2 ขั้นตอนการพิจารณาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบพื้น

พิจารณาในเรื่องดังต่อไปนี้

1) น้ำหนักบรรทุกคงที่ (DL: Dead Load)
2) น้ำหนักบรรทุกจร (LL: Live Load)
3) ช่วงของพื้น (1 ช่วง)

4.1.3 ขั้นตอนการคำนวณโครงสร้าง

พิจารณาในเรื่องดังต่อไปนี้

1) เลือกระบบการออกแบบโครงสร้าง (ระบบหน่วยแรงใช้งาน)
2) ประเภทของเหล็กเสริม (เหล็กเส้นกลมหรือเหล็กข้ออ้อย)
3) กำลังคอนกรีตอัดคอนกรีต (fc'= 173.5 ksc. fc. = 65 ksc.)
4) กำลังดึงของเหล็กเสริม (fs.= 1,200 ksc. fy = 2,400 ksc.)

4.1.4 ขั้นตอนการเขียนแบบ

พิจารณาในเรื่องดังต่อไปนี้

1) รูปแบบและขนาดจะต้องเป็นไปตามที่ออกแบบ

2) ประเภทเหล็ก ปริมาณเหล็กเสริมเป็นไปตามที่คำนวณ

4.1.5 ขั้นตอนการก่อสร้าง

พิจารณาในเรื่องดังต่อไปนี้

1) ขนาดของพื้นที่ๆจะทำการก่อสร้าง
2) อาคารข้างเคียงและส่วนของการเชื่อมต่อ
3) ชนิดของแบบหล่อคอนกรีต
4) การผสมคอนกรีต
5) การขนส่งคอนกรีต
6) การทดสอบความค้นเหลวของคอนกรีต
7) การเทคอนกรีต
8) การทำคอนกรีตให้แน่น
9) การบ่มคอนกรีต
10) การถอดแบบ
11) การทดสอบกำลังของคอนกรีต

4.2 การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบและก่อสร้าง

โครงสร้างอาคาคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีขนาดใหญ่หรือมีขนาดเล็ก จะช่วงสั้นหรือช่วงยาวนั้นขึ้นอยู่กับตัวแปรดังต่อไปนี้

1) น้ำหนักบรรทุก (น้ำหนักจรและน้ำหนักคงที่)
2) รูปแบบพื้น (พื้นทางเดียว พื้นสองทางหรือพื้นยื่น เป็นต้น)
3) ความกว้างพื้น (ม.)
4) ความหนาพื้น (ม.)
5) ความยาวพื้น (ม.)
6) ช่วงของพื้น (1 ช่วง)
7) ประเภท จำนวน และขนาดของเหล็กเสริมคอนกรีต

จากตัวแปรดังกล่าว มีเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการกำหนดรูปแบบของการออกแบบและก่อสร้าง ดังต่อไปนี้

1) ข้อกำหนดมาตรฐานของทฤษฎีโครงสร้างที่ใช้ในการทำวิจัย ได้แก่

- แรงปฏิกิริยา (Reaction) คือแรงที่กระทำต่อจุดรองรับเป็นตำแหน่งเดียวกับแรงเฉือนหรือบางครั้งก็เรียกว่าแรงเฉือน (Shear) โดยหาได้จากสูตรผลรวมของน้ำหนักในชิ้นส่วนของโครงสร้างหารด้วยสอง (W/2)

- โมเมนต์ (Moment) คือแรงดัดที่ทำให้ชิ้นส่วนในโครงสร้างแอ่นหรือหักบริเวณกึ่งกลางของโครงสร้างหาได้จากสูตร น้ำหนักบรรทุกทั้งหมด คูณด้วยระยะทางยกกำลังสองแล้วหารด้วยช่วง ($W*L^2$) / 8) 1 ช่วงหาร 8

- แรงเฉือน (Shear) คือแรงที่จะสามารถทำให้โครงสร้างขาดออกจากกันซึ่งตำแหน่งที่มีแรงเฉือนสูงสุดคือ ตำแหน่งใกล้จุดรองรับ วิธีการก็คือน้ำหนักบรรทุกที่กระทำที่ชิ้นส่วนโครงสร้างนั้นๆหารด้วยสอง W/2

2) ข้อกำหนดมาตรฐานของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ในการทำวิจัย ได้แก่

- การออกแบบพื้นทางเดียว(one way slab) มีหลักเกณฑ์ตาม ว.ส.ท. ดังต่อไปนี้ ให้คิดความกว้างพื้น 1.00 ม. และความลึกเท่ากับความหนาของพื้น การวางเหล็กเสริมหลักระยะการวางเหล็กต้องวางห่างกันไม่เกิน 3 เท่าของความหนาของพื้น และต้องห่างกันไม่เกิน 0.30 ม.และมีอัตราส่วนของเหล็กกันร้าวดังต่อไปนี้ เหล็กเส้นกลมผิวเรียบ (RB) = 0.0025*b*D และ เหล็กเส้นข้ออ้อย (DB) = 0.0020*b*D โดยที่ D คือ ความหนาของพื้นและ d คือ ความกว้างพื้น

- ว.ส.ท.ได้กำหนดความหนาของพื้นทางเดียวให้มีความหนาไม่น้อยกว่าค่าดังต่อไปนี้ พื้นช่วงเดียว S/20, พื้นสองช่วง S/24, พื้นสามช่วง S/28 และพื้นยื่น S/10

- กำลังของคอนกรีตที่ใช้ในการออกแบบกำหนดที่ (fc’ = 173.5 ksc., fc = 65 ksc.)

- กำลังของเหล็กเสริมที่ใช้ในการออกแบบกำหนดที่ (fs = 1,200 ksc., fy = 2,400 ksc.)

3) ข้อกำหนดมาตรฐานของคอนกรีตที่ใช้ในการทำวิจัย ได้แก่

- มาตรฐานการตรวจสอบคอนกรีตของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย(ว.ส.ท.)

- มาตรฐานการตรวจสอบคอนกรีตของสมาคมคอนกรีตอเมริกัน (A.C.I)

- มาตรฐานการทดสอบวัสดุของอเมริกัน (A.S.T.M)

- กำลังของคอนกรีต (โครงสร้าง) ที่ใช้ (fc’ = 240 ksc.)

4) ข้อกำหนดมาตรฐาน ของงานเทคนิคการก่อสร้างที่ใช้ในการทำวิจัยตาม ว.ส.ท. ได้แก่

- การเทคอนกรีตจะต้องเทคอนกรีตไม่ให้เกิดการแยกตัวของมวลรวม

- การเทคอนกรีตจะต้องให้เสร็จภายในหนึ่งชั่วโมงต่อการเทหนึ่งครั้ง

- การบ่มคอนกรีตจะต้องทำการบ่มคอนกรีตหลังจากเทคอนกรีตแล้ว 24 ชั่วโมง และจะต้องบ่มให้ติดต่อกันอย่างน้อย 7 วัน

- การถอดแบบข้างเสา คาน จะถอดได้ก็ต่อเมื่อ เทคอนกรีตไปแล้ว 48 ชั่วโมง

- การถอดแบบใต้ท้องคานและท้องพื้นจะถอดแบบได้ต้องพิจารณาดังต่อไปนี้

1. ช่วงพื้นหรือคานน้อยกว่า 3.00 เมตร เมื่อคอนกรีตมีอายุได้ 7 วัน
2. ช่วงพื้นหรือคานตั้งแต่ 3.00-6.00 เมตร เมื่อคอนกรีตมีอายุได้ 14 วัน
3. ช่วงพื้นหรือคานมากกว่า 6.00 เมตร เมื่อคอนกรีตมีอายุได้ 28 วัน

- การต่อทาบเหล็ก ถ้าเหล็กเส้นกลมผิวเรียบ (RB) ระยะทาบ 48 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง และเหล็กข้ออ้อย (DB) ระยะทาบ 36 เท่าของ เส้นผ่าศูนย์กลาง

- ตำแหน่งการหยุดเทคอนกรีต ให้หยุดเทที่ตำแหน่งกึ่งกลางของช่วงพื้นหรือคานในตำแหน่งที่มีแรงเฉือน(Shear) ต่ำสุดและจะต้องตั้งฉากกับพื้นผิว

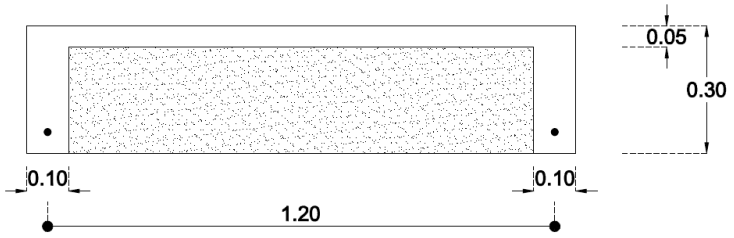
4.3 การออกแบบพื้น

จากมาตรฐาน ตามที่กำหนดใน พรบ.การก่อสร้างและ ว.ส.ท. กระบวนการออกแบบและขั้นตอนต่างๆ รวมถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบและก่อสร้างพื้น จึงนำมาซึ่งการออกแบบ

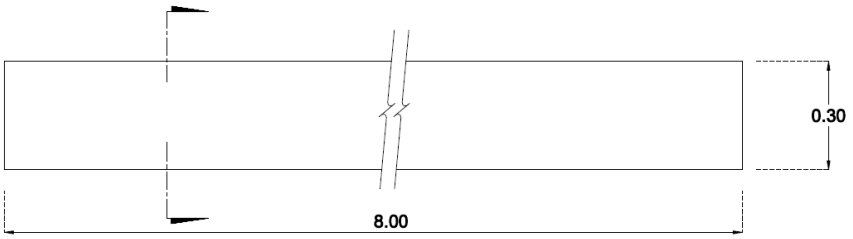
และก่อสร้างพื้นรูปแบบใหม่ ซึ่งในการคำนวณจะแยกโครงสร้างออกเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งคือพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กและส่วนที่สองคือคานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยจะเริ่มตั้งแต่การคำนวณหาน้ำหนักพื้นน้ำหนักทั้งหมดของโครงสร้าง (รวมพื้นและคาน) รายการคำนวณการออกแบบพื้นและการออกแบบคานทั้งรูปแบบใหม่และรูปแบบเดิม เพื่อทำการเปรียบเทียบทั้งพื้นรูปแบบใหม่และรูปแบบเดิมคู่กันไปในเรื่องดังต่อไปนี้

1) น้ำหนักบรรทุกที่กระทำ
2) โมเมนต์ที่เกิดขึ้นและโมเมนต์ที่ต้านทาน
3) แรงเฉือนที่เกิดขึ้นและแรงเฉือนที่ต้านทาน
4) ปริมาณเหล็กเสริมหลักและระยะห่างของเหล็ก
5) เหล็กเสริมรองและระยะห่างของเหล็ก

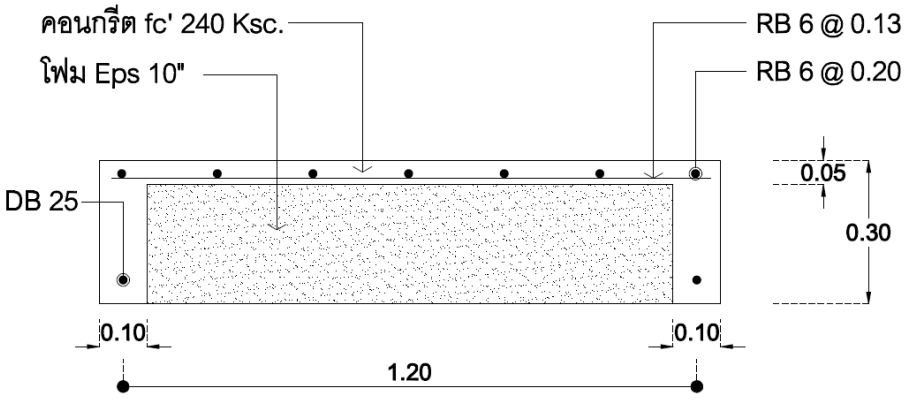
จากข้อมูลข้างต้นนำมาออกแบบพื้นรูปแบบใหม่ดังนี้



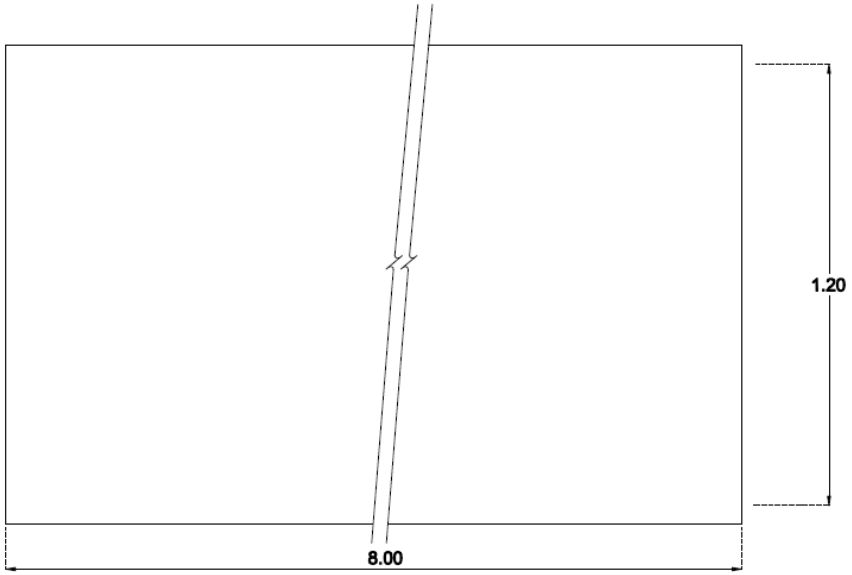
ภาพที่ 4.1 รูปด้านหน้าพื้นรูปแบบใหม่ (ขนาด 1.2 x 8.00 ม.)



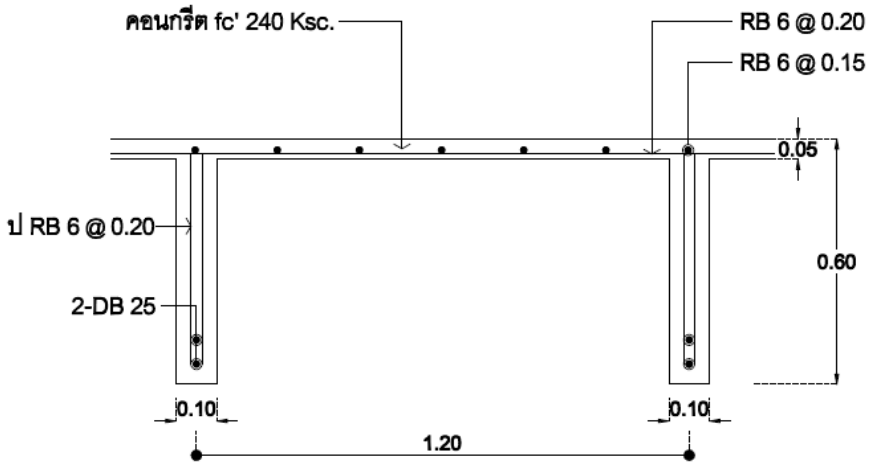
ภาพที่ 4.2 รูปด้านข้างพื้นรูปแบบใหม่ (ขนาด 1.20 x 8.00 ม.)



ภาพที่ 4.3 รูปด้านบนพื้นรูปแบบใหม่ (ขนาด 1.20 x 8.00 ม.)



ภาพที่ 4.4 รูปตัดพื้นรูปแบบใหม่ (ขนาด 1.20 x 8.00 ม.)

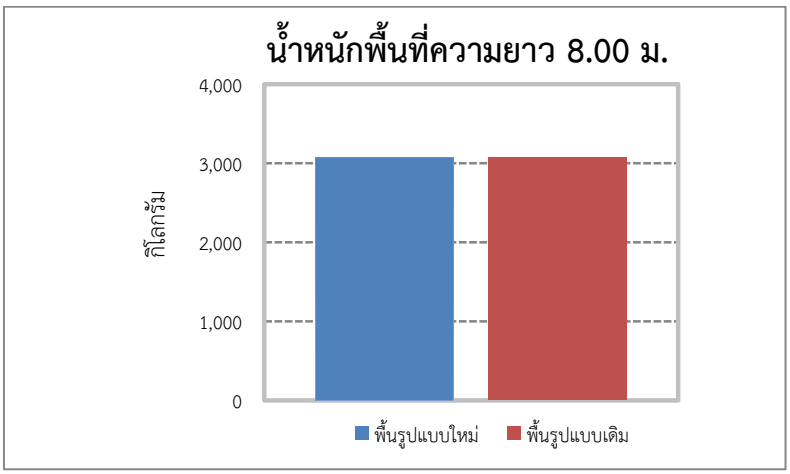


ภาพที่ 4.5 รูปตัดพื้นรูปแบบเดิม (ขนาด 1.20 x 8.00 ม.)

จากข้อมูลข้างต้นจากการออกแบบพื้นทั้งสองรูปแบบ จะนำเปรียบเทียบ ข้อดี ข้อเสียและข้อจำกัด ซึ่งจะแสดงออกมาในรูปของตาราง รูปภาพและแผนภูมิ

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักแผ่นพื้น

พื้นกว้าง / พื้นยาว	พื้นรูปแบบใหม่ (1.2 ม.)	พื้นรูปแบบเดิม (1.2 ม.)	หมายเหตุ
8.00 ม.	3,072	3,072	กิโลกรัม
ความหนาพื้น	0.05	0.05	เมตร
น้ำหนักพื้น	344	344	ก.ก./ตร.ม.



ภาพที่ 4.6 น้ำหนักพื้นที่ความยาวต่างๆ

จากตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดลองเกี่ยวกับน้ำหนักพื้นที่กระทำต่อโครงสร้าง ดังต่อไปนี้

แผ่นพื้นรูปแบบใหม่ (EPS โฟม หนา 10 นิ้ว) และแผ่นพื้นรูปแบบเดิมมีน้ำหนักเท่ากัน คือ 344 กก./ม^2.

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบรายการคำนวณของพื้นทั้งสองรูปแบบ

ที่	รายการ	พื้นรูปแบบใหม่	พื้นรูปแบบเดิม
1	พื้นหนา (ม.)	0.05	0.05
2	น้ำหนักพื้น (กก./ม.)	320	320
3	โมเมนต์ (กก.-ม.)	69.12	69.12
4	แรงเฉือน (กก.)	230.4	230.4
5	หน้าตัดเหล็กเสริมหลัก (ตร.ซม.)	2.01	2.01
6	ขนาดเหล็กเสริมหลักและระยะห่าง	6 ม.ม.@ 0.13 ม.	6 ม.ม.@ 0.15 ม.
7	หน้าตัดเหล็กเสริมรอง (ตร.ซม.)	1.25	1.25
8	ขนาดเหล็กเสริมรองและระยะห่าง	6 ม.ม.@ 0.20 ม.	6 ม.ม.@ 0.15 ม.

จากตารางที่ 4.2 สรุปได้ว่า

ที่แผ่นพื้นรูปแบบใหม่ (EPS โฟม หนา 10 นิ้ว) และแผ่นพื้นรูปแบบเดิม มีน้ำหนักพื้น โมเมนต์และปริมาณเหล็กเสริม เท่ากัน

ออกแบบพื้นพื้นทางเดียว S1 (One Way Slab) พื้นรูปแบบใหม่

1) น้ำหนักพื้น ค.ส.ล. หนา 0.05 ม. = 144.00 กก. / ตร.ม.

2) น้ำหนักคน = 200.00 กก. / ตร.ม.

รวมน้ำหนักทั้งสิ้น = 344.00 กก. / ตร.ม.

การออกแบบพื้น S1 ช่วงเดียว (พื้นกว้าง 1.20 ม.)

วิธีทำ

DL (น้ำหนักพื้น) = 144 กก./ตร.ม.

LL (น้ำหนักคน) = 200 กก./ตร.ม.

W รวมน้ำหนัก = 344 กก./ม.

MOMENT	M	=	57.60 กก.-ม.
	d	=	2.60 ซม. < 2.70 ซม.
	D	=	5.00 ซม.
	As.	=	2.01 ตร.ซม.
	Use.	=	RB.6 มม. @0.13 ม. (2.15 ตร.ซม.)
	Ast.	=	1.25 ตร.ซม.
	Use.t	=	RB.6 มม.@0.20 ม. (1.40 ตร.ซม.)

4.4 ผลการออกแบบและก่อสร้าง

กระบวนการก่อสร้าง เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด การออกแบบดีถูกต้องตามหลักวิชาการทุกด้าน แต่หากการก่อสร้างไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ ขาดความละเอียดอ่อนในการก่อสร้าง ขาดความเข้าใจในการก่อสร้าง จะส่งให้ผลการศึกษามีความคาดเคลื่อนจนไม่สามารถควบคุมการรับน้ำหนักของแผ่นพื้นได้ การศึกษาในครั้งนี้จึงจำเป็นต้องอยู่ใกล้ชิดกับการก่อสร้างและศึกษาอย่างเป็นระบบ โดยมีขั้นตอนและรายละเอียดดังนี้

ภาพที่ 4.7 ขั้นตอนการขนย้ายแผ่นโฟม Eps หนา 10 นิ้ว ยาว 8.00 ม. จากโรงงาน

ภาพที่ 4.8 ขั้นตอนการขนย้ายแผ่นโฟม Eps หนา 10 นิ้ว ยาว 8.00 ม. ลงหน้างานทดสอบ

ภาพที่ 4.9 แผ่นโฟม Eps หนา 10 นิ้ว ยาว 8.00 ม.

ภาพที่ 4.10 ขั้นตอนการปรับพื้นที่

ภาพที่ 4.11 วางผัง กำหนดจุดวางแผ่นพื้นโฟม Eps หนา 10 นิ้ว ยาว 8.00 ม.

ภาพที่ 4.12 เข้าแบบพื้นพร้อมค้ำยันแผ่นพื้น

ภาพที่ 4.13 ปูแผ่นพลาสติกรองแผ่นพื้นและทาน้ำมัน เสร็จเรียบร้อย

ภาพที่ 4.14 วางแผ่นโฟม Eps เข้าในแบบ เรียบร้อย

ภาพที่ 4.15 ขั้นตอนการผูกเหล็กเสริมคอนกรีต

ภาพที่ 4.16 ตีแบบปิดหัว-ท้าย พร้อมวางเหล็ก DB25 จำนวน 2 เส้น

ภาพที่ 4.17 หลังจากผูกเหล็กเรียบร้อย นำมาวางบนแผ่นโฟม Eps

ภาพที่ 4.18 รถปูนและรถเครนยกกะบะคอนกรีตสำเร็จ พร้อมหน้างาน

ภาพที่ 4.19 เริ่มขั้นตอนการเทคอนกรีต

ภาพที่ 4.20 การจี้เขย่าคอนกรีตเพื่อให้คอนกรีตสามารถถูกอัดแน่นในแบบหล่อได้อย่างเต็มที่

ภาพที่ 4.21 ใช้เกรียงไม้ เก็บผิวหน้าพื้นคอนกรีต เพื่อความเรียบร้อยและสวยงาม

ภาพที่ 4.22 ขั้นตอนการเทคอนกรีตสำเร็จรูป เสร็จเรียบร้อย

ภาพที่ 4.23 หลังจากทิ้งให้แผ่นพื้นแข็งตัว ก็ทำการแกะแบบพร้อมทาน้ำยาบ่มคอนกรีต

ภาพที่ 4.24 ตรวจสอบแผ่นพื้นหลังจากอายุครบ 28 วัน

ภาพที่ 4.25 แผ่นพื้นพร้อมที่จะถูกยกวางบน Support ที่เตรียมไว้

ภาพที่ 4.26 Support ที่เตรียมไว้ ด้านซ้าย

ภาพที่ 4.27 Support ที่เตรียมไว้ ด้านขวา

ภาพที่ 4.28 แผ่นพื้นถูงวางไว้บน Support เรียบร้อย

ภาพที่ 4.29 ตรวจสอบความเรียบร้อย หลังจากแผ่นพื้นถูกวางเรียบร้อย

จากการก่อสร้างแผ่นพื้นแล้วเสร็จ 100% โดยการเก็บรายละเอียดเทคนิคการก่อสร้างแผ่นพื้น one way slab เข้ามาใช้ในกับแผ่นพื้นรูปแบบใหม่ รวมถึงเทคนิคการก่อสร้างแผ่นพื้นด้วยโฟม Eps ของ ศ.ดร.สุนทร บุญญาธิการ และ รศ.ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์ ขั้นตอนต่อไปคือการดำเนินการศึกษา วัดค่าการรับน้ำหนัก และตรวจสอบการแอ่นตัวของโครงสร้างแผ่นพื้นโฟม Eps หนา 10 นิ้ว ยาว 8.00 เมตร เพื่อให้ได้มาซึ่งผลของการวิจัยต่อไป

4.5 ขบวนการวัดค่าการรับน้ำหนักและตรวจสอบการแอ่นตัว

4.5.1 การควบคุมระยะแอ่นตัว

ในวิธีการออกแบบโดยใช้หน่วยแรงใช้งานซึ่งถูกใช้มาก่อนปี ค.ศ.1970 จะจำกัดหน่วยแรงในคอนกรีตที่ประมาณ 45% ของกำลังอัดประลัย f_c' และหน่วยแรงในเหล็กเสริมไม่เกิน 50% ของกำลังคราก การใช้วัสดุเหล่านี้ในช่วงของหน่วยแรงที่ยอมให้โดยใช้ทฤษฎีอีลาสติก ทำให้ได้หน้าตัดใหญ่และมีการแอ่นตัวน้อย ดังนั้นการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กแบบเก่าจึงไม่ค่อยเกิดปัญหาของการแอ่นตัว

เมื่อการออกแบบโดยวิธีกำลังเป็นที่นิยมมากขึ้น และคอนกรีตที่ใช้มีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นหน้าตัดจึงมีขนาดเล็กลง แต่ก็ทำให้การแอ่นตัวเพิ่มขึ้นเช่นกันกำลังจุดคลากของเหล็กที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบันคือ 4,000 กก/ซม.^{2} (SD40) และกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตจะอยู่ระหว่าง 280ก.ก/ซม^2 ถึง 680 ก.ก./ซม.^{2} ยิ่งทำให้หน้าตัดมีขนาดเล็กลงกว่าการใช้วัสดุกำลังต่ำซึ่งใช้อยู่แต่เดิม

การแอ่นตัวที่ยอมให้จะเป็นไปตามลักษณะการใช้งานของโครงสร้าง การแอ่นตัวที่มากเกินไปอาจไม่ทำให้เกิดผลเสียหายโดยตรงต่อโครงสร้าง แต่ผลของส่วนโครงสร้างซึ่งถูกรองรับโดยส่วนที่แอ่นตัวอาจจะต้องถูกพิจารณาทั้งผลระยะสั้นและผลระยะยาว การแอ่นตัวที่ยอมรับได้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่น ชนิดของโครงสร้าง (โกดังสินค้า โรงเรียน โรงงาน ที่อยู่อาศัย ฯลฯ) มีฝ้าเพดานหรือไม่ การจัดวางเฟอร์นิเจอร์ ความไวของเครื่องมือต่อการแอ่นตัวและขนาดและช่วงเวลาของน้ำหนักจร การสั่นสะเทือนและเสียงรบกวนก็ถือเป็นผลที่เกิดกับการใช้งานของโครงสร้างที่ขึ้นกัความแข็งแรงของโครงสร้าง เช่นเดียวกับการแอ่นตัว

มาตรฐาน ACI ได้กำหนดตารางที่ 4.3 สำหรับใช้พิจารณาความลึกน้อยที่สุดของคานและพื้นทางเดียว ซึ่งถ้าความลึกที่ใช้เป็นไปตามตารางนี้ จะไม่ต้องคำนวณระยะแอ่นตัว ค่าที่ให้ไว้ในตารางเป็นค่าที่เผื่อไว้ค่อนข้างมาก ซึ่งถ้าใช้กับอาคารหลายๆชั้นอาจให้ผลการออกแบบที่ไม่ประหยัดเท่าที่ควร หากต้องการใช้ความลึกน้อยกว่าที่กำหนดนี้จะต้องทำการคำนวณระยะแอ่นตัวมากที่สุดแล้วเปรียบกับค่าที่ยอมให้ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ความลึกน้อยที่สุดของคานตามมาตรฐาน ACI

องค์อาคาร	คานช่วงเดี่ยว	คานต่อเนื่องปลายเดียว	คานต่อเนื่องสองปลาย	คานยื่น
พื้นทางเดียว	*L*/20	*L*/24	*L*/28	*L*/10
คาน	*L*/16	*L*/18.5	*L*/21	*L*/8

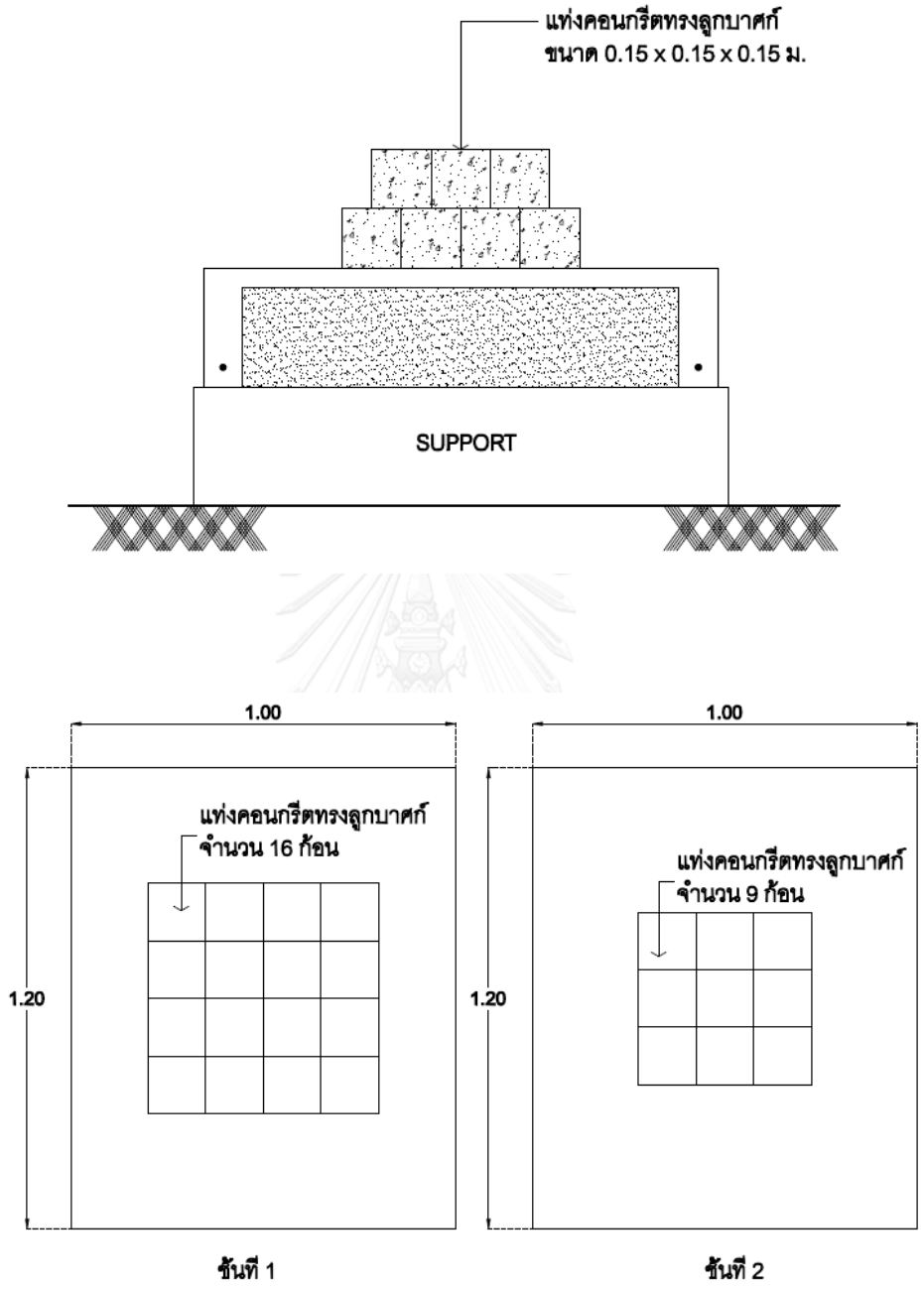
*สำหรับ fy ที่ไม่เท่ากับ 4,000 ก.ก./ซม.^{2} ให้คูณด้วย 0.4 + fy / 7,000

ตารางที่ 4.4 ค่าสูงสุดที่ยอมให้ของระยะแอ่นที่คำนวณได้

ชนิดขององค์อาคาร	ระยะแอ่นที่ต้องพิจารณา	พิกัดระยะแอ่น
หลังคาที่ไม่รองรับหรือติดกับส่วนที่มิใช่โครงสร้างที่คาดว่าจะเกิดการเสียหายจากการแอ่นตัวมากเกินควร	ระยะแอ่นตัวทันทีจากน้ำหนักบรรทุกจร	**L/180**
พื้นที่ไม่รองรับหรือติดกับส่วนที่มิใช่โครงสร้างที่คาดว่าจะเกิดการเสียหายจากการแอ่นตัวมากเกินควร	ระยะแอ่นตัวทันทีจากน้ำหนักบรรทุกจร	**L/360**
หลังคาหรือพื้นที่รองรับหรือติดกับส่วนที่มิใช่โครงสร้างที่คาดว่าจะเกิดการเสียหายจากการแอ่นตัวมากเกินควร	ระยะแอ่นตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นหลังจากการยึดติดกับส่วนที่มิใช่โครงสร้าง ผลรวมระยะแอ่นตัวตามกาลเวลาเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงค้างทั้งหมด และระยะแอ่นตัวทันทีเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรที่เพิ่มขึ้น	**L/480**
หลังคาหรือพื้นที่รองรับหรือติดกับส่วนที่มิใช่โครงสร้างที่คาดว่าจะไม่เกิดการเสียหายจากการแอ่นตัวมากเกินควร		**L/240**

การคำนวณระยะแอ่นตัวนั้นจะทำได้แค่เพียงการคาดคะเนระยะแอ่นที่น่าจะเกิดขึ้นเท่านั้น เนื่องจากมีความไม่แน่นอนของคุณสมบัติวัสดุ การแตกร้าว และประวัติการรับน้ำหนักขององค์อาคารที่ถูกพิจารณา ระยะแอ่นตัวมักจะเป็นการพิจารณาในช่วงอายุการใช้งานขององค์อาคารในขณะรับน้ำหนักองค์อาคารจะรับน้ำหนักบรรทุกคงที่เต็มที่และน้ำหนักบรรทุกจรบางส่วน ตามข้อกำหนดด้านความปลอดภัยของ ACI จะควบคุมให้ในช่วงที่รับน้ำหนักจรจนเต็มที่ หน่วยแรงในเหล็กและคอนกรีตยังคงอยู่ในช่วงอิลาสติก ระยะแอ่นตัวที่เกิดขึ้นทันทีเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกเรียกว่าการแอ่นตัวโดยทันที (Immediate deflections) คำนวณได้โดยใช้ทฤษฎีอิลาสติก

4.5.2 การรับน้ำหนัก



ภาพที่ 4.30 ตัวอย่างการวางคอนกรีตทรงลูกบาศก์ ขนาด 0.15 x 01.5 x 0.15 ม. น้ำหนัก 8.00 กิโลกรัม ต่อ 1 ก้อน ซึ่งจะนำมาทดสอบ โดยการแทนน้ำหนัก Live Load = 200 กก./ตร.ม.

ภาพที่ 4.31 ตัวอย่างการวางคอนกรีตทรงลูกบาศก์ ขนาด 0.15 x 01.5 x 0.15 ม. น้ำหนักเฉลี่ย 8.00 กิโลกรัม ต่อ 1 ก้อน ซึ่งจะนำมาทดสอบ โดยการแทนน้ำหนัก Live Load = 200 กก./ตร.ม.

ภาพที่ 4.32 ทำการเชื่อมอุปกรณ์ตรวจสอบการแอ่นตัวของแผ่นพื้น

ภาพที่ 4.33 ขึงเส้นเอ็น เพื่อตรวจสอบการแอ่นตัวของแผ่นพื้น

ภาพที่ 4.34 วัดระยะทุกๆ 1.00 ม. เพื่อวางก้อนทดสอบ

ภาพที่ 4.35 หลังจากได้ระยะทุกๆ 1.00 ม. ก็ทำการตีเส้นแบ่งเป็น 8 ส่วน

ภาพที่ 4.36 ตรวจสอบความยาวของแผ่นพื้น เท่ากับ 8.00 ม.

ภาพที่ 4.37 ชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่างคอนกรีต

ภาพที่ 4.38 ชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่างคอนกรีต

ภาพที่ 4.39 วางแท่งคอนกรีต โดยแต่ละส่วนรับน้ำหนัก LL=200 Kg./m^2

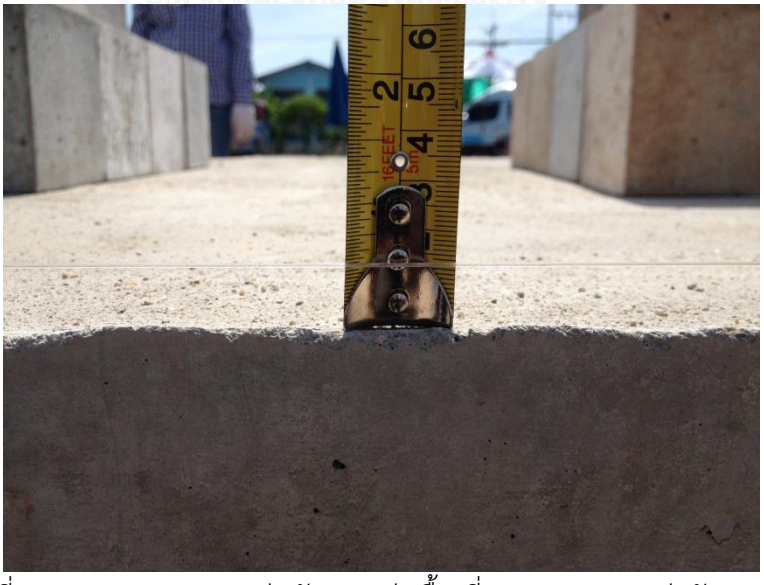
ภาพที่ 4.40 ตรวจสอบการแอ่นตัวของแผ่นพื้น ที่ระยะ 4.00 ม. เท่ากับ 15.0 มม.

ผลการตรวจสอบการแอ่นตัวของแผ่นพื้น จากตารางที่ 4.4 ค่าสูงสุดที่ยอมให้ของระยะแอ่นที่คำนวณได้ พื้นที่ไม่รองรับหรือติดกับส่วนที่มิใช่โครงสร้างที่คาดว่าจะเกิดการเสียหายจากการแอ่นตัวมากเกินควร ระยะแอ่นตัวทันทีจากน้ำหนักบรรทุกจร L/360

แทนค่า 8/360 = 0.0222 ม. (ค่าแอ่นตัว = 22.22 มม.) แต่แผ่นพื้นรูปแบบใหม่ วัดค่าแอ่นตัวได้เท่ากับ 15.00 มม.

หลังจากนั้นได้ทำการทดสอบโดยการเพิ่มน้ำหนักเป็น 248 กก./ม^2 ดังรูป

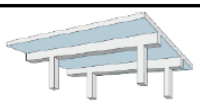
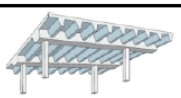
ภาพที่ 4.41 วางแท่งคอนกรีต โดยแต่ละส่วนรับน้ำหนัก LL=248 Kg./m^2



ภาพที่ 4.42 ตรวจสอบการแอ่นตัวของแผ่นพื้น ที่ระยะ 4.00 ม. เท่ากับ 1.9 ซม.

4.6 ระยะเวลาในการก่อสร้าง

ตารางที่ 4.5 ระยะเวลาในการก่อสร้าง

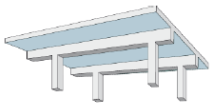
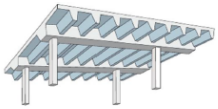
ที่	งาน	ปริมาณงานต่อวัน	หน่วย	จำนวน (คน)	รูปแบบพื้น			
					พื้นรูปแบบเดิม		พื้นรูปแบบเดิม	
								
					(ตร.ม.)	เวลา(วัน)	(ตร.ม.)	เวลา(วัน)
1	ติดตั้งไม้แบบ	13.33	ตร.ม.	2	22	1.65	53	3.98
2	ติดตั้งโฟมรับท้องพื้น	26.66	ตร.ม.	1	11	0.42	0	0.00
3	ผูกเหล็ก	192	ก.ก.	1	352	1.83	341	1.78
4	เทคอนกรีต	2	ลบ.ม.	3	1	0.5	4.5	2.25
5	บ่มคอนกรีต	40	ตร.ม.	1	17	0.42	32	0.80
6	ถอดแบบ	60	ตร.ม.	2	18	0.3	53	0.88
รวมเวลาในการก่อสร้าง (วัน)				10		**5.12**		**9.69**

ระยะเวลาในการก่อสร้าง พื้นรูปแบบใหม่ คำนวณจากปริมาณงานที่ทำต่อวันต่อคนของแต่ละกิจกรรมของงานหนึ่งๆแล้วนำมาคำนวณรวมกันเป็นเวลาที่ทำงานของแต่ละงาน เสร็จแล้วนำเวลารวมของแต่ละงานมาเปรียบเทียบกัน ดังตารางที่ 4.5 จากผลของการศึกษาปรากฏผลคือ ที่พื้นกว้าง 1.20 ม. พื้นรูปแบบใหม่ เสร็จเร็วกว่าพื้นรูปแบบเดิม เท่ากับ 4.57 วัน (89%)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.7 งบประมาณในการก่อสร้าง

ตารางที่ 4.6 งบประมาณในการก่อสร้างของพื้นรูปแบบใหม่และพื้นรูปแบบใหม่

															
ที่	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคาวัสดุ (บาท)	ราคาวัสดุ (บาท)	ค่าแรงต่อหน่วย (บาท)	ค่าแรง (บาท)	รวมเงิน (บาท)	จำนวน	หน่วย	ราคาวัสดุ (บาท)	ราคาวัสดุ (บาท)	ค่าแรงต่อหน่วย (บาท)	ค่าแรง (บาท)	รวมเงิน (บาท)
1	คอนกรีต Fc' 240	0.96	ลบ.ม.	2,460	2,362	350	336	2,698	1.36	ลบ.ม.	1,750	2,380	350	476	2,856
2	เหล็ก RB 6 ม.ม.	44.36	ก.ก.	35	1,553	3	133	1,686	65.36	ก.ก.	35	2,288	3	196	2,484
3	เหล็ก DB 25 ม.ม.	77	ก.ก.	34	2,618	3	231	2,849	154	ก.ก.	34	5,236	3	462	5,698
4	ลวดผูกเหล็ก	20	ก.ก.	40	800	0	0	800	10	ก.ก.	40	400	0	0	400
5	ไม้แบบ	5.52	ตร.ม.	300	1,656	150	828	2,484	29.44	ตร.ม.	300	8,832	150	4,416	13,248
6	ตะปู	1.38	ก.ก.	40	55	0	0	55	7.36	ก.ก.	40	294	0	0	294
7	โฟม EPS.หนา0.25ม.	9.6	ตร.ม.	900	8,640	50	480	9,120	0	ตร.ม.	0	0	0	0	0
8	พลาสติก	9.6	ตร.ม.	20	192	2	19	211	0	ตร.ม.	0	0	0	0	0
							รวมเป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น	19,903						รวมเป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น	24,980

งบประมาณในการก่อสร้าง โดยการประมาณราคาอย่างละเอียด โดยถอดวัสดุออกเป็นรายการๆโดยแยกเป็น ค่าวัสดุอุปกรณ์และคาแรงงานของพื้นรูปแบบเดิมและพื้นรูปแบบใหม่แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน ดังตารางที่ 4.6 จากผลของการศึกษาปรากฏผล คือ พื้นรูปแบบใหม่งบประมาณน้อยกว่า พื้นแบบเดิมเท่ากับ 5,077 บาท (25.5%)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ผลการวิจัยการออกแบบพื้นรูปแบบใหม่ทั้งสองและทำการเปรียบเทียบกับพื้นรูปแบบเดิมที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 น้ำหนักของพื้น

- พื้นรูปแบบใหม่และพื้นรูปแบบเดิมมีน้ำหนักเท่ากันน้ำหนัก เท่ากัน คือ 344 กก./ม^2

5.1.2 เวลาในการก่อสร้าง

- พื้นรูปแบบใหม่เสร็จเร็วกว่าพื้นรูปแบบเดิม เท่ากับ 4.57 วัน (89%)

5.1.3 งบประมาณในการก่อสร้าง

- พื้นรูปแบบใหม่ใช้งบประมาณน้อยกว่าพื้นรูปแบบเดิมเท่ากับ 5,077 บาท (25.5%)

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 พื้นออกแบบมาสำหรับทางเดินในอาคารพักอาศัยและระหว่างอาคาร ที่มีน้ำหนักไม่มากนัก การที่จะออกแบบให้พื้นรับน้ำหนักมากๆ หรือ รับแรงกระแทกหรือถนนจะมีการวิจัยและพัฒนาต่อไปในอนาคต ในส่วนของออกแบบให้พื้นรับน้ำหนักให้มากขึ้นโดยที่ขนาดของโครงสร้างไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

5.2.2 พื้นรูปแบบใหม่ มีอัตราส่วนความยาวต่อความหนาของพื้นและของคานต่ำมาก ซึ่งมีผลต่อการรับแรง เพราะคุณสมบัติของคอนกรีตคือรับแรงอัด จึงทำให้คุณสมบัติข้อนี้ของคอนกรีตด้อยลงไปมาก ซึ่งจะมีการวิจัยและพัฒนาต่อไปในอนาคต ในส่วนของรูปทรงและคอนกรีตเทคโนโลยี

5.2.3 จะต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ ในเรื่องของเทคนิคการก่อสร้างอาคาร เช่น การทำแบบหล่อ การผูกเหล็ก การบ่มคอนกรีต การถอดแบบ เพราะกระบวนการที่กล่าวมา มีผลต่อกำลังและคุณภาพของโครงสร้าง ค.ส.ล.ที่มีอัตราส่วน ความยาวต่อความหนาที่ค่อนข้างต่ำมาก

5.2.4 การทำช่องเปิดที่พื้นสำหรับเดินท่อก็สามารถทำได้เหมือนพื้นปกติ แต่การทำช่องเปิดที่คานสำหรับให้ท่อเดินลอดคานผ่านได้นั้นทำไม่ได้ เพราะคานของพื้นรูปแบบใหม่โดยเฉพาะคานของพื้นรูปแบบที่ 1 มีความลึกของคานน้อยมากซึ่งจะมีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตโดยตรงนี้คือข้อจำกัด แต่ถ้าจะต้องเดินท่อก็ต้องติดตั้งท่อที่ระดับใต้ท้องคานเท่านั้นหรือใต้พื้น

5.2.5 ถึงแม้ว่าวัสดุโฟมเอกส์แพนด์โพลีสไตลีน จะเป็นวัสดุไม่ลามไฟแต่การทนไฟให้ได้ตามมาตรฐานกฎกระทรวงนั้นยังต้องวิจัยต่อไป

5.2.6 ในอนาคต จะมีการวิจัยและพัฒนาพื้นและส่วนอื่นๆ ของโครงสร้างต่อไป เพื่อให้มีขนาดของโครงสร้างที่เล็กลง น้ำหนักเบา ก่อสร้างได้รวดเร็วขึ้นและที่สำคัญประหยัดงบประมาณการก่อสร้างต่อไป

รายการอ้างอิง

1. matichon online. ก่อสร้างสนามแบงค็อก ฟุตซอล อารีน่า. 2013 20 October 2012; Available from: http://www.matichon.co.th/news_detail.php?newsid=1350737919.
2. Red Army Fanclub. *Manchester United is best number one in my heart*. 2014 January 21 2007; Available from: http://www.redarmyfc.com/forum/viewtopic.php?f=49&t=21263#wrap.
3. ชาญชัย จารุจินดา, กลศาสตร์โครงสร้าง, ed. 6. 1994, กรุงเทพมหานคร: บุญเลิสการพิมพ์.
4. American Concrete Institute. ACI Committee 318., *Building code requirements for reinforced concrete (ACI 318M-89) and commentary - ACI 318RM-89*. Metric ed. Aci. 1990, Detroit,Mich.,,. 351 s.
5. International Conference of Building Officials. and ICBO., *Uniform building code 1997. 1:, Administrative, fire- and life-safety, and field inspection provisions*. 1997 ed. 2000, Whittier,Calif.,,. 442 s.
6. American Concrete Institute., et al., *Building code requirements for masonry structures (ACI 530-92/ASCE-5-92/TMS 402-92). Specifications for masonry structures (ACI 530.1-92/ASCE 6-92/TMS 602-92). Commentary on building code requirements for masonry structures (ACI 530-92/ASCE 5-92/TMS 402-92). Commentary on specifications for masonry structures (ACI 530.1-92/ASCE 6-92/TMS 602-92)*. 1992. Forsk.pag.
7. มงคล จิรวัชรเดช. การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก. 2006 22 September 2010; Available from: www.tumcivil.com/engfanatic/article_gen.php?article_id=730&hit=1.
8. American Concrete Institute., *ASTM standards in ACI 301, 318, and 349 : ACI 301-84: Structural concrete specifications. ACI 318-83: Building code requirements. ACI-80: Nuclear safety related structures (with 1984 supplement)*. ACI publication SP. 1984, Detroit,Mich.,,. 307 s.
9. เทียรชัย อ่อนอ้วน, นวัตกรรมการสร้างความรู้สึกเย็นในอาคาร จากท้องฟ้า ดินและสภาพแวดล้อม. 2012, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. p. 36.

10. กฤษฎา กาญจนจนรัชต์, โครงสร้างพื้นตงถี่เพื่อประหยัดพลังงาน, in สถาปัตยกรรมศาสตร์. 2010, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก ตารางช่วยคำนวณ

ตัวคูณแปลงหน่วย (Conversion Factors)

Conventional to Metric

ความยาว	1	inches (in)	=	2.54	centimeters (cm)
	1	feet (ft)	=	0.3048	meters (m)
	1	miles (mi)	=	1.6093	kilometers (km)
	1	miles (international nautical)	=	1.852	kilometers (km)
	1	mile per hour (mph)	=	1.6093	kilometer per hour (kph)
พื้นที่	1	square inches (in^2)	=	6.4516	square centimeters (cm^2)
	1	square feet (ft^2)	=	0.0929	square meters (m^2)
	1	square miles (mi^2)	=	2.590	square kilometers (km^2)
	1	acre	=	4,047	square meters (m^2)
	1	acre	=	0.4047	hectares
ปริมาตร	1	gallons (gal)	=	3.7854	liters
	1	cubic feet (ft^3)	=	28.3169	liters
	1	cubic feet (ft^3)	=	0.02832	cubic meters (m^3)
	1	cubic yards (yd^3)	=	0.76455	cubic meters (m^3)
	1	cubic feet per second (ft^3/sec)	=	0.02832	cubic meter per second (m^3/sec)
น้ำหนัก	1	pounds (lbm)	=	0.4536	kilograms (kg)
แรง	1	short ton (2,000 lbm)	=	907.200	kilograms (kg)
หน่วยแรง	1	long ton (2,240 lbm)	=	1,016.064	kilograms (kg)
แรงดัด	1	pounds (lbf)	=	4.4482	Newtons (N)
	1	lbf / in^2 (psi)	=	6,894.724	Pa or N / m^2
	1	lbf / ft^2	=	47.88003	Pa or N / m^2
	1	kip-ft	=	1,356	N-m

Metric to Conventional

ความยาว	1	centimeters (cm)	=	0.39370	inches (in)
	1	meters (m)	=	3.28084	feet (ft)
	1	kilometers (km)	=	0.62139	miles (mi)
	1	kilometers (km)	=	0.53996	miles (international nautical)
	1	kilometer per hour (kph)	=	0.62139	mile per hour (mph)
พื้นที่	1	square centimeters (cm^2)	=	0.15500	square inches (in^2)
	1	square meters (m^2)	=	10.76391	square feet (ft^2)
	1	square kilometers (km^2)	=	0.38612	square miles (mi^2)
	1	square meters (m^2)	=	0.00025	acre
	1	hectares	=	2.47097	acre
ปริมาตร	1	liters	=	0.26417	gallons (gal)
	1	liters	=	0.03531	cubic feet (ft^3)
	1	cubic meters (m^3)	=	35.31467	cubic feet (ft^3)
	1	cubic meters (m^3)	=	1.30795	cubic yards (yd^3)
	1	cubic meter per second (m^3/sec)	=	35.31467	cubic feet per second (ft^3/sec)
น้ำหนัก	1	kilograms (kg)	=	2.20459	pounds (lbm)
แรง	1	kilograms (kg)	=	0.00110	short ton (2,000 lbm)
หน่วยแรง	1	kilograms (kg)	=	0.00098	long ton (2,240 lbm)
แรงดัด	1	Newtons (N)	=	0.22481	pounds (lbf)
	1	Pa or N / m^2	=	0.00015	lbf / in^2 (psi)
	1	Pa or N / m^2	=	0.02089	lbf / ft^2
	1	N-m	=	0.00074	kip-ft

ภาคผนวก ข หน่วยน้ำหนักโดยประมาณของวัสดุ

วัสดุ	หน่วยน้ำหนัก
แก้ว	2,512 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
คอนกรีตปกติ	2,300 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
คอนกรีตมวลเบา	960-1,280 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
คอนกรีตเสริมเหล็กร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก	2,400 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
คอนกรีตเสริมเหล็กร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก	2,600 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
คอนกรีตเสริมเหล็กร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก	2,800 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
ซีเมนต์ใยหิน (Asbestos)	1,488 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
ดิน และดินเหนียว	1,700-1,800 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
ตะกั่ว	11,325 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
ทรายแห้ง	1,400-1,600 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
ทองแดง	8,560-8,784 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
น้ำ	1,000 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
พีวีซี (Polyvinyle Chloride)	1,360 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
เม็ดปูน (Clinker)	1,522 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
ไม้เนื้อแข็งปานกลางถึงแข็งมาก	680-720 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
ไม้เนื้ออ่อน	480 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
ไม้อัด	528 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
ยิปซัม	1,216 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
โลหะผสมอลูมิเนียม (Aluminium Alloy)	2,672 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
สัมฤทธิ์ (Bronze)	8,770 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
หินแกรนิต	2,643 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
หินทราย	2,000-2,323 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
หินธรรมชาติ	1,600-1,800 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
หินพรุน (Punice)	1,121 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
หินอ่อน	2,723 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
เหล็กกล้าละมุน (Mild Steel)	7,850 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
เหล็กดิบ หรือสินแร่เหล็ก (Ferrous ore)	2,360-3,610 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
เหล็กหล่อ (Cast iron)	7,206 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
เหล็กเหนียว (Wrought iron)	7,560 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
แอสฟัลต์	2,300 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
Air Blowing Asphalt	2,240 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร

หมายเหตุ : บางค่าที่แสดงเป็นเพียงประมาณการที่ใกล้เคียง ควรตรวจสอบอย่างละเอียดก่อนนำไปใช้

ภาคผนวก ค-1 จำนวนเส้นและพื้นที่ภาคตัดขวางของเหล็กเสริม

จำนวนเส้น	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร) และ พื้นที่ภาคตัดขวาง (ตารางเซนติเมตร)										
	6	9	10	12	15	16	19	20	25	28	32
1	0.28	0.64	0.79	1.13	1.77	2.01	2.84	3.14	4.91	6.16	8.04
2	0.57	1.27	1.57	2.26	3.53	4.02	5.67	6.29	9.82	12.32	16.09
3	0.85	1.91	2.36	3.39	5.30	6.03	8.51	9.42	14.73	18.47	24.13
4	1.13	2.54	3.14	4.52	7.07	8.04	11.34	12.57	19.63	24.63	32.17
5	1.41	3.18	3.93	5.65	8.84	10.05	14.18	15.71	24.54	30.79	40.21
6	1.70	3.82	4.71	6.79	10.60	12.06	17.01	18.85	29.45	36.95	48.25
7	1.98	4.45	5.50	7.92	12.37	14.07	19.85	21.99	34.36	43.10	56.30
8	2.26	5.09	6.28	9.05	14.14	16.08	22.68	25.13	39.27	49.26	64.34
9	2.54	5.73	7.07	10.18	15.90	18.10	25.52	28.27	44.18	55.42	72.38
10	2.83	6.36	7.85	11.31	17.67	20.11	28.35	31.42	49.09	61.58	80.42
11	3.11	7.00	8.64	12.44	19.44	22.12	31.19	34.56	54.00	67.73	88.47
12	3.39	7.63	9.42	13.57	21.21	24.13	34.02	37.70	58.90	73.89	96.51
13	3.68	8.27	10.21	14.70	22.97	26.14	36.86	40.84	63.81	80.05	104.55
14	3.96	8.91	11.00	15.83	24.74	28.15	39.69	43.98	68.72	86.21	112.59
15	4.24	9.54	11.78	16.96	26.51	30.16	42.53	47.12	73.63	92.36	120.64
16	4.52	10.18	12.57	18.10	28.27	32.17	45.36	50.27	78.54	98.52	128.68
17	4.81	10.81	13.35	19.23	30.04	34.18	48.20	53.41	83.45	104.68	136.72
18	5.09	11.45	14.14	20.36	31.81	36.19	51.04	56.55	88.36	110.84	144.76
19	5.37	12.09	14.92	21.49	33.58	38.20	53.87	59.69	93.27	116.99	152.81
20	5.65	12.72	15.71	22.62	35.34	40.21	56.71	62.83	98.17	123.15	160.85

ภาคผนวก ค-2 เส้นรอบรูปของเหล็กเสริม

จำนวนเส้น	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร) และ เส้นรอบรูป (เซนติเมตร)										
	6	9	10	12	15	16	19	20	25	28	32
1	1.88	2.83	3.14	3.77	4.71	5.03	5.97	6.28	7.85	8.80	10.05
2	3.77	5.65	6.28	7.54	9.42	10.05	11.94	12.57	15.71	17.59	20.11
3	5.65	8.48	9.42	11.31	14.14	15.08	17.91	18.85	23.56	26.39	30.16
4	7.54	11.31	12.57	15.08	18.85	20.11	23.88	25.13	31.42	35.19	40.21
5	9.42	14.14	15.71	18.85	23.56	25.13	29.85	31.42	39.27	43.98	50.27
6	11.31	16.96	18.85	22.62	28.27	30.16	35.81	37.70	47.12	52.78	60.32
7	13.19	19.79	21.99	26.39	32.99	35.19	41.78	43.98	54.98	61.58	70.37
8	15.08	22.62	25.13	30.16	37.70	40.21	47.75	50.27	62.83	70.37	80.42
9	16.96	25.45	28.27	33.93	42.41	45.24	53.72	56.55	70.69	79.17	90.48
10	18.85	28.27	31.42	37.70	47.12	50.27	59.69	62.83	78.54	87.96	100.53
11	20.73	31.10	34.56	41.47	51.84	55.29	65.66	69.12	86.39	96.76	110.58
12	22.62	33.93	37.70	45.24	56.55	60.32	71.63	75.40	94.25	105.56	120.64
13	24.50	36.76	40.84	49.01	61.26	65.35	77.60	81.68	102.10	114.35	130.69
14	26.39	39.58	43.98	52.78	65.97	70.37	83.57	87.96	109.96	123.15	140.74
15	28.27	42.41	47.12	56.55	70.69	75.40	89.54	94.25	117.81	131.95	150.80
16	30.16	45.24	50.27	60.32	75.40	80.42	95.50	100.53	125.66	140.74	160.85
17	32.04	48.07	53.41	64.09	80.11	85.45	101.47	106.81	133.52	149.54	170.90
18	33.93	50.89	56.55	67.86	84.82	90.48	107.44	113.10	141.37	158.34	180.96
19	35.81	53.72	59.69	71.63	89.54	95.50	113.41	119.38	149.23	167.13	191.01
20	37.70	56.55	62.83	75.40	94.25	100.53	119.38	125.66	157.08	175.93	201.06

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ธีรชาติ คงหอม เกิดวันที่ 9 กันยายน 2521

ตำแหน่งปัจจุบัน

พนักงานวิศวกรโยธา กลุ่มงานวิชาการโยธา สำนักงานโยธิการและผังเมืองจังหวัดสมุทรสาคร

การศึกษา

พ.ศ. 2546

วิศวกรรมศาสตร์บัญฑิต วิศวกรรมโยธามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

พ.ศ. 2542

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ช่างก่อสร้าง โรงเรียนเซนต์จอห์นเทคนิคกรุงเทพ

พ.ศ. 2540

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ ช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคนครศรีธรรมราช

พ.ศ. 2537

มัธยมศึกษาต้น โรงเรียนเบญจมราชูทิศ

ประสบการณ์ทำงาน

ทดสอบ วิเคราะห์ คุณภาพวัสดุงานก่อสร้าง งานสำรวจ ออกแบบ ประมาณราคางานโครงการก่อสร้างต่างๆ ของส่วนราชการในจังหวัด ซึ่งร้องขอมาสนับสนุนส่วนราชการในจังหวัดและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ในการควบคุมงานก่อสร้าง และตรวจการจ้าง ให้คำปรึกษาด้านวิศวกรรม แก้ไขปัญหางานก่อสร้าง บูรณะการซ่อมแซม อาคาร ถนน สะพาน เขื่อน และงานวิศวกรรมโยธา อื่นๆ แก่ส่วนราชการและองค์ปกครองส่วนท้องถิ่น ให้คำปรึกษาแนะนำแก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและประชาชนทั่วไปเกี่ยวกับกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร การขุดดินและถมดิน และปฏิบัติงานอื่นๆที่ได้รับมอบหมาย

เป้าหมายในอนาคต

“ช่างของแผ่นดิน”