รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การศึกษาและเปรียบเทียบคุณภาพของรูปแบบการก่อสร้างบ้านพักอาศัย ในระบบก่ออิฐ ฉาบปูน และระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป

A Comparative Study on the Quality of the Conventional and the Prefabrication construction Systems

นายรัชชวินทร์ ธนาเกษมพิพัฒน์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การศึกษาและเปรียบเทียบคุณภาพของรูปแบบการก่อสร้างบ้านพักอาศัย ในระบบก่ออิฐ ฉาบปูน และระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป

A Comparative Study on the Quality of the Conventional and the Prefabrication construction Systems

นายรัชชวินทร์ ธนาเกษมพิพัฒน์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา การศึกษาและเปรียบเทียบคุณภาพของรูปแบบการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐ ฉาบปูน และระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป

ชื่อ – สกุล นักศึกษา นาย รัชชวินทร์ ธนาเกษมพิพัฒน์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมโยธา

ชื่อ – สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร

ชื่อ – สกุล ผู้นิเทศงาน นาย กิตติพงศ์ ฉิมเรือง

สถานประกอบการ บริษัท แสนสิริ จำกัด (มหาชน)

บทคัดย่อ

วิวัฒนาการเทคโนโลยีการก่อสร้างบ้านพักอาศัยได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องให้มีความสะดวกและรวดเร็ว เพื่อให้สามารถรองรับการขยายตัวของสังคมเมืองและความต้องการที่พักอาศัยของผู้คนที่มากขึ้น ในปัจจุบันระบบการก่อสร้างบ้านพักอาศัยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ ระบบการก่อสร้างแบบก่ออิฐ ฉาบปูนและระบบการก่อสร้างแบบสำเร็จรูป ซึ่งโครงการหมู่บ้านจัดสรรได้มีการนำระบบการก่อสร้างแบบสำเร็จรูปมาใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมีเป้าหมายหลักเพื่อลดระยะเวลาการก่อสร้างและยกระดับคุณภาพของการก่อสร้าง ในขณะที่ระบบการก่อสร้างแบบก่ออิฐฉาบปูนยังคงได้รับการยอมรับในด้านความแข็งแรงทนทาน กล่าวได้ว่าระบบการก่อสร้างทั้งสองแบบมีจุดแข็ง-จุดอ่อนที่แตกต่างกัน

เพื่อให้เกิดความชัดแจ้งในแต่ละคุณสมบัติของทั้งสองระบบดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อทำการเปรียบเทียบตั้งแต่ การวางแผนงานก่อสร้าง ระยะเวลาในการก่อสร้าง เทคโนโลยีการก่อสร้าง และในด้านอื่นๆ ของทั้งสองระบบ โดยทำการสำรวจความคิดเห็นจากผู้พัฒนาบ้านโครงการหมู่บ้านจัดสรรในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร ผ่านแบบสอบถามความคิดเห็นการประเมินระดับคุณภาพของระบบการก่อสร้างบ้านทั้ง 2 ระบบ คือ ระบบก่อสร้างแบบก่ออิฐ ฉาบปูน และระบบการก่อสร้างแบบสำเร็จรูปแบบผนังรับแรง จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS โดยใช้เกณฑ์ของคุณสมบัติต่างๆในการเปรียบเทียบวิเคราะห์ข้อมูล ลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ใช้บ่งบอกคุณภาพบ้านพักอาศัยของแต่ละระบบการก่อสร้าง และทำการวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐ ฉาบปูน และระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปโดยใช้วิธี Mann-Whitney U Test ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่า

มีปัจจัยที่แตกต่างกันอยู่ 14 ปัจจัย จึงทำการแยกวิเคราะห์เพื่อหาน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยแต่ละระบบ ได้ผลว่า (1) การก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐ ฉาบปูนนั้นปัจจัยที่มีน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด คือ ปัจจัยด้านเทคนิคการก่อสร้างและงานระบบ (2) การก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป ปัจจัยที่มีน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด คือปัจจัยด้านประสิทธิภาพของงานก่อสร้าง

คำสำคัญ : ระบบการก่อสร้างแบบก่ออิฐ ฉาบปูน, ระบบการก่อสร้างแบบสำเร็จรูป, โครงการหมู่บ้านจัดสรร

Cooperative Title: A Comparative Study on the Quality of the Conventional and the Prefabrication construction Systems

Student intern name: Mr.Ratchavin Tanakasempipat

Faculty: Engineering **Department:** Civil Engineering

Advisor name: Asst.Prof. Dr. Arthit Petchsasithon

Mentor name: Mr.Kittipong Chimruang

Company: Sansiri Public Company Limited

Abstract

Technological advances for residential construction have been constantly developed for speed and convenience, in order to support the expansion of urbanization and the increasing need for residential units that accompany the growing number of city dwellers. At present, there are two main types of residential construction: the conventional system and the prefabrication system. On one hand, the prefabrication system has been used widely in housing estates, with main purposes of shortening the construction time and elevating its quality. On the other hand, the conventional system is still widely accepted for its strength and durability. Therefore, it can be said that each of the two systems has different strengths and weaknesses.

In order to shed light on those strengths and weaknesses, this thesis aims to compare the two systems at different phases, including construction planning, construction time, construction technology, among other things. The researcher has gathered opinions of some developers of housing estates in Bangkok through a survey assessing the quality of each of the two construction systems, then analyzed the data using the SPSS program – comparing both systems by each qualification, prioritizing factors used to indicate the quality of residential units built under each system, then comparing similarities and differences of those factors using the Mann-Whitney U Test. As a result, 14 differing factors have been found. Upon more dissection, it has been

found that (1) technical factors in construction and system engineering are the most important for the conventional system, while (2) effectiveness is the most important factor for the prefabrication construction system.

Keywords: conventional construction system, prefabrication construction system, housing estate

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สามารถทำสำเร็จได้ด้วยดีจากความกรุณา และความอนุเคราะห์ของท่านอาจารย์ ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร อาจารย์ซึ่งเป็นอาจารย์นิเทศ และอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์นี้ โดยตลอดเวลาท่านได้ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำ ซึ่งเป็นสิ่งที่มีค่าที่ข้าพเจ้าได้รับตลอดเวลาที่ทำปริญญานิพนธ์นี้ ข้าพเจ้าจึงขอกล่าวคำขอบคุณและขอแสดงความนับถือแด่อาจารย์ ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร

สุดท้ายนี้สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้ามอบให้บิดามารดา ซึ่งเป็นผู้ให้กำเนิด อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้ประสิทธ์ประสาทวิชาความรู้

รัชชวินทร์ ธนาเกษมพิพัฒน์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

ABSTRACT III

กิตติกรรมประกาศ V

สารบัญ VI

สารบัญตาราง IX

สารบัญรูป XI

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 2

1.4 วิธีดำเนินการศึกษา 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 การก่อสร้างในระบบทั่วไป หรือระบบก่ออิฐ ฉาบปูน 4

2.2 การก่อสร้างระบบสำเร็จรูป 42

บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย 54

3.1 รูปแบบการวิจัย 54

3.2 การออกแบบแบบสอบถามความคิดเห็นเพื่อนการเก็บข้อมูล 56

3.2.1 การกำหนดหัวข้อหรือประเด็นหลักของเนื้อหางานวิจัย 56

3.2.2 ชนิดของแบบสอบถาม 56

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล 57

3.3.1 แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย 57

3.3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 57

3.3.3 วิธีการสุ่มตัวอย่าง 58

3.4 เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล 58

3.4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 58

3.4.2 การทดสอบเครื่องมือ 61

3.4.2.1 ความเที่ยงตรง 61

3.4.2.2 การทดสอบความเชื่อถือได้ของสเกล 62

3.5 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล 63

3.5.1 วิเคราะห์ข้อมูลแบบสอบถามส่วนที่ 1: ข้อมูลส่วนบุคคล 63

3.5.2 วิเคราะห์ข้อมูลแบบสอบถามส่วนที่ 2: เปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลกระทบและมีความสำคัญต่อความสำเร็จของโครงการในระบบก่อสร้างประเภทต่างๆ 63

3.6 สรุป 64

บทที่ 4 ผลการวิจัย 65

4.1 บทนำ 65

:1 วิเคราะห์แบบสอบถามส่วนที่ 4.2ข้อมูลส่วนบุคคล 65

4.3วิเคราะห์แบบสอบถามส่วนที่ : 2เปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลกระทบและมีความสำคัญต่อคุณภาพของโครงการก่อสร้างในระบบประเภทต่างๆ 68

4.3.1 ตรวจสอบค่าระดับความสำคัญของปัจจัยในการเปรียบเทียบการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐ ฉาบปูน และระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป 68

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.2 เปรียบเทียบความเหมือนและแตกต่างของปัจจัยที่มีความสำคัญต่อความสำเร็จของโครงการก่อสร้างระบบก่ออิฐฉาบ ปูนและระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป โดยใช้วิธี Mann-Whitney U Test 71

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 77

เอกสารอ้างอิง 79

ภาคผนวก 80

แบบสอบถาม 81

ประวัติผู้เขียน 86

สารบัญตาราง

หน้า

2.1 เปรียบเทียบข้อดี – ข้อเสียของปั้นจั่นตอกเสาเข็มชนิดต่างๆ 19

2.2 การเสริมเหล็กเสาเข็มเจาะระบบแห้ง 22

2.3 ความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็มเจาะระบบแห้ง 24

2.4 ระยะเวลาการถอดไม้แบบสำหรับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ประเภทที่ 1 31

4.1 แสดงจำนวนของแบบสอบถาม 65

4.2 แสดงคุณลักษณะ ตำแหน่งปัจจุบัน และระยะเวลาที่ดำรงตำแหน่งปัจจุบันของผู้ตอบแบบสอบถาม66

4.3 แสดงคุณลักษณะ ประสบการณ์ในการทำงานก่อสร้างบ้านพักอาศัยแบบก่ออิฐ ฉาบปูน ของผู้ตอบ แบบสอบถาม 67

4.4 แสดงคุณลักษณะ ประสบการณ์ในการทำงานก่อสร้างบ้านพักอาศัยแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป ของผู้ตอบแบบสอบถาม 67

4.5 แสดงคุณลักษณะของงาน หรือโครงการที่องค์กรของผู้ตอบแบบสอบถามทำการรับผิดชอบอยู่ (เลือกได้มากกว่า 1 งาน) 68

4.6 แสดงค่าระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของการก่อสร้างบ้านพักอาศัยแบบก่ออิฐ ฉาบปูน 69

4.7 แสดงค่าระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของการก่อสร้างบ้านพักอาศัยแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป 70

4.8 แสดงผลการวิเคราะห์ ทดสอบค่า p-value ของปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบการก่อสร้างแบบก่ออิฐ ฉาบปูนและระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป 71

4.9 แสดงความแตกต่างของปัจจัยความสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของงานก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐ ฉาบปูน และระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปอย่างมีนัยสำคัญ 72

4.10 แสดงน้ำหนักความสำคัญของกลุ่มปัจจัยและปัจจัยของคุณภาพการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐ ฉาบปูน 73

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

4.11 แสดงน้ำหนักความสำคัญของกลุ่มปัจจัยและปัจจัยของคุณภาพการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป 75

สารบัญรูปภาพ

หน้า

2.1 ฐานรากตื้น(Z ≤ B) 5
2.2 แสดงพฤติกรรมของฐานรากเดี่ยว 6
2.3 แสดงพฤติกรรมของฐานแผ่ร่วม 7
2.4 แสดงพฤติกรรมของฐานชนิดมีคานรัด 7
2.5 การกระจายแรงจากฐานรากลงสู่ดิน 8
2.6 ส่วนประกอบของเสาเข็ม 9
2.7 การกระจายแรงลงสู่ดินของเสาเข็มเดี่ยวและเสาเข็มกลุ่ม 11
2.8 เปอร์เซ็นต์ของเหล็กปลอกเมื่อเทียบกับปริมาตรคอนกรีตในส่วนต่างๆของเสาเข็ม 12
2.9 ตัวอย่างหน้าตัดเสาเข็มรูปแบบต่างๆ 13
2.10 หน้าตัดเสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ขายในปัจจุบัน 14
2.11 รูปทรงของเสาเข็มฝังปลอกเหล็ก 15
2.12 ลักษณะตัวอย่างของเสาเข็มชนิดไม่ฝังปลอกเหล็ก 16
2.13 ตัวอย่างรอยต่อเสาเข็มประกอบ 17
2.14 โครงสร้างมาตรฐานของเสาเข็มกลมแรงเหวี่ยงแบบอัดแรง (บริษัท MPAC) 18
2.15 แผนการเดินปั้นจั่นในการตอกเสาเข็ม 20
2.16 วิธีการป้องกันการแยกตัวขณะเทคอนกรีตออกจากเครื่องผสม 25
2.17 วิธีการป้องกันการแยกตัวขณะเทคอนกรีตออกจากกรวย(Hooper) 26
2.18 วิธีการป้องกันการแยกตัวขณะเทคอนกรีตออกจากกระบะ(Buckets) 26
2.19 การจัดระยะเหล็กปลอกเสาตามมาตรฐาน ACI CODE 33
2.20 ตัวอย่างมาตรฐานเหล็กปลอกเสา (มาตรฐาน ACI CODE) 34
2.21 การต่อเหล็กแกนเสาด้วยวิธีต่อทาบหรือดุ้งเหล็ก 35
2.22 การต่อเหล็กแกนของเสาที่ลดขนาดลง 36
2.23 โครงสร้างเสาหินสำเร็จรูปในประเทศอียิปต์ 43

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

2.24 โครงสร้างเสาหินสำเร็จรูปในประเทศอิตาลี 43

2.25 โครงการที่พักอาศัย Marne la Vallee 44

2.26 โครงการ the Habitat ใน Montreal 44

2.27 วิธีการจัดวางผนังเพื่อรับฐ้าหนักของพื้น 47

2.28 แสดงระบบโครงสร้างแบบ Long Wall 48

2.29 การวางโครงสร้างรับฐ้าหนักแบบ Long-wall ซึ่งใช้คานถ่ายฐ้าหนัก จากพื้นมาสู่กำแพง 48

2.30 แสดงระบบโครงสร้างแบบ Cross-Wall 49

2.31 การวางชิ้นส่วนผนังด้านหน้าวิธีต่างๆ ในระบบ cross-wall 49

2.32 แสดงระบบโครงสร้างแบบ two-way span 50

2.33 แสดงระบบโครงสร้างแบบกรอบกรวง (ring-frame) 50

2.34 แสดงระบบโครงสร้างแบบเสาและคาน(Skeleton Frame) 51

2.35 แสดงระบบโครงสร้างแบบเสาและพื้นไร้คาน (beamless skeleton system) 52

2.36 โครงสร้างแบบ box unit 53

3.1 ขั้นตอนการศึกษาและเปรียบเทียบคุณภาพของรูปแบบการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบ
ก่ออิฐฉาบปูน และระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป 55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

จากอดีตจนถึงปัจจุบันระบบการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในประเทศไทยมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในทุกยุคทุกสมัย จากระบบทั่วไปหรือที่ทราบกันดีในระบบก่ออิฐฉาบปูนที่อาศัยการใช้แรงงานคนเป็นหลัก สู่นวัตกรรมใหม่ ในรูปแบบระบบบ้านสำเร็จรูปที่มีการนำเทคโนโลยีเครื่องจักรทดแทนการใช้แรงงานคนมากขึ้น

การขยายตัวของชุมชนเมือง ปัจจัยทางเศรษฐกิจที่เติบโตอย่างรวดเร็วมีส่วนผลักดันให้ผู้ประกอบการเล็งเห็นถึงความสำคัญของเทคโนโลยีก่อสร้างมากขึ้น เพื่อช่วยลดข้อจำกัดของระยะเวลาในการก่อสร้างและเสร็จทันตามกำหนด ระบบการก่อสร้างแบบใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จหรือการก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Precast) จึงถูกนำมาพิจารณาในงานก่อสร้างบ้านพักอาศัยของโครงการหมู่บ้านจัดสรรเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากช่วยลดปัญหาด้านแรงงานขาดแคลน ต้นทุนค่าจ้าง และระยะเวลารวดเร็ว ทั้งนี้ระบบการก่อสร้างแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปมีหลายรูปแบบ เช่น ระบบการก่อสร้างเสาและคาน ระบบผนังรับน้ำหนัก และระบบก่อสร้างแบบกล่อง เป็นต้น โดยงานวิจัยเล่มนี้ได้ทำการศึกษาในรูปแบบผนังรับน้ำหนักในโครงการหมู่บ้านจัดสรร ภายในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการศึกษาถึงขั้นตอนตั้งแต่งานฐานราก งานโครงสร้าง ตลอดจนงานสถาปัตยกรรม ตกแต่ง จากการลงมือปฏิบัติและคำแนะนำจากผู้มีความเกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างโครงการหมู่บ้านจัดสรร ทำให้ทราบถึงรายละเอียดการสร้างบ้านพักอาศัยแบบหล่อสำเร็จ (Precast) และต้องการทำการศึกษาเพื่อทำการเปรียบเทียบให้ทราบถึงความแตกต่างกับระบบการก่อสร้างก่ออิฐ ฉาบปูน ในด้านต่างๆ เช่น ด้านคุณภาพ ด้านประสิทธิภาพในการควบคุมงาน ด้านการใช้แรงงาน ด้านเวลา และด้านราคา เป็นต้น และแสดงให้เห็นถึงผลดี-ผลเสียผลกระทบต่อความสำเร็จของโครงการ จากการสำรวจผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างหมู่บ้านจัดสรรในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

รายงานวิจัยนี้จะเป็นข้อมูลในการช่วยตัดสินใจในการบริหารโครงการหมู่บ้านจัดสรร และการพัฒนาระบบงานก่อสร้างได้ เพื่อให้สามารถรองรับการขยายตัวของสังคมเมืองและแผนพัฒนาเศรษฐกิจในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อทำการศึกษาองค์ประกอบของการก่อสร้างบ้านด้วยระบบการก่อสร้างแบบก่ออิฐ ฉาบปูน และ ระบบการใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูป และทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติในแง่ของ คุณภาพของงานก่อสร้าง ต้นทุนของงานก่อสร้าง เวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง ความปลอดภัยระหว่างการก่อสร้าง และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาเปรียบเทียบการก่อสร้างโครงการบ้านพักอาศัย ทั้งที่ใช้การก่อสร้างในระบบการก่อสร้างแบบก่ออิฐ ฉาบปูน และระบบการใช้ชิ้นส่วนอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ ที่มีการก่อสร้างอยู่ภายในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ทั้งที่ก่อสร้างแล้วเสร็จและกำลังดำเนินการก่อสร้าง โดยทำการสำรวจจากแบบสอบถามซึ่งมีทั้งคำถามปลายเปิดและคำถามปลายปิดเพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับความเห็นของผู้เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้าง นำข้อมูลไปวิเคราะห์เพื่อแสดงผลการประเมินเพื่อนำไปเปรียบเทียบ โดยเน้นไปที่ปัจจัยในเรื่องของคุณภาพของงานก่อสร้าง ต้นทุนของงานก่อสร้าง เวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง ความปลอดภัยระหว่างการก่อสร้าง และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.4 วิธีดำเนินการศึกษา

1.4.1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องจากทั้งในประเทศและต่างประเทศ

1.4.2 วางกรอบแนวคิดเกี่ยวกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของการก่อสร้างบ้านทั้งสองประเภท

1.4.3 ออกแบบแบบสอบถามตามกรอบแนวคิดที่วางไว้

1.4.4 ทดสอบแบบสอบถามกับผู้ที่ผ่านการปฏิบัติงานจริงในการก่อสร้างทั้งในระบบการก่อสร้างแบบปกติ และ ระบบการใช้ชิ้นส่วนอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ จำนวน 3 คน เพื่อปรับปรุงแบบสอบถามให้มีปัจจัยครบถ้วน คำถามกระชับและชัดเจนยิ่งขึ้น

1.4.5 เก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม เพื่อทำการประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เข้าใจถึงองค์ประกอบของการก่อสร้างบ้านด้วยระบบการก่อสร้างแบบปกติ และ ระบบการใช้ชิ้นส่วนอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ และทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบการก่อสร้างสองประเภทนี้ ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงปัจจัยในการเลือกระบบการก่อสร้างที่จะใช้ในโครงการต่อไปในอนาคต

บทที่ 2
ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

2.1 การก่อสร้างในระบบทั่วไป หรือระบบก่ออิฐ ฉาบปูน

ฐานราก (Footing) ทำหน้าที่รับน้ำหนักจากโครงสร้างทั้งหมด แล้วถ่ายน้ำหนักลงสู่เสาเข็มหรือดินโดยตรง คุณสมบัติของดินที่รองรับฐานราก ควรมีความสามารถรอบรับน้ำหนักบรรทุกได้โดยไม่เกิดการเคลื่อนตัว หรือพังทลายของดินใต้ฐานราก และต้องไม่เกิดการทรุดตัวลงมาก จนก่อให้เกิดความเสียหายแก่โครงสร้าง

ปัจจัยที่มีผลต่อความมั่นคงของฐานราก ได้แก่

1) ความแข็งแรงของตัวฐานรากเอง ซึ่งหมายถึงโครงสร้างส่วนที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก
2) ความสามารถในการแบกรับน้ำหนักของดินใต้ฐานราก (Soil-Bearing Capacity)
3) การทรุดตัว (Settlement) ของดินใต้ฐานราก ควรเกิดขึ้นได้น้อย และใกล้เคียงกันทุกฐานราก

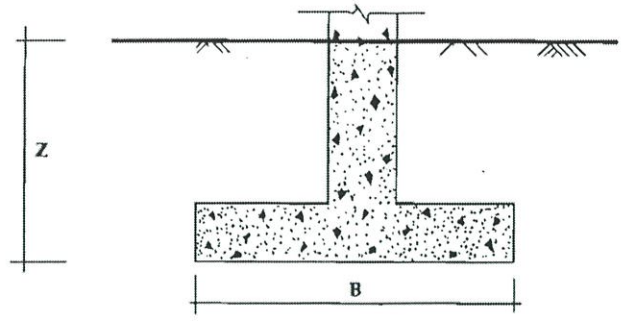
ฐานราก ถูกแบ่งออกตามลักษณะได้ 2 ชนิด คือ ฐานรากตื้นหรือแบบไม่มีเสาเข็มรองรับ และฐานรากลึกหรือแบบมีเสาเข็มรองรับ

❖ ฐานรากตื้น หรือ ฐานรากแบบไม่มีเสาเข็ม (Shallow Foundation) หมายถึง ฐานรากซึ่งลึกจากระดับผิวดิน (Z) น้อยกว่าหรือเท่ากับด้านที่สั้นที่สุด (B) ของฐานราก โดยฐานรากวางอยู่บนชั้นดินโดยตรง และไม่มีการตอกเสาเข็มเพื่อรองรับฐานราก ฐานรากแบบตื้นเหมาะกับสภาพพื้นดินที่มีความสามารถแบกรับน้ำหนักบรรทุกได้สูง และกับสภาพพื้นดินที่ ตอกเสาเข็มไม่ลงหรือได้อย่างยากลำบาก เช่น พื้นที่ดินลูกรัง พื้นที่ภูเขา ทะเลทราย

ขนาดของฐานรากตื้น ขึ้นอยู่กับน้ำหนักบรรทุกจากอาคาร และความสามารถในการแบกรับน้ำหนักบรรทุกหรือหน่วยแรงแบกทานปลอดภัยของดิน allowable bearing capacity ซึ่งดินแต่ละชนิดมีความสามารถแตกต่างกัน

ขนาดของฐานรากตื้น สามารถคำนวณหาได้จากสูตร

$$\text{ขนาดพื้นที่ฐานราก } (\text{ม}^2) = \frac{\text{น้ำหนักบรรทุกจากอาคาร } (\text{กิโลกรัม,ตัน})}{\text{หน่วยแรงแบกทานปลอดภัยของดิน } (\text{กิโลกรัม,ต.ร.ม.})}$$



ภาพที่ 2.1 ฐานรากตื้น(Z ≤ B)[6]

❖ ฐานรากลึก หรือ ฐานรากแบบมีเสาเข็ม (Deep or Pile Foundation) หมายถึง ฐานรากที่ถ่ายน้ำหนักโครงสร้างลงสู่ดินด้วยเสาเข็ม เนื่องจากชั้นดินที่รับน้ำหนักปลอดภัยอยู่ในระดับลึก เหมาะกับการก่อสร้างบนดินอ่อน มีการออกแบบฐานรากให้มีขนาดเสาเข็มและความลึกให้มีลักษณะแตกต่างกันเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนัก และความเหมาะสมในแต่ละพื้นที่

- ประเภทของฐานราก

ทั้งฐานรากชนิดตื้น และชนิดลึก มีลักษณะของการก่อสร้างและความสามารถในการรับน้ำหนักที่มาบรรทุกได้แตกต่างกัน ซึ่งแบ่งฐานรากตามลักษณะออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

1) ฐานแผ่เดียว (Spread Footing)

2) ฐานต่อเนื่องรับกำแพง (Continuous Footing)

3) ฐานแผ่ร่วม (Combined Footing)

4) ฐานชนิดมีคานรับ (Cantilever Footing)

5) ฐานชนิดแผ่ (Mat or Raft Foundation)

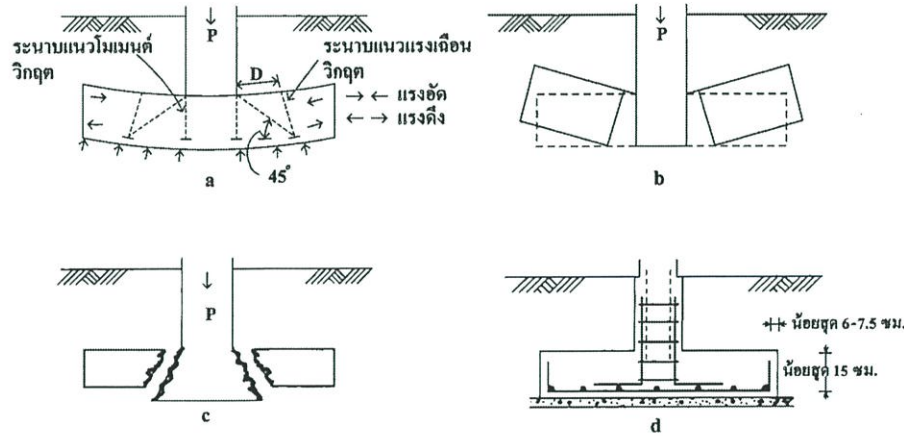
- พฤติกรรมของฐานภายใต้น้ำหนักบรรทุก

พฤติกรรมของแรงที่กระทำต่อฐานรากเดี่ยว (Spread Footing) ฐานล่างเดี่ยวรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่รองรับน้ำหนักจากเสาตอม่อเพียงต้นเดียว ด้านล่างของฐานรากเกิดค่าความเค้นจากโมเมนต์ดัด (Bending Stress) สูงสุด และเกิดแรงเฉือน (Shear Stress) สูงสุด บริเวณเสาตอม่อวิศวกรผู้ออกแบบเป็นผู้กำหนดปริมาณของเหล็กตะแกรงเสริมที่ด้านล่างของฐานรากเพื่อต้านทานต่อโมเมนต์ดัด และกำหนดความหนาของฐานรากเพื่อต้านทานแรงเฉือน นอกจากนี้เหล็กเสริมต้องมีแรงยึดเหนี่ยว (Bond Stress) กับคอนกรีตได้อย่างเพียงพอโดยไม่เกิดการรูด ในบาง

กรณีที่น้ำหนักกดลงที่ฐานไม่มากนัก ตัวฐานรากไม่จำเป็นต้องหนามาก แต่ต้องไม่ต่ำกว่ามาตรฐาน ว.ส.ท. (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย) โดยกำหนดให้ความหนาต่ำสุดของคอนกรีตเนื้อเหล็กตะแกรงฐานราก ต้องไม่น้อยกว่า 15 ซม. (D)

เมื่อฐานรากเดี่ยวแบกรับน้ำหนัก ฐานรากแสดงพฤติกรรมดังแสดงในภาพที่ 2.2 a) คือ เกิดแรงมากระทำที่ส่วนต่างๆของฐานรากพร้อมๆกัน 4 แรงคือแรงดึง (Tension) เกิดที่ผิวด้านล่างของฐานราก แรงอัด (Compression) เกินบนผิวด้านบนฐานราก แรงเฉือนวิกฤต (Critical Shear) ในแนวระนาบ ซึ่งห่างจากขอบของเสาตอม่อเท่ากับความหนาของฐาน (ระยะ D) และแรงโมเมนต์วิกฤต (Critical Moment) ในแนวระนาบที่ขอบของเสาตอม่อ

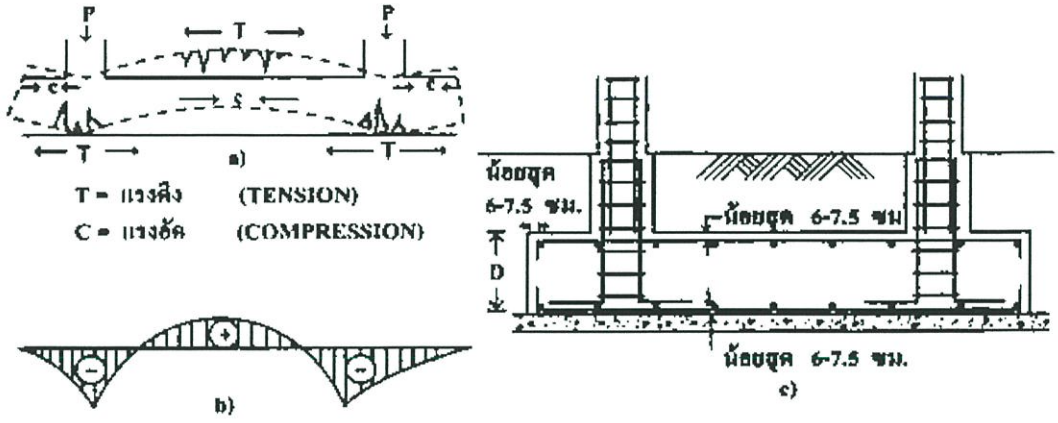
การเสริมเหล็กตะแกรงในฐานรากน้อยเกินไปอาจทำให้ฐานรากวิบัติเนื่องจากโมเมนต์ดัด (Failure in Bending) ดังแสดงในภาพที่ 2.2 b) ฐานรากที่มีความหนาน้อยเกินไปอาจทำให้แผ่นฐานรากวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนทะลุ (Failure in Punching Shear) ดังแสดงในภาพที่ 2.2 c)



ภาพที่ 2.2 แสดงพฤติกรรมของฐานรากเดี่ยว a) แรงที่กระทำต่อฐานราก b) ฐานรากวิบัติเนื่องจากโมเมนต์ดัด c) ฐานรากวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนทะลุ d) ตัวอย่างการเสริมเหล็ก[6]

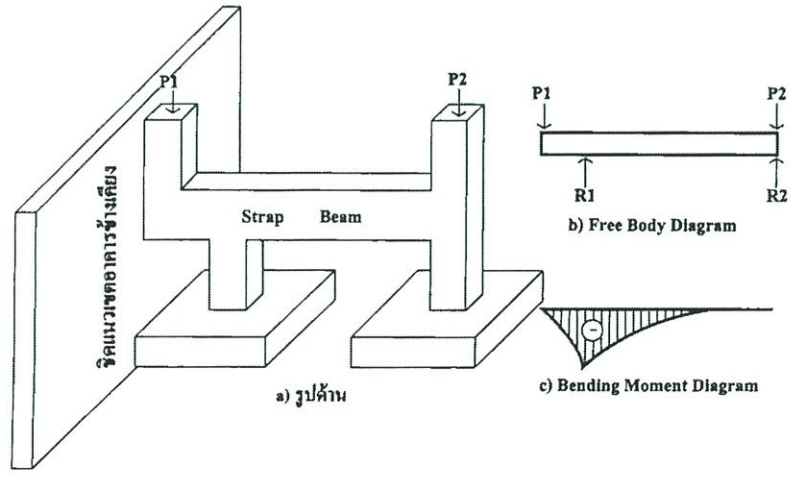
พฤติกรรมของแรงที่กระทำต่อฐานแผ่ร่วม (Combined Footing) จากภาพที่ 2.3 b) ไดอะแกรมของโมเมนต์ดัด (Bending Moment Diagram) แสดงถึงแรงที่เกิดจากโมเมนต์ทั้งบวกและลบภายในฐานรากเดียวกัน ทำให้เกิดแรงอัดและแรงดึงทั้งที่ผิวล่างและผิวบนของฐานรากพร้อมกัน ดังนั้นการก่อสร้างฐานแผ่ร่วม ต้องเสริมเหล็กตะแกรง 2 ชั้น ทั้งด้านล่างและด้านบน เหล็กเสริมด้านบนไม่ควรใช้ขนาดเล็กจนเกินไปและควรเสริมเพิ่มเหล็กเสริมพิเศษเป็นรูปตัวยูหรือรูปตีนกา เพื่อทำหน้าที่คำเหล็กด้านบนให้ทรงตัว เพราะในขณะทำงานเหล็กด้านบนอาจถูกคนงานเหยียบเสียรูปร่างได้ ส่งผลให้ค่าความลึกประสิทธิผล (Effective Depth, D) ลดลง ทำให้ความสามารถในการแบกรับแรงจากโมเมนต์ดัดลดลง

สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ฐานรากและโครงสร้างที่สัมผัสกับดินโดยตรง ข้อบัญญัติ ก.ท.ม. และมาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดระยะคอนกรีตหุ้มถึงผิวเหล็กเสริม 6 ซ.ม. และ 7.5 ซ.ม. ตามลำดับ



ภาพที่ 2.3 แสดงพฤติกรรมของฐานแผ่ร่วม a) แรงที่กระทำต่อฐานราก b) ไดอะแกรมโมเมนต์ดัด c) รายละเอียดการเสริมเหล็ก[6]

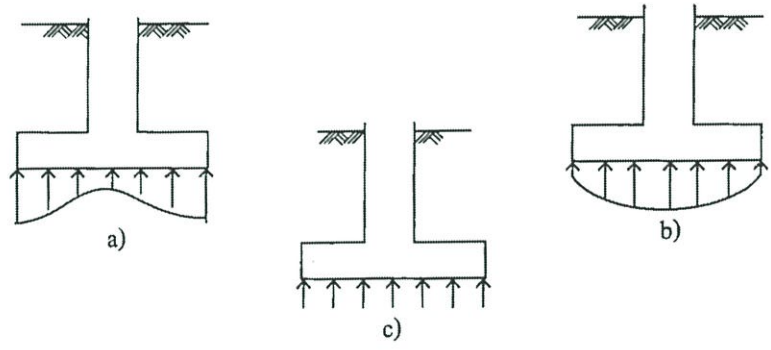
พฤติกรรมของแรงที่กระทำต่อฐานชนิดมีคานรัด (Cantilever Footing) มีลักษณะที่แตกต่างจากฐานรากชนิดอื่น คือ น้ำหนักจากเสาอาคารถ่ายลงสู่คาน (Strap Beam) ก่อน แล้วคานจึงค่อยถ่ายน้ำหนักลงสู่ฐานรากตามลำดับ ดังนั้น คานต้องมีความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดได้สูง โดยเฉพาะส่วนยื่นที่รับค่าโมเมนต์ลบ ส่วนแรงที่กระทำต่อฐานรากมีพฤติกรรมเหมือนฐานเดี่ยว ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงพฤติกรรมของฐานชนิดมีคานรัด a) ลักษณะของฐานรากและคาน b) ไดอะแกรมแรงอิสระ c) ไดอะแกรมโมเมนต์ดัด[6]

- การกระจายแรงจากฐานรากลงสู่ดิน

การกระจายแรงจากฐานรากลงสู่ดินมีลักษณะดังภาพที่ 2.5 โดยแรงดันดินมีความสัมพันธ์กับชนิดของดิน ดินที่มีความเชื่อมแน่น (Cohesive Soil) เช่น ดินเหนียว มีการกระจายแรงบริเวณด้านขอบของฐานรากออกมากกว่าบริเวณกลางฐานราก ดังภาพ 2.5 a) ส่วนดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น (Cohesiveless Soil) เช่น ทราย กรวด แรงดันดินกระจายออกมากในบริเวณกลางฐาน ตามภาพที่ 2.5 b) จากพฤติกรรมการกระจายดินซึ่งแตกต่างกันตามลักษณะของดินเป็นเรื่องที่มีความยุ่งยากในการคำนวณ และลักษณะดินในพื้นที่เดียวกันมักไม่สม่ำเสมอกัน ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงยึดถือสมมติฐานว่า มีการกระจายแรงดันดินแผ่เฉลี่ยเท่ากันตลอดพื้นที่ฐานราก ตามภาพที่ 2.5 c) ทำให้การถ่ายน้ำหนักลงสู่ดินและแรงเค้น ที่เกิดขึ้นในดินมีความสม่ำเสมอกัน

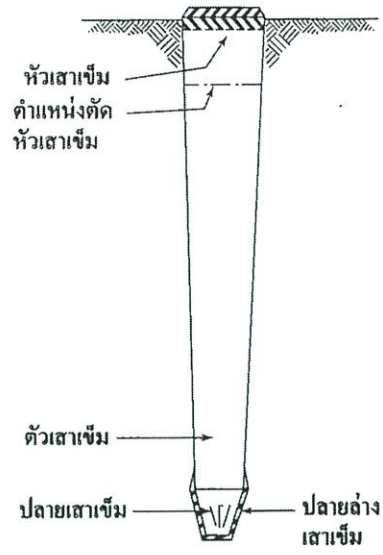


ภาพที่ 2.5 การกระจายแรงจากฐานรากลงสู่ดิน a) ฐานรากวางบนดินเหนียว b) ฐานรากวางบนดินทราย c) สมมติฐานการกระจายแรงดันดินสม่ำเสมอ[6]

เสาเข็ม ในสภาพดินรองรับฐานรากที่มีความสามารถในการแบกรับน้ำหนักได้ต่ำ เช่น ดินในกรุงเทพและปริมณฑล การเลือกใช้ฐานรากตื้น หรือไม่มีเสาเข็ม อาคารอาจเกิดการวิบัติได้ หรือทรุดตัวในอัตราสูงจนเสียหายได้ การป้องกันปัญหาเหล่านี้ ทำโดยการเลือกใช้ฐานรากวางบนเสาเข็มเพื่อถ่ายน้ำหนักลงสู่ดินที่มีความมั่นคงด้านล่าง

- ส่วนประกอบเสาเข็ม

เสาเข็มมีส่วนประกอบต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.6 ดังนี้



ภาพที่ 2.6 ส่วนประกอบของเสาเข็ม[6]

หัวเสาเข็ม (Head) หมายถึง ส่วนบนสุดของเสาเข็ม เป็นส่วนที่รับแรงกระแทกจากอุปกรณ์การตอกเสาเข็ม

ตัวเสาเข็ม (Foot) หมายถึง ส่วนลำตัวของเสาเข็ม มีพื้นที่มากที่สุด ทำหน้าที่รับแรงฝืดระหว่างผิวเสาเข็มกับชั้นดิน

ปลายเสาเข็ม (Tip) หมายถึง ส่วนปลายล่างสุดของเสาเข็มทำหน้าที่เจาะชั้นทะลุดิน

ปลายเสาเข็มส่วนตัดทิ้ง (Butt) หมายถึง ส่วนหัวของเสาเข็มที่ถูกตัดออก หลังจากตอกเสาเข็มเสร็จแล้ว

แผ่นเหล็กหัวเสาเข็ม (Driving Head) หมายถึง แผ่นเหล็กที่ปิดทับบนหัวเสาเข็ม เพื่อรองรับน้ำหนักตกกระทบจากลูกตุ้มเหล็ก ป้องกันเสาเข็มเสียหายขณะทำการตอก โดยทั่วไปแล้วแผ่นเหล็กถูกเชื่อมยึดด้วยเหล็กเสมอ (Dowel) ซึ่งฝังอยู่ในคอนกรีต

ตำแหน่งตัดหัวเสาเข็ม (Pile Cut Off) หมายถึง ระดับที่จะทำการตัดหัวเสาเข็มออกโดยมาก ตำแหน่งหัวเสาเข็มคือ ตำแหน่งใต้ฐานของฐานราก โดยนิยมให้หัวเสาเข็มโผล่เข้ามาในฐานะคอนกรีต ประมาณ 6 – 10 เซนติเมตร

ปลายล่างเสาเข็ม (Pile Shoe) หมายถึง วัสดุห่อหุ้มส่วนปลายของเสาเข็ม นิยมเป็นโลหะ ได้แก่ เหล็กหล่อ เพื่อให้สามารถเจาะทะลุทะลวงชั้นทรายแน่น รวมทั้งชั้นดินดาน

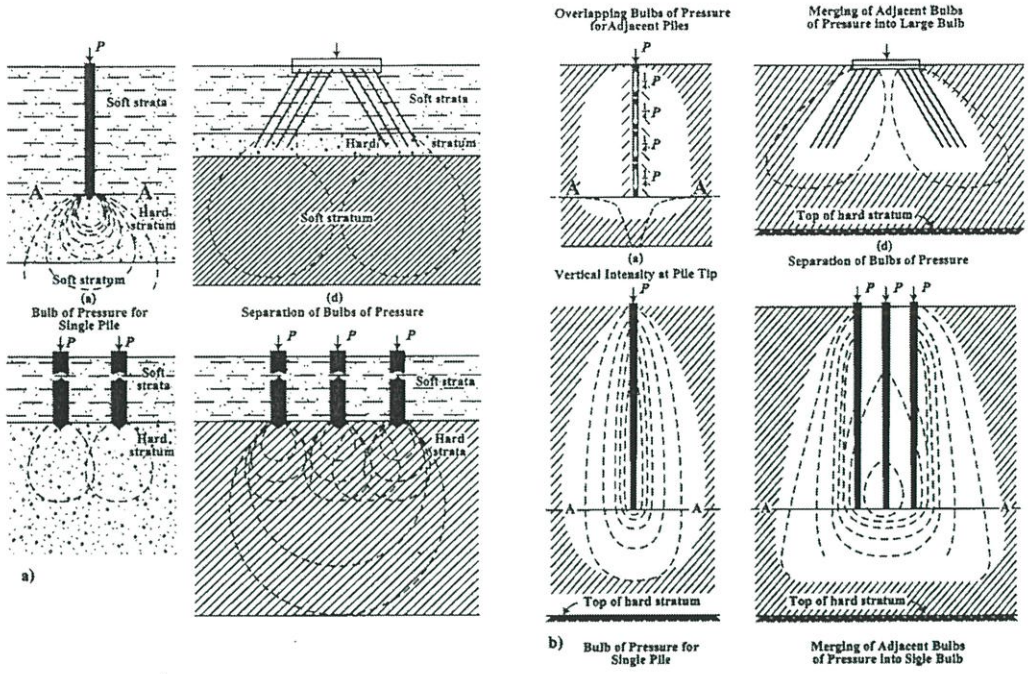
- ประเภทของเสาเข็ม

เสาเข็มที่ใช้ในปัจจุบันสามารถแบ่งตามลักษณะการรับกำลังของชั้นดินเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) เสาเข็มแรงต้านทานส่วนปลาย (End – bearing Pile) เป็นเสาเข็มที่ตอกลงถึงชั้นทรายหรือชั้นดินแข็งที่แข็งแรง ซึ่งเสาเข็มจะไม่สามารถตอกจนทะลุลงไปได้ เสาเข็มแรงต้านส่วนปลายที่วางอยู่บนชั้นดินแข็งแรงเพียงพอที่รับน้ำหนักได้อย่างมั่นคง ช่วยลดอัตราการทรุดตัวของอาคาร โดยปลายเสาเข็มควรจมอยู่ในชั้นใต้ดินแข็งอย่างน้อยประมาณ 1 – 3 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม และมีความหนาของชั้นทรายหรือชั้นดินแข็งควรมีความหนาอย่างเพียงพอ ที่จะไม่ทำให้เสาเข็มเกิดการเคลื่อนตัวทะลุชั้นทรายหรือชั้นดินแข็งนั้นอีกด้วย

2) เสาเข็มแรงฝืด (Friction Pile) เป็นเสาเข็มที่ไม่มีชั้นดินแข็งรองรับด้านล่างปลายเสาเข็ม การรับน้ำหนักของเสาเข็มเกิดจากแรงฝืดระหว่างผิวของเสาเข็มกับดินรอบเสาเข็มในดินที่ที่มีความเชื่อมแน่นสูง เช่น ดินเหนียว สามารถรับน้ำหนักได้ดี เหมาะกับงานก่อสร้างอาคารที่มีน้ำหนักไม่มาก และไม่คำนึงถึงการทรุดตัว เช่น การสร้างบ้านขนาดเล็ก ศาลา รั้ว เป็นต้น

อาคารในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล ส่วนใหญ่ใช้เสาเข็มแบบแรงต้านทานส่วนปลายเพื่อถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นทรายแน่งด้านล่าง และช่วยควบคุมการทรุดตัวไม่ให้มากจนเกิดความเสียหายโดยระดับความลึกของเสาเข็มในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑลแตกต่างกันตามน้ำหนักและขนาดของอาคาร เช่น อาคารสูง (High Rise Building) อาจต้องหยั่งลึกลงไปถึงระดับชั้นทรายแน่นชั้นที่ 2 (Second Sand Layer) ลึกประมาณ 40 – 50 เมตร จากระดับผิวดิน ส่วนอาคารพักอาศัยและอาคารขนาดกลางทั่วไป เสาเข็มต้องหยั่งลึกไปจนถึงระดับชั้นทรายแน่นชั้นที่ 1 (First Sand Layer) มีความลึกประมาณ 18 – 24 เมตร จากระดับผิวดิน



ภาพที่ 2.7 การกระจายแรงลงสู่ดินของเสาเข็มเดี่ยวและเสาเข็มกลุ่ม a) เสาเข็มแรงต้านทานส่วนปลาย (End-bearing Pile) b)เสาเข็มแรงฝืด (Friction Pile)[6]

- ชนิดของเสาเข็ม

เสาเข็มที่นิยมใช้ในประเทศไทยมีหลายชนิด ตามประเภทของวัสดุ และวิธีการก่อสร้าง เสาเข็มแต่ละชนิดมีความเหมาะสมแก่สภาพการก่อสร้าง พื้นที่ ค่าใช้จ่าย รวมถึงข้อจำกัดที่แตกต่างกันในปัจจุบันแบ่งเป็น 6 ชนิด ดังนี้

- เสาเข็มไม้ (Timber Pile)
- เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก (Concrete Pile)
- เสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป (Precast Concrete Pile)
- เสาเข็มคอนกรีตหล่อในที่ (Cast-in-place Concrete Pile)
- เสาเข็มเหล็ก (Steel Pile)
- เสาเข็มประกอบ (Composite Pile)
- เสาเข็มเจาะเสียบ (Auger Press)

➢ เสาเข็มไม้ (Timber Pile)

เสาเข็มไม้ เป็นเสาเข็มที่หาได้ง่ายทุกภูมิภาคของประเทศ มีน้ำหนักเบา ราคาถูก ขนส่งได้สะดวก และมีอายุการใช้งานได้ยาวนานเมื่ออยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินตลอดเวลา

เสาเข็มไม้มีผิวความฝืด (Skin Friction) สูงเมื่อเทียบกับเสาเข็มที่ทำจากวัสดุอื่นๆแต่มีข้อจำกัดในแง่ของความสามารถในการรับน้ำหนัก เมื่อเทียบกับเสาเข็มคอนกรีตและเสาเข็มเหล็ก อีกทั้งเสาเข็มไม่ที่มีลำต้นยาวๆในปัจจุบันหายากมาก และหัวเสาเข็มอาจเสียหายได้ง่ายระหว่างการตอก

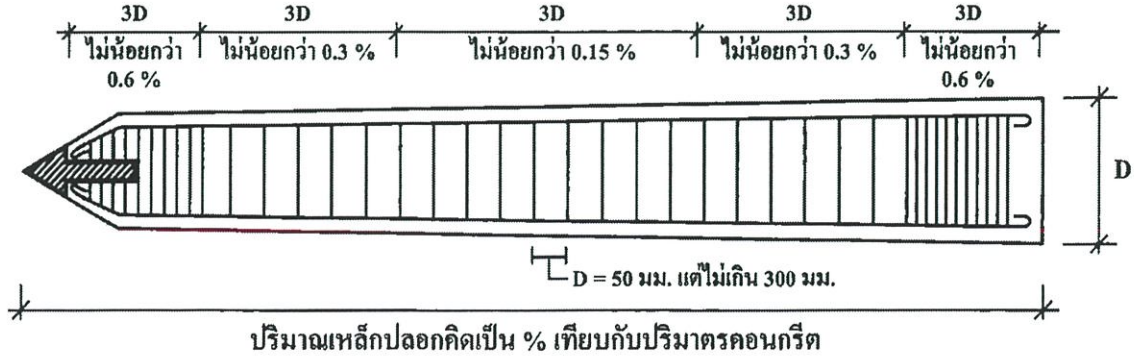
เนื่องจากเสาเข็มไม้มีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีจำนวนเสาเข็มเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ฐานรากมีขนาดใหญ่ขึ้นตามลำดับ ก่อนการตอกเสาเข็มต้องลอกส่วนที่เป็นเปลือกไม้ออกเสียก่อน หัวเสาเข็มไม้ควรอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินเสมอ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาทางด้านการผุพังจากปลวก และเชื้อรา

ปัจจุบันเสาเข็มไม้นิยมใช้ เสาไม้สนหรือเสาไม้ยูคาลิปตัส ในท้องตลาดระบุขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกลางลำต้นมีหน่วยเป็นนิ้ว และความยาวมีหน่วยเป็นเมตร โดยมีขายตั้งแต่ขนาด Ø 3 นิ้ว x 3 เมตร, Ø 4 นิ้ว x 4 เมตร, Ø 5 นิ้ว x 5 เมตร และ Ø 6 นิ้ว x 6 เมตร

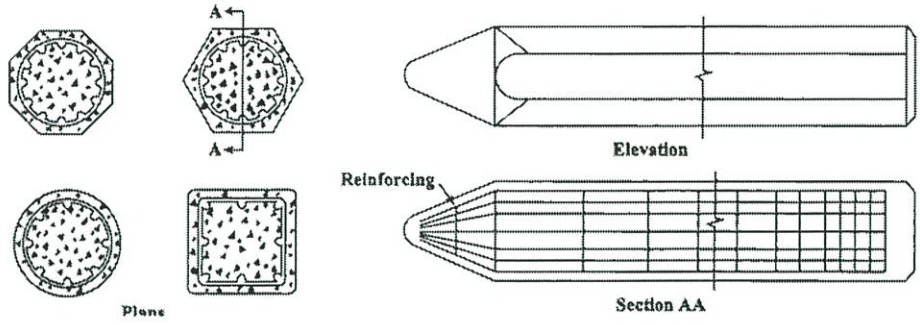
➢ เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก (Concrete Pile)

เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นเสาเข็มคอนกรีตที่หล่อ ณ สถานที่ก่อสร้างเนื่องจากไม่สามารถขนส่งเสาเข็มหล่อสำเร็จไปยังสถานที่ที่ก่อสร้างได้ หรือมีจุดประสงค์ทางด้านการการใช้งานที่แตกต่างจากเสาเข็มในท้องตลาด เช่น เสาเข็มสมอเพื่อยึดรั้งสายสลิงของเขื่อนป้องกันดินพัง เป็นต้น

รูปร่างของเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก ขึ้นอยู่กับการออกแบบเหล็กเสริมตามยาว ซึ่งต้องมีความสามารถเพียงพอในการรับโมเมนต์ดัด ที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายและการยกขึ้นตอก โดยจำเป็นต้องมีเหล็กแกนตามยาวอย่างน้อย 4 เส้น สำหรับเหล็กปลอกใช้แบบปลอกเดี่ยว หรือแบบปลอกเกลียวก็ได้แต่บริเวณปลายและส่วนโคนเสาให้ใส่ให้ใส่เหล็กปลอกถี่ขึ้น เพื่อป้องกันการเสียหายเนื่องจากแรงกระแทกในขณะตอก คุณภาพของคอนกรีตควรออกแบบส่วนผสมให้มีกำลังอัดสูง และใช้เครื่องเขย่าคอนกรีตช่วยให้คอนกรีตอัดแน่น ส่วนเปอร์เซ็นต์ของเหล็กปลอก เมื่อเทียบกับปริมาตรคอนกรีตในแต่ละช่วงไม่ควรน้อยกว่าที่กำหนดตามภาพที่ 2.8



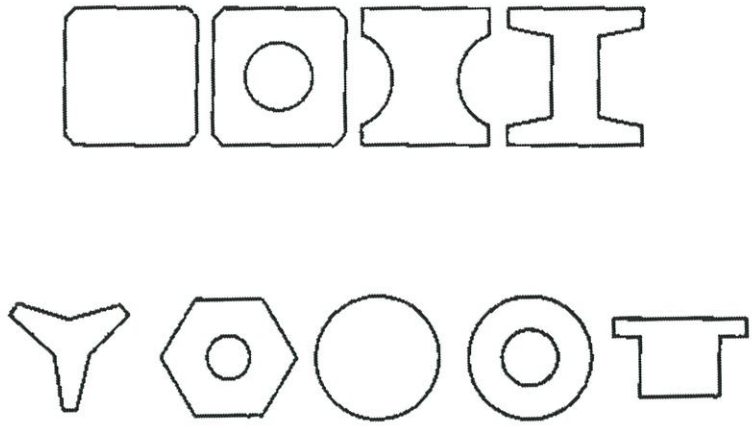
ภาพที่ 2.8 เปอร์เซ็นต์ของเหล็กปลอกเมื่อเทียบกับปริมาตรคอนกรีตในส่วนต่างๆของเสาเข็ม[6]



ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างหน้าตัดเสาเข็มรูปแบบต่างๆ[6]

➢ เสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป (Precast Concrete Pile)

เสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป เป็นเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงที่หล่อจากโรงงาน ผลิตโดยอาศัยเทคนิคการดึงลวดรับแรงดึง (Pre-Tension Method) แล้วเทคอนกรีตลงในแบบหล่อ ในขณะที่แรงดึงในเส้นลวด(Tendon) ยังคงค้างอยู่ เมื่อคอนกรีตแข็งตัวจนได้กำลังอัดตามเกณฑ์แล้ว จึงตัดลวดรับแรงดึงออก โดยปกติการถ่ายกำลังจากลวดรับแรงดึงสู่คอนกรีต คอนกรีตต้องมีกำลังอัดไม่ต่ำกว่า 250 กก./ซม^2 และเมื่อคอนกรีตมีอายุ 28 วัน คุณสมบัติของคอนกรีตเมื่อทดสอบด้วยรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15 x15 x 15 ซม.ต้องมีกำลังอัดประลัยไม่ต่ำกว่า 420 กก./ซม^2 หรือเมื่อทดสอบด้วยทรงรูปกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว สูง 12 นิ้ว ต้องมีกำลังอัดประลัยไม่ต่ำกว่า 350 กก./ซม^2 ปูนซีเมนต์ที่ใช้อาจเป็นชนิดแข็งตัวเร็ว (Rapid Hardening Strength Cement, Type III) หรือ ชนิดปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement, Type I) ผสมสารเร่งการก่อตัว โดยมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ไม่น้อยกว่า 400 กก./ลบ.ม. ของคอนกรีต บ่มคอนกรีตด้วยไอน้ำหรือไอน้ำ กำลังดึงประลัยสูงสุดของลวดต้องไม่ต่ำกว่า 17,000 กก./ซม^2 ส่วนเหล็กปลอกลูกตั้งควรใช้เหล็กกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 ม.ม. สำหรับรูปร่างของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงที่ผลิตขายอยู่ในปัจจุบันมีหลายลักษณะ เช่น รูปสี่เหลี่ยมรูปตัวไอ รูปตัวไอ รูปตัววาย รูปหกเหลี่ยม และรูปกลม เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 หน้าตัดเสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ขายในปัจจุบัน[6]

ในกรณีที่การขนส่งเสาเข็มเข้าไปยังหน่วยงาน ต้องผ่านถนนหรือซอยคดเคี้ยว เสาเข็มที่มีความยาวจะมีปัญหามากในการขนส่ง ดังนั้นจึงต้องหล่อเป็นท่อนๆ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการขนส่ง แล้วจึงเชื่อมต่อในระหว่างการตอก การเชื่อมต่อมี 2 วิธี คือการใช้ปลอกเหล็กสวมใส่ และการเชื่อมประสานด้วยลวดเชื่อมไฟฟ้า ข้อเสียของการใช้ปลอกเหล็กสวมใส่ คือ ปลอกเหล็กอาจผุเนื่องจากการกัดกร่อนของสารเคมีในดิน และหากดินมีการเคลื่อนตัว(Slide) เช่น ถูกแรงดันดินจากการตอกเสาเข็มต้นข้างเคียง เสาเข็มมีโอกาสหลุดจากกันได้ง่าย วิธีการเชื่อมประสานด้วยไฟฟ้า ทำให้รอยต่อมีความแข็งแรง ทนทาน และโอกาสที่เสาเข็มหลุดจากกัน ยากกว่าแบบใช้ปลอกเหล็กสวมใส่มาก

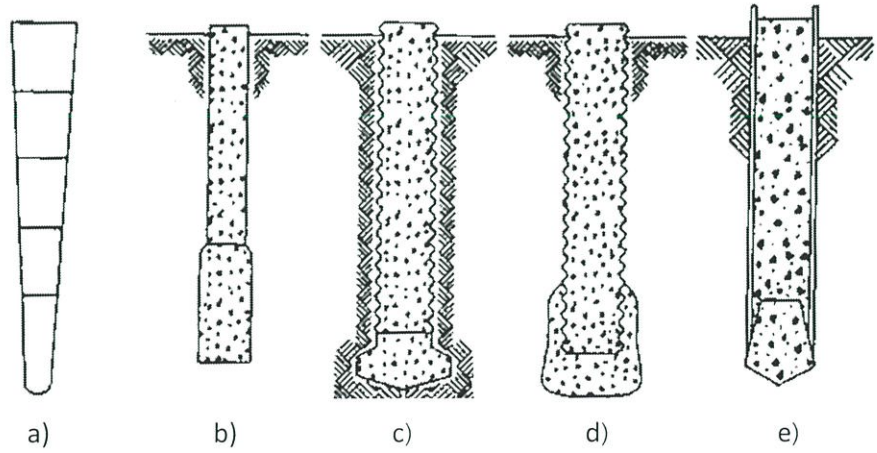
การต่อเสาเข็มโดยการเชื่อมประสานด้วยไฟฟ้า ทางโรงงานผู้ผลิตเสาเข็มต้องฝังแผ่นเหล็กไว้ที่หัวเสาเข็ม และปลายเสาเข็มส่วนที่ต้องการต่อกัน วิธีการต่อนั้นต้องทำการตอกท่อนแรกให้จมลงไปเกือบเสมอระดับดินก่อน โดยสูงจากระดับดินประมาณ 30 – 60 ซม. แล้วยกท่อนที่มาต่อตั้งบนหัวเสาเข็มต้นล่าง จัดให้แนวตรงกันและได้แนวดิ่ง แผ่นเหล็กหัวเสาเข็มต้นล่างแนบสนิทกับปลายเสาเข็มต้นบน ประสานขอบแผ่นเหล็กทั้งสองต้นให้ติดกันโดยรอบด้วยการเชื่อมด้วยไฟฟ้า

➢ เสาเข็มคอนกรีตหล่อในที่

เสาเข็มคอนกรีตหล่อในที่(Cast-in-Place Concrete Pile) เป็นเสาเข็มที่ออกแบบการก่อสร้างเพื่อลดความเสียหายของอาคารข้างเคียง เนื่องจากการสั่นสะเทือนจากการตอกเสาเข็ม เสาเข็มหล่อในที่ทำโดยการเจาะดินจนถึงระดับความลึกที่ต้องการ โดยทั่วไปคือชั้นทรายแน่น หลังจากนำดินขึ้นมาจากหลุมเจาะแล้ว ใส่เหล็กแกนเสาเข็ม จากนั้นจึงเทคอนกรีต โดยปกติเสาเข็มหล่อในที่แบ่งตามลักษณะการทำงานเป็น 2 ชนิด คือ เสาเข็มชนิดฝังปลอกเหล็ก (Shell Type) และเสาเข็มชนิดไม่ฝังปลอกเหล็ก (Shell-less Type)

o เสาเข็มชนิดฝังปลอกเหล็ก (shell Type) ก่อสร้างโดยการกดหรือตอกปลอกเหล็กลงในดินจนถึงระดับที่ต้องการ แล้วนำดินออกจากหลุมเจาะ ใส่เหล็กแกนเสา จากนั้นจึงเทคอนกรีตลงในปลอกเหล็ก ปลอกเหล็กที่ทิ้งไว้เป็นส่วนหนึ่งของเสาเข็มมีประโยชน์ในการป้องกันโคลนและน้ำที่เข้ามาผสมกับคอนกรีตได้เป็นอย่างดี เหมาะกับดินที่มีความอ่อนมาก เสาเข็มชนิดนี้เป็นเสาเข็มเจาะในยุคเริ่มต้น ปัจจุบันเสาเข็มไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากปลอกเหล็กที่ฝังในดินมีราคาแพง ทำให้ค่าก่อสร้างสูง รูปร่างของเสาเข็มมีลักษณะตามลักษณะของปลอกเหล็ก ดังแสดงในภาพที่ 2.11

- เสาเข็มแบบลิ่ม (Step-Taper)
- เสาเข็มชนิดขยายส่วนล่าง (Case Pile With Compressed Base) บริเวณส่วนปลายล่างมีลักษณะขยายใหญ่กว่าด้านบนด้วยการอัดกระแทก โดยที่ดินด้านล่างเป็นดินอ่อนถูกออกแบบให้สามารถรับแรงทางด้านข้าง และทำหน้าที่เหมือนเสาอาคาร
- เสาเข็มชนิดรูปทรงกระดุม (Button-button Cased Concrete Pile) ส่วนปลายด้านล่างขยายใหญ่เป็นทรงกระดุม ทำให้เพิ่มแรงต้านทานส่วนปลาย(End-Bearing) มากขึ้น
- เสาเข็มชนิดเท้าช้าง(Case Pedestaled Concrete Pile) ส่วนปลายด้านล่างขยายใหญ่เช่นเดียวกับรูป c) มีความสามารถในการรับแรงต้านส่วนปลาย(End-bearing) ในขณะเดียวกันผิวที่มีความขรุขระจะรับแรงฝืดเพิ่มขึ้นอีก
- เสาเข็มชนิดมีลิ่มอุดปลายเสา(Swaged Pile) โดยลิ่มคอนกรีตถูกใส่ลงในหลุมเจาะก่อนการเทคอนกรีต เพื่ออุดปลายรูเจาะป้องกันแรงดันน้ำก่อนเทคอนกรีต



ภาพที่ 2.11 รูปทรงของเสาเข็มฝังปลอกเหล็ก a) เสาเข็มแบบลิ่ม b) เสาเข็มชนิดขยายส่วนล่าง c) เสาเข็มชนิดรูปทรงกระดุม d) เสาเข็มชนิดเท้าช้าง e) เสาเข็มชนิดมีลิ่มอุดปลายเสา[6]

o เสาเข็มชนิดไม่ฝังปลอกเหล็ก (Shell-less Type) ทำการก่อสร้างโดยการตอกหรือกดปลอกเหล็กลงในดินจนถึงระดับชั้นดินแข็งที่กดไม่ลง จากนั้นจึงเอาดินออกจากปลอกเหล็ก โดยวิธีการเจาะหรือตักดินออกจนถึงระดับที่ต้องการ ใส่เหล็กแกนเสาเข็มแล้วเทคอนกรีตลงไปจนถึงระดับหัวเสาเข็ม ดึงปลอกเหล็กขึ้นจากหลุมเจาะทันทีหลังการเทคอนกรีต เนื่องจากผิวสัมผัสของเสาเข็มกับดินมีความเรียบ เสาเข็มชนิดนี้จะรับกำลังได้สูง สำหรับดินรอบเสาเข็มที่มีความเชื่อมแน่น (Cohesive Soil) สิ่งที่ต้องพึงระวังในการก่อสร้างคือ ในขณะถอนปลอกเหล็กขึ้น ดินรอบเสาเข็มอาจพังทลายลงผสมกับเนื้อคอนกรีตที่ยังไม่แห้งได้ ทำให้เสาเข็มคอด หรือคอนกรีตไม่แข็งแรง อาจกระทบต่อความสามารถในการรับน้ำหนักได้

ภาพที่ 2.12 ลักษณะตัวอย่างของเสาเข็มชนิดไม่ฝังปลอกเหล็ก

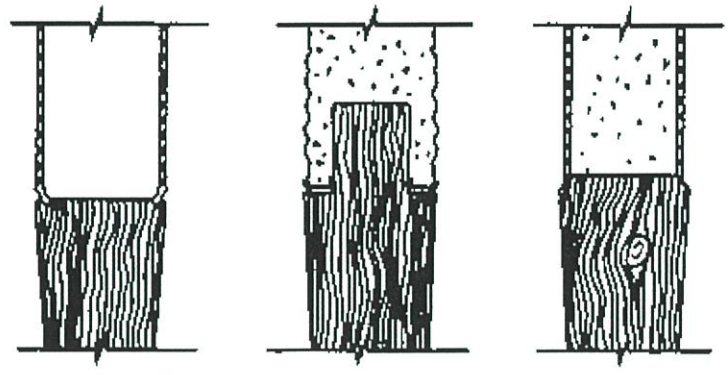
➢ เสาเข็มเหล็ก

เสาเข็มเหล็ก(Steel Pile) เป็นเสาเข็ม ที่มีความสามารถในการแบกรับน้ำหนักได้สูงกว่าเสาเข็มไม้และเสาเข็มคอนกรีต เมื่อต้องการเสาเข็มที่มีความสามารถรับน้ำหนักได้เท่ากัน เสาเข็มเหล็กมีขนาดหน้าตัดที่เล็กกว่า ทำให้มีการแทนที่ปริมาตรเนื้อดินน้อยกว่าเสาเข็มชนิดอื่น นอกจากนี้ยังมีความแข็งมากกว่าเสาเข็มชนิดอื่น จึงสามารถตอกทะลุชั้นดินแข็งและชั้นหินบางๆได้ แต่หากตอกไปกระทบกับชั้นหินขนาดใหญ่อาจแฉลบเอียง ตำแหน่งศูนย์กลางการรับน้ำหนักเสียไป ข้อเสียของเสาเข็มเหล็กคือมีราคาแพงมาก และอาจถูกกัดกร่อนจนเสียหายได้

การป้องกันการกัดกร่อนของเสาเข็มเหล็ก อาจทำโดยการเผื่อความหนาของเหล็ก และสำหรับเสาเข็มเหล็กที่ฝังบริเวณที่ระดับน้ำใต้ดินมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ควรป้องกันโดยการทายางมะตอยหรือหล่อคอนกรีตหุ้มส่วนบนเสาเข็มเหล็กจนถึงระดับน้ำใต้ดินต่ำสุด ก่อนการถมดินทำฐานราก หรือออกแบบให้ฐานรากอยู่ที่ระดับน้ำใต้ดินต่ำสุด เสาเข็มเหล็กที่นิยมใช้ได้แก่เหล็กรูปทรงตัวเอช (H)

➢ เสาเข็มประกอบ

เสาเข็มประกอบ(Composite Pile) เป็นเสาเข็มที่ประกอบด้วยวัสดุสองชนิดในเข็มต้นเดียวกัน โดยทั่วๆ ไปนิยมนำไม้และคอนกรีตมาประกอบกัน จุดที่สำคัญที่สุดของเสาเข็มประเภทนี้คือ รอยต่อหรือการประสานกันระหว่างวัสดุสองชนิด ต้องแข็งแรงสามารถถ่ายน้ำหนักจากต้นบนสู่ต้นล่างได้อย่างมั่นคง ดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 ตัวอย่างรอยต่อเสาเข็มประกอบ[6]

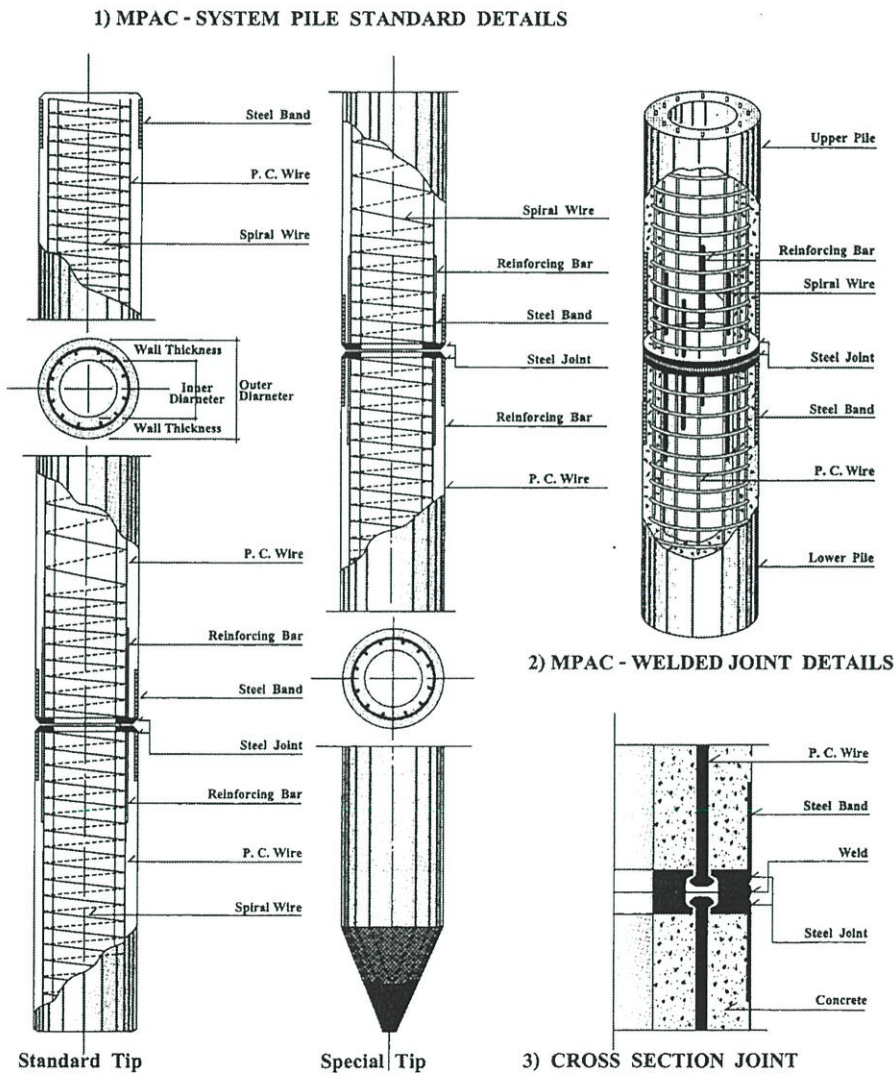
➢ เสาเข็มเจาะเสียบ

เสาเข็มเจาะเสียบ (Auger Press) เป็นอีกวิธีที่นำมาใช้เพื่อลดปัญหาเนื่องจากการสั่นสะเทือนจากการตอกเสาเข็ม มีหลักการทำงานโดยใช้รถติดเครื่องเจาะกดเสาเข็มแทนการใช้ปั้นจั่นตอกโดย เสาเข็มที่ใช้เป็นคอนกรีตกลมแรงเหวี่ยงชนิดอัดแรง ซึ่งตรงกลางเสาเข็มมีรูสำหรับใส่ดอกสว่านเจาะนำดินขึ้นมา วิธีนี้สามารถป้องกันการเกิดแรงดันดินอันเนื่องจากการแทนที่ของเสาเข็ม เสาเข็มเจาะเสียบมีคุณสมบัติดีกว่าเข็มเจาะ เพราะสามารถควบคุมคุณภาพของเสาเข็มได้จากโรงงาน

เสาเข็มกลมแรงเหวี่ยงชนิดอัดแรง ดังแสดงในภาพที่ 2.14 ผลิตได้จากหลักการเหวี่ยงคอนกรีตรอบตัวเอง ซึ่งแรงหนีศูนย์กลางของคอนกรีตจะอัดคอนกรีตให้แน่นเป็นวงรอบเสาเข็ม ส่วนที่เป็นน้ำจะถูกกดดันให้อยู่ด้านใน การเหวี่ยงคอนกรีตทำให้อัตราน้ำต่อซีเมนต์ (Water Cement Ratio) ลดต่ำกว่าการทำให้แน่นโดยวิธีทั่วไป ทำให้คอนกรีตมีกำลังสูง มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี และเนื่องจากคอนกรีตมีกำลังสูงจึงสามารถต้านทานแรงกดได้ดีกว่าเสาเข็มอื่นบางชนิด รอยต่อใช้แผ่นเหล็ก (Steel Plate) เชื่อมต่อกันระหว่างเสาทำให้มีกำลังสูงกว่าเสา เสากลมแรงเหวี่ยงให้หน้าตัดรูปทรงกลมซึ่งเป็นหน้าตัดที่ประหยัด คือ อัตราเพิ่มของโมเมนต์ของความเฉื่อยมีมากกว่าอัตราเพิ่มของพื้นที่หน้าตัดเมื่อเปรียบกับเสาตัน

เครื่องจักรที่ใช้ในการทำเสาเข็มเจาะเสียบ (Auger Press)

- Pile Diver เป็นรถที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการตอกเสาเข็มแทนการใช้ปั้นจั่น เหมาะกับพื้นที่คับแคบส่วนตัวรถจะมี Load สำหรับแขวนเครื่องเจาะกด หรือ Diesel Hammer
- Diesel Pile Hammer ใช้สำหรับการตอกย้ำเสาเข็มในช่วงสุดท้ายให้ได้ระดับ
- Back Hoe รถสำหรับตักดิน ที่เกิดจากการเจาะ โดยทำการตักดินออกไปจากพื้นที่ก่อสร้าง
- อุปกรณ์การเจาะกดซึ่งประกอบด้วยสว่านเจาะดิน มอเตอร์ ขับสว่านและชุดกดเสา



ภาพที่ 2.14 โครงสร้างมาตรฐานของเสาเข็มกลมแรงเหวี่ยงแบบอัดแรง (บริษัท MPAC) [6]

ระบบการทำงานของเสาเข็มเจาะเสียบ

ระบบการทำงานของเสาเข็มเจาะเสียบมี 2 ลักษณะ คือ

- Partial Auger Press คือ เมื่อเจาะดินไปได้ระดับหนึ่งแล้ว ใช้ Diesel Pile Hammer หรือ Drop Hammer ตอกย้ำจนถึงระดับที่ต้องการ การตอกในช่วงสุดท้ายนี้ก็เพื่อให้ดินเข้าไปแทนที่ในรูเสาช่วงล่างซึ่งจะเป็นการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดเสา และปลายเสาจะลงไปอยู่ในบริเวณดินแข็ง ซึ่งพ้นจากบริเวณที่ถูกเจาะด้วยสว่าน ช่วยลดการทรุดตัวในระยะเริ่มแรก
- Full Auger Press เป็นการทำ Auger Press ตลอดทั้งต้นโดยไม่ใช้การตอกเลย วิธีนี้จะใช้กรณีที่ไม่ต้องการให้มีการสั่นสะเทือนเลย

เครื่องมือที่ใช้ในการตอกเสาเข็ม

- ปั้นจั่นแบบลูกตุ้มปล่อยตก(Drop Hammer)
- ปั้นจั่นแบบดีเซล(Diesel Hammer)
- ปั้นจั่นแบบไอน้ำ(Single of Double – acting Hammer or Stream Hammer)

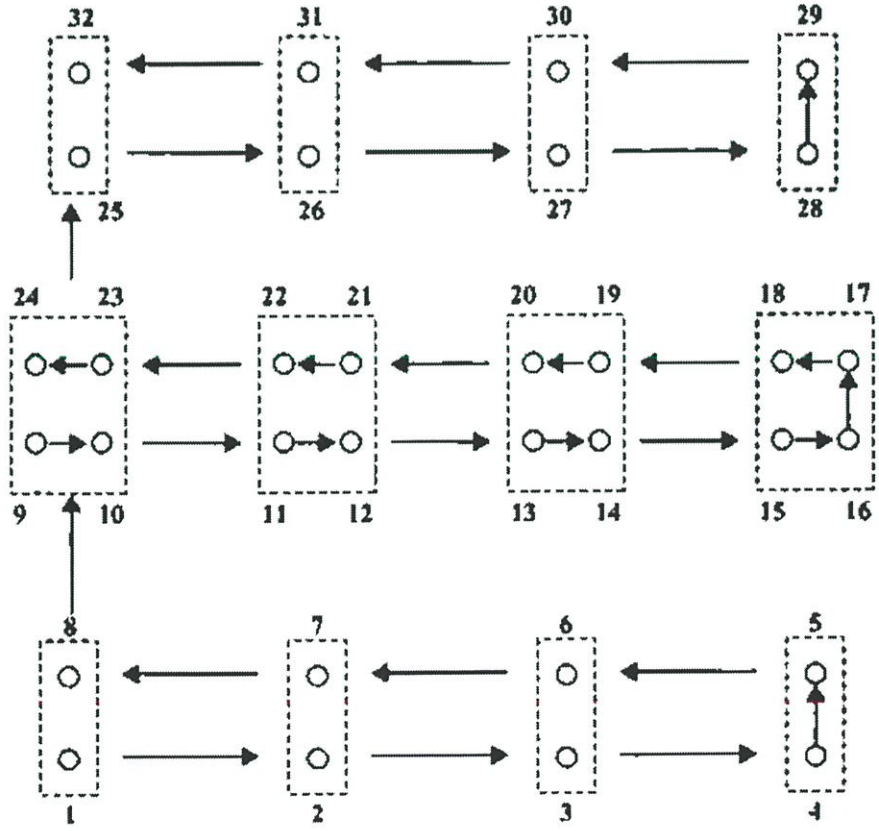
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อดี – ข้อเสียของปั้นจั่นตอกเสาเข็มชนิดต่างๆ

	แบบลูกตุ้มปล่อยตก	แบบดีเซล	แบบไอน้ำ
ข้อดี	- ใช้เครื่องมือง่ายๆ - สามารถควบคุมระยะตกของลูกตุ้มได้เสรี - ไม่ยุ่งยาก เสียค่าใช้จ่าย	- ปฏิบัติงานได้คล่องตัวดีมาก - ต้องใช้กำลังในการตอกสูง - ปฏิบัติงานได้ดี - ค่าเชื้อเพลิงต่ำ	- ปฏิบัติงานได้ดี - เครื่องบางชนิดสามารถตอกเฉียง หรือตอกต่อเนื่องได้ - หัวเข็มไม่ค่อยเสียหาย - เครื่องบางชนิดสามารถถอนเสาเข็มได้
ข้อเสีย	- หัวเข็มอาจเสียหาย - ความยาวเสาเข็มถูกจำกัด - มีโอกาสเกิดการเยื้องศูนย์กลางเสาเข็ม - มีอัตราการเติบโตช้า - มีอันตรายมากในการตอกแบบเอียง	- เครื่องมือมีขนาดใหญ่เพราะน้ำหนักมาก - ปฏิบัติงานไม่ค่อยดีในดินอ่อน - เสียงตอกดังมาก และน้ำมันกระเซ็นออกมา	- ต้องใช้หม้อน้ำ(เครื่องอัดอากาศ) ขนาดใหญ่ - มีท่อผ้าใบกัดขวาง - ควบคุมความสูงของระยะลูกตุ้มไม่ได้ - เสียงกระแทกค่อนข้างดัง - มีเสียงและควันจากเครื่องอัดอากาศ

การปรับสภาพ	- ใช้ได้กับดินทุกชนิดเมื่อหน้าตัดเข็มค่อนข้างเล็ก - ปรับสภาพการตอกเข็มได้	- เหมาะที่สุดกับดินแข็ง - ปรับใช้กับดินทุกชนิด	- ใช้ได้กับดินทุกชนิด - เหมาะสำหรับการตอกเอียง - ตอกตรงๆได้โดยไม่ต้องมีราง

- การตอกเสาเข็ม

หลังจากปักหมุดตำแหน่งเสาเข็มเรียบร้อยแล้ว ผู้รับเหมางานเสาเข็มจึงเคลื่อนย้ายปั่นจั่น เข้ามาประกอบในสถานที่ก่อสร้าง ซึ่งใช้เวลาในการประกอบชิ้นส่วนประมาณ 2 – 3 วัน ผู้ควบคุมงานควรวางแผนการเคลื่อนย้ายปั้นจั่น ให้สามารถตอกเสาเข็มทุกต้นได้อย่างต่อเนื่อง และเคลื่อนย้ายให้น้อยที่สุด เพราะการเลื่อนปั้นจั่นแต่ละครั้งต้องเสียเวลาเอาสลิงไปยึดกับหลักแล้วดึงตัวปั้นจั่นให้เลื่อนไปบนรางที่ทาจารบีให้ลื่น หรือมีล้อติดที่ขาปั้นจั่นให้เลื่อนอยู่บนราง เนื่องจากปั้นจั่นเลื่อนตัวเองบนรางจึงทำให้สามารถเคลื่อนย้ายไปทางด้านซ้ายและขวาได้สะดวกกว่าการเดินหน้าและถอยหลัง ดังนั้นจึงควรกำหนดทิศทางการเดินของปั้นจั่น ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 แผนการเดินปั้นจั่นในการตอกเสาเข็ม[6]

- เสาเข็มเจาะ (Bore Pile)

เสาเข็มเจาะ หรือ เสาเข็มคอนกรีตหล่อในที่ (Cast-in-place Concrete Pile) หมายถึง เสาเข็มระบบพิเศษที่ต้องทำการขุดเจาะดินที่ตำแหน่งของเสาเข็ม จนถึงระดับความลึกที่ต้องการ แล้วจึงใส่เหล็กเสริม เทคอนกรีตลงในหลุมเจาะ เสาเข็มที่ใช้การก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่ทำการศึกษาจะใช้เสาเข็มเจาะระบบแห้ง

➢ เสาเข็มเจาะระบบแห้ง (Dry Process)

เสาเข็มเจาะระบบแห้ง เป็นเสาเข็มเจาะที่เหมาะกับเสาเข็มที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.35 – 0.60 ม. ความลึกของหลุมเจาะไม่ลึกมากนัก ก้นหลุมเจาะยังอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) หรือชั้นทรายที่ไม่มีน้ำ การนำดินขึ้นมาจากหลุมเจาะใช้เครื่องมือประเภทสว่าน (Auger) หรือกระบะตักดิน (Bucket) นำดินขึ้นมาเท่านั้น ภายในหลุมเจาะต้องไม่มีน้ำ และการพังทลายของดินในหลุมเจาะควรน้อย หรือไม่มีเลย

วัสดุและอุปกรณ์สำคัญ สำหรับการทำเสาเข็มเจาะระบบแห้ง ประกอบด้วย

- ขาตั้ง 3 ขา (Tripod) มีลักษณะเป็นขาเหล็กกลมสามารถปรับระดับสูง-ต่ำ และกว้าง-แคบได้ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการกดและถอนปลอกเหล็ก (Steel Casing)
- ปลอกเหล็ก (Steel Casing) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมาตรฐานตั้งแต่ 0.35, 0.50, 0.60 เมตร ยาวประมาณ 1.40 - 2.00 เมตร ปลอกเหล็กทำหน้าที่ป้องกันดินด้านข้างพังทลาย โดยทั่วไปปลอกเหล็กถูกกดจนถึงระดับชั้นดินแข็ง (Stiff Clay)
- กระบะตักดิน (Bucket) ทำหน้าที่ตักดินขึ้นมาเป็นไรปลอกเหล็ก การนำดินขึ้นมาจากหลุมเจาะอาศัยแรงตกกระแทกตัวของน้ำหนักกระบะตักดิน
- ลูกตุ้ม (Cylindrical Hammer) ใช้ลูกตุ้มกระทุ้งคอนกรีตก้นหลุม หลังจากใส่คอนกรีตที่มีส่วนผสมค่อนข้างแห้ง (Dry Mix) เพื่อให้ก้นหลุมแน่น
- เครื่องอัดลม (Air Compressor) เป็นเครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่อัดอากาศผ่านท่อลมไปยังเครื่องกว้านลม เครื่องอัดลมทำหน้าที่จ่ายลมให้แก่ชุดเจาะ หรือควบคุมการทำงานของชุดเจาะระบบแห้ง
- เครื่องกว้านลม (Air Winch) ทำหน้าที่ควบคุมลูกตุ้ม การกดและถอนปลอกเหล็กถูกควบคุมด้วยแรงดันลม
- กรวย และท่อเทคอนกรีต (Hopper) การเทคอนกรีตลงในหลุมเจาะ อาศัยการเทคอนกรีตผ่านท่อ เพื่อป้องกันมิให้คอนกรีตเกิดการแยกตัว (Segragation)

- คอนกรีต (Concrete) ใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ควรมีกำลังอัดประลัยเมื่ออายุ 28 วัน ไม่น้อยกว่า 240 กก./ซม.^{2} เมื่อทดสอบด้วยรูปทรงลูกบาศก์ หรือตามวิศวกรผู้ออกแบบกำหนด
- การเสริมเหล็ก ตามข้อกำหนดของบริษัทที่รับทำเสาเข็มเจาะทั่วไป นิยมกำหนดเหล็กยืนและเหล็กปลอก ตามตารางที่ 5.1 หรือเสริมตามวิศวกรผู้ออกแบบกำหนด ซึ่งบางครั้งอาจกำหนดความยาวของเหล็กยืนตลอดความลึกของหลุมเจาะ

ตารางที่ 2.2 การเสริมเหล็กเสาเข็มเจาะระบบแห้ง

ขนาดเสาเข็ม (ซม.)	เหล็กยืน		ขนาดและระยะของเหล็กปลอก
	จำนวนและขนาด	ความยาว (เมตร)	
Ø 35	6 - DB 12	10 - ตลอดความลึก	Ø 6 ม.ม. @ 0.20 ม.
Ø 50	8 - DB 16	10 - ตลอดความลึก	Ø 6 ม.ม. @ 0.20 ม.
Ø 60	8 - DB 20	10 - ตลอดความลึก	Ø 6 ม.ม. @ 0.20 ม.

ขั้นตอนการทำเสาเข็มเจาะระบบแห้ง

ลำดับขั้นตอนของการทำเสาเข็มเจาะระบบแห้ง เริ่มจากการปักผังหาตำแหน่งเสาเข็ม การเจาะดินและใส่ปลอกเหล็ก การปรับสภาพของก้นหลุมเจาะ การใส่เหล็กเสริม การเทคอนกรีต และการถอนปลอกเหล็ก โดยมีรายละเอียดการปฏิบัติงานในแต่ละขั้นตอนดังนี้

- การเจาะดินและการใส่ปลอกเหล็ก

เมื่อตั้งขาตั้ง 3 ขา (Tripod) ให้ตรงกับตำแหน่งศูนย์กลางเสาเข็ม ใช้ลูกตุ้มเหล็กหรือกระบะตักดินค่อยๆวางลงบนตำแหน่งเสาเข็ม เพื่อตรวจสอบดูว่า กะบะตักดินอยู่ตรงตำแหน่งศูนย์กลางเสาเข็มหรือ เมื่อถูกต้องแล้ว ใช้กระบะตักดินเจาะดินลึกลงประมาณ 1 - 1.5 เมตร แล้วนำปลอกเหล็ก (Steel Casing) ตกลงไปในหลุมเจาะอย่างระมัดระวัง ในขณะเดียวกันต้องทำการตรวจสอบระยะ ใช้กระบะตักดินนำดินขึ้นจากหลุมเจาะจนกระทั่งได้ระดับความลึกประมาณ 2 เมตร จึงทำการตอกปลอกเหล็กท่อนต่อไป ตอกปลอกเหล็กลงไปด้วยลูกตุ้ม (Cylindrical Hammer) สลับกับการนำ

ดินขึ้นมาจากหลุมเจาะเรื่อยๆจากชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) จนกระทั่งถึงชั้นดินแข็งปานกลาง (Stiff Clay) ซึ่งในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลต้องใส่ปลอกเหล็กลึกประมาณ 12 - 14 เมตร หลังจากนั้นใช้กระบะตักดินนำดินออกจากหลุมเจาะ โดยที่ไม่มีปลอกเหล็กช่วยป้องกันดินพัง จนกระทั่งถึงชั้นทรายแน่น ซึ่งสังเกตดูได้จากสีของดิน เมื่อถึงระดับชั้นทรายนี้มักเจาะต่อไม่ลง เนื่องจากมีความแข็งมาก ชั้นทรายแน่นในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 18 - 23 เมตรจากระดับผิวดิน โดยชั้นทรายยิ่งอยู่ลึกมากขึ้นเมื่อพื้นที่ยิ่งเข้าใกล้อ่าวไทย ในขณะที่ตอกปลอกเหล็กต้องทำการตรวจสอบแนวดิ่งและตำแหน่งตลอดเวลา

- การปรับสภาพก้นหลุมเจาะ

เมื่อเจาะถึงระดับความลึกที่ต้องการแล้ว จึงเทคอนกรีตที่มีส่วนผสมแห้ง (Dry Mix) ลงก้นหลุมประมาณ 0.15 - 0.25 ลบ.ม. ขึ้นอยู่กับขนาดของหลุมเจาะ กระทุ้งด้วยลูกตุ้มให้ก้นหลุมแน่น ดังนั้นจึงไม่มีเศษดินหรือเศษทรายตกค้างอยู่ มีผลให้เกิดกระเปาะ (Bulb) ด้านล่าง รวมทั้งช่วยเพิ่มแรงต้านส่วนปลาย (End - bearing) ด้วย

- การใส่เหล็กเสริม

นำเหล็กเสริมตามตารางที่ 5.1 หรือตามที่วิศวกรผู้ออกแบบกำหนด ถูกเตรียมไว้เป็นโครงแล้วใส่ลงในหลุมเจาะ หากต้องต่อเหล็กการต่อเหล็กด้วยวิธีต่อทาบ ควรให้ได้ระยะตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ด้วย ความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็ก (Covering) ไม่ควรน้อยกว่า 7.5 ซม. เหล็กเสริมนี้ต้องใส่ลูกปูน (Spacer) ที่มีลักษณะกลมเหมือนลูกล้อ (Roller) ไว้เป็นระยะที่เหล็กปลอกทำงานอยู่ เพื่อช่วยประคองเหล็กยืนให้ทรงตัวอยู่ในผนังหลุมเจาะ ในขณะใส่เหล็กเสริมลงในหลุมเจาะ ต้องระวังมิให้เหล็กเสริมหล่นลงไปในหลุมเจาะ โดยอาจใช้ไม้ 1 นิ้ว x 3 นิ้ว สอดขัดไว้ระหว่างเหล็กปลอก และวางไว้บนปลอกเหล็ก

- การเทคอนกรีต

การเทคอนกรีตลงในหลุมเจาะผ่านทางกรวย (Hopper) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6 - 8 นิ้ว ยาวประมาณ 1 เมตร เพื่อช่วยให้คอนกรีตไหลลงสู่ก้นหลุมตรงๆ ไม่ปะทะกับผนังด้านข้างของหลุมเจาะและช่วยลดการแยกตัวของคอนกรีตได้แต่เนื่องจากเสาเข็มเจาะไม่สามารถใช้เครื่องเขย่าหรือเครื่องจี้ได้ จึงต้องใช้คอนกรีตที่มีความสามารถในการเทสูง (Workability) และกำหนดให้มีค่าความยุบตัวของคอนกรีต (Slump Test) อยู่ระหว่าง 12.5 - 15 ซม.

- การถอนปลอกเหล็ก

เมื่อเทคอนกรีตลงไปในหลุมจนระดับคอนกรีตสูงกว่าปลอกเหล็กท่อนล่างสุดประมาณ 3 - 4 เมตร จึงเริ่มถอนปลอกเหล็กออกทีละท่อน ขณะถอนปลอกเหล็กต้องระวังให้ระดับคอนกรีตอยู่เหนือ

ปลอกเหล็กตลอดเวลา เพื่อป้องกันไม่ให้ดินด้านข้างพังทลาย หรือน้ำใต้ดินไหลเข้ามาในหลุมเจาะ เมื่อคอนกรีตยุบตัวลง จึงเทคอนกรีตเพิ่มจนได้ตามระดับที่ต้องการ ส่วนหัวของเสาเข็มควรเผื่อไว้สำหรับสกัดคอนกรีตที่มีสิ่งสกปรกออกประมาณ 1 เท่าเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม การเจาะเสาเข็มหลายต้นพร้อมกัน แต่ละต้นควรห่างกันมากกว่า 6 เท่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม หรือตามวิศวกรกำหนด

- ความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัย (Safe Load)

ความสามารถในการรับน้ำหนักโดยปลอดภัยของเสาเข็มขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม ความยาวของเสาเข็ม และคุณสมบัติดินที่รองรับ รายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็มเจาะระบบแห้ง

ขนาดเสาเข็ม (ซม.)	พื้นที่หน้าตัด (ซม.^{2})	เส้นรอบรูป (ซม.)	ความลึก (เมตร)	รับน้ำหนักปลอดภัย (ตัน)
Ø 35	962	110	18 - 23	25 - 35
Ø 43	1452	135	18 - 23	30 - 40
Ø 50	1963	157	18 - 23	40 - 50
Ø 60	2827	188	18 - 23	50 - 60

- งานคอนกรีต

การผสมคอนกรีต เป็นการนำปูนซีเมนต์หิน ทราย และน้ำรวมทั้งสารเคมีผสมเพิ่มและวัสดุผสมอื่นๆมาผสมคลุกเคล้าเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่กำหนดเพื่อให้ได้คอนกรีตที่ความสม่ำเสมอ และมีคุณสมบัติด้านการทำงานที่พอเหมาะเพื่อนำไปสู่คอนกรีตที่มีคุณภาพดีต่อไป

เนื่องจากประเทศประเทศไทยอยู่ในเขตร้อน อากาศมักจะร้อนจัดเป็นระยะเวลาหลายๆเดือน โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อน ควรหาวิธีลดอุณหภูมิของคอนกรีตลง เช่น ฉีดน้ำลงบนวัสดุผสมเพื่อลดความร้อน สถานที่กองวัสดุผสมมีสิ่งปกคลุม ฉีดน้ำพ่นแบบหล่อและเหล็กเสริม อาจใช้น้ำแข็งผสมลงในคอนกรีตก็ได้ เป็นต้น

➢ วิธีการผสมคอนกรีต โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

- ผสมด้วยมือ เหมาะสมกับงานที่ไม่เคร่งครัดกับคุณภาพมากนักส่วนผสมที่ได้ไม่สม่ำเสมอวิธีผสมนิยมทำโดยเกลี่ยทรายลงไปก่อนเทปูนซีเมนต์ผสมคลุกเคล้ากับทรายให้เข้ากันแล้วจึงเกลี่ยส่วนผสมนี้ออกเป็นรูปวงกลมคล้ายปากปล่องภูเขาไฟ ใส่หินลงไปบริเวณตรงกลาง

ค่อยๆโรยน้ำใส่ลงไปให้ทั่วปล่อยให้น้ำค่อยๆซึมลงไประยะหนึ่ง แล้วจึงใช้พลั่วหรือจอบผสมคลุกเคล้าเข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกันดี ขณะทำการผสมนิยมเติมน้ำลงไปเพื่อช่วยในการทำงาน ควรใช้ให้หมดภายใน 30 นาทีนับตั้งแต่เติมน้ำ

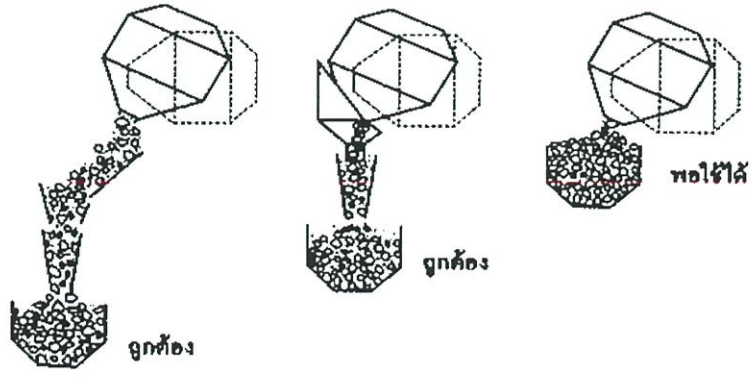
- ผสมด้วยเครื่องผสม หน้าที่สำคัญของเครื่องผสมคือ การคลุกเคล้าวัสดุผสมกับซีเมนต์เพสต์ให้มีเนื้อสม่ำเสมอกัน อาศัยการหมุนตัวของโม่ที่มีเหล็กกั้น(ใบพาย) อยู่ภายใน โดยการใช้แหล่งพลังงานจากมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์อย่างใดอย่างหนึ่ง เครื่องผสมนี้มีหลายแบบตามความจุที่ต้องการ แต่ที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไปคือชนิดโม่ผสมชนิดเอียง ที่ออกแบบสำหรับการผสมต่อปูนซีเมนต์

การป้อนวัสดุลงในเครื่องผสมไม่มีกฎเกณฑ์ในการจัดลำดับการป้อนวัสดุลงในโม่ผสม แต่การปฏิบัติโดยทั่วๆ ไปมีขั้นตอนดังนี้

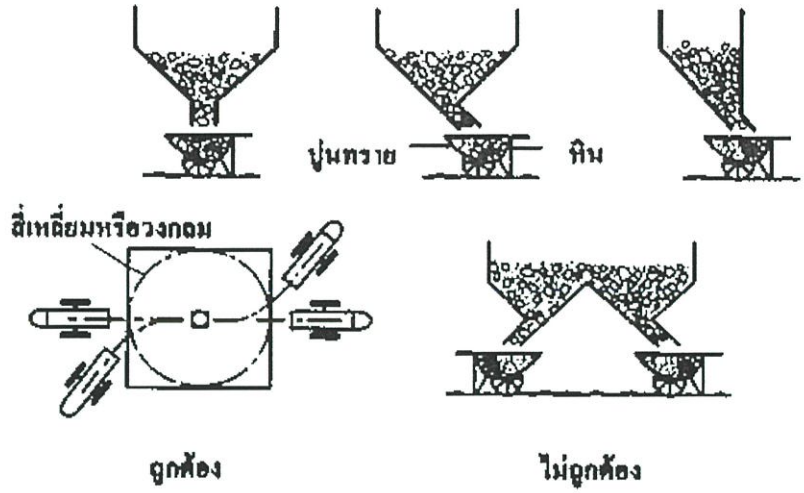
- เติมน้ำประมาณ 20% ของน้ำที่ต้องการ
- ป้อนวัสดุผสมลงในโม่ผสม
- ใส่ปูนซีเมนต์ลงในโม่ผสม
- เติมน้ำส่วนที่เหลือประมาณ 60% ในขณะที่ป้อนวัสดุผสมลงในโม่
- เติมน้ำส่วนที่เหลืออีกประมาณ 20% สุดท้ายหลังจากวัสดุผสมทั้งหมดใส่ลงโม่เรียบร้อยแล้ว

➢ การลำเลียงคอนกรีต

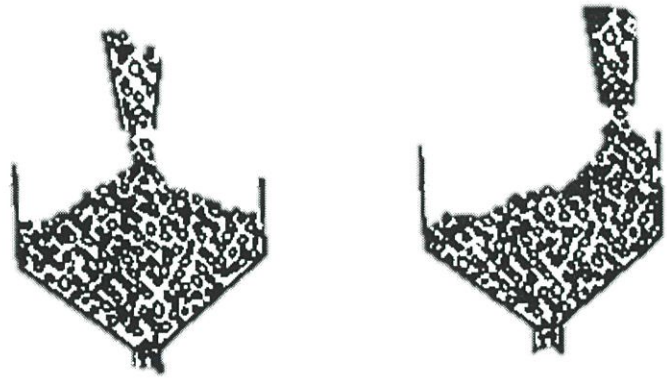
หลังจากผสมคอนกรีตแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการลำเลียง(Handling) คอนกรีตเพื่อเทลงแบบหล่อ ควรคำนึงถึงความประหยัด และปริมาณของคอนกรีตที่จะทำการลำเลียง ขณะลำเลียงพึงระวังอย่าให้เกิดการสูญเสียน้ำ คงคุณสมบัติมีการยึดเกาะที่ดีและอย่าให้เกิดการแยกตัว(Segregation) ภาพที่ 2.16-2.17 และ 2.18 แสดงการลำเลียงที่ทำให้เกิดการแยกตัว และวิธีป้องกันการแยกตัวขณะเทคอนกรีต



ภาพที่ 2.16 วิธีการป้องกันการแยกตัวขณะเทคอนกรีตออกจากเครื่องผสม[6]



ภาพที่ 2.17 วิธีการป้องกันการแยกตัวขณะเทคอนกรีตออกจากกรวย(Hooper) [6]



ภาพที่ 2.18 วิธีการป้องกันการแยกตัวขณะเทคอนกรีตออกจากกระบะ(Buckets) [6]

เครื่องมือและอุปกรณ์ลำเลียงคอนกรีตที่นิยมใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันมากมายหลายชนิด ได้แก่ รถเข็น ราง กระบะ ลิฟต์ สายพานลำเลียง รถคอนกรีตผสมเสร็จ และคอนกรีตปั๊ม เป็นต้น มีรายละเอียดการใช้งานของอุปกรณ์ดังนี้

- รถเข็น (Wheelbarrows) เหมาะสำหรับงานก่อสร้างขนาดเล็ก ควรจัดเตรียมเส้นทางลำเลียงให้เรียบและมีความคล่องตัวในจังหวะวิ่งสวนทางกัน ระวังการกระแทกขณะลำเลียง เพราะอาจเกิดการแยกตัวได้
- ราง (Chutes) นิยมใช้ลำเลียงคอนกรีตจากรถคอนกรีตผสมเสร็จถึงจุดเทโดยตรง โดยการปล่อยให้คอนกรีตไหลผ่านรางที่ทำด้วยโลหะรูปตัวยู (U - Shape) การบังคับทิศทางการไหลของรางจะต้องป้องกันมิให้คอนกรีตเกิดการแยกตัวหรือล้น

และความสะอาดเป็นสิ่งที่พึงให้ความสนใจด้วย โดยทั่วไปแนะนำความลาดเอียง (Slope) ของรางควรมีค่าอยู่ระหว่าง 1: 3 ถึง 1:2

- กระบะ (Buckets) ทำหน้าที่ลำเลียงคอนกรีตไปยังจุดเทที่มีระดับสูงกว่าพื้นดิน โดยอาศัยการยกจากเครน หรือลิฟต์ขนส่ง (Lift) กระบะมีหลายขนาดตั้งแต่ขนาด 0.50 – 8 ลบ.หลา (0.38 – 6.11 ลบ.ม.) มีทั้งรูปร่างเหลี่ยมหรือทรงกลมสำหรับชนิดที่ถูกยกโดยเครนจะมีช่องเทคอนกรีตออกที่ปลายด้านล่าง ขณะลำเลียงคอนกรีตพึงระวังอย่าให้กระบะเกิดการสะเทือน หรือกระแทก เพราะจะเกิดการแยกตัวได้ โดยเฉพาะคอนกรีตที่ออกแบบให้มีค่าการยุบตัวสูงๆ
- ลิฟต์ (Lifts) นิยมใช้กับงานก่อสร้างขนาดปานกลางที่มีความสูงไม่มากนัก จะใช้เหล็กฉากยึดเป็นโครงจะมีความแข็งแรงมาก สำหรับการก่อสร้างบางงานอาจนำไม้มาทำเป็นโครงก็มีแต่จะมีปัญหาทางด้านความแข็งแรง ควรตรวจสอบการเลื่อนขึ้นลงของกระบะอย่าให้เกิดการสะดุด นอกจากลิฟต์ใช้ขนส่งคอนกรีตแล้วยังสามารถขนส่งวัสดุอื่นๆได้อีก ผู้ควบคุมงานควรจัดลำดับความสำคัญการขนส่งก่อนหลัง เช่น ใช้ลิฟต์ลำเลียงคอนกรีตในช่วงเวลากลางคืนใช้ลำเลียงวัสดุ อุปกรณ์เพื่อใช้เตรียมงานสำหรับวันรุ่งขึ้น เป็นต้น
- สายพานลำเลียง (Belt Conveyers) แบ่งแยกออกได้หลายประเภทตามลักษณะของวัสดุที่ขนส่ง ความเร็วขึ้นอยู่กับชนิดและมอเตอร์ขับเคลื่อน การลำเลียงคอนกรีตโดยผ่านสายพานลำเลียงควรต่อเนื่องสม่ำเสมอไม่สั่นสะเทือน และไม่เกิดการแยกตัว องศาความลาดเอียงของสายพานขึ้นอยู่กับส่วนผสมของคอนกรีตและการปรับตั้งชนิดของสายพาน ควรพิจารณาถึงผลกระทบจากสภาพดิน ฟ้า อากาศด้วยเช่น แสงแดด ฝน และลม
- รถคอนกรีตผสมเสร็จ (Transit Mixer) ใช้ลำเลียงคอนกรีตที่ผ่านการชั่งตวง วัด เป็นที่เรียบร้อยแล้วจากโรงงาน โดยรถบรรทุกขนาด 10 ล้อ ขนาดความจุ 3 – 5 ลบ.ม. (โดยทั่วไปขนาดความจุ 5 ลบ.ม.) โม่จะหมุนระหว่างการเดินทาง เพื่อคลุกเคล้าวัสดุผสม หากต้องการยืดระยะเวลาการทำงานให้ยาวนานขึ้น ควรเติมสารเคมีผสมเพิ่มประเภทสารหน่วงการแข็งตัว (Retarders) สำหรับงานก่อสร้างทั่วไปนิยมใส่สารเคมีให้เพียงพอสำหรับระยะเวลาหน่วงตัวนานประมาณ 1 ชั่วโมง

➢ การเทคอนกรีตและการทำให้แน่น

การเทคอนกรีตและทำให้แน่นเป็นงานที่กระทำควบคู่กันไปตลอดเวลา วัตถุประสงค์หลักของการเทคอนกรีต คือ การป้องกันไม่ให้คอนกรีตเกิดการแยกตัว และทำคอนกรีตให้แน่นอย่างทั่วถึง การเทคอนกรีตและการทำคอนกรีตให้แน่นอย่างถูกวิธี และบรรลุวัตถุประสงค์ข้างต้น มีเทคนิคการดำเนินการดังนี้

- หลีกเลี่ยงการเคลื่อนย้ายตำแหน่งของคอนกรีตโดยใช้เครื่องสั่นคอนกรีต
- ควรเทคอนกรีตทีละชั้นอย่างสม่ำเสมอ ไม่ลาดเอียง และไม่ควรเทสุมเป็นกอง
- ความหนาของการเทแต่ละชั้น ควรพอเหมาะกับกำลังของเครื่องสั่นคอนกรีต เพื่อให้สามารถไล่ฟองอากาศออกจากส่วนล่างของแต่ละชั้น
- งานเทคอนกรีตสำหรับผนัง ควรเทให้หนาเป็นชั้นความหนาชั้นละประมาณ 30 – 45 เซนติเมตร ควรเริ่มเทคอนกรีตจากมุม หรือจุดท้ายสุดของแบบผนัง
- อัตราการเทคอนกรีต และการสั่นคอนกรีต ควรมีความสมดุลกัน
- ควรทำการสั่นคอนกรีตให้แน่นเสียก่อนในแต่ละชั้น ก่อนที่จะเทคอนกรีตในชั้นถัดไป
- โครงสร้างในแนวดิ่ง เช่น เสา หรือ ผนัง ไม่ควรเทคอนกรีตเร็วกว่า ความสูง 2 เมตร/ชั่วโมง และควรเทอย่างต่อเนื่อง เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดรอยต่อขณะเทคอนกรีต (Cold Joint)
- หลีกเลี่ยงการเทคอนกรีตกระทบกับแบบหล่อหรือเหล็กเสริมโดยตรง กรณีโครงสร้างที่มีความสูง เช่น เสา ผนัง คานลึก ปล่องลิฟต์ ควรใช้ท่อเทคอนกรีต (Tremie or Pipe) เพื่อป้องกันการแยกตัว
- โดยทั่วไปควรเทคอนกรีตลงในแนวดิ่ง แต่สำหรับการเทคอนกรีตในแนวนอนหรือแนวลาดเอียง ต้องเทคอนกรีตจากจุดต่ำสุด และให้คอนกรีตดันตัวขึ้นมาตามแบบหล่อ ควรเทคอนกรีตอย่างต่อเนื่องกัน
- ไม่ควรให้ระยะตกอิสระของคอนกรีตสูงกว่า 1.50 เมตร
- หากต้องการหล่อคอนกรีต เสา ผนัง คาน และพื้นพร้อมกัน ทำได้โดยเทคอนกรีตส่วนเสาและผนังก่อน ทิ้งไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วจึงเทคอนกรีตในส่วนของคานและ พื้นต่อไปได้ แต่ต้องระวังอย่าให้เกิดการกระทบกระเทือนต่อเสาและผนังที่ยังไม่แข็งตัวดี

➢ การทำคอนกรีตให้แน่น

เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดี ขั้นตอนที่สำคัญคือ การทำคอนกรีตให้มีเนื้อแน่น และลดช่องว่างของอากาศลงให้มากที่สุด คอนกรีตไหลเข้าทุกซอกทุกมุมของแบบหล่อ โดยไม่เกิดการแยกตัวหรือรูพรุนในเนื้อคอนกรีต การทำคอนกรีตให้แน่นสามารถทำได้โดยการกระทุ้งด้วยมือ (Hand Compaction) และการใช้เครื่องสั่นคอนกรีต(Vibrator) การทำคอนกรีตให้แน่นด้วยวิธีใดก็ตามสามารถทำคอนกรีตให้มีคุณภาพดีได้เช่นกัน

- การทำให้แน่นด้วยมือ เป็นการใช้อุปกรณ์พื้นฐาน เช่น เหล็กหรือท่อนไม้ กระทุ้งให้แน่น ใช้ค้อนตีกระแทกด้านข้างแบบหล่อ หรืออาจใช้แผ่นไม้กระแทกขึ้นลงสำหรับพื้น และทางเดิน กระทุ้งจนกระทั่ง น้ำปูนปรากฏเป็นแผ่นบางๆขึ้นที่ผิวหน้าคอนกรีต ความหนาของชั้นคอนกรีตที่เหมาะสมแก่การทำให้แน่นด้วยมือ คือ เทชั้นละประมาณ 30 เซนติเมตร สำหรับคอนกรีตที่เป็นแท่งขนาดใหญ่ และ 15 เซนติเมตร สำหรับคอนกรีตเสริมเหล็ก และควรกำหนดค่าการยุบตัวของคอนกรีต ประมาณ 10 – 15 เซนติเมตร เพื่อความสะดวกสำหรับการกระทุ้งด้วยมือ
- การใช้เครื่องสั่นคอนกรีต สามารถใช้งานได้ดีกับงานที่ไม่สามารถทำให้แน่นด้วยมือ เช่น โครงสร้างที่มีเหล็กเสริมหนาแน่น แบบหล่อที่แคบและลึก และการเทคอนกรีตคราวละปริมาณมากและต้องทำคอนกรีตให้แน่นควบคู่ไปกับการเทตลอดเวลา เครื่องสั่นคอนกรีตแบ่งออกได้ 3 ชนิด คือ เครื่องสั่นภายในแบบหล่อ(Vibrating Table)
    - เครื่องสั่นภายในแบบหล่อ ได้แก่ เครื่องสั่นชนิดจุ่มหัวสั่นลงในเนื้อคอนกรีตโดยตรง โดยแรงสั่นจะไล่ฟองอากาศที่ทำให้เกิดโพรงในเนื้อคอนกรีตออก เครื่องสั่นคอนกรีตควรมีความถี่อย่างน้อย 7,000 รอบต่อนาที หัวสั่นมีขนาดตั้งแต่ Ø 1 – 3 นิ้ว และมีความยาวประมาณ 50 ซม. การจุ่มและถอนเครื่องสั่นขึ้นลงในแนวดิ่ง ควรเว้นระยะห่างกันประมาณ 25 – 50 เซนติเมตร ปกติช่วงระยะเวลาจุ่มควรอยู่ระหว่าง 5 – 15 วินาที และความหนาของการเทคอนกรีตแต่ละชั้น ควรอยู่ระหว่าง 30 – 50 เซนติเมตร โดยทั่วไปใช้เครื่องสั่นคอนกรีต 2 ชนิด ได้แก่ เครื่องสั่นแบบไฟฟ้า ซึ่งมีขนาดเบากะทัดรัดมีความคล่องตัวในการทำงานสูง แต่พลังงานในการสั่นน้อยกว่าชนิดเครื่องยนต์ ซึ่งมีน้ำหนักมากและความคล่องตัวน้อยกว่าเครื่องสั่นแบบไฟฟ้า
    - เครื่องสั่นภายนอกแบบหล่อ เป็นเครื่องสั่นคอนกรีตที่ติดตั้งอยู่ด้านข้างภายนอกของแบบหล่อ ทั้งคอนกรีตและแบบหล่อจะถูกสั่นสะเทือนไปพร้อมกัน ดังนั้น

แบบหล่อต้องแข็งแรงเพียงพอและน้ำปูนไม่รั่วไหลออก เครื่องสั่นคอนกรีตนี้เหมาะกับโครงสร้างที่มีเหล็กเสริมหนาแน่น หรือแบบหล่อที่มีลักษณะแคบมาก

- โต๊ะสั่นคอนกรีต มีลักษณะเป็นโต๊ะหรือฐานรองรับแบบหล่อ เครื่องทำงานโดยการหมุนของแกนที่ไม่สมมาตรกัน หรืออาศัยการสั่นแบบเยื้องศูนย์ในแนวแกน โดยทั้งคอนกรีตและแบบหล่อถูกทำให้สั่นพร้อมกัน ซึ่งเหมาะกับงานประเภทหล่อในที่ เช่น คอนกรีตอัดแรง แต่ปัจจุบันไม่เป็นที่นิยมเพราะราคาแพงและยุ่งยาก

➢ การตบแต่งผิวคอนกรีต

การตบแต่งผิวคอนกรีต (Finishing) เป็นสิ่งที่จำเป็นต้องปฏิบัติในขณะที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัวหรือยังหมาดอยู่ ในขั้นแรกของการตบแต่งผิวคือ การใช้เกรียงปาดคอนกรีตส่วนที่นูนขึ้นมามากลบส่วนที่เป็นแอ่ง และหากมีน้ำปูนปรากฏบนผิวหน้าควรดูดซับน้ำออกด้วยฟองน้ำหรือกระสอบ การโรยผงซีเมนต์หรือปูนทรายลงบนผิวหน้าเพื่อดูดซับน้ำส่วนเกินออก อาจทำให้ผิวหน้ากะเทาะออกมาเป็นฝุ่นหรือเกิดรอยแตกลายงาเนื่องจากการหดตัว กรณีที่พื้นผิวขนาดใหญ่อาจใช้เครื่องขัดผิว

➢ การบ่มคอนกรีต

การบ่มคอนกรีต(Curing) หมายถึง การควบคุมและป้องกันมิให้น้ำส่วนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาระเหยออก เพื่อช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นดำเนินการอย่างต่อเนื่อง ส่งผลต่อการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติทนทาน ทึบน้ำ ไม่สึกกร่อน และช่วยลดการหดตัว

ระยะเวลาในการบ่มคอนกรีตจากผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการ หากทำการบ่มชื้นคอนกรีตที่ใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1 อย่างต่อเนื่อง 7 วัน กำลังอัดที่ได้เมื่ออายุ 28 วัน เท่ากับการบ่มชื้นต่อเนื่อง 28 วัน ดังนั้นจึงควรทำการบ่มคอนกรีตสำหรับคอนกรีตที่ใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1 เป็นเวลา 7 วัน สำหรับคอนกรีตที่ใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 3 ควรบ่มอย่างน้อย 3 วัน พึงตระหนักว่าการปล่อยปะละเลยไม่เอาใจใส่ต่อการบ่ม ส่งผลเสียต่อกำลังอัดของคอนกรีตอย่างมาก ต้องป้องกันอย่าให้คอนกรีตได้รับความสะเทือนและเมื่อพ้นระยะเวลา 24 ชั่วโมง หรือ เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วต้องทำการบ่มทันที

วิธีการบ่ม การบ่มในสภาพอุณหภูมิปกติ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ การเพิ่มความชื้นและวิธีป้องกันการสูญเสียความชื้น

- การเพิ่มความชื้น เป็นการเพิ่มความชื้นต่อผิวหน้าของคอนกรีตโดยตรงหลังจากคอนกรีตแข็งตัวแล้ว โดยการขังน้ำ ฉีดน้ำ พรมน้ำ และใช้วัสดุเปียกชื้นคลุม วิธีการนี้

เป็นการบ่มที่ดีและช่วยลดอุณหภูมิที่ผิวคอนกรีต จึงเหมาะกับการเทคอนกรีตสำหรับสภาพอากาศร้อน

- วิธีป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต วิธีการป้องกันความชื้นจากผิวคอนกรีตมิให้ระเหยออกสู่ภายนอก การบ่มด้วยวิธีนี้ทำได้หลายวิธี ได้แก่
  - การใช้กระดาษกันน้ำซึมคลุม
  - การใช้พลาสติกคลุม
  - การบ่มด้วยน้ำยาเคมีเคลือบผิวคอนกรีต
  - การบ่มโดยใช้ไม้หล่อ

➢ การถอดแบบหล่อ และค้ำยัน

หลังจากที่เทคอนกรีตแล้ว ต้องคงแบบหล่อและค้ำยันไว้เป็นระยะเวลาที่กำหนดไว้ตามตารางที่ 2.4 ในกรณีที่ใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 3 ซึ่งเป็นชนิดให้กำลังอัดเร็ว หรือใช้แบบหล่อชนิดพิเศษที่ออกแบบให้สามารถถอดชิ้นส่วนบางชิ้นออกได้ก่อน อาจลดระยะเวลาดังกล่าวลงได้ตามความเห็นชอบของวิศวกร

ตารางที่ 2.4 ระยะเวลาการถอดไม้แบบสำหรับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ประเภทที่ 1

ชนิดของโครงสร้าง	ระยะเวลาถอดแบบรื้อออก
1. แบบข้างคาน กำแพง ฐานราก	24 – 48 ชม.
2. แบบข้างเสา	48 ชม.
3. ค้ำยันใต้แผ่นพื้น	14 วัน
4. ค้ำยันใต้ท้องคาน	14 วัน
5. ค้ำยันคานที่มีช่วงความยาวเกินกว่า 6 ม.	21 วัน

เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก (Columns)

เสา เป็นโครงสร้างในแนวดิ่งที่ทำหน้าที่รับน้ำหนักตามแกนตั้ง เช่น หลังคาพื้น อาคาร คาน แรงลมและแผ่นดินไหวแล้วถ่ายน้ำหนักโครงสร้างทั้งหมดลงสู่ฐานรากอีกทอดหนึ่ง

โดยทั่วไปเสามีรูปร่างหลายลักษณะขึ้นอยู่กับการออกแบบทางสถาปัตยกรรม การใช้สอยและค่าก่อสร้าง เช่น รูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า เสากลม แปดเหลี่ยม หรือรูปร่างพิเศษอื่นๆหากพิจารณาด้านค่าก่อสร้าง เสารูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีความประหยัดสูงสุด เมื่อเทียบราคากับเสารูปร่างอื่นๆ ที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน

❖ ข้อกำหนดเหล็กแกนเสาตามมาตรฐาน ว.ส.ท.

ข้อกำหนดตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ที่เกี่ยวข้องกับการให้รายละเอียดเหล็กแกนเสา มีดังนี้

- พื้นที่หน้าตัดของเหล็กยืนสำหรับเสาต้องไม่น้อยกว่า 1% และไม่เกิน 8% ของพื้นที่และหน้าตัดของเสาขนาดของเหล็กยืนต้องไม่เล็กกว่า 12 มม.
- ช่องว่างระหว่างเหล็กแกนเสาของเสาต้องไม่น้อยกว่า ค่าใดค่าหนึ่ง ดังนี้ $1\frac{1}{2}$ เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสา หรือ $1\frac{1}{2}$ เท่าของมวลหยาบใหญ่ที่สุด หรือ 4 ซม.
- เมื่อต่อเหล็กโดยวิธีทาบ ความยาวที่ทาบอย่างน้อยที่สุดต้องมีค่าดังต่อไปนี้

  สำหรับเหล็กข้ออ้อย ถ้าคอนกรีตที่มีกำลังอัดมากกว่า 200 กก./ซม^2 ระยะทาบของเหล็กข้ออ้อยต้องไม่สั้นกว่า 20 , 24 และ 30 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กที่มีกำลังคราก เท่ากับ 3,500 กก./ซม.^{2} ลงไป 4,200 และ 5,200 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ และต้องไม่น้อยกว่า 30 ซม. ถ้ากำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำกว่า 200 กก./ซม.^{2} ต้องเพิ่มระยะทาบอีกหนึ่งในสามของค่าข้างบนนี้

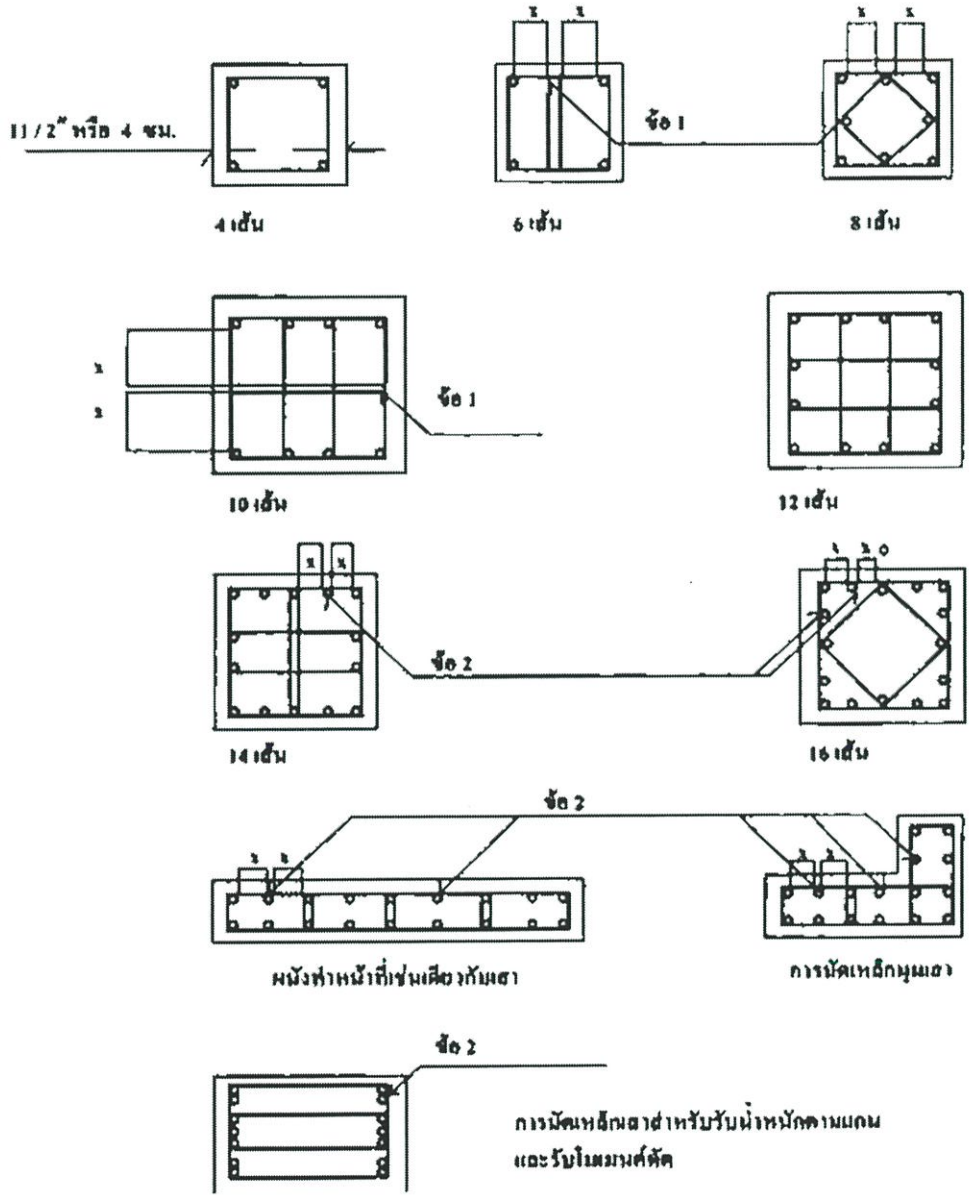
  สำหรับเหล็กเส้นผิวเรียบ ระยะทาบอย่างน้อยต้องเป็นสองเท่าของค่าที่กำหนดไว้สำหรับเหล็กข้ออ้อย

- อาจใช้การต่อโดยวิธีเชื่อม หรือการต่อยึดปลายแบบอื่นๆ แทนการต่อโดยวิธีทาบกันได้ และถ้าหากขนาดเหล็กเส้นโตกว่า 25 มม. แล้ว ควรจะต่อด้วยวิธีเชื่อม หรือการต่อยึดปลายแบบอื่นๆมากกว่า สำหรับเหล็กเสริมที่รับแรงอัดแต่อย่างเดียว อาจถ่ายแรงได้ด้วยการยันของหน้าตัดของปลายทั้งสองในลักษณะร่วมศูนย์ และยึดด้วยปลอกยึดแบบอื่นๆก็ได้ การต่อโดยวิธีเชื่อมที่ถูกต้อง ต้องให้รอยเชื่อมสามารถรับแรงดึงได้อย่างน้อยร้อยละ 125 ของกำลังครากของเหล็ก และไม่ควรต่อเหล็กที่ตำแหน่งเดียวกันเกินกว่า 25%
- เมื่อเหล็กเสริมติดเยื้องกันที่รอยต่อความลาดเอียงของเหล็กส่วนที่ดัดเยื้อง เมื่อเทียบกับแกนต้องไม่เกิน 1 ต่อ 6

<u>หมายเหตุ</u> โดยปกติที่ตำแหน่งใดๆ เหล็กเสริมตามแนวแกนของเสาต้องไม่เกิน 8% ของพื้นที่หน้าตัดของเสา ดังนั้นที่จุดต่อทาบหากจำนวนเหล็กที่ทาบกันมีจำนวนเท่ากัน และมีจำนวนเกิน 4% ของพื้นที่หน้าตัดของเสาแล้ว เมื่อทาบกันจะมีจำนวนเกิน 8% ซึ่งเกินมาตรฐาน ว.ส.ท. ยอมให้ ดังนั้น ว.ส.ท. ซึ่งกำหนดมาตรฐานที่จุดต่อไว้ดังกล่าวข้างต้น

❖ การเสริมเหล็กปลอกเสาตามมาตรฐาน ACI CODE

ตามมาตรฐานของ ACI CODE ได้กำหนดการให้ รายละเอียด ระยะห่าง ระยะทาบ ขนาดเหล็กปลอกเสา การมัดรวมเหล็กแกนเสา รวมถึงความหนาคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม โดยตรง ใช้ความหนา 4 ซม. ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.19 และ 2.20

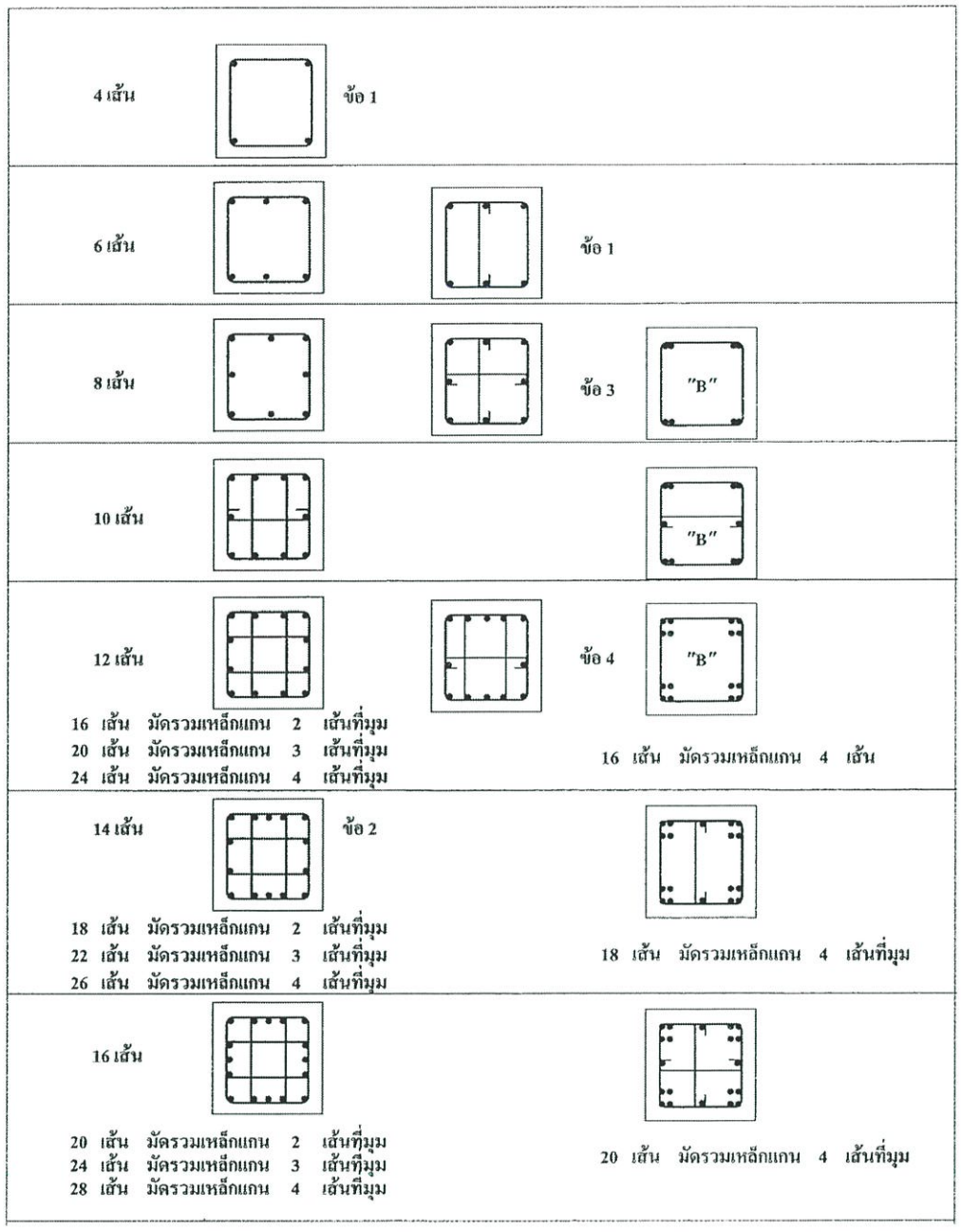


ภาพที่ 2.19 การจัดระยะเหล็กปลอกเสาตามมาตรฐาน ACI CODE[6]

หมายเหตุ ข้อ 1. ต้องมีเหล็กปลอก เมื่อระยะ X มากกว่า 15 ซม.

ข้อ 2. ไม่ต้องผูกเหล็กปลอก ถ้าระยะ X น้อยกว่าหรือเท่ากับ 15 ซม.

ข้อ 3. ใช้กับเหล็กแนวตั้งทุกเส้น



ภาพที่ 2.20 ตัวอย่างมาตรฐานเหล็กปลอกเสา (มาตรฐาน ACI CODE) [6]

หมายเหตุ ข้อ 1. ตำแหน่งที่ควรเกี่ยวเหล็กปลอก

ข้อ 2. เหล็กปลอก 2 ชั้นขึ้นไป ต้องใช้เหล็กข้ออ้อยเท่านั้น ขนาด เทียบเท่า # 5 ตามมาตรฐานอเมริกา DB 0.625 ตร. นิ้ว และระยะทาบต้องไม่น้อยกว่า 30 ซม.

ข้อ 3. “B” คือเหล็กแกนเสาที่มัดรวมเข้าด้วยกัน ต้องไม่เกิน 4 เส้น

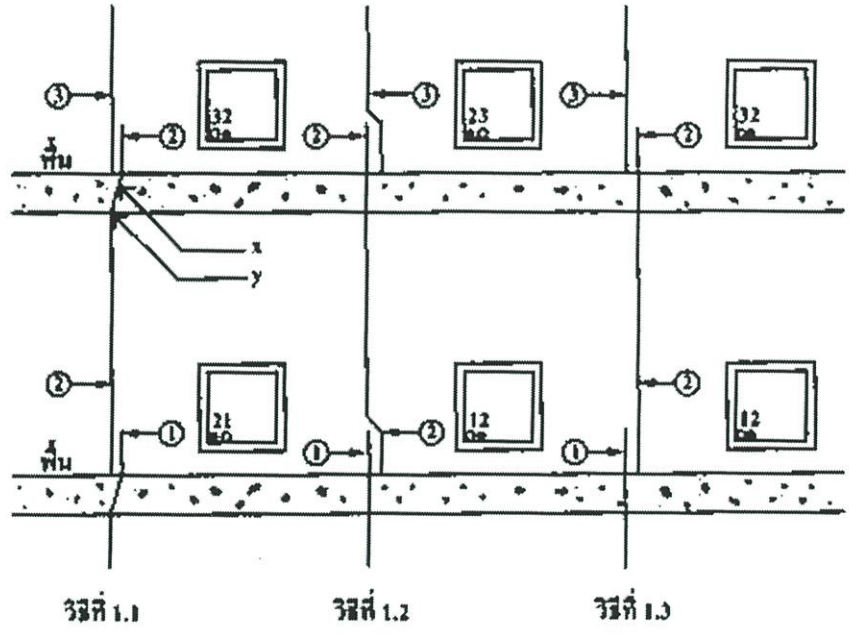
ข้อ 4. ไม่ต้องผูกเหล็กเสากลาง(กลุ่ม 3 เส้น) เข้ากับเหล็กปลอกได้ หากระยะระหว่างเหล็กไม่เกิน 15 ซม.

❖ การต่อเหล็กแกนเสา

การต่อเหล็กแกนเสาสามารถทำได้ 3 วิธี ได้แก่

- การต่อเหล็กแกนเสาด้วยวิธีต่อทาบหรือดุ้งเหล็ก

การต่อเหล็กตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ในรอยต่อแบบทาบระยะทาบต้องไม่น้อยกว่า 48 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กกลมธรรมดา และ 36 เท่าสำหรับเหล็กข้ออ้อย สำหรับการดุ้งเหล็กเสา ความลาดเอียงของเหล็กส่วนที่ดัดเยื้อง เมื่อเทียบกับแกนเสาต้องไม่เกิน 1 ต่อ 6 ดังภาพที่ 2.21



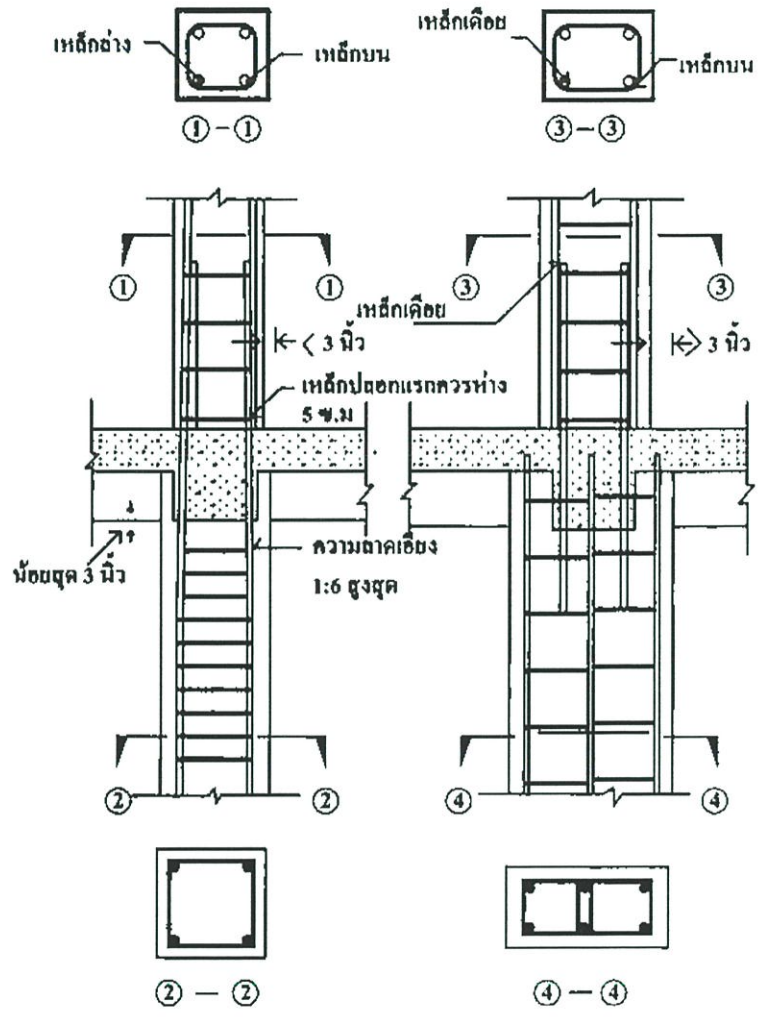
ภาพที่ 2.21 การต่อเหล็กแกนเสาด้วยวิธีต่อทาบหรือดุ้งเหล็ก[6]

โดยทั่วไปการต่อทาบเหล็กแกนเสาโดยวิธีต่อทาบหรือดุ้งเหล็กทำได้ 3 แบบคือ

- ตำแหน่งดุ้งเหล็กผ่านคานหรือแผ่นพื้น การดุ้งเหล็กที่จุด X ควรต่ำกว่าพื้น 5 ซม. และจุด Y สำหรับภายในคาน ควรสูงกว่าท้องคานขึ้นมา 5 ซม.
- ตำแหน่งดุ้งเหล็กในเสา เหล็กเส้นตรงหมายเลข (1) ผ่านคานขึ้นมาต่อทาบกับเหล็กหมายเลข(2) บนพื้น
- ต่อทาบด้วยเหล็กตรง คล้ายกับการต่อด้วยแบบที่ 1.2 ใช้สำหรับต่อทาบผนัง และเสารูปทรงแคบหรือแบน

เสาที่มีการลดขนาดลง สำหรับส่วนที่ลดลงไม่เกิน 3 นิ้ว การต่อเหล็กแกนเสาสามารถเลือกใช้ได้ทั้ง 3 แบบ โดยเหล็กยืนเสาที่นำมาต่อทาบต้องขนานกัน หากเสาลดลงเท่ากับหรือมากกว่า 3 นิ้ว

ไม่ควรใช้วิธีดุ้งเหล็กในการต่อเหล็กแกนเสา แต่ควรเสริมด้วยเหล็กเดือย หรือเหล็กเสริมพิเศษที่เสียบเพิ่มในเสา ต่อทาบกับเหล็กแกนเสาท่อนบน ดังแสดงในภาพที่ 2.22



ภาพที่ 2.22 การต่อเหล็กแกนของเสาที่ลดขนาดลง[6]

- การต่อเหล็กแกนเสาด้วยวิธีการเชื่อม

การต่อจากการเชื่อมถือว่าเป็นจุดอ่อนที่ต้องระวังจะต้องให้กำลังของรอยเชื่อมมีความแข็งแรงสามารถรับแรงได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 125 ของกำลังครากของเหล็กเสริมนั้น หรือรอยเชื่อมมีความแข็งแรงมากกว่าเหล็กนั่นเอง

- การต่อเหล็กแกนเสาโดยวิธีทางกล

โดยการทำปลายเหล็กแกนเสาให้เป็นเกลียวแล้วประกบต่อกันด้วยข้อต่อเกลียว ดังแสดงในรูปที่ 9.11 เป็นการต่อที่มีความแข็งแรงและมีประสิทธิภาพมาก เพราะทำให้เหล็กแกนเสาต่อเนื่องเป็นเส้น

เดียวกันตลอดทั้งเสา วิธีการนี้เหมาะสำหรับงานก่อสร้างที่ต้องการคุณภาพสูง เช่น งานก่อสร้างอาคารสูง

❖ การมัดรวมเหล็กแกนเสา

ในงานก่อสร้างขนาดใหญ่ที่มีเหล็กแกนเสาเป็นจำนวนมาก มักก่อให้เกิดปัญหา เหล็กแน่นเกินไป กีดขวางการเทคอนกรีตและการทำคอนกรีตให้แน่น การมัดรวมเหล็กแกนเสาเข้าด้วยกัน (Bundled Bars) ช่วยลดความแออัดของเหล็ก และช่วยเพิ่มช่องว่างระหว่างเหล็กแกนเสา สำหรับการเทคอนกรีต การมัดรวมเหล็กแกนสามารถมัดรวมได้ไม่เกิน 4 เส้น ดังแสดงในรูป

❖ เทคนิคการเทคอนกรีตในเสา

- ตรวจสอบความถูกต้องของแบบหล่อเสา เหล็กเสริมตามแบบก่อสร้าง รอยต่อของเหล็กแกนเสา ค้ำยัน ดิ่งตรวจตำแหน่งศูนย์กลางเสา และความสูงของคอนกรีตที่จะเท ให้เรียบร้อย
- ราดน้ำแบบหล่อให้ชุ่ม เพื่อลดอุณหภูมิและการดูดน้ำจากคอนกรีต
- เทปูนทราย (ปูนซีเมนต์ผสมกับทราย) ลงไปจำนวนหนึ่งก่อน เพื่อเคลือบผิวแบบหล่อและเหล็กเสริม
- สำหรับเสาที่มีความสูงเกินกว่า 2 เมตร การเทคอนกรีตเสาควรเปิดด้านข้างเท เพื่อป้องกันการแยกตัวหรืออาจใช้ท่อเทช่วย
- หยุดเทคอนกรีตที่ระดับต่ำกว่าท้องคานอย่างน้อยประมาณ 2.5 เซนติเมตร เพื่อสะดวกต่อการวางแบบท้องคาน และมีพื้นที่ทำความสะอาดท้องคาน

คานคอนกรีตเหล็ก (Beam)

คาน เป็นโครงสร้างในแนวราบ ทำหน้าที่รองรับน้ำหนักในแนวดิ่งที่ถ่ายมาจากพื้น ผนัง คานฝาก แล้วถ่ายน้ำหนักลงสู่ฐานรองรับ (Supports) ได้แก่ เสา ผนัง หรือคานหลัก อีกทอดหนึ่ง

○ รูปร่างของคาน

ขนาดและรูปร่างของคานขึ้นอยู่กับการออกแบบของวิศวกร รูปทรงของคานมีหลายแบบ ได้แก่ คานสี่เหลี่ยมผืนผ้า(Rectangular Beam) คานตัวที(T-Beam) คานตัวแอล (L-Beam) และคานแบน (Band-Beam) โดยทั่วไปแล้วนิยมออกแบบคานรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพราะก่อสร้างสะดวก ส่วนคานตัวทีและตัวแอล ประกอบด้วยสองส่วนสำคัญ คือ ส่วนปีก(Flange) และตัวคาน(Web or Stem) ส่วนปีกทำหน้าที่ต้านทานแรงอัดที่บริเวณด้านบน และทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของแผ่นพื้นได้

อีกด้วย ส่วนตัวคานทำหน้าที่ต้านทานแรงดึงที่บริเวณด้านล่างเช่นเดียวกับคานสี่เหลี่ยมผืนผ้า สำหรับคานแบนที่ถูกออกแบบให้ตื้นเพื่อช่วยลดความสูงของอาคารลง คานแบนนี้สิ้นเปลืองเหล็กเสริมมากเมื่อเทียบกับคานรูปแบบอื่น

- ข้อพิจารณาในการเทคอนกรีตคาน
    1) ก่อนเทคอนกรีต ควรตรวจสอบความเรียบร้อยของแบบคาน ความสะอาด รอยต่อแบบ ค้ำยัน ไม้ตู้ ไม้รัดปากแบบ ท้องคาน การทำระดับหลังคาน
    2) ก่อนเทคอนกรีตควรใช้เครื่องปั๊มลมเป่าไล่เศษฝุ่น และราดน้ำแบบหล่อให้ชุ่ม
    3) สำหรับคานที่มีขนาดลึกควรเทคอนกรีตเป็นชั้น ชั้นละไม่เกิน 30 เซนติเมตร และจี้คอนกรีตให้แน่นในแต่ละชั้น
    4) ควรหยุดเทคอนกรีตในแนวตั้งฉากกับคาน ณ ตำแหน่งที่แรงเฉือนเกิดขึ้นน้อยที่สุด โดยทั่วไปอยู่ประมาณกลางคานเพื่อให้รอยต่อเรียบร้อย ใช้ลวดตาข่ายคั่นรอยต่อ หรือหากจำเป็นอาจใช้ไม้เคร่า $1\frac{1}{2}$ x 3 นิ้ว คั่นระหว่างเหล็กเสริม
    5) ก่อนเทคอนกรีตต่อกับคอนกรีตใหม่ ควรทำความสะอาดรอยต่อ แล้วราดด้วยน้ำปูนข้นหน้ารอยต่อให้ทั่วก่อน จึงเทคอนกรีตใหม่ต่อไป

พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

พื้น(Floor) เป็นส่วนของโครงสร้างที่ทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกโดยตรง แล้วถ่ายน้ำหนักลงสู่คาน เสา ผนังรับน้ำหนัก หรือพื้นดิน

พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก(Slab) มีหลายชนิด สามารถจำแนกได้เป็น 6 ประเภท

- พื้นคอนกรีตวางบนดิน (Slab on Ground)

การเทพื้นคอนกรีตมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1) ส่วนที่เป็นที่ต่ำ เช่น คูน้ำ แอ่ง ท้องร่อง ต้องถมและบดอัดให้แน่นและหากพื้นคอนกรีตขวางทางน้ำไหล ต้องทำทางระบายน้ำก่อนการบดอัด
2) สำหรับพื้นอาคารที่มีเสาอาคาร ควรทำแบบหล่อกั้นแยกรอยต่อเสาออกจากแผ่นพื้น เพื่อป้องกันการแตกร้าวของพื้น จากการทรุดตัว พร้อมทั้งทำระดับตามรูปที่ 11.1
3) คั่นแผ่นพื้น ด้วยวัสดุประเภทโฟม ให้แยกออกจากผนังหรือคานประมาณ $^1/_2$ – 1 นิ้ว
4) ควรปรับระดับพื้นให้ลาดเอียงเล็กน้อยลงไปที่บริเวณประตูทางเข้า เพื่อระบายน้ำฝนที่สาดเข้ามา หรือน้ำจากการทำความสะอาด
5) กรณีที่แผ่นพื้นมีขนาดกว้างมาก ควรแยกเทแผ่นพื้นหลายแผ่น โดยให้แต่ละแผ่นมีขนาดประมาณ 6 – 7.5 เมตร เพื่อให้ทรุดตัวอย่างอิสระและควบคุมพื้นที่การแตกร้าว

6) ใช้แผ่นพลาสติกปูรองพื้นก่อนเพื่อป้องกันดินด้านล่างดูดน้ำปูน และป้องกันความชื้นจากพื้นดินซึมผ่านแผ่นพื้นคอนกรีตขึ้นมา
7) จัดวางเหล็กเสริมในรูปตะแกรงให้ได้ขนาด ตำแหน่ง และระยะถูกต้องตามแบบก่อสร้าง การวางระดับเหล็กเสริมด้านบน เพื่อป้องกันคอนกรีตแตกร้าวที่ผิว
8) เคลือบผิวแบบหล่อด้วยน้ำมัน หรือน้ำยาเคลือบแบบหล่อ เพื่อให้สามารถถอดแบบหล่อได้ง่าย
9) เทคอนกรีตโดยเริ่มต้นจากมุมด้านใน ออกมาสู่ด้านนอก แบ่งเทคอนกรีตทีละส่วนสลับกับการปาดแต่งเนื้อคอนกรีตให้เสมอกัน และได้ระดับตามต้องการ
10) ใช้เครื่องสั่นคอนกรีตช่วยทำให้เนื้อคอนกรีตแน่น พร้อมทั้งปาดแต่งผิวหน้าให้เรียบสวยงาม
11) ทำการบ่มคอนกรีตอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาอย่างน้อย 7 วัน

- พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว (One – way Slab)

หากพื้นคอนกรีตไม่อยู่บนพื้นดิน จำเป็นต้องวางอยู่บนคาน ตง หรือผนัง ซึ่งทำหน้าที่รับน้ำหนักที่ถ่ายมาจากพื้นคอนกรีต สำหรับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว (One – way Slab) เป็นพื้นที่ถูกรองรับด้วยคาน หรือผนังรับน้ำหนักเพียง 2 ด้านเท่านั้น พื้นคอนกรีตชนิดนี้เหมาะสมกับการรับน้ำหนักที่ไม่มากนัก

เหล็กเสริมหลัก(Main steel) วางพาดระหว่างคานและตั้งฉากกับคานด้านสั้น ทำหน้าที่ต้านทานแรงดึงเนื่องจากโมเมนต์ดัด ในขณะเดียวกันต้องมีเหล็กเสริมกันร้าว ตั้งฉากกับเหล็กเสริมหลักหรือขนานกับคาน ทำหน้าที่ช่วยกระจายแรง ป้องกันการยืดหดตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

โดยทั่วไปความหนาพื้นต้องไม่น้อยกว่า 8 ซม. และเหล็กเสริมต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 6 มม. วางห่างกันไม่เกิน 3 เท่าของความหนาพื้น เมื่อไม่คำนึงถึงการโก่งตัวของพื้น ความหนาของพื้นแปรตามน้ำหนักบรรทุก และความกว้างของแผ่นพื้น

- พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง (Two – way Slab)

เป็นพื้นที่มีคานรอบทั้งสี่ด้าน พื้นควรมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีด้านยาวใกล้เคียงกัน โดยที่ด้านยาวต้องไม่มากกว่า 2 เท่าของด้านสั้น พื้นชนิดนี้เหมาะกับการรับน้ำหนักปานกลางไม่มากนัก มีช่วงคาน (Span) ห่างกันพอควร หรืออาคารที่ถูกออกแบบให้รับแรงทางด้านข้าง เช่น แรงลม แผ่นดินไหว

- แผ่นพื้นกระทง (Waffle Slab)

เป็นแผ่นพื้นที่วางอยู่บนเสา โดยแผ่นพื้นถูกรองรับด้วยคานกระทง(Ribs) วางเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสต่อเนื่องกันตลอดทั้งพื้น เพื่อรองรับน้ำหนักแล้วถ่ายลงเสาพื้นแบบนี้มีความแข็งแรงมากกว่าแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง เหมาะกับแผ่นพื้นที่มีขนาดกว้างมาก รวมทั้งพื้นอาคารที่ต้องแบกรับน้ำหนักสูงและต้องการแสดงความสวยงามทางสถาปัตยกรรม เช่น อาคารสนามบิน เป็นต้น แผ่นพื้นกระทงนิยมให้รูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส สวยงาม โดยทั่วไปคานพื้นกระทงที่วางแนวตั้งฉากต่อกันสามารถยื่นแผ่นพื้นออกไปจากกรอบของเสาได้ถึง 1/3 เท่าของระยะระหว่างเสา

ลักษณะของแผ่นพื้นกระทงมี 2 แบบ คือ พื้นกระทงตลอดแผ่นพื้น และพื้นกระทงหัวเสาตัน โดยแบบกระทงหัวเสาตันมีความแข็งแรงและรับน้ำหนักบรรทุกได้มากกว่าแบบกระทงตลอดแผ่นพื้น สำหรับแบบหล่อของคานพื้นกระทง ต้องออกแบบให้สวยงามเป็นพิเศษ โดยเฉพาะส่วนช่องระหว่างคานกระทงหรือโดม(Domes) แต่อย่างไรก็ตาม ต้องคำนึงถึงขนาด และความถูกต้องของโครงสร้างด้วย

- แผ่นพื้นระบบตง (Joist Slab or Ribbed Slab)

แผ่นพื้นระบบตง มีลักษณะเหมือนกับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว แต่มีตงหรือคานรองจำนวนมากวางระหว่างคานหลัก ซึ่งเหมาะสำหรับพื้นอาคารที่มีช่วงกว้างมากและรับน้ำหนักบรรทุกมากด้วย แต่ไม่เหมาะกับการรับน้ำหนักที่กองอยู่จุดเดียว พื้นระบบตงนี้สามารถลดความหนาของแผ่นพื้น ทำให้ประหยัดเหล็กเสริมกว่าพื้นแบบคอนกรีตเสริมเหล็กสองทางและก่อสร้างง่ายกว่าแผ่นพื้นกระทง

- แผ่นพื้นไร้คาน (Flat Slab)

แผ่นพื้นไร้คาน เป็นแผ่นพื้นคอนกรีตปราศจากคานรองรับ โดยเสริมเหล็กในแผ่นพื้นสองทิศทางตั้งฉากกัน และมีเสารองรับหลายช่วงต่อเนื่อง ทำให้น้ำหนักพื้นถ่ายลงสู่เสาโดยตรง แผ่นพื้นชนิดนี้เหมาะสำหรับพื้นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีด้านยาวใกล้เคียงกัน แต่ไม่เหมาะกับการก่อสร้างพื้นที่มีการลดระดับ เช่น ห้องน้ำ ระเบียงทางเดิน

ข้อดีของแผ่นพื้นนี้ คือช่วยลดความสูงของอาคารลงได้มาก เนื่องจากไม่มีคาน สามารถประกอบแบบหล่อได้ง่าย ติดตั้งอุปกรณ์ เช่น สายไฟฟ้า ท่อน้ำ ท่อเครื่องปรับอากาศ ใต้แผ่นพื้นได้สะดวกทำให้ก่อสร้างได้รวดเร็วและประหยัดเมื่อเทียบกับแผ่นพื้นแบบอื่น

แผ่นพื้นไร้คาน แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ แผ่นพื้นที่มีความหนาเท่ากันตลอด(Flat Plate) เหมาะกับโครงสร้างทั่วไปซึ่งรับน้ำหนักไม่มากนัก เช่น โรงแรม คอนโดมิเนียม อาคารสำนักงาน อาคารพักอาศัย เป็นต้น และแผ่นพื้นไร้คานที่มีแป้นหัวเสารองรับ (Flat Slab) เหมาะสำหรับอาคารที่ต้องแบกรับ

น้ำหนักสูง เช่น ห้างสรรพสินค้า โกดังเก็บของ แรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกที่มากกว่าปกติ บริเวณหัวเสาจึงมีค่ามากตามไปด้วย ซึ่งหากใช้แผ่นพื้นไร้คานที่มีความหนาเท่ากันตลอด ต้องออกแบบให้พื้นมีความหนามาก ไม่ประหยัดค่าก่อสร้าง ดังนั้นจึงควรเพิ่มคอนกรีตใต้แผ่นพื้น เพื่อต้านทานแรงเฉือนบริเวณหัวเสาคือ แป้นหัวเสา(Drop Panel) และอาจเพิ่มขนาดของหัวเสา (Column Capital) ด้วย

2.2 การก่อสร้างระบบสำเร็จรูป(Prefabrication System)

ความหมายและความเป็นมา

การก่อสร้างระบบสำเร็จรูป เป็นการก่อสร้างที่อาศัยการใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่ผลิตจากภายนอกมาติดตั้งตามตำแหน่งที่แท้จริงบนอาคาร โดยมีผู้ให้ความหมายที่เกี่ยวข้องไว้ดังนี้

"พรีคาสต์คอนกรีต (Precast Concrete) คือการหล่อชิ้นส่วนคอนกรีตในสถานที่ใดๆ (เช่น โรงงาน บริเวณหน่วยงานก่อสร้าง) ก่อนแล้วนำไปประกอบกันเป็นโครงสร้าง" (Sheppard David, A. and William R. Phillips. 1998)

"พรีแฟบบริเคชั่น (Prefabrication) คืออุตสาหกรรมการก่อสร้างอันเป็นวิธีการผลิตชิ้นส่วนประกอบจำนวนมาก (Mass Production Components) เพื่อก่อสร้าง โดยอาศัยเครื่องมือ เครื่องจักร หรืออุปกรณ์ยก สำหรับปฏิบัติงาน" (GmbH, Bauverlag, Wiesbaden and Berlin, 1968)

"ความหมายของการก่อสร้างอาคารระบบสำเร็จรูปโดยรวมคือวิธีการก่อสร้างโดยการผลิตส่วนประกอบของอาคารสำเร็จในโรงงานแล้วนำมาประกอบติงตั้งเป็นอาคารโดยอาศัยอุปกรณ์ยก" (มามี โตบารมีกุล, 2540)

ดังนั้นอาจจะกล่าวได้ว่าการก่อสร้างระบบสำเร็จรูป(Prefabrication System) หรือการก่อสร้างอาคารระบบอุตสาหกรรม(Industrialized Building System) มีความหมายถึง การนำโครงสร้างส่วนต่างๆของอาคารที่ทำสำเร็จรูปไว้แล้ว มาประกอบรวมกันเข้าเป็นตัวอาคาร หรือเทคนิคการสร้างใดๆก็ตามที่ยึดหลักกรรมวิธีการผลิตตามแนวระบบอุตสาหกรรมตามหลักการของระบบนี้ โครงอาคารส่วนใหญ่ เช่น เสา คาน พื้น จะผลิตหรือสำเร็จรูปมาจากโรงงาน แล้วนำมาต่อเชื่อมให้ติดกันเป็นตัวอาคาร ณ ที่ก่อสร้างจึงเป็นระบบก่อสร้างที่ตรงกันข้ามกับวิธีการที่เคยปฏิบัติกัน ซึ่งแต่เดิมนั้นลำดับขั้นตอนของงานสร้างอาคารจะต้องตั้งต้นจากการตั้งแบบ ผูกเหล็กเสริม หล่อคาน คอนกรีตเสา คาน และพื้นต่อเนื่องกันไปจนถึงชั้นหลังคา

การก่อสร้างระบบสำเร็จรูปนั้น ได้แนวคิดมาจากการผลิตการจัดการงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆเช่นการผลิตรถยนต์ ซึ่งจัดแยกผลิตชิ้นส่วนต่างๆขึ้นก่อนแล้วจึงนำมาประกอบในรถที หลังมีการนำเอาเครื่องจักร เครื่องทุ่นแรงต่างๆมาช่วยประกอบการผลิต จึงทำให้สามารถผลิตได้เร็ว ปริมาณการผลิตสูงเป็นผลให้ราคาต้นทุนการผลิตต่ำลง

จุดมุ่งหมายของการปรับปรุงวิธีการสร้างอาคาร มาถือแนวตามระบบอุตสาหกรรม ก็เพื่อต้องการลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำเช่นเดียวกันทั้งยังสร้างได้เร็วกว่าระบบเดิมที่สร้างสำเร็จในที่อีกด้วย

การผลิตชิ้นส่วนขนาดใหญ่ของอาคารจากภายนอกหน่วยงานก่อสร้างไม่ใช่แนวความคิดที่เพิ่งเกิดขึ้น โครงสร้างทีมีชื่อเสียงในอดีตในประเทศอียิปต์และอิตาลีล้วนก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่เป็นหินทั้งในส่วนของเสา พื้นหรือหน้ามุข ดังแสดงในภาพที่ 2.23 และ 2.24

ภาพที่ 2.23 โครงสร้างเสาหินสำเร็จรูปในประเทศอียิปต์

ภาพที่ 2.24 โครงสร้างเสาหินสำเร็จรูปในประเทศอิตาลี

โดยชิ้นส่วนบางชิ้นมีน้ำหนักตั้งแต่ 5 , 10 จนถึง 100 ตัน และต้องทำการขนส่งจากพื้นที่ห่างไกลจากสถานที่ก่อสร้างนับสิบหรือร้อยกิโลเมตร ดังนั้นจึงนิยมใช้กับอาคารหรือโครงสร้างที่มีความสำคัญอย่างสูงเท่านั้น

การพัฒนาการก่อสร้างสำเร็จรูปเกิดขึ้นอย่างจริงจังตั้งแต่หลังสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 กลุ่มประเทศยุโรปตะวันตกได้เป็นผู้ริเริ่มค้นคว้านำเอาการก่อสร้างอาคารด้วยระบบนี้มาใช้ ทั้งนี้เพราะประสบปัญหาการขาดแคลนที่อยู่อาศัย เนื่องจากภัยพิบัติจากสงครามรวมทั้งขาดแคลนแรงงานช่างฝีมือประเภทต่างๆกลุ่มประเทศดังกล่าว เช่น ฝรั่งเศส อังกฤษ เยอรมัน ด้วยการสนับสนุนของรัฐบาล ได้ทำการแก้ไขปรับปรุงวิธีการก่อสร้างอาคารขึ้นใหม่ โดยยึดหลักการว่าจะต้องสามารถสร้างให้ได้เร็ว และใช้แรงงานธรรมดาสร้างได้ เพื่อจะแก้ปัญหาดังกล่าว ประกอบกับการพัฒนาระบบขนส่ง

และเครื่องมือในการติดตั้งชิ้นส่วนที่ก้าวหน้าอย่างมาก ทำให้การก่อสร้างระบบสำเร็จรูปจึงเข้ามามีบทบาทสูงขึ้น เนื่องจากสามารถก่อสร้างที่อยู่อาศัยจำนวนมากในเวลาอันสั้นด้วยคุณภาพที่ได้มาตรฐาน ในขณะเดียวกันการก่อสร้างระบบสำเร็จรูปยังนำเสนอรูปแบบทางสถาปัตยกรรมที่แปลกใหม่ ดังแสดงในภาพที่ 2.25 - 2.26 ซึ่งการก่อสร้างระบบอื่นไม่สามารถทำได้

ภาพที่ 2.25 โครงการที่พักอาศัย Marne la Vallee

ภาพที่ 2.26 โครงการ the Habitat ใน Montreal

โดยได้นำความคิดการจัดการการผลิต เทคนิคการประกอบและติดตั้ง มาพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งปัจจุบัน การก่อสร้างอาคารระบบสำเร็จรูปเป็นระบบหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย มีสถาบัน เพื่อทำการวิจัยเทคนิคใหม่ให้กับการก่อสร้างของระบบนี้โดยเฉพาะ

ทางด้านสหรัฐอเมริกาเองเพิ่งมาตื่นตัวสนใจกับวิธีการก่อสร้างระบบสำเร็จรูป หลังจากที่ผจญปัญหาเกี่ยวกับค่าแรงงานช่างฝีมือที่มีอัตราสูงมาก และความกดดันต่างๆจากบรรดาสหภาพแรงงาน ประจวบกับรัฐบาลมีนโยบายที่จะส่งเสริมให้ประชาชนมีบ้านอยู่อาศัยอย่างทั่วถึง ทุกระดับชั้นจึงได้ให้การสนับสนุนให้ทุนแก่บริษัทก่อสร้างต่างๆ ทำการวิจัยค้นคว้าหาวิธีก่อสร้างตามระบบอุตสาหกรรมที่ทางยุโรปประสบผลสำเร็จมาแล้ว เพื่อให้ได้อาคารที่มีราคาถูกลง จึงได้มีการคิดค้นเทคนิคการผลิตและการติดตั้งขึ้นมาทดลองใช้ต่างๆกันหลายสิบแบบ แต่ส่วนใหญ่ที่ยึดถือตามแนวยุโรปมีบริษัทก่อสร้างที่รับสร้างอาคารด้วยระบบอุตสาหกรรมที่โดยเฉพาะตามเทคนิคที่แต่ละบริษัทได้ออกแบบคิดค้นขึ้น

สำหรับในประเทศไทย ระบบการก่อสร้างโดยการใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปได้มีการใช้ในวงการก่อสร้างประมาณ 30 กว่าปีที่ผ่านมาแต่จำนวนของชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ใช้ในตัวอาคารมีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณงานทั้งหมด สำหรับอาคารสูงในกรุงเทพมีการนำชิ้นส่วนสำเร็จรูปมาใช้ในอาคารน้อยมาก(ประมาณน้อยกว่า 5% ของการก่อสร้าง) โดยงานส่วนใหญ่ที่เป็นชิ้นส่วนสำเร็จได้แก่บันได Parapets, Eaves และ Façade Panels

การก่อสร้างอาคารระบบสำเร็จรูป เริ่มเป็นที่รู้จักในประเทศไทยมากขึ้นตั้งแต่ครั้งที่บริษัทซีคอนจำกัดนำคานและพื้นสำเร็จรูปมาใช้ในการก่อสร้างอาคารในช่วง 10 ปี ก่อนหน้านี้บริษัทบางกอกแลนด์ จำกัด ได้นำระบบสำเร็จรูปเข้ามาใช้กับคอนโดมิเนียมอุตสาหกรรมในโครงการเมืองทองธานี ถนนแจ้งวัฒนะเมื่อ 15 ปีที่ผ่านมา แต่ในครั้งนั้นดูจะไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร ต่อมาการก่อสร้างระบบสำเร็จรูปเริ่มได้รับความนิยมมากขึ้นเมื่อคอนโดมิเนียมโครงการบ้านสวนธน ได้นำระบบนี้มาใช้และเป็นที่ต้องการของตลาดมากขึ้นในการเลือกใช้ระบบก่อสร้างอาคารสำเร็จรูป จนในปัจจุบันผู้ประกอบการหลายราย ได้พิจารณาเลือกใช้การก่อสร้างระบบสำเร็จรูปเป็นระบบหลักของการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัย ทั้งส่วนของบ้านเดี่ยว ทาวเฮาส์ จนถึงประเภทอาคารชุด

ระบบโครงสร้างแบบต่างๆ

ในปัจจุบันได้มีการจดทะเบียนลิขสิทธิ์วิธีการก่อสร้างระบบอุตสาหกรรม หรือระบบสำเร็จรูปไว้ในประเทศต่างๆมากกว่า 1000 ระบบขึ้นไป ส่วนใหญ่ เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นในประทศยุโรปทางตะวันออก และประเทศแถบสแกนดิเนเวีย ระบบเหล่านี้อาจแยกออกเป็นประเภทใหญ่ๆได้ คือ ระบบแผ่นผนังรับน้ำหนัก, ระบบเสาและคาน,ระบบเสาและแผ่นพื้นและระบบกล่อง

- ระบบแผ่นผนังรับน้ำหนัก(Load Bearing structure or Panel System)

ระบบนี้ไม่เป็นที่คุ้นเคยในประเทศไทยแต่ได้ใช้กันกว้างขวางในยุโรปในการก่อสร้างอาคารพักอาศัย วิธีการก่อสร้างนั้น ผนังสำเร็จรูปขนาดเท่าความสูงของชั้นจะถูกนำมาติดตั้งบนพื้นสำเร็จรูป หลังจากนั้นก็จะนำแผ่นพื้นสำเร็จรูปวางบนผนังเช่นนี้เรื่อยๆไป

ผนังและพื้นในระบบนี้สามารถผลิตได้ง่ายๆโดยการหล่อกับแบบที่วางนอนกับพื้นในวิธีการหล่อแบบนี้ สามารถจะปรับความหนาของแผ่นได้โดยสะดวกในระบบหล่อชุดเดียวกัน การผลิตผนังอีกแบบหนึ่งคือการหล่อแผ่นในทางแนวตั้งเรียกว่า Battery Casing ในวิธีนี้แบบสำหรับหล่อจะวางตั้งและมีแผ่นเหล็กกั้นเป็นช่องๆ ตามความหนาของผนังที่ต้องการ การเทคอนกรีตครั้งหนึ่งจะได้แผ่นผนังครั้งละจำนวนมากๆ

แผ่นพื้นเหล่านี้จะเสริมเหล็กตะแกรง 2 ชั้น , มีการฝังท่อเดินไฟฟ้า , ท่อน้ำ ไว้เสร็จก่อนที่จะเทคอนกรีต ผิวคอนกรีตจะออกมาเรียบโดยไม่ต้องฉาบปูนอีกครั้ง เมื่อเทคอนกรีตจะต้องทิ้งระยะบ่มคอนกรีตเพื่อให้คอนกรีตแข็งตัว ระยะเวลาที่ต้องรอก่อนที่จะสามารถถอนคอนกรีตออกจากแบบนี้สามารถเร่งให้เร็วขึ้นได้ โดยวิธีการอบด้วยไอน้ำ ซึ่งหลังจาก 24 ชั่วโมงแล้ว ก็สามารถถอดออกจากแบบได้สำหรับผนังที่จะต้องเจาะช่องประตูหน้าต่างก็เพียงกั้นแบบเป็นช่องเปิดไว้เท่านั้น ในแบบชุดเดิม

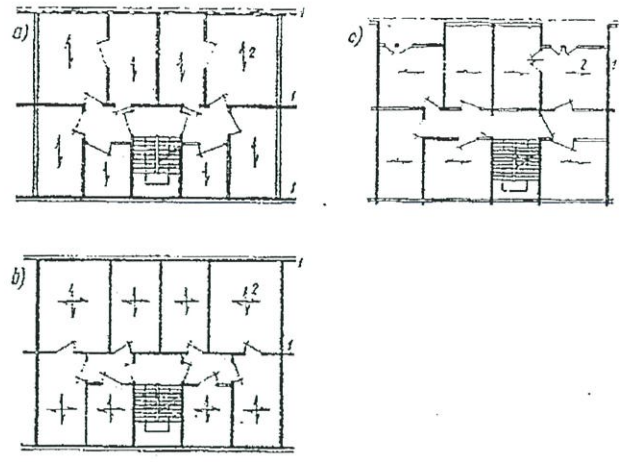
ในขั้นการผลิตชิ้นส่วนผนังและพื้นในระบบนี้นั้นเป็นระบบโครงสร้างที่สามารถผลิตชิ้นส่วนได้ง่ายที่สุดมากกว่าระบบอื่น ๆ ทั้งหมด ขั้นตอนต่อไปหลังจากผลิตก็คือการประกอบ และติดตั้งแผ่นผนังเหล่านี้เข้าที่ซึ่งนับรวมตั้งแต่การขนส่งชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักมาก จากโรงงานไปถึงบริเวณการก่อสร้าง การยกชิ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก ขึ้นไปติดตั้งให้ได้วางอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการทั้งในแนวราบและแนวดิ่งเหล่านี้เป็นขั้นตอนที่มีปัญหามาก จำเป็นต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญ และมีความประณีตในการทำงาน

การรับแรงทางด้านโครงสร้างของระบบนี้ก็คือการถ่ายเทแรงจากพื้นลงที่แนวผนังรับน้ำหนักทั้งหมด ดังนั้นผนังจึงใช้ประโยชน์ไม่เฉพาะเพียงการเป็นผนังกั้นห้องเท่านั้นหากยังจะทำหน้าที่เป็นโคลงสร้างแทนเสาและคานไปพร้อม ๆ กันด้วย นอกจากนี้แผ่นผนังจะทำหน้าที่โคลงสร้างอย่างสำคัญในอาคารเพื่อต้านทานแรงลมอย่างมีประสิทธิภาพดีมากกว่าโคลงสร้างแบบเสา และคานอีกด้วย

ระบบการวางผนังรับน้ำหนักมี 3 วิธี คือระบบวางแนวผนังรับน้ำหนักไปในทิศทางแนวเดียวกับความยาวของอาคารเรียกว่า long-wall system ระบบวางแผนผนังรับน้ำหนักให้ขวางกับความยาวของอาคารเรียกว่า

Cross-wall system และระบบที่วางรับน้ำหนักให้รับน้ำหนัก จากพื้นทั้ง 2 แนวเรียกว่า two-way span system

รูปแบบของทั้ง 3 ระบบแสดงได้ดังภาพที่ 2.27

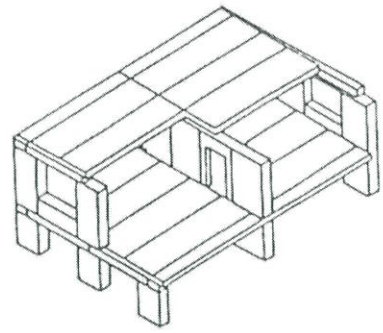


ภาพที่ 2.27 วิธีการจัดวางผนังเพื่อรับน้ำหนักของพื้น [7]

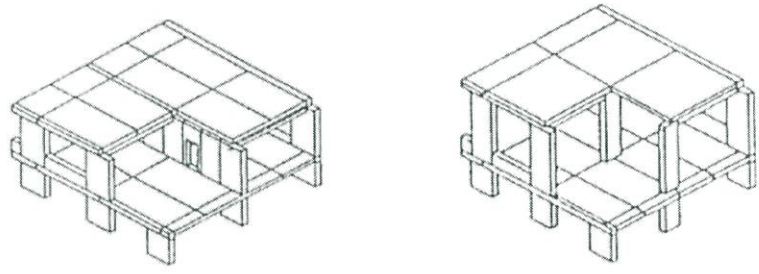
(a) Long-wall (b) Two-wall (c) Cross-wall system

○ **Long-Wall System** ระบบนี้สังเกตได้โดยดูทิศทางของแผ่นพื้นที่วางพาดน้ำหนักมาลงผนังส่วนที่เป็นมาลงผนังส่วนที่เป็นด้านหน้า และด้านหลังของอาคารดังแสดงในภาพที่ 2.28 ระบบนี้มีใช้อยู่บ้างในประเทศโปแลนด์ และประเทศในกลุ่มยูโยปตะวันออก อาคารที่ใช้ระบบนั้ว่าจะต้องมีช่องเปิดที่จะเป็นหน้าต่างของห้องเล็กกว่าปกติ เนื่องจากผนังส่วนที่เป็นหน้าต่างที่จะต้องใช้เป็นผนังที่รับน้ำหนักของพื้นที่ต้องนำมาพาดวางลงไว้ด้วย จึงไม่เหมาะสมสำหรับอาคารที่พักอาศัยโดยเฉพาะที่พักอาศัยในประเทศเขตร้อน เช่น ประเทศไทยที่ต้องการช่องเปิดด้านหน้า และหลังของห้องเพื่อให้อากาศได้พัดถ่ายเทความร้อนระบบ

ระบบนี้มีข้อดีอยู่ที่สามารถเปิดช่องโล่งได้ตลอดในแนวตามความยาวของอาคาร เพราะไม่จำเป็นต้องมีผนังในแนวขวางมากั้นแต่อย่างใด จึงสามารถนำไปใช้กับอาคารประเภทสำนักงานหรือห้องเรียนได้แต่ความกว้างของห้องอาจถูกจำกัดด้วยความยาวของผนังพื้นที่อาจไม่สามารถพาดยาวได้ถึงระยะห่างของผนังจะรับน้ำหนักได้ ยกเว้นต้องออกแบบแผ่นพื้นเป็นพิเศษสำหรับวางพาดได้ระยะห่างมาก ๆ การแก้ไขปัญหานี้ อาจทำได้โดยวางคานพาดลงกำแพงรับน้ำหนักแบบ long-wall แล้วให้แผ่นพื้นวางพาดลงคานแทนที่จะพาดลงผนังห้องโดยตรง ดังในภาพ2.29 ซึ่งจะทำให้ระบบยุ่งยากมากขึ้นเนื่องจากเป็นระบบที่ผสมระหว่างระบบผนังรับน้ำหนักผสมเสา และคานชิ้นส่วนแทนที่จะมีส่วนสำคัญเพียงผนังกับพื้น ก็จำเป็นต้องมีชิ้นส่วนที่เป็นคานเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยอีก



ภาพที่ 2.28 แสดงระบบโครงสร้างแบบ Long Wall [7]



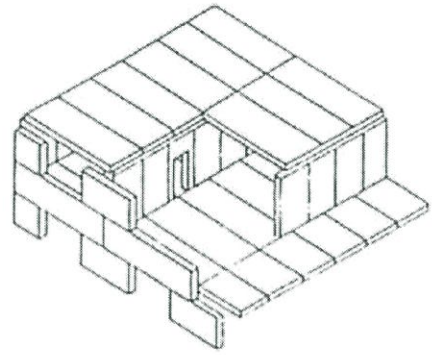
ระบบของ Moscow ระบบของ Czecho Slovakia

ภาพที่ 2.29 การวางโครงสร้างรับน้ำหนักแบบ Long-wall ซึ่งใช้คานถ่ายน้ำหนัก จากพื้นมาสู่กำแพง

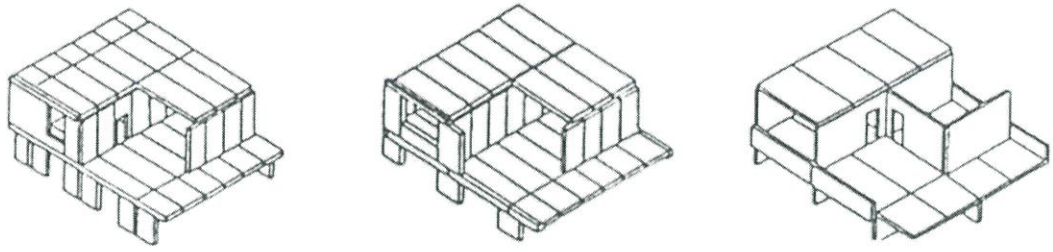
(a) ระบบของ Moscow (b) ระบบของ Czechoslovakian [7]

○ **Cross-wall system** ระบบผนังรับน้ำหนักในปัจจุบันส่วนใหญ่นิยมวางแผ่นผนังรับน้ำหนักขวางกับน้ำหนักขวางกับความยาวของตัวอาคาร ดังภาพที่ 2.30 โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารประเภทที่อยู่อาศัยซึ่งจำเป็นต้องมีผนังทางด้านขวางทึบตลอด เพื่อเป็นผนังกั้นระหว่างแต่ละหน่วยของที่พักอาศัยอยู่แล้วผนังทึบนี้สามารถใช้เป็นผนังรับน้ำหนักได้ดีกว่าผนังที่มีช่องหน้าต่างเปิด อย่างเช่นผนังรับน้ำหนักในระบบ long-wall โดยระบบ cross-wall นั้น ผนังด้านหน้าจะไม่มีส่วนในการช่วยรับน้ำหนักจากพื้นเลย ดังนั้น จึงสามารถเปิดด้านด้านหน้าให้โล่งได้ตลอด หรือใช้เป็นหน้าต่างขนาดใหญ่ได้ตลอดด้านหน้าและด้านหลังของห้อง หรือหากต้องการผนังที่มีความหนาและน้ำหนักมากทางด้านหน้าก็อาจใช้วิธีให้ผนังด้านหน้าวางซ้อนกันขึ้นไปเพื่อรับน้ำหนักผนังส่วนนี้ดังที่แสดงไว้ในภาพที่ 2.30 หรืออาจใช้วิธีติดตั้งผนังด้านหน้าของห้องด้วยวิธีการอื่น ๆ ก็ได้อีกหลายวิธีดังที่แสดงไว้ในภาพที่ 2.31 โดยแบบ a) ผนังด้านหน้าจะวางอยู่บนแผ่นพื้นโดยมีผนังด้านชั้นล่างลงเป็นโครงสร้างรับน้ำหนักในแบบ b) จะใช้คานทับหลังวางบนผนังด้านตลอดช่องเปิดเพื่อใช้คานนี้เป็นตัวรับน้ำหนักผนังด้านหน้าแล้วส่งน้ำหนักผ่านลงชั้นล่าง ๆ ถัดไปตามลำดับ ในแบบ c) ใช้วิธีประกอบด้านเข้ากับกำแพง cross-wall ที่ใช้เป็นโครงสร้างรับน้ำหนักอยู่แล้วโดยตรง

○ Two-Way Span ระบบนี้เป็นระบบที่ให้น้ำหนักของพื้นลงสู่ผนังทั้งสองแนวคือทั้งในแนว cross-wall และ Long-wall นั่นคือผนังทั้งสองแนวจะถูกใช้เป็นผนังรับน้ำหนักทั้งหมดในกรณี นี้พื้นที่ออกแบบจะแบ่งน้ำหนักไปลงผนังทั้งสี่ด้านแทนที่จะเป็นเพียงสองด้าน เช่น ระบบ cross-wall หรือ Long-wall แสดงได้ดังภาพที่ 2.32 พื้นในระบบ two-way span นี้จะมีราคาถูกกว่าพื้นที่ใช้ในระบบทั้ง 2 ระบบเดิมที่กล่าวมาแล้ว และประหยัดที่สุดหากขนาดของพื้นจะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส

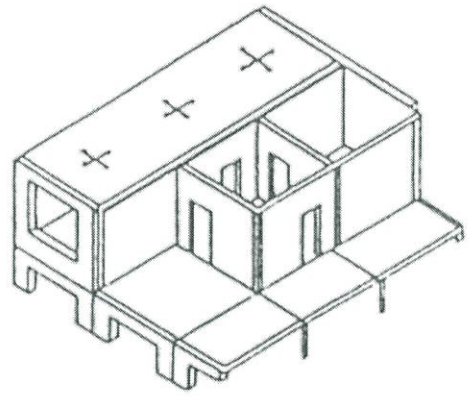


ภาพที่ 2.30 แสดงระบบโครงสร้างแบบ Cross-Wall [7]

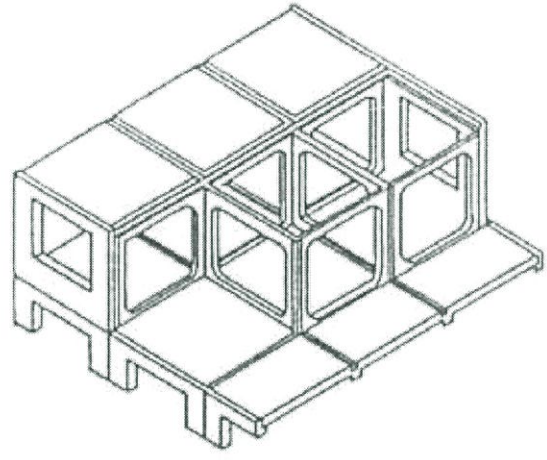


ภาพที่ 2.31 การวางชิ้นส่วนผนังด้านหน้าวิธีต่างๆ ในระบบ cross-wall
a) ผนังวางอยู่บนคานเสริมพิเศษ b) ผนังวางบนพื้น c) ผนังเกาะติดอยู่กับด้านข้างของกำแพง [7]

ข้อดีอีกประการหนึ่งนอกจากจะได้พื้นที่ประหยัดแล้วก็คือระบบนี้จะเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรงมากกว่าระบบอื่น ๆ เนื่องจากมีองค์ประกอบของอาคารที่เป็นโครงสร้างในทุก ๆ แนวแต่ก็มีข้อเสียที่สำคัญก็คือสถาปนิกจะขาดความเป็นอิสระในการออกแบบเป็นอย่างมากเช่นไม่สามารถจะเปิดห้องติดต่อกันโดยตลอดได้ วิธีการแก้ไขก็คือจะเป็นจะต้องใช้ระบบเสาและคานเข้ามาประกอบด้วยในส่วนที่ต้องการจะเปิดโล่งหรือโดยการใช้ผนังแบบที่เป็นกรอบกลวงดังภาพที่ 2.33



ภาพที่ 2.32 แสดงระบบโครงสร้างแบบ two-way span [7]



ภาพที่ 2.33 แสดงระบบโครงสร้างแบบกรอบกรวง (ring-frame) [7]

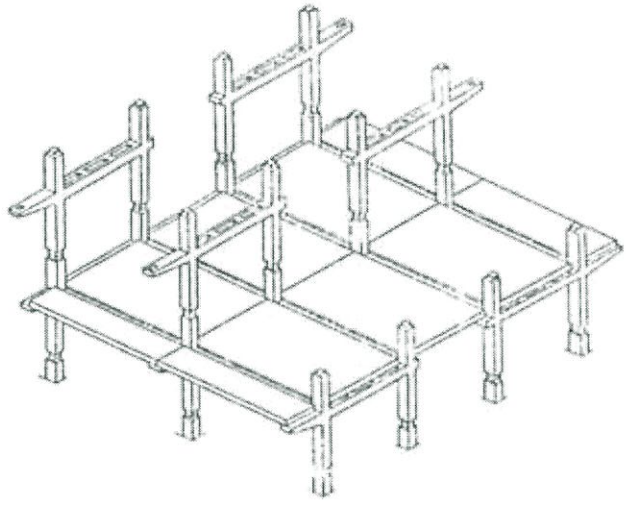
- ระบบเสาและคาน (Skeleton Frame or Column and Beam)

ระบบนี้ก็คือระบบโครงสร้างที่รู้จักกันและใช้กันอย่างแพร่หลาย จนเกือบจะเป็นระบบแบบเดียวที่ใช้ในประเทศไทย แม้กระทั่งในอาคารที่สามารถใช้โคลงสร้างแบบผนังรับน้ำหนักได้อย่างประหยัดกว่าระบบอื่น เช่น อาคารที่พักอาศัยก็ยังคงใช้ระบบเสาและคานเป็นส่วนใหญ่ ระบบเสาและคานนิยมใช้สำหรับอาคารที่ไม่สามารถใช้ระบบผนังรับน้ำหนักได้ เนื่องจากความจำเป็นทางด้านการใช้สอยที่ต้องการเปิดเนื้อที่ให้ผ่านถึงกันได้ตลอดเช่น อาคารโรงงาน สำนักงาน โรงเรือนเป็นต้น

หลักการของโครงสร้างแบบเสาและคาน ก็คือการรับน้ำหนักจากพื้นส่งมาที่คานจากคานส่งน้ำหนักลงเสาโครงสร้าง เสาและคานแบบสำเร็จรูปนอกจากจะแตกต่างจากโครงสร้างแบบหล่อคอนกรีตกับที่ในกรณีที่เสาและคานแบบหล่อสำเร็จรูปแล้วนำมาประกอบกัน แล้วยังมีความแตกต่างจากระบบหล่อกับอีกประการหนึ่งคือโครงสร้างเสาและคานสำเร็จรูป มักจะมีแนวคานสำเร็จรูปอยู่เพียงในแนวใดแนวหนึ่งเท่านั้น ไม่มีคานวิ่งเข้ามาหาเสาทั้งสี่ด้านเหมือนกับการหล่อกับที่ทั้งนี้เพราะจะทำให้เกิดข้อยุ่งยากในการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นอันมาก ดังนั้นในระบบสำเร็จรูปจะมี

คานเฉพาะในแนวรับน้ำหนักจากพื้นเท่านั้นส่วนในอีกแนวหนึ่งซึ่งไม่มีคานยึดนั้นจะถูกยึดโดยแผ่นพื้นหรือผนังดังภาพที่ 2.34

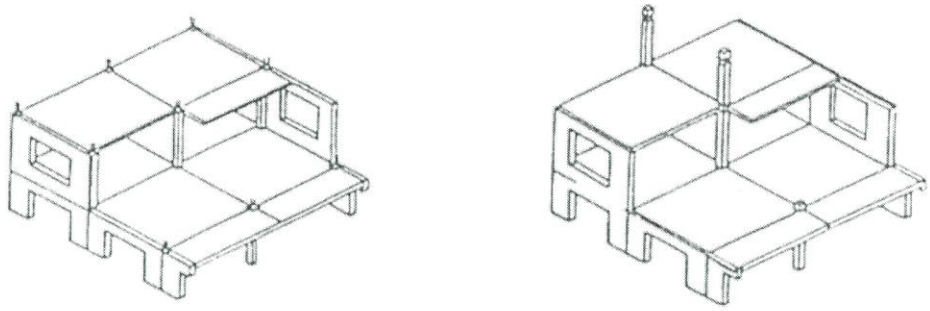
วิธีการต่อชิ้นส่วนของเสาและคานคอนกรีตเข้าด้วยกันมีความยากกว่าระบบแผ่นพื้นรับน้ำหนักเป็นอันมาก วิธีการต่อรอยต่อเสากับคานหลายวิธีก็ได้มาจากการเลียนแบบโครงสร้างไม้และโครงสร้างเหล็กจนผู้กล่าวว่าผู้ที่จะออกแบบโครงสร้างสำเร็จรูปแบบเสาละคานได้ดีควรจะเป็นผู้ที่เข้าใจและศึกษารอยต่อของโครงสร้างไม้มาเป็นอย่างดีก่อน



ภาพที่ 2.34 แสดงระบบโครงสร้างแบบเสาและคาน(Skeleton Frame) [7]

- ระบบเสาและแผ่นพื้นไร้คาน (Beamless Skeleton)

ระบบโครงสร้างชนิดนี้แผ่นพื้นจะวางไปบนเสาโดยตรงโดยไม่ต้องมีคานเช่นเดียวกับโครงสร้างประเภท Flat Slab เสาจะต้องวางห่างกันไม่เกินขนาดของแผ่นพื้นสำเร็จรูปที่วางบนเสาทั้งสี่ ตามหลักการแล้วแผ่นพื้นที่จะสามารถวางอยู่บนปลายของเสาเพียงสี่จุดนั้นจะต้องมีความหนาและปริมาณเหล็กในคอนกรีตมากเป็นพิเศษกว่าแผ่นพื้นชนิดอื่น ๆ ทั้งหมด แต่จะได้ประโยชน์ในด้านความสะดวกรวดเร็วในประกอบและติดตั้งเนื่องจากสามารถตัดองค์ประกอบของโครงสร้างที่สำคัญไปได้หนึ่งส่วนนั้นคือคานโดยจะมีพื้นที่ถูกใช้ให้ทำหน้าที่แทนคานเพื่อยึดเสาให้เป็นโครงสร้างต่อเนื่องทั้งอาคาร โครงสร้างแบบนี้ควรที่จะมีการคำนวณต้านทานแรงลมเป็นพิเศษหรือต้องวางแผนให้มีผนังคอนกรีตเพื่อรับแรงลมรวมอยู่ในโครงสร้างด้วยดังแสดงในภาพที่ 2.35 ส่วนในรัสเซียได้มีการนำระบบเสาและแผ่นพื้นประกอบกับระบบผนังรับน้ำหนักแบบ Long Wall (ภาพที่ 2.35 b) ซึ่งจะทำให้ได้อาคารที่มีช่องเปิดโล่งโดยตลอดเวลาได้ตัวอย่างของโครงสร้างแบบเสาและแผ่นพื้นที่นำใช้ได้แก่โครงการ Wierzbno ในโปแลนด์



ใช้เสาเป็นส่วนรับน้ำหนัก ใช้เสาและผนังช่วยกันรับน้ำหนัก

ภาพที่ 2.35 แสดงระบบโครงสร้างแบบเสาและพื้นไร้คาน (beamless skeleton system) [7]

a) การใช้เสาเป็นโครงสร้างรับน้ำหนัก b) การใช้เสาและผนังเป็นโครงสร้างรับน้ำหนัก

- ระบบกล่อง (Box system)

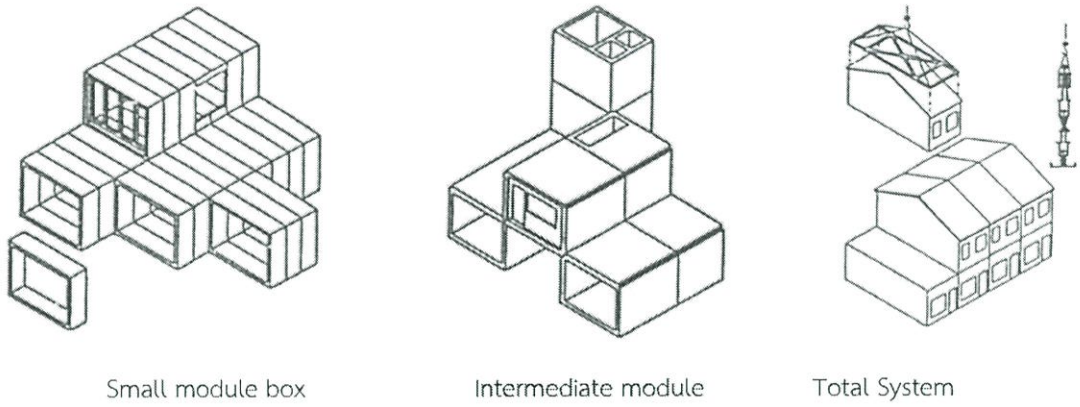
ระบบนี้เป็นระบบที่ประเทศรัสเซียได้พัฒนาขึ้น และต่อมาได้ใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายโครงการของรัสเซียเอง ชิ้นส่วนต่าง ๆ จะถูกประกอบหรือหล่อขึ้นเป็นกล่องสามมิติเท่ากับห้องหนึ่งห้องจากนั้นก็จะมีการตกแต่งภายใน ติดอุปกรณ์ไฟฟ้า ระบบประปาต่าง ๆ เสร็จเรียบร้อยมาจากโรงงานแล้วจึงนำไปวางประกอบเรียงกันเป็นชั้น ๆ ในบริเวณการก่อสร้าง นับว่าเป็นระบบที่สามารถลดแรงงานคนและเวลาที่ต้องใช้ในที่หน่วยงานก่อสร้างได้มากที่สุดกว่าระบบใด ๆ ในปัจจุบัน

ระบบกล่องในปัจจุบันจะมีน้ำหนักตั้งแต่ 12-16 ตัน และมีขนาดพื้นที่ห้องประมาณ 3.5-10 เมตร โดยแบ่งเป็น 2 ระบบย่อยคือ

○ ประเภทขนาดเบาหรือประเภทเดี่ยว ส่วนมากใช้กับอาคารบ้านที่พักอาศัยที่ประกอบด้วยห้องน้ำ ห้องรับแขก และครัวรวมอยู่ในโครงรูปกล่องหนึ่งหรือสองหน่วยต่อกันทุกส่วนหรือทั้งหลังทำสำเร็จรูปจากโรงงานที่หน่วยก่อสร้างก็เพียงเตรียมเสาไว้สำหรับรองรับเมื่อยกส่วนสำเร็จรูปดังกล่าวเข้าติดตั้งท่อระบายน้ำ ท่อน้ำใช้ ไฟฟ้า เท่านั้นก็เข้าอยู่อาศัยได้ทันทีวัสดุก่อสร้างที่ใช้เป็นโครงสร้างหลักมักจะเป็นไม้เพื่อต้องการลดน้ำหนักให้เบาสะดวกต่อเคลื่อนย้าย และที่เลือกใช้เป็นเหล็กหรือคอนกรีตก็มีทำกันแต่เป็นส่วนน้อย

○ ประเภทขนาดเบาหรือประเภทกลุ่ม ได้แก่เอาโครงสำเร็จหนึ่งหน่วยมาประกอบต่อร่วมกันเข้าหลายๆหน่วยอาจเรียงกันเป็นแถวทางนอนเป็นอาคารประเภทเรือนแถวหรือเรียงต่อซ้อนกันทางตั้งขึ้นไปหลายๆ ชั้นวิธีซ้อนต่อกันอาจจัดเรียงต่อแบบสลับช่องเพื่อให้เกิดช่องว่างระหว่างหน่วยทำให้ได้หน่วยเพิ่มพิเศษขึ้นจาการใช้ผนังเพดานร่วมของหน่วยข้างเคียงเป็นการประโยชน์วัสดุไปในตัวหรืออาจจัดวางให้แต่ละหน่วยเรียงชิดกันทั้งทางดิ่งและทางนอน

Box System ถือได้ว่าเป็นระบบที่เข้าถึงระดับงานอุตสาหกรรมชั้นสูงสุด เพราะงานส่วนใหญ่ทำสำเร็จจากโรงงานทั้งสิ้นแม้กระทั่งการปูพรมพื้นประดับรูปภาพที่ผนังเป็นต้น โดยกระบวนการประกอบชิ้นส่วนของระบบ ข้อเสียของระบบนี้อยู่ตรงที่แต่ละหน่วยมีขนาดใหญ่ที่น้ำหนักมากทำให้ขนส่งลำบากต้องใช้อุปกรณ์ยกขนาดใหญ่พิเศษและนำมาใช้ได้กับอาคารบางประเภทเท่านั้น



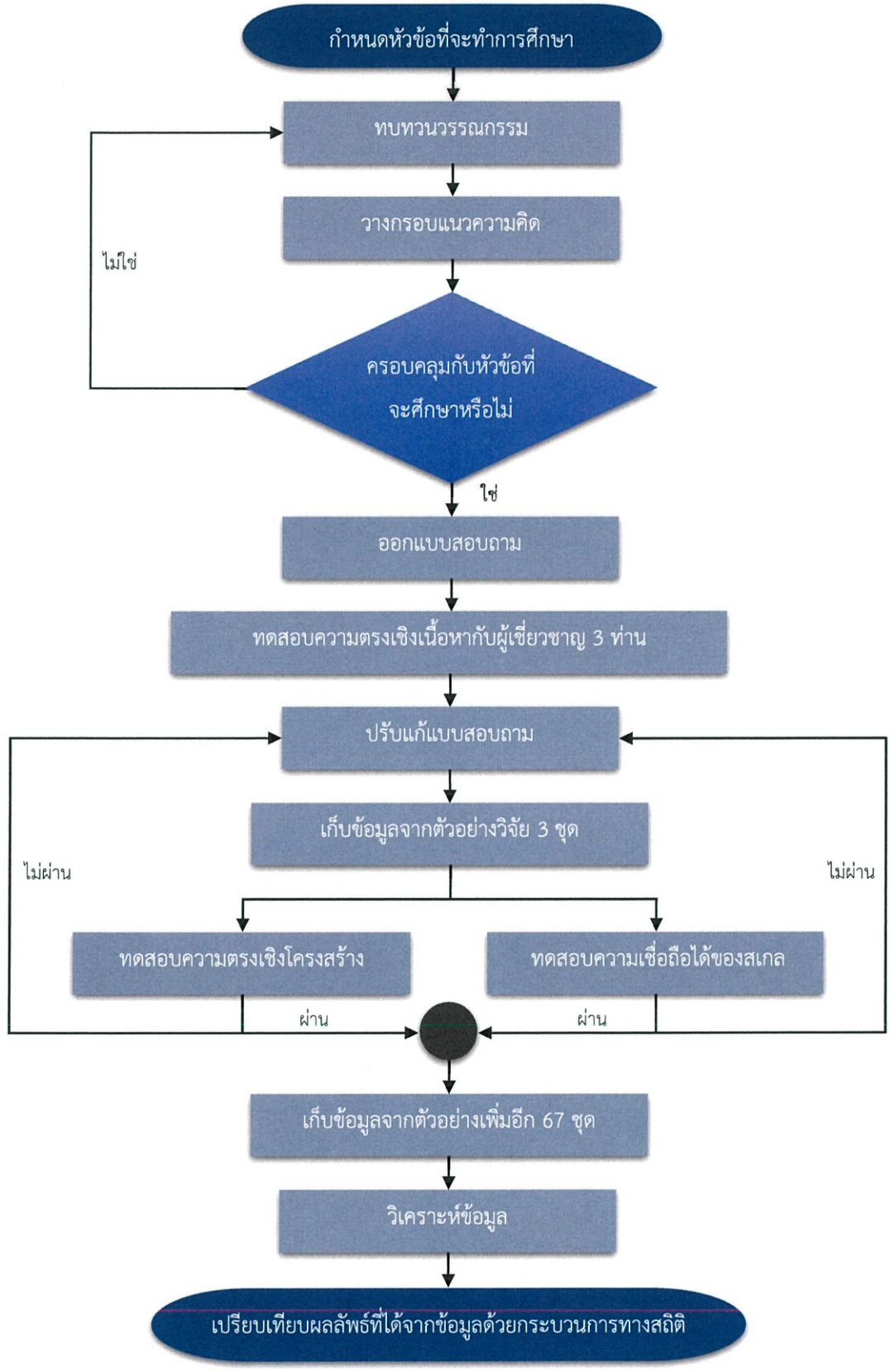
ภาพที่ 2.36 โครงสร้างแบบ box unit [7]

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงปริมาณ เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการเปรียบเทียบการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐฉาบปูนและการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป การดำเนินการวิจัยนี้จึงใช้การเก็บรวบรวมข้อมูลแบบสำรวจจากตัวอย่าง (Survey Research) โดยการจัดทำแบบสอบถามขึ้นเพื่อเป็นการสำรวจระดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบการก่อสร้างบ้านพักอาศัยทั้งสองวิธีโดยใช้เกณฑ์ของคุณสมบัติต่างๆในการเปรียบเทียบโดยสามารถสรุปขั้นตอนการศึกษาได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการศึกษาและเปรียบเทียบคุณภาพของรูปแบบการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐฉาบปูน และระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป

3.2 การออกแบบแบบสอบถามความคิดเห็นเพื่อนการเก็บข้อมูล

การออกแบบแบบสอบถามมีขั้นตอนดังนี้

3.2.1 การกำหนดหัวข้อหรือประเด็นหลักของเนื้อหางานวิจัย

การกำหนดหัวข้อหรือประเด็นหลักของเนื้อหางานวิจัยนี้ ได้กำหนดเป็น 2 ส่วนหลักดังแสดงในภาคผนวก ข โดยเนื้อหาจะสอบคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น

ส่วนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม เป็นการสอบถามประวัติส่วนตัว อาชีพ และประสบการณ์ที่มีเกี่ยวกับการก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่มีระบบการก่อสร้างแบบก่ออิฐฉาบปูนและแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการศึกษาและเปรียบเทียบการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในสองระบบที่แตกต่างกัน โดยสอบถามถึงระดับความสำคัญของปัจจัยนั้นๆ ต่อการก่อสร้างแต่ละรูปแบบ

3.2.2 ชนิดของแบบสอบถาม

ชนิดของแบบสอบถาม (Questionnaire Types) ที่ใช้ในการวิจัยต่างๆนั้นมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและวัตถุประสงค์ของแบบสอบถาม ชนิดของแบบสอบถามที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีรูปแบบคำถามดังนี้

- (Closed-Ended Question) เป็นแบบสอบถามที่ประกอบไปด้วยคำถามและตัวเลือก ซึ่งตัวเลือกนี้สร้างขึ้นโดยคาดว่าผู้ตอบแบบสอบถามสามารถเลือกตอบได้ตามต้องการ และมีอย่างเพียงพอเหมาะสม โดยคำถามปลายปิดโดยคำถามปลายปิดที่เลือกใช้มีรูปแบบดังนี้

  1) คำถามหลายตัวเลือก (Multiple Choice Question) เป็นคำถามที่มีตัวเลือกหลายตัวเลือกให้กับผู้ตอบคำถามในการเลือกมีทั้งคำถามที่เลือกตอบได้ 1 คำตอบ และคำถามที่เลือกได้มากกว่า 1 คำตอบ

  2) คำถามแบบใช้สเกลความสำคัญหรือสเกลความถี่ (Frequency Scale) เป็นคำถามที่ให้สเกลความสำคัญหรือสเกลความถี่ แบ่งออกเป็น 5 ระดับดังนี้ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด ในแต่ละข้อผู้ตอบแบบสอบถามจะเลือกได้เพียงหนึ่งสเกลความสำคัญหรือสเกลความถี่เท่านั้น การตอบแบบสอบถามนี้เมื่อทำการรวบรวมข้อมูลทั้งหมดแล้ว ทำให้ทราบถึงความถี่ของสเกลความสำคัญหรือสเกลความถี่แต่ละลักษณะข้อมูล

ซึ่งเมื่อนำมาหาสัดส่วนต่อจำนวนข้อมูลที่พิจารณาทั้งหมดจะทำให้ทราบถึงสเกลความสำคัญหรือสเกลความถี่สัมพัทธ์ของข้อมูลที่ได้แต่ละข้อ

3.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.3.1 แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

แหล่งข้อมูล (Source of Data) ซึ่งจำแนกตามแหล่งที่มาของข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

1) ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) เป็นข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมขึ้นมาเป็นครั้งแรกจากกลุ่มตัวอย่างโดยตรงซึ่งยังไม่ได้ผ่านการวิเคราะห์หรือสังเคราะห์เป็นเอกสาร สำหรับงานวิจัยนี้ได้เก็บข้อมูลปฐมภูมิจากแบบสอบถามที่ได้ถามกลุ่มตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐฉาบปูนและระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป

2) ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data) เป็นข้อมูลที่ไม่ได้เก็บรวบรวมจากแหล่งข้อมูลโดยตรง ในที่นี้คือข้อมูลที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบการก่อสร้างแบบก่ออิฐฉาบปูนและระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป ปัจจัยที่ใช้ในการเปรียบเทียบการก่อสร้างบ้านสองระบบเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หรือสังเคราะห์แล้วนำมาสร้างกรอบแนวความคิดและวิธีการวิจัยในครั้งนี้

3.3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

งานวิจัยนี้ได้กำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ไว้ดังนี้

1) ประชากร (Population) ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในพื้นที่เขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

2) กลุ่มตัวอย่าง (Sample) ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือจำนวนผู้ที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างบ้านพักอาศัย เช่น วิศวกรสนาม วิศวกรโครงการ ผู้ควบคุมงาน ผู้รับเหมา ผู้บริหารโครงการ เป็นต้น ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

3.3.3 วิธีการสุ่มตัวอย่าง

การสุ่มตัวอย่างนั้นกระทำโดยการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยการเก็บข้อมูลกับผู้ที่เกี่ยวข้องกับการการก่อสร้างบ้านพักอาศัยโดยตรง โดยช่วงเวลาในการดำเนินเก็บข้อมูลเริ่มตั้งแต่วันที่ 12 ตุลาคม 2560 ถึง 10 พฤศจิกายน 2560 ซึ่งแบบทำการแจกแบบสอบถามแก่ผู้ตอบโดยวิธีการ ดังนี้

1) ทำการแจกแบบสอบถามโดยตรงโดยตัวผู้วิจัยเอง

2) ส่งแบบสอบถามกับพนักงานที่พบเจอกับผู้ที่เกี่ยวข้อง

3.4 เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย หรือเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ผู้วิจัยนำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นแบบสอบถาม (Questionnaire) ซึ่งได้กำหนดเป็น 2 ส่วนหลักๆ ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข. ดังนี้

ส่วนที่ 1 : ข้อมูลส่วนบุคคลมีคำถามอยู่ 2 ข้อใหญ่ ซึ่งเป็นการถามถึงคุณสมบัติของผู้ทำการสอบถามและองค์กร ประกอบไปด้วย ตำแหน่ง ประสบการณ์การทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม และงานก่อสร้างที่ผู้ตอบแบบสอบถามกำลังรับผิดชอบ โดยเป็นชนิดปลายปิด (Closed-Ended Question) และปลายเปิด (Opened-Ended Question) ที่มีทางเลือกของคำตอบกำหนดไว้คงที่และให้ผู้ตอบแบบสอบถามได้เลือกเองเพียง 1 คำตอบ หรือเป็นคำถามที่คำตอบไม่ได้กำหนดไว้คงที่คำตอบขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของผู้ตอบแบบสอบถาม ดังตัวอย่างคำถามปลายปิดข้อที่ 1.1.1 “ตำแหน่งปัจจุบัน”

☐ ผู้บริหารโครงการ ☐ วิศวกร.....

☐ โฟร์แมนก่อสร้าง ☐ ช่างเทคนิค งาน.....

☐ พนักงานเขียนแบบ ☐ ผู้รับเหมางานก่อสร้าง

☐ สถาปนิก/มัณฑนากร ☐ อื่นๆ.....

ตัวอย่างคำถามปลายเปิดข้อที่ 1.2.2 มูลค่าโดยประมาณของงาน/โครงการที่องค์กรของท่านรับผิดชอบอยู่.....บาท

ส่วนที่ 2 : ข้อมูลเกี่ยวกับกลุ่มปัจจัยและปัจจัยย่อยที่บ่งชี้การบริหารโครงการก่อสร้างบ้านจัดสรร ในส่วนนี้แยกคำถามออกตามกลุ่มของปัจจัย 6 ปัจจัยและแยกเป็นปัจจัยย่อยตามกลุ่มของปัจจัยนั้นๆโดยเป็นการสอบถามระดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย ในส่วนนี้เป็นคำถามลักษณะปลายปิด (Closed-Ended Question) ที่ใช้สเกลความมีอิทธิพลหรือสเกลความถี่ (Importance Scale or Frequency Scale) โดยกำหนดช่วงวัดที่มีค่าต่อเนื่องกัน 5 ระดับแบบไลเคิร์ท (Likert Scale) ดังนี้

1 หมายถึง ความสำคัญของปัจจัยนั้นอยู่ในระดับต่ำมาก หรือไม่มีความสำคัญเลยต่อการบ่งชี้คุณภาพของการก่อสร้างบ้านพักอาศัย

2 หมายถึง ความสำคัญของปัจจัยนั้นอยู่ในระดับต่ำ ต่อการบ่งชี้คุณภาพของการก่อสร้างบ้านพักอาศัย

3 หมายถึง ความสำคัญของปัจจัยนั้นอยู่ในระดับปานกลาง ต่อการบ่งชี้คุณภาพของการก่อสร้างบ้านพักอาศัย

4 หมายถึง ความสำคัญของปัจจัยนั้นอยู่ในระดับสูง ต่อการบ่งชี้คุณภาพของการก่อสร้างบ้านพักอาศัย

5 หมายถึง ความสำคัญของปัจจัยนั้นอยู่ในระดับสูงมาก ต่อการบ่งชี้คุณภาพของการก่อสร้างบ้านพักอาศัย

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างแบบสอบถามปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของการก่อสร้างโครงการบ้านพักอาศัยในระบบก่อสร้างประเภทต่างๆ

ปัจจัย	ระบบการก่อสร้างก่ออิฐฉาบปูน					ระบบการก่อสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป				
	มาก				น้อย	มาก				น้อย
	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
1. ด้านเทคนิคการก่อสร้างและงานระบบ										
1.1 มีความซับซ้อนต่อการลำดับขั้นตอนในการเตรียมงานตั้งแต่เริ่มต้น										
1.2 การใช้เทคนิควิธีการในการทำงาน										
1.3 ปริมาณแรงงานคนที่ใช้ในการก่อสร้าง										
1.4 ความรู้และประสบการณ์ของบุคลากรต่อระบบการก่อสร้างบ้านพักอาศัย										

1.5 ความยากต่อการตรวจสอบและควบคุม										
2. ด้านสถาปัตยกรรม/วิศวกรรม										
2.1 สามารถทำงานด้านสถาปัตกรรม/วิศวกรรมได้เต็มประสิทธิภาพ										
2.2 ความยากในการทำงานด้านสถาปัตกรรม/วิศวกรรม										
2.3 ความสวยงามของรูปร่างลักษณะภายนอก										
2.4 ความยากในการบำรุงรักษา										
ปัจจัย	**ระบบการก่อสร้างก่ออิฐฉาบปูน**					**ระบบการก่อสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป**				
	มาก				น้อย	มาก				น้อย
	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
3. ด้านประสิทธิภาพของงานก่อสร้าง										
3.1 คุณภาพของงานก่อสร้าง										
3.2 ความแข็งแรงและความคงทน										
3.3 ปัญหาการแตกร้าว										
3.4 การป้องกันความร้อน										
3.5 การต้านทานการซึมน้ำ										
4. ด้านเวลาและการเงิน										
4.1 ต้นทุนในการก่อสร้าง										
4.2 เวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง										
4.3 ปัจจัยของฤดูกาลมีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในงานก่อสร้าง										
5. ผลกระทบจากงานก่อสร้าง										
5.1 มลภาวะทางเสียง										
5.2 มลภาวะทางอากาศ										
5.3 ความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุเนื่องจากการทำงาน										
5.4 ความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่ข้างเคียง										

3.4.2 การทดสอบเครื่องมือ

ก่อนที่จะนำแบบสอบถามไปทำการสำรวจนั้น จะต้องทำการทดสอบหาความเที่ยงตรง (Validity) และความเชื่อถือได้ (Reliability) ดังนี้

3.4.2.1 ความเที่ยงตรง (Validity) หมายถึง ความถูกต้องแม่นยำของแบบสอบถามที่สามารถวัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ หรือเป็นความสามารถของแบบสอบถามที่สามารถสะท้อนความหมายที่แท้จริงของแนวคิดที่ต้องการศึกษาได้อย่างสมบูรณ์และถูกต้อง โดยกำหนดการทดสอบความตรงเป็น 2 ประเด็น คือ

1) การทดสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) เป็นการทดสอบว่าเครื่องมือที่จะใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลวัดพฤติกรรมได้ตรงกับเนื้อหาที่ต้องการจะวัดหรือไม่และต้องพิจารณาความครอบคลุมเนื้อหาที่ต้องการจะวัดด้วย ทำการทดสอบโดยให้ผู้มีประสบการณ์ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยทั้งสองรูปแบบจำนวน 3 ท่าน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ

- ตรวจสอบข้อความในแบบสอบถามว่ามีความเข้าใจหรือไม่ ปรึกษาหาแนวทางการแก้ไขหากมีความบกพร่อง
- ปัจจัยที่แสดงในแบบสอบถามเหมาะสมต่อการเปรียบเทียบการก่อสร้างบ้านพักอาศัยระบบก่ออิฐฉาบปูนและระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปหรือไม่
- มีปัจจัยอื่นๆเพิ่มเติมหรือไม่
- เห็นด้วยกับการจัดกลุ่มปัจจัยตามแบบสอบถามหรือไม่ ปรึกษาหาแนวทางการแก้ไขหากไม่เห็นด้วย

หลังจากการทดสอบความตรงเชิงเนื้อหากับผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์สูงแล้วทำการปรับแก้ไขแบบสอบถามตามคำแนะนำ ทำการส่งแบบสอบถามไปยังตัวอย่างวิจัยจำนวน 18 ชุด เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปทดสอบความตรงเชิงโครงสร้างและความเชื่อถือได้ของสเกลที่ใช้วัดปัจจัยต่อ

การทดสอบความเที่ยงตรงเชิงโครงสร้าง (Construct Validity) โดยก่อนการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทำการตรวจสอบการแจกแจงความถี่ของข้อมูลด้วยค่าความเบ้ (Skewness) ดังแสดงในสมการที่ 3.1 เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) หรือมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ (Un-normal Distribution)

$$\text{สัมประสิทธิ์ความเบ้ของตัวอย่าง} = \frac{3\,(\text{Mean} - \text{Median})}{\text{SD}}$$

โดยที่ Mean = ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

Median = ค่ามัธยฐานข้อมูล

SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ถ้าสัมประสิทธิ์ความเบ้ที่คำนวณได้ = 0 แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (สมมาตร)

ถ้าสัมประสิทธิ์ความเบ้ที่คำนวณได้ > 0 แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ (เบ้ขวา)

ถ้าสัมประสิทธิ์ความเบ้ที่คำนวณได้ < 0 แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ (เบ้ซ้าย)

ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ

3.4.2.2 การทดสอบความเชื่อถือได้ของสเกล (Reliability) ซึ่งทำการวิเคราะห์ข้อมูลใช้วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ Cronbach's Alpha (Cronbach's Alpha Coefficient) ซึ่งเป็นเทคนิควัดความสอดคล้องภายในชุดเดียวกัน (Internal Consistency) ดังแสดงในสมการที่ 3.3 ซึ่งสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก SPSS Training [3] และกัลยา วานิชย์บัญชา [1]

$$\text{Cronbach's Alpha} = \frac{k\,\overline{\text{covariance}} \,/\, \overline{\text{variance}}}{1 + (k-1)\,\overline{\text{covariance}} \,/\, \overline{\text{variance}}}$$

โดยที่ k = จำนวนคำถาม

$\overline{\text{covariance}}$ = ค่าเฉลี่ยของค่าแปรปรวนร่วมระหว่างคำถามต่างๆ

$\overline{\text{variance}}$ = ค่าเฉลี่ยของค่าแปรปรวนของคำถาม

ในกรณีที่มีการ Standardized แต่ละคำถาม ค่า Cronbach's Alpha จะกลายเป็น

$$\text{Cronbach's Alpha} = \frac{k\,\bar{r}}{1 + (k-1)\,\bar{r}}$$

จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ Cronbach's Alpha สำหรับการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐ ฉาบปูน และการก่อสร้างบ้านในระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป ได้เท่ากับ 0.703 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.7 แสดงให้เห็นว่าสเกลหรือเครื่องมือวัดมีความน่าเชื่อถือได้อยู่ในเกณฑ์ดี (Good) ดังที่ระบุใน SPSS Training [3] หรือค่าสัมประสิทธิ์ Cronbach's

Alpha มีค่าเข้าใกล้ 1 มากก็จะถือว่าสเกลหรือเครื่องมือวัดมีความน่าเชื่อถือได้สูงมากตามคำกล่าวของกัลยา วานิชย์ บัญชา [1]

หลังจากการทดสอบความตรงเชิงโครงสร้างและความเชื่อถือได้ของสเกลผ่านแล้ว ก็เข้าสู่ขั้นตอนการสำรวจแบบสอบถามจากตัวอย่างวิจัยต่อไป

3.5 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อได้ข้อมูลจากการสำรวจแล้วทำการวิเคราะห์ โดยวิเคราะห์เป็นส่วนๆ ดังนี้

3.5.1 วิเคราะห์ข้อมูลแบบสอบถามส่วนที่ 1: ข้อมูลส่วนบุคคล

โดยการวิเคราะห์ในทุกข้อคำ ถามในส่วนที่ 1 ด้วยหาค่าความถี่ ร้อยละ เปรียบเทียบและการวิจารณ์ผลที่ได้

3.5.2 วิเคราะห์ข้อมูลแบบสอบถามส่วนที่ 2: เปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลกระทบและมีความสำคัญต่อความสำเร็จของโครงการในระบบก่อสร้างประเภทต่างๆ ดังนี้

(1) เปรียบเทียบลำดับความมีอิทธิพลของปัจจัยโดยใช้ตัวชี้ระดับความสำคัญตามสมการที่ (x)

$$\text{ตัวชี้ระดับความสำคัญ} = \frac{\text{ค่าเฉลี่ยระดับความสำคัญ}}{\text{ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน}} \quad (x)$$

(2) เปรียบเทียบความเหมือนและแตกต่างของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐ ฉาบปูน และระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป ในมุมมองของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการก่อสร้างบ้านพักอาศัยสองระบบ โดยใช้วิธี Mann-Whitney U Test โดยกำหนดสมมติฐานการวิจัยคือ

H_0: ค่ากลางของระดับความสำคัญของคุณภาพการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐฉาบปูน และระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปไม่ต่างกัน

H_1: ค่ากลางของระดับความสำคัญของคุณภาพการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐฉาบปูน และระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปต่างกัน

การทดสอบสมมติฐานใช้ระดับความเชื่อมั่น 95% ความมีนัยสำคัญ (α) = 0.05 โดยนำค่า Significance ที่คำนวณได้จากการคำนวณด้วยวิธี Mann-Whitney U Test ผ่านโปรแกรม SPSS เปรียบเทียบกับระดับความมีนัยสำคัญ (α) ดังนี้

ถ้า Sig. < α ปฏิเสธสมมติฐาน H_0

ถ้า Sig. > α ยอมรับสมมติฐาน H_0

3.6 สรุป

เริ่มด้วยการทบทวนวรรณกรรมจากวารสาร ตำราต่างๆ และวิทยานิพนธ์ของประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างบ้านพักอาศัย และทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับปัจจัยที่ใช้บ่งชี้คุณภาพของการก่อสร้างบ้านพักอาศัย หลังจากนั้นวางกรอบแนวความคิดหลัก เกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการก่อสร้างบ้านพักอาศัย จากนั้นได้ออกแบบสอบถามเพื่อสำรวจระดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย ซึ่งก่อนนำแบบสอบถามไปสำรวจนั้นได้ทำการทดสอบความตรง (Content Validity) ของแบบสอบถามโดยทำการทดสอบกับผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างบ้านจัดสรรจำนวน 3 คนที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับโครงการบ้านจัดสรรไม่น้อยกว่า 10 ปี เพื่อปรับปรุงแบบสอบถามให้กระชับชัดเจนและเข้าใจตรงประเด็นกับการบ่งชี้คุณภาพการก่อสร้างบ้านพักอาศัย จากนั้นจึงทำการแจกแบบสอบถาม ซึ่งข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากแบบสอบถามจะถูกนำไปวิเคราะห์ในบทถัดไป

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 บทนำ

จากบทที่ผ่านมาหลังจากทำการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างของผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างบ้านบ้านพักอาศัยในระบบการก่อสร้างแบบก่ออิฐฉาบปูนและการก่อสร้างในระบบแผ่นสำเร็จรูปในพื้นที่เขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งจำนวนแบบสอบถามที่ใช้สำรวจมีทั้งสิ้น 70 ชุดได้รับการตอบ 63 ชุด คิดเป็น 90.00% ซึ่งถือว่าดีมาก [10] โดยแบบสอบถามถูกส่งไปด้วยวิธีการ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงจำนวนของแบบสอบถาม

วิธีการ	จำนวนทั้งหมด (ชุด)	ได้คืนหรือตอบคำถาม		ไม่ได้คืนหรือไม่ตอบคำถาม	
		(ชุด)	(%)	(ชุด)	(%)
ทำการแจกแบบสอบถามโดยตรงกับผู้ที่เกี่ยวข้อง	50	48	68.57	2	2.86
ทำการส่งแบบสอบถามกับพนักงานที่พบเจอกับผู้ที่เกี่ยวข้อง	20	15	21.43	5	7.14
รวมทั้งหมด	70	63	90	7	10

จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ โดยแยกเป็นส่วนๆ ประกอบด้วย

(1) วิเคราะห์แบบสอบถามส่วนที่ 1: ข้อมูลส่วนบุคคล โดยทำการหาค่าความถี่และร้อยละ

(2) วิเคราะห์ข้อมูลแบบสอบถามส่วนที่ 2: ปัจจัยและปัจจัยย่อยที่ใช้ในการเปรียบเทียบการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐฉาบปูนและระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป

4.2 วิเคราะห์แบบสอบถามส่วนที่ 1: ข้อมูลส่วนบุคคล

เป็นการวิเคราะห์โดยการหาค่าความถี่และร้อยละ ซึ่งคำถามเหล่านี้ได้ถามเพื่อต้องการทราบข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถามการศึกษาและเปรียบเทียบคุณภาพของรูปแบบการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐ ฉาบปูน และระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป โดยแสดงในข้อย่อยของคำถาม ดังนี้

คำถามข้อที่ 1.1 ขอทราบคุณสมบัติของท่าน

คำถามข้อที่ 1.1.1 ตำแหน่งปัจจุบัน

คำถามข้อที่ 1.1.2 ระยะเวลาที่ดำรงตำแหน่งปัจจุบัน

ตารางที่ 4.2 แสดงคุณลักษณะ ตำแหน่งปัจจุบัน และระยะเวลาที่ดำรงตำแหน่งปัจจุบันของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตำแหน่งปัจจุบัน	จำนวน (คน)	ร้อยละ	ระยะเวลาดำรงตำแหน่งปัจจุบันเฉลี่ย (ปี)
ผู้บริหารโครงการ	2	3.18	4.18
วิศวกรโครงการ	3	4.76	7.08
วิศวกรโยธา	28	44.44	5.67
วิศวกรไฟฟ้า	3	4.76	3.33
ช่างเทคนิค งานติดตั้ง	5	7.94	2.11
สถาปนิก	2	3.18	2.67
ผู้รับเหมา	13	20.63	11.25
ผู้ตรวจสอบงาน	7	11.11	3.33
รวม	63	100.00	4.95

คำถามข้อที่ 1.1.3 ประสบการณ์การทำงานก่อสร้างบ้านพักอาศัยแบบก่ออิฐ ฉาบปูน

ตารางที่ 4.3 แสดงคุณลักษณะ ประสบการณ์ในการทำงานก่อสร้างบ้านพักอาศัยแบบก่ออิฐ ฉาบปูน ของผู้ตอบแบบสอบถาม

ประสบการณ์ในการทำงานก่อสร้างบ้านพักอาศัย แบบก่ออิฐ ฉาบปูน (ปี)	จำนวน (คน)	ร้อยละ
0 – 1	15	23.81
1 – 2	5	7.94
2 – 3	10	15.87
3 – 4	7	11.11
4 – 5	3	4.76
5 – 6	8	12.70
6 – 7	5	7.94
7 – 8	5	7.94
ตั้งแต่ 8 ปีขึ้นไป	5	7.94
รวม	63	100.00

คำถามข้อที่ 1.1.4 ประสบการณ์การทำงานก่อสร้างบ้านพักอาศัยแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป

ตารางที่ 4.4 แสดงคุณลักษณะ ประสบการณ์ในการทำงานก่อสร้างบ้านพักอาศัยแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป ของผู้ตอบแบบสอบถาม

ประสบการณ์ในการทำงานก่อสร้างบ้านพักอาศัย แบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป (ปี)	จำนวน (คน)	ร้อยละ
0 – 1	15	23.81
1 – 2	7	11.11
2 – 3	12	19.05
3 – 4	11	17.46
4 – 5	7	11.11
5 – 6	2	3.17

6 – 7	3	4.76
7 – 8	1	1.59
ตั้งแต่ 8 ปีขึ้นไป	5	7.94
รวม	63	100.00

คำถามข้อที่ 1.2 คุณสมบัติองค์กรของท่าน

1.2.1 ลักษณะของงาน/โครงการที่องค์กรของท่านรับผิดชอบอยู่ (เลือกได้มากกว่า 1 แห่ง)

ตารางที่ 4.5 แสดงคุณลักษณะของงาน หรือโครงการที่องค์กรของผู้ตอบแบบสอบถามทำการรับผิดชอบอยู่ (เลือกได้มากกว่า 1 งาน)

ลักษณะของงาน หรือโครงการที่องค์กรของผู้ตอบแบบสอบถามรับผิดชอบอยู่	จำนวน (คน)	ร้อยละ
บ้านเดี่ยว 2 ชั้น	64	83.12
ทาวน์เฮาส์ 2 ชั้น	13	16.88
อื่นๆ	0	0

4.3 วิเคราะห์แบบสอบถามส่วนที่ 2 : เปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลกระทบและมีความสำคัญต่อคุณภาพของโครงการก่อสร้างในระบบประเภทต่างๆ

4.3.1) ตรวจสอบค่าระดับความสำคัญของปัจจัยในการเปรียบเทียบการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐ ฉาบปูน และระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป

ผลการหาระดับความสำคัญของปัจจัยในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยระบบก่อสร้างระบบก่ออิฐฉาบ ปูนและระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป แสดงดังตารางที่ 4.6 และตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของการก่อสร้างบ้านพักอาศัยแบบก่ออิฐ ฉาบปูน

ปัจจัย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ตัวชี้ระดับความมีอิทธิพล	ลำดับ
สามารถทำงานด้านสถาปัตกรรม/วิศวกรรมได้เต็มประสิทธิภาพ	4.48	0.50	8.89	1
เวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง	4.52	0.59	7.64	2
ปริมาณแรงงานคนที่ใช้ในการก่อสร้าง	4.48	0.59	7.56	3
ความยากต่อการตรวจสอบและควบคุม	4.48	0.67	6.70	4
ปัญหาการแตกร้าว	4.33	0.72	6.03	5
ความรู้และประสบการณ์ของบุคลากรต่อระบบการ ก่อสร้างบ้านพักอาศัย	4.10	0.76	5.42	6
ปัจจัยของฤดูกาลส่งผลเวลาที่ใช้ในงานก่อสร้าง	4.10	0.76	5.42	7
ความยากในการบำรุงรักษา	4.00	0.76	5.25	8
เทคนิควิธีการในการทำงาน	4.05	0.79	5.11	9
ต้นทุนในการก่อสร้าง	4.05	0.79	5.11	10
คุณภาพของงานก่อสร้าง	3.95	0.79	4.99	11
ความสวยงามของรูปร่างลักษณะภายนอก	3.86	0.78	4.95	12
ความแข็งแรงและความคงทน	4.00	0.82	4.86	13
ความยากในการทำงาน	4.10	0.87	4.68	14
ความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุเนื่องจากการทำงาน	3.62	0.85	4.25	15
การป้องกันความร้อน	3.71	0.89	4.18	16
ความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่ข้างเคียง	3.52	0.86	4.10	17
ความซับซ้อนต่อการลำดับขั้นตอนในการเตรียมงานตั้งแต่เริ่มต้น	3.90	0.98	3.99	18
มลภาวะทางเสียง	3.71	0.94	3.95	19
การต้านทานการซึมน้ำ	3.71	0.99	3.75	20
มลภาวะทางอากาศ	3.43	1.06	3.24	21

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของการก่อสร้างบ้านพักอาศัยแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป

ปัจจัย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ตัวชี้ระดับความมีอิทธิพล	ลำดับ
ความแข็งแรงและความคงทน	4.62	0.58	7.96	1
คุณภาพของงานก่อสร้าง	4.33	0.72	6.03	2
ต้นทุนในการก่อสร้าง	3.95	0.73	5.43	3
ความรู้และประสบการณ์ของบุคลากรต่อระบบการ ก่อสร้างบ้านพักอาศัย	4.14	0.78	5.31	4
ความสวยงามของรูปร่างลักษณะภายนอก	4.00	0.76	5.25	5
ความยากต่อการตรวจสอบและควบคุม	4.33	0.90	4.83	6
ความยากในการทำงาน	3.38	0.73	4.64	7
การป้องกันความร้อน	4.14	0.90	4.63	8
ปริมาณแรงงานคนที่ใช้ในการก่อสร้าง	3.05	0.73	4.19	9
เทคนิควิธีการในการทำงาน	3.67	0.95	3.86	10
ความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุเนื่องจากการทำงาน	3.86	1.05	3.69	11
ความยากในการบำรุงรักษา	3.43	0.96	3.56	12
มลภาวะทางอากาศ	2.81	0.80	3.51	13
ความซับซ้อนต่อการลำดับขั้นตอนในการเตรียมงานตั้งแต่เริ่มต้น	3.33	0.95	3.51	14
สามารถทำงานด้านสถาปัตกรรม/วิศวกรรมได้เต็มประสิทธิภาพ	3.81	1.15	3.32	15
การต้านทานการซึมน้ำ	3.86	1.18	3.28	16
ความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่ข้างเคียง	3.24	1.03	3.15	17
ปัจจัยของฤดูกาลส่งผลเวลาที่ใช้ในงานก่อสร้าง	3.38	1.14	2.96	18
มลภาวะทางเสียง	2.81	0.96	2.91	19
ปัญหาการแตกร้าว	3.10	1.12	2.77	20
เวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง	2.57	1.15	2.24	21

จากตารางที่ 4.6 ค่าระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของการก่อสร้างบ้านพักอาศัยแบบก่ออิฐ ฉาบปูน จะเห็นได้ว่าปัจจัยอันดับ 1 คือสามารถทำงานด้านสถาปัตกรรม/วิศวกรรมได้เต็มประสิทธิภาพ ซึ่งถือเป็นข้อดีในงานตกแต่งและต่อเติมได้อย่างสะดวกขณะก่อสร้างและในอนาคต ทั้งนี้ต่างจากตารางที่ 4.7 ค่าระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของการก่อสร้างบ้านพักอาศัยแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป โดยปัจจัยอันดับ 1 คือความแข็งแรงและความคงทนเนื่องด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปได้ผ่านกระบวนการผลิตที่ได้มาตรฐานจากโรงงานทำให้การประกอบเป็นตัวบ้านมีความแข็งแรงคงทนมาก

4.3.2) เปรียบเทียบความเหมือนและแตกต่างของปัจจัยที่มีความสำคัญต่อความสำเร็จของโครงการก่อสร้างระบบก่ออิฐฉาบ ปูนและระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป โดยใช้วิธี Mann-Whitney U Test

ผลการเปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างของปัจจัยแสดงดังตารางที่ 4.8 และ 4.9

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการวิเคราะห์ ทดสอบค่า p-value ของปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบการก่อสร้างแบบก่ออิฐ ฉาบปูนและระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป

ปัจจัย	p-value
1.1 ความซับซ้อนต่อการลำดับขั้นตอนในการเตรียมงานตั้งแต่เริ่มต้น	0.001
1.2 เทคนิควิธีการในการทำงาน	0.024
1.3 ปริมาณแรงงานคนที่ใช้ในการก่อสร้าง	0.000
1.4 ความรู้และประสบการณ์ของบุคลากรต่อระบบการ ก่อสร้างบ้านพักอาศัย	0.719
1.5 ความยากต่อการตรวจสอบและควบคุม	0.619
2.1 สามารถทำงานด้านสถาปัตกรรม/วิศวกรรมได้เต็มประสิทธิภาพ	0.000
2.2 ความยากในการทำงาน	0.000
2.3 ความสวยงามของรูปร่างลักษณะภายนอก	0.188
2.4 ความยากในการบำรุงรักษา	0.001
3.1 คุณภาพของงานก่อสร้าง	0.002
3.2 ความแข็งแรงและความคงทน	0.000
3.3 ปัญหาการแตกร้าว	0.000
3.4 การป้องกันความร้อน	0.006
3.5 การต้านทานการซึมน้ำ	0.307

4.1 ต้นทุนในการก่อสร้าง	0.558
4.2 เวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง	0.000
4.3 ปัจจัยของฤดูกาลส่งผลเวลาที่ใช้ในงานก่อสร้าง	0.000
5.1 มลภาวะทางเสียง	0.000
5.2 มลภาวะทางอากาศ	0.000
5.3 ความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุเนื่องจากการทำงาน	0.074
5.4 ความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่ข้างเคียง	0.093

หมายเหตุ ค่า p-value < 0.05 แสดงว่าปัจจัยที่มีต่อความสำคัญต่อคุณภาพของการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบการก่อสร้างแบบก่ออิฐ ฉาบปูนและระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.9 แสดงความแตกต่างของปัจจัยความสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของงานก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐ ฉาบปูน และระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปอย่างมีนัยสำคัญ

ปัจจัย	ค่าเฉลี่ยความสำคัญ		ความแตกต่างของปัจจัย
	ก่ออิฐฉาบปูน	ชิ้นส่วนสำเร็จรูป	
ความซับซ้อนต่อการลำดับขั้นตอนในการเตรียมงานตั้งแต่เริ่มต้น	3.90	3.33	แตกต่าง
เทคนิควิธีการในการทำงาน	4.05	3.67	แตกต่าง
ปริมาณแรงงานคนที่ใช้ในการก่อสร้าง	4.48	3.05	แตกต่าง
ความรู้และประสบการณ์ของบุคลากรต่อระบบการ ก่อสร้างบ้านพักอาศัย	4.10	4.14	ไม่แตกต่าง
ความยากต่อการตรวจสอบและควบคุม	4.48	4.33	ไม่แตกต่าง
สามารถทำงานด้านสถาปัตกรรม/วิศวกรรมได้เต็มประสิทธิภาพ	4.48	3.81	แตกต่าง
ความยากง่ายในการทำงาน	4.10	3.38	แตกต่าง
ความสวยงามของรูปร่างลักษณะภายนอก	3.86	4.00	ไม่แตกต่าง
ความยากในการบำรุงรักษา	4.00	3.43	แตกต่าง
คุณภาพของงานก่อสร้าง	3.95	4.33	แตกต่าง
ความแข็งแรงและความคงทน	4.00	4.62	แตกต่าง
ปัญหาการแตกร้าว	4.33	3.10	แตกต่าง

การป้องกันความร้อน	3.71	4.14	แตกต่าง
การต้านทานการซึมน้ำ	3.71	3.86	ไม่แตกต่าง
ต้นทุนในการก่อสร้าง	4.05	3.95	ไม่แตกต่าง
เวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง	4.52	2.57	แตกต่าง
ปัจจัยของฤดูกาลส่งผลเวลาที่ใช้ในงานก่อสร้าง	4.10	3.38	แตกต่าง
มลภาวะทางเสียง	3.71	2.81	แตกต่าง
มลภาวะทางอากาศ	3.43	2.81	แตกต่าง
ความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุเนื่องจากการทำงาน	3.62	3.86	ไม่แตกต่าง
ความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่ข้างเคียง	3.52	3.24	ไม่แตกต่าง

จากตารางที่ 4.9 พบว่าค่าเฉลี่ยของระดับความสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของงานก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐ ฉาบปูน และระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปอย่างมีนัยสำคัญแตกต่างกันอยู่ 14 ปัจจัย (66.67%) จึงทำการแยกวิเคราะห์เพื่อหาน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยเป็นสองระบบ ผลแสดงดังตารางที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 แสดงน้ำหนักความสำคัญของกลุ่มปัจจัยและปัจจัยของคุณภาพการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐ ฉาบปูน

ปัจจัย	ตัวชี้ระดับความสำคัญ	น้ำหนักความสำคัญ
1. ด้านเทคนิคการก่อสร้างและงานระบบ	**28.777**	**26.141**
ความซับซ้อนต่อการลำดับขั้นตอนในการเตรียมงานตั้งแต่เริ่มต้น	3.988	3.623
เทคนิควิธีการในการทำงาน	5.113	4.644
ปริมาณแรงงานคนที่ใช้ในการก่อสร้าง	7.564	6.871
ความรู้และประสบการณ์ของบุคลากรต่อระบบการ ก่อสร้างบ้านพักอาศัย	5.417	4.921
ความยากต่อการตรวจสอบและควบคุม	6.695	6.082
2. ด้านสถาปัตยกรรม/วิศวกรรม	**23.768**	**21.591**
สามารถทำงานด้านสถาปัตกรรม/วิศวกรรมได้เต็มประสิทธิภาพ	8.891	8.077
ความยากในการทำงาน	4.682	4.253
ความสวยงามของรูปร่างลักษณะภายนอก	4.945	4.492

ความยากในการบำรุงรักษา	5.249	4.768
3. ด้านประสิทธิภาพของงานก่อสร้าง	**23.817**	**21.636**
คุณภาพของงานก่อสร้าง	4.993	4.535
ความแข็งแรงและความคงทน	4.860	4.415
ปัญหาการแตกร้าว	6.032	5.479
การป้องกันความร้อน	4.184	3.801
การต้านทานการซึมน้ำ	3.749	3.406
4. ด้านเวลาและการเงิน	**18.174**	**16.510**
ต้นทุนในการก่อสร้าง	5.113	4.644
เวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง	7.644	6.944
ปัจจัยของฤดูกาลส่งผลเวลาที่ใช้ในงานก่อสร้าง	5.417	4.921
5. ผลกระทบจากงานก่อสร้าง	**15.547**	**14.123**
มลภาวะทางเสียง	3.949	3.587
มลภาวะทางอากาศ	3.240	2.943
ความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุเนื่องจากการทำงาน	4.255	3.865
ความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่ข้างเคียง	4.104	3.728
รวม	**110.084**	**100.000**

จากตารางที่ 4.10 น้ำหนักความสำคัญของกลุ่มปัจจัยและปัจจัยของคุณภาพการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐ ฉาบปูน เรียงตามลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ ด้านเทคนิคการก่อสร้างและงานระบบ(26.141%) ด้านประสิทธิภาพของงานก่อสร้าง (21.636%) ด้านสถาปัตยกรรม/วิศวกรรม (21.591%) ด้านเวลาและการเงิน (16.510%) และผลกระทบจากงานก่อสร้าง (14.123%)

ตารางที่ 4.11 แสดงน้ำหนักความสำคัญของกลุ่มปัจจัยและปัจจัยของคุณภาพการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป

ปัจจัย	ตัวชี้ระดับความสำคัญ	น้ำหนักความสำคัญ
1. ด้านเทคนิคการก่อสร้างและงานระบบ	**21.689**	**24.920**
ความซับซ้อนต่อการลำดับขั้นตอนในการเตรียมงานตั้งแต่เริ่มต้น	3.507	4.030
เทคนิควิธีการในการทำงาน	3.858	4.433
ปริมาณแรงงานคนที่ใช้ในการก่อสร้าง	4.186	4.810
ความรู้และประสบการณ์ของบุคลากรต่อระบบการก่อสร้างบ้านพักอาศัย	5.312	6.103
ความยากต่อการตรวจสอบและควบคุม	4.825	5.544
2. ด้านสถาปัตยกรรม/วิศวกรรม	**16.774**	**19.273**
สามารถทำงานด้านสถาปัตกรรม/วิศวกรรมได้เต็มประสิทธิภาพ	3.318	3.813
ความยากในการทำงาน	4.644	5.336
ความสวยงามของรูปร่างลักษณะภายนอก	5.249	6.031
ความยากในการบำรุงรักษา	3.562	4.093
3. ด้านประสิทธิภาพของงานก่อสร้าง	**24.672**	**28.348**
คุณภาพของงานก่อสร้าง	6.032	6.930
ความแข็งแรงและความคงทน	7.964	9.150
ปัญหาการแตกร้าว	2.770	3.182
การป้องกันความร้อน	4.627	5.316
การต้านทานการซึมน้ำ	3.280	3.769
4. ด้านเวลาและการเงิน	**10.634**	**12.218**
ต้นทุนในการก่อสร้าง	5.429	6.238
เวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง	2.244	2.578
ปัจจัยของฤดูกาลส่งผลเวลาที่ใช้ในงานก่อสร้าง	2.961	3.402
5. ผลกระทบจากงานก่อสร้าง	**13.265**	**15.241**

มลภาวะทางเสียง	2.912	3.346
มลภาวะทางอากาศ	3.510	4.033
ความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุเนื่องจากการทำงาน	3.691	4.241
ความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่ข้างเคียง	3.152	3.622
รวม	**87.035**	**100.000**

จากตารางที่ 4.11 น้ำหนักความสำคัญของกลุ่มปัจจัยและปัจจัยของคุณภาพการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป เรียงตามลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ ด้านประสิทธิภาพของงานก่อสร้าง (28.348%) ด้านเทคนิคการก่อสร้างและงานระบบ (24.920 %) ด้านสถาปัตยกรรม/วิศวกรรม (19.273%) ผลกระทบจากงานก่อสร้าง (15.241%) และด้านเวลาและการเงิน (12.218%)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุเพื่อทำการศึกษาและเปรียบเทียบการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบการก่อสร้างสองระบบ คือระบบการก่อสร้างแบบก่ออิฐ ฉาบปูน และระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป การดำเนินการวิจัยนี้ใช้การเก็บรวบรวมข้อมูลแบบสำรวจตัวอย่าง โดยการจัดทำแบบสอบถามขึ้นจำนวน 70 ชุดเพื่อทำการสอบถามความคิดเห็นจากผู้มีประสบการณ์และเกี่ยวข้องกับการก่อสร้างบ้านพักอาศัยทั้งสองระบบในโครงการหมู่บ้านจัดสรร ภายในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล โดยใช้เกณฑ์ของคุณสมบัติต่างๆในการเปรียบเทียบวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งพบว่า ลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ใช้บ่งบอกคุณภาพบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐ ฉาบปูน 5 ลำดับแรก ได้แก่ (1) สามารถทำงานด้านสถาปัตกรรม/วิศวกรรมได้เต็มประสิทธิภาพ (2) เวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง (3) ปริมาณแรงงานคนที่ใช้ในการก่อสร้าง (4) ความยากต่อการตรวจสอบและควบคุม (5) ปัญหาการแตกร้าว และลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป 5 อันดับแรก ได้แก่ (1) ความแข็งแรงและความคงทน (2) คุณภาพของงานก่อสร้าง (3) ต้นทุนในการก่อสร้าง (4) ความรู้และประสบการณ์ของบุคลากรต่อระบบการ ก่อสร้างบ้านพักอาศัย (5) ความสวยงามของรูปร่างลักษณะภายนอก

จากการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐ ฉาบปูน และระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปโดยใช้วิธี Mann-Whitney U Test ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่ามีปัจจัยที่แตกต่างกันอยู่ 14 ปัจจัย จึงทำการแยกวิเคราะห์เพื่อหาน้ำหนักความสำคัญของปัจจัย โดยแบ่งเป็นสองระบบ คือระบบก่ออิฐ ฉาบปูน และระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป ได้ผลว่า (1) การก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐ ฉาบปูนนั้นปัจจัยที่มีน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด คือ ปัจจัยด้านเทคนิคการก่อสร้างและงานระบบ (26.14%) อาจเป็นเพราะว่า การก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบนี้มีการใช้ปริมาณแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้างมากและการควบคุมงานค่อนข้างยาก และ (2) การก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป ปัจจัยที่มีน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด คือปัจจัยด้านประสิทธิภาพของงานก่อสร้าง (28.35%) อาจเป็นผลมาจากการก่อสร้างในระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป ชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้นทำหน้าที่รับแรงจึงทำให้ประสิทธิภาพของชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ผ่านการหล่อจากโรงงานจะต้องผ่านการตรวจสอบคุณภาพที่มาตรฐานระดับสูง ส่งผลให้โครงสร้างมีความแข็งแรงและความคงทนมาก ส่งผลให้คุณภาพของการก่อสร้างบ้านในระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปสูงตามไปด้วย จากผลลัพธ์ทั้งหมดแสดงให้เห็นถึงน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่จะส่งผลต่อคุณภาพการก่อสร้าวบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐ ฉาบปูน และระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปซึ่ง

จะช่วยให้ผู้ประกอบการในธุรกิจอสังหาริมทรัพย์สามารถนำผลลัพธ์ไปเพิ่มประสิทธิภาพในด้านคุณภาพของการก่อสร้างโครงการบ้านพักอาศัยได้ดียิ่งขึ้น และเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในประเทศไทย

ข้อเสนอแนะ

- สำหรับผู้สนใจในงานวิจัยด้านการศึกษาและเปรียบเทียบการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐ ฉาบปูนและระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป สามารถนำผลการวิเคราะห์ไปพัฒนาต่อเพื่อพัฒนาระบบการก่อสร้างบ้านพักอาศัยให้ดียิ่งขึ้นในประเทศไทย
- งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระบบการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐ ฉาบปูน และระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป สามารถเป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกวิธีการก่อสร้างบ้านพักอาศัยแก่ผู้ประกอบการธุรกิจด้านอสังหาริมทรัพย์และประชาชนทั่วไปและเป็นพื้นฐานในการพัฒนาเพื่อปรับใช้ในการบริหารโครงการก่อสร้างบ้านจัดสรรให้มีประสิทธิภาพ รวมถึงเป็นตัวช่วยในการประเมินความเสี่ยงในปัจจัยต่างๆ เพื่อให้เกิดการตัดสินใจได้อย่างเหมาะสม ลดความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้

อ้างอิง

[1] กัลยา วานิชย์บัญชา. 2551. การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล. พิมพ์ครั้งที่ 11. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ธรรมสาร จำกัด.

[2] กัลยา วานิชย์บัญชา. 2548. สถิติสำหรับงานวิจัย. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร

[3] SPSS Training. 2001. SPSS Training Series IT Services. Queensland University of Technology.

[4] ธานินทร์ศิลป์จารุ.2555. การวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS และ AMOS. พิมพ์ครั้งที่13. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์เอส. อาร์. พริ้นติ้ง แมสโปรดักส์.

[5] กริช แรงสูงเนิน. 2554. การวิเคราะห์ปัจจัยด้วย SPSS และ Amos. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[6] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิทวัส สิทธิกูล. 2557.เทคนิคก่อสร้าง. กรุงเทพมหานคร : หจก. พีพริ้นท์ (2012)

[7] โครงการศึกษาแนวทางการเลือกใช้ระบบการก่อสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่เหมาะสมกับผู้อยู่อาศัยที่มีรายได้น้อย-ปานกลาง.การออกแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปโดยคำนึงระบบประสานพิกัด. [Online]. Available: https://precast.rmutl.ac.th

[8] อิษฎา แก้วประเสริฐ. 2558. บ้านระบบผนังสำเร็จรูป Precast. [Online]. Available: www.scgbuildingmaterials.com/th/HomeConsult/Blog

[9] GEL. ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป. [Online]. Available: www.gel.co.th/th/precast-wall

[10] John F. Y., et. al. 2013. "Developing a Benchmarking Model for Construction Projects in Hong Kong". JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT. 139 : 705–716.

ภาคผนวก

แบบสอบถาม

การศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบก่ออิฐ ฉาบปูน และระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

แบบสอบถามนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ (1) การเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลกระทบและมีความสำคัญต่อความสำเร็จของโครงการในระบบก่อสร้างประเภทต่างๆ (2) ความคิดเห็นของผู้ทำแบบสอบถามที่มีต่อระบบก่อสร้างประเภทต่างๆ โดยแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลคุณสมบัติของผู้ทำแบบสอบถามและองค์กร

ส่วนที่ 2 เปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลกระทบและมีความสำคัญต่อความสำเร็จของโครงการในระบบก่อสร้างประเภทต่างๆ

ข้อมูลที่ได้จากการสอบถามจะถูกใช้เพื่อการศึกษา**เท่านั้น** และจะถูกเก็บไว้เป็นความลับ ไม่มีการระบุหรืออ้างถึงท่านผู้ตอบแบบสอบถาม หลังจากการศึกษานี้เสร็จสิ้น บันทึกข้อมูลที่ได้แล้ว ข้อมูลเหล่านี้จะถูกทำลายทันที เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อการศึกษากรุณาตอบตามความเป็นจริง การตอบแบบสอบถามนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน ใช้เวลาประมาณ 10 นาที

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่คุณให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามในครั้งนี้

<u>ส่วนที่ 1</u> คุณสมบัติของท่านและองค์กร

<u>คำชี้แจง</u> : กรุณาเขียนข้อมูลลงในช่องว่างและเติมเครื่องหมาย ✓ ใน ☐ ตามความเป็นจริง

1.1 คุณสมบัติของท่าน

1.1.1 ตำแหน่งปัจจุบัน

☐ ผู้บริหารโครงการ ☐ วิศวกร.....

☐ โฟร์แมนก่อสร้าง ☐ ช่างเทคนิค งาน.....

☐ พนักงานเขียนแบบ ☐ ผู้รับเหมางานก่อสร้าง

☐ สถาปนิก/มัณฑนากร ☐ อื่นๆ.....

1.1.2 ระยะเวลาที่ดำรงตำแหน่งปัจจุบัน.....ปี.....เดือน

1.1.3 ประสบการณ์การทำงานในงานก่อสร้าง.....ปี.....เดือน

1.1.4 ประสบการณ์การทำงานก่อสร้างบ้านพักอาศัยแบบก่ออิฐฉาบปูน.....ปี .....เดือน

1.1.5 ประสบการณ์การทำงานก่อสร้างบ้านพักอาศัยแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป.....ปี .....เดือน

1.2 คุณสมบัติองค์กรของท่าน

1.2.1 ลักษณะของงาน/โครงการที่องค์กรของท่านรับผิดชอบอยู่ (เลือกได้มากกว่า 1 แห่ง)

☐ บ้านเดี่ยว 2 ชั้น ☐ ทาวน์เฮาส์ 2 ชั้น

☐ อื่นๆ.....

1.2.2 มูลค่าโดยประมาณของงาน/โครงการที่องค์กรของท่านรับผิดชอบอยู่ .....บาท

ส่วนที่ 2 เปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของการก่อสร้างโครงการบ้านพักอาศัยในระบบก่อสร้างประเภทต่างๆ

คำชี้แจง : กรุณาเติมเครื่องหมาย ✓ ใน ☐ ตามที่ท่านเห็นเหมาะสม โดยพิจารณาจากประสบการณ์ของท่านในการประเมิน ทั้งนี้ลำดับ 1-5 หมายถึง

1 หมายถึง ระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีต่อการประเมินระบบก่อสร้างนั้น **น้อยที่สุด**

2 หมายถึง ระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีต่อการประเมินระบบก่อสร้างนั้น **น้อย**

3 หมายถึง ระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีต่อการประเมินระบบก่อสร้างนั้น **ปานกลาง**

4 หมายถึง ระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีต่อการประเมินระบบก่อสร้างนั้น **มาก**

5 หมายถึง ระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีต่อการประเมินระบบก่อสร้างนั้น **มากที่สุด**

ปัจจัย	ระบบการก่อสร้างก่ออิฐฉาบปูน					ระบบการก่อสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป				
	มาก				น้อย	มาก				น้อย
	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
1. ด้านเทคนิคการก่อสร้างและงานระบบ										
1.1 มีความซับซ้อนต่อการลำดับขั้นตอนในการเตรียมงานตั้งแต่เริ่มต้น										
1.2 การใช้เทคนิควิธีการในการทำงาน										
1.3 ปริมาณแรงงานคนที่ใช้ในการก่อสร้าง										
1.4 ความรู้และประสบการณ์ของบุคลากรต่อระบบการก่อสร้างบ้านพักอาศัย										
1.5 ความยากต่อการตรวจสอบและควบคุม										
2. ด้านสถาปัตยกรรม/วิศวกรรม										
2.1 สามารถทำงานด้านสถาปัตกรรม/วิศวกรรมได้เต็มประสิทธิภาพ										
2.2 ความยากในการทำงาน										
2.3 ความสวยงามของรูปร่างลักษณะภายนอก										
2.4 ความยากในการบำรุงรักษา										

ปัจจัย	ระบบการก่อสร้างก่ออิฐฉาบปูน					ระบบการก่อสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป				
	มาก				น้อย	มาก				น้อย
	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
3. ด้านประสิทธิภาพของงานก่อสร้าง										
3.1 คุณภาพของงานก่อสร้าง										
3.2 ความแข็งแรงและความคงทน										
3.3 ปัญหาการแตกร้าว										
3.4 การป้องกันความร้อน										
3.5 การต้านทานการซึมน้ำ										
4. ด้านเวลาและการเงิน										
4.1 ต้นทุนในการก่อสร้าง										
4.2 เวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง										
4.3 ปัจจัยของฤดูกาลมีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในงานก่อสร้าง										
5. ผลกระทบจากงานก่อสร้าง										
5.1 มลภาวะทางเสียง										
5.2 มลภาวะทางอากาศ										
5.3 ความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุเนื่องจากการทำงาน										
5.4 ความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่ข้างเคียง										

- สิ้นสุดแบบสอบถาม -

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายรัชชวินทร์ ธนาเกษมพิพัฒน์
วัน เดือน ปีเกิด	16 ธันวาคม 2538
ที่อยู่	2/11 ซ.กรุงเทพกรีฑา 7 แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	
ปัจจุบัน	กำลังศึกษาอยู่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การฝึกงาน	
พ.ศ. 2560	Unique Engineering and Construction Public Company Limited โครงการรถไฟฟ้าสายสีเขียว (เหนือ) ช่วงหมอชิต-สะพานใหม่-คูคต สัญญาที่ 2
พ.ศ. 2560	บริษัท แสนสิริ จำกัด (มหาชน) (SANSIRI PUBLIC CO.,LTD) โครงการบุราสิริ พัฒนาการ