# การเปรียบเทียบจุดต่อบริเวณฐานที่ส่งผลต่อรูปทรงของโครงสร้างหลังคาเหล็กรูปพรรณ : กรณีศึกษาสถานีรถไฟฟ้า BTS และสถานีรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

# THE COMPARISON OF BASE CONNECTIONS AFFECTING CONFIGURATION OF STEEL STRUCTURAL ROOF FORMS : A CASE STUDY OF BTS SKYTRAIN STATIONS AND SUVARNABHUMI AIRPORT RAIL LINK STATIONS

พีรพงศ์ เหลืองพานิช
PEERAPONG LUENGPANICH

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2557

KMITL-2014-AR-M-006-067

# การเปรียบเทียบจุดต่อบริเวณฐานที่ส่งผลต่อรูปทรงของโครงสร้างหลังคาเหล็กรูปพรรณ : กรณีศึกษาสถานีรถไฟฟ้า BTS และสถานีรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

# THE COMPARISON OF BASE CONNECTIONS AFFECTING CONFIGURATION OF STEEL STRUCTURAL ROOF FORMS : A CASE STUDY OF BTS SKYTRAIN STATIONS AND SUVARNABHUMI AIRPORT RAIL LINK STATIONS


พีรพงศ์ เหลืองพานิช

PEERAPONG LUENGPANICH


วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2557


KMITL-2014-AR-M-006-067



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# THE COMPARISON OF BASE CONNECTIONS AFFECTING CONFIGURATION OF STEEL STRUCTURAL ROOF FORMS : A CASE STUDY OF BTS SKYTRAIN STATIONS AND SUVARNABHUMI AIRPORT RAIL LINK STATIONS

PEERAPONG LUENGPANICH

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ARCHITECTURE PROGRAM IN ARCHITECTURAL TECHNOLOGY

FACULTY OF ARCHITECTURE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

KMITL-2014-AR-M-006-067

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**COPYRIGHT 2014**

**FACULTY OF ARCHITECTURE**

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์**
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**
**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

---

**หัวข้อวิทยานิพนธ์** การเปรียบเทียบจุดต่อบริเวณฐานที่ส่งผลต่อรูปทรงของโครงสร้างหลังคาเหล็กรูปพรรณ : กรณีศึกษาสถานีรถไฟฟ้า BTS และสถานีรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ
THE COMPARISON OF BASE CONNECTIONS AFFECTING CONFIGURATION OF STEEL STRUCTURAL ROOF FORMS : A CASE STUDY OF BTS SKYTRAIN STATIONS AND SUVARNABHUMI AIRPORT RAIL LINK STATIONS

**นักศึกษา** นายพีรพงศ์ เหลืองพานิช
**รหัสประจำตัว** 55620712
**ปริญญา** สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
**สาขาวิชา** เทคโนโลยีสถาปัตยกรรม
**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงเกียรติ เทียธิทรัพย์
**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม** -

| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | ลายมือชื่อ |
|---|---|
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงเกียรติ เทียธิทรัพย์ | |
| รองศาสตราจารย์วรวรรณ โรจนไพบูลย์ | |
| อาจารย์ ดร.ปนายุ ไชยรัตนานนท์ | |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมร กฤษณพันธุ์ | |
| รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต นิตยะ | |

**วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ** 30 ตุลาคม 2557 เวลา 08.30 น.
**สถานที่สอบ** อาคารปฏิบัติการด้านพลังงาน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

**คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์รับรองแล้ว**

**(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิเชฐ โสวิทยสกุล)**
**คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์**
**วันที่** 26 **เดือน** ธันวาคม **พ.ศ.** 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **หัวข้อวิทยานิพนธ์** | การเปรียบเทียบจุดต่อบริเวณฐานที่ส่งผลต่อรูปทรงของโครงสร้าง : กรณีศึกษา สถานีรถไฟฟ้า BTS และสถานีรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ |
| **นักศึกษา** | นายพีรพงศ์ เหลืองพานิช |
| **รหัสประจำตัว** | 55620712 |
| **ปริญญา** | สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต |
| **สาขาวิชา** | เทคโนโลยีสถาปัตยกรรม |
| **พ.ศ.** | 2557 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** | ผศ.ดร.ทรงเกียรติ เที้ยธิทรัพย์ |

## บทคัดย่อ


งานวิจัยนี้เป็นการศึกษารูปทรงโครงสร้างหลังคาเหล็กรูปพรรณของสถานีรถไฟฟ้า BTS และสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ เพื่อรวบรวมและศึกษารูปทรงของโครงสร้างหลังคาเหล็กรวมทั้งฐานรองรับ จากนั้นศึกษาแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละรูปทรงของโครงสร้างและศึกษาถึงผลที่เกิดจากประเภทของฐานรองรับต่อแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างซึ่งจะส่งผลต่อรูปทรงของโครงสร้าง อันจะเป็นประโยชน์ในการออกแบบโครงสร้างเหล็กต่อไป

วิธีการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการสำรวจและรวบรวมข้อมูลของอาคารกรณีศึกษาสถานีรถไฟฟ้า BTS จำนวน 25 สถานีและสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ 7 สถานี จากการศึกษาสามารถจำแนกรูปแบบได้ 7 รูปแบบ โดยเป็นสถานีรถไฟฟ้า BTS จำนวน 4 รูปแบบ และสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ 3 รูปแบบ การศึกษาแบ่งเป็น3 ส่วนดังนี้ ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาโดยจำแนกรูปแบบและศึกษารูปทรงโครงสร้างหลังคาของแต่ละรูปแบบ จากข้อมูลเอกสารแบบก่อสร้างที่รวบรวมมา ส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาผลของแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างแต่ละรูปแบบ โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ด้วยโปรแกรม SAP2000 ส่วนที่ 3 เป็นการศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากประเภทของฐานรองรับต่อแรงที่เกิดในโครงสร้างซึ่งจะส่งผลต่อรูปทรงโครงสร้างโดยการเปรียบเทียบกับผลที่ได้ในการศึกษาส่วนที่ 2

ผลการศึกษาพบว่า บริเวณที่เกิดแรงปริมาณมากส่วนใหญ่คือจุดที่เชื่อมต่อระหว่างองค์อาคาร ซึ่งสอดคล้องกับรูปทรงอาคารที่เกิดขึ้น ในบริเวณที่มีตารางโมเมนต์เกิดขึ้นมากองค์อาคารจะมีขนาดเพิ่มขึ้นและลดลงในบริเวณที่มีปริมาณตารางโมเมนต์น้อยลง ประเภทของฐานรองรับจะส่งผลเฉพาะโครงกรอบหลักของโครงสร้าง ไม่ส่งผลต่อส่วนที่ยื่นออกไป ฐานรองรับของโครงสร้างส่งผลต่อปริมาณตารางโมเมนต์ที่เกิดโดยฐานแบบยึดแน่นจะมีแรงดัดกลับบริเวณฐานส่งผลให้ตารางโมเมนต์โดยรวมน้อยกว่า ส่วนฐานรองรับแบบยึดหมุนนั้นจะมีตารางโมเมนต์น้อยบริเวณฐานแต่บริเวณไหล่จะมากกว่าฐานรองรับแบบยึดหมุน ส่งผลให้รูปทรงเล็กลงบริเวณฐานและจะมีขนาดใหญ่บริเวณไหล่โครงสร้าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **Thesis** | The comparison of supports affecting steel structural roof forms : Case study of BTS skytrain stations and Suvarnabhumi Airport rail link stations |
| **Student** | Mr.Peerapong Luengpanich |
| **Student ID.** | 55620712 |
| **Degree** | Master of Architecture |
| **Program** | Architectural Technology |
| **Year** | 2014 |
| **Thesis Advisor** | Assistant Professor Songkiat Teartisup, Ph.D. |


## ABSTRACT

The purpose of this research was to study steel structural roof forms of BTS skytrain stations and Suvarnabhumi Airport rail link stations about structural forms. Then study about internal forces occurs in each structural forms and effect from supports to internal forces occurs in structure which it will affect structural forms, so this will be useful for steel structural design.

This method of education survey for compilation data of case study of BTS skytrain stations which have amount twebty-five stations and Suvarnabhumi Airport rail link stations which have amount seven stations. From this study can classify seven types by BTS skytrain stations amount 4 types and Suvarnabhumi Airport rail link stations amount 3 types. The study can divide as follows. Firstly, study by type classifying and study forms of each type from all document data. Secondly, study internal forces in each type of structure by Finite Element Method with SAP2000 program. Thirdly, study effect from supports to internal forces of structure which it will affect with the structural forms by the comparison with the result in secondly.

The result found that the area of most force quantities is the point of contact between the building which conform to the building. It occurs around the area of the various force will have to increase the size and narrowed on the area of less force. The form of structure that normalized pattern separately for helping the distribution occur during a connection to another structure. The support of structural affects with the force exerted by fixed support. It will have the back bending around the base which affects to the less back bending. The hinge support will have less bending in the base but bending over the shoulder to the base. Hinge support, resulting in smaller at the base and around structural shoulder is larger.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและเมตตาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทรงเกียรติ เที้ยธิทรัพย์ ที่ได้ชี้แนะแนวทางพร้อมทั้งให้คำปรึกษาในการดำเนินงาน รวมถึงเคี่ยวเข็ญให้ผู้วิจัยดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี อีกทั้งอาจารย์ วัชรพงษ์ ประสานเกลียว ที่เสียสละเวลาคอยให้คำปรึกษาอย่างเต็มที่ เป็นประโยชน์ในการดำเนินการวิจัยเป็นอย่างมาก อีกทั้งอาจารย์หลายท่านที่ได้ช่วยให้ความรู้และแนวทางที่เป็นประโยชน์ ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต นิตยะ ที่ได้ให้คำปรึกษาในเรื่องวิชาการและอาจารย์ชินวร เวียงวิเศษที่ให้ความช่วยเหลือในระหว่างการศึกษาเป็นอย่างดี รวมถึงกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน

ขอขอบพระคุณ บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) ที่ได้ให้ความร่วมมืออนุเคราะห์ข้อมูลแบบก่อสร้างอาคารสถานีรถไฟฟ้า และขอขอบพระคุณ บริษัท กรุงเทพธนาคม จำกัด ที่ได้ให้ความร่วมมืออนุเคราะห์ข้อมูลแบบก่อสร้างอาคารสถานีรถไฟฟ้าและประสานงานด้วยไมตรี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้บิดามารดาซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารถรักทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

พีรพงศ์ เหลืองพานิช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


หน้า

**บทคัดย่อภาษาไทย** ..... I

**บทคัดย่อภาษาอังกฤษ** ..... II

**กิตติกรรมประกาศ** ..... III

**สารบัญ** ..... IV

**สารบัญตาราง** ..... VIII

**สารบัญรูปภาพ** ..... IX

**บทที่ 1 บทนำ** ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 1

1.2 จุดประสงค์ของโครงการ ..... 4

1.3 สมมติฐานของโครงการ ..... 5

1.4 ขอบเขตของโครงการ ..... 5

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 5

1.6 ขั้นตอนการศึกษา ..... 6

1.7 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา ..... 7

**บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

2.1 ทฤษฎีสมดุลของแรงในโครงสร้าง ..... 8

2.1.1 การสมดุลของแรง (Static Equilibrium Condition) ..... 9

2.1.2 แรงภายนอก แรงภายใน และโมเมนต์ ..... 10

2.2 ประเภทของโครงสร้างและจุดต่อ ..... 12

2.2.1 ประเภทของโครงสร้าง ..... 12

2.2.2 จุดต่อของโครงสร้าง ..... 15

2.3 รูปทรงของโครงสร้าง ..... 18

2.3.1 รูปทรงโครงสร้างที่เกิดจากประโยชน์ใช้สอย ..... 18

2.3.2 หน้าที่ของรูปทรงโครงสร้าง ..... 18

2.3.3 รูปทรงเบื้องต้นของโครงสร้าง ..... 19

2.3.4 แรงที่เกิดขึ้นกับรูปทรงของโครงสร้างแต่ละประเภท ..... 21



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า


2.4 การก่อสร้างโครงสร้างเหล็ก ..... 27
2.4.1 ประเภทของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ..... 27
2.4.2 วิธีการยึดต่อเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ..... 31
2.4.3 มาตรฐานและข้อกำหนดเกี่ยวกับโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ ..... 35
2.5 การวิเคราะห์โครงสร้าง ..... 36
2.5.1 คำจำกัดความของโครงสร้างและการวิเคราะห์โครงสร้าง ..... 36
2.5.2 โครงสร้างแท้จริงและไอดีลไลเซชัน (Idealization) ของโครงสร้างจริง ..... 37
2.5.3 วิธีการวิเคราะห์โครงสร้าง ..... 39
2.5.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง ..... 41
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 43

**บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย**
3.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น ..... 42
3.2 การเลือกตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา ..... 43
3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล ..... 43
3.3.1 การรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ ..... 44
3.3.2 การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ ..... 44
3.4 เครื่องมือในการวิจัย ..... 47
3.4.1 เครื่องมือในการเก็บข้อมูลภาคสนาม ..... 47
3.4.2 เครื่องมือในการทดสอบโครงสร้าง ..... 47
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล ..... 47
3.6 การสรุป อภิปรายและเสนอแนะ ..... 49
3.7 การดำเนินการวิจัย ..... 49

**บทที่ 4 การศึกษาโครงสร้างหลังคาอาคารสถานีรถไฟฟ้า** ..... 54
4.1 รูปแบบโครงสร้างหลังคาสถานี ..... 55
4.1.1 รูปแบบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS ..... 55


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.1.2 รูปแบบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ. 59

4.2 จุดต่อและรูปทรงโครงสร้างหลังคาสถานี..... 62

4.2.1 จุดต่อและรูปทรงโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-01..... 62

4.2.2 จุดต่อและรูปทรงโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-02..... 67

4.2.3 จุดต่อและรูปทรงโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-03..... 72

4.2.4 จุดต่อและรูปทรงโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-04..... 76

4.2.5 จุดต่อและรูปทรงโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิรูปแบบ S-01..... 80

4.2.6 จุดต่อและรูปทรงโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิรูปแบบ S-02..... 84

4.2.7 จุดต่อและรูปทรงโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิรูปแบบ S-03..... 87

**บทที่ 5 การศึกษาแรงภายในและจุดต่อที่มีผลต่อรูปทรงของโครงสร้าง**..... 94

5.1 รูปแบบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS..... 95

5.1.1 โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-01..... 95

5.1.2 ผลการทดสอบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-01..... 95

5.1.3 โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-02..... 101

5.1.4 ผลการทดสอบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-02..... 101

5.1.5 โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-03..... 107

5.1.6 ผลการทดสอบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-03..... 107

5.1.7 โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-04..... 113

5.1.8 ผลการทดสอบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-04..... 113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า


5.2 รูปแบบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ..... 119

5.2.1 โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบ S-01..... 119

5.2.2 ผลการทดสอบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบ S-01..... 119

5.2.3 โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบ S-02..... 124

5.2.4 ผลการทดสอบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบ S-02..... 124

5.2.5 โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบ S-03..... 129

5.2.6 ผลการทดสอบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบ S-03..... 129

**บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ**..... 138

6.1 ข้อค้นพบที่สำคัญ..... 139

6.1.1 รูปทรงโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS และรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ..... 139

6.1.2 รูปทรงและแรงที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้าง..... 141

**บรรณานุกรม**..... 144

**ประวัติผู้เขียน**..... 145



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แสดงแผนการดำเนินงาน ..... 6
2.1 แสดงประเภทรูปทรงเบื้องต้นของโครงสร้าง ..... 19
2.2 เปรียบเทียบข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบของวิธีการยึดต่อเหล็ก ..... 32
3.1 ตัวอย่างรูปแบบของโครงสร้างหลังคาเหล็กรูปพรรณอาคารกรณีศึกษา ..... 48
3.2 ตัวอย่างรูปแบบของโครงสร้างหลังคาเหล็กรูปพรรณอาคารกรณีศึกษา ..... 48
3.3 ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลของฐานรองรับของโครงสร้างหลังคาของอาคารกรณีศึกษา ..... 49
4.1 รูปแบบของโครงสร้างหลังคาเหล็กรูปพรรณอาคารกรณีศึกษา ..... 91
5.1 แสดงแรงภายในโครงสร้างของรูปแบบ B-01 ..... 98
5.2 แสดงการเปรียบเทียบผลจากฐานรองรับของโครงสร้างรูปแบบ B-01 ..... 100
5.3 แสดงแรงภายในโครงสร้างของรูปแบบ B-02 ..... 104
5.4 แสดงการเปรียบเทียบผลจากฐานรองรับของโครงสร้างรูปแบบ B-02 ..... 106
5.5 แสดงแรงภายในโครงสร้างของรูปแบบ B-03 ..... 110
5.6 แสดงการเปรียบเทียบผลจากฐานรองรับของโครงสร้างรูปแบบ B-03 ..... 112
5.7 แสดงแรงภายในโครงสร้างของรูปแบบ B-04 ..... 116
5.8 แสดงการเปรียบเทียบผลจากฐานรองรับของโครงสร้างรูปแบบ B-04 ..... 118
5.9 แสดงแรงภายในโครงสร้างของรูปแบบ S-01 ..... 121
5.10 แสดงการเปรียบเทียบผลจากฐานรองรับของโครงสร้างรูปแบบ S-01 ..... 123
5.11 แสดงแรงภายในโครงสร้างของรูปแบบ S-02 ..... 126
5.12 แสดงการเปรียบเทียบผลจากฐานรองรับของโครงสร้างรูปแบบ S-01 ..... 128
5.13 แสดงแรงภายในโครงสร้างของรูปแบบ S-03 ..... 132
5.14 แสดงการเปรียบเทียบผลจากฐานรองรับของโครงสร้างรูปแบบ S-03 ..... 134
5.15 สรุปผลการทดสอบแรงที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้าง ..... 135
5.16 สรุปผลการเปรียบเทียบผลทดสอบประเภทของฐานรองรับ ..... 136
6.1 รูปแบบของโครงสร้างหลังคาเหล็กรูปพรรณอาคารกรณีศึกษา ..... 118
6.2 สรุปผลการเปรียบเทียบผลทดสอบประเภทของฐานรองรับ ..... 142

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ


ภาพที่ หน้า

1.1 แรงที่เกิดขึ้นต่างกันส่งผลต่อรูปทรงโครงสร้าง ..... 2

1.2 แสดงเส้นทางและสถานีของรถไฟฟ้า BTS ทั้ง 2 สาย และสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมต่อ ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ..... 3

1.3 แสดงรูปแบบของโครงสร้างสถานีรถไฟฟ้า ..... 4

2.1 แสดงกรอบในการศึกษาข้อมูลพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 8

2.2 แสดงประเภทของโครงข้อแข็ง ..... 13

2.3 แสดงประเภทของโครงถักระนาบเดียว ..... 14

2.4 แสดงตำแหน่งของจุดต่อโครงสร้างเหล็ก ..... 15

2.5 แสดงการทำจุดต่อฐานเสา ..... 16

2.6 แสดงความสัมพันธ์ของโมเมนต์ดัดและมุมของจุดต่อในโครงสร้างเหล็ก ..... 17

2.7 แสดงแรงที่เกิดในโครงสร้างคาน ..... 21

2.8 แสดงแรงเฉือนและแรงดัดที่เกิดในโครงสร้างคาน ..... 22

2.9 แสดงแรงที่เกิดจากแรงแนวดิ่งในโครงข้อแข็งเทียบกับโครงสร้างเสาและคานยื่นปลาย ..... 22

2.10 แสดงแรงที่เกิดจากแรงด้านข้างในโครงข้อแข็งเทียบกับโครงสร้างเสาและคาน ..... 23

2.11 แสดงแรงที่เกิดในโครงข้อแข็งรูปทรงต่างๆ ..... 23

2.12 แสดงการถ่ายแรงในโครงข้อหมุน ..... 24

2.13 แสดงการเปรียบเทียบความสูงของโครงข้อหมุนและแรงที่เกิด ..... 24

2.14 แสดงการเปรียบเทียบความสูงของโครงข้อหมุนและแรงที่เกิดในแต่ละจุด ..... 25

2.15 แสดงการเปรียบเทียบแรงที่เกิดในโครงข้อหมุนแต่ละรูปทรง ..... 26

2.16 รูปหน้าตัดเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน SM และ SS ตาม มอก.1227-2539 ..... 27

2.17 รูปหน้าตัดเหล็กรูปพรรณขึ้นรูปเย็นตาม มอก.1228-2537 ..... 28

2.18 เหล็กโครงสร้างรูปพรรณกลวง มอก.107-2533 ..... 29

2.19 แผนภาพกระบวนการผลิกเหล็กรูปพรรณชนิดต่างๆ ในประเทศไทย ..... 30

2.20 หมุดย้ำ ..... 31

2.21 สลักเกลียว ..... 32

2.22 ชนิดและลักษณะของการเชื่อม ..... 33

2.23 แสดงแรงกิริยาและการตอบสนองของโครงสร้างจริง ..... 38

2.24 แสดงวิธีการวิเคราะห์โครงสร้าง ..... 38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ หน้า

2.25 แสดงตัวอย่างวิธีผลต่างสืบเนื่อง..... 39
2.26 แสดงตัวอย่างวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์..... 40
2.27 แสดงขั้นตอนการทำงานโดยโปรแกรม SAP2000..... 42
3.1 แสดงกรอบแนวคิดการวิจัย..... 42
3.2 แสดงขั้นตอนการศึกษาข้อมูลพื้นฐาน..... 45
3.3 แสดงขั้นตอนการเก็บข้อมูล..... 46
3.4 แสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... 51
3.5 ขยายรายละเอียดการเก็บข้อมูลส่วนที่ 1..... 52
3.6 ขยายรายละเอียดการเก็บข้อมูลส่วนที่ 2..... 53
4.1 แสดงรูปแบบโครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบที่ 1..... 55
4.2 แสดงรูปแบบโครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบที่ 2..... 56
4.3 แสดงรูปแบบโครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบที่ 3..... 57
4.4 แสดงรูปแบบโครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบที่ 4..... 58
4.5 แสดงรูปแบบโครงสร้างของสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบที่ 1..... 59
4.6 แสดงรูปแบบโครงสร้างของสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบที่ 2..... 60
4.7 แสดงรูปแบบโครงสร้างของสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบที่ 3..... 61
4.8 แสดงรูปตัดขวางโครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-01..... 62
4.9 แสดงรูปตัดขวางแสดงรูปทรงของเสา..... 63
4.10 แสดงรูปทรงของคานช่วงกลาง..... 64
4.11 แสดงรูปทรงของคานหลังคาระดับบน..... 64
4.12 แสดงรูปทรงของคานหลังคาระดับล่างและค้ำยัน..... 65
4.13 แสดงตำแหน่งจุดต่อและฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-01..... 65
4.14 แสดงจุดต่อที่ฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบที่ 1..... 66
4.15 แสดงจุดต่อคานหลังคาระดับล่างของโครงสร้างหลังคารูปแบบที่ 1..... 66
4.16 แสดงจุดต่อเสาและหลังคาระดับบนของโครงสร้างหลังคารูปแบบที่ 1..... 67
4.17 แสดงรูปตัดขวางโครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-02..... 67
4.18 แสดงรูปตัดขวางรูปทรงของเสาของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-02..... 68
4.19 แสดงรูปทรงคานช่วงกลางของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-02..... 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ หน้า


4.20 แสดงรูปทรงคานหลังคาระดับบนของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-02 ..... 69
4.21 แสดงรูปทรงคานหลังคาระดับล่างและค้ำยันของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-02 ..... 69
4.22 แสดงตำแหน่งจุดต่อและฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-02 ..... 70
4.23 แสดงจุดต่อที่ฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-02 ..... 70
4.24 แสดงจุดต่อคานหลังคาระดับล่างของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-02 ..... 71
4.25 แสดงจุดต่อเสาและหลังคาระดับบนของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-02 ..... 71
4.26 แสดงรูปตัดขวางโครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-03 ..... 72
4.27 แสดงรูปตัดขวางรูปทรงของเสาของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-03 ..... 72
4.28 แสดงรูปทรงคานช่วงกลางของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-03 ..... 73
4.29 แสดงรูปทรงคานช่วงที่ยื่นของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-03 ..... 73
4.30 แสดงตำแหน่งจุดต่อและฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-03 ..... 74
4.31 แสดงจุดต่อที่ฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-03 ..... 74
4.32 แสดงจุดต่อคานและเสาของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-03 ..... 75
4.33 แสดงจุดต่อหัวเสาของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-03 ..... 75
4.34 แสดงรูปตัดขวางโครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-04 ..... 76
4.35 แสดงจุดต่อที่ฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-04 ..... 76
4.36 แสดงรูปทรงคานช่วงกลางของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-04 ..... 77
4.37 แสดงรูปทรงคานหลังคาระดับล่างของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-04 ..... 77
4.38 แสดงตำแหน่งจุดต่อและฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-04 ..... 78
4.39 แสดงจุดต่อที่ฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-04 ..... 78
4.40 แสดงจุดต่อคานหลังคาระดับล่างของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-04 ..... 79
4.41 แสดงจุดต่อเสาและหลังคาระดับบนของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-04 ..... 79
4.42 แสดงรูปตัดขวางโครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบ S-01 ..... 80
4.43 แสดงรูปของเสาของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-01 ..... 80
4.44 แสดงรูปทรงโครงสร้างของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-01 ..... 81
4.45 แสดงตำแหน่งจุดต่อและฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-01 ..... 82
4.46 แสดงฐานรองรับเสาของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-01 ..... 82


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ(ต่อ)


ภาพที่ หน้า

4.47 แสดงฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-01 ..... 83

4.48 แสดงจุดต่อหัวเสาของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-01 ..... 83

4.49 แสดงรูปตัดขวางโครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบ S-02 ..... 84

4.50 แสดงรูปของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-02 ..... 84

4.51 แสดงรูปทรงโครงสร้างของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-02 ..... 85

4.52 แสดงตำแหน่งจุดต่อและฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-02 ..... 86

4.53 แสดงฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-02 ..... 86

4.54 แสดงรูปตัดขวางโครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบ S-03 ..... 87

4.55 แสดงรูปของเสาของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-03 ..... 87

4.56 แสดงรูปทรงของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-03 ..... 88

4.57 แสดงแนวเส้นโค้งของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-03 ..... 88

4.58 แสดง Lower chord ของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-03 ..... 89

4.59 แสดงตำแหน่งจุดต่อและฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-03 ..... 89

4.60 แสดงตำแหน่งฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-03 ..... 90

4.61 แสดงตำแหน่งจุดต่อปลายเสาของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-03 ..... 90

5.1 แสดงแบบจำลองโครงสร้างของ รูปแบบ B-01 ..... 95

5.2 แสดงผลการทดสอบโครงสร้างของ รูปแบบ B-01 ..... 96

5.3 แสดงแรงดัดบริเวณคานช่วงกลางโครงสร้างของ รูปแบบ B-01 ..... 96

5.4 แสดงการเปรียบเทียบแรงดัดและรูปทรงโครงสร้างของ รูปแบบ B-01 ..... 97

5.5 แสดงการเปรียบเทียบฐานรองรับแบบยึดหมุนและแบบยึดแน่นของ รูปแบบ B-01 ..... 99

5.6 แสดงแบบจำลองโครงสร้างของ รูปแบบ B-02 ..... 101

5.7 แสดงผลการทดสอบโครงสร้างของ รูปแบบ B-02 ..... 102

5.8 แสดงแรงดัดบริเวณคานช่วงกลางโครงสร้างของ รูปแบบ B-02 ..... 102

5.9 แสดงการเปรียบเทียบแรงดัดและรูปทรงโครงสร้างของ รูปแบบ B-02 ..... 103

5.10 แสดงการเปรียบเทียบฐานรองรับแบบยึดหมุนและแบบยึดแน่นของ รูปแบบ B-02 ..... 105



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ หน้า

5.11 แสดงแบบจำลองโครงสร้างของ รูปแบบ B-03 ..... 107
5.12 แสดงผลการทดสอบโครงสร้างของ รูปแบบ B-03 ..... 108
5.13 แสดงแรงดัดบริเวณคานโครงสร้างของ รูปแบบ B-03 ..... 108
5.14 แสดงการเปรียบเทียบแรงดัดและรูปทรงโครงสร้างของ รูปแบบ B-03 ..... 109
5.15 แสดงการเปรียบเทียบฐานรองรับแบบยึดหมุนและแบบยึดแน่นของ รูปแบบ B-03 ..... 111
5.16 แสดงแบบจำลองโครงสร้างของ รูปแบบ B-04 ..... 113
5.17 แสดงผลการทดสอบโครงสร้างของ รูปแบบ B-04 ..... 114
5.18 แสดงแรงดัดบริเวณคานช่วงกลางโครงสร้างของ รูปแบบ B-04 ..... 114
5.19 แสดงการเปรียบเทียบแรงดัดและรูปทรงโครงสร้างของ รูปแบบ B-04 ..... 115
5.20 แสดงการเปรียบเทียบฐานรองรับแบบยึดหมุนและแบบยึดแน่นของ รูปแบบ B-04 ..... 117
5.21 แสดงแบบจำลองโครงสร้างของ รูปแบบ S-01 ..... 119
5.22 แสดงผลการทดสอบโครงสร้างของ รูปแบบ S-01 ..... 120
5.23 แสดงการเปรียบเทียบฐานรองรับแบบยึดหมุนและแบบยึดแน่นของ รูปแบบ S-01 ..... 122
5.24 แสดงแบบจำลองโครงสร้างของ รูปแบบ S-02 ..... 124
5.25 แสดงผลการทดสอบโครงสร้างของ รูปแบบ S-02 ..... 125
5.26 แสดงการเปรียบเทียบฐานรองรับแบบยึดหมุนและแบบยึดแน่นของ รูปแบบ S-02 ..... 127
5.27 แสดงแบบจำลองโครงสร้างของ รูปแบบ S-03 ..... 129
5.28 แสดงผลการทดสอบโครงสร้างของ รูปแบบ S-03 ..... 130
5.29 แสดงการเปรียบเทียบแรงและรูปทรงโครงสร้างของ รูปแบบ S-03 ..... 131
5.30 แสดงการเปรียบเทียบแรงตามแนวแกนและรูปทรงโครงถักของ รูปแบบ S-03 ..... 131
5.31 แสดงการเปรียบเทียบฐานรองรับแบบยึดหมุนและแบบยึดแน่นของ รูปแบบ S-03 ..... 133

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

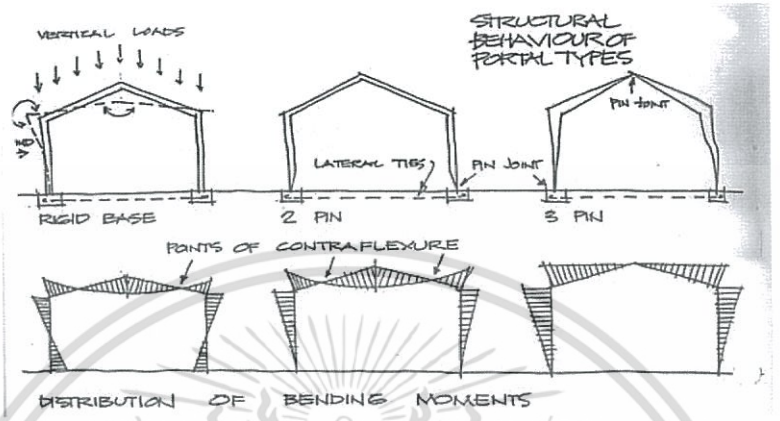
หลังคาเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของสถาปัตยกรรมทำหน้าที่ป้องกันและครอบคลุมพื้นที่เพื่อให้ผู้ใช้งานเกิดความสะดวกสบาย ขนาดของพื้นที่ที่หลังคาปิดล้อมนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของอาคารนั้นๆ โครงสร้างหลังคาพาดช่วงกว้างจึงเป็นสิ่งที่นำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาหรือเพื่อความเหมาะสมของลักษณะการใช้งานอาคาร โดยโครงสร้างที่นำมาใช้มักเลือกวัสดุเหล็กรูปพรรณมาใช้งานเนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุที่มีกำลังสูงและมีความคลาดเคลื่อนต่ำ สามารถพาดช่วงได้กว้าง ระบบการก่อสร้างเป็นแบบแห้ง ก่อสร้างได้รวดเร็ว มีหน้าตัดที่มีมาตรฐานหรือเที่ยงตรง เนื่องจากสามารถควบคุมคุณภาพการผลิตได้จากโรงงานอุตสาหกรรม โครงสร้างเหล็กรูปพรรณสามารถก่อสร้างได้หลากหลายรูปแบบ และรูปทรงของโครงสร้างที่มีหลากหลายตอบสนองทั้งด้านสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม รูปทรงจึงมีส่วนสำคัญต่อลักษณะการใช้งานอาคารและความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้าง

งานสถาปัตยกรรมควรมีรูปทรงทางโครงสร้างที่มีความสวยงาม ตรงไปตรงมา และก่อสร้างได้สะดวก ใช้วัสดุที่มีคุณภาพและมาตรฐาน ซึ่งรูปทรงทางโครงสร้างนอกจากจะตอบสนองลักษณะการใช้งานอย่างเหมาะสมแล้วยังต้องต้านทานแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างเพื่อเกิดความแข็งแรง โดยใช้ปริมาณวัสดุที่น้อยที่สุดรับแรงให้ได้มากที่สุด ความสามารถและหน้าที่ของวัสดุจะแสดงออกให้เห็นเป็นลักษณะหรือรูปทรงทางโครงสร้าง[1] ซึ่งจะเห็นได้ว่ารูปทรงของโครงสร้างมีผลจากแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างและมีเพื่อต้านทานแรงที่เกิดขึ้น พยายามต้านการเสียรูปของโครงสร้างให้คงอยู่ในสภาพเดิม ซึ่งรูปทรงแต่ละประเภทจะมีแรงที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างต่างกันโดยพบว่าจุดต่อของโครงสร้างมีส่วนสำคัญที่จะส่งผลให้แรงที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างต่างกัน ทำให้รูปทรงที่เกิดขึ้นเพื่อต้านทานแรงนั้นแตกต่างกัน จุดต่อขององค์อาคารมีด้วยกันหลาย

[1] เฉลิม สุจริต, **วัสดุและการก่อสร้างสถาปัตยกรรม**, พิมพ์ครั้งที่ 3 (กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย), 2540, .

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภท จุดต่อแบบยึดแน่น (Rigid Connection), จุดต่อแบบยึดหมุน (Simple Connection), จุดต่อกึ่งยึดแน่น (Semi-Rigid Connection) ซึ่งจุดต่อแต่ละประเภทมีพฤติกรรมการรับแรงแตกต่างกัน ส่งผลถึงรูปทรงของโครงสร้าง




**ภาพที่ 1.1** แรงที่เกิดขึ้นต่างกันส่งผลต่อรูปทรงโครงสร้าง[2]

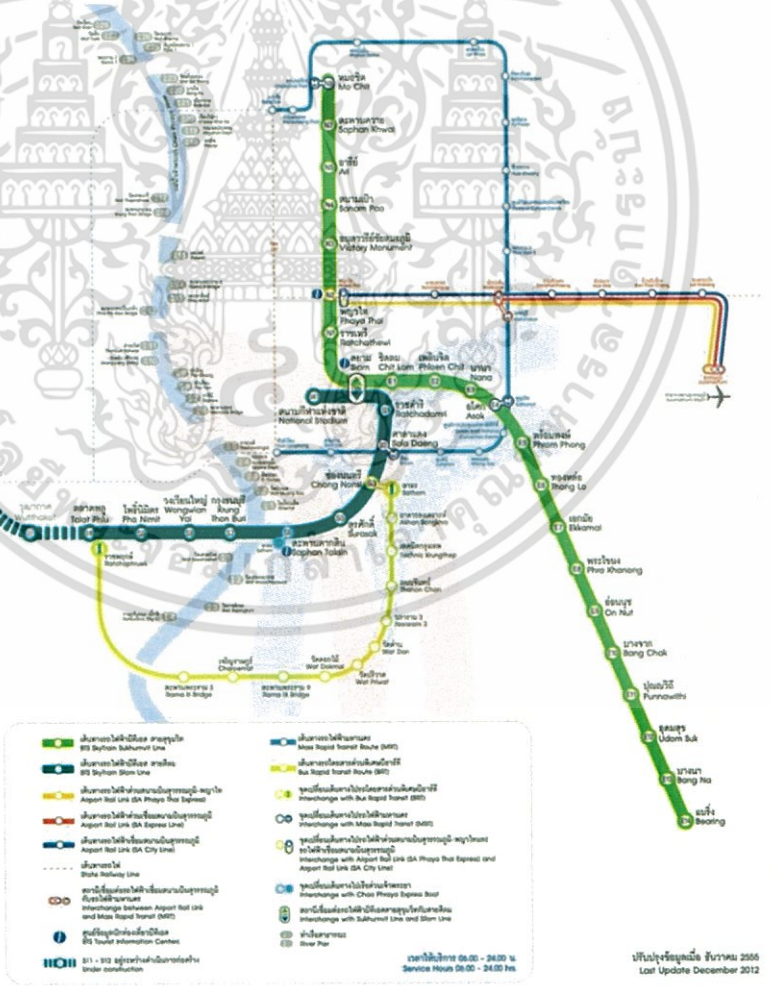
รูปทรงของโครงสร้างนั้นสามารถศึกษาจากงานสถาปัตยกรรมที่มีอยู่ก่อน เพื่อนำมาเป็นฐานและข้อมูลในการออกแบบ ได้เรียนรู้หลักการที่เหมาะสม จากการศึกษารูปแบบของสถาปัตยกรรมซึ่งแสดงออกผ่านทั้งสถาปนิกและวิศวกร ซึ่งการศึกษารูปทรงของโครงสร้างแต่ละแบบ และเปรียบเทียบเพื่อแสดงให้เห็นสิ่งที่ส่งผลต่อรูปทรงของโครงสร้าง โดยศึกษาโครงการที่มีลักษณะการใช้งานที่พิเศษและรองรับการใช้งานจากผู้คนจำนวนมาก คือ อาคารสถานีรถไฟฟ้า BTS และสถานีเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ เป็นโครงการสาธารณูปโภคขนาดใหญ่ที่ต้องการใช้โครงสร้างหลังคาพาดช่วงกว้างเนื่องจากการรองรับผู้ใช้งานจำนวนมากและลักษณะการใช้งานที่มีความพิเศษ ในส่วนของรถไฟฟ้า BTS เป็นรถไฟฟ้าสายแรกของประเทศไทย เปิดให้บริการครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2542 ระบบรถไฟฟ้า BTS วิ่งบนรางคู่ แยกทิศทางไปและกลับ มีรางป้อนกระแสไฟฟ้าด้านล่าง เปิดใช้งานใน 2 เส้นทางแรก คือสายสุขุมวิท (สายสีเขียวอ่อน) และสายสีลม (สายสีเขียวเข้ม) โดยเส้นทางสายสุขุมวิทเริ่มแรกมี 17 สถานี เริ่มต้นที่สถานีอ่อนนุชผ่านถนนสุขุมวิทสิ้นสุดเส้นทางที่สถานีหมอชิต ปัจจุบันได้มีการดำเนินการก่อสร้างต่อจากสถานีอ่อนนุชเพิ่มอีก 5 สถานี จากสถานีบางจากถึงสถานีแบริ่ง รวมทั้งหมดสายสุขุมวิทจึงมี 22 สถานี โดยมีสถานีที่เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างสายสุขุมวิทและสายสีลมคือสถานีสยาม สถานีที่มีการเชื่อมต่อกับรถไฟฟ้าเชื่อมต่อ

[2] Deakin University. School of Architecture and Building. Open Campus Program, **Construction and structures 2,** Geelong, Vic. : Deakin University, 1998.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

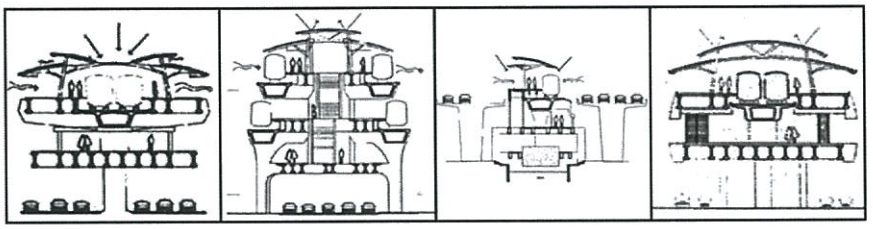
ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิคือสถานีพญาไท และเส้นทางสายสีลมเริ่มแรกมี 9 สถานี เริ่มจากสถานีวงเวียนใหญ่ (ฝั่งธนบุรี) สิ้นสุดที่สถานีสนามกีฬาแห่งชาติ มีสถานีเชื่อมต่อกับสายสุขุมวิทที่สถานีสยาม ปัจจุบันได้มีการดำเนินการก่อสร้างต่อจากสถานีวงเวียนใหญ่ 2 สถานี คือ สถานีโพธิ์นิมิตร และสถานีตลาดพลู และยังอยู่ในการดำเนินการก่อสร้างต่ออีก 2 สถานี เส้นทางสายสีลมจึงมีสถานีทั้งหมด 11 สถานี

ส่วนของรถไฟฟ้าเชื่อมต่อท่าอากาศยานสุวรรณภูมิเพื่อให้บริการและเพื่อให้ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิมีความสมบูรณ์แบบในระดับนานาชาติจึงมีระบบรถไฟเชื่อมต่อพื้นที่ใจกลางเมืองกับท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ เปิดให้บริการครั้งแรก พ.ศ.2549 วิ่งบนทางยกระดับเลียบทางรถไฟสายตะวันออกระยะทางประมาณ 28 กม. มีทั้งหมด 8 สถานี เริ่มจากสถานีพญาไทที่มีการเชื่อมต่อกับรถไฟฟ้า BTS ไปสิ้นสุดที่สถานีสุวรรณภูมิ

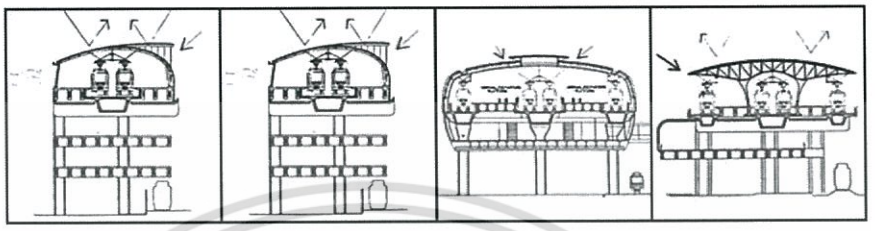



**ภาพที่ 1.2** แสดงเส้นทางและสถานีของรถไฟฟ้า BTS ทั้ง 2 สาย และสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมต่อท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแบบสถานีรถไฟฟ้า BTS



รูปแบบสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมต่อท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

**ภาพที่ 1.3** แสดงรูปแบบของโครงสร้างสถานีรถไฟฟ้า

ที่มา : ดัดแปลงจาก นันท์นภัส เพชรคงทอง (2554)

รูปแบบของโครงสร้างสามารถจำแนกรูปแบบของโครงสร้างสถานีรถไฟฟ้า BTS ได้เป็น 4 รูปแบบ และ สถานีรถไฟฟ้าเชื่อมต่อท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ได้เป็น 4 รูปแบบ ซึ่งโครงสร้างหลังคาที่ครอบคลุมตัวสถานีทั้งหมดใช้โครงสร้างเหล็กรูปพรรณ โดยในการออกแบบมีทั้งส่วนที่คล้ายและส่วนที่ต่างกันของรูปทรงโครงสร้างในแต่ละรูปแบบรวมถึงลักษณะจุดต่อของโครงสร้าง ซึ่งเหมาะแก่การศึกษาและวิเคราะห์ผลที่มีต่อรูปทรงของโครงสร้างอันจะเป็นประโยชน์ในการออกแบบหรือนำไปใช้กับโครงการอื่นๆ ในอนาคต

## 1.2 จุดประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบรูปทรงของโครงสร้างหลังคาเหล็กรูปพรรณอาคารสถานีรถไฟฟ้า BTS และสถานี รถไฟฟ้า ARL
2. เพื่อศึกษาแรงที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างหลังคาเหล็กรูปพรรณอาคารสถานีรถไฟฟ้า BTS และสถานีรถไฟฟ้า ARL
3. เพื่อศึกษาผลของจุดรองรับที่มีต่อขนาดองค์อาคารสถานีรถไฟฟ้า BTS และสถานีรถไฟฟ้า ARL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.3 สมมติฐานของโครงการ

รูปทรงของอาคารสถานีรถไฟฟ้า BTS โดยรวมเป็นโครงสร้าง Skeleton ชนิดเสาและคาน (Post and beam) ต่อเชื่อมกันตามปกติ ส่วนรูปทรงของอาคารสถานีรถไฟฟ้า ARL โดยรวมเป็นโครงสร้าง ชนิดโครงข้อแข็ง (Rigid Frame) บริเวณไหล่ของโครงจะหนาไม่ว่าฐานจะเป็นจุดรองรับแบบยึดหมุน (Hinge support) หรือจุดรองรับแบบยึดแน่น (Fixed support) ก็ตาม โดยรูปทรงที่เกิดขึ้นส่งผลมาจากรูปทรงของโครงสร้างจะมีแนวโน้มที่มีรูปทรงที่จะต้านแรงที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้าง ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างขึ้นอยู่กับชนิดของจุดต่อ การเปรียบเทียบรูปทรงโครงสร้างและจุดต่อแต่ละแบบของอาคารสถานีรถไฟฟ้า BTS และ ARL จะแสดงให้เห็นถึงผลของจุดต่อที่ต่างกันจะส่งผลถึงรูปทรงของโครงสร้างที่ต่างกัน เนื่องจากในจุดต่อที่ต่างกันจะส่งผลให้เกิดแรงในโครงสร้างที่แตกต่างกัน

## 1.4 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษารูปทรงโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS และสถานีรถไฟเชื่อมต่อท่าอากาศยานสุวรรณภูมิจำแนกรูปแบบเพื่อทำการศึกษาและเปรียบเทียบ
2. ศึกษาจุดต่อและองค์อาคารเฉพาะโครงสร้างหลัก ไม่รวมถึงโครงคร่าวและวัสดุปิดผิว
3. ศึกษาแรงที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้าง และการเสียรูปขององค์อาคาร โดยคิดผลจากแรงกระทำในแนวดิ่ง ประมวลผลด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element) โดยโปรแกรม “SAP2000” เพื่อให้ได้ผลที่น่าเชื่อถือ

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อให้สามารถเข้าใจปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกแบบรูปทรงโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ
2. เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนารูปทรงโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ
3. เพื่อเป็นฐานข้อมูลที่เกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างเหล็กรูปพรรณที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวข้องกับการออกแบบรูปทรงและจุดต่อโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ
2. วางขอบเขตในการศึกษาข้อมูลและกรณีศึกษา
3. ศึกษาและวางแผนการใช้เครื่องมือในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์
4. ดำเนินการเก็บข้อมูลตามขอบเขตที่วางไว้
5. แจกแจงข้อมูลและสร้างแบบจำลองในโปรแกรม SAP2000 เพื่อวิเคราะห์แล้วจึงนำผลมาเปรียบเทียบกันระหว่างกรณีศึกษา ในด้านแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง และจุดต่อที่ส่งผลต่อรูปทรงของโครงสร้าง
6. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

**ตารางที่ 1.1** แสดงแผนการดำเนินงาน

| ขั้นตอน | พ.ค. 56 | มิ.ย. 56 | ก.ค. 56 | ส.ค. 56 | ก.ย. 56 | ต.ค. 56 | พ.ย. 56 | ธ.ค. 56 | ม.ค. 57 | ก.พ. 57 | มี.ค. 57 | เม.ย. 57 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. เตรียมการสอบหัวข้อ | | | | | | | | | | | | |
| 2. สอบหัวข้อ | | | | | | | | | | | | |
| 3. ออกแบบการวิจัย | | | | | | | | | | | | |
| 4. รวบรวมข้อมูล | | | | | | | | | | | | |
| 5. ทำการทดลอง | | | | | | | | | | | | |
| 6. สรุปผลและตรวจสอบเนื้อหา | | | | | | | | | | | | |
| 7. สอบวิทยานิพนธ์ | | | | | | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.7 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา

**รูปทรงของโครงสร้าง** หมายถึง องค์อาคารต่างๆที่ประกอบกันเพื่อทำหน้าที่อย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง โดยแสดงออกถึงรูปร่างและขนาดในทั้ง 3 มิติ

**จุดต่อ** หมายถึง จุดเชื่อมต่อขององค์อาคารต่างๆที่มาบรรจบกัน หรือปลายจุดขององค์อาคารใดองค์อาคารหนึ่งที่มีฐานรองรับ

**หลังคา** หมายถึง สิ่งปกคลุมส่วนบนของอาคารสำหรับป้องกันแดดและฝน และให้หมายรวมถึงโครงสร้างหรือสิ่งใดซึ่งประกอบขึ้น เพื่อยึดเหนี่ยวสิ่งปกคลุมนี้ให้มั่นคงแข็งแรง (ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่อง ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544)

**เหล็กโครงสร้างรูปพรรณ** หมายถึง เหล็กที่ผลิตออกมามีหน้าตัดเป็นรูปลักษณะต่างๆ ใช้ในงานโครงสร้าง (ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่อง ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544)

**องค์อาคาร** หมายถึง ชิ้นส่วนของโครงสร้างอาคารที่ทำหน้าที่ถ่ายแรงหรือน้ำหนักบรรทุกต่างๆต่อเนื่องไปแต่ละชั้นจนกว่าจะถึงฐานรองรับของโครงสร้าง

**โครงสร้างช่วงพาดกว้าง** หมายถึง โครงสร้างที่ขนาดของช่วงพาดและเทคนิคการก่อสร้างถูกคำนึงถึงอย่างเด่นชัด ทั้งการหาจุดสมดุลระหว่างการรับแรงต่างๆ พร้อมกับการรับแรงของตัวโครงสร้างเอง โดยมีผลต่อความงามในการออกแบบทางสถาปัตยกรรม

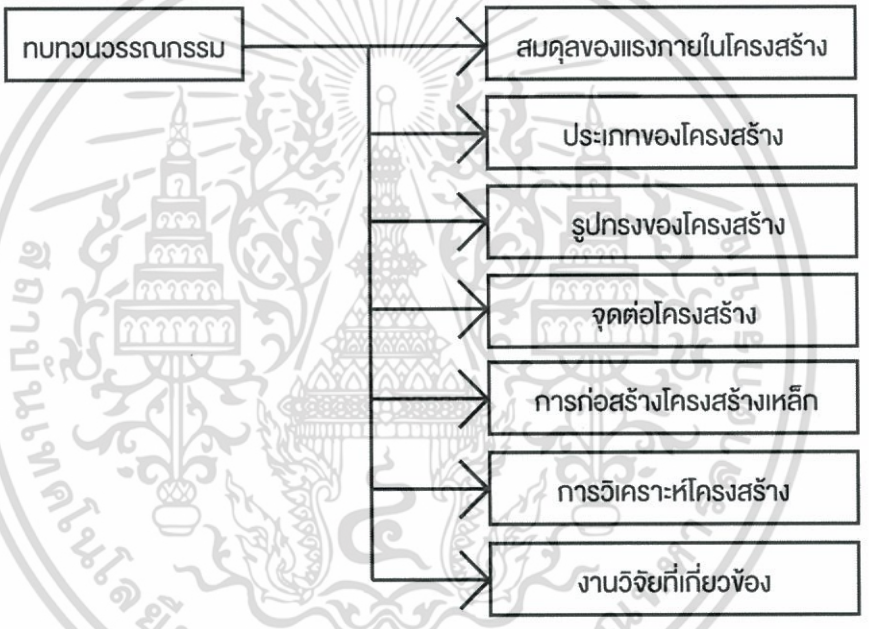
**สถานีรถไฟฟ้า BTS** หมายถึง สิ่งก่อสร้างที่คนใช้รอรถไฟฟ้า อยู่ติดกับทางวิ่งของรถไฟฟ้าของโครงการรถไฟฟ้าบีทีเอส

**สถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ARL** หมายถึง สิ่งก่อสร้างที่คนใช้รอรถไฟฟ้า อยู่ติดกับทางวิ่งของรถไฟฟ้าของโครงการระบบขนส่งทางรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิและสถานีขนส่งผู้โดยสารอากาศยานในเมือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในครั้งนี้ประกอบด้วยการศึกษาข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับทฤษฎีโครงสร้าง รูปทรงของโครงสร้าง และโครงสร้างเหล็ก ได้แก่ เหล็กโครงสร้างรูปพรรณ จุดต่อหรือรอยต่อของโครงสร้าง รวมถึงมาตรฐานสำหรับการออกแบบโครงสร้างเหล็ก และการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ โดยจำแนกตามหัวข้อได้ดังนี้




**ภาพที่ 2.1** แสดงกรอบในการศึกษาข้อมูลพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
ที่มา : ผู้วิจัย

## 2.1 ทฤษฎีสมดุลของแรงในโครงสร้าง

ความสมดุลตามพื้นฐานของหลักกลศาสตร์ซึ่งเกี่ยวกับระบบแรงและระบบสมดุลของแรงในสภาวะหยุดนิ่ง โดยเฉพาะความสัมพันธ์ของแรงที่กระทำต่อวัตถุแข็งเกร็งที่มีความสมดุลในสภาพหยุดนิ่ง ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความสมดุลของแรงในโครงสร้างดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1 การสมดุลของแรง (Static Equilibrium Condition)

วินิต ช่อวิเชียร (2528) ได้กล่าวถึงการสมดุลว่า เมื่อวัตถุอยู่นิ่งในขณะที่มีแรงมากระทำต่อวัตถุนั้น เรียกว่า สภาวะสมดุลย์ ภายใต้สภาวะนี้ผลรวมของแรงและโมเมนต์ในทุกทิศทางต้องเท่ากับศูนย์

ชลธี อิ่มอุดม (2554) ได้กล่าวถึงการสมดุลของวัสดุว่า โครงสร้างจะอยู่ในภาวะสมดุลเมื่อระบบของแรงที่กระทำมีแนวโน้มที่จะไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่หรือการหมุน จึงจะหมายความว่าอยู่ในภาวะสมดุล ระบบของแรงที่มาบรรจบกันต้องมีผลลัพธ์เท่ากับศูนย์ และผลรวมของโมเมนต์ของแรงทั้งหมดจะต้องเท่ากับศูนย์ การที่มีแรงหลายแรงกระทำแรงลัพธ์ที่จะเกิดการสมดุลได้ต้องมีอีกแรงที่ขนาดเท่ากันกระทำตามแนวแรงทิศทางตรงกันข้ามแรงลัพธ์นั้น

จากการศึกษาในเรื่องการสมดุลของแรงสรุปการสมดุลของโครงสร้างได้ว่า การสมดุลของโครงสร้างจะเกิดขึ้นเมื่อโครงสร้างมีแรงมากระทำแล้วมีแนวโน้มที่จะไม่เคลื่อนที่หรือเกิดการหมุน โดยแรงลัพธ์และโมเมนต์ในทุกทิศทางต้องเท่ากับศูนย์ โดยแสดงเป็นสมการของการสมดุลได้ดังนี้

1) $\sum Fx = 0$ หมายถึง ผลรวมทางพีชคณิตของแรงในแนวแกน X ต้องเท่ากับศูนย์
2) $\sum Fy = 0$ หมายถึง ผลรวมทางพีชคณิตของแรงในแนวแกน Y ต้องเท่ากับศูนย์
3) $\sum Fz = 0$ หมายถึง ผลรวมทางพีชคณิตของแรงในแนวแกน Z ต้องเท่ากับศูนย์
4) $\sum Mx = 0$ หมายถึง ผลรวมทางพีชคณิตของโมเมนต์ดัดรอบแกน X ต้องเท่ากับศูนย์
5) $\sum My = 0$ หมายถึง ผลรวมทางพีชคณิตของโมเมนต์ดัดรอบแกน Y ต้องเท่ากับศูนย์
6) $\sum Mz = 0$ หมายถึง ผลรวมทางพีชคณิตของโมเมนต์ดัดรอบแกน Z ต้องเท่ากับศูนย์[1]

[1] ชลธี อิ่มอุดม, **ระบบโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม**, พิมพ์ครั้งที่ 4 (กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554), หน้า 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.1.2 แรงภายนอก แรงภายใน และโมเมนต์**

วินิต ช่อวิเชียร (2528) ได้กล่าวถึงแรงปฏิกริยาว่า แรงที่กระทำต่อโครงสร้างมี 2 ชนิด คือ

1) แรงกระทำ (Active force) จากน้ำหนักของโครงสร้างหรือน้ำหนักบรรทุก
2) แรงต้านทานตรงฐานหรือที่รองรับ (Supporting force) เรียกอีกอย่างว่าแรงปฏิกริยา (Reactive force) ตอบโต้หรือต้านทานต่อแรงกระทำ

และยังได้กล่าวถึงน้ำหนักบรรทุกว่า ก่อนการวิเคราะห์และออกแบบจะต้องทราบน้ำหนักบรรทุกที่โครงสร้างต้องรับ น้ำหนักบรรทุกในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะแบบสถิตย์ (Static Loads) แบ่งได้เป็น 2 ประเภท

1) น้ำหนักบรรทุกตายตัว (Dead Loads) หมายถึง น้ำหนักบรรทุกที่มีตำแหน่งของการกระทำตายตัวหรือถาวรตลอดเวลาและไม่มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก
2) น้ำหนักบรรทุกจร (Live Loads) หมายถึง น้ำหนักบรรทุกที่กระทำชั่วครั้งชั่วคราว และอาจเปลี่ยนแปลงขนาดของน้ำหนักได้ แบ่งออกได้ 2 ชนิด น้ำหนักบรรทุกจรแบบเคลื่อนที่และน้ำหนักบรรทุกจรแบบไม่เคลื่อนที่

เฉลิม สุจริต (2543) ได้กล่าวถึงแรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุว่า แรงต้านทานภายใน (Resistance force) แบ่งเป็น 5 ชนิดดังนี้

1) แรงดึง (Tension) ต้านความพยายามที่จะทำให้วัสดุนั้นแผ่ ยืดออก ยาวออก หรือขาดจากกัน
2) แรงอัด (Compression) ต้านความพยายามที่จะทำให้วัสดุหดสั้นเข้า บีบเข้า
3) แรงเฉือน (Shear) กระทำกับวัสดุในแนวสัมผัสกับพื้นผิวที่รับแรง
4) แรงดัด (Bending) เมื่อโครงสร้างรับแรงดัดแล้วผิวบนจากแกนสะเทิน (Neutral axis) ขึ้นไปรับแรงอัด และผิวล่างของแกนสะเทินรับแรงดึงหรือบางกรณีเกิดกลับตรงข้ามกัน
5) แรงบิด (Torsion) ต้านความพยายามที่จะบิดวัสดุให้ขาดจากกัน

ชลธี อิ่มอุดม (2554) ได้กล่าวถึงแรงว่า แรงหรือโมเมนต์ที่กระทำต่อโครงสร้างเรียกว่ากระทำ “ภายนอก” (External) ซึ่งส่งผลให้เกิดแรง และโมเมนต์ในโครงสร้าง การตอบสนองต่อแรงและโมเมนต์ภายนอกนั้น เรียกว่า กระทำ “ภายใน” (Internal)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) แรงภายนอก

แรงและโมเมนต์ที่กระทำแบ่งชนิดใหญ่ๆได้ 2 ชนิด คือ

- แรงกิริยา (Action) น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อวัสดุกับโครงสร้าง
- แรงปฏิกิริยา (Reaction) แรงที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนโครงสร้างชิ้นหนึ่งต่อโครงสร้างอีกชิ้นหนึ่งโดยเฉพาะเกิดขึ้นที่รอยต่อหรือจุดรองรับ

โดยทั่วไปเมื่อวัสดุแข็งเกร็งอยู่ในภาวะสมดุลลักษณะของแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาทั้งหมดที่กระทำต่อวัสดุจะต้องอยู่ในภาวะสมดุล

2) ความเค้นภายใน แรงและโมเมนต์

แรงภายในและโมเมนต์เกิดขึ้นเนื่องมาจากการกระทำของแรงภายนอก เพื่อให้เกิดความสมดุลของชิ้นส่วนโครงสร้าง โดยแบ่งเป็น 2 ประเภทดังนี้

- แรงและโมเมนต์เกิดขึ้นที่จุดรอยต่อทั้งหมดของชิ้นส่วนที่ประกอบเป็นชิ้นส่วนของโครงสร้าง
- แรงหรือโมเมนต์เกิดขึ้นภายในเส้นใย (Fiber) ชิ้นส่วนของโครงสร้าง

จากการศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับสมดุลของแรงภายในโครงสร้างสรุปได้ว่าโครงสร้างที่มีแรงกระทำจากน้ำหนักบรรทุกต่างๆ จะอยู่ในภาวะสมดุลก็ต่อเมื่อแรงที่กระทำหรือแรงปฏิกิริยาจากน้ำหนักบรรทุกถูกถ่ายลงบนโครงสร้าง จะต้องมีแรงปฏิกิริยาเพื่อต้านทานหรือหักล้างแรงที่เกิดขึ้นเพื่อให้แรงลัพธ์ทั้งหมดเป็นศูนย์ รวมถึงแรงที่เกิดขึ้นภายในของโครงสร้างก็จะมีแรงต้านทานภายในเพื่อให้เกิดความสมดุลจากแรงภายนอกที่มากระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ประเภทของโครงสร้างและจุดต่อ

โครงสร้างอาคารมีหลากหลายประเภทซึ่งมีลักษณะพฤติกรรมการรับแรงที่แตกต่างกัน จึงได้ศึกษาถึงประเภทของโครงสร้างต่างๆ เพื่อสรุปเป็นฐานข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

### 2.2.1 ประเภทของโครงสร้าง

รศ. จรัญพัฒน์ ภูวนันท์ (2542) ได้แบ่งประเภทของโครงสร้างเหล็กที่นำมาใช้ก่อสร้างอาคารจำแนกประเภทหลักๆได้ 4 ประเภทดังนี้

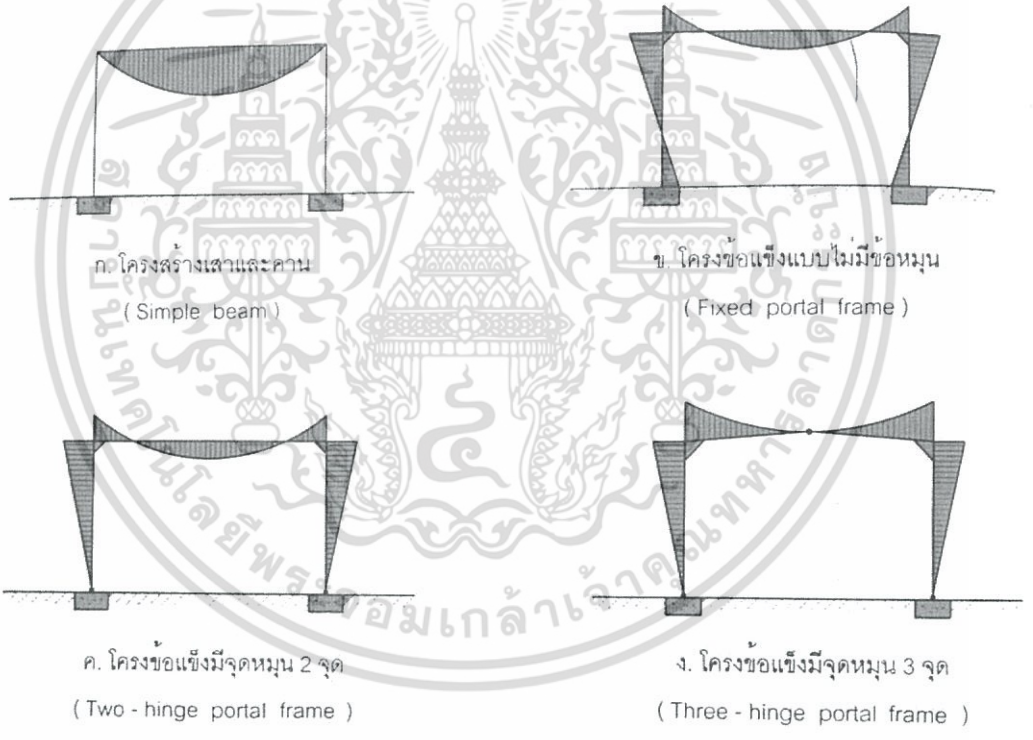
1) โครงเหล็กเบา (Lightweight steel frame) เป็นลักษณะโครงสร้าง Balloon frame ใช้โครงคร่าวผนัง (Stud) ในการรับน้ำหนักพื้นและหลังคา เหมาะกับอาคารพักอาศัย หรืออาคารสาธารณะขนาดเล็ก ความสูง 1-4 ชั้น องค์อาคารประกอบขึ้นด้วยเหล็กไลท์เกจ (Light gauge steel) หรือเหล็กขึ้นรูปเย็น (Cold formed steel section) ช่วงพาดประมาณ 2.50-6.00 เมตร
2) โครงเหล็กระบบเสาและคาน (Skeleton Steel Frame) ประกอบขึ้นจากเสาและคานเหล็ก นิบมโดยทั่วไป เหมาะกับอาคารทุกประเภท ใช้เหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ช่วงพาด 6.00-12.00 เมตร
3) โครงข้อแข็ง (Rigid frame) เสาและคานยึดติดเสมือนเป็นเนื้อเดียวกัน รับแรงร่วมกัน ลดโมเมนต์ดัดในคานแต่จะเพิ่มโมเมนต์ดัดในเสา และเกิดแรงถีบด้านข้างที่รอยต่อเสากับฐานราก ใช้วิธีการป้องกันเพื่อเสถียรภาพของโครงสร้าง ได้แก่
    - ให้ดินรอบๆฐานรากต้านทานแรงที่เกิดขึ้น
    - ออกแบบฐานรากเอียงรับแรงที่เกิดขึ้น
    - ใช้คาน (Tied beam) หรือเหล็กดึง (Tied bar) ยึดระหว่างฐานรากตรงกันข้าม
    - ออกแบบรอยต่อระหว่างเสากับฐานรากเป็นรอยต่อแบบข้อหมุน (Hinge Joint)

    มักใช้กับอาคารชั้นเดียวที่มีช่วงพาดกว้างและความสูงมาก เช่น ห้องประชุม โบสถ์ โกดัง โรงงาน ใช้เหล็กโครงสร้างรูปพรรณประกอบขึ้น ช่วงพาดประมาณ 12.00-45.00 เมตร ถ้าสูงเกิน 4.00 เมตร และพาดช่วงเกิน 15.00 เมตร ก็ควรพิจารณานำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอยต่อแบบข้อหมุนมาใช้ที่ฐาน สามารถแบ่งประเภทของโครงข้อแข็งได้ 3 ประเภท ตามลักษณะของข้อต่อได้ดังนี้

- โครงข้อแข็งที่ยึดติดแน่นกับฐานราก Fixed portal frame or Rigid frame) มีรอยต่อทุกจุดเป็นแบบแข็งเกร็ง
- โครงข้อแข็งที่มีข้อหมุน 2 จุด (Two pin portal frame) มีข้อหมุนที่ฐานทั้งสองข้างเพื่อลดแรงถีบ เสาจะรับโมเมนต์มากกว่าประเภทที่ ข. (ดูภาพที่ 2.2)
- โครงข้อแข็งที่มีข้อหมุน 3 จุด (Three pin portal frame) ข้อหมุนอยู่ที่ฐานทั้งสองข้างและยอดจั่วของหลังคา ข้อหมุนที่จุดยอดจะทำให้โมเมนต์จุดนั้นเป็นศูนย์ แต่ก็จะทำให้การโก่งตัวของโครงสร้างมากขึ้นเช่นกัน (ดูภาพที่ 2.2 ง.)
-




**ภาพที่ 2.2** แสดงประเภทของโครงข้อแข็ง

4) โครงเหล็กถัก หรือโครงข้อหมุน (Steel truss) โครงสร้างที่ประกอบขึ้นจากรูปสามเหลี่ยม โดยมีหลักการดังนี้

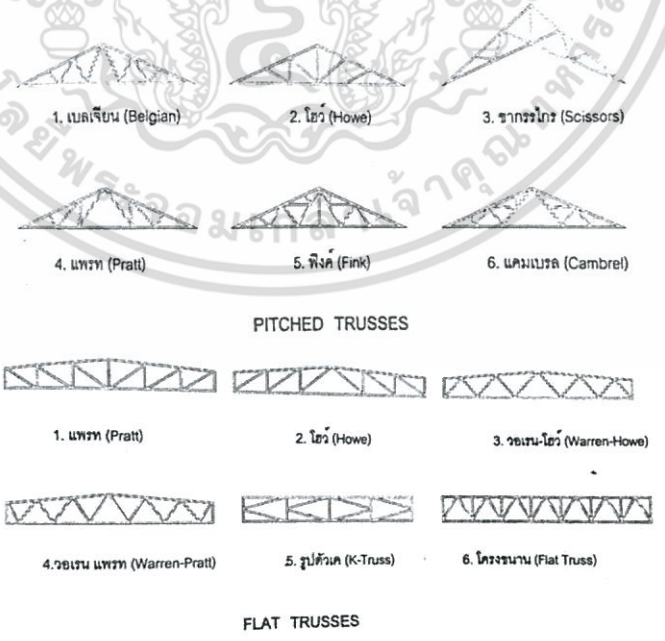
- สามเปลี่ยมเป็นรูปทรงที่แข็งเกร็ง (Rigid form) มีเถียรภาพ ไม่เสียรูปเมื่อมีแรงมากระทำที่จุดรอยต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ในรูปสามเหลี่ยมของแรง (Triangle of force) เกิดสมดุลของแรงเมื่อจุดตัด มีแรงรวมทั้งแนวตั้ง และแนวนอนเท่ากับศูนย์ โมเมนต์ที่จุดตัดของแรงจึงมีค่าเป็นศูนย์
- แรงที่เกิดในชิ้นส่วนโครงสร้างจะรับเฉพาะแรงดึงหรือแรงอัดตามแนวแกนเท่านั้น
- โครงถักทางเดียว (Simple truss) มีพฤติกรรมรับแรงเช่นเดียวกับคาน (Simple beam) แต่โครงถักสามมิติ (Space frame) จะเหมือนวัสดุแผ่น

ใช้ทำคานหลัก หรือ โครงหลังคาที่พาดช่วงกว้าง รวมถึงสามารถนำมาใช้ได้ทุกส่วนของอาคาร ใช้เหล็กโครงสร้างรูปพรรณมาประกอบเป็นโครงสร้าง แบ่งเป็น 3 ประเภท

- โครงถักระนาบเดียว (Simple truss) นิยมทั่วไป ช่วงพาดประมาณ 7.50-60.00 เมตร
- โครงถักสามมิติ (Space truss) เหมาะช่วงพาดกว้างหรือคลุมพื้นที่มากๆ ประมาณ 24.00-200.00 เมตร
- โครงถักแบบพิเศษ (Complicated trusses) โครงถักที่ประกอบขึ้นเป็นโครงสร้างประเภทอื่น เช่น โครงถักรูปโค้งประทุน โครงถักรูปโดม



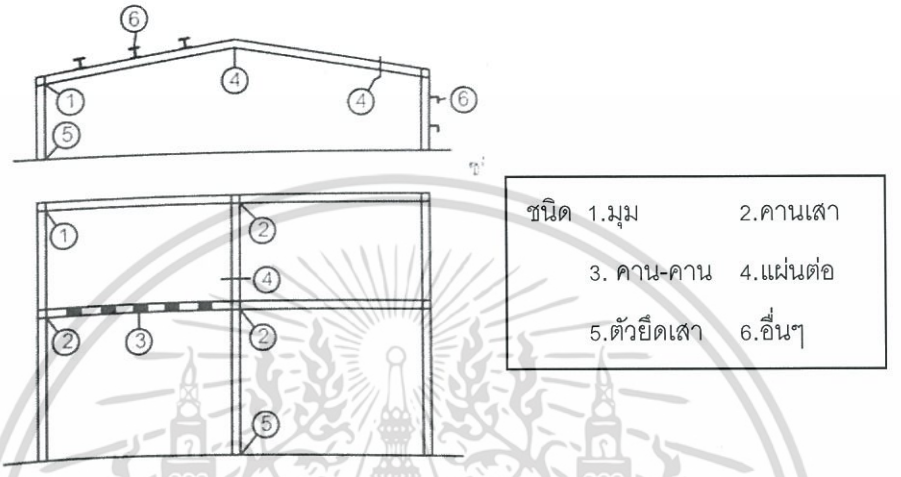

**ภาพที่ 2.3** แสดงประเภทของโครงถักระนาบเดียว

ที่มา: รศ. จรัญพัฒน์ ภูวนันท์ (2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2.2 จุดต่อของโครงสร้าง**

จุดต่อของโครงสร้างแต่ละประเภทก็จะส่งผลต่อแรงที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างต่างกันจึงทำการศึกษาจุดต่อประเภทต่างๆ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงในแต่ละประเภท




**ภาพที่ 2.4** แสดงตำแหน่งของจุดต่อโครงสร้างเหล็ก

ที่มา: ทักษิณ เทพชาตรี, อัครวัชร เล่นวารี (2553)

1) จุดต่อที่ฐานรองรับ

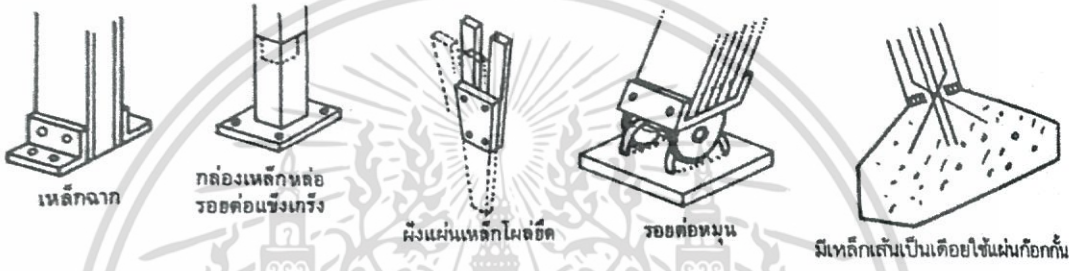
วินิต ช่อวิเชียร (2528) ได้กล่าวถึงจุดต่อที่ฐานรองรับว่า จำนวนของแรงปฏิกริยาบนโครงสร้างขึ้นกับประเภทของจุดรองรับ ซึ่งแบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

- แบบยึดหมุนเคลื่อนที่ได้ (Roller support) ยอมให้มีการหมุนได้รอบแกนที่ตั้งฉากกับระนาบ และเคลื่อนที่ในแนวขนานกับฐานรองรับ จึงมีเฉพาะแรงปฏิกริยาในแนวตั้งฉากกับฐานเท่านั้น
- แบบยึดหมุนเคลื่อนที่ไม่ได้ (Hinge support) ยอมให้มีการหมุนได้รอบแกนที่ตั้งฉากกับระนาบ แต่ไม่มีการเคลื่อนที่ จึงมีแรงปฏิกริยา 2 แรง คือ แรงปฏิกริยาในแนวขนานกับฐาน และแรงปฏิกริยาในแนวตั้งฉากกับฐาน
- แบบยึดแน่น (Fixed support) ยึดติดแน่นกับฐานโดยไม่ยอมให้มีการหมุนหรือเคลื่อนที่ใดๆ จึงมีแรงปฏิกริยา 3 แรง คือ แรงปฏิกริยาในแนวขนานกับฐาน แรงปฏิกริยาในแนวตั้งฉาก และโมเมนต์ดัดต้านการหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลิม สุจริต (2543) ได้กล่าวถึงการทำจุดต่อที่ฐานรองรับมีการทำได้โดยวิธีต่างๆ 5 วิธีดังนี้

- เหล็กฉากยึดติดกับขาเสาที่รองรับ
- ทำเป็นกล่องรับ หรือทำกล่องจมในพื้น
- ฝังเดือยเหล็กโผล่จากพื้นออกมายึดกับขาที่รองรับ
- ทำเป็นแกนให้หมุนได้รอบเล็กน้อย
- มีเดือยโลหะและฝังตัดให้ขาดระหว่างที่รองรับด้วยแผ่นก๊อก หรือแผ่นไม้มีเดือยยึด




**ภาพที่ 2.5** แสดงการทำจุดต่อฐานเสา

ที่มา: เฉลิม สุจริต (2543)

2) จุดต่อที่ระหว่างองค์อาคาร

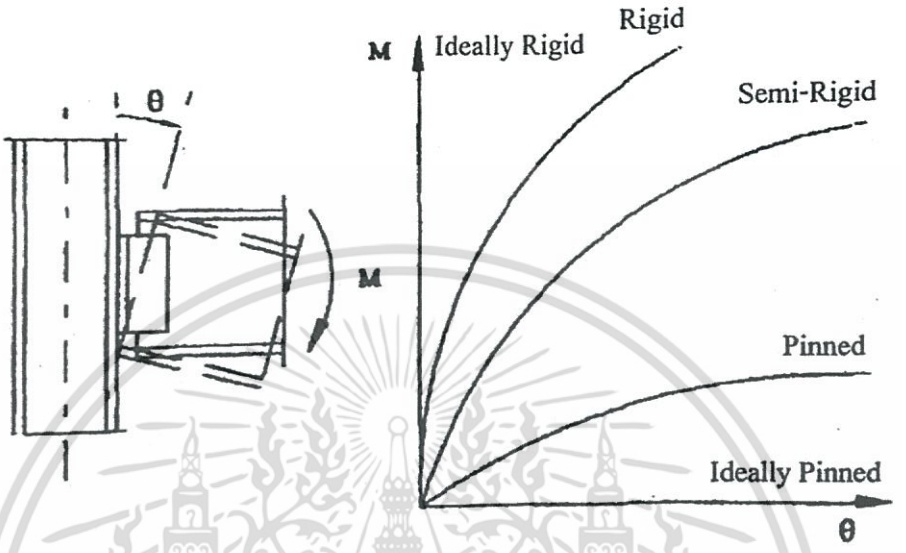
วินิต ช่อวิเชียร (2528) ได้กล่าวถึงจุดต่อที่เกิดจากปลายขององค์อาคารมาต่อกัน แบ่งได้เป็น 2 แบบ ดังนี้

- จุดต่อแบบยึดรั้ง (Rigid joint) มีการถ่ายโมเมนต์ดัดจากองค์อาคารหนึ่งไปสู่องค์อาคารหนึ่ง โดยตรงจุดต่อเป็นมุมเท่าใด องค์อาคารที่มาต่อกันจุดนั้นก็จะหมุนไปในทิศเดียวกันและเป็นมุมเท่านั้น
- จุดต่อแบบยึดหมุน (Pinned joint) ไม่มีการถ่ายโมเมนต์ดัดจากองค์อาคารหนึ่งไปสู่องค์อาคารหนึ่ง ผลรวมของโมเมนต์ดัดที่จุดต่อจึงเป็นศูนย์

มานิตย์ ลีกิจวัฒนะ (2542) ได้อ้างถึง Gerstle และ Ackroyd (1990) ว่าจุดต่อของโครงสร้างยังมีอีกประเภทคือ จุดต่อแบบกึ่งยึดแน่น (Semi-Rigid joint) ซึ่งเป็นจุดต่อที่มักปรากฏในงานก่อสร้างจริงเนื่องจากจุดต่อแบบยึดหมุน (Pinned joint) ในโครงสร้างจริงก็ไม่ได้หมุนอย่างอิสระโดยไร้แรงเสียดทานดังสมมติฐานของการออกแบบวิเคราะห์โครงสร้าง แต่จะกลายเป็นจุดต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบกึ่งยึดแน่น (Semi-Rigid joint) ซึ่งสามารถขยับได้เล็กน้อย ส่วนจุดต่อแบบยึดแน่นหรือยึดรั้ง (Rigid joint) ก็ไม่สามารถยึดแน่นโดยไม่มีการเปลี่ยนองศาของจุดเชื่อมต่อได้ดังสมมติฐาน ความแข็งเกร็งของจุดต่อแสดงออกมาดังกราฟความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและมุมที่เปลี่ยนไป




**ภาพที่ 2.6** แสดงความสัมพันธ์ของโมเมนต์ดัดและมุมของจุดต่อในโครงสร้างเหล็ก

ที่มา: มานิตย์ ลีกิจวัฒนะ (2542) อ้างถึง Gersle และ Ackroyd (1990)

รศ. จรัญพัฒน์ ภูวนันท์ (2542) ได้กล่าวถึงการทำรอยต่อระหว่างเสากับคานเหล็กว่า ปัจจุบันนิยมใช้เสาและคานเป็นเหล็กรูปปีกกว้าง (Wide flange section) โดยวิธีการทำรอยต่อแบบมาตรฐานมี 2 วิธี คือ

- การทำรอยต่อแบบใช้บ่ารองรับ (Seating)

  นิยมใช้เหล็กฉาก (Angle) หรือบ่าที่ประกอบขึ้นยึดติดกับเสาแล้วจึงนำคานเหล็กมาพาดบนบ่า แล้วยึดคานเหล็กติดกับเหล็กฉากที่รองรับ

- การทำรอยต่อแบบเข้ากรอบ (Framing)

  ใช้เหล็กฉากหรือเหล็กประกับยึดด้านข้างของคานให้ติดกับปีกหรือแผ่นเอว (Web) ของเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 รูปทรงของโครงสร้าง

รูปทรงของโครงสร้างมีความหลากหลาย แบ่งได้หลายประเภท จึงได้ทำการศึกษารูปทรงของโครงสร้างเพื่อความเข้าใจในพฤติกรรมของการถ่ายแรงและการรับน้ำหนักของรูปทรงนั้น เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

### 2.3.1 รูปทรงโครงสร้างที่เกิดจากประโยชน์ใช้สอย

เฉลิม สุจริต (2543) ได้กล่าวถึงการแบ่งรูปทรงโครงสร้างที่เกิดเพื่อประโยชน์ใช้สอยของมนุษย์ โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ประเภท

1) รูปทรงเพื่อผลทางศิลปะ (Artistic forms) หรือรูปทรงเพื่อเป็นสัญลักษณ์ (Symbolic forms)
2) รูปทรงเพื่อความสะดวกสบายหรือเป็นอาคาร (Protective commodities or Shelters)
3) รูปทรงเพื่อสร้างสรรค์บรรยากาศพิเศษ (Created amenities in space)

จากการแบ่งประเภทจะเห็นได้ว่ารูปทรงโครงสร้างเพื่อเป็นอาคารได้ถูกจัดอยู่ในประเภทเพื่อความสะดวกสบายหรือเพื่อป้องกันสิ่งรบกวนจากภายนอกสะท้อนถึงประโยชน์การใช้สอยของรูปทรงโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมได้อย่างชัดเจน

### 2.3.2 หน้าที่ของรูปทรงโครงสร้าง

เฉลิม สุจริต (2543) ได้กล่าวถึงหน้าที่ของโครงสร้างว่า แรงและน้ำหนักบรรทุกจะเป็นสิ่งบังคับและจัดระเบียบรูปทรงโครงสร้างให้มีลักษณะต่างกันไปได้อย่างเหมาะสมที่สุด การเคารพตามกฎของการถ่ายแรงให้เป็นไปอย่างง่ายตรงไปตรงมา จะทำให้เกิดความปลอดภัย มีการเสียหายเปลี่ยนรูปน้อย และมีความมั่นคงดีมาก

โครงสร้างอาจแยกเป็นหลายส่วนหลายตอน ประกอบร่วมกันจนเป็นตัวอาคาร แยกย่อยออกเป็นหลายชุดหลายตอน เมื่อประกอบเข้าด้วยกันก็จะเป็นอาคาร โครงสร้างแต่ละชุดย่อยก็จะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปร่างแต่ละชนิดเฉพาะ เนื่องจากมีแรงหรือน้ำหนักบรรทุกเป็นตัวบังคับให้เกิดรูปร่างต่างๆกันไป เช่น โครงสร้างพื้น โครงสร้างเสา โครงสร้างหลังคา เป็นต้น

### 2.3.3 รูปทรงเบื้องต้นของโครงสร้าง

เฉลิม สุจริต (2543) ได้กล่าวถึงการศึกษาโครงสร้างของรูปทรงเบื้องต้นที่มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเพื่อพิจารณาคุณสมบัติในการรับแรงเฉพาะของรูปนั้นๆ โดยแบ่งเป็นประเภทต่างๆดังนี้

**ตารางที่ 2.1** แสดงประเภทรูปทรงเบื้องต้นของโครงสร้าง

| รูปทรงเบื้องต้น | มิติทางเรขาคณิต | ประเภทมีความหลวมหย่อนได้ (Flexible type) | ประเภทมีความแข็งเคร่งตึงก้ำกึ่ง (Semi-rigid type) |
|---|---|---|---|
| จุด (Point) | 0 | เม็ด (Particle) | ก้อน (Brick) |
| ขีดยาว(Length) | 1 | เส้นเอ็น (Tendon) | ท่อน (Rod) |
| พื้นที่ (Area) | 2 | ผืน (Sheet) | แผ่น (Plate) |
| เนื้อที่ (Space) | 3 | กล่อง (Block) | กล่องตัน (Block) |

การรับแรงของแต่ละประเภทก็จะมีความแตกต่างกัน ตามลักษณะมิติทางเรขาคณิตและชนิดความแข็งหรือความยืดหยุ่นของโครงสร้าง

1) เม็ด (Particle) ไม่มีคุณสมบัติในการรับแรง
2) เส้นเอ็น (Tendon) มีคุณสมบัติในการรับแรงดังนี้
   - รับแรงดึงตามแนวเส้นได้
   - เกิดแรงโก่งเดาะ (Bucking) เมื่อรับแรงอัด
   - รับแรงดัดแรงเฉือนไม่ได้
   - เมื่อมีแรงดึงเกิดขึ้นตามเส้นมากเท่าใดแล้ว ยิ่งรับน้ำหนักบรรทุกตามความยาวได้โดยตกท้องช้าง (Sag) น้อยลง
3) ผืน (Sheet) มีคุณสมบัติในการรับแรงดังนี้
   - รับแรงดึงได้ดีในแนวขนานกับระนาบของผืน หรือเมื่อยึดรอบพื้นที่ผืน หรือยึดปลายทั้งสอง หรือ ยึดปลายหนึ่งของผืนไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ควรมีคุณสมบัติทางกำลังที่ดี มีความเหนียว (Toughness)
- สามารถทำโค้งแนวเดียวได้ แต่ทำโค้ง 2 ทิศไม่ได้ถ้าไม่ตัดประกอบใหม่
- ผืนมีโครงกรอบ (Framed sheet) จะรับแรงดึง แรงเฉือน และแรงอัดทแยงได้

4) ก้อน (Brick)

มีคุณสมบัติต่างกันไปแล้วแต่วัสดุ กล่องตันมีกำลังและความแข็งเกร็งมากรับแรงประเภทต่างๆได้ดี

5) ท่อน (Rod) มีคุณสมบัติในการรับแรงดังนี้

- คือเส้นเอ็นขนาดใหญ่ขึ้น รับแรงดึง แรงอัด แรงดัด และแรงบิดได้ดี
- ใช้เป็นเสาสั้น รับแรงอัดได้ดีมาก ถ้ายาวมากขึ้นอาจโก่งเดาะได้ ต้องเพิ่มความแข็งตัวมากขึ้น
- ใช้วัสดุที่รับแรงดึงได้ดีจะเป็นท่อนรับแรงได้ทุกประเภท
- ใช้วัสดุที่มีความแข็งเกร็งจะรับแรงเฉือนกับแรงบิด ใช้ทำคานได้

6) แผ่น (Plate)

คือผืนเพิ่มความหนาขึ้น เมื่อยึดเป็นระยะในทิศตั้งฉากกับระนาบของตัวแผ่นแล้วจะบรรทุกแรงอัด รับแรงเฉือนและรับแรงดัดขนานกันระนาบของตัวแผ่นได้

7) กล่องตัน (Block)

ก้อนที่มีขนาดใหญ่ ในทางปฏิบัติอาจไม่มีการสร้างให้ได้รูปตันดังต้องการเพราะต้องการประหยัดวัสดุ แต่เพื่อคงให้ได้ความแข็งเกร็งให้พอเท่านั้นจึงทำเป็นกล่องกลวงไว้ภายใน หรือประกอบรูปทรงพอให้ได้คุณสมบัติกล่องตัน

8) คานและแผ่นพาด (Beams and planks)

คานใช้ผิวบนของด้านแคบรับน้ำหนักบรรทุกคานรับแรงดัดในแนวดิ่งกับระนาบได้ดี ที่ผิวบนรับแรงอัดนั้นอาจเสริมเนื้อให้แข็งตัว (Stiffener) ให้มีหน้าตัดมากขึ้นได้ และอาจเสริมปล้องตั้งเป็นระยะ เพื่อช่วยรับแรงอัดแนวทแยงซึ่งเกิดจากแรงเฉือน หรือทำการเสริมผิวล่างให้หนาขึ้นเพื่อรับแรงดึงก็ได้ เมื่อพิจารณาดูคานปีกยื่น (Flange) จะเห็นว่าปีกบนปีกล่าง และตัวแผ่นแกนตั้งเดิมทำงานประกอบร่วมกันหมด โดยมีปีกบนรับแรงอัด ปีกล่างรับแรงดึง และแผ่นแกนตั้งรับแรงเฉือน ซึ่งเกิดทั้งแรงอัดแนวทแยงและแรงดึงด้วย ส่วนแผ่นพาดต่างกับคานตรงที่ใช้ด้านแบนนอนรับน้ำหนักบรรทุกในทิศตั้งฉากกับแนวระนาบของแผ่นพาด

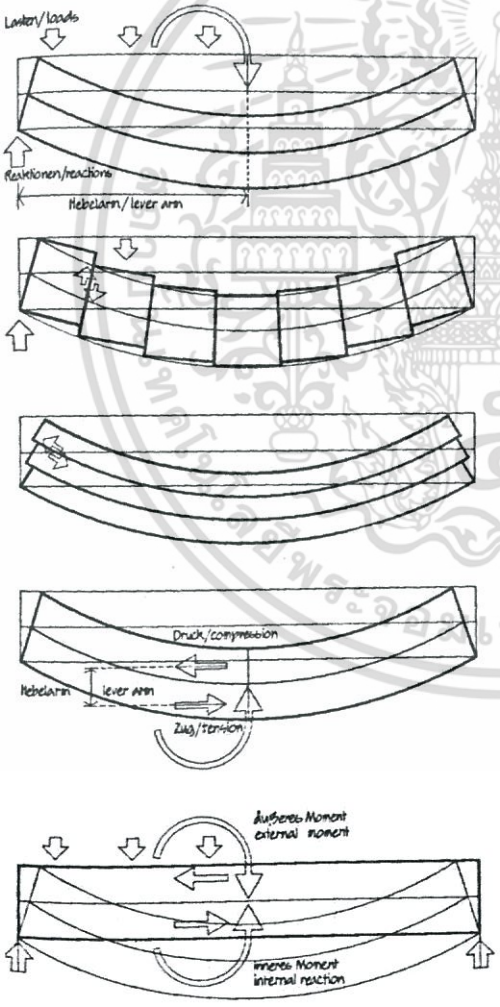
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.4 แรงที่เกิดขึ้นกับรูปทรงของโครงสร้างแต่ละประเภท

จากการศึกษาในโครงสร้างแต่ละประเภทจะมีลักษณะรูปทรงและการถ่ายแรงแตกต่างกันตามแต่ละประเภท จึงศึกษาถึงพฤติกรรมและการถ่ายแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละประเภทและรูปทรงของโครงสร้าง

Heino Engel และ Verlag Gerd Hatje (2540) ได้กล่าวถึงโครงสร้างที่แบ่งตามลักษณะต่างๆ และแรงที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างนั้น โดยลักษณะพฤติกรรมการถ่ายแรงจะแตกต่างกับในแต่ละประเภทแต่จะคล้ายคลึงกันในโครงสร้างประเภทเดียวกันโดยจะแตกต่างกันที่แรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างเนื่องจากรูปทรงที่ต่างกัน

1) Beam Structures




โมเมนต์ภายนอก (External rotational moment)

แรงเฉือนในแนวดิ่ง (Vertical Shear)

แรงเฉือนในแนวราบ (Horizontal Shear)

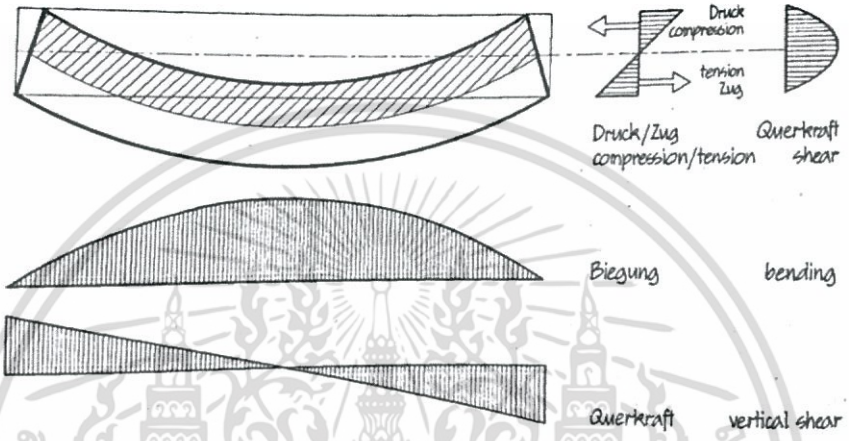
โมเมนต์ที่เกิดภายใน (Internal rorational moment (Reaction))

แรงดัดและการต้านทานแรงดัด (Bending and Bending resistance)

**ภาพที่ 2.7** แสดงแรงที่เกิดในโครงสร้างคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงที่เกิดขึ้นภายในคานนั้นมีทั้งแรงอัดและแรงดึงโดยส่วนบนของคานจะทำหน้าที่รับแรงอัด และส่วนล่างของคานจะทำหน้าที่รับแรงดึงเมื่อพิจารณาในหน้าตัดของคาน นอกจากนี้ยังมีแรงที่เกิดขึ้นอีกคือแรงดัดและแรงเฉือน แรงดัดจะมีค่าน้อยที่สุดบริเวณปลายทั้ง 2 ด้าน และมากขึ้นจนมีค่ามากที่สุดบริเวณกึ่งกลางคาน ปริมาณแรงที่เกิดมีรูปโค้งคล้ายพาราโบลา แรงเฉือนจะมีค่ามากที่สุดบริเวณจุดรองรับและลดลงจนมีค่าน้อยที่สุดบริเวณกึ่งกลางคาน ปริมาณแรงที่เกิดเป็นเส้นตรง (ดูภาพที่ 2.8)

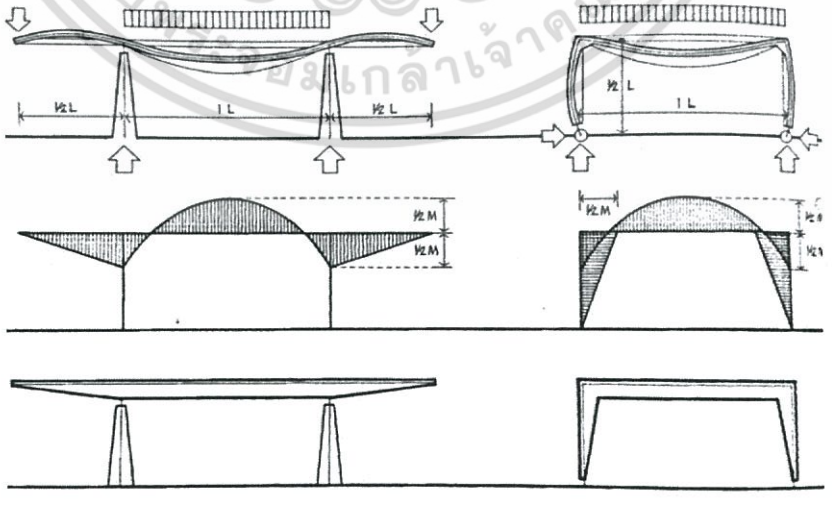



**ภาพที่ 2.8** แสดงแรงเฉือนและแรงดัดที่เกิดในโครงสร้างคาน

ที่มา : Heino Engel (2540)

2) Frame Structures

แรงปฏิกริยาในแนวดิ่งบริเวณฐานจะต่อต้านการหมุนของโครงสร้างและลดการโก่งตัวของคานเนื่องจากแรงดัดกลับ ในลักษณะเดียวกับโครงสร้างเสาคานที่มีการยื่นปลาย (ดูภาพที่ 2.9)

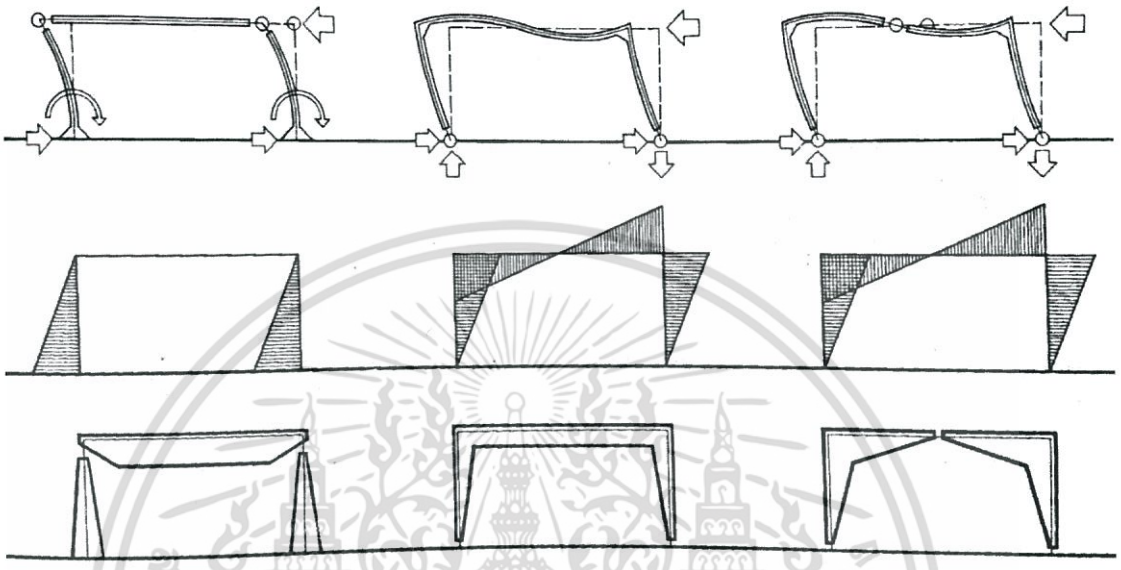



**ภาพที่ 2.9** แสดงแรงที่เกิดจากแรงแนวดิ่งในโครงข้อแข็งเทียบกับโครงสร้างเสาและคานยื่นปลาย

ที่มา : Heino Engel (2540)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

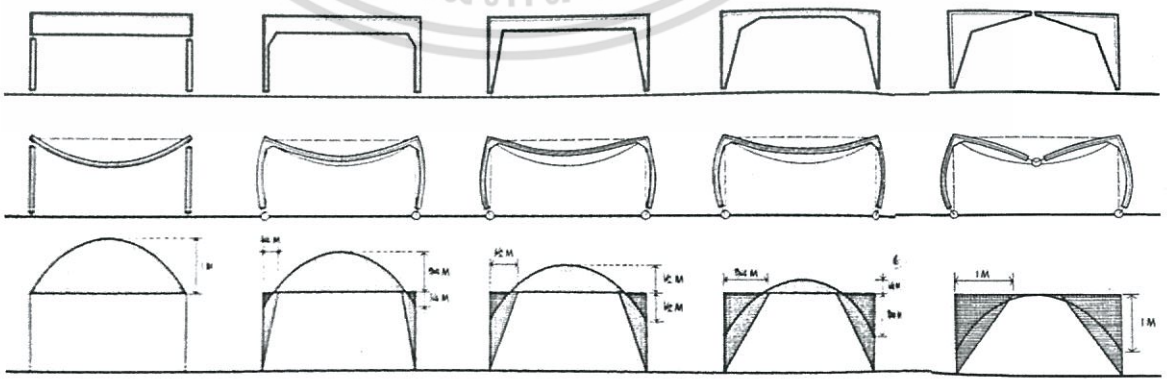
แรงกระทำด้านข้าง ในโครงสร้างเสาและคาน (Simple beam) จะต้องการเพิ่มความแข็งเกร็งของจุดรองรับเพื่อต้านโมเมนต์ที่เกิดขึ้น แต่ในโครงข้อแข็ง (Rigid frame) จะเกิดแรงปฏิกริยาต้านซึ่งเป็นแรงที่ตรงกันข้ามกับการหมุน (ดูภาพที่ 2.10)



**ภาพที่ 2.10** แสดงแรงที่เกิดจากแรงด้านข้างในโครงข้อแข็งเทียบกับโครงสร้างเสาและคาน

ที่มา : Heino Engel (2540)

แรงที่เกิดขึ้นในโครงข้อแข็งยังแตกต่างกันในแต่ละรูปทรงของโครงสร้าง โดยสามารถลดการโก่งตัวของช่วงคาน ขึ้นอยู่กับความแข็งเกร็ง (Stiffness) ของเสา โดยมีผลต่อระดับการโก่งตัวและรูปทรงของโครงสร้าง (ดูภาพที่ 2.11)



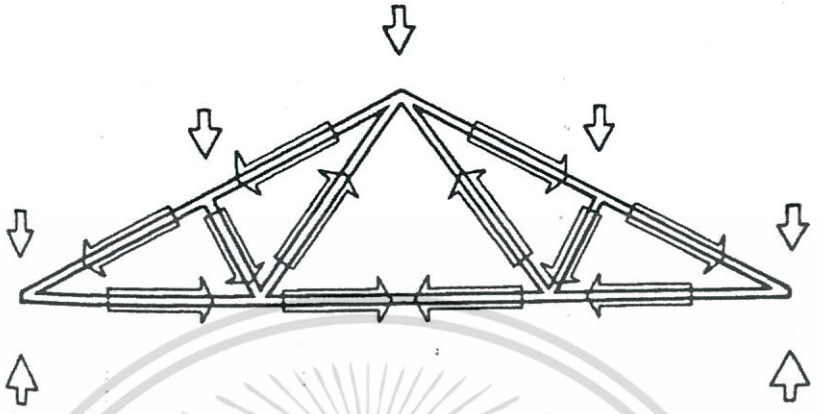
**ภาพที่ 2.11** แสดงแรงที่เกิดในโครงข้อแข็งรูปทรงต่างๆ

ที่มา : Heino Engel (2540)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) Flat Trusses

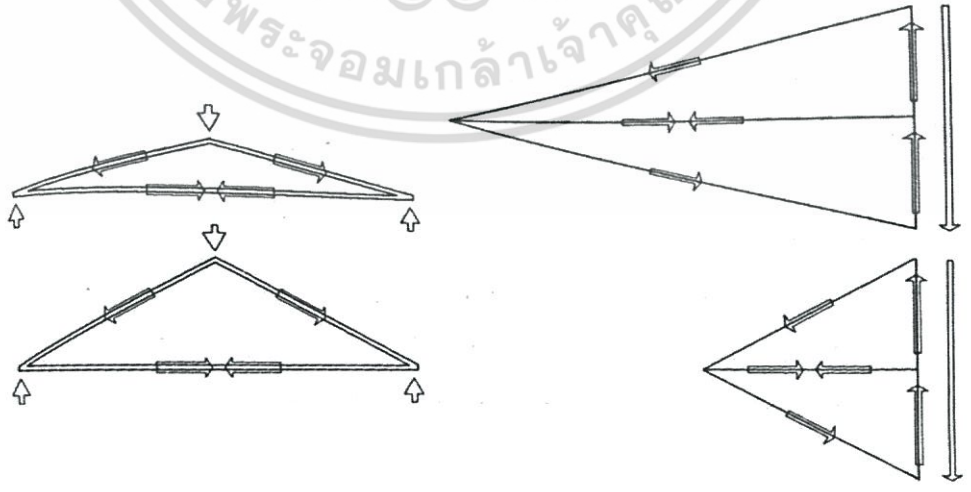
การถ่ายแรงของโครงข้อหมุน จะถ่ายแรงไปตาม members ส่งไปสู่จุดรองรับ มีการรับแรงทั้งแรงอัดและแรงดึงขึ้นกับลักษณะการรับแรง



**ภาพที่ 2.12** แสดงการถ่ายแรงดึงและแรงอัดในโครงถัก

ที่มา : Heino Engel (2540)

รูปทรงของโครงข้อหมุนจะส่งผลกับแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง โดยช่วงพาดที่เท่ากันแต่ความสูงที่ต่างกัน โครงสร้างที่มีความสูงน้อยกว่าจะเกิดแรงภายในแต่ละชิ้นส่วนมากขึ้นเนื่องจากส่วนประกอบที่อยู่ในทิศทางของแรงที่กระทำจะลดน้อยลงและลดประสิทธิภาพลง โครงสร้างที่มีความสูงมากกว่าแรงที่เกิดภายในแต่ละชิ้นส่วนจะลดลงเนื่องจากส่วนประกอบที่อยู่ในทิศทางของแรงที่กระทำมีมากกว่าและประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

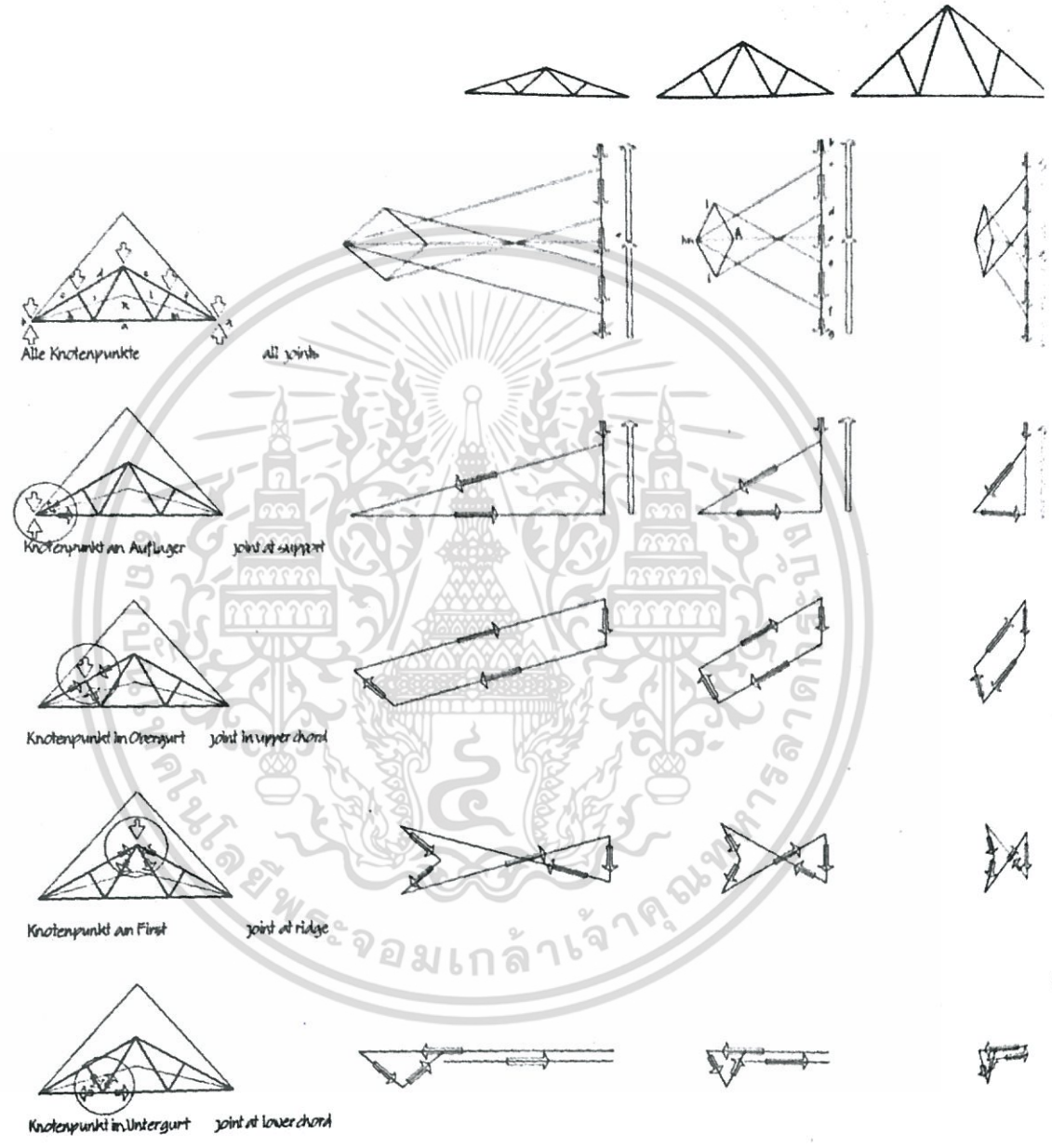


**ภาพที่ 2.13** แสดงการเปรียบเทียบความสูงของโครงข้อหมุนและแรงที่เกิด

ที่มา : Heino Engel (2540)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงที่กระทำในแต่ละส่วนของโครงข้อหมุนก็จะได้รับผลจากความสูงของโครงสร้างเช่นเดียวกัน โดยโครงสร้างที่มีความสูงมากกว่าจะเกิดแรงในแต่ละชิ้นส่วนน้อยกว่าโครงสร้างที่มีความสูงน้อย

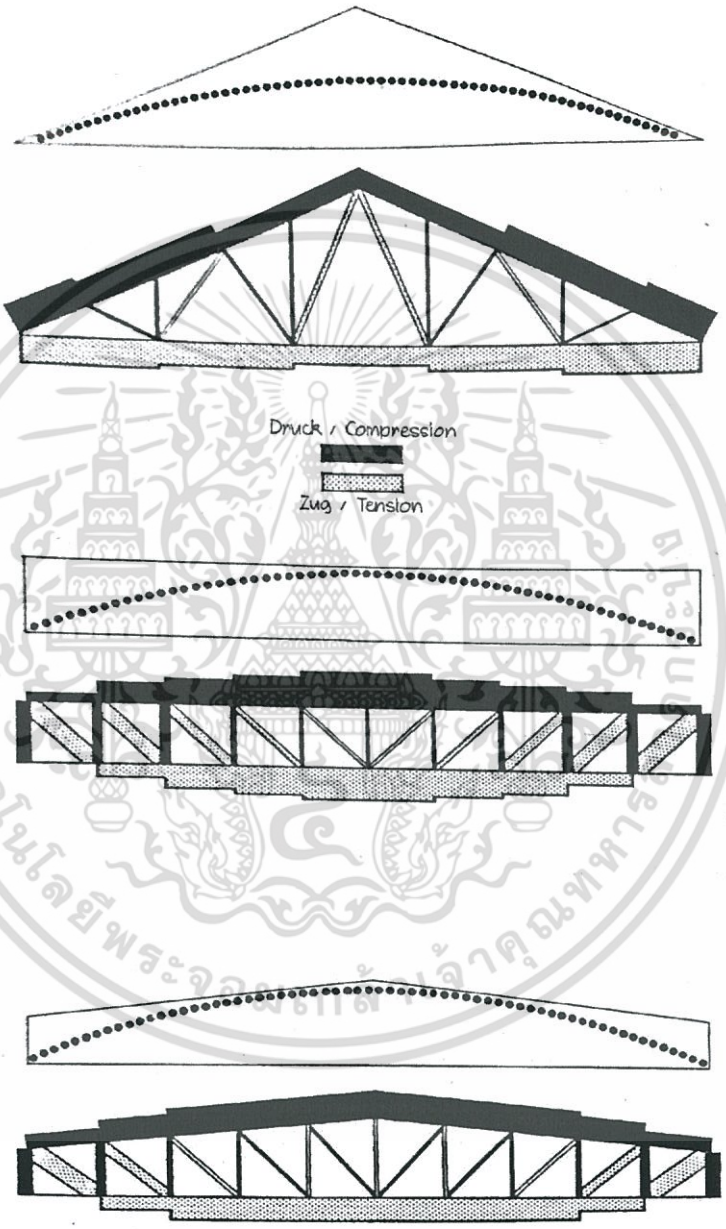



**ภาพที่ 2.14** แสดงข้อต่อที่มีการรับและกระจายแรงแต่ละจุดพร้อมด้วยการพลอทแรงในรูปของเวคเตอร์

ที่มา : Heino Engel (2540)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปทรงของโครงข้อหมุนแต่ละประเภทก็จะมีการถ่ายแรงที่แตกต่างกัน เนื่องจากการกระจายแรงของแต่ละลักษณะจะส่งผลให้ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นนั้นรับแรงอัดหรือแรงดึงขึ้นอยู่กับทิศทางและการกระจายแรงของแต่ละรูปแบบ (ดูภาพที่ 2.15)




**ภาพที่ 2.15** แสดงการเปรียบเทียบแรงอัดและแรงดึงที่เกิดขึ้นในแนวนอน ในขณะที่ปริมาณของแรงที่เกิดขึ้นแนวดิ่งเป็นแรงเฉือนในโครงข้อหมุนแต่ละรูปทรง

ที่มา : Heino Engel (2540)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การก่อสร้างโครงสร้างเหล็ก

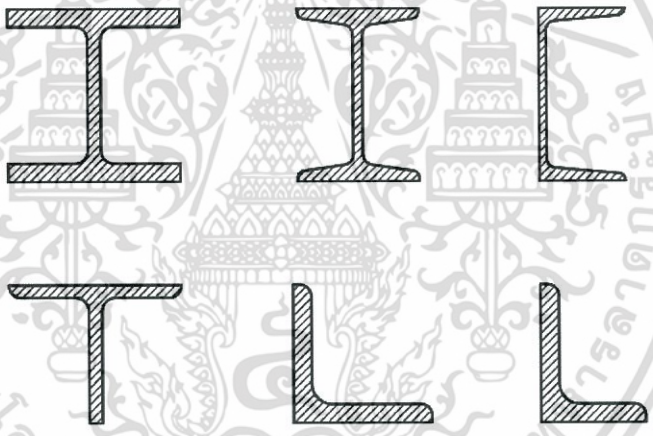
### 2.4.1 ประเภทของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ

จากการศึกษาพบว่าเหล็กโครงสร้างรูปพรรณในประเทศไทยมีอยู่หลายประเภท สามารถจำแนกได้ตามประเภทของชนิดและการผลิต

จรัญพัฒน์ ภูวนันท์ (2542) ได้กล่าวถึงประเภทของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณซึ่งแบ่งตามวิธีการผลิตออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

2.4.1.1 เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน (Hot-rolled structural steel sections)

เป็นเหล็กโครงสร้างที่ทำมาจาก เหล็กกล้า หรือเหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) เป็นเหล็กที่มีรูปตัดแข็งแรงมาก ใช้ในงานโครงสร้างของอาคารอุตสาหกรรม และอาคารสาธารณะทั่วๆไป โดยเฉพาะอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่[2]



**ภาพที่ 2.16** รูปหน้าตัดเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน SM และ SS ตาม มอก.1227-2539

ที่มา: ดัดแปลงจาก มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1227-2539

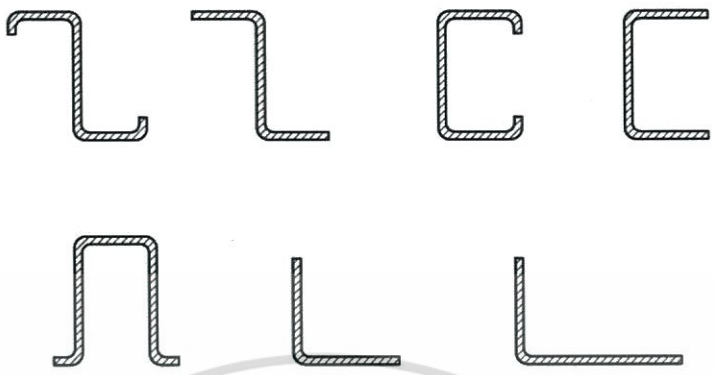
2.4.1.2 เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็น (Cold formed structural steel sections)

เป็นเหล็กโครงสร้างที่ทำมาจากเหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) โดยการขึ้นรูปเย็น ซึ่งหมายถึงการแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อน (Cold forming) นิยมใช้ในงานโครงสร้างของอาคารที่มีขนาดเล็ก หรือขนาดปานกลาง ซึ่งมีน้ำหนักบรรทุกน้อย หรือไม่ต้องการความคงทนถาวรมากนัก มี

[2] จรัญพัฒน์ ภูวนันท์, **การก่อสร้างด้วยเหล็ก**, หน้า 23.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

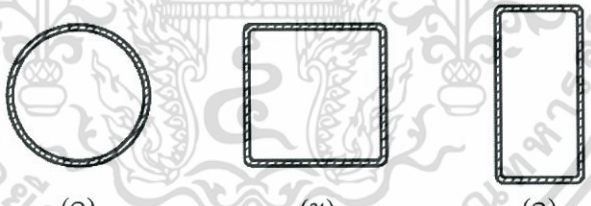
รูปตัดขนาดเล็ก หาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด นิยมใช้แทนไม้แปรรูป หรือมักใช้แทนเหล็กโครงสร้างรูปพรรณประเภทอื่น เพื่อความประหยัด



**ภาพที่ 2.17** รูปหน้าตัดเหล็กรูปพรรณขึ้นรูปเย็นตาม มอก.1228-2537

ที่มา: ดัดแปลงจาก มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1228-2537

เหล็กโครงสร้างรูปพรรณกลวง (Tube หรือ Hollow section) ตามมาตรฐานมอก.107-2533 แบ่งรูปหน้าตัดออกเป็น 3 รูปแบบ (ภาพที่ 2.17) คือ (ก) ท่อกลมกลวง (Circular tube) (ข) รูปตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกลวง (Square hollow section) และ (ค) รูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้ากลวง (Rectangular hollow section)



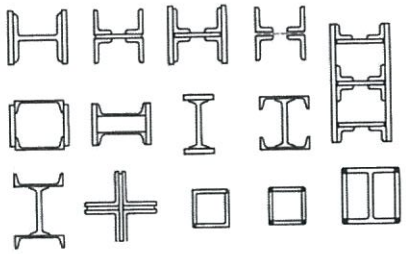
(ก) (ข) (ค)

**ภาพที่ 2.18** เหล็กโครงสร้างรูปพรรณกลวง มอก.107-2533

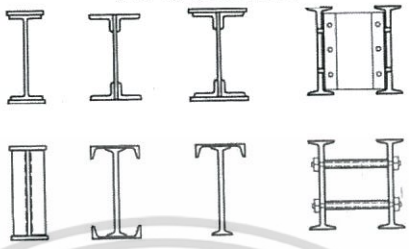
ที่มา: ดัดแปลงจาก มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.107-2533

2.4.1.3 เหล็กโครงสร้างรูปพรรณเชื่อมประกอบ (Welded structural steel sections) เป็นเหล็กโครงสร้างที่ผลิตให้มีรูปตัดต่างๆ (เช่น รูปตัวเอช) โดยวิธีเชื่อมด้วยเครื่องจักร และระบบการผลิตแบบต่อเนื่องในโรงงานอุตสาหกรรม สามารถนำมาใช้งานแทนเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อนได้ แต่ปกติจะมีความแข็งแรงของรูปตัดน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) เสาประกอบ



(ข) คานประกอบ

**ภาพที่ 2.18** ตัวอย่างเหล็กโครงสร้างรูปพรรณเชื่อมประกอบ

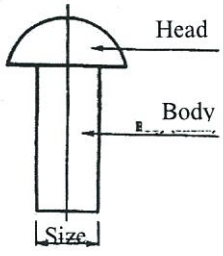
ที่มา: จรัญพัฒน์ ภูวนันท์ (2542)

**2.4.2 วิธีการยึดต่อเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ**

การยึดต่อเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ สำหรับโครงสร้างโดยทั่วไป มีอยู่ 3 วิธี ดังต่อไปนี้

2.4.2.1 การยึดต่อด้วยหมุดย้ำ (Riveting)

หมุดย้ำที่ใช้มีหลายชนิด แต่โดยทั่วไปผลิตจากเหล็กเหนียวเส้นกลม จะมีหัวบานเป็นรูปดอกเห็ด (Button head) หรือรูปอื่นๆอยู่ที่ปลายข้างหนึ่ง ลำตัว (Shank) ยาวตามความเหมาะสมของการใช้งาน ต้องมีการเจาะรูที่แผ่นเหล็กหรือเหล็กโครงสร้าง โดยวิธีการกดเจาะ (Punched) หรือใช้สว่านเจาะ รูเจาะมีขนาดโตกว่าลำตัวของหมุดย้ำเล็กน้อย การประกอบต้องเผาไฟหมุดย้ำให้ร้อน (1,000°F ถึง 1,950°F) แล้วจึงนำไปสวมในรู หลังจากนั้นจึงตีย้ำปลายหมุดอีกด้านหนึ่งให้เกิดหัวหมุดทั้งสองด้านโดยใช้ฆ้อนตี แต่ปัจจุบันใช้เครื่องย้ำหมุดอัตโนมัติ (Riveter หรือ Pneumatic hammer) เมื่อหมุดย้ำเย็นตัวลงจะดึงแผ่นเหล็ก หรือโครงสร้างให้ยึดกันแน่นขึ้นกว่าเดิม



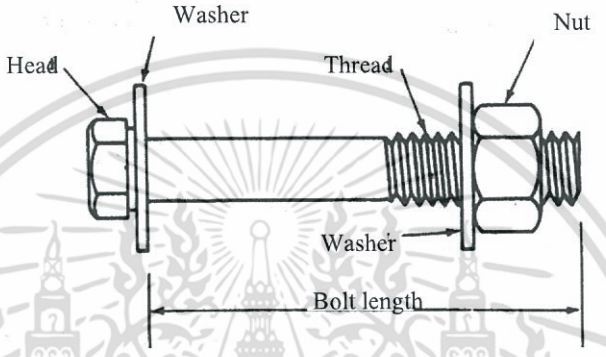

**ภาพที่ 2.20** หมุดย้ำ

ที่มา: สนั่น เจริญเผ่า และวินิต ช่อวิเชียร (2530)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.2 การยึดต่อด้วยสลักเกลียว (Bolting)

การยึดต่อด้วยสลักเกลียวจะมีลักษณะใกล้เคียงกับการใช้หมุดย้ำ แต่สามารถทำงานได้สะดวกกว่า ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ หรือการเตรียมการมากนัก และสามารถขันถอดเพื่อประกอบใหม่ได้ แต่มีข้อเสียเปรียบหมุดย้ำที่สลักเกลียวอาจหลวมหรือคลายเกลียวหลุดออกได้เมื่อใช้ไปนานๆ โดยเฉพาะโครงสร้างที่มีการสั่นสะเทือนอยู่เสมอๆ แต่ปัจจุบันได้มีการผลิตสลักเกลียวชนิดใหม่ๆขึ้นมาใช้ เมื่อให้มีความแข็งแรงทัดเทียม หรือมากกว่าหมุดย้ำ โดยสามารถแก้ปัญหาการคลายเกลียวได้ด้วย




**ภาพที่ 2.21** สลักเกลียว

ที่มา: สนั่น เจริญเผ่า และวินิต ช่อวิเชียร (2530)

2.4.2.3 การยึดต่อโดยการเชื่อม (Welding)

นอกจากการต่อโดยการใช้หมุดย้ำหรือสลักเกลียวแล้ว การต่อที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ก็คือการต่อโดยการเชื่อม ซึ่งเป็นวิธีการต่อแผ่นโลหะให้ติดกันโดยใช้ความร้อนเผาโลหะตรงบริเวณที่ทำการต่อให้หลอมละลาย และใช้ลวดเชื่อมหลอมติดแผ่นโลหะบริเวณนั้น[3] ชนิดของการเชื่อมโละที่ใช้กันทั่วไป มี 3 วิธีคือ การเชื่อมด้วยไฟฟ้า (Electric arc welding) การเชื่อมด้วยแก๊ส (Gas welding) การเชื่อมด้วยความร้อน (Resistance welding)[4] โดยแบบของการเชื่อมถ้าเรียกตามชนิดของการเชื่อมที่สำคัญ จะมี 2 ชนิด คือ การเชื่อมแบบต่อชน (Butt weld) และการเชื่อมแบบต่อทาบ (Fillet weld)[5]

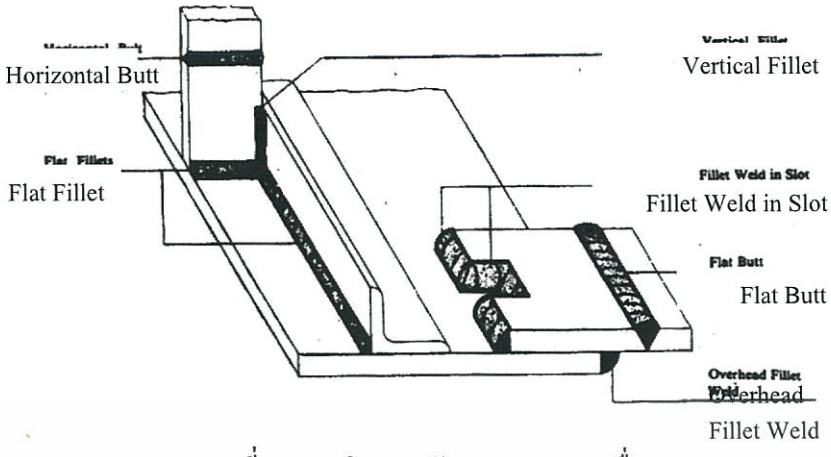
---

[3] สนั่น เจริญเผ่า และวินิต ช่อวิเชียร, **การออกแบบโครงสร้างไม้และโครงสร้างเหล็ก**, พิมพ์ครั้งที่ 7 (กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530), หน้า 241.

[4] จรัญพัฒน์ ภูวนันท์, **การก่อสร้างด้วยเหล็ก**, หน้า 47.

[5] สนั่น เจริญเผ่า และวินิต ช่อวิเชียร, **การออกแบบโครงสร้างไม้และโครงสร้างเหล็ก**, หน้า 241.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 2.22** ชนิดและลักษณะของการเชื่อม

การยึดต่อเหล็กโครงสร้างรูปพรรณแต่ละวิธีนั้นจะใช้อุปกรณ์การยึดต่อ (Fastener) และขั้นตอนในการปฏิบัติที่แตกต่างกัน ซึ่งต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะของงานออกแบบ ระบบการก่อสร้าง สถานที่ก่อสร้าง ความสะดวกในการปฏิบัติงาน และความชำนาญของช่าง (ท้องถิ่น) ด้วย เพื่อประหยัดราคาค่าก่อสร้าง และได้งานที่มีมาตรฐานดี[6]

วิธีการยึดต่อทั้ง 3 วิธี คือการเชื่อม การใช้สลักเกลียว และการใช้หมุดย้ำ โดยทั่วไปแล้วสามารถใช้ในการทำรอยต่อโครงสร้างเหล็กได้ดี และใช้แทนกันได้ ขึ้นอยู่กับความนิยม หรือความเคยชินของผู้ออกแบบและช่างก่อสร้างในแต่ละท้องถิ่นเป็นสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามทั้ง 3 วิธีนั้น ต่างก็มีข้อจำกัด หรือข้อดีข้อเสียแตกต่างกันด้วยเช่นกัน จึงต้องพิจารณาเลือกใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะงาน หรือความต้องการพิเศษในแต่ละโครงการก่อสร้างด้วย[7]

[6] **จรัญพัฒน์ ภูวนันท์, การก่อสร้างด้วยเหล็ก**, หน้า 39.

[7] **เรื่องเดียวกัน, หน้า** 51.

เอกสารนี้ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบของวิธีการยึดต่อเหล็ก**

ที่มา: จรัญพัฒน์ ภูวนันท์ (2542)

| | ข้อได้เปรียบ | ข้อเสียเปรียบ |
|---|---|---|
| ใช้หมุดย้ำ | 1. สามารถต้านทานแรงไดนามิกส์หรือการสั่นสะเทือนได้ดีกว่าการใช้สลักเกลียวปกติ<br>2. ให้ความประณีตเรียบร้อยกว่าการใช้สลักเกลียว และให้ความรู้สึกมั่นคงแข็งแรงดีมาก | 1. ต้องใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ และวิธีที่ติดตั้งที่ยุ่งยากกว่า เช่นต้องเผาไฟให้ร้อน<br>2. ถอดหรือถอนย้าย เพื่อการประกอบใหม่ได้ยากกว่าสลักเกลียว<br>3. เหมาะกับงานโครงสร้างใหญ่ๆ ที่ต้องการความแข็งแรงมากๆ และไม่ต้องการความประณีตทางสถาปัตยกรรมมากนัก |
| ใช้สลักเกลียว | 1. เหมาะสำหรับงานที่ต้องรื้อถอนไปประกอบใหม่หรืองานโครงสร้างสำเร็จรูป<br>2. ติดตั้งได้ง่าย ต้องการเพียงสว่านหรือเครื่องมือเจาะรูและประแจปากตายขันเกลียวก็สามารถประกอบได้ ไม่จำเป็นต้องมีไฟฟ้าก็สร้างได้<br>3. มีสลักเกลียว แหวนรอง หรือตัวขันเกลียวหลายชนิดให้เลือกได้ตามความแข็งแรง หรือความเหมาะสมของงาน<br>4. ให้ความรู้สึกมั่นคงแข็งแรง | 1. ความแข็งแรงปกติจะน้อยกว่าหมุดย้ำ การเชื่อมยกเว้นใช้สลักเกลียวชนิดพิเศษซึ่งมีราคาแพงขึ้น<br>2. ถ้ามีการสั่นสะเทือนของโครงสร้างอาจเกิดการคลายเกลียวได้ ยกเว้นใช้สลักเกลียวชนิดพิเศษ<br>3. เมื่อเจาะเข้าที่แล้วแก้ไขดัดแปลงได้ยาก ต้องการความแม่นยำสูง<br>4. อุปกรณ์ที่ใช้ยึดหรือประกอบรอยต่อจะมีส่วนยื่นออกมาเกะกะ และดูไม่เรียบร้อยสวยงาม จึงอาจไม่เหมาะสมกับงานที่ต้องการความประณีตสูง |
| | **ข้อได้เปรียบ** | **ข้อเสียเปรียบ** |
| การเชื่อม | 1. เป็นรอยต่อแบบยึดแน่น (Rigidity) และมีความแข็งแรงสูง<br>2. เป็นรอยต่อที่ประกอบได้ง่าย ไม่ต้องเจาะรูและไม่ต้องใช้แผ่นเหล็กประกับ อุปกรณ์หรือตัวต่อพิเศษ (Connector) อื่นๆประกอบก็ได้ทำให้ประหยัดวัสดุและราคาก่อสร้าง<br>3. เป็นรอยต่อที่เรียบง่าย (Simplicity) ไม่มีอุปกรณ์ยึดหรือแผ่นเหล็กเกะกะก็ได้ ทำให้สะดวกในการติดตั้งชิ้นส่วนประกอบอาคารเช่น พื้น ผนัง ฝ้าเพดาน รวมทั้งให้ความสะดวกในการเดินท่อภายในอาคารด้วย<br>4. เป็นรอยต่อที่ให้ความประณีตทางสถาปัตยกรรม<br>5. สามารถทำการเชื่อมรอยต่อได้ ถึงแม้ว่ารอยต่อจะเป็นซอกมุมหรือที่แคบๆ ถ้าสามารถมองเห็นและให้ธูปเชื่อมเข้าไปถึงได้ | 1. เป็นรอยต่อถาวร ไม่สามารถถอดออกหรือนำไปประกอบใหม่ได้ จึงต้องตัดรอยต่อ หรือโครงสร้างบางส่วนออก<br>2. ต้องใช้ไฟฟ้าในการเชื่อม ถ้าไม่มีไฟฟ้าใช้ต้องจัดหาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อาจมีอันตรายจากไฟฟ้าช๊อต และไฟไหม้ได้<br>3. มีแสงและควันรบกวนในระหว่างการเชื่อม และเปลวไฟหรือประกายไฟอาจเป็นต้นเหตุเพลิงไหม้ได้ง่าย<br>4. รอยเชื่อมอาจเป็นจุดอ่อนให้เกิดสนิมได้ง่าย เพราะสารที่เคลือบผิวถูกความร้อนทำลายในระหว่างการเชื่อม<br>5. การตรวจสอบและการควบคุมงานเชื่อมให้ได้มาตรฐานในสถานที่ก่อสร้าง ทำได้ค่อนข้างยาก |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 มาตรฐานและข้อกำหนดเกี่ยวกับโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ

2.4.3.1 มาตรฐานเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ

ในอดีตประเทศไทยนำเข้าเหล็กมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ จากหลายแหล่งด้วยกัน ทั้งจากทวีปยุโรป อเมริกา และจากประเทศญี่ปุ่น การเรียกชื่อรูปตัด การระบุขนาด และมาตรฐานของเหล็กที่ใช้จึงแตกต่างกันไปตามแหล่งผลิต เช่นเดียวกับมาตรฐานการออกแบบและการเขียนแบบโครงสร้างเหล็ก ก็มักใช้หรืออ้างอิงมาตรฐานของประเทศอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ทำงานและความคุ้นเคยของผู้ออกแบบเป็นสำคัญ จึงเกิดความสับสนในทางปฏิบัติ

การออกแบบและเขียนแบบก่อสร้างจึงควรอ้างอิง หรือใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์เหล็กที่สามารถจัดซื้อหรือจัดหาได้โดยสะดวก เพื่อความประหยัด และอาจต้องมีการเทียบเคียงกับมาตรฐานอื่นๆไว้ในรายการประกอบแบบ เพื่อให้สามารถนำเหล็กจากแหล่งอื่นมาใช้ทดแทนได้[8]

มาตรฐานที่มักใช้อ้างอิงในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเหล็กของไทย ได้แก่

- JIS Japan Industrial Standards
- ASTM American Society of Testing Materials
- BS British Standards
- DIN Deutsch Industrial Norms
- ISO International Organization for Standardization
- TIS หรือ มอก. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม[9]

2.4.3.2 ข้อกำหนด

ข้อกำหนด (Specification) ซึ่งนำมาใช้ในการออกแบบโครงสร้าง คือกฎเกณฑ์ต่างๆ สำหรับวิธีการออกแบบที่ปลอดภัย ข้อกำหนดเหล่านี้ถูกรวบรวมขึ้นโดยกลุ่มของวิศวกรที่มีประสบการณ์สูง ทั้งในด้านการวิจัยและการออกแบบ ข้อกำหนดมีความหมายที่ต่างไปจาก “ข้อบัญญัติ” (Code) กล่าวคือ ข้อกำหนดเป็นเพียงข้อแนะนำโดยผู้ชำนาญการเพื่อให้แน่ใจว่า การออกแบบนั้นดำเนินไปอย่างถูกต้อง เกิดความปลอดภัยและประหยัด แต่ข้อบัญญัติเป็นข้อบังคับที่ต้องทำตาม และมักถูกกำหนดขึ้นโดยหน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้าง

---

[8] **เรื่องเดียวกัน**, หน้า 19.

[9] **เรื่องเดียวกัน**.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างของสมาคม สถานบัน และหน่วยงานต่างๆที่ได้กำหนดกฎเกณฑ์ต่างๆ สำหรับใช้ในการออกแบบโครงสร้าง โดยกฎเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างเหล็ก ได้แก่

หน่วยงานภายในประเทศ:

- เทศบัญญัติกรุงเทพมหานครฯ
- สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท.)
- กรมโยธาธิการ

หน่วยงานต่างประเทศ:

- AISC American Institute of Steel Construction
- AWS America Welding Society[10]

## 2.5 การวิเคราะห์โครงสร้าง

การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีต่างๆ เพื่อที่จะนำไปพิจารณาใช้ในการดำเนินการวิจัย ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์โครงสร้างไว้ดังนี้

### 2.5.1 คำจำกัดความของโครงสร้างและการวิเคราะห์โครงสร้าง

ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ (2527) ได้กล่าวถึงคำจำกัดความของโครงสร้าง หมายถึง สิ่งประกอบ (Assemblage) ซึ่งได้จากการนำ (หรือหล่อ) ชิ้นส่วน (Member หรือ Element) ต่างๆ มาต่อหรือประกอบที่ข้อต่อ (Joint) เพื่อทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุก (Action) ในการใช้ประโยชน์ต่างๆ

การวิเคราะห์โครงสร้างหมายถึง การวิเคราะห์หาแรงภายในโครงสร้าง และการเปลี่ยนตำแหน่ง (Displacement) ของจุดต่างๆในโครงสร้างภายใต้แรงกระทำ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การยึดรั้ง (Restraint) หรือกิริยากระทำ (Action) อื่นๆ เช่น การหดตัว (Shrinkage) การคืบ (Creep) ฯลฯ

---

[10] ทนงศักดิ์ แสงวัฒนะชัย, **การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก**, พิมพ์ครั้งที่ 2 (ขอนแก่น: หน่วยสารบรรณ งานบริหารและธุรการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2536), หน้า 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.2 โครงสร้างแท้จริงและไอดีลไลเซชัน (Idealization) ของโครงสร้างจริง

ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ (2527) ได้กล่าวว่า โครงสร้างที่สร้างขึ้นนั้น อาจมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น เช่น ความคลาดเคลื่อนทางด้านรูปทรงเรขาคณิตของชิ้นส่วน เรียกว่าชิ้นส่วนมีความไม่สมบูรณ์เบื้องต้น (Initial imperfection) สภาพขอบรองรับ (Boundary condition) เป็นต้น

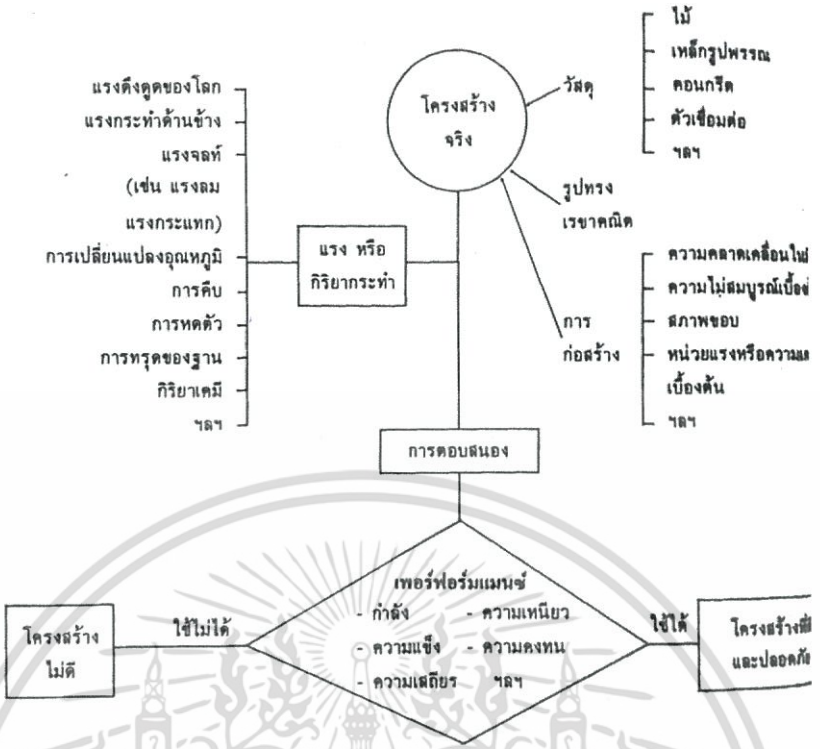
โครงสร้างที่สร้างเสร็จแล้วจะอยู่ภายใต้อิทธิพลของแรงกระทำ และ กิริยากระทำ (Action) ต่างๆ แล้วแต่สภาพบรรยากาศและการใช้งาน ภายใต้แรงกระทำดังกล่าวโครงสร้างจะมีการตอบสนอง (Response) เนื่องจากวัสดุจะเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายใต้กิริยากระทำ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่ง (Displacement) ของจุดต่างๆ

การตอบสนองถ้าเป็นที่พอใจเมื่อทเยบกับขีดจำกัดที่ทำให้โครงสร้างถึงสถานะสิ้นสุด (Limit State) โครงสร้างนั้นเรียกว่ามี เพอร์ฟอร์แมนซ์ (Performance) ที่ดี เพอร์ฟอร์แมนซ์ที่สำคัญๆ ได้แก่

- กำลัง (Strength) โครงสร้างต้องมีกำลังเพียงพอที่จะรับแรงกระทำเกินอัตรา (Over load) โดยไม่เกิดการวิบัติ
- ความแข็งหรือสติฟเนส (Stiffness) โครงสร้างจะต้องมีความแข็งเพียงพอไม่โก่งตัวมากเกินไปภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งาน
- ความเสถียร (Stability) โครงสร้างต้องมีการยึดรั้งเพียงพอไม่เกิดการเคลื่อนตัวทำให้เสียความเสถียร และต้องมีกำลังของความเสถียร (Buckling strength) เพียงพอ

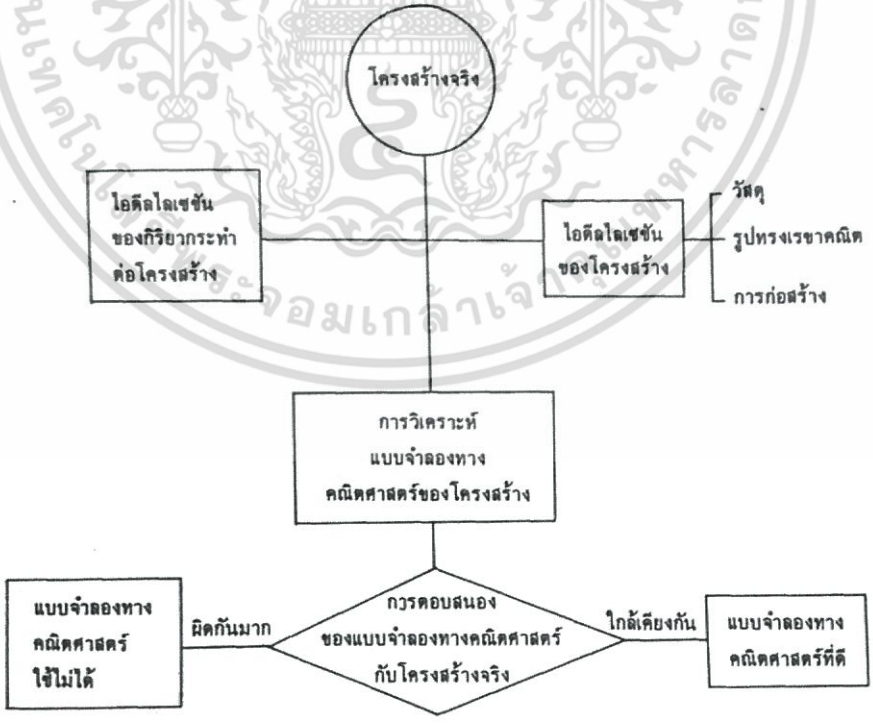
ในทางปฏิบัติต้องทำการวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างก่อนเพื่อกำหนดขนาดชิ้นส่วนและรายละเอียดต่างๆ โครงสร้างแท้จริงในทางปฏิบัติจะเป็นโครงสร้าง 3 มิติ และอยู่ภายใต้ความไม่แน่นอนมากมายดังกล่าว การวิเคราะห์จึงเป็นไปได้ยาก จึงมักใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงสร้างเพื่อให้การวิเคราะห์เป็นไปได้ ในแบบจำลองต้อง ไอดีลไลซ์ (Idealize) พฤติกรรมของวัสดุเพื่อบรรยายพฤติกรรมของวัสดุโดยมีความคลาดเคลื่อนมากน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ทางด้านรูปทรงเรขาคณิตก็มักกำหนดแน่นอน ชิ้นส่วนก็จำลองให้เป็นมิติเดียวหรือสองมิติ ฐานรองรับและข้อต่อต่างๆสมมติให้ง่ายขึ้น เช่น สมมติเป็นฐานยึดแน่น (Fixed support) ฐานยึดหมุน (Pinned support) ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 2.23** แสดงแรงกิริยาและการตอบสนองของโครงสร้างจริง

ที่มา : ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ (2527)




**ภาพที่ 2.24** แสดงวิธีการวิเคราะห์โครงสร้าง

ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ (2527)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

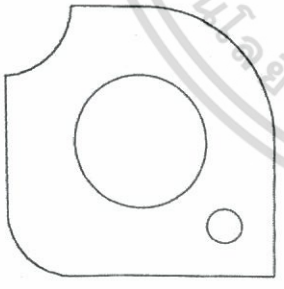
### 2.5.3 วิธีการวิเคราะห์โครงสร้าง

ปราโมทย์ เดชะอำไพ (2542) ได้กล่าวว่า การแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นรอบตัวส่วนใหญ่สามารถอธิบายได้ด้วยกฎเกณฑ์ทางฟิสิกส์และทำการประดิษฐ์อยู่ในรูปสมการต่างๆ ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ (Differential equation) หรืออยู่ในรูปแบบสมการอินทิกรัล (Integral equation) เป็นต้น

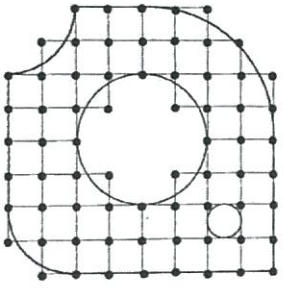
สมการเชิงอนุพันธ์ที่สอดคล้องกับปัญหาต่างๆนั้น ประดิษฐ์ได้ไม่ยาก แต่ว่าผลเฉลยแม่นตรง (Exact solution) ที่ต้องการและจำเป็นต้องทำการหาออกมาโดยวิธีการวิเคราะห์ (Analytical method) นั้นทำได้ยากจึงก่อให้เกิดวิธีการหาผลเฉลยโดยประมาณ (Approximate solution) ขึ้น โดยมีหลายวิธีการ วิธีที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางคือ

- วิธีการผลต่างสืบเนื่อง (Finite difference method)

หลักการที่สำคัญคือการหาค่าผลเฉลยโดยประมาณโดยเริ่มจากการเขียนสมการเชิงอนุพันธ์ให้อยู่ในรูปผลต่างสืบเนื่อง (System of difference equations) ข้อดีคือ เป็นกรรมวิธีที่ง่ายต่อการศึกษาและการทำความเข้าใจ สะดวกในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณ ส่วนข้อเสียก็มีหลายประการเช่น ความไม่สะดวกในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Application of boundary conditions) และที่สำคัญคือความยากลำบากในการประยุกต์วิธีการเพื่อใช้กับปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อน



แสดงตัวอย่างลักษณะของชิ้นงานที่ต้องการวิเคราะห์หาการกระจายของความเค้น (Stress distribution) โดยเริ่มจากการแบ่งออกเป็นตารางสี่เหลี่ยม โดยต่อกันที่จุดต่อ (Grid points) ตามหัวมุมของสี่เหลี่ยมต่างๆและขนาดของปัญหาหรือจำนวนตัวไม่รู้ค่าจะขึ้นกับจำนวนจุดต่อนี้



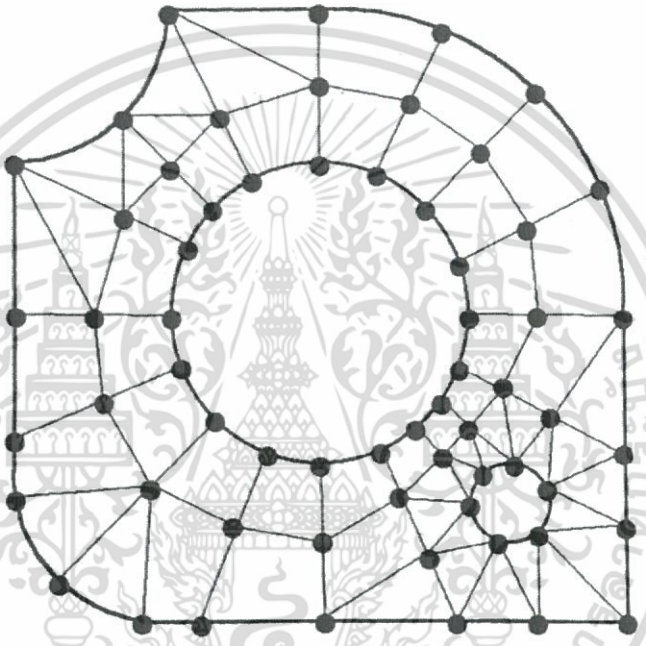
แสดงให้เห็นว่าการจำลองตารางสี่เหลี่ยมในวิธีการผลต่างสืบเนื่องไม่สามารถจำลองรูปร่างลักษณะที่แท้จริงได้เที่ยงตรง หากใช้ตารางขนากเล็กลง ก็จะจำลองได้ใกล้เคียงขึ้น แต่ก็จะเพิ่มจุดต่อและจำนวนสมการมากขึ้นด้วย

**ภาพที่ 2.25** แสดงตัวอย่างวิธีผลต่างสืบเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาเหตุของความยากลำบากดังกล่าวมีส่วนก่อให้เกิดวิธีการหาผลเฉลยโดยประมาณวิธีใหม่ที่เรียกว่า วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method) หรือนิยมเรียกย่อว่า FEM ซึ่งวิธีการนี้สามาถนำมาใช้กับปัญหาที่มีรูปร่างลักษณะซับซ้อนเช่นใดก็ได้ โดยสามารถจำลองลักษณะดั้งเดิมได้ใกล้เคียงมากกว่า

หลักการขั้นต้นเริ่มจากการแบ่งรูปร่างปัญหาออกเป็นเนื้อที่หลายๆชิ้น เรียกว่า เอลิเมนต์ โดยเอลิเมนต์ต่างๆนี้อาจอยู่ในรูปลักษณะของสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าก็ได้



**ภาพที่ 2.26** แสดงตัวอย่างวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์

ที่มา : ปราโมทย์ เดชะอำไพ (2542)

จากการศึกษาสรุปได้ว่า วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element mothod) คือ การแก้ปัญหาใดปัญหาหนึ่งจะมีสมการเชิงอนุพันธ์และเงื่อนไขขอบเขตมาให้ ค่าเฉลยผลแม่นตรง (Exact solution) จะประกอบด้วยค่าต่างๆเป็นจำนวนอนันต์ หลักการคือเปลี่ยนค่าทั้งหมดที่มีจำนวนอนันต์มาเป็นค่าโดยประมาณที่มีจำนวนนับได้ (Finite) ด้วยการแทนรูปร่างลักษณะของปัญหาด้วยเอลิเมนต์ (Element) ความแม่นยำของค่าผลเฉลยโดยประมาณขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนเอลิเมนต์ที่ใช้ในการแก้ปัญหา โดยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ประยุกต์ใช้กับงานหลายอย่าง โดยจุดประสงค์หลักคือ เพื่อลดค่าใช้จ่ายที่ปกติต้องใช้ในการทดลอง หรืองานที่ไม่สามารถทำการทดลองอย่างสมบูรณ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

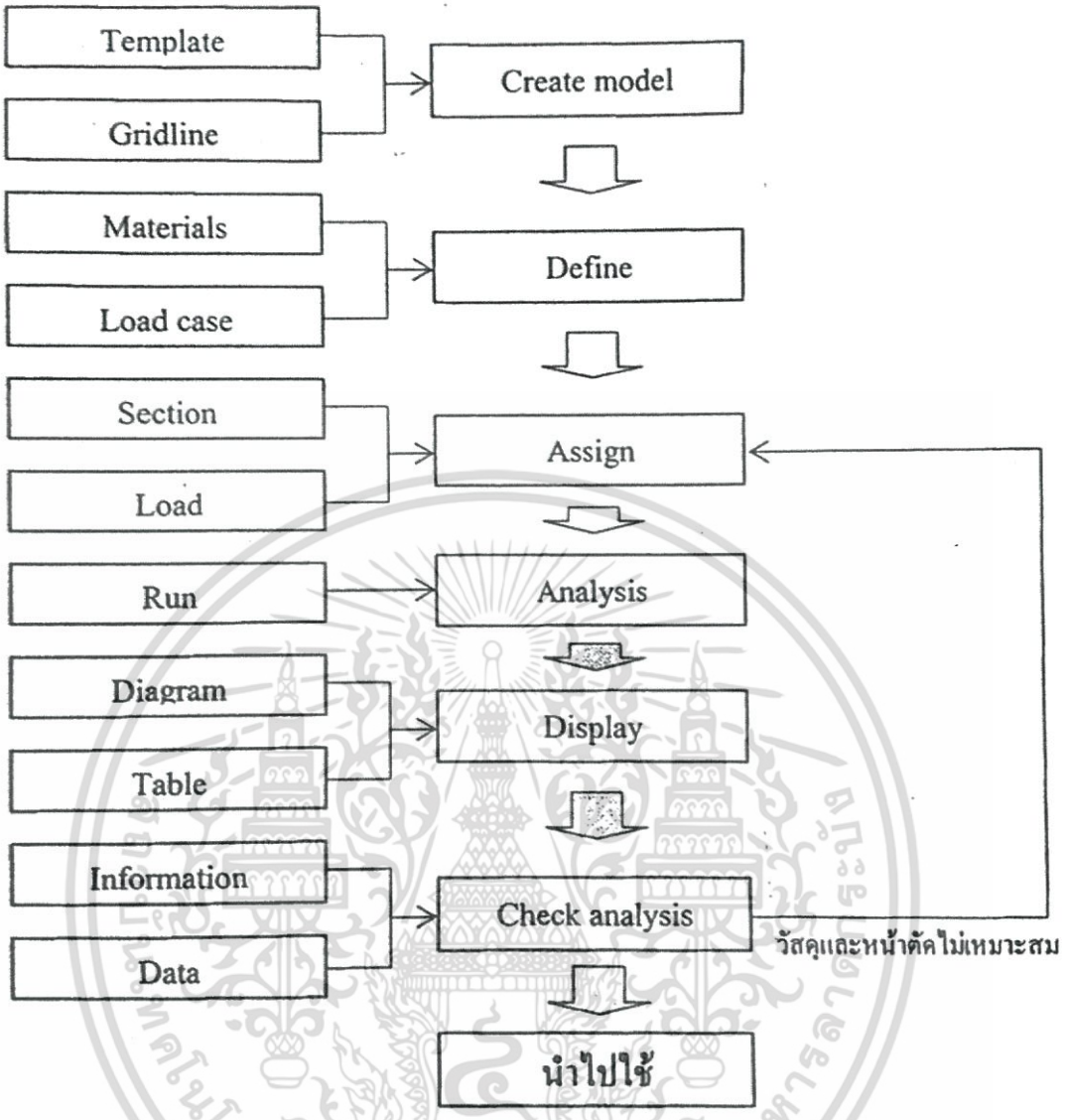
**2.5.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง**

เครื่องมือหรือโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เพื่อการสร้างแบบจำลองมีอยู่หลากหลายแบบ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาวิธีการ โดยเลือกเครื่องมือที่ใช้วิธีการ ไฟไนต์เอลิเมนต์ ในการสร้างแบบจำลอง มีความสะดวกในการใช้งาน และมีความถูกต้องแม่นยำสูงจากหลากหลายชนิดของโปรแกรมจึงได้เลือก SAP2000 มาใช้เป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์และเป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์

ภานุมาศ พรทอง, ภูวเดช ไพศาลวัชรกิจ และอภินันท์ ดวงสนิท (2546) ได้กล่าวถึงขั้นตอนในการทำงานของโปรแกรม SAP2000 ไว้ดังนี้

1) Create model ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง โดยทำการเตรียมโครงสร้างที่ต้องการวิเคราะห์ให้เป็นแบบจำลอง โดยการใช้ Template ในโปรแกรมมาดัดแปลงหรือสร้างขึ้นใหม่ด้วย Draw และ Edit
2) Define ขั้นตอนการนิยามคุณสมบัติต่างๆของโครงสร้าง เช่น คุณสมบัติวัตถุ หน้าตัด ชนิดจุดต่อ ฯลฯ
3) Assign ขั้นตอนการกำหนดคุณสมบัติ (ที่นิยามขึ้นในขั้นตอน Define) ให้กับชิ้นส่วนต่างๆของโครงสร้าง เช่น การกำหนดหน้าตัดหรือน้ำหนักบรรทุกลงไปบนชิ้นส่วน
4) Analysis ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์
5) Display ขั้นตอนการแสดงผลลัพธ์ที่วิเคราะห์ได้เพื่อทำการตรวจสอบ
6) Check analysis ขั้นตอนการสั่งให้โปรแกรมทำการตรวจสอบผลการวิเคราะห์ที่ได้กับข้อกำหนดในการออกแบบที่ต้องการ
7) เมื่อทำการตรวจสอบแล้วพบว่าโครงสร้างไม่สามารถรับภาระที่กระทำได้ หรือมีขนาดใหญ่เกินไปต้องทำการแก้ไขและวิเคราะห์ซ้ำ จนได้ความปลอดภัยและประหยัด
8) ภายหลังจากการตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์แล้วสามารถนำผลลัพธ์มาใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 2.27** แสดงขั้นตอนการทำงานโดยโปรแกรม SAP2000

ที่มา : ภานุมาศ พรทอง, ภูวเดช ไพศาลวัชรกิจ และอภินันท์ ดวงสนิท (2546)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับจุดต่อโครงสร้างเหล็กรูปพรรณที่มีผู้ได้ศึกษาไว้แล้ว เพื่อเห็นถึงวิธีการและข้อสรุปของงานวิจัยนั้นรวมถึงข้อเสนอแนะในการใช้เป็นแนวทางดำเนินการวิจัย เพื่อเป็นฐานในการวิเคราะห์และรวบรวมข้อมูลที่มีความเกี่ยวข้องและเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยดังต่อไปนี้

1) นันท์นภัส เพชรคงทอง (2554) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกับการออกแบบอาคารสถานีรถไฟฟ้า BTS และสถานีรถไฟเชื่อมต่อท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ โดยการศึกษาข้อมูลทางกายภาพเพื่อวิเคราะห์ข้อพิจารณาในการออกแบบเพื่อการออกแบบสถานี รวมทั้งวิเคราะห์และจำแนกรูปแบบของโครงสร้างสถานี โดยแบ่งได้ดังนี้ สถานีรถไฟฟ้า BTS แบ่งรูปแบบสถานีได้ 4 รูปแบบ สถานีรถไฟเชื่อมต่อท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ แบ่งรูปแบบสถานีได้ 4 รูปแบบ โดยการจำแนกนี้ใช้การจำแนกของรูปทรงและประเภทของโครงสร้างในการจำแนกรูปแบบ

2) กออิศรา ประชาอาทร (2555) ได้ทำการศึกษาผลของจุดต่อที่มีต่อโครงสร้างสถานีรถไฟเชื่อมต่อท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ โดยการศึกษาได้ทำรวบรวมชนิดของจุดต่อที่ใช้และการสร้างแบบจำลองของโครงสร้างสถานีเพื่อแสดงผลของจุดต่อที่มีกับโครงสร้าง โดยจำลองชนิดจุดต่อที่ฐาน 2 ชนิดคือ จุดต่อที่ฐานรองรับแบบยึดหมุน และ จุดต่อที่ฐานรองรับแบบยึดแน่น ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า จุดต่อที่ฐานแบบยึดหมุนมีแนวโน้มที่จะเกิดการเสียรูปและเกิดโมเมนต์สะสมที่กึ่งกลางคานและบริเวณไหล่มากแต่เกิดแรงปฏิกริยาในแนวราบหรือแรงถีบน้อยกว่าฐานยึดแน่น จุดต่อที่ฐานแบบยึดแน่นมีการกระจายโมเมนต์ในคานสม่ำเสมอกว่าเนื่องจากโมเมนต์ดัดกลับที่ฐานช่วยให้โมเมนต์ที่กึ่งกลางคานและโมเมนต์ที่ไหล่ลดลง ลดการตกท้องช้างบริเวณกึ่งกลางคาน

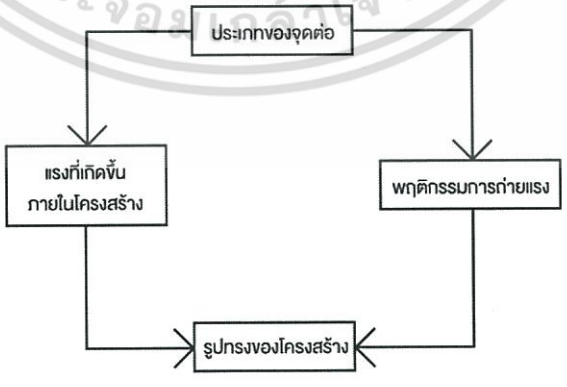
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ ที่รวบรวมข้อมูลด้วยการสังเกตจากกรณีศึกษาและทำการวิเคราะห์บนทฤษฎีพื้นฐาน โดยมีการทดลองและการเปรียบเทียบเพื่อแสดงให้เกิดความชัดเจนในการวิเคราะห์ผลที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถนำแนวคิดที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบโครงสร้างหลังคาเหล็กรูปพรรณต่อไป ไม่ได้มีวัตถุประสงค์ในการคำนวณซ้ำรายละเอียดต่างๆ ซึ่งได้ผ่านการออกแบบโดยผู้ชำนาญการมาแล้ว โดยรายละเอียดวิธีวิจัยมีดังต่อไปนี้

## 3.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากแนวคิดและทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เอกสาร บทความที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ ทำให้ได้กรอบแนวความคิดในการวิจัย จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างเหล็กรูปพรรณมีความสำคัญที่จุดต่อมาก ในโครงสร้างเหล็กรูปพรรณจุดต่อจะมีอิทธิพลต่อแรงที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้าง และรูปทรงของโครงสร้างที่เกิดขึ้นเพื่อต้านทานแรงที่เกิดขึ้นให้โครงสร้างมีความมั่นคงแข็งแรง ด้วยเหตุนี้จุดต่อจึงมีความสำคัญแก่การศึกษาอิทธิพลที่ส่งผลต่อรูปทรงของโครงสร้าง โดยมีกรอบแนวความคิดดังนี้




**ภาพที่ 3.1** แสดงกรอบแนวคิดการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 การเลือกตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

นอกจากการรวบรวมข้อมูลจากเอกสารทางวิชาการแล้ว การเลือกตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาเพื่อการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ในส่วนที่อาจจะมีความแตกต่างจากข้อมูลทางเอกสาร ซึ่งจะช่วยแสดงสภาพความเป็นจริงของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณได้ชัดเจนยิ่งขึ้น การทดลองและวิเคราห์จะได้ผลที่ใกล้เคียงหรือถูกต้องมากที่สุด

วิธีการเลือกตัวอย่างเป็นวิธีการเลือกแบบเจาะจงโดยเลือกอาคารกรณีศึกษาที่เป็นกลุ่มอาคารสถานีรถไฟฟ้ายกระดับ ซึ่งมีการใช้งานอาคารลักษณะเดียวกันแต่ความหลากหลายของรูปแบบโครงสร้างขึ้นอยู่กับพื้นที่ใช้งานและปัจจัยอื่นๆ โดยการศึกษาอาคารสถานีรถไฟฟ้า BTS และ สถานีรถไฟเชื่อมต่อท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ[1] การศึกษาจะเลือกศึกษาอาคารสถานีรถไฟฟ้า BTS และอาคารสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ เนื่องจากมีเกณฑ์ที่เหมาะสมด้วยรูปแบบโครงสร้างเหล็กรูปพรรณที่มีหลายรูปแบบรวมถึงรูปแบบจุดต่อที่หลากหลายโดยมีหลักข้อพิจารณาในการเลือกตัวอย่างที่มีความเหมาะสม ดังนี้

1) เป็นอาคารที่ใช้โครงสร้างเหล็กรูปพรรณเป็นโครงสร้างหลัก โดยประกอบไปด้วยองค์อาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ จุดต่อระหว่างองค์อาคาร และจุดต่อที่ฐานรองรับ
2) ลักษณะการใช้งานใกล้เคียงกัน แต่มีรูปแบบโครงสร้างที่หลากหลายรวมถึงรูปแบบจุดต่อต่างๆที่หลากหลาย
3) โครงสร้างหลักสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยวิธีการโครงสร้าง 2 มิติ

## 3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลสำหรับการวิจัย มีข้อมูล 2 ประเภทคือ ข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิ ซึ่งจะแบ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลตามลำดับการดำเนินการวิจัยดังนี้

---

[1] นันท์นภัส เพชรคงทอง (2554) ศึกษาพบว่าอาคารสถานีรถไฟฟ้า BTS แบ่งได้ 4 รูปแบบ และอาคารสถานีรถไฟเชื่อมต่อท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ แบ่งได้ 4 รูปแบบตามลักษณะทางกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

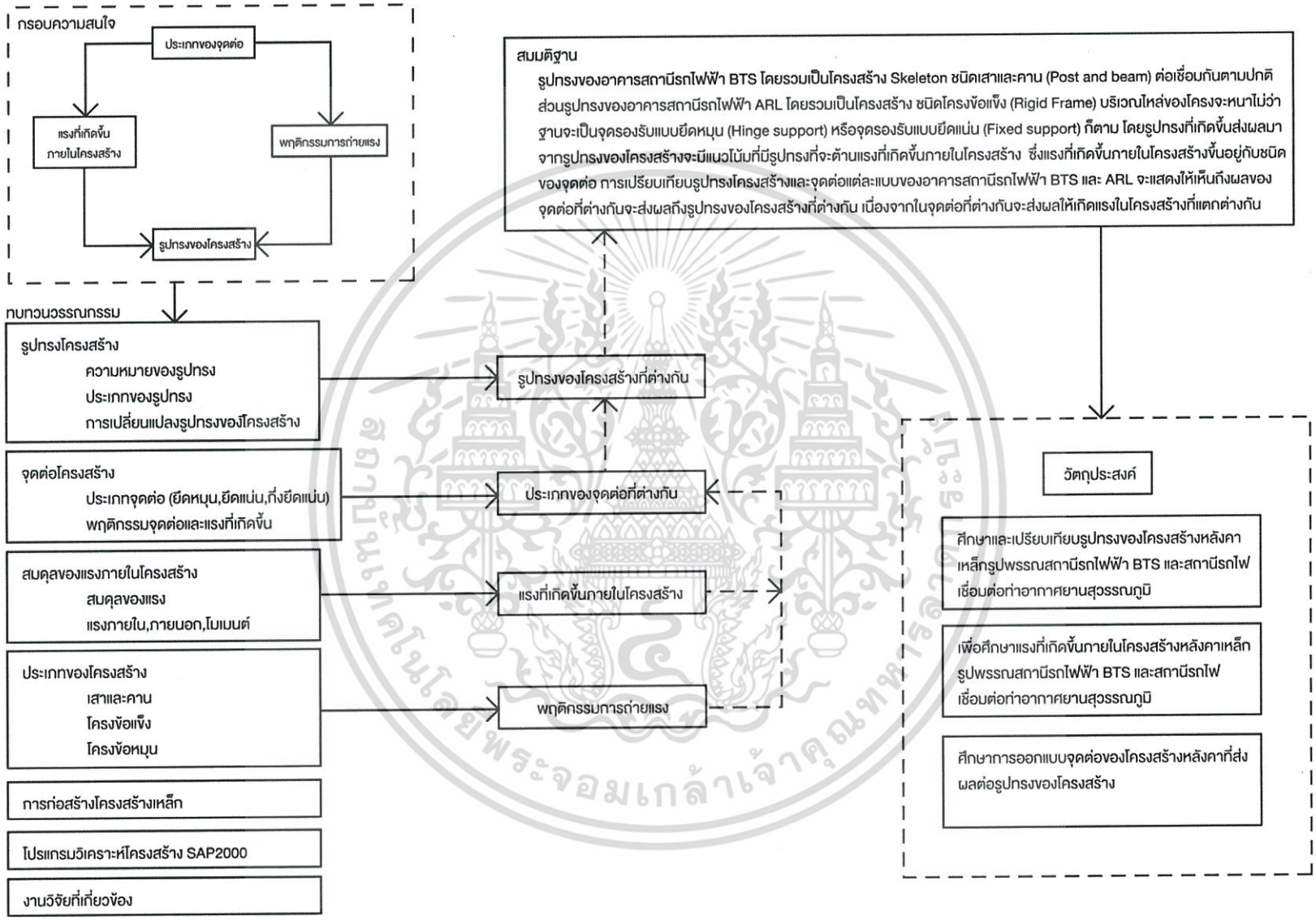
### 3.3.1 การรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ

รวบรวมข้อมูลจากกรณีศึกษาที่สถานที่จริง เพื่อเปรียบเทียบกับแบบก่อสร้าง เก็บข้อมูลโดยถ่ายภาพและสังเกตโดยรวบรวมข้อมูลทั่วไปและเจาะจงที่ข้อมูลที่มีความสำคัญซึ่งได้จากการทบทวนวรรณกรรม เช่น จุดต่อ ฐานรองรับ องค์อาคาร รูปแบบโครงสร้าง ในอาคารที่มีลักษณะการใช้งานใกล้เคียงกันแต่มีรูปแบบโครงสร้างและจุดต่อที่หลากหลาย ซึ่งมีความสำคัญต่อโครงสร้างที่ทำการทดสอบและวิเคราะห์ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

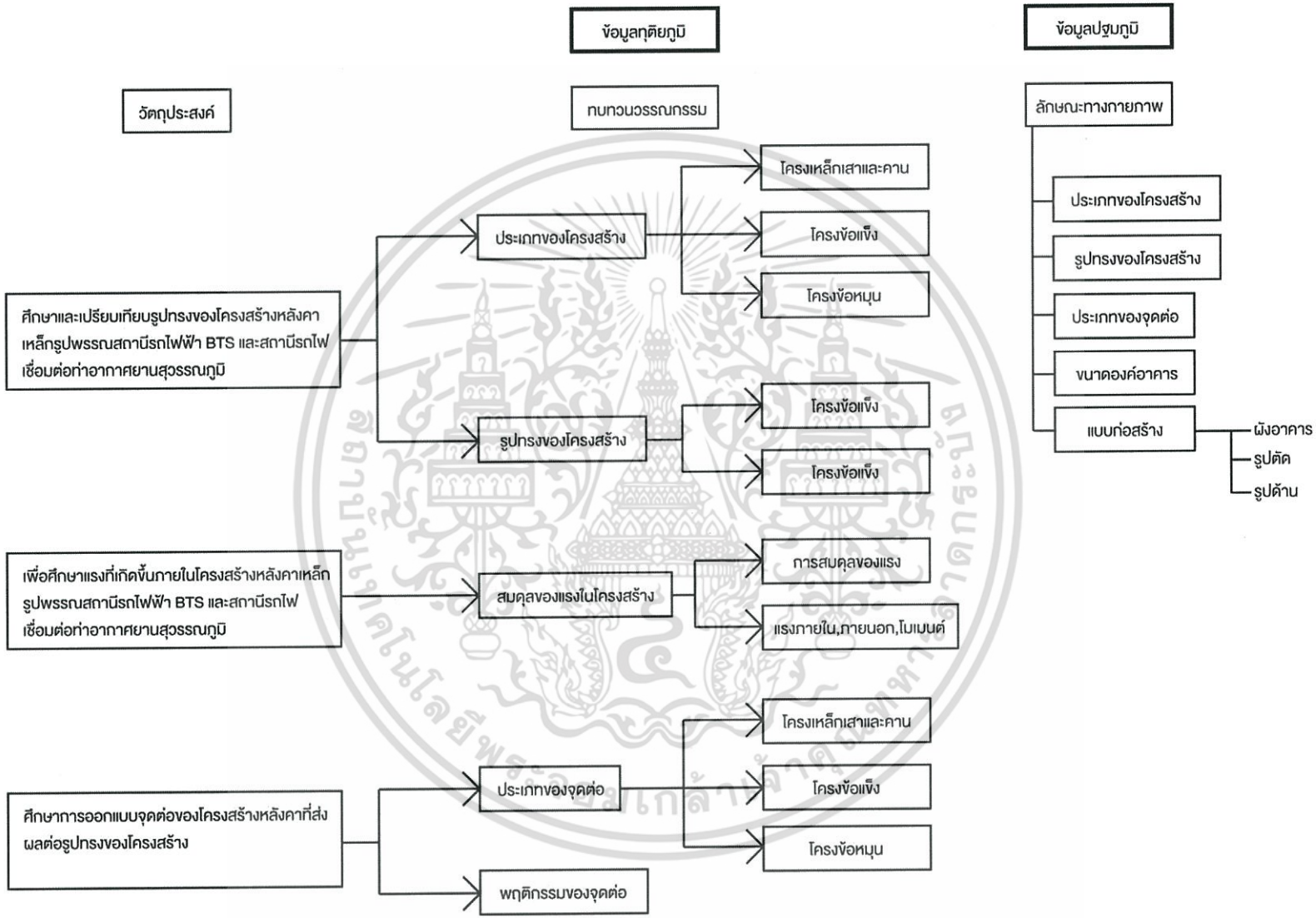
### 3.3.2 การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ

รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง รายละเอียดส่วนต่างๆของโครงสร้างหลังคาเหล็กรูปพรรณจากแบบก่อสร้าง (As Build Drawing) เพื่อทราบลักษณะและการก่อสร้าง รวมถึงรายละเอียดและรูปแบบของส่วนต่างๆของหลังคาเหล็กรูปพรรณ ซึ่งรายละเอียดดังกล่าวจะใช้เป็นฐานข้อมูลในการสร้างแบบจำลองและทดสอบโครงสร้างด้วยโปรแกรม SAP2000 เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของจุดต่อที่ส่งผลต่อรูปทรงของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 3.2** แสดงขั้นตอนการศึกษาข้อมูลพื้นฐาน




**ภาพที่ 3.3** แสดงขั้นตอนการเก็บข้อมูล

## 3.4 เครื่องมือในการวิจัย

### 3.4.1 เครื่องมือในการเก็บข้อมูลภาคสนาม

ใช้กล้องถ่ายรูปเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลตัวแปรที่สนใจในอาคารตัวอย่างตามรายละเอียดที่ได้ศึกษาจากแบบก่อสร้างจริง โดยทำการถ่ายภาพรายละเอียดที่สำคัญเพื่อประกอบการวิเคราะห์

### 3.4.2 เครื่องมือในการทดสอบโครงสร้าง

การวิจัยครั้งนี้เลือกใช้โปรแกรม SAP2000 ซึ่งเป็นโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element) ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย สำหรับทำการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อศึกษาพฤติกรรมของแรงภายในที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง โดยสามารถคำนวณโครงสร้างที่ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลักการทั่วไปของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์คือการแบ่งระบบโครงสร้างออกเป็นเอลิเมนต์เล็กๆ ซึ่งการจำลองโครงสร้างหลังคาในการวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการจำลองโครงสร้างเป็นแบบเอลิเมนต์มิติเดียว ด้วยจุดต่อ 2 จุด (2-Node Frame Element) เอลิเมนต์มิติเดียวจะใช้แทนโครงสร้างที่มีการกระจัดหรือการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวในลักษณะเชิงเส้น

## 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

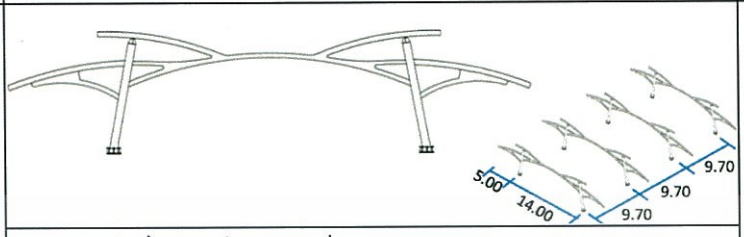
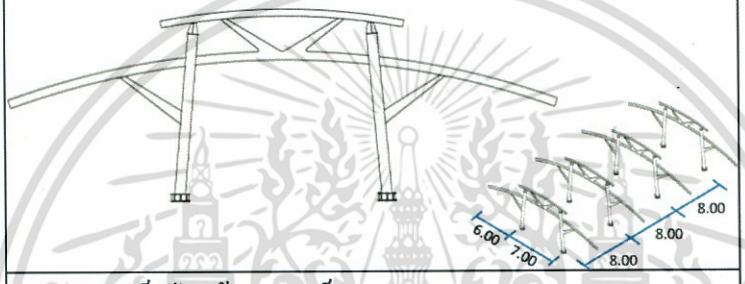
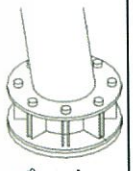
ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมได้จากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ และข้อมูลปฐมภูมิ โดยวิเคราะห์ตามกรอบแนวคิดทฤษฎีที่ได้ศึกษามาแล้ว เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์และสามารถตอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ โดยมีการวิเคราะห์ในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

1) การวิเคราะห์จำแนกลักษณะทางกายภาพ

จำแนกรูปแบบโครงสร้างตามลักษณะของรูปทรงโครงสร้าง และแจกแจงรายละเอียดแต่ละรูปแบบ ประเภทโครงสร้าง ช่วงพาด ระยะยื่นและประเภทของฐานรองรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างรูปแบบของโครงสร้างหลังคาเหล็กรูปพรรณอาคารกรณีศึกษา**

| รูปแบบโครงสร้างหลังเหล็กรูปพรรณอาคารสถานีรถไฟฟ้า BTS | | | |
|---|---|---|---|
| **รูปแบบ** | **รูปทรงโครงสร้าง** | **ช่วงพาด / ระยะยื่น** | **ชนิดฐานรองรับ** |
| B-01 (เสาและคาน) |  <br>- คานเหล็กปีกกว้าง, เสาเหล็กกลม | 14 เมตร / 5 เมตร | <br>ยึดแน่น |
| B-02 (เสาและคาน) |  <br>- คานเหล็กปีกกว้าง, เสาเหล็กกลม | 7 เมตร / 6 เมตร |  <br>ยึดแน่น |

2) การวิเคราะห์แรงภายในที่เกิดขึ้น

จากผลการทดสอบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยโปรแกรม SAP2000 วิเคราะห์รูปแบบและแนวโน้มของแรงที่เกิดขึ้น

**ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างแรงภายในของโครงสร้างหลังคาเหล็กของอาคารกรณีศึกษา**

| องค์อาคาร | โมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram) | ลักษณะ |
|---|---|---|
| 1. เสา | | - เสาเกิดแรงดัดมากที่สุดโดยเฉพาะบริเวณที่องค์อาคารอื่นมาเชื่อมต่อ บริเวณหัวเสาเกิดแรงดัดน้อยที่สุด และบริเวณฐานรองรับเกิดแรงดัดกลับ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของประเภทจุดต่อที่มีผลกับรูปทรงโครงสร้าง

ผลการวิเคราะห์ข้อ 2) นำมาเปรียบเทียบผลการทดสอบจุดรองรับยึดแน่นหรือยึดหมุน

**ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลของฐานรองรับของโครงสร้างหลังคาของอาคารกรณีศึกษา**

| องค์อาคาร | โมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram) | | ลักษณะ |
|---|---|---|---|
| | ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed) | ฐานรองรับแบบยึดหมุน (Hinge) | |
| 1. เสา | | | |

## 3.6 การสรุป อภิปรายและเสนอแนะ

จากกระบวนการวิจัยข้างต้น สามารถนำมาสรุปและอภิปรายได้ 3 ส่วนคือ

1) สรุปและอภิปรายลักษณะทางกายภาพโครงสร้างจริง

2) สรุปและอภิปรายผลของจุดต่อที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง

3) สรุปและอภิปรายผลของประเภทจุดต่อที่มีกับรูปทรงของโครงสร้าง และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยขั้นต่อไป

## 3.7 การดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยมีกระบวนการในการสำรวจรวมรวมข้อมูล การสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ผลการทดสอบดังนี้

3.7.1 รวมรวบข้อมูลจากการสำรวจสถานที่จริงและการศึกษาแบบก่อสร้างของอาคารกรณีศึกษาร่วมกัน โดยเก็บข้อมูลในส่วนต่างๆได้แก่ จุดต่อ ฐานรองรับ รูปทรง ขนาดองค์อาคารและช่วงพาด

3.7.2 จำแนกรูปทรงของโครงสร้างของอาคารกรณีศึกษา นำไปสร้างแบบจำลองในแต่ละรูปแบบเพื่อทำการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

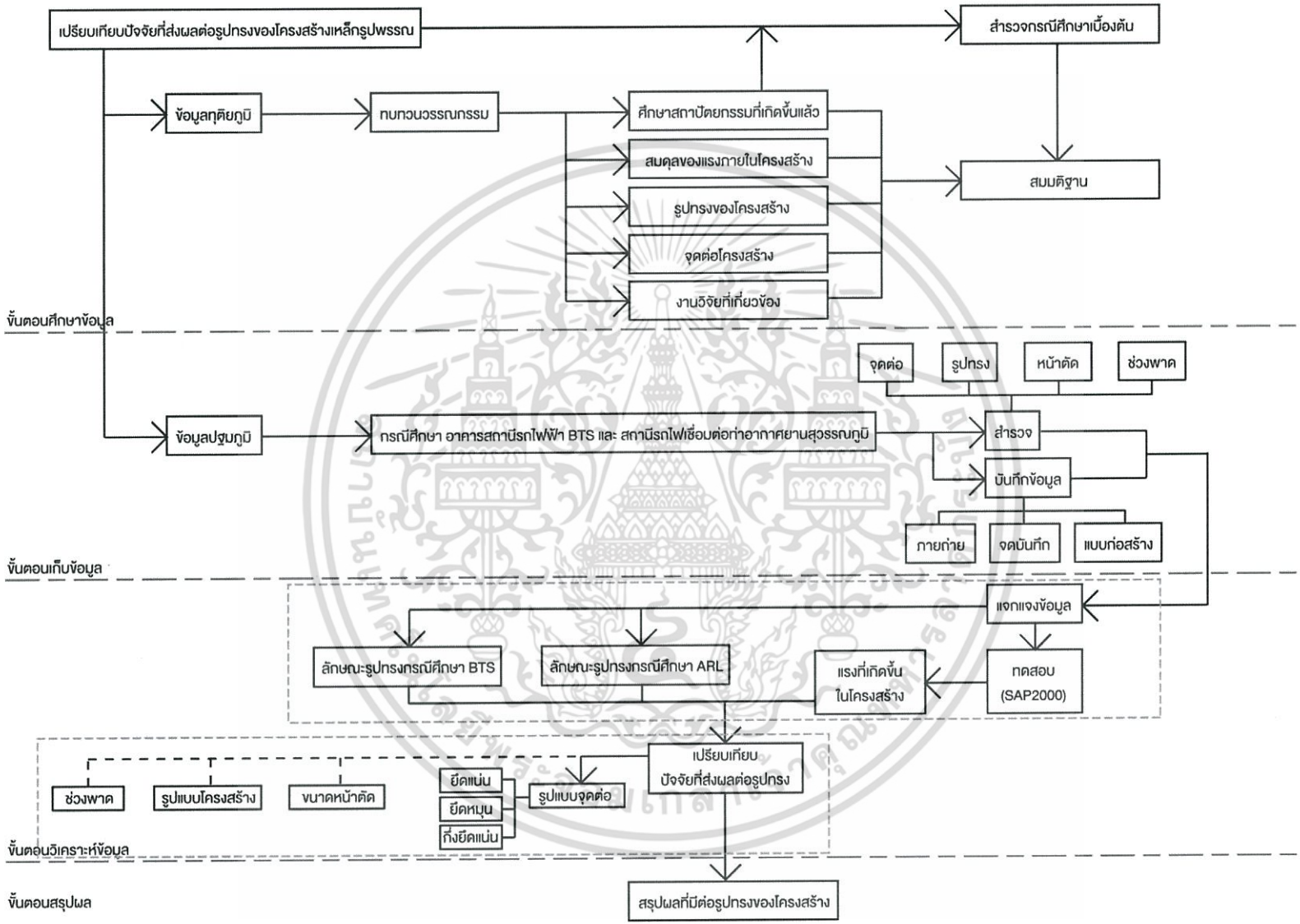
3.7.3 ทดสอบแรงที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้าง นำผลการทดสอบมาใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกับรูปทรงของโครงสร้างแต่ละรูปแบบ เพื่อศึกษาแนวโน้มของแรงที่เกิดขึ้นและรูปทรงโครงสร้าง

3.7.4 สร้างแบบจำลองโดยการเปลี่ยนประเภทของฐานรองรับ เพื่อทดสอบผลจากประเภทฐานรองรับ นำผลการทดสอบจาก 3.7.2 มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นศึกษาผลที่เหมือนและแตกต่างกันในแต่ละรูปแบบ

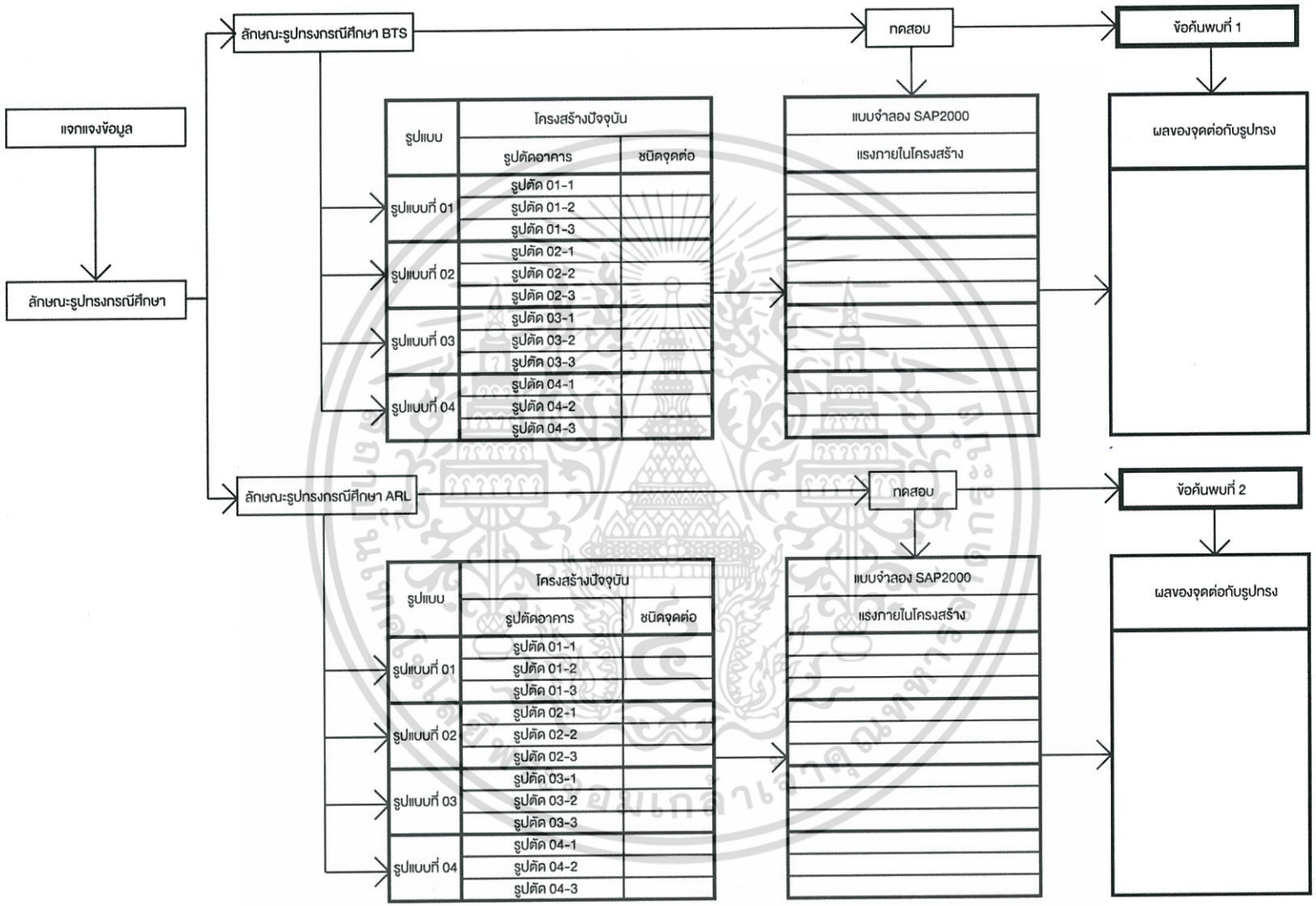
3.7.5 สรุปผลการวิจัย

การดำเนินการวิจัยสรุปเป็นแผนผังแสดงลำดับและการดำเนินการได้ดังภาพที่ 3.4, 3.5 และ 3.6

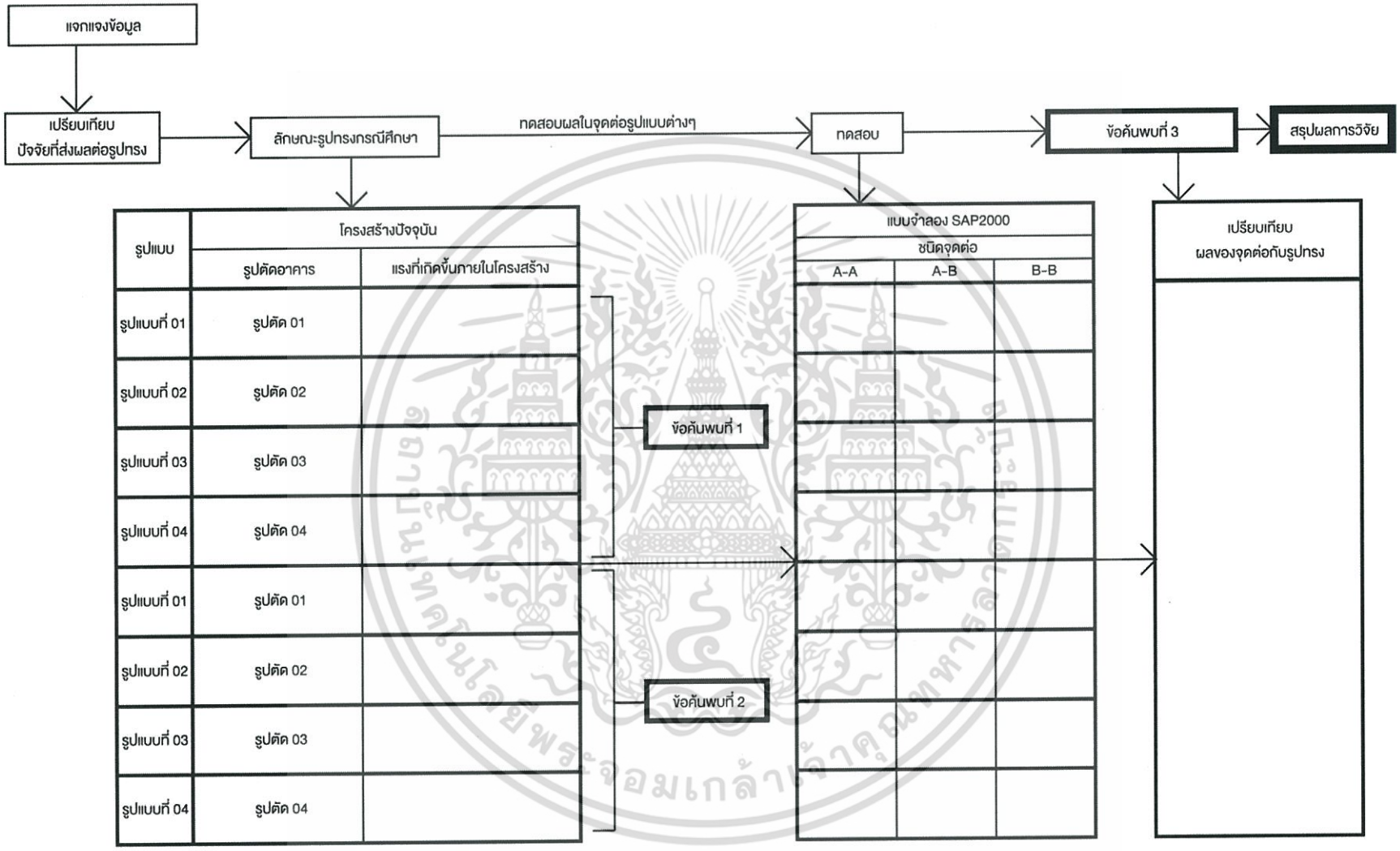
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 3.4** แสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย




**ภาพที่ 3.5** ขยายรายละเอียดการเก็บข้อมูลส่วนที่ 1




**ภาพที่ 3.6** ขยายรายละเอียดการเก็บข้อมูลส่วนที่ 2

# บทที่ 4

# การศึกษาโครงสร้างหลังคาอาคารสถานีรถไฟฟ้า

การศึกษารูปทรงและรายละเอียดต่างๆของโครงสร้างหลังคาอาคารสถานีรถไฟฟ้าทั้ง 2 โครงการคือ สถานีรถไฟฟ้า BTS และสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ จากการสำรวจและรวบรวมข้อมูล โดยข้อมูลปฐมภูมิมาจากการสำรวจและสังเกตจากสถานที่จริง และข้อมูลทุติยภูมิที่รวบรวมจากเอกสารแบบก่อสร้าง เพื่อนำมาเรียบเรียงและใช้ในการวิเคราะห์ขั้นต่อไป

รถไฟฟ้า BTS เป็นโครงการขนส่งมวลชนในกรุงเทพมหานคร มีลักษณะเป็นรถไฟฟ้าวิ่งบนทางยกระดับ เริ่มต้นให้บริการมี 2 สายคือสายสุขุมวิท และสายสีลม เป็นโครงการที่รัฐให้สัมปทานแก่บริษัทเอกชนในการดำเนินการก่อสร้างและประกอบการระบบขนส่งมวลชน โดยข้อเสนอของกลุ่มบริษัท ธนายง ได้รับการพิจารณาคัดเลือก จากนั้นจึงได้ดำเนินการตั้งบริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (BTSC) เพื่อรับสัมปทานเมื่อวันที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2535 และได้ลงนามสัญญาสัมปทานกับกรุงเทพมหานครเมื่อวันที่ 9 เมษายา พ.ศ. 2535จากนั้นจึงดำเนินการก่อสร้างและได้เปิดให้บริการครั้งแรกเมื่อวันที่ 5 ธันวาคม พ.ศ. 2542[1]

รถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ เป็นโครงการที่ดำเนินการโดยมีเป้าหมายในการเชื่อมพื้นที่ใจกลางเมืองของกรุงเทพมหานครเข้ากับท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ มีลักษณะเป็นรถไฟฟ้าวิ่งบนทางยกระดับเลียบทางรถไฟสายตะวันออก เป็นโครงการที่การรถไฟแห่งประเทศไทยเป็นผู้ดำเนินการโดยเปิดให้เอกชนร่วมลงทุน ดำเนินการก่อสร้างโดยการรถไฟแห่งประเทศไทย และเปิดดำเนินการเชิงพาณิชย์โดย บริษัท รถไฟฟ้า รฟท. จำกัด ซึ่งเป็นรัฐวิสาหกิจในกระทรวงคมนาคมและเป็นบริษัทลูกของการรถไฟแห่งประเทศไทยโดยตรงเริ่มดำเนินการโครงการ พ.ศ. 2549 และได้เปิดให้บริการเมื่อวันที่ 23 สิงหาคม พ.ศ. 2553[2]

---

[1] นันท์นภัส เพชรคงทอง, **การเปรียบเทียบปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกแบบอาคารโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ : กรณีศึกษา สถานีรถไฟฟ้า BTS และสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศสุวรรณภูมิ**, 2554, หน้า 47

[2] กออิสรา ประชาอาทร, **จุดต่อโครงสร้างหลังคาเหล็กรูปพรรณช่วงพาดกว้าง : กรณีศึกษา สถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ**, 2555, หน้า 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.1 รูปแบบโครงสร้างหลังคาสถานี

โดยรวมนั้นจะเป็นอาคารสถานีที่มีการยกระดับและเป็นระบบรางรถไฟฟ้า ส่วนหลังคาที่ชานชาลาอาคารสถานีรถไฟฟ้าจะมีรูปแบบที่แตกต่างกัน จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง[3]ทั้ง 2 โครงการจำแนกรูปแบบได้เป็น สถานีรถไฟฟ้า BTS จำแนกได้ 4 รูปแบบ และสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมต่อท่าอากาศยานสุวรรณภูมิจำแนกได้ 3 รูปแบบ โดยมีลักษณะรูปแบบดังนี้

### 4.1.1 รูปแบบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS

รถไฟฟ้า BTS ที่ทำการศึกษามี 2 สาย คือ สายสุขุมวิท มีจำนวน 17 สถานีตั้งแต่สถานีอ่อนนุชถึงสถานีหมอชิตและ สายสีลม มีจำนวน 9 สถานีตั้งแต่สถานีวงเวียนใหญ่ ถึงสถานีสนามกีฬาแห่งชาติรวมทั้งหมด 26 สถานี จำแนกรูปแบบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS ได้ 4 รูปแบบ ดังนี้

#### 4.1.1.1 โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบที่ 1

**ภาพที่ 4.1** แสดงรูปแบบโครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบที่ 1

ที่มา : จากการสำรวจในเดือน มีนาคม พ.ศ. 2557

---

[3] นันท์นภัส เพชรคงทอง (2554), ได้จำแนกรูปแบบสถานีรถไฟฟ้า BTS เป็น 4 รูปแบบ และจำแนกรูปแบบสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมต่อท่าอากาศยานสุวรรณภูมิเป็น 4 รูปแบบ โดยคำนึงถึงรูปแบบโครงสร้างหลักและหลังคาของชานชาลา

กออิสรา ประชาอาทร (2555),ได้จำแนกรูปแบบสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิเป็น 3 รูปแบบ โดยคำนึงถึงโครงสร้างหลังคา ชานชาลาเป็นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบที่ 1 เป็นโครงสร้างหลังคาครอบคลุมบริเวณชานชาลาทั้ง 2 ฝั่ง เว้นช่องว่างบริเวณรางมีเฉพาะโครงสร้างพาดผ่าน โครงสร้างเป็นลักษณะเสาและคานประกอบจากเสาเหล็กกลมที่มีการเอียงลาดเข้าหากันรองรับหลังคาที่มี 2 ระดับ และคานเหล็กปีกกว้างดัดโค้งมีจุดแยกเป็นรูป Y ตามขวางบริเวณปลายทั้งสองที่เชื่อมต่อกับเสาและมีจุดเชื่อมต่อกับหลังคาระดับบนบริเวณกลางช่วงพาด ส่วนหลังคาระดับล่างจะยื่นออกจากเสาในเส้นแนวเดียวกับคานช่วงกลางเป็นคานเหล็กปีกกว้างดัดโค้งโดยมีค้ำยันคานเหล็กปีกกว้างยื่นจากเสาไปรองรับ ช่วงพาดระหว่างเสามีระยะประมาณ 14 เมตร ส่วนหลังคาระดับล่างที่มีการยื่นออกไปจากเสามีระยะประมาณ 4 เมตรจากแนวเสา ความสูงจากพื้นถึงใต้หลังคาระดับล่างประมาณ 2.6 เมตรและจากพื้นถึงหลังคาระดับบนประมาณ 7.3 เมตร รูปแบบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบที่ 1 นี้เป็นรูปแบบที่พบมากที่สุดของสถานีรถไฟฟ้า BTS เป็นจำนวน 21 สถานี

#### 4.1.1.2 โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบที่ 2

**ภาพที่ 4.2** แสดงรูปแบบโครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบที่ 2

ที่มา : จากการสำรวจในเดือน มีนาคม พ.ศ. 2557

โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบที่ 2 เป็นโครงสร้างหลังคาที่ครอบคลุมชานชาลาทั้งหมดและบางส่วนของรางวิ่ง โดยชานชาลาจะอยู่ตรงกลางและมีรางวิ่งอยู่ริมทั้ง 2 ฝั่ง โครงสร้างมีลักษณะเป็นเสาและคานประกอบจากเสาเหล็กกลมที่มีการเอียงลาดเข้าหากันรองรับหลังคาที่มี 2 ระดับ ระดับบนจะปกคลุมบริเวณกลางช่วงพาดและระดับล่างจะปกคลุมบริเวณช่วงริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื่อมต่อเสาทั้ง 2 ต้นด้วยคานเหล็กปีกกว้างดัดโค้งมีส่วนยื่นขึ้นไปรับหลังคาระดับบน 2 จุดลักษณะคานเป็นรูป K ตามขวาง ส่วนหลังคาระดับบนคานเหล็กปีกกว้างรองรับด้วยเสาทั้ง 2 ต้น และส่วนที่ยื่นจากคานขึ้นไปรับ 2 จุด ส่วนหลังคาระดับล่างเป็นคานเหล็กปีกกว้างดัดโค้งยื่นออกจากเสา โดยมีค้ำยันคานเหล็กปีกกว้างยื่นจากเสาไปรองรับ ช่วงพาดระหว่างเสามีระยะประมาณ 7 เมตร ส่วนหลังคาระดับล่างที่มีการยื่นออกไปจากเสามีระยะประมาณ 5.7 เมตรจากแนวเสา ความสูงจากพื้นถึงใต้หลังคาระดับล่างประมาณ 3 เมตรและจากพื้นถึงหลังคาระดับบนประมาณ 6 เมตร รูปแบบสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบที่ 2 เป็นรูปแบบที่พบเพียงแห่งเดียวคือ สถานีสยาม

#### 4.1.1.3 โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบที่ 3

**ภาพที่ 4.3** แสดงรูปแบบโครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบที่ 3
ที่มา : จากการสำรวจในเดือน มีนาคม พ.ศ. 2557

โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบที่ 3 เป็นโครงสร้างหลังคาที่ครอบคลุมชานชาลาที่มีรางวิ่งเพียงฝั่งเดียว โครงสร้างมีลักษณะเป็นเสาและคานโดยประกอบจากเสาเหล็กกลม 1 เสาตั้งตรงรับหลังคา 2 ระดับ ฝั่งไกลจากรางวิ่งจะมีเสาเหล็กปีกกว้างรับหลังคาระดับล่างโดยมีคานเหล็กปีกกว้างดัดโค้งเชื่อมจากเสาเหล็กกลมสู่เสาเหล็กปีกกว้างไม่มีการยื่นออกนอกแนวเสาทั้ง 2 ฝั่ง ส่วนหลังคาระดับบนจะครอบคลุมชานชาลาและรางวิ่งบางส่วน โดยเป็นคานเหล็กปีกกว้างยื่นออกจากเสาเหล็กกลมเพียงต้นเดียว ใช้เหล็กปีกกว้างดัดโค้งที่มีปลายฝั่งเชื่อมกับเสามีจุดแยกเป็นรูป Y ตามขวางยื่นไปรองรับเป็นค้ำยันส่วนหลังคาระดับบนที่ยื่นออกจากเสา ช่วงพาดระหว่างเสาเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลมและเสาเหล็กปีกกว้างมีระยะประมาณ 3 เมตร ส่วนหลังคาระดับบนมีการยื่นออกจากเสา 1.8 เมตรและ 4.5 เมตรทั้ง 2 ฝั่ง ความสูงจากพื้นถึงหลังคาระดับล่างประมาณ 3 เมตร และจากพื้นถึงหลังคาระดับบนประมาณ 4 เมตร รูปแบบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบที่ 3 เป็นรูปแบบที่พบเพียงแห่งเดียวคือ สถานีตากสิน

#### 4.1.1.3 โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบที่ 4

**ภาพที่ 4.4** แสดงรูปแบบโครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบที่ 4
ที่มา : จากการสำรวจในเดือน มีนาคม พ.ศ. 2557

โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบที่ 4 เป็นโครงสร้างหลังคาที่ครอบคลุมชานชาลาทั้งหมด โครงสร้างมีลักษณะเป็นเสาและคานประกอบจากเสาเหล็กกลมที่มีการเอียงลาดเข้าหากันรองรับหลังคาที่มี 2 ระดับ ระดับบนจะปกคลุมบริเวณกลางช่วงพาดและระดับล่างจะปกคลุมบริเวณช่วงริม เชื่อมต่อเสาทั้ง 2 ต้นด้วยคานเหล็กปีกกว้างดัดโค้งมีส่วนยื่นขึ้นไปรับหลังคาระดับบน 2 จุดลักษณะคานเป็นรูป K ตามขวาง ส่วนหลังคาระดับบนประกอบด้วยคานเหล็กปีกกว้างรองรับด้วยเสาทั้ง 2 ต้น และส่วนที่ยื่นจากคานขึ้นไปรับ 2 จุด ส่วนหลังคาระดับล่างเป็นคานเหล็กปีกกว้างดัดโค้งยื่นออกจากเสา โดยมีค้ำยันคานเหล็กปีกกว้างยื่นจากเสาไปรองรับ รูปแบบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบที่ 4 เป็นรูปแบบที่พบได้ 2 สถานีคือ สถานีวงเวียนใหญ่และสถานีกรุงธนบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.1.2 รูปแบบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

สถานีรถไฟฟ้าเชื่อมต่อท่าอากาศยานสุวรรณภูมิที่ทำการศึกษามี 7 สถานี ตั้งแต่สถานีพญาไทถึงสถานีลาดกระบัง จำแนกรูปแบบโครงสร้างหลังคาได้เป็น 3 รูปแบบดังนี้

#### 4.1.2.1 โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบที่ 1

**ภาพที่ 4.5** แสดงรูปแบบโครงสร้างของสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบที่ 1
ที่มา : จากการสำรวจในเดือน มีนาคม พ.ศ. 2557

โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิรูปแบบที่ 1 เป็นโครงสร้างหลังคามีลักษณะเป็นโครงข้อแข็ง ประกอบด้วยคานเหล็กปีกกว้างดัดโค้งต่อเนื่องจากฐานรองรับถึงเสาอีกด้าน ซึ่งเป็นเสาเหล็กกลมยึดเอียงเข้าหาด้านที่ยึดติด มีคานเหล็กโค้งวางทแยงในแนวระหว่างช่วงเสาสลับไปมาเพื่อเป็นโครงสำหรับช่องแสงของหลังคา มีช่วงพาดประมาณ 18 เมตร ความสูงของหลังคาประมาณ 6.5 เมตร โดยรูปแบบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบที่ 1 พบได้มากที่สุดซึ่งพบได้ 5 สถานี คือ สถานีพญาไท สถานีบ้านทับช้าง สถานีลาดกระบัง ส่วนอีก 2 สถานี คือ สถานีราชปรารภ และสถานีรามคำแหง จะมีส่วนแตกต่างเล็กน้อยตรงชายคาด้านข้างที่จะมีการยื่นออกไปอีกประมาณ 2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.1.2.2 โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบที่ 2**

**ภาพที่ 4.6** แสดงรูปแบบโครงสร้างของสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบที่ 2
ที่มา : จากการสำรวจในเดือน มีนาคม พ.ศ. 2557

โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิรูปแบบที่ 2 เป็นโครงสร้างหลังคามีลักษณะเป็นโครงข้อแข็ง ประกอบด้วยเหล็กปีกกว้างดัดโค้งยาวต่อเนื่องกันครอบคลุมพื้นที่ชานชาลา 2 ชั้น บางช่วงครอบคลุมเพียงชั้นเดียวโดยฐานรองรับอยู่คนละระดับ ตรงกลางช่วงพาดมีโครงเหล็กต่อเป็นช่องแสงด้านบน ระยะช่วงพาดประมาณ 36 เมตร ความสูงของหลังคาที่ครอบคลุมพื้นที่ 2 ชั้นสูงประมาณ 16 เมตร แต่ละชั้นสูงประมาณ 8 เมตร รูปแบบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบที่ 2 พบได้เพียงแห่งเดียวคือ สถานีมักกะสัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.1.2.3 โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบที่ 3**

**ภาพที่ 4.7** แสดงรูปแบบโครงสร้างของสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบที่ 3
ที่มา : จากการสำรวจในเดือน มีนาคม พ.ศ. 2557

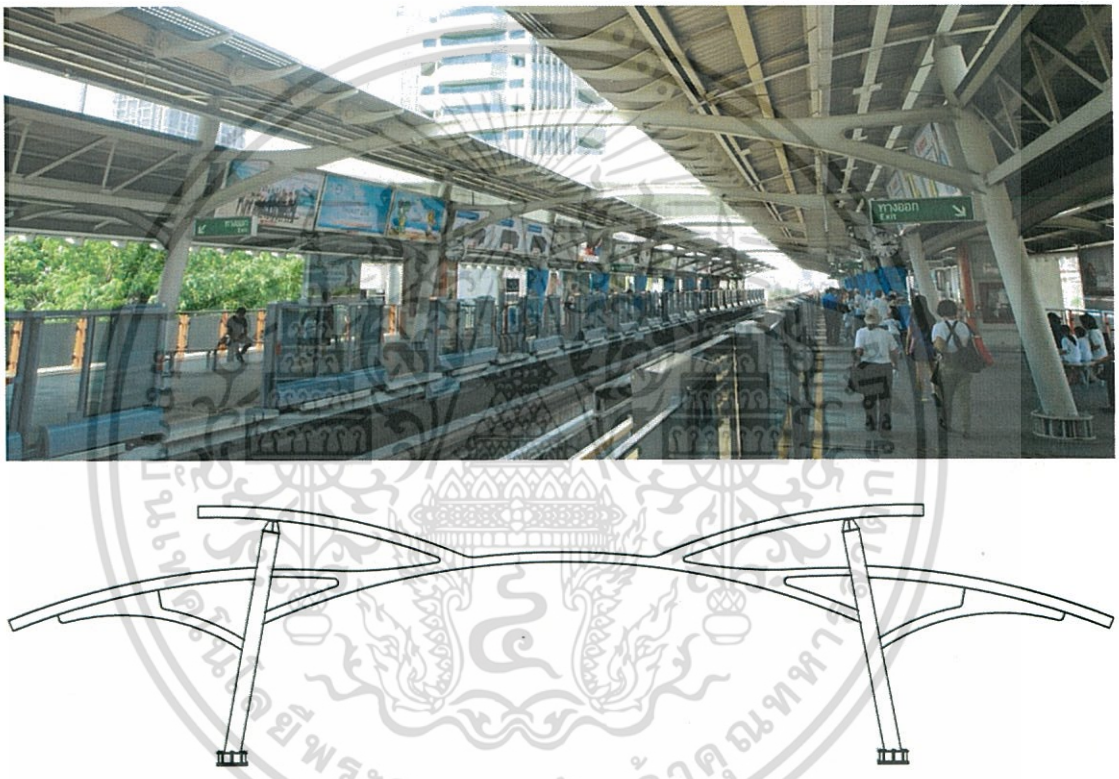
โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิรูปแบบที่ 3 เป็นโครงสร้างหลังคามีลักษณะเป็นโครงถักที่มีความโค้ง ประกอบจากท่อเหล็กกลมดัดโค้งทั้งบนและล่างของโครงถัก วางอยู่บนเสาที่เป็นเสาเหล็กกลมเอียงออกจากกันเล็กน้อย บริเวณปลายก่อนถึงจุดที่รับโครงถักมีจุดแยกเป็นรูป Y โค้งเล็กน้อย ช่วงพาดระหว่างเสามีระยะประมาณ 10 เมตร มีระยะยื่นจากเสาทั้งสองข้างไปข้างละประมาณ 10 เมตร รวมความกว้างทั้งหมดประมาณ 30 เมตร รูปแบบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบที่ 3 พบได้เพียงแห่งเดียวคือสถานีหัวหมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 จุดต่อและรูปทรงโครงสร้างหลังคาสถานี

จากการจำแนกรูปแบบของโครงสร้างจะเห็นได้ว่าแต่ละรูปแบบจะมีความแตกต่างกัน ในส่วนนี้จึงเป็นการศึกษาและวิเคราะห์ประเภทของจุดต่อในแต่ละรูปแบบ และรูปทรงของโครงสร้าง โดยจะศึกษาแต่ละรูปแบบโดยเลือกสถานีที่มีรูปแบบนั้นๆมาศึกษารูปแบบละ 1 สถานี

### 4.2.1 จุดต่อและรูปทรงโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-01



**ภาพที่ 4.8** แสดงรูปตัดขวางโครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-01

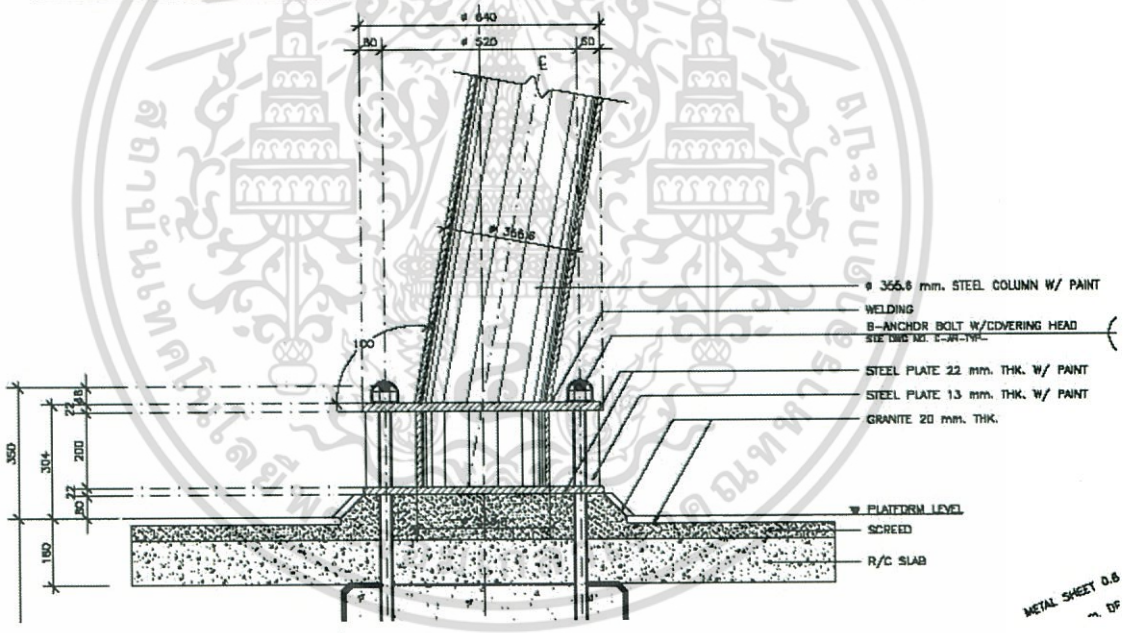
ที่มา : ผู้วิจัย เขียนจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

โครงสร้างหลักของรูปแบบที่ 1 จะเป็นเสาและคาน ช่วงพาด 13.86 เมตร และยื่นหลังคาระดับล่างออกไปทั้ง 2 ข้าง ข้างละ 5.16 เมตร รวมความกว้าง 24.20 เมตรเสาเป็นเสาเหล็กกลมเอียงออกจากศูนย์กลางเสาเข้าหาจุดกึ่งกลางโครงสร้าง โครงสร้างหลักเว้นช่วงห่างกันเป็นระยะ 9.70 เมตร บริเวณหัว-ท้ายของสถานีมีการยื่นออกไปอีกข้างละ 2.25 เมตร รวมความยาวทั้งสิ้น 130.60 เมตร (ดูภาพที่ 4.8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.1.1 รูปทรงของโครงสร้าง

รูปทรงโดยรวมมีลักษณะเป็นโครงกรอบ 4 เหลี่ยมคางหมูโดยมีด้านป้านอยู่ที่บริเวณฐาน และมีการยื่นออกไปทั้งสองข้าง (ดูภาพที่ 4.8)

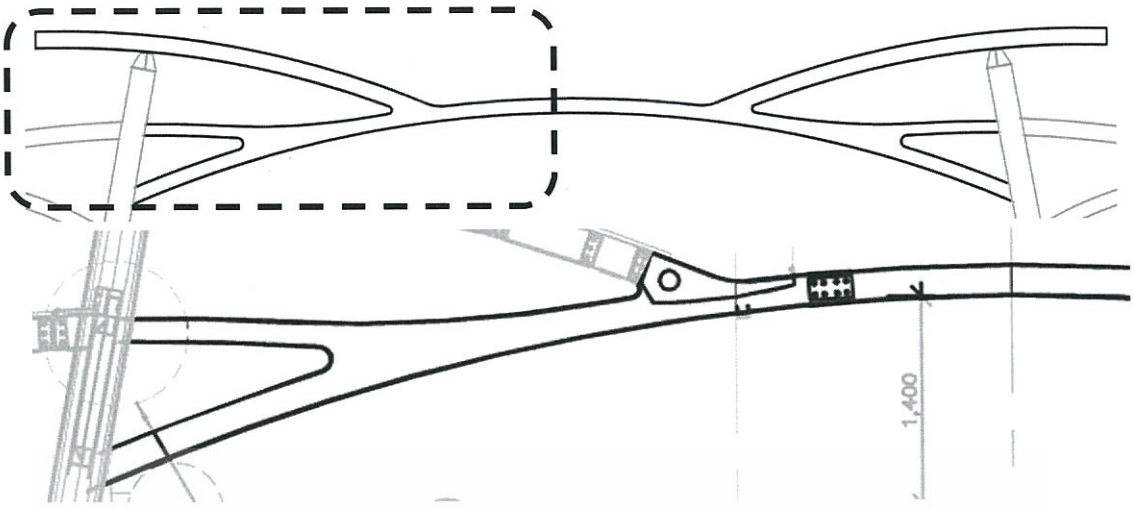



**ภาพที่ 4.9** แสดงรูปตัดขวางแสดงรูปทรงของเสา

ที่มา : ดัดแปลงจากแบบก่อสร้างของอาคารสถานีรถไฟฟ้า

- เสา เป็นเสาเหล็กกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.355 เมตรมีส่วนที่ตั้งตรงศูนย์กลางเสาบริเวณฐานรองรับขึ้นมาประมาณ 0.20 เมตร ต่อจากนั้นเสาจะเบี่ยงเข้าหาฝั่งกึ่งกลางช่วงพาดมีองศาเบี่ยงออกจากศูนย์กลางเสาประมาณ 10° มีจุดเชื่อมต่อกับคานช่วงกลาง 2 จุด และหลังคาที่ยื่นออกจากเสา 2 จุด ปลายเสาจะรับส่วนของหลังคาระดับบนโดยปลายเสาจะเปลี่ยนเป็นเพลทเหล็กเชื่อมติดเป็นรูปกากบาทปลายลู่เล็กลง (ดูภาพที่ 4.9)

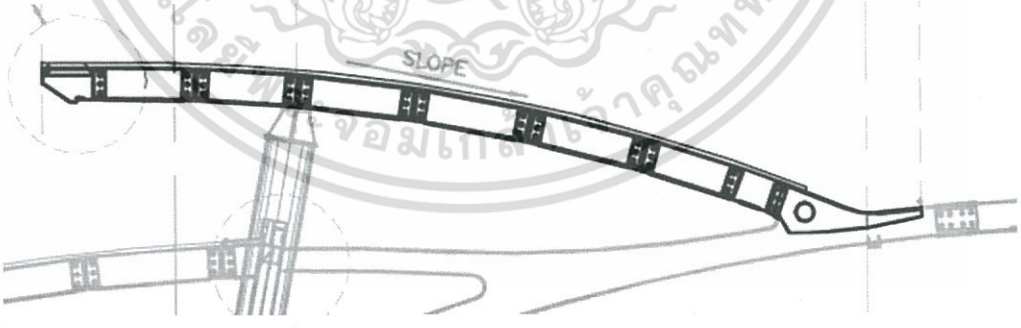
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 4.10** แสดงรูปทรงของคานช่วงกลาง

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- คานช่วงกลาง เป็นคานเหล็กปีกกว้างดัดโค้งช่วงปลายเชื่อมต่อกับเสา 2 จุด โดยจะมีจุดแยกช่วงปลายเป็นรูป Y ตามขวางทั้งสองด้านของคาน โดยที่ปลายคานแยกที่อยู่ด้านล่างจะมีขนาดใหญ่กว่าแยกที่อยู่ด้านบนเล็กน้อย ช่วงบริเวณใกล้กับกึ่งกลางคานจะมีจุดเชื่อมต่อกับคานรับหลังคาระดับบนเป็นจุดแยกลักษณะคล้าย Y ตามขวางเช่นเดียวกับปลายคาน ช่วงกลางของคานจะมีความสม่ำเสมอกัน บริเวณที่เป็นจุดแยกจะค่อยๆเพิ่มขนาดแล้วจึงแยกออกจากกัน (ดูภาพที่ 4.10)

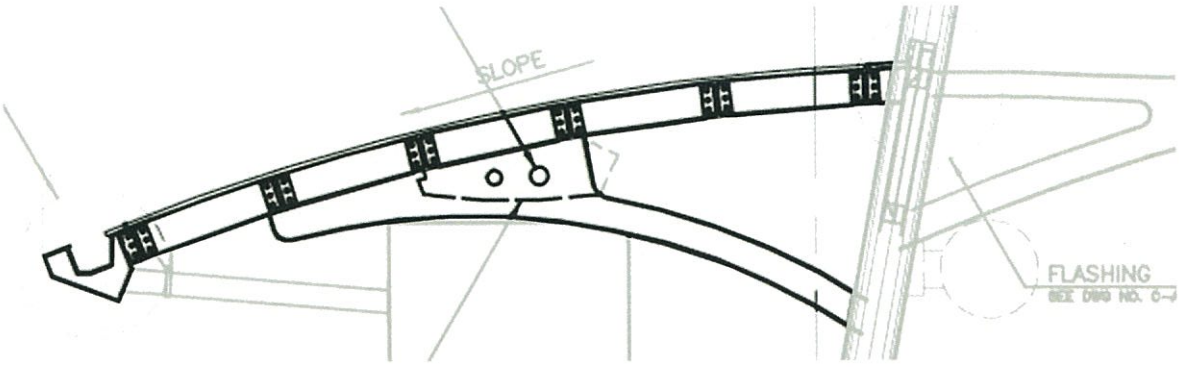



**ภาพที่ 4.11** แสดงรูปทรงของคานหลังคาระดับบน

ที่มา : ผู้วิจัย ดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- คานรับหลังคาระดับบน ส่วนที่รับหลังคาระดับบนเป็นคานปีกกว้างขนาดสม่ำเสมอกันตลอดรองรับด้วยเสาและอีกฝั่งหนึ่งเชื่อมต่อกับคานช่วงกลางบริเวณจุดแยกรูป Y (ดูภาพที่ 4.11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



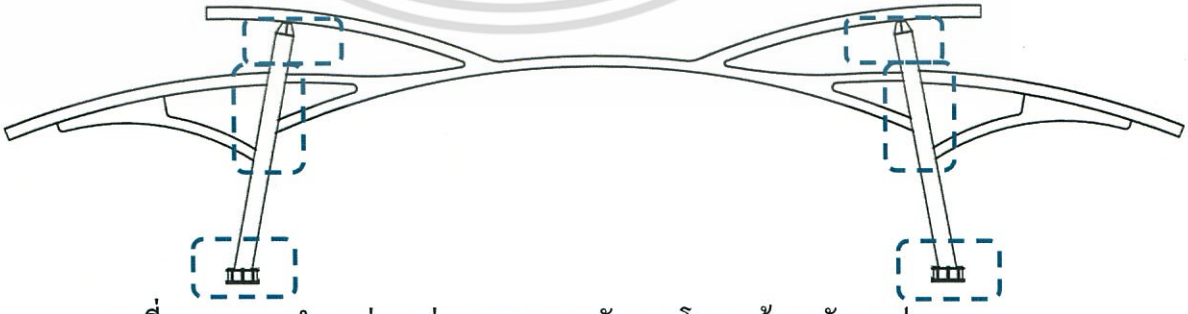

**ภาพที่ 4.12** แสดงรูปทรงของคานหลังคาระดับล่างและค้ำยัน

ที่มา : ผู้วิจัย ดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- คานหลังคาระดับล่าง เป็นคานปีกกว้างดัดโค้งขนาดสม่ำเสมอกันยื่นออกจากเสาอยู่ในแนวเส้นโค้งเดียวกับจุดแยกด้านบนของคานพาดช่วงกลาง มีค้ำยันรองรับ เป็นคานปีกกว้างดัดโค้งขนาดสม่ำเสมอกันเริ่มจากบริเวณที่เชื่อมต่อกับเสา รูปทรงจะมีการเพิ่มความหนาบริเวณใกล้กับจุดที่รองรับคานหลังคาเชื่อมติดกันเป็นแนวยาว (ดูภาพที่ 4.12)

#### 4.2.1.2 จุดต่อของโครงสร้าง

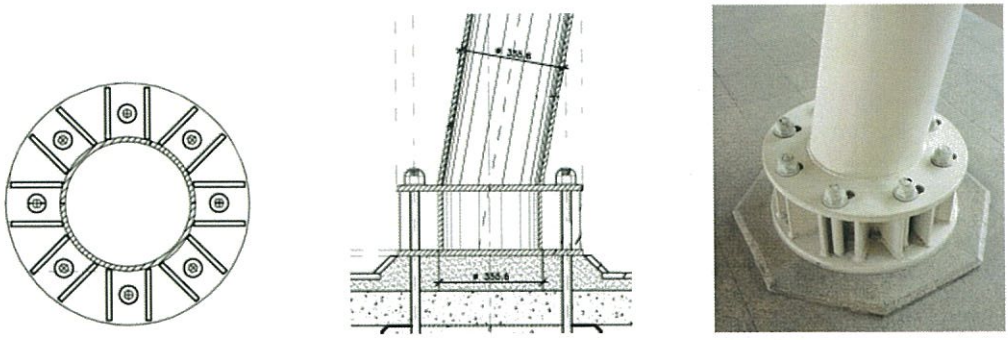
โครงสร้างหลังคาสถานีของรูปแบบ B-01 ประกอบด้วยเสาโครงสร้างหลัก 2 ต้น, คานกลางรับหลังคาระดับบนและคานหลังคาระดับล่าง จึงทำให้มีจุดต่อระหว่างองค์อาคารต่างๆ จำแนกจุดต่อตำแหน่งต่างๆดังนี้



**ภาพที่ 4.13** แสดงตำแหน่งจุดต่อและฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-01

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

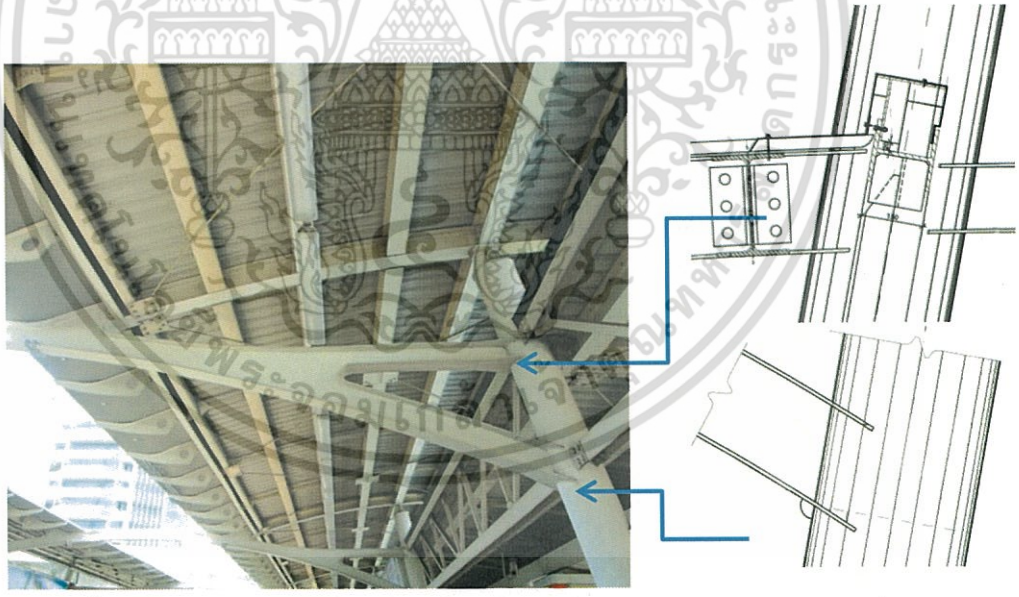
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 4.14** แสดงจุดต่อที่ฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบที่ 1

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- เสาโครงสร้างเป็นเสาเหล็กกลมต่อกับพื้นคอนกรีตโดยใช้แผ่นเหล็กกลมเป็นฐานเชื่อมกับเสาเหล็กกลมตั้งฉาก สูงประมาณ 0.20 เมตร เชื่อมต่อกับแผ่นเหล็กกลมอีกแผ่นโดยมี Bolt เจาะผ่านแผ่นเหล็กกลมทั้งสองแผ่นฝังลงในคานคอนกรีตด้านล่าง เสาเหล็กกลมต่อจากแผ่นเหล็กกลมด้านบนจะเอียง 10 องศา เชื่อมติดกับแผ่นเหล็ก (ดูภาพที่ 4.14)

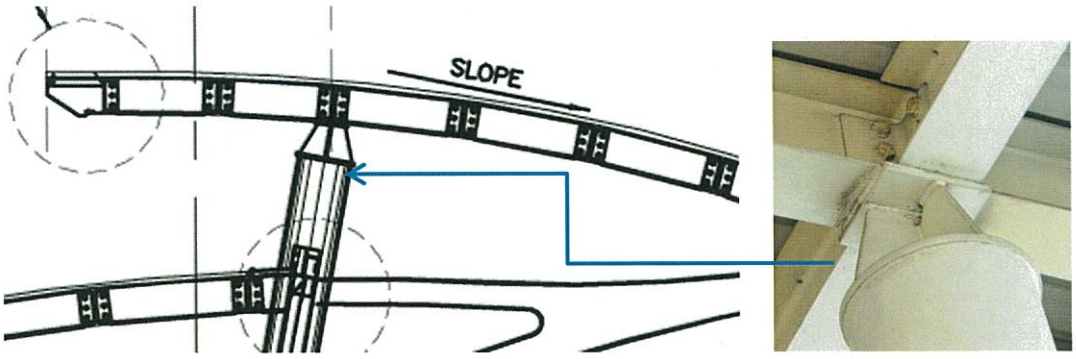


**ภาพที่ 4.15** แสดงจุดต่อคานหลังคาระดับล่างของโครงสร้างหลังคารูปแบบที่ 1

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- จุดต่อของคานหลังคาระดับล่างเป็นคานเหล็กปีกกว้างเชื่อมต่อกับเสาเหล็กกลม และคานกลางที่เป็นคานเหล็กปีกกว้างเชื่อมต่อกับเสาเหล็กกลมเช่นกันบริเวณจุดนี้เป็นการเชื่อมติดเสาเหล็กกลมทั้ง 2 ด้าน รวมทั้งค้ำยันหลังคาระดับล่างก็เป็นการเชื่อมเช่นกัน (ดูภาพที่ 4.15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 4.16** แสดงจุดต่อเสาและหลังคาระดับบนของโครงสร้างหลังคารูปแบบที่ 1

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- จุดต่อของคานหลังคาระดับบนกับเสาเป็นคานเหล็กปีกกว้างเชื่อมกับเสาเหล็กกลมโดยเชื่อมต่อกันบริเวณหัวเสาด้วยแผ่นเหล็กกลมขนาดใกล้เคียงกับเสาต่อกับแผ่นเหล็กที่ปลายมีขนาดเล็กกว่าฐาน 2 ชิ้นเป็นรูปกากบาทและแผ่นเหล็กกลมขนาดใกล้เคียงกับความกว้างของคาน เชื่อมต่อที่บริเวณปลายเสาชนกับคาน (ดูภาพที่ 4.16)

### 4.2.2 จุดต่อและรูปทรงโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-02

**ภาพที่ 4.17** แสดงรูปตัดขวางโครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-02

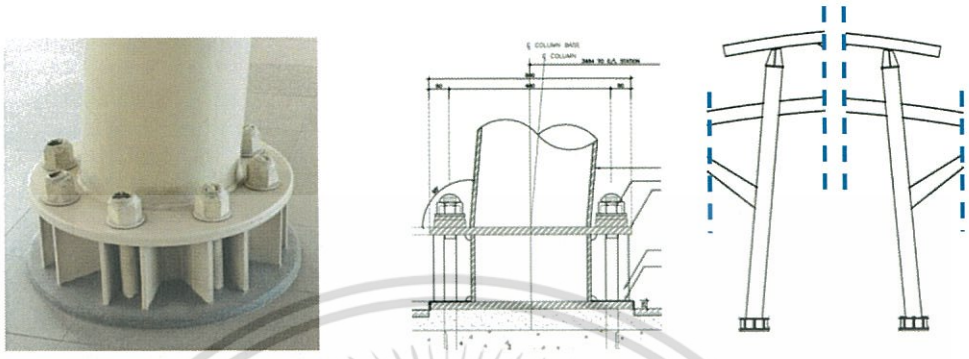
ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

โครงสร้างหลักของรูปแบบ B-02 จะเป็นเสาและคาน ช่วงพาด 7 เมตร และยื่นหลังคาระดับล่างออกไปทั้ง 2 ข้าง ข้างละ 5.80 เมตร รวมความกว้าง 18.60 เมตรเสาเป็นเสาเหล็กกลมเอียงออกจากศูนย์กลางเสาเข้าหาจุดกึ่งกลางโครงสร้าง โครงสร้างหลักเว้นช่วงห่างกันเป็นระยะ 8.00 เมตร บริเวณหัว-ท้ายของสถานีมีการยื่นออกไปอีกข้างละ 3.00 เมตร รวมความยาวทั้งสิ้น 142.00 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2.1 รูปทรงของโครงสร้าง

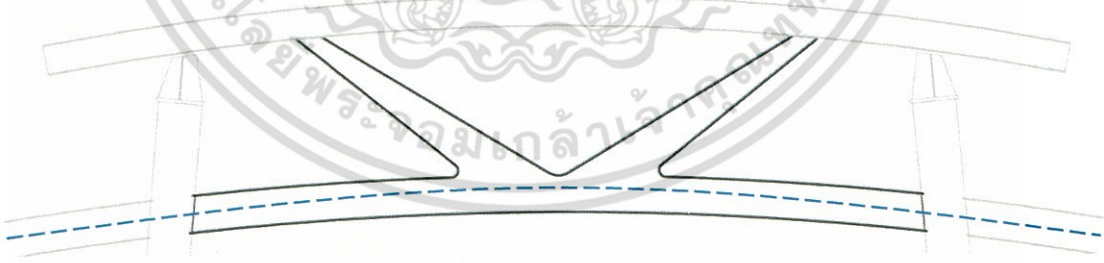
รูปทรงโดยรวมมีลักษณะเป็นโครงกรอบ 4 เหลี่ยมคางหมูโดยมีด้านป้านอยู่ที่บริเวณฐาน และมีการยื่นออกไปทั้งสองข้าง (ดูภาพที่ 4.17)



**ภาพที่ 4.18** แสดงรูปตัดขวางรูปทรงของเสาของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-02

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- เสาเป็นเสาเหล็กกลมเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.355 เมตร มีส่วนที่ตั้งตรงกับศูนย์กลางเสาประมาณ 0.20 เมตร ต่อจากนั้นจะเบี่ยงเข้าหาฝั่งกึ่งกลางของช่วงพาดมีองศาเบี่ยงออกจากศูนย์กลางเสาประมาณ 5° มีจุดเชื่อมต่อกับคานช่วงกลาง 2 จุดและหลังคาที่ยื่นออกจากเสา 2 จุด ปลายเสาจะรับส่วนของหลังคาระดับบนโดยปลายเสาจะเปลี่ยนเป็นเชื่อมติดเป็นรูปกากบาทปลายลู่เล็กลง (ดูภาพที่ 4.18)

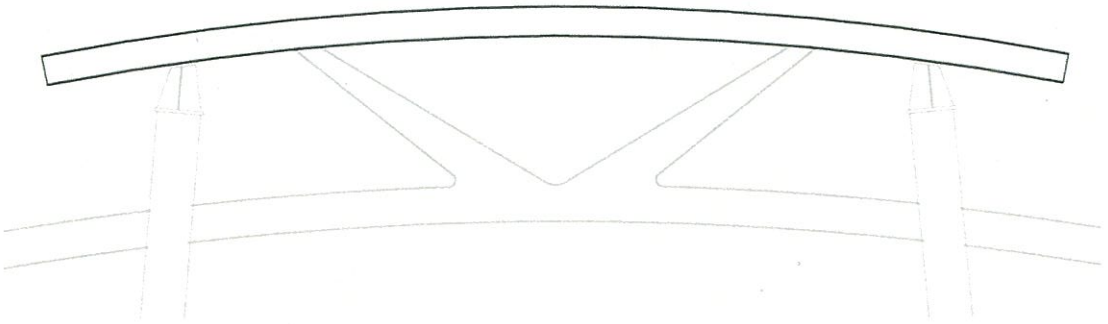


**ภาพที่ 4.19** แสดงรูปทรงคานช่วงกลางของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-02

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

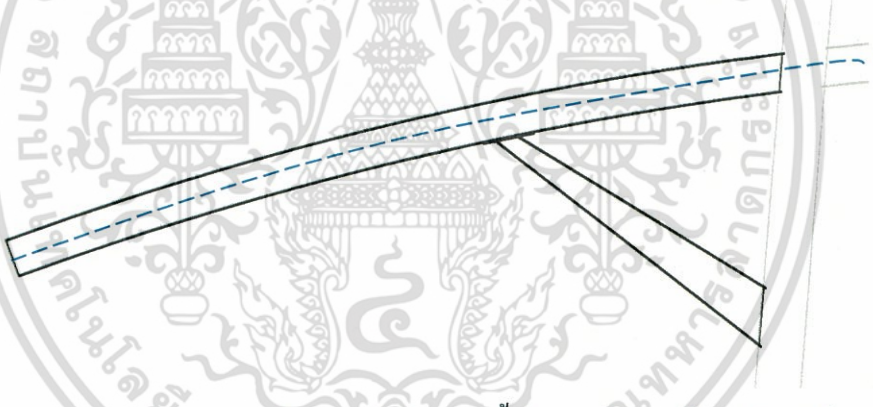
- คานช่วงกลาง เป็นคานเหล็กปีกกว้างดัดโค้ง อยู่ในแนวเดียวกับคานหลังคาระดับล่างที่ยื่นออกไปทั้ง 2 ข้าง มีขนาดสม่ำเสมอกันตลอดช่วง ยกเว้นบริเวณกลางช่วงพาดจะมีจุดแยกรูปตัว V ขึ้นไปรับคานหลังคาระดับบน ปลายด้านที่ติดกับคานช่วงกลางจะหนาและลู่ลงบริเวณปลาย (ดูภาพที่ 4.19)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 4.20** แสดงรูปทรงคานหลังคาระดับบนของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-02
ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- คานรับหลังคาระดับบน เป็นคานเหล็กปีกกว้างดัดโค้ง ขนาดสม่ำเสมอกับตลอดช่วงพาด รองรับด้วยเสาทั้งสองฝั่ง ปลายยื่นเล็กน้อย บริเวณกลางช่วงพาดมีคานช่วงกลางรองรับ 2 จุด (ดูภาพที่ 4.20)



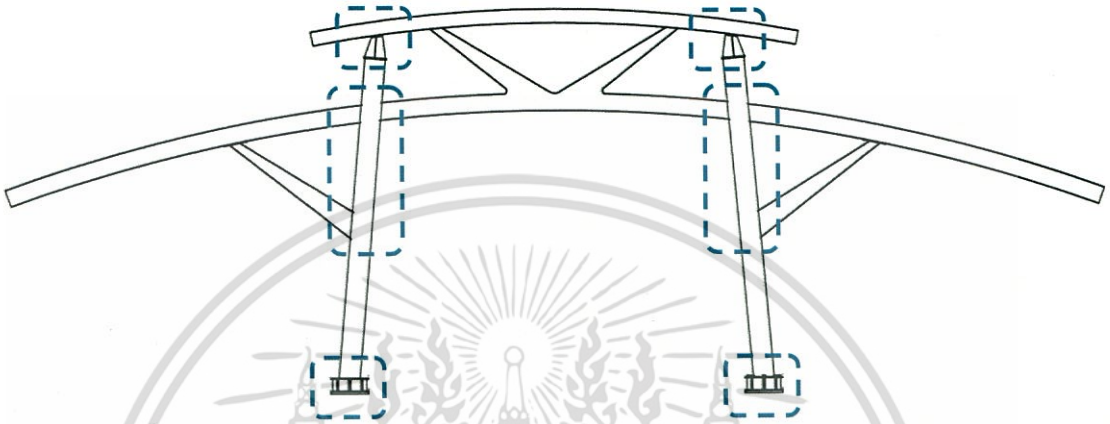
**ภาพที่ 4.21** แสดงรูปทรงคานหลังคาระดับล่างและค้ำยันของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-02
ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- คานหลังคาระดับล่าง เป็นคานเหล็กปีกกว้างดัดโค้ง ขนาดสม่ำเสมอกันยื่นออกจากเสาอยู่ในแนวเส้นโค้งเดียวกับคานช่วงกลาง มีค้ำยันคานเหล็กปีกกว้างยื่นจากเสามีขนาดใหญ่บริเวณที่ติดกับเสาและลู่ลงบริเวณปลายที่รองรับคานหลังคา จุดที่รองรับอยู่บริเวณ 1 ใน 3 ของระยะยื่น (ดูภาพที่ 4.21)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2.2 จุดต่อของโครงสร้าง

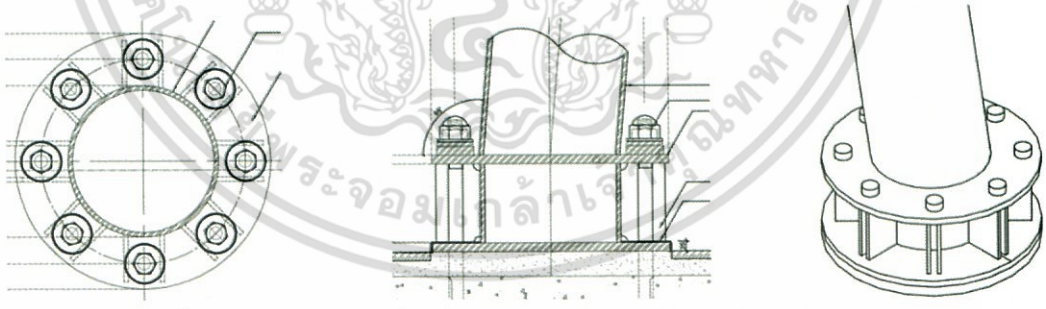
โครงสร้างหลังคาสถานีของรูปแบบ B-02 ประกอบด้วยเสาโครงสร้างหลัก 2 ต้น, คานกลางรับหลังคาระดับบนและคานหลังคาระดับล่าง จึงทำให้มีจุดต่อระหว่างองค์อาคารต่างๆ จำแนกจุดต่อตำแหน่งต่างๆดังนี้



**ภาพที่ 4.22** แสดงตำแหน่งจุดต่อและฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-02

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

จุดต่อของโครงสร้างหลังคาสถานีรูปแบบ B-02 แบ่งเป็น 3 จุด คือ จุดต่อที่ฐาน, จุดต่อระหว่างเสา คานและค้ำยัน, จุดต่อที่ปลายเสา แต่ละตำแหน่งของจุดต่อจะมีการเชื่อมต่อแตกต่างกันในแต่ละจุด (ดูภาพที่ 4.22)

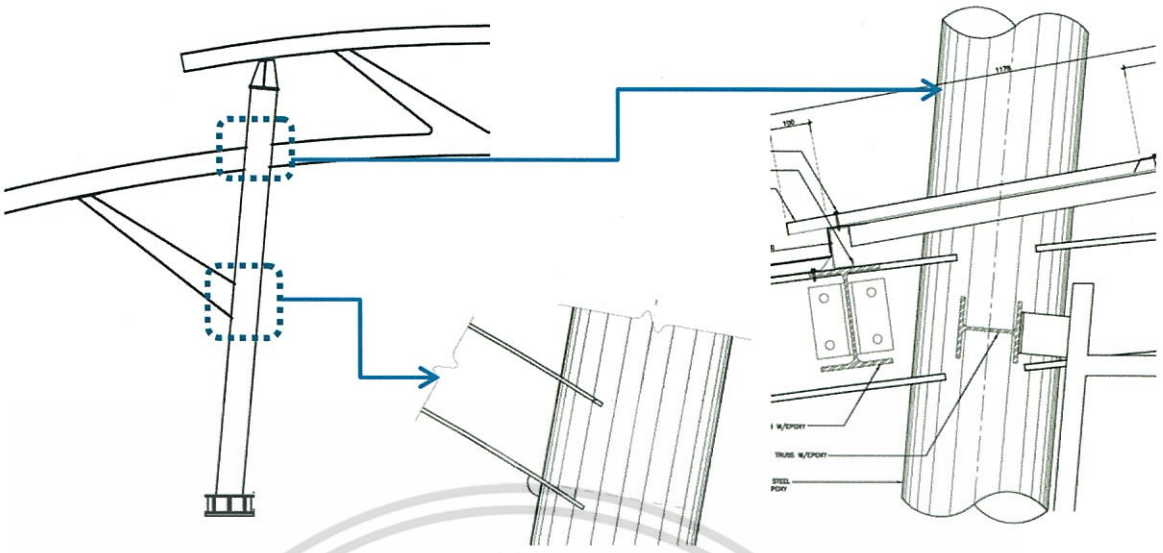


**ภาพที่ 4.23** แสดงจุดต่อที่ฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-02

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- เสาโครงสร้างเป็นเสาเหล็กกลมต่อกับพื้นคอนกรีตโดยใช้แผ่นเหล็กกลมเป็นฐานเชื่อมกับเสาเหล็กกลมตั้งฉาก สูงประมาณ 0.20 เมตร เชื่อมต่อกับแผ่นเหล็กกลมอีกแผ่นโดยมี Bolt เจาะผ่านแผ่นเหล็กกลมทั้งสองแผ่นฝังลงในคานคอนกรีตด้านล่าง เสาเหล็กกลมต่อจากแผ่นเหล็กกลมด้านบนจะเอียง 5 องศา เชื่อมติดกับแผ่นเหล็ก(ดูภาพที่ 4.23)

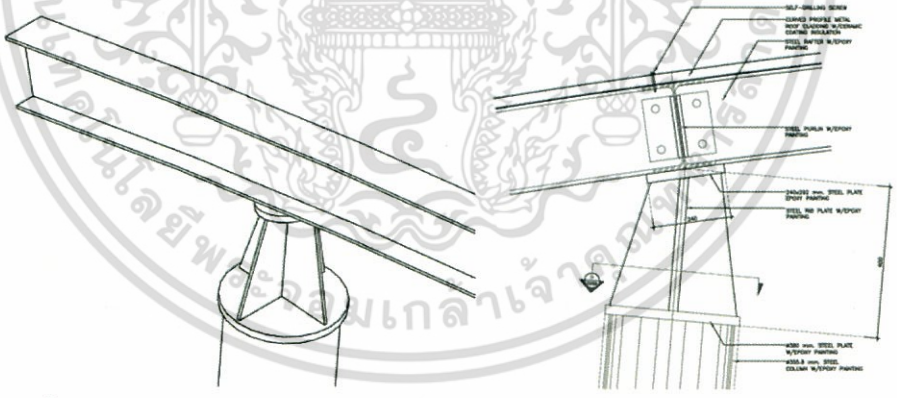
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 4.24** แสดงจุดต่อคานหลังคาระดับล่างของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-02

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- จุดต่อของคานหลังคาระดับล่างเป็นคานเหล็กปีกกว้างเชื่อมกับเสาเหล็กกลม และคานช่วงกลางที่เป็นคานเหล็กปีกกว้างเชื่อมกับเสาเหล็กกลมเช่นกัน โดยจะเชื่อมติดเสาเหล็กกลมทั้ง 2 ด้าน รวมทั้งค้ำยันหลังคาระดับล่างก็เป็นการเชื่อมเช่นกัน (ดูภาพที่ 4.24)



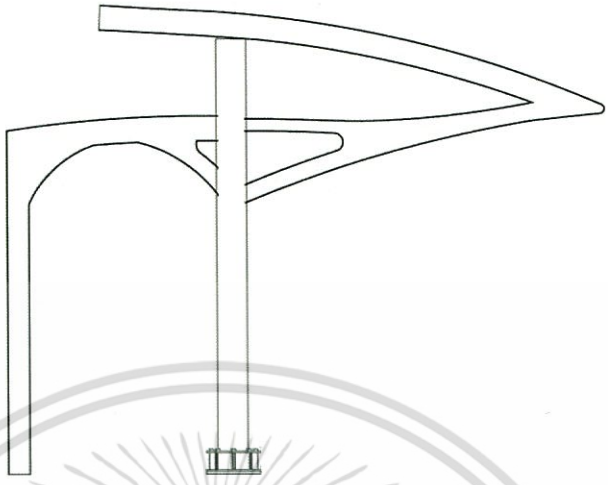
**ภาพที่ 4.25** แสดงจุดต่อเสาและหลังคาระดับบนของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-02

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- จุดต่อของคานหลังคาระดับบนกับเสาเป็นคานเหล็กปีกกว้างเชื่อมกับเสาเหล็กกลมโดยเชื่อมต่อกันบริเวณหัวเสาด้วยแผ่นเหล็กกลมขนาดใกล้เคียงกับเสาต่อกับแผ่นเหล็กที่ปลายมีขนาดเล็กกว่าฐาน 2 ชิ้นเป็นรูปกากบาทและแผ่นเหล็กกลมขนาดใกล้เคียงกับความกว้างของคาน เชื่อมต่อที่บริเวณปลายเสาชนกับคาน (ดูภาพที่ 4.25)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.3 จุดต่อและรูปทรงโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-03

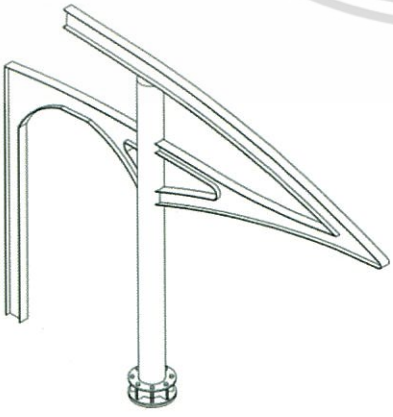


**ภาพที่ 4.26** แสดงรูปตัดขวางโครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-03
ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

โครงสร้างหลักของรูปแบบ B-03 จะเป็นเสาและคาน ช่วงพาด 2.50 เมตร และยื่นหลังคาออกไป 4.40 เมตร รวมความกว้าง 6.90 เมตร เสาเป็นเสาเหล็กกลมและเสาเหล็กปีกกว้าง โครงสร้างหลักเว้นช่วงห่างกันเป็นระยะ 8.60 เมตร รวมความยาวทั้งสิ้นประมาณ 115.00 เมตร

#### 4.2.3.1 รูปทรงของโครงสร้าง

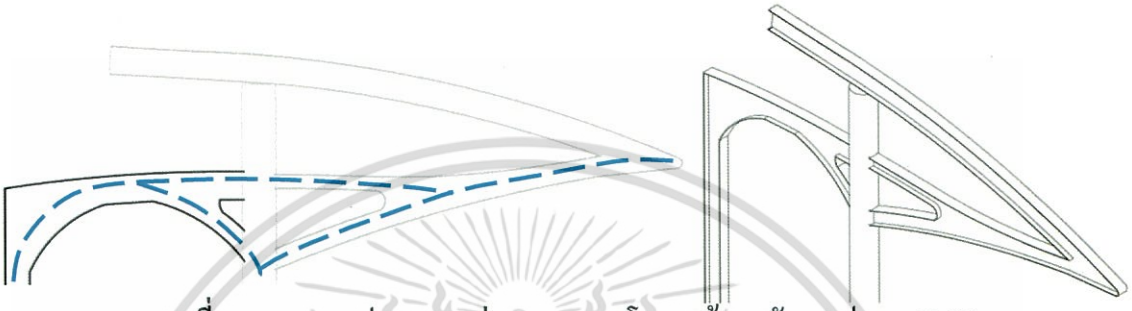
รูปทรงโดยรวมมีลักษณะเป็นโครงกรอบ 4 เหลี่ยม มีการยื่นออกไปด้านหนึ่งมีระยะยื่นมากกว่าช่วงพาด (ดูภาพที่ 4.26)



**ภาพที่ 4.27** แสดงรูปตัดขวางรูปทรงของเสาของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-03
ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

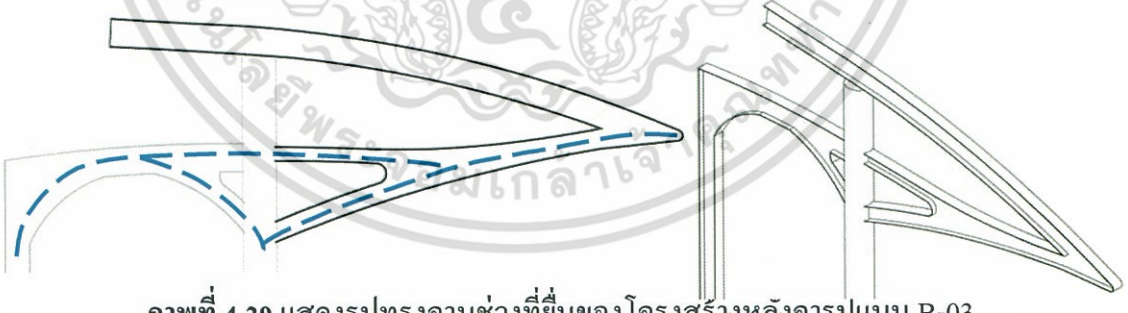
- เสาเป็นเสาเหล็กกลมเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.355 เมตร มีส่วนที่ตั้งตรงกับศูนย์กลางเสาประมาณ 0.20 เมตร ต่อจากนั้นจะเบี่ยงเข้าหาฝั่งกึ่งกลางของช่วงพาดมีองศาเบี่ยงออกจากศูนย์กลางเสาประมาณ 5° มีจุดเชื่อมต่อกับคานช่วงกลาง 2 จุดและหลังคาที่ยื่นออกจากเสา 2 จุด ปลายเสาจะรับส่วนของหลังคาระดับบนโดยปลายเสาจะเปลี่ยนเป็นเชื่อมติดเป็นรูปกากบาทปลายลู่เล็กลง



**ภาพที่ 4.28** แสดงรูปทรงคานช่วงกลางของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-03

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- คานช่วงกลางเป็นเหล็กปีกกว้างดัดโค้งต่อเนื่องมาจากเสาเหล็กปีกกว้าง ด้านบนเป็นเหลี่ยมมุม ช่วงกลางโค้งเล็กน้อย ด้านล่างโค้ง บริเวณมุมจะมีความหนา ตรงกลางจะเล็กลง ส่วนปลายที่เชื่อมต่อกับเสาเหล็กกลมจะแยกออก 2 ปลายเป็นรูป Y ตามขวาง เส้นแนวโค้งจะใกล้เคียงกับคานส่วนที่ยื่นต่อออกไป ปลายล่างจะบรรจบกับคานส่วนที่ยื่นออกไปเช่นกัน (ดูภาพที่ 4.28)



**ภาพที่ 4.29** แสดงรูปทรงคานช่วงที่ยื่นของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-03

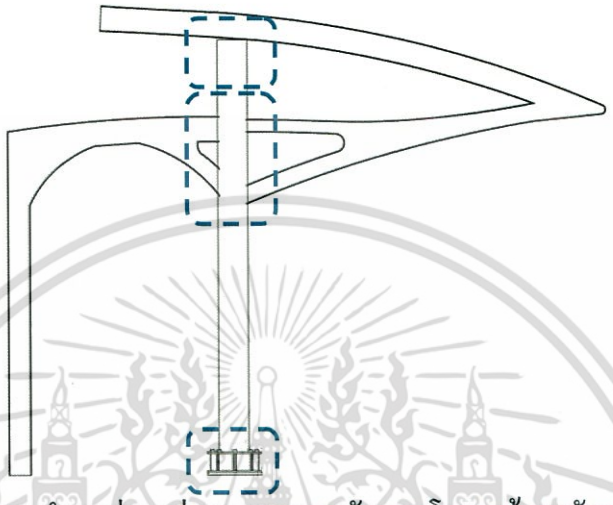
ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- คานช่วงที่ยื่นเป็นคานเหล็กปีกกว้าง ยื่นออกจากเสาเหล็กกลม บริเวณจุดที่เชื่อมต่อเสาเหล็กกลมเป็นปลายแยกรูป Y ตามขวาง ปลายบนเล็กกว่าปลายล่างเล็กน้อย อยู่ในแนวเส้นโค้งที่ใกล้เคียงกับคานช่วงกลาง คานหลังคาระดับบนเป็นคานเหล็กปีกกว้างดัดโค้งรองรับด้วยเสา ปลายอีกด้านหนึ่งจะบรรจบกับคานช่วงที่ยื่นด้านล่าง(ดูภาพที่ 4.29)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.3.2 จุดต่อของโครงสร้าง

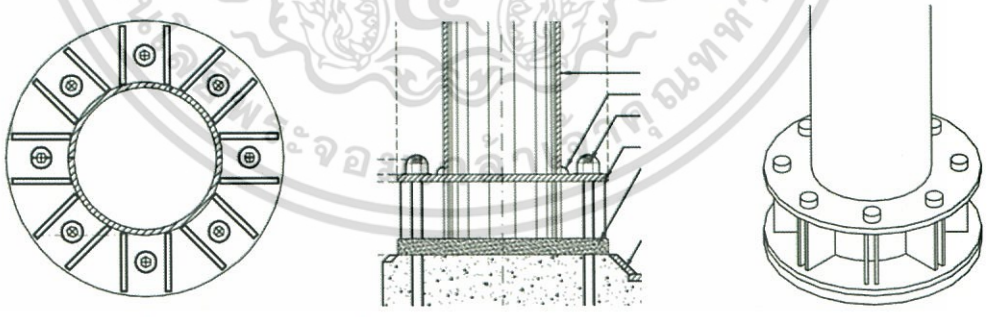
โครงสร้างหลังคาสถานีของรูปแบบ B-03 ประกอบด้วยเสาโครงสร้างหลัก 2 ต้น, คานช่วงกลาง, คานที่ยื่นออกจากเสา จึงทำให้มีจุดต่อระหว่างองค์อาคารต่างๆ จำแนกจุดต่อตำแหน่งต่างๆ ดังนี้



**ภาพที่ 4.30** แสดงตำแหน่งจุดต่อและฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-03

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

จุดต่อของโครงสร้างหลังคาสถานีรูปแบบ B-03 แบ่งเป็น 3 จุด คือ จุดต่อที่ฐาน, จุดต่อระหว่างเสาและคาน, จุดต่อที่ปลายเสา แต่ละตำแหน่งของจุดต่อจะมีการเชื่อมต่อแตกต่างกันในแต่ละจุด (ดูภาพที่ 4.30)

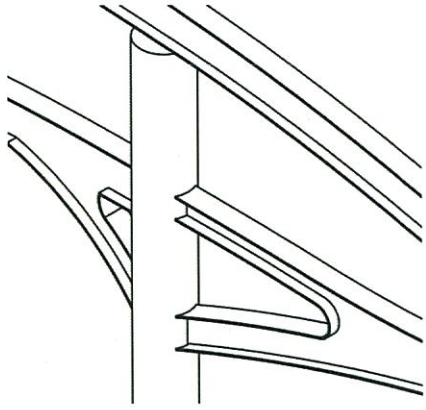


**ภาพที่ 4.31** แสดงจุดต่อที่ฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-03

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- เสาโครงสร้างเป็นเสาเหล็กกลมต่อกับพื้นคอนกรีตโดยใช้แผ่นเหล็กกลมเป็นฐานเชื่อมกับเสาเหล็กกลมตั้งฉาก สูงประมาณ 0.20 เมตร เชื่อมต่อกับแผ่นเหล็กกลมอีกแผ่นโดยมี Bolt เจาะผ่านแผ่นเหล็กกลมทั้งสองแผ่นฝังลงในคานคอนกรีตด้านล่าง เสาเหล็กกลมต่อจากแผ่นเหล็กกลมจะตรงตั้งฉาก เชื่อมติดกับแผ่นเหล็ก (ดูภาพที่ 4.31)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 4.32** แสดงจุดต่อคานและเสาของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-03

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- จุดต่อของคานช่วงกลางและเสา เป็นคานเหล็กปีกกว้างเชื่อมต่อกับเสาเหล็กกลมเชื่อมติดกัน 2 จุด อีกด้านเป็นคานที่ยื่นเป็นคานเหล็กปีกกว้างเชื่อมต่อกับเสาเหล็กกลมเช่นกัน เชื่อมติดกันทั้ง 2 จุด (ดูภาพที่ 4.32)

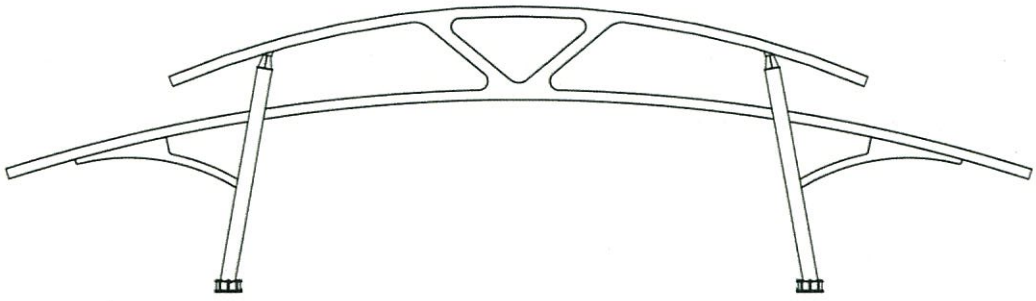
**ภาพที่ 4.33** แสดงจุดต่อหัวเสาของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-03

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- จุดต่อหัวเสา เป็นคานเหล็กปีกกว้างเชื่อมต่อกับเสาเหล็กกลมเชื่อมติดกัน โดยบริเวณคานปีกกว้างที่มาเชื่อมกับหัวเสามีการขยายความกว้างออกเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการเชื่อมต่อองค์อาคาร (ดูภาพที่ 4.33)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.2.4 จุดต่อและรูปทรงโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-04**



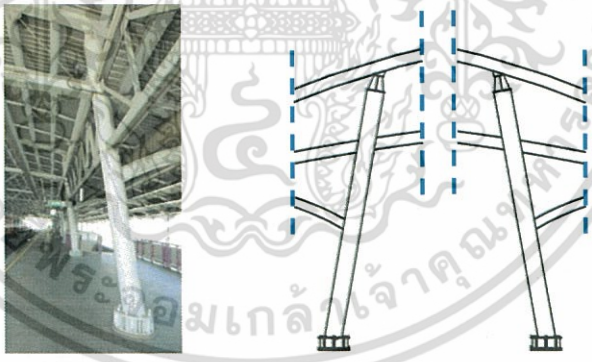
**ภาพที่ 4.34** แสดงรูปตัดขวางโครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-04

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

โครงสร้างหลักของรูปแบบที่ 4 จะเป็นเสาและคาน ช่วงพาด 13.90 เมตร และยื่นหลังคาระดับล่างออกไปทั้ง 2 ข้าง ข้างละ 4.75 เมตร รวมความกว้าง 23.40 เมตรเสาเป็นเสาเหล็กกลมเอียงออกจากศูนย์กลางเสาเข้าหาจุดกึ่งกลางโครงสร้าง โครงสร้างหลักเว้นช่วงห่างกันเป็นระยะ 9.70 เมตร รวมความยาวทั้งสิ้น 150 เมตร

**4.2.4.1 รูปทรงของโครงสร้าง**

รูปทรงโดยรวมมีลักษณะเป็นโครงกรอบ 4 เหลี่ยมคางหมูโดยมีด้านป้านอยู่ที่บริเวณฐานและมีการยื่นออกไปทั้งสองข้าง (ดูภาพที่ 4.34)

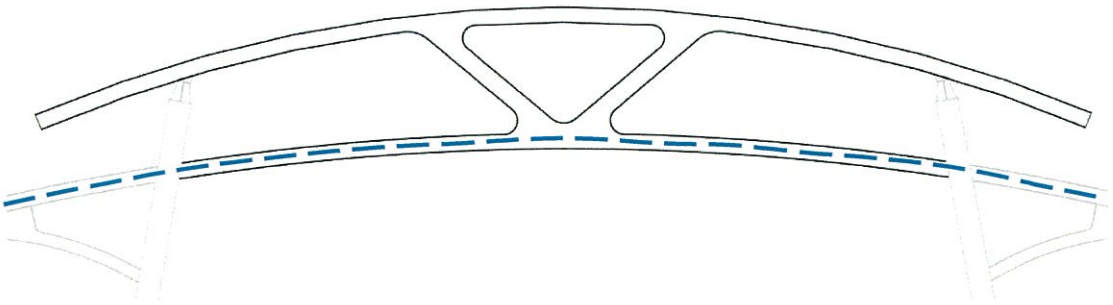


**ภาพที่ 4.35** แสดงจุดต่อที่ฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-04

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- เสา เป็นเสาเหล็กกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.355 เมตรมีส่วนที่ตั้งตรงศูนย์กลางเสาบริเวณฐานรองรับขึ้นมาประมาณ 0.20 เมตร ต่อจากนั้นเสาจะเบี่ยงเข้าหาฝั่งกึ่งกลางช่วงพาดมีองศาเบี่ยงออกจากศูนย์กลางเสาประมาณ 10° มีจุดเชื่อมต่อกับคานช่วงกลาง 2 จุด และหลังคาที่ยื่นออกจากเสา 2 จุด ปลายเสาจะรับส่วนของหลังคาระดับบนโดยปลายเสาจะเปลี่ยนเป็นเพลทเหล็กเชื่อมติดเป็นรูปกากบาทปลายลู่เล็กลง(ดูภาพที่ 4.35)

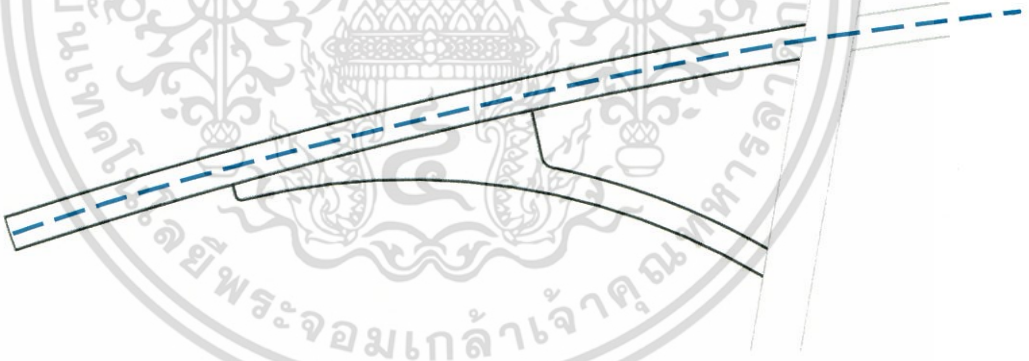
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 4.36** แสดงรูปทรงคานช่วงกลางของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-04

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- คานช่วงกลาง เป็นคานเหล็กปีกกว้างดัดโค้ง มีขนาดสม่ำเสมอกันตลอดช่วง มีแนวเส้นโค้งเดียวกับคานหลังคาระดับล่างที่ยื่นออกจากเสา บริเวณกลางช่วงพาดมีปลายแยกรูป V ขึ้นไปรับคานหลังคาระดับบน มีขนาดสม่ำเสมอกัน ความหนาจะเพิ่มขึ้นบริเวณจุดต่อกับคานช่วงกลางและคานหลังคาระดับบน เสาจะรองรับที่ปลายทั้ง 2 ด้านของคานหลังคาระดับบน เป็นคานเหล็กปีกกว้างดัดโค้ง บริเวณกลางช่วงพาดมีจุดรองรับที่มาจากคานช่วงกลาง มีขนาดสม่ำเสมอกันตลอดช่วง (ดูภาพที่ 4.36)



**ภาพที่ 4.37** แสดงรูปทรงคานหลังคาระดับล่างของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-04

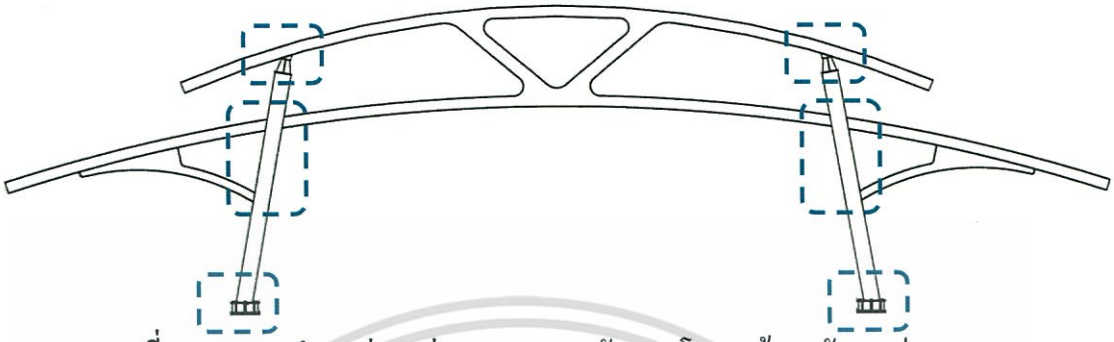
ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- คานหลังคาระดับล่างเป็นคานเหล็กปีกกว้างดัดโค้ง ขนาดสม่ำเสมอกัน ยื่นออกจากเสาอยู่ในแนวเส้นโค้งเดียวกับคานช่วงกลาง มีค้ำยันรองรับเป็นคานเหล็กปีกกว้างดัดโค้งขนาดสม่ำเสมอกันเริ่มจากบริเวณที่เชื่อมต่อกับเสา บริเวณที่เชื่อมต่อกับคานหลังคาระดับล่างจะมีความหนาเพิ่มขึ้น และลู่เล็กลงบริเวณปลายค้ำยัน รองรับคานหลังคาระดับล่างเป็นแนวยาว (ดูภาพที่ 4.37)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.2.4.2 จุดต่อของโครงสร้าง**

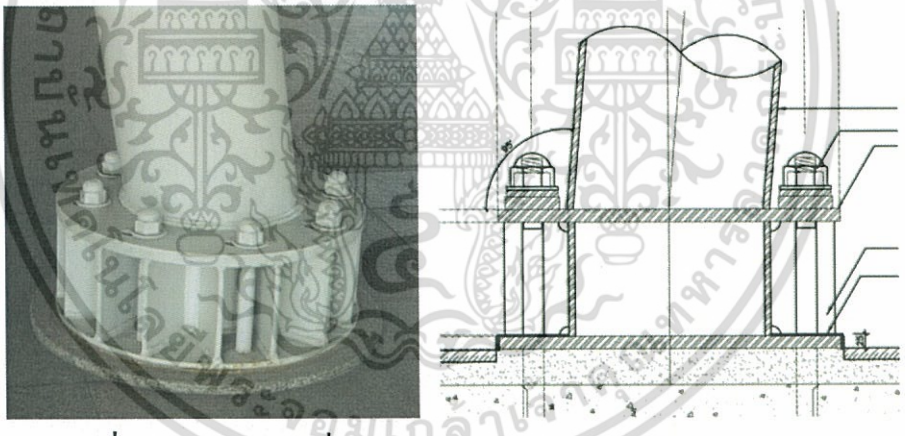
โครงสร้างหลังคาสถานีของรูปแบบ B-04 ประกอบด้วยเสาโครงสร้างหลัก 2 ต้น, คานช่วงกลาง, คานที่ยื่นออกจากเสา มีจุดต่อระหว่างองค์อาคารจำแนกตามจุดต่อตำแหน่งต่างๆดังนี้



**ภาพที่ 4.38** แสดงตำแหน่งจุดต่อและฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-04

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

จุดต่อของโครงสร้างหลังคาสถานีรูปแบบ B-02 แบ่งเป็น 3 จุด คือ จุดต่อที่ฐาน, จุดต่อระหว่างเสา คานและค้ำยัน, จุดต่อที่ปลายเสา แต่ละตำแหน่งของจุดต่อจะมีการเชื่อมต่อแตกต่างกันในแต่ละจุด (ดูภาพที่ 4.38)

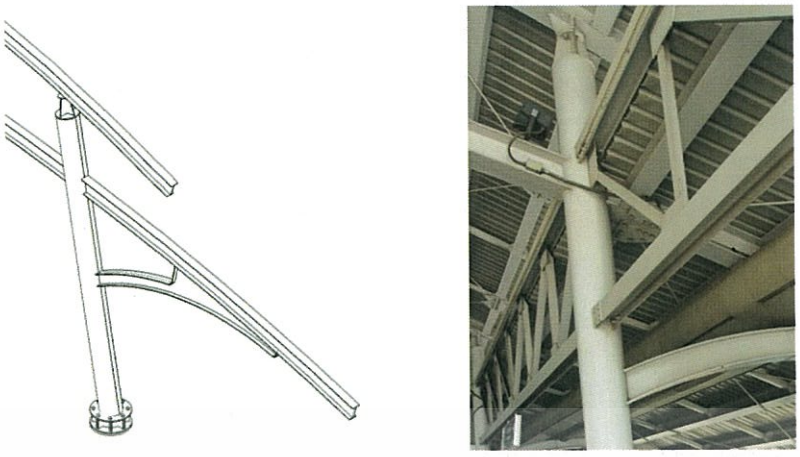


**ภาพที่ 4.39** แสดงจุดต่อที่ฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-04

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- เสาโครงสร้างเป็นเสาเหล็กกลมต่อกับพื้นคอนกรีตโดยใช้แผ่นเหล็กกลมเป็นฐานเชื่อมกับเสาเหล็กกลมตั้งฉาก สูงประมาณ 0.20 เมตร เชื่อมต่อกับแผ่นเหล็กกลมอีกแผ่นโดยมี Bolt เจาะผ่านแผ่นเหล็กกลมทั้งสองแผ่นฝังลงในคานคอนกรีตด้านล่าง เสาเหล็กกลมต่อจากแผ่นเหล็กกลมด้านบนจะเอียง 5 องศา เชื่อมติดกับแผ่นเหล็ก(ดูภาพที่ 4.39)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 4.40** แสดงจุดต่อคานหลังคาระดับล่างของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-04

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- จุดต่อของคานหลังคาระดับล่างเป็นคานเหล็กปีกกว้างเชื่อมกับเสาเหล็กกลม และคานช่วงกลางที่เป็นคานเหล็กปีกกว้างเชื่อมกับเสาเหล็กกลมเช่นกัน โดยจะเชื่อมติดเสาเหล็กกลมทั้ง 2 ด้าน รวมทั้งค้ำยันหลังคาระดับล่างก็เป็นการเชื่อมเช่นกัน (ดูภาพที่ 4.40)

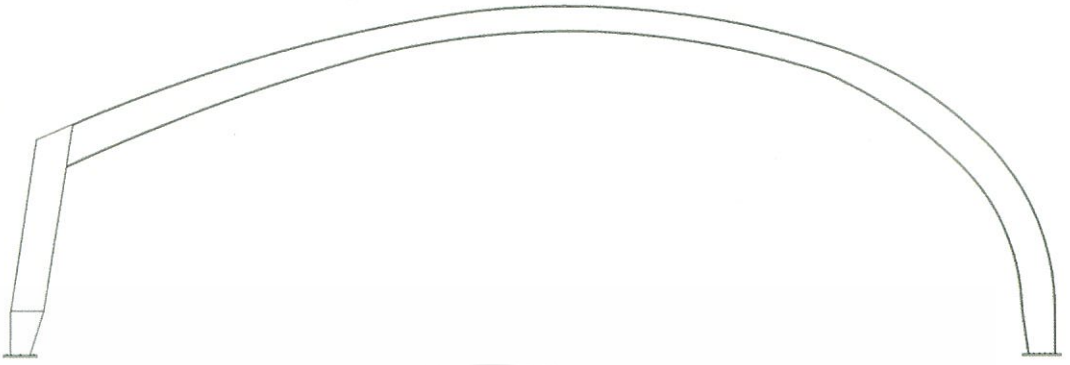
**ภาพที่ 4.41** แสดงจุดต่อเสาและหลังคาระดับบนของโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-04

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- จุดต่อของคานหลังคาระดับบนกับเสาเป็นคานเหล็กปีกกว้างเชื่อมกับเสาเหล็กกลมโดยเชื่อมต่อกันบริเวณหัวเสาด้วยแผ่นเหล็กกลมขนาดใกล้เคียงกับเสาต่อกับแผ่นเหล็กที่ปลายมีขนาดเล็กกว่าฐาน 2 ชิ้นเป็นรูปกากบาทและแผ่นเหล็กกลมขนาดใกล้เคียงกับความกว้างของคาน เชื่อมต่อที่บริเวณปลายเสาชนกับคาน (ดูภาพที่ 4.41)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.2.5 จุดต่อและรูปทรงโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบ S-01**



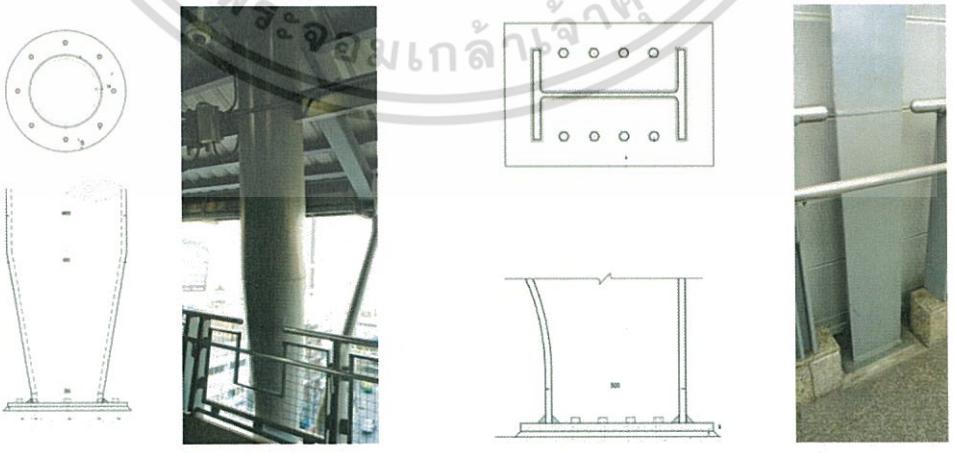
**ภาพที่ 4.42** แสดงรูปตัดขวางโครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบ S-01

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

โครงสร้างหลักของรูปแบบ S-01 จะเป็นโครงข้อแข็ง ช่วงพาด 17.00 เมตร เสาเป็นเสาเหล็กกลมเอียงออกจากศูนย์กลางเสาเข้าหาจุดกึ่งกลางโครงสร้างเชื่อมต่อกับเหล็กปีกกว้างโครงสร้างหลักเว้นช่วงห่างกันเป็นระยะ 7.50 เมตร บริเวณหัว-ท้ายของสถานีมีการยื่นออกไปเล็กน้อย

**4.2.5.1 รูปทรงของโครงสร้าง**

รูปทรงโดยรวมมีลักษณะเป็นโครงกรอบรูปปิดมีเส้นตรงบริเวณฐานด้านหนึ่ง เชื่อมกับเส้นโค้งตลอดช่วงไปยังฐานอีกด้าน (ดูภาพที่ 4.42)

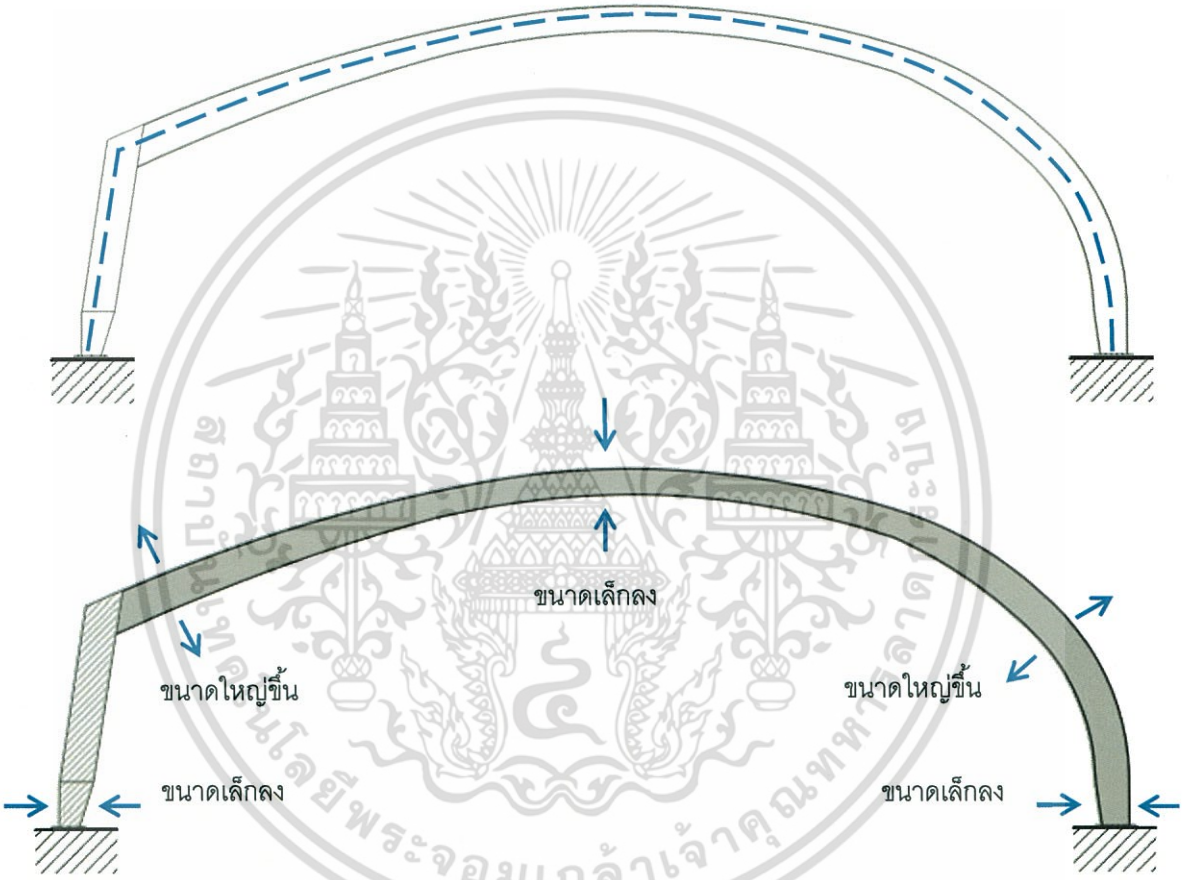


**ภาพที่ 4.43** แสดงรูปของเสาของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-01

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เสาโครงสร้างเป็นเสาเหล็กกลมต่อกับพื้นคอนกรีตโดยใช้แผ่นเหล็กกลมเป็นฐานเชื่อมกับเสาเหล็กกลมเอนเข้าหากลางช่วงพาดเล็กน้อย มีขนาดสม่ำเสมอกันและลู่เล็กบริเวณปลาย ตั้งแต่ความสูงประมาณ 0.60 เมตรจนถึงฐาน เชื่อมต่อกับแผ่นเหล็กกลมอีกแผ่นโดยมี Bolt เจาะผ่านแผ่นเหล็กกลมทั้งสองแผ่นฝังลงในคานคอนกรีตด้านล่างปลายอีกด้านจะเป็นคานเหล็กปีกกว้าง บริเวณปลายลู่เล็กลงเชื่อมต่อกับฐานแผ่นเหล็กสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ดูภาพที่ 4.43)




**ภาพที่ 4.44** แสดงรูปทรงโครงสร้างของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-01

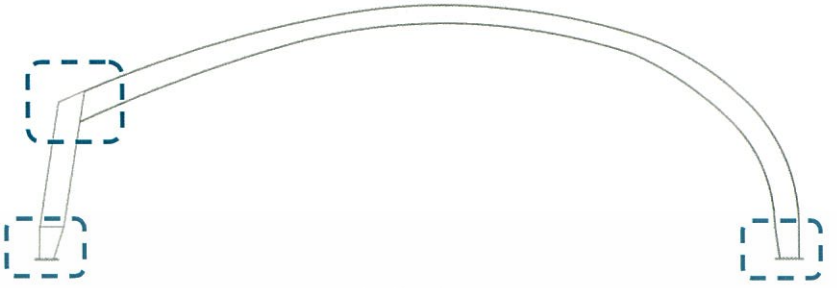
ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- โครงสร้างเป็นโครงข้อแข็ง รูปทรงโดยรวมเป็นโครงกรอบโค้งรูปปิด ด้านหนึ่งเป็นเสากลมเอียงเข้าหากลางช่วงพาดเชื่อมต่อกับเหล็กปีกกว้างโค้งตลอดช่วง โดยคานเหล็กปีกกว้างจะมีขนาดใหญ่ขึ้นบริเวณที่เชื่อมต่อกับเสาเหล็กกลม คอดเล็กลงบริเวณกลางองค์อาคาร และขนาดใหญ่ขึ้นในบริเวณที่โค้งลงเชื่อมต่อกับฐาน บริเวณปลายลู่ลงเล็กน้อย (ดูภาพที่ 4.44)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.5.2 จุดต่อของโครงสร้าง

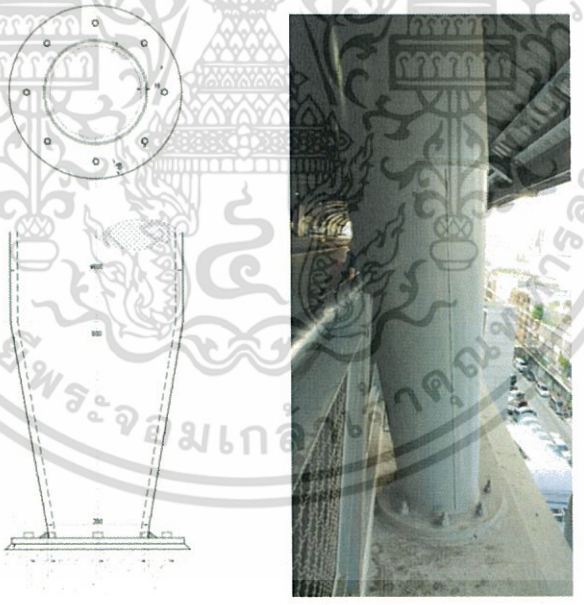
โครงสร้างหลังคาสถานีของรูปแบบ S-01 ประกอบด้วยเสาโครงสร้าง, คานเหล็กปีกกว้างมีจุดต่อระหว่างองค์อาคารจำแนกตามจุดต่อตำแหน่งต่างๆดังนี้



**ภาพที่ 4.45** แสดงตำแหน่งจุดต่อและฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-01

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

จุดต่อของโครงสร้างหลังคาสถานีรูปแบบ S-01 แบ่งเป็น 3 จุด คือ จุดต่อที่ฐาน, จุดต่อที่ฐานเสา, จุดต่อที่ปลายเสา แต่ละตำแหน่งของจุดต่อจะมีการเชื่อมต่อแตกต่างกันในแต่ละจุด (ดูภาพที่ 4.45)

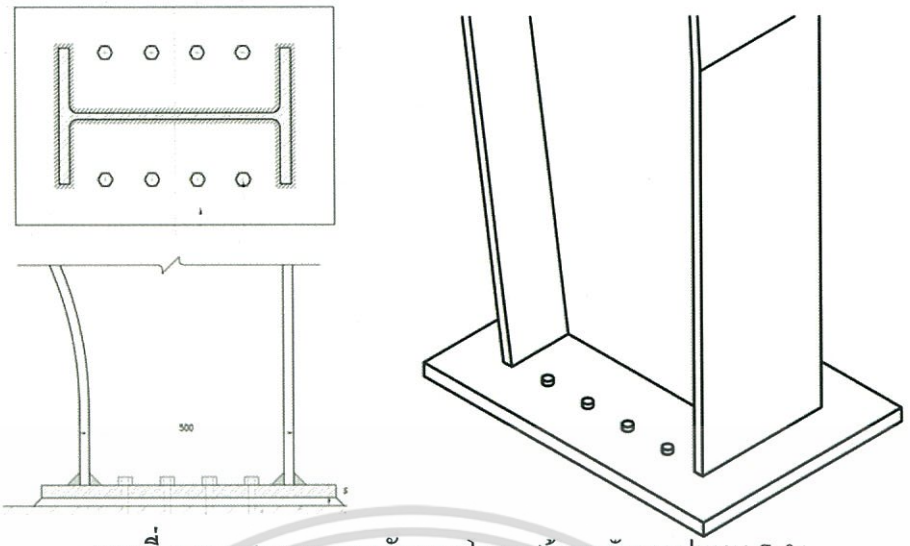


**ภาพที่ 4.46** แสดงฐานรองรับเสาของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-01

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- เสาโครงสร้างเป็นเสาเหล็กกลมเชื่อมต่อกับพื้นโดยแผ่นเหล็กกลมเป็นฐานเชื่อมกับเสาเหล็กกลม มี Bolt เจาะผ่านแผ่นเหล็กกลมฝังลงในคอนกรีตด้านล่าง (ดูภาพที่ 4.46)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 4.47** แสดงฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-01

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- คานเหล็กปีกกว้างโครงข้อแข็ง เชื่อมต่อกับพื้นคอนกรีตโดยใช้แผ่นเหล็กสี่เหลี่ยมผืนผ้าเชื่อมกับคานเหล็กปีกกว้าง มี Bolt เจาะผ่านแผ่นเหล็กฝังลงในคอนกรีตด้านล่าง (ดูภาพที่ 4.47)

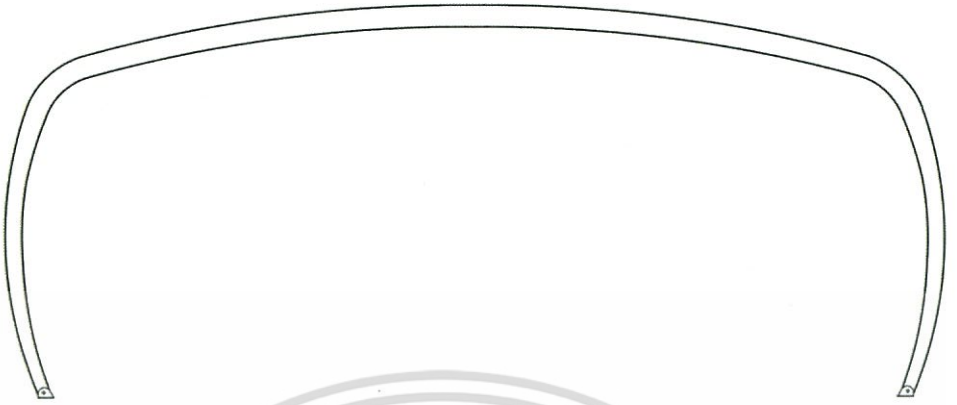
**ภาพที่ 4.48** แสดงจุดต่อหัวเสาของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-01

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- จุดต่อบริเวณหัวเสา เป็นเสาเหล็กกลมเชื่อมกับคานเหล็กปีกกว้างที่เป็นโครงสร้างหลักที่อยู่ในแนวแกน และมีคานเหล็กปีกกว้างที่เป็นโครงสร้างรองเปิดเป็นช่องแสงเข้ามาเชื่อมต่อด้านข้าง (ดูภาพที่ 4.48)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.2.6 จุดต่อและรูปทรงโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบ S-02**



**ภาพที่ 4.49** แสดงรูปตัดขวางโครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบ S-02

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

โครงสร้างหลักของรูปแบบ S-02 จะเป็นโครงข้อแข็ง ช่วงพาด 36.00 เมตร เป็นคานเหล็กปีกกว้างโค้งต่อเนื่องตลอดช่วง โครงสร้างหลักเว้นช่วงห่างกันเป็นระยะ 8.00 เมตร บริเวณหัว-ท้ายของสถานีมีการยื่นออกไปเล็กน้อย

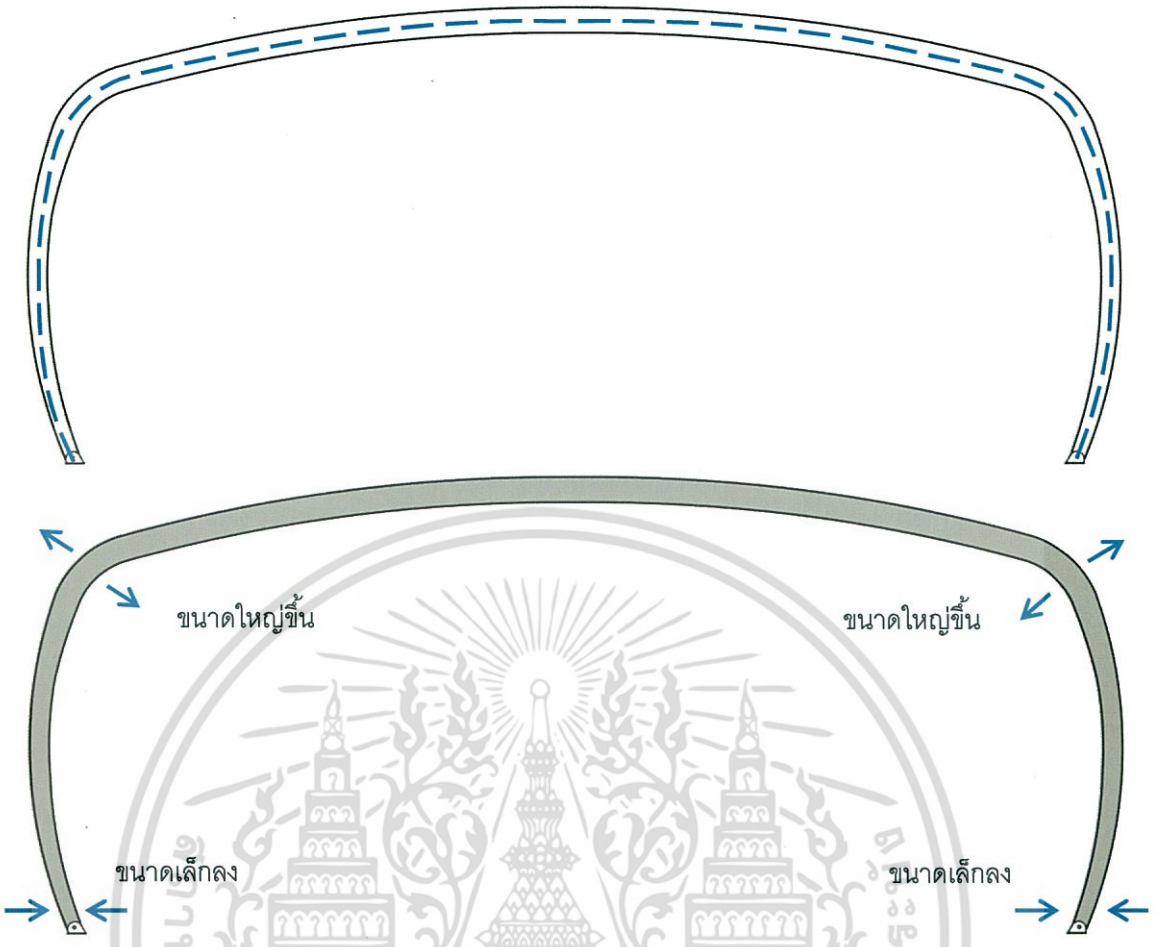
**4.2.6.1 รูปทรงของโครงสร้าง**

รูปทรงโดยรวมมีลักษณะเป็นโครงกรอบรูปปิดคล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า องค์อาคารเป็นแนวเส้นโค้งตลอดช่วง (ดูภาพที่ 4.49)

**ภาพที่ 4.50** แสดงรูปของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-02

ที่มา : จากการสำรวจในเดือน มีนาคม พ.ศ. 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 4.51** แสดงรูปทรงโครงสร้างของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-02

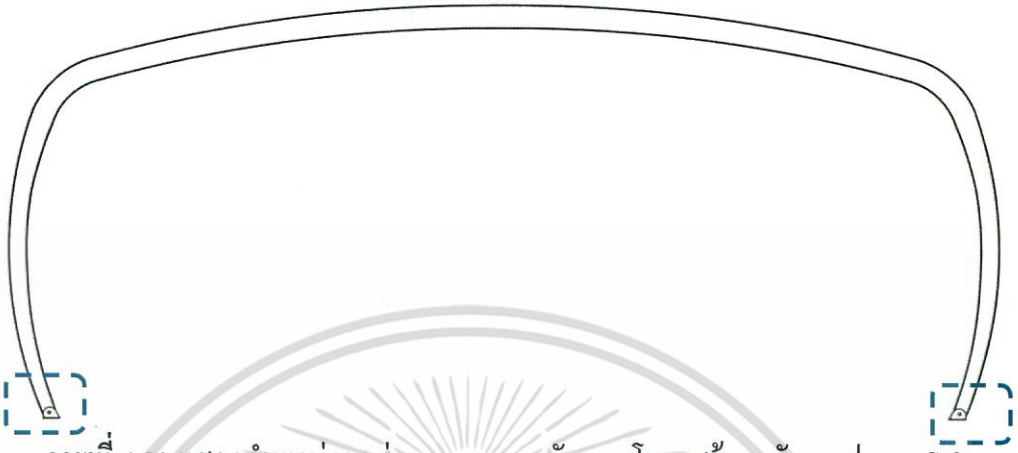
ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- โครงสร้างเป็นโครงข้อแข็ง รูปทรงโดยรวมเป็นโครงกรอบคล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า คานเหล็กปีกกว้างเป็นเส้นโค้งตลอดช่วง บริเวณใกล้กับฐานรองรับจะมีขนาดลู่เล็กลงและค่อยๆเพิ่มขนาดขึ้นเล็กน้อย บริเวณไหล่ของโครงสร้างที่มีความโค้งจะมีขนาดเพิ่มขึ้นและจะมีขนาดสม่ำเสมอไปตลอดช่วงองค์อาคารด้านบน (ดูภาพที่ 4.51)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.2.6.2 จุดต่อของโครงสร้าง**

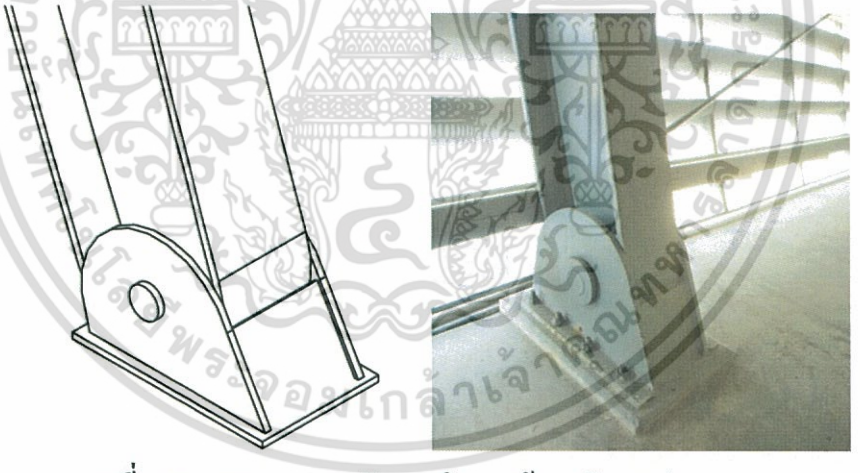
โครงสร้างหลังคาสถานีของรูปแบบ S-02 เป็นโครงข้อแข็งคานเหล็กปีกกว้างตลอดช่วงมีจุดต่อที่เป็นฐานรองรับของโครงสร้าง 2 จุด



**ภาพที่ 4.52** แสดงตำแหน่งจุดต่อและฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-02

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

ฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-02 เป็นฐานรองรับแบบจุดหมุนทั้งสองด้านเป็นเหล็กแผ่นเชื่อมประกอบ



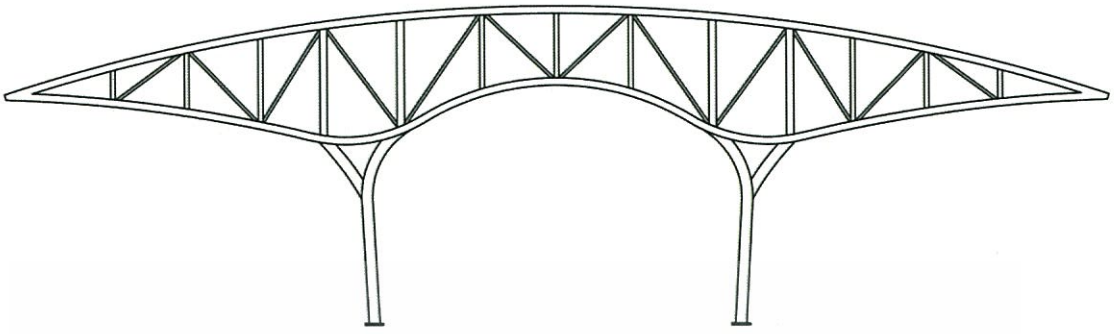
**ภาพที่ 4.53** แสดงฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-02

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

ฐานรองรับเป็นชนิดยึดหมุน (Hinge) เชื่อมต่อกับโครงข้อแข็งเหล็กปีกกว้าง โดยใช้แผ่นเหล็กเชื่อมประกอบ แกนเหล็กร้อยทะลุแผ่นประกบข้างและคานเหล็กปีกกว้าง เชื่อมกับเหล็กแผ่นด้านล่างฝัง Bolt ผ่านแผ่นเหล็กลงคอนกรีตด้านล่าง (ดูภาพที่ 4.53)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.2.7 จุดต่อและรูปทรงโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบ S-03**

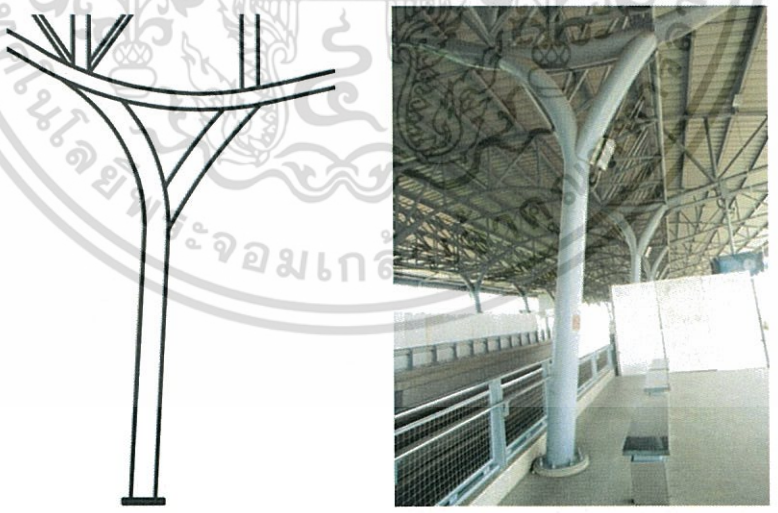


**ภาพที่ 4.54** แสดงรูปตัดขวางโครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบ S-03

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

**4.2.7.1 รูปทรงของโครงสร้าง**

โครงสร้างหลักของรูปแบบ S-03 จะเป็นลักษณะเสาและคาน ช่วงพาด 10.00 เมตร และยื่นออกไปข้างละ 9.00 เมตร เสาเป็นเสาเหล็กกลมปลายแยกรูป Y เอียงออกจากจุดกึ่งกลางโครงสร้างเล็กน้อย เชื่อมต่อกับโครงถักด้านบน โครงสร้างหลักเว้นช่วงห่างกันเป็นระยะ 7.50 เมตร บริเวณหัว-ท้ายของสถานีมีการยื่นออกไปเล็กน้อย (ดูภาพที่ 4.54)

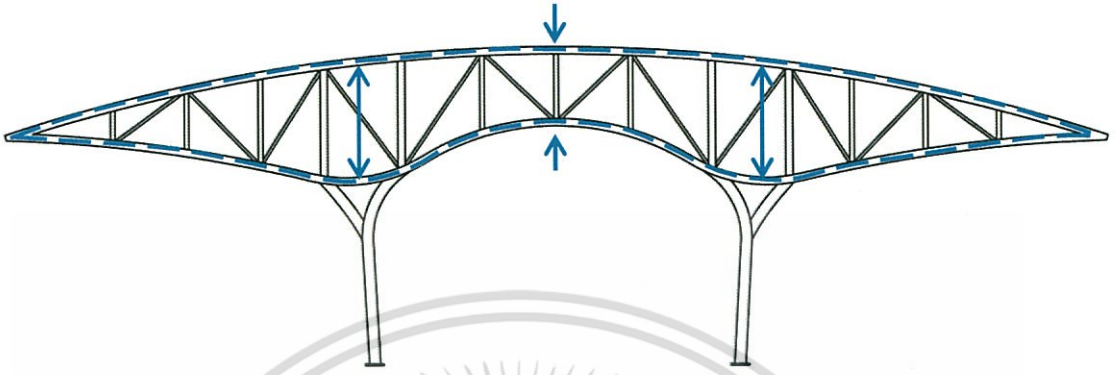


**ภาพที่ 4.55** แสดงรูปของเสาของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-03

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เสาโครงสร้างเป็นเสาเหล็กกลมต่อกับพื้นคอนกรีตโดยใช้แผ่นเหล็กกลมเป็นฐานเชื่อมต่อกัน เอียงออกจากจุดกึ่งกลางโครงสร้าง มีขนาดสม่ำเสมอกัน บริเวณปลายเสาจะโค้งและแยกเป็น 2 ปลายคล้ายรูป Y รับโครงถักด้านบน (ดูภาพที่ 4.55)



**ภาพที่ 4.56** แสดงรูปทรงของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-03

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- โครงถักด้านบน มีลักษณะเป็นเส้นโค้งทั้งองค์อาคารด้านบนและล่าง ส่วนของ Upper chord จะเป็นเส้นโค้งเดียวตลอดช่วง ส่วนของ Lower chord จะเป็นเส้นโค้งดัดกลับไปมา ขนาดความลึกของโครงถักจะมีขนาดลึกที่สุดบริเวณช่วงที่เชื่อมต่อกับเสาและจะเล็กลงบริเวณกึ่งกลาง รวมทั้งบริเวณที่ยื่นออกไปทั้งสองข้างจะลู่เล็กลงจน Upper และ Lower chord มาบรรจบกันบริเวณปลายสุดของโครงสร้าง (ดูภาพที่ 4.56)

**ภาพที่ 4.57** แสดงแนวเส้นโค้งของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-03

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- แนวเส้นโค้งของโครงสร้างจะใกล้เคียงที่จะเชื่อมต่อเป็นแนวเส้นเดียวกันในส่วนของปลายแยกของเสาทั้งสองข้างและส่วนของ Lower chord บริเวณกลางช่วงพาดจะเป็นเส้นโค้งคล้าย Arch ต่อเนื่องจากเสาถึง Lower chord บริเวณปลายทั้งสองด้านเส้นโค้งใกล้เคียงจะเป็นแนวเดียวกันจากเสาถึงปลายของโครงถัก (ดูภาพที่ 4.57)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

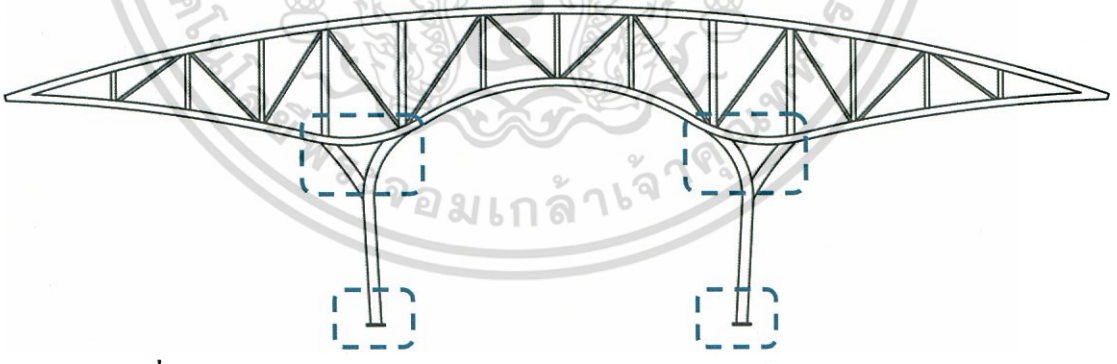
**ภาพที่ 4.58** แสดง Lower chord ของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-03

ที่มา : จากการสำรวจในเดือน มีนาคม พ.ศ. 2557

- Lower Chord บริเวณที่เชื่อมต่อกับปลายเสา จะมีขนาดที่ใหญ่กว่าบริเวณอื่นๆ ส่วนอื่นของโครงถักจะมีขนาดขององค์อาคารใกล้เคียงและสม่ำเสมอกัน

**4.2.7.2 จุดต่อของโครงสร้าง**

โครงสร้างหลังคาสถานีของรูปแบบ S-03 ประกอบด้วยเสาโครงสร้าง, โครงถัก มีจุดต่อระหว่างองค์อาคารจำแนกตามจุดต่อตำแหน่งต่างๆดังนี้

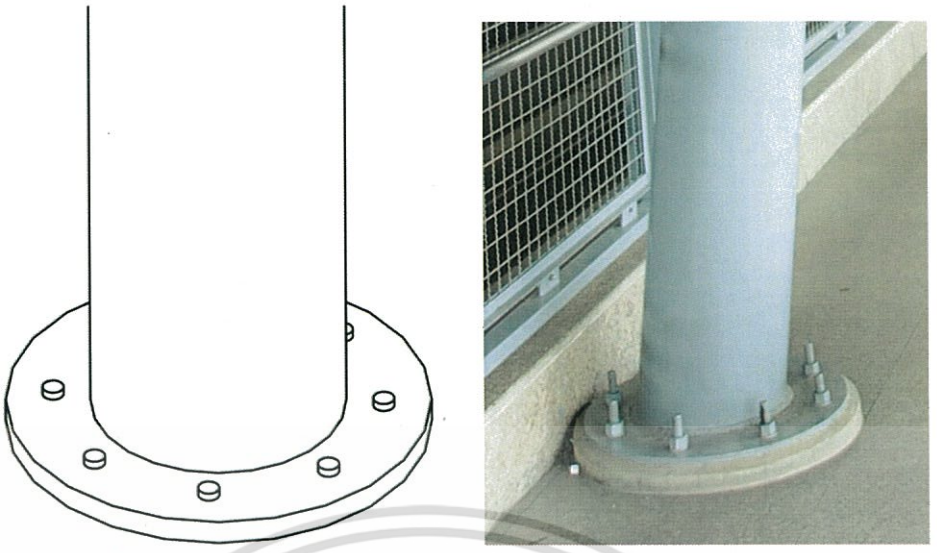


**ภาพที่ 4.59** แสดงตำแหน่งจุดต่อและฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-03

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

จุดต่อของโครงสร้างหลังคาสถานีรูปแบบ S-03 แบ่งเป็น 2 จุด คือ จุดต่อที่ฐาน และจุดต่อที่ปลายเสา (ดูภาพที่ 4.59)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 4.60** แสดงตำแหน่งฐานรองรับของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-03

ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- เสาโครงสร้างเป็นเสาเหล็กกลมเชื่อมต่อกับพื้นโดยแผ่นเหล็กกลมเป็นฐานเชื่อมกับเสาเหล็กกลม มี Bolt เจาะผ่านแผ่นเหล็กกลมฝังลงในคอนกรีตด้านล่าง (ดูภาพที่ 4.60)

**ภาพที่ 4.61** แสดงตำแหน่งจุดต่อปลายเสาของโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-03

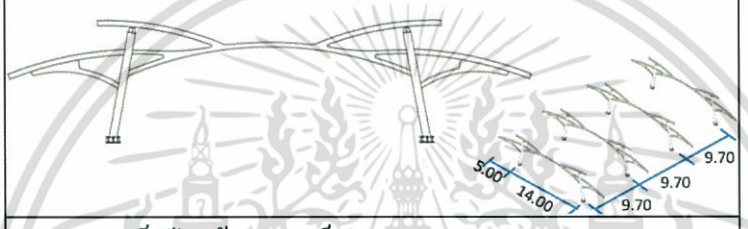
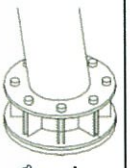
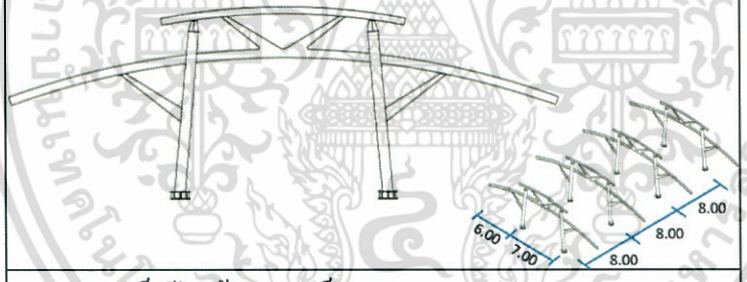
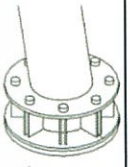
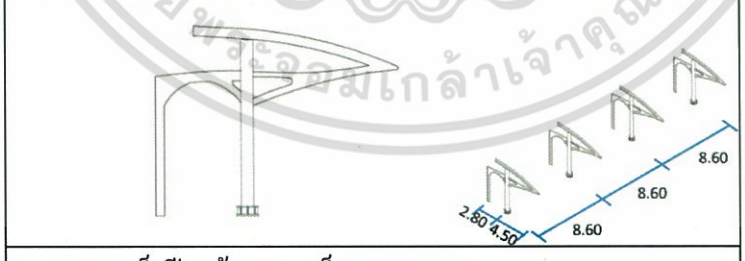
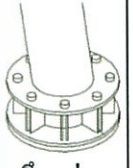
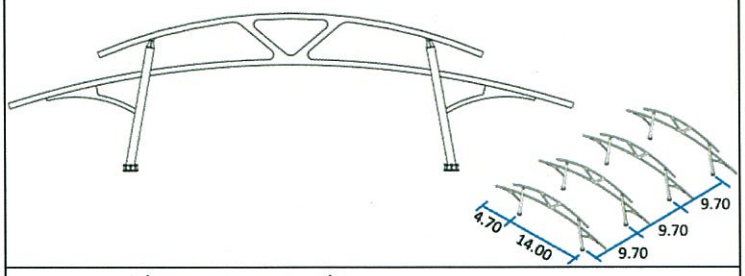
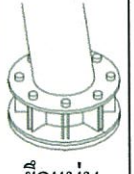
ที่มา : ผู้วิจัย เขียนและดัดแปลงจากข้อมูลรูปตัดแบบก่อสร้าง

- ปลายเสาแยกเป็นรูป Y เชื่อมกับโครงถัก เป็นท่อเหล็กกลมเชื่อมต่อกันทั้งเสาและโครงถัก บริเวณที่ปลายเสาแยกรับตรงกับ Diagonal chord ของโครงถักและตรงกับโครงถักที่ยึดระหว่างโครงสร้างหลักทำหน้าที่คล้ายอะเส (ดูภาพที่ 4.61)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

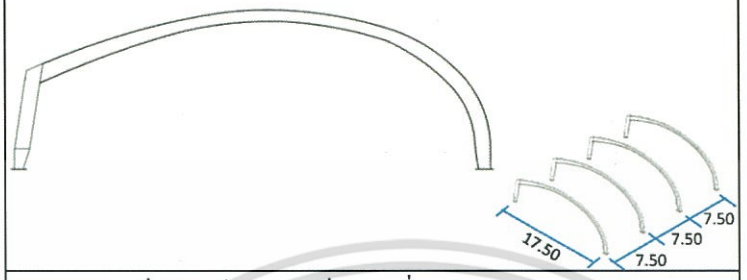
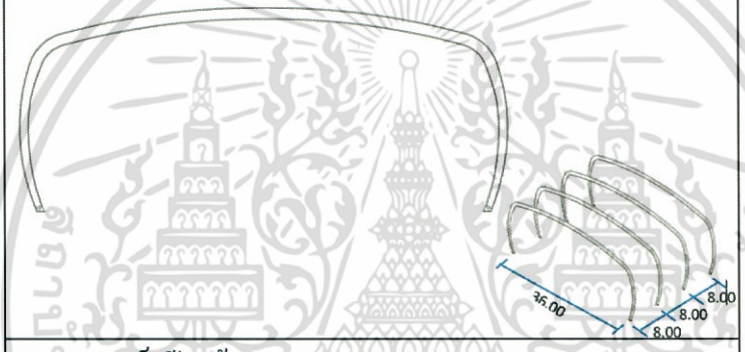
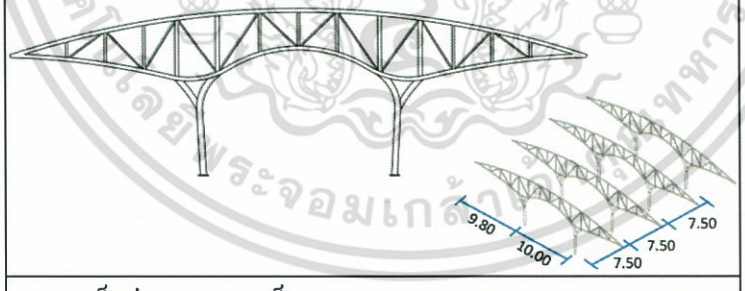
รูปแบบโครงสร้างเหล็กรูปพรรณอาคารกรณีศึกษาแสดงได้ดังตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบรูปทรงโครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้า BTS ทั้งหมด 4 รูปแบบ และสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิทั้งหมด 3 รูปแบบ โดยจำแนกเป็นรูปแบบ รูปทรงของโครงสร้าง ช่วงพาด ระยะยื่นและชนิดของฐานรองรับ ได้ดังนี้

**ตารางที่ 4.1 รูปแบบของโครงสร้างหลังคาเหล็กรูปพรรณอาคารกรณีศึกษา**

| รูปแบบโครงสร้างหลังเหล็กรูปพรรณอาคารสถานีรถไฟฟ้า BTS | | | |
|---|---|---|---|
| **รูปแบบ** | **รูปทรงโครงสร้าง** | **ช่วงพาด / ระยะยื่น** | **ชนิดฐานรองรับ** |
| B-01 (เสาและคาน) |  <br>- คานเหล็กปีกกว้าง, เสาเหล็กกลม | 14 เมตร / 5 เมตร |  <br>ยึดแน่น |
| B-02 (เสาและคาน) |  <br>- คานเหล็กปีกกว้าง, เสาเหล็กกลม | 7 เมตร / 6 เมตร |  <br>ยึดแน่น |
| B-03 (เสาและคาน) |  <br>- คานเหล็กปีกกว้าง, เสาเหล็กกลม | 2.8 เมตร / 4.5 เมตร |  <br>ยึดแน่น |
| B-04 (เสาและคาน) |  <br>- คานเหล็กปีกกว้าง, เสาเหล็กกลม | 14 เมตร / 4.7 เมตร |  <br>ยึดแน่น |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.1 (ต่อ)**

| รูปแบบโครงสร้างหลังเหล็กรูปพรรณอาคารสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมต่อท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ | | | |
|---|---|---|---|
| **รูปแบบ** | **รูปทรงโครงสร้าง** | **ช่วงพาด / ระยะยื่น** | **ชนิดฐานรองรับ** |
| S-01 (โครงข้อแข็ง) |  <br>- คานเหล็กปีกกว้าง, เสาเหล็กกลมเชื่อมประกอบ | 17.5เมตร/ 2 เมตร | <br>ยึดแน่น |
| S-02 (โครงข้อแข็ง) |  <br>- คานเหล็กปีกกว้าง | 36 เมตร | <br>ยึดหมุน |
| S-03 (เสาและคาน/ โครงข้อหมุน) |  <br>- เหล็กท่อกลม, เสาเหล็กกลม | 10 เมตร / 9.8 เมตร | <br>ยึดแน่น |

จากรูปแบบของโครงสร้างหลังคาทั้ง 7 รูปแบบ พบว่าภาพรวมของโครงสร้างสถานีรถไฟฟ้า BTS มีลักษณะที่เป็นโครงสร้างแบบเสาและคาน จุดรองรับทั้งสองจะอยู่บริเวณกลางช่วงพาดและยื่นคานออกไปทั้งสองข้าง ส่วนภาพรวมของโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิจะเป็นลักษณะของโครงข้อแข็ง จุดรองรับจะอยู่บริเวณปลายของช่วงพาดทั้งสองด้าน และอีกรูปแบบจะเป็นลักษณะเสาและคานที่เป็นโครงข้อหมุน จุดรองรับอยู่บริเวณกลางช่วงพาดและยื่นออกไปทั้งสองด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการศึกษารูปทรงและจุดต่อของโครงสร้างหลังคาสถานีทั้ง 7 รูปแบบ พบว่าโดยรวมรูปทรงโครงสร้างจะเป็นโครงกรอบที่เป็นรูปปิดเป็นหลักและมีการยื่นด้านข้างออกไป แนวเส้นขององค์อาคารส่วนใหญ่จะเป็นเส้นโค้ง โดยจะเป็นเส้นโค้งที่ใกล้เคียงแนวเดียวกันกับองค์อาคารที่เชื่อมต่อกัน

รูปแบบโครงสร้างที่เป็นลักษณะโครงสร้างเสาและคาน ส่วนองค์อาคารที่เป็นเสานั้นจะมีความสม่ำเสมอกัน มีแนวแกนเสาที่ตั้งฉากกับแนวราบและเอียงเข้าหากึ่งกลางของช่วงพาด มีเพียงรูปแบบ S-03 ที่เป็นเสารูป Y ที่แนวแกนเอียงออกจากกึ่งกลางช่วงพาด องค์อาคารที่เป็นคานโดยรวมจะมีขนาดสม่ำเสมอกันและจะมีความลึกเพิ่มหรือแยกปลายขององค์อาคารเป็นรูป Y บริเวณที่เชื่อมต่อกับองค์อาคารอื่นในบางส่วน แนวโน้มนี้รวมถึงโครงถักที่ทำหน้าที่เป็นคานโดยจะเพิ่มความลึกบริเวณที่เชื่อมต่อกับเสา

รูปแบบโครงสร้างที่เป็นลักษณะโครงสร้างโครงข้อแข็งจะมีแนวเส้นของโครงสร้างที่ค่อนข้างจะต่อเนื่องกันตลอดช่วงเป็นรูปปิด มีบางส่วนยื่นเล็กน้อย ขนาดขององค์อาคารจะลู่เล็กบริเวณใกล้กับฐานรองรับ และจะมีความลึกมากขึ้นบริเวณที่เป็นมุม หรือไหล่ของโครงสร้าง

จุดต่อขององค์อาคารจะใช้วิธีการเชื่อมทั้งหมด โดยมีการเชื่อมตลอดแนวสัมผัสขององค์อาคาร เป็นจุดต่อแบบยึดแน่น ส่วนของฐานรองรับพบทั้งหมด 2 แบบ คือแบบยึดหมุน (Hinge) และแบบกึ่งยึดแน่น (Semi-rigid connection) โดยรวมจะเป็นฐานรองรับแบบกึ่งยึดแน่นด้วยการเชื่อมต่อเสากับเหล็กแผ่นที่รองรับยึดติดกับคอนกรีตและใช้สลักเกลียวในการยึด มีเพียงรูปแบบ S-02 ที่เป็นฐานรองรับแบบยึดหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# การศึกษาแรงภายในและจุดต่อที่มีผลต่อรูปทรงของโครงสร้าง

รูปทรงของโครงสร้างของหลังคาสถานีรถไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบมีความแตกต่างกันทั้งรูปทรงโดยรวมและขนาดหน้าตัดในแต่ละองค์อาคาร ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลทำให้ทราบแนวโน้มของการออกแบบองค์อาคาร โดยขึ้นกับรูปทรงโดยรวม ฐานรองรับ รูปแบบและลักษณะของโครงสร้าง โดยเฉพาะประเภทของฐานรองรับที่จะส่งผลต่อการรับแรงของโครงสร้าง ในส่วนนี้จึงศึกษาถึงแรงภายในที่เกิดขึ้นเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการออกแบบรูปทรงโครงสร้าง

การวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของแรงภายใน โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method) ในการทดสอบ การสร้างแบบจำลองและทดสอบด้วยโปรแกรม SAP2000 แบบจำลองที่สร้างขึ้นจะทำการทดสอบที่แตกต่างกันโดยใช้ฐานรองรับ 2 ประเภท คือ ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed) และฐานรองรับแบบยึดหมุน (Hinge) โดยคงรายละเอียดอื่นๆ เช่น องค์อาคาร น้ำหนักบรรทุกคงเดิม แล้วทำการวิเคราะห์โดยใช้ผลของแรงดัด (Bending Moment), การเสียรูป (Deformation) และแรงตามแนวแกน (Axial Force) ในบางรูปแบบ ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวเกี่ยวข้องกับรูปทรงของโครงสร้าง

แบบจำลองที่สร้างเพื่อการทดสอบด้วยโปรแกรม SAP2000 เป็นแบบจำลองโครงสร้างโดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. สร้างแบบจำลองโครงสร้างที่เป็นเชิงเส้นจากรูปแบบโครงสร้างที่ได้ในบทที่ 4
2. การกำหนดคุณสมบัติต่างๆของโครงสร้าง ประกอบด้วย ชนิดของวัสดุ ฐานรองรับ หน้าตัดและรูปทรงของโครงสร้าง
3. การกำหนดคุณสมบัติที่ได้สร้างขึ้นในขั้นตอนที่ 2 ให้กับส่วนต่างๆของโครงสร้าง
4. ประมวลผลด้วยโปรแกรม
5. แสดงผลการทดสอบโครงสร้างแต่ละรูปแบบ เพื่อนำไปวิเคราะห์และเปรียบเทียบต่อไป

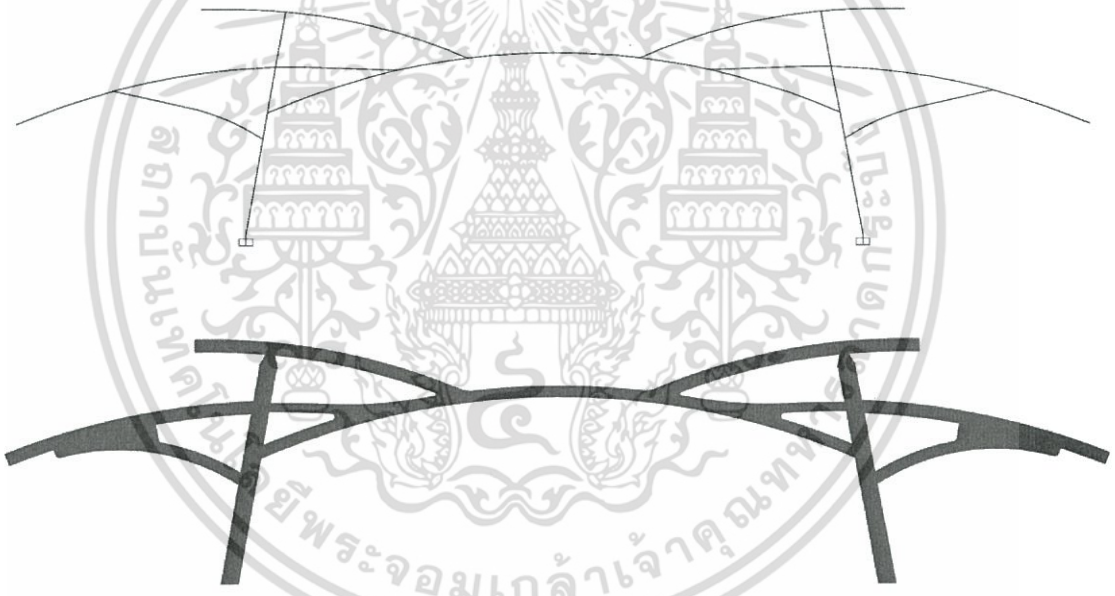
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.1 รูปแบบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS

### 5.1.1 โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-01

โครงสร้างหลังคารูปแบบ B-01 มีลักษณะเสาและคาน มีหลังคา 2 ระดับ หลังคาระดับบนและหลังคาระดับล่างที่ยื่นออกไปทั้ง 2 ข้าง ช่วงพาด 13.86 เมตร ยื่นหลังคาระดับล่างออกไปข้างละ 5.16 เมตร

แบบจำลองโครงสร้างหลักตามรูปแบบ B-01 มีทั้งหมด 1 รูปแบบโครงสร้างหลัก โดยจำลองน้ำหนักบรรทุก (Live Load) และน้ำหนักบรรทุกตายตัว (Dead Load) ของโครงสร้างให้ใกล้เคียงที่สุด



**ภาพที่ 5.1** แสดงแบบจำลองโครงสร้างของ รูปแบบ B-01

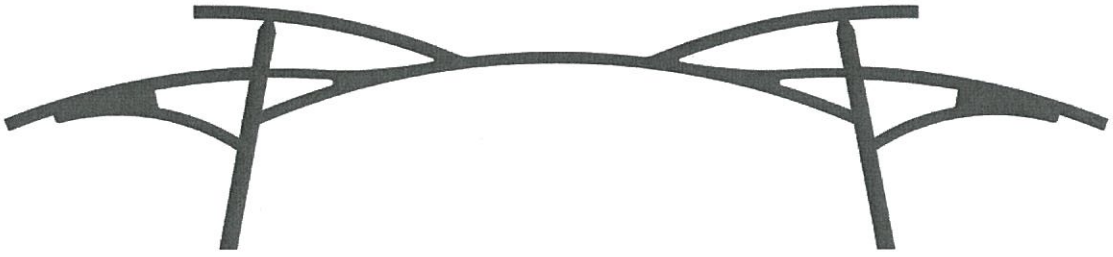
ที่มา : ผู้วิจัย

### 5.1.2 ผลการทดสอบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-01

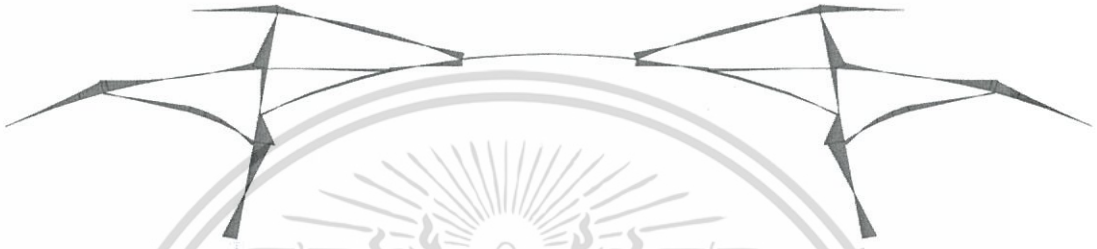
การทดสอบแบบจำลองด้วยโปรแกรม SAP2000 ของโครงสร้างรูปแบบ B-01 ได้ผลการทดสอบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**5.1.2.1 โครงสร้างหลังคารูปแบบ B-01**



ก. แสดงรูปทรงโครงสร้าง



ข. แสดงโมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram)

**ภาพที่ 5.2** แสดงผลการทดสอบโครงสร้างของ รูปแบบ B-01

ที่มา : ผู้วิจัย

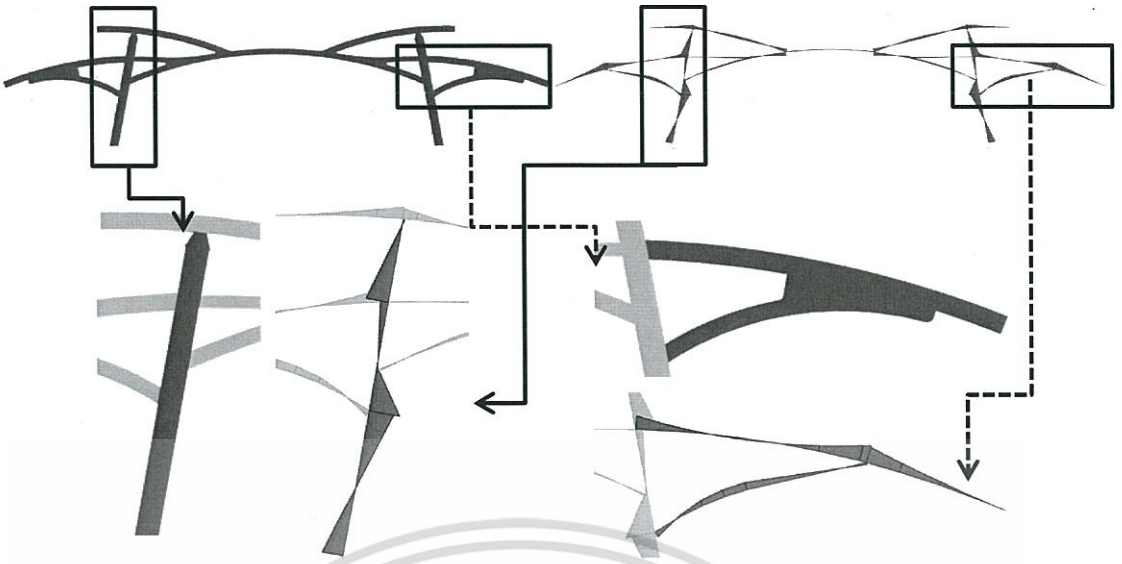
แบบจำลองโครงสร้างรูปแบบ B-01 ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed) จะเกิดแรงดัดมากขึ้นในบริเวณที่เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างองค์อาคาร รูปทรงโครงสร้างโดยรวมเป็นโครงกรอบทำให้มีความแข็งแรงภายในรูปปิดแรงดัดภายในจะน้อย บริเวณที่มีการยื่นออกไปจากโครงกรอบจะมีแรงดัดเพิ่มขึ้น โดยองค์อาคารที่รองรับแรงดัดมากคือเสา รองลงมาคือคานหลังคาระดับล่างที่ยื่นออกไปด้านข้าง

**ภาพที่ 5.3** แสดงแรงดัดบริเวณคานช่วงกลางโครงสร้างของ รูปแบบ B-01

ที่มา : ผู้วิจัย

บริเวณคานตรงกลางรับแรงดัดน้อย ทำหน้าที่ในการยึดโยงโครงสร้างทั้งสองฝั่ง แรงดัดเพิ่มขึ้นเฉพาะบริเวณที่เชื่อมกับคานหลังคาระดับบน ที่คานมีแรงดัดกระจายตลอดช่วง จะเพิ่มมากบริเวณเชื่อมกับหัวเสาส่วนบริเวณปลายลดลง กลางคานมีแรงดัดกลับทำให้แรงดัดโดยรวมใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 5.4** แสดงการเปรียบเทียบแรงดัดและรูปทรงโครงสร้างของ รูปแบบ B-01

ที่มา : ผู้วิจัย

เสาเป็นองค์อาคารที่รองรับแรงดัดที่เกิดขึ้นมาก โดยเฉพาะบริเวณที่องค์อาคารอื่นมาเชื่อมต่อซึ่งมีหลายจุดตลอดทั้งแนวเสา รองรับแรงดัดมากบริเวณที่เป็นค้ำยันหลังคาระดับล่าง จุดเชื่อมต่อเป็นแบบยึดแน่นทั้งหมดการส่งผ่านแรงดัดได้อย่างเต็มที่ เสาจึงมีขนาดหน้าตัดที่ใหญ่เพื่อให้เพียงพอต่อการรองรับ และทิศทางการเอียงของเสาทำให้เกิดแรงดัดมากขึ้นตั้งแต่ฐานรองรับแต่ช่วยลดแรงดัดบริเวณที่เชื่อมต่อกับคานหลังคาระดับล่าง

คานหลังคาระดับล่าง เป็นคานที่ยื่นออกมาจากเสาเกิดแรงดัดมากบริเวณที่เชื่อมต่อกับเสาและบริเวณที่ค้ำยันมาเชื่อมต่อ บริเวณกลางและปลายของคานจะมีแรงดัดน้อยมาก ตัวค้ำยันบริเวณช่วงกลางจะมีแรงดัดมากและลดลงบริเวณหัวและท้าย แรงดัดจะเกิดที่เสามากกว่าทำให้องค์อาคารที่เป็นคานหลังคาและค้ำยันมีขนาดที่เล็กลงเนื่องจากไม่ต้องรับภาระมาก

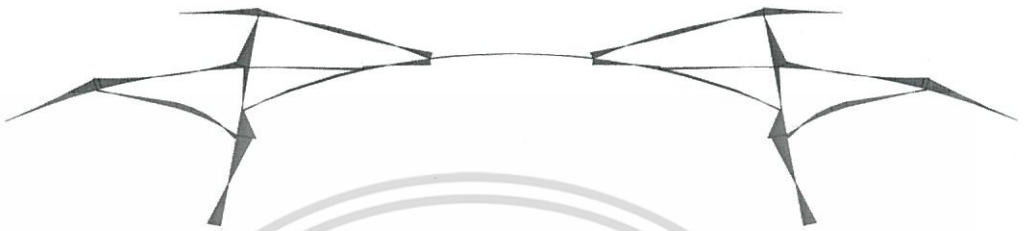
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.1 แสดงแรงภายในโครงสร้างของรูปแบบ B-01**

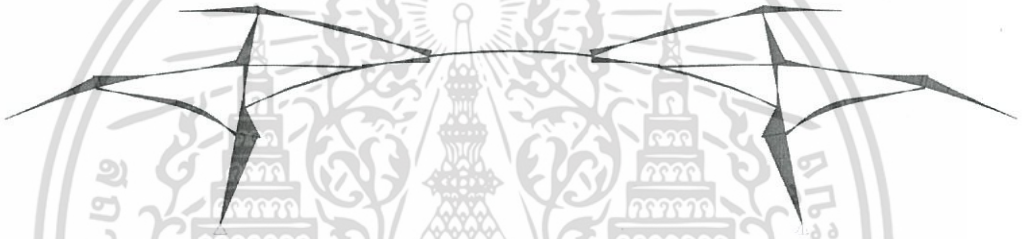
| องค์อาคาร | โมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram) | ลักษณะ |
|---|---|---|
| 1. เสา | | - เสาเกิดแรงดัดมากที่สุด โดยเฉพาะบริเวณที่องค์อาคารอื่นมาเชื่อมต่อ บริเวณหัวเสาเกิดแรงดัดน้อยที่สุด และบริเวณฐานรองรับเกิดแรงดัดกลับ |
| 2. คานกลางและคานหลังคาระดับบน | | - คานช่วงกลางเกิดแรงดัดน้อย มีปริมาณเพิ่มขึ้นบริเวณที่เชื่อมต่อกับคานหลังคาระดับบน<br>- คานหลังคาระดับบน มีแรงดัดกระจายสม่ำเสมอ เพิ่มขึ้นบริเวณเชื่อมต่อกับเสาและคานกลางเล็กน้อย |
| 3. คานหลังคาระดับล่างและค้ำยัน | | - คานหลังคาระดับล่าง เกิดแรงดัดมากบริเวณเชื่อมต่อกับเสา และช่วงที่เชื่อมต่อกับค้ำยัน<br>- ค้ำยันเกิดแรงดัดมากช่วงกลางของค้ำยัน ลดน้อยลงบริเวณที่เชื่อมต่อกับคานหลังคาระดับล่าง |

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าแรงดัดจะมากขึ้นในบริเวณที่องค์อาคารเชื่อมต่อกัน บริเวณคานกลางและคานหลังคาระดับบนจะมีแรงดัดน้อย บริเวณเสาและคานหลังคาระดับล่างที่ยื่นออกด้านข้างจะมีแรงดัดมากกว่าบริเวณกลางช่วงพาด บริเวณฐานรองรับมีแรงดัดกลับ

**5.1.2.2 เปรียบเทียบผลของฐานรองรับโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-01**



ก. ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed)



ข. ฐานรองรับแบบยึดหมุน (Hinge)

**ภาพที่ 5.5** แสดงการเปรียบเทียบฐานรองรับแบบยึดหมุนและแบบยึดแน่นของ รูปแบบ B-01

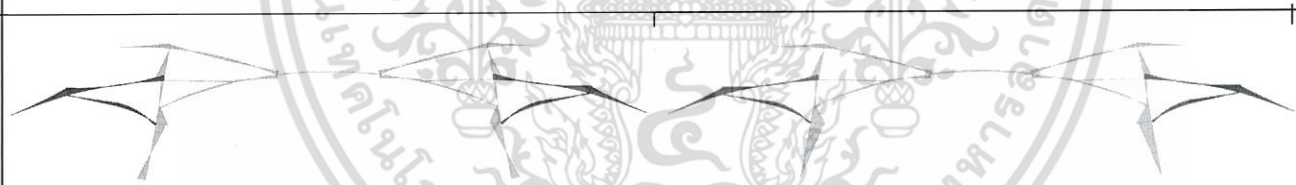
ที่มา : ผู้วิจัย

ผลการทดสอบการเปรียบเทียบแรงดัด แสดงให้เห็นว่าแรงดัดบริเวณฐานเสาแตกต่างกันแต่โดยรวมในส่วนอื่นยังคงเหมือนกัน โดยในฐานรองรับแบบยึดหมุนบริเวณฐานรองรับจะมีแรงดัดน้อยมากและเพิ่มขึ้นจนถึงบริเวณเชื่อมต่อกับค้ำยัน ซึ่งจะมีแรงดัดในบริเวณค้ำยันที่มากกว่าฐานรองรับแบบยึดแน่น ส่วนฐานรองรับแบบยึดแน่นจะมีแรงดัดกลับตั้งแต่บริเวณฐานรองรับทำให้แรงดัดโดยรวมของบริเวณนี้น้อยกว่าฐานรองรับแบบยึดหมุน

จากผลการทดสอบฐานรองรับทั้ง 2 ประเภท สามารถเปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นโดยแจกแจงตามองค์อาคารแต่ละส่วน แสดงแนวโน้มของแรงที่แตกต่างกันในแต่ละประเภทของฐานรองรับดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบผลจากฐานรองรับของโครงสร้างรูปแบบ B-01**

| องค์อาคาร | โมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram) | | ลักษณะ |
|---|---|---|---|
| | ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed) | ฐานรองรับแบบยึดหมุน (Hinge) | |
| 1. เสา | | | - บริเวณฐานยึดหมุนจะมีแรงดัดน้อยมาก แต่ส่วนอื่นจะมากกว่า |
| 2. คานกลางและคานหลังคาระดับบน | | | - ใกล้เคียงกันทั้ง 2 แบบ |
| 3. คานหลังคาระดับล่างและค้ำยัน |  | | - ใกล้เคียงกันทั้ง 2 แบบ |

จากตารางที่ 5.2 พบว่าผลจากประเภทของฐานรองรับส่งผลให้แรงดัดบริเวณเสาเปลี่ยนไป ฐานรองรับแบบยึดแน่นจะมีแรงดัดกลับที่บริเวณฐาน แรงดัดในส่วนที่ต่อเนื่องกันจะมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ส่วนฐานรองรับแบบยึดหมุนบริเวณฐานรองรับจะมีแรงดัดน้อยมาก ส่วนที่ต่อเนื่องกันจะมีปริมาณแรงดัดที่มากกว่าแบบยึดหมุนเนื่องจากแรงดัดไปในทิศทางเดียวกัน ไม่มีแรงดัดกลับที่ฐานจึงมีแรงดัดที่เพิ่มมากกว่าแบบยึดแน่น ในส่วนอื่นจะใกล้เคียงกันทั้ง 2 แบบ

### 5.1.3 โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-02

โครงสร้างหลังคารูปแบบ B-02 มีลักษณะเสาและคาน มีหลังคา 2 ระดับ หลังคาระดับบนและหลังคาระดับล่างที่ยื่นออกไปทั้ง 2 ข้าง ช่วงพาด 7.00 เมตร ยื่นหลังคาระดับล่างออกไปข้างละ 5.80 เมตร

แบบจำลองโครงสร้างหลักตามรูปแบบ B-02 มีทั้งหมด 1 รูปแบบโครงสร้างหลัก โดยจำลองน้ำหนักบรรทุก (Live Load) และน้ำหนักบรรทุกตายตัว (Dead Load) ของโครงสร้างให้ใกล้เคียงที่สุด

**ภาพที่ 5.6** แสดงแบบจำลองโครงสร้างของ รูปแบบ B-02

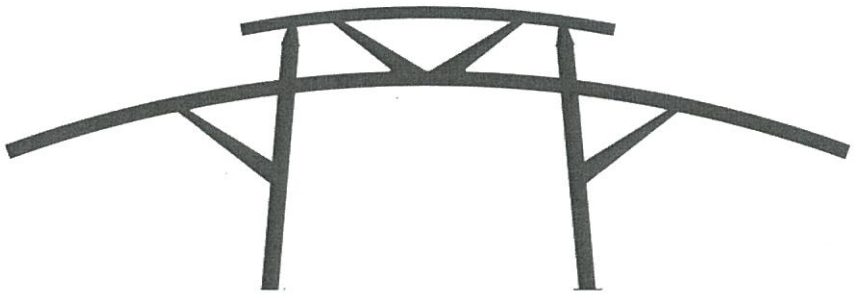
ที่มา : ผู้วิจัย

### 5.1.4 ผลการทดสอบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-02

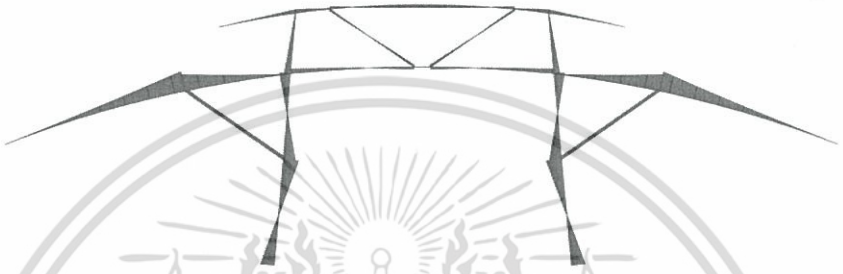
การทดสอบแบบจำลองด้วยโปรแกรม SAP2000 ของโครงสร้างรูปแบบ B-02 ได้ผลการทดสอบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**5.1.4.1 โครงสร้างหลังคารูปแบบ B-02**



ก. แสดงรูปทรงโครงสร้าง

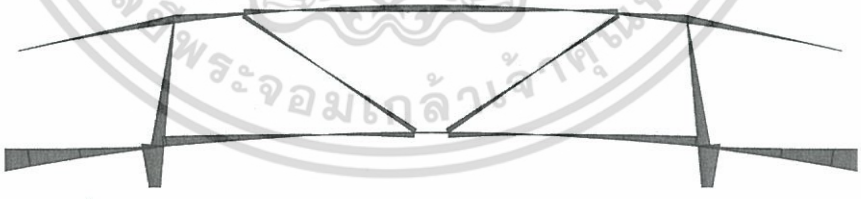


ข. แสดง โมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram)

**ภาพที่ 5.7** แสดงผลการทดสอบโครงสร้างของ รูปแบบ B-02

ที่มา : ผู้วิจัย

แบบจำลองโครงสร้างรูปแบบ B-02 ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed) จะเกิดแรงดัดมากขึ้นในบริเวณที่เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างองค์อาคาร รูปทรงโครงสร้างโดยรวมเป็นโครงกรอบทำให้มีความแข็งแรงภายในรูปปิดแรงดัดภายในจะน้อย บริเวณที่มีการยื่นออกไปจากโครงกรอบจะมีแรงดัดเพิ่มขึ้น โดยองค์อาคารที่รองรับแรงดัดมากคือเสา และคานหลังคาระดับล่างที่ยื่นออกไปด้านข้าง

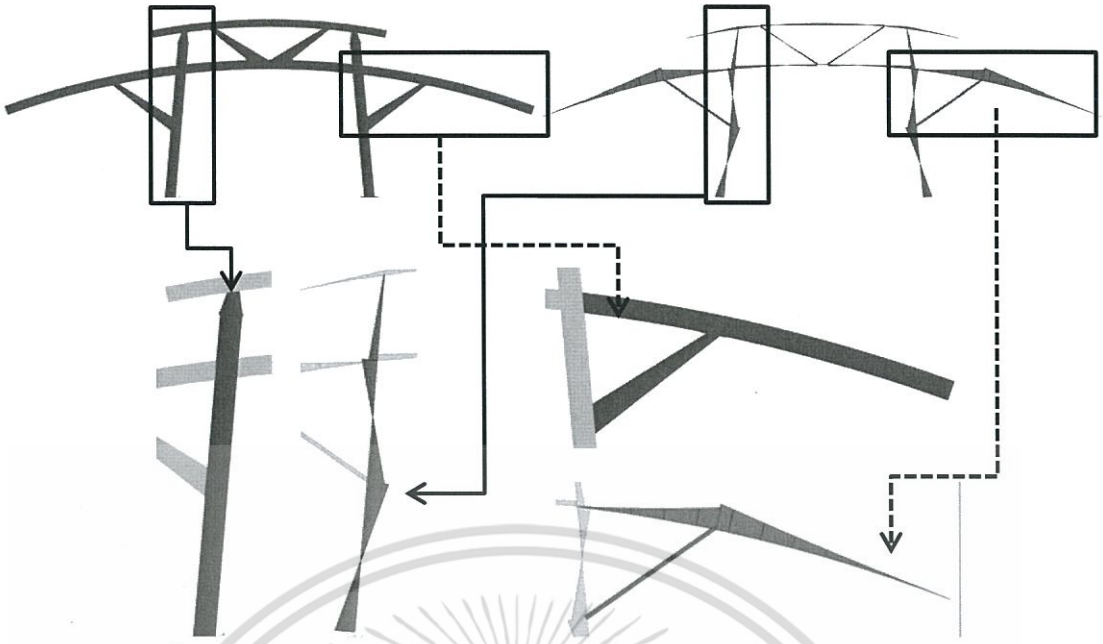


**ภาพที่ 5.8** แสดงแรงดัดบริเวณคานช่วงกลางโครงสร้างของ รูปแบบ B-02

ที่มา : ผู้วิจัย

บริเวณคานตรงกลางรับแรงดัดน้อย ทำหน้าที่ในการยึดโยงโครงสร้างทั้งสองฝั่ง แรงดัดเพิ่มขึ้นบริเวณที่เชื่อมกับคานหลังคาระดับบนและเสา ที่คานมีแรงดัดกระจายตลอดช่วง จะเพิ่มมากบริเวณเชื่อมกับหัวเสาส่วนบริเวณปลายลดลง กลางคานมีแรงดัดกลับทำให้แรงดัดโดยรวมใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 5.9** แสดงการเปรียบเทียบแรงดัดและรูปทรงโครงสร้างของ รูปแบบ B-02

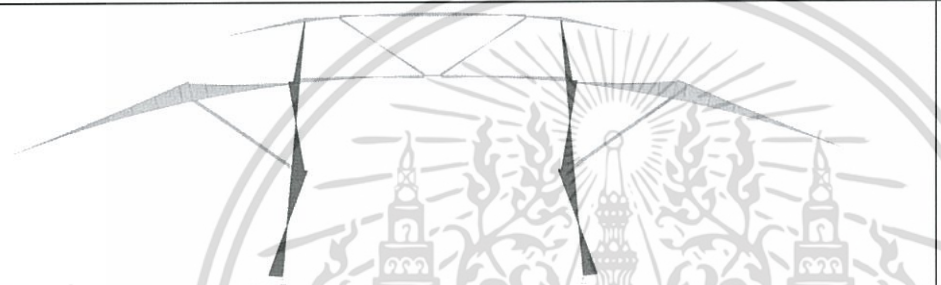
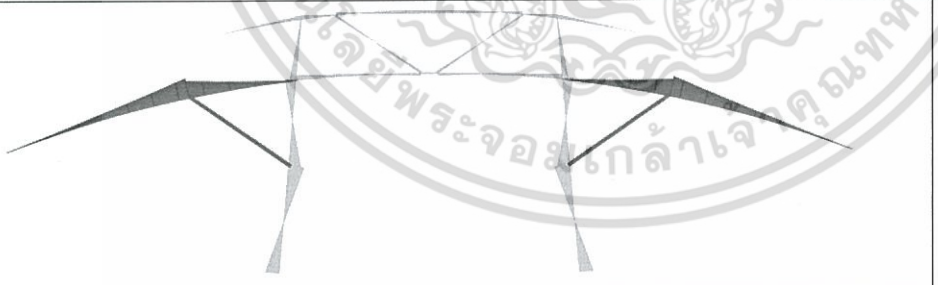
ที่มา : ผู้วิจัย

เสาเป็นองค์อาคารที่รองรับแรงดัดที่เกิดขึ้นมาก โดยเฉพาะบริเวณที่องค์อาคารอื่นมาเชื่อมต่อซึ่งมีหลายจุดตลอดทั้งแนวเสา รองรับแรงดัดมากบริเวณที่เป็นค้ำยันหลังคาระดับล่าง จุดเชื่อมต่อเป็นแบบยึดแน่นทั้งหมดการส่งผ่านแรงดัดได้อย่างเต็มที่ เสาจึงมีขนาดหน้าตัดที่ใหญ่เพื่อให้เพียงพอต่อการรองรับ และทิศทางการเอียงของเสาทำให้เกิดแรงดัดมากขึ้นตั้งแต่ฐานรองรับแต่ช่วยลดแรงดัดบริเวณที่เชื่อมต่อกับคานหลังคาระดับล่าง

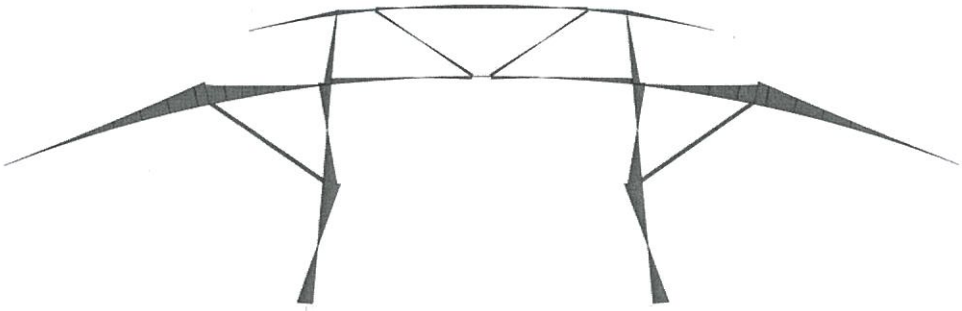
คานหลังคาระดับล่าง เป็นคานที่ยื่นออกมาจากเสาเกิดแรงดัดมากบริเวณที่เชื่อมต่อกับเสาและบริเวณที่ค้ำยันมาเชื่อมต่อ ค้ำยันจะเชื่อมต่อกับคานหลังคาระดับล่างบริเวณ 1 ใน 3 ของช่วงที่ยื่นออกไป คานหลังคาจะเกิดแรงดัดมากอย่างเห็นได้ชัด ส่วนของตัวค้ำยันมีแรงดัดที่น้อยและสม่ำเสมอกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

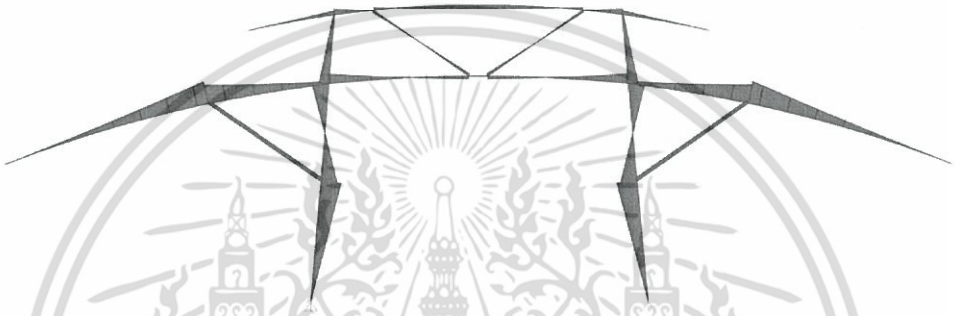
**ตารางที่ 5.3 แสดงแรงภายในโครงสร้างของรูปแบบ B-02**

| องค์อาคาร | โมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram) | ลักษณะ |
|---|---|---|
| 1. เสา |  | - เสาเกิดแรงดัดมากโดยเฉพาะบริเวณที่องค์อาคารอื่นมาเชื่อมต่อ บริเวณหัวเสาเกิดแรงดัดน้อยที่สุด และบริเวณฐานรองรับเกิดแรงดัดกลับ |
| 2. คานกลางและคานหลังคาระดับบน | | - คานช่วงกลางเกิดแรงดัดน้อย มีปริมาณเพิ่มขึ้นบริเวณที่เชื่อมต่อเสาและคานหลังคาระดับบน<br>- คานหลังคาระดับบน มีแรงดัดกระจายสม่ำเสมอเพิ่มขึ้นบริเวณเชื่อมต่อกับเสาและคานกลางเล็กน้อย |
| 3. คานหลังคาระดับล่างและค้ำยัน |  | - คานหลังคาระดับล่าง เกิดแรงดัดมากบริเวณช่วงที่เชื่อมต่อกับค้ำยันและลดน้อยลงที่ปลายทั้งสอง<br>- ค้ำยันเกิดแรงดัดสม่ำเสมอตลอดช่วง |

**5.1.4.2 เปรียบเทียบผลของฐานรองรับโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-02**



ก. ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed)



ข. ฐานรองรับแบบยึดหมุน (Hinge)

**ภาพที่ 5.10** แสดงการเปรียบเทียบฐานรองรับแบบยึดหมุนและแบบยึดแน่นของ รูปแบบ B-02

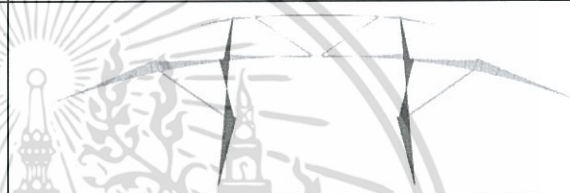
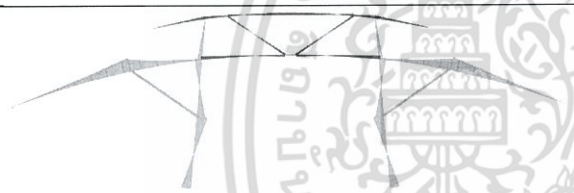
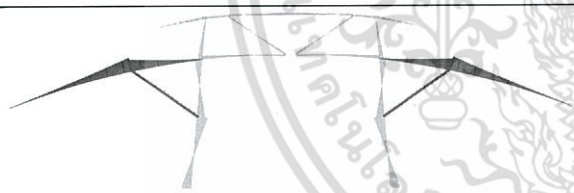
ที่มา : ผู้วิจัย

ผลการทดสอบการเปรียบเทียบแรงดัด แสดงให้เห็นว่าแรงดัดบริเวณฐานเสาแตกต่างกันอย่างชัดเจนและส่วนเสาที่มีการเชื่อมต่อกับองค์อาคารอื่นมีแรงดัดโดยรวมเพิ่มขึ้น โดยในฐานรองรับแบบยึดหมุนบริเวณฐานรองรับจะมีแรงดัดน้อยมากและเพิ่มขึ้นจนถึงบริเวณเชื่อมต่อกับค้ำยัน ส่วนเสาที่เชื่อมต่อกับคานหลังคาระดับล่างแรงดัดเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ส่วนฐานรองรับแบบยึดแน่นจะมีแรงดัดกลับตั้งแต่บริเวณฐานรองรับทำให้แรงดัดโดยรวมของบริเวณนี้น้อยกว่าฐานรองรับแบบยึดหมุน

จากผลการทดสอบฐานรองรับทั้ง 2 ประเภท สามารถเปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นโดยแจกแจงตามองค์อาคารแต่ละส่วน แสดงแนวโน้มของแรงที่แตกต่างกันในแต่ละประเภทของฐานรองรับดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบผลจากฐานรองรับของโครงสร้างรูปแบบ B-02**

| องค์อาคาร | โมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram) | | ลักษณะ |
|---|---|---|---|
| | ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed) | ฐานรองรับแบบยึดหมุน (Hinge) | |
| 1. เสา | |  | - บริเวณฐานยึดหมุนจะมีแรงดัดน้อยมาก แต่ส่วนอื่นจะมากกว่า |
| 2. คานกลางและคานหลังคาระดับบน |  | | - แบบยึดหมุนแรงดัดเพิ่มเล็กน้อย โดยรวมใกล้เคียงกันทั้ง 2 แบบ |
| 3. คานหลังคาระดับล่างและค้ำยัน |  | | - ใกล้เคียงกันทั้ง 2 แบบ |

จากตารางที่ 5.4 พบว่าผลจากประเภทของฐานรองรับส่งผลให้แรงดัดบริเวณเสาเปลี่ยนไป ฐานรองรับแบบยึดแน่นจะมีแรงดัดกลับที่บริเวณฐาน แรงดัดในส่วนที่ต่อเนื่องกันจะมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ส่วนฐานรองรับแบบยึดหมุนบริเวณฐานรองรับจะมีแรงดัดน้อยมาก ส่วนที่ต่อเนื่องกันจะมีปริมาณแรงดัดที่มากกว่าแบบยึดหมุนเนื่องจากแรงดัดไปในทิศทางเดียวกัน ไม่มีแรงดัดกลับที่ฐานจึงมีแรงดัดที่เพิ่มมากกว่าแบบยึดแน่น และคานกลางแรงดัดเพิ่มเล็กน้อย ในส่วนอื่นจะใกล้เคียงกันทั้ง 2 แบบ

### 5.1.5 โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-03

โครงสร้างหลังคารูปแบบ B-03 มีลักษณะเสาและคาน ช่วงพาด 2.50 เมตร และยื่นหลังคาออกไป 4.40 เมตร รวมความกว้าง 6.90 เมตร

แบบจำลองโครงสร้างหลักตามรูปแบบ B-03 มีทั้งหมด 1 รูปแบบโครงสร้างหลัก โดยจำลองน้ำหนักบรรทุก (Live Load) และน้ำหนักบรรทุกตายตัว (Dead Load) ของโครงสร้างให้ใกล้เคียงที่สุด

**ภาพที่ 5.11** แสดงแบบจำลองโครงสร้างของ รูปแบบ B-03

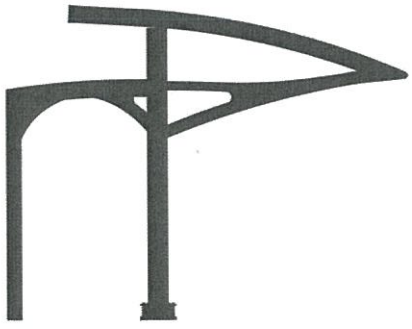
ที่มา : ผู้วิจัย

### 5.1.6 ผลการทดสอบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-03

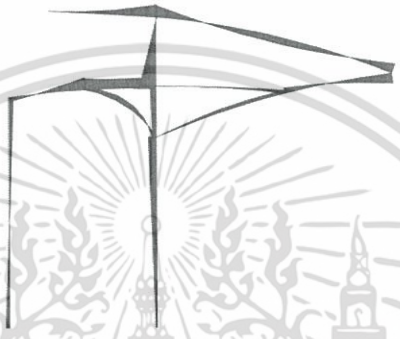
การทดสอบแบบจำลองด้วยโปรแกรม SAP2000 ของโครงสร้างรูปแบบ B-03 ได้ผลการทดสอบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**5.1.6.1 โครงสร้างหลังคารูปแบบ B-03**



ก. แสดงรูปทรงโครงสร้าง

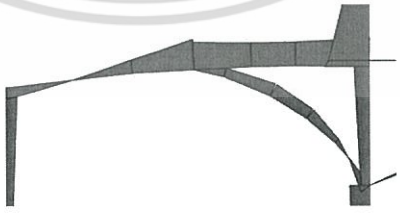


ข. แสดงโมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram)

**ภาพที่ 5.12** แสดงผลการทดสอบโครงสร้างของ รูปแบบ B-03

ที่มา : ผู้วิจัย

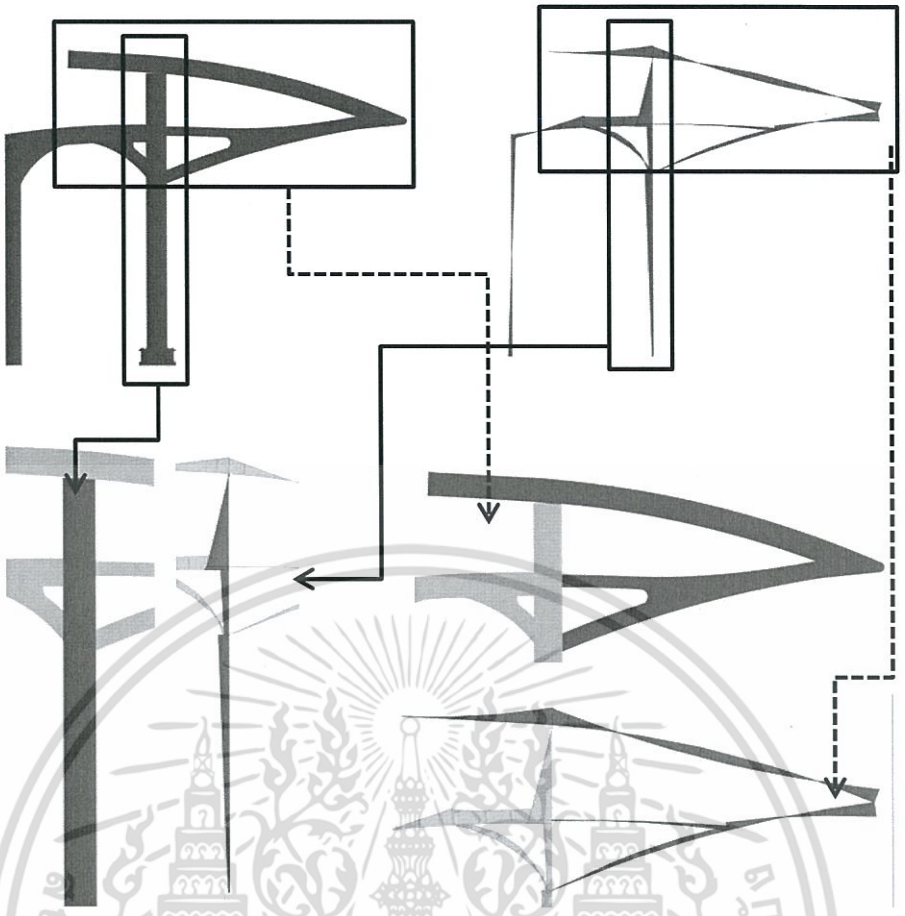
แบบจำลองโครงสร้างรูปแบบ B-03 ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed) จะเกิดแรงดัดมากขึ้นในบริเวณที่เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างองค์อาคาร รูปทรงโครงสร้างโดยรวมเป็นโครงกรอบทำให้มีความแข็งแรงภายในรูปปิดแรงดัดภายในจะน้อย บริเวณที่มีการยื่นออกไปจากโครงกรอบจะมีแรงดัดเพิ่มขึ้น โดยองค์อาคารที่รองรับแรงดัดมากคือเสาและคานหลังคาที่ยื่นออกไปด้านข้าง



**ภาพที่ 5.13** แสดงแรงดัดบริเวณคานโครงสร้างของ รูปแบบ B-03

บริเวณคานฝั่งที่เป็นคานเหล็กปีกกว้างจะเกิดแรงดัดน้อยมาเนื่องจากมีหน้าตัดที่ลึก จะมีแรงดัดมากขึ้นตั้งแต่บริเวณช่วงกลางและส่วนที่เชื่อมต่อกับเสาเหล็กกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 5.14** แสดงการเปรียบเทียบแรงดัดและรูปทรงโครงสร้างของ รูปแบบ B-03

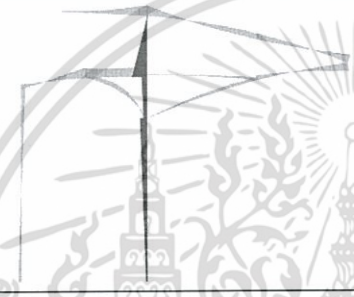
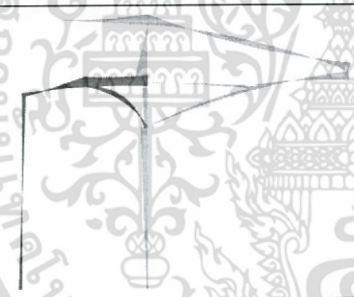
ที่มา : ผู้วิจัย

เสาเหล็กกลมรองรับแรงดัดมากบริเวณเชื่อมต่อกับคานช่วงพาดและค้ำยัน บริเวณที่เชื่อมต่อกับค้ำยันมีค้ำยันที่อยู่ด้านช่วงพาดช่วยให้แรงดัดบริเวณนี้ลดลง แรงดัดบริเวณฐานรองรับจะน้อยมากและไม่มีแรงดัดกลับ ส่วนเสาเหล็กปีกกว้างอีกด้านจะมีแรงดัดไม่มากและมีแรงดัดกลับบริเวณฐานรองรับ บริเวณปลายเสาแรงดัดน้อยลง

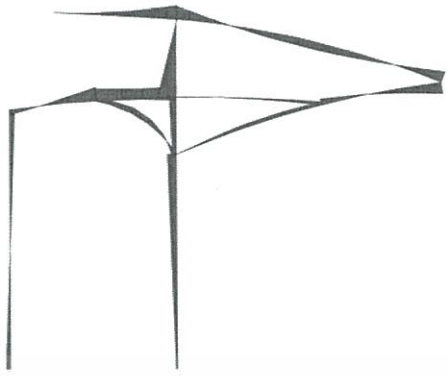
คานหลังคาระดับบนมีแรงดัดมากบริเวณเชื่อมต่อปลายเสาและลดลงบริเวณปลาย ช่วงกลางของคานมีแรงดัดกลับกระจายสม่ำเสมอกัน ส่วนของค้ำยันจะมีแรงดัดน้อยบริเวณที่เชื่อมต่อกับเสาและเพิ่มขึ้นบริเวณที่เชื่อมต่อกับปลายคานหลังคา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.5 แสดงแรงภายในโครงสร้างของรูปแบบ B-03**

| องค์อาคาร | โมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram) | ลักษณะ |
|---|---|---|
| 1. เสา |  | - เสาเกิดแรงดัดบริเวณที่องค์อาคารอื่นมาเชื่อมต่อ บริเวณหัวเสาเกิดแรงดัดน้อยที่สุด บริเวณฐานรองรับไม่มีแรงดัดกลับ |
| 2. เสาและคานกลาง |  | - คานช่วงกลางเกิดแรงดัดมากบริเวณกลางช่วงพาดและบริเวณเชื่อมต่อกับเสาเหล็กกลม<br>- บริเวณไหล่เกิดแรงดัดน้อย<br>- เสาเกิดแรงดัดกลับบริเวณฐาน แรงดัดสม่ำเสมอตลอดช่วง |
| 3. คานหลังคาระดับบนและค้ำยัน | | - คานหลังคาระดับบน เกิดแรงดัดมากบริเวณช่วงที่เชื่อมต่อกับเสาและกระจายสม่ำเสมอ ลดลงบริเวณปลายคานด้านบน<br>- ค้ำยันเกิดแรงดัดสม่ำเสมอตลอดช่วง มากขึ้นบริเวณปลายที่เชื่อมกับคานหลังคา |

**5.1.6.2 เปรียบเทียบผลของฐานรองรับโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-03**



ก. ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed)

ข. ฐานรองรับแบบยึดหมุน (Hinge)

**ภาพที่ 5.15** แสดงการเปรียบเทียบฐานรองรับแบบยึดหมุนและแบบยึดแน่นของ รูปแบบ B-03

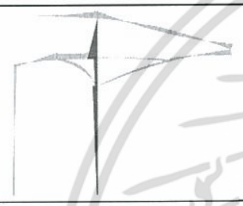
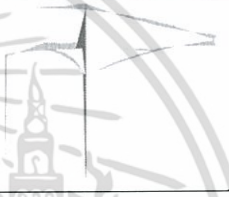
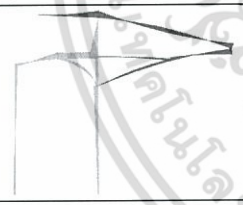
ที่มา : ผู้วิจัย

ผลการทดสอบการเปรียบเทียบแรงดัด แสดงให้เห็นว่าแรงดัดบริเวณฐานเสาแตกต่างกัน ส่วนเสาที่มีการเชื่อมต่อกับองค์อาคารอื่นมีแรงดัดโดยรวมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยในฐานรองรับแบบยึดหมุนบริเวณฐานรองรับจะมีแรงดัดน้อยมากและเพิ่มขึ้นจนถึงบริเวณเชื่อมต่อกับค้ำยันและคาน แต่น้อยกว่าเสาของฐานแบบยึดแน่น บริเวณช่วงพาดส่วนคานมีแรงดัดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย บริเวณอื่นใกล้เคียงกันทั้งหมด

จากผลการทดสอบฐานรองรับทั้ง 2 ประเภท สามารถเปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นโดยแจกแจงตามองค์อาคารแต่ละส่วน แสดงแนวโน้มของแรงที่แตกต่างกันในแต่ละประเภทของฐานรองรับดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบผลจากฐานรองรับของโครงสร้างรูปแบบ B-03**

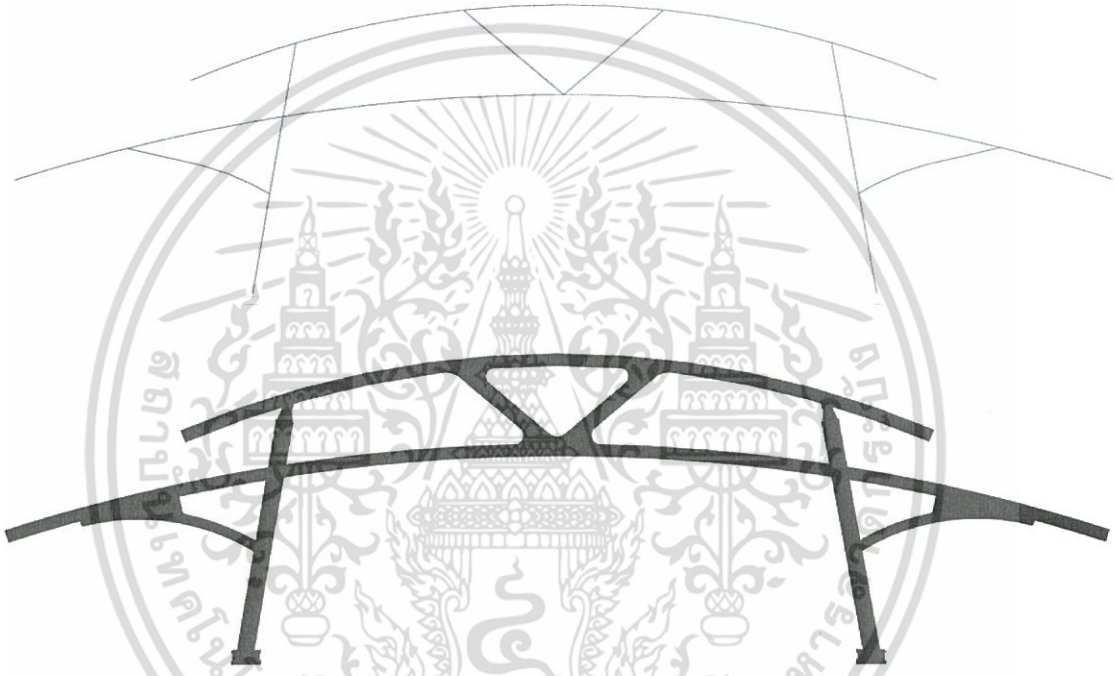
| องค์อาคาร | โมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram) | | ลักษณะ |
|---|---|---|---|
| | ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed) | ฐานรองรับแบบยึดหมุน (Hinge) | |
| 1. เสา |  |  | - บริเวณฐานยึดหมุนจะมีแรงดัดน้อยกว่า |
| 2. เสาและคานกลาง | | | - แบบยึดหมุนเสาจะมีแรงดัดบริเวณฐานน้อยแต่คานกลางมากกว่า |
| 3. คานหลังคาระดับบนและค้ำยัน |  | | - ใกล้เคียงกันทั้ง 2 แบบ |

จากตารางที่ 5.6 พบว่าผลจากประเภทของฐานรองรับส่งผลให้แรงดัดบริเวณเสาเปลี่ยนไป ฐานรองรับแบบยึดแน่นจะมีแรงดัดกลับที่บริเวณฐาน แรงดัดในส่วนที่ต่อเนื่องกันจะมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ส่วนฐานรองรับแบบยึดหมุนบริเวณฐานรองรับจะมีแรงดัดน้อยมาก ส่วนที่คานกลางในแบบยึดหมุนจะมีแรงดัดมากกว่าในส่วนอื่นจะใกล้เคียงกันทั้ง 2 แบบ

### 5.1.7 โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-04

โครงสร้างหลังคารูปแบบ B-04 มีลักษณะเสาและคาน ช่วงพาด 14.00 เมตร และยื่นหลังคาออกไป 4.70 เมตร รวมความกว้าง 23.40 เมตร

แบบจำลองโครงสร้างหลักตามรูปแบบ B-04 มีทั้งหมด 1 รูปแบบโครงสร้างหลัก โดยจำลองน้ำหนักบรรทุก (Live Load) และน้ำหนักบรรทุกตายตัว (Dead Load) ของโครงสร้างให้ใกล้เคียงที่สุด



**ภาพที่ 5.16** แสดงแบบจำลองโครงสร้างของ รูปแบบ B-04

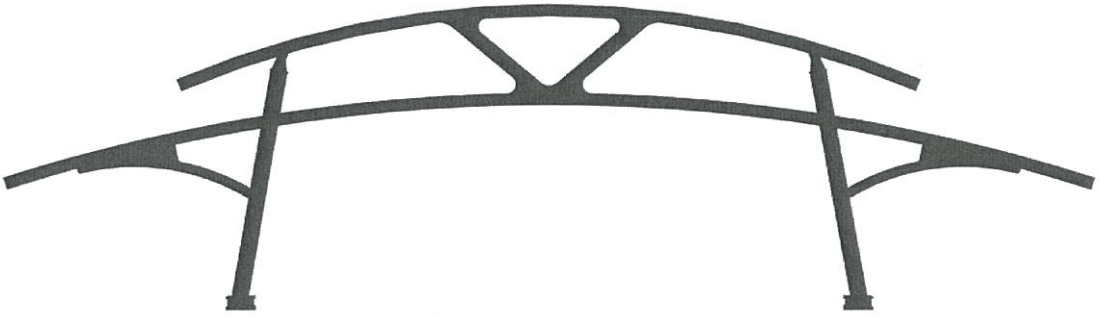
ที่มา : ผู้วิจัย

### 5.1.7 ผลการทดสอบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS รูปแบบ B-04

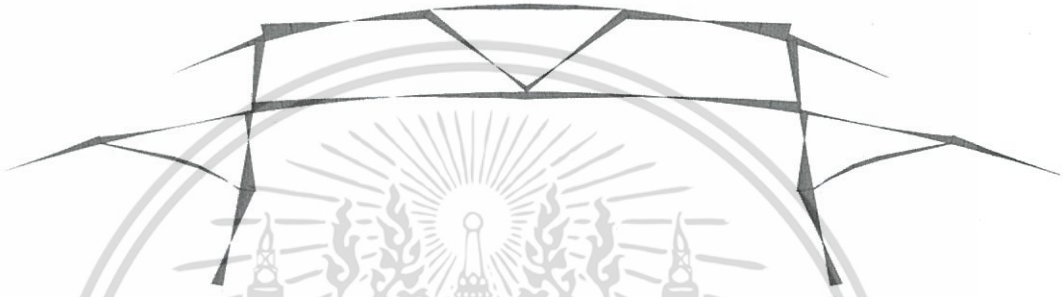
การทดสอบแบบจำลองด้วยโปรแกรม SAP2000 ของโครงสร้างรูปแบบ B-04 ได้ผลการทดสอบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**5.1.7.1 โครงสร้างหลังคารูปแบบ B-04**



ก. แสดงรูปทรงโครงสร้าง

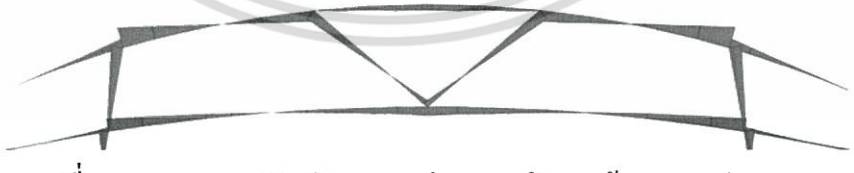


ข. แสดงโมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram)

**ภาพที่ 5.17** แสดงผลการทดสอบโครงสร้างของ รูปแบบ B-04

ที่มา : ผู้วิจัย

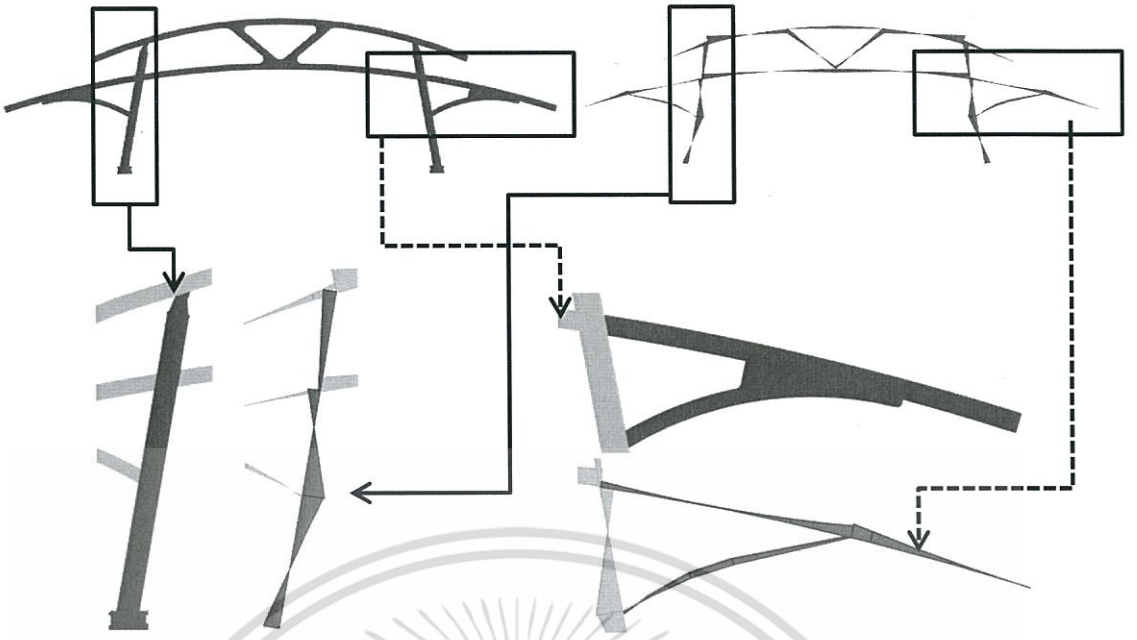
แบบจำลองโครงสร้างรูปแบบ B-04 ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed) จะเกิดแรงดัดมากขึ้นในบริเวณที่เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างองค์อาคาร รูปทรงโครงสร้างโดยรวมเป็นโครงกรอบทำให้มีความแข็งแรงภายในรูปปิดแรงดัดภายในจะน้อย บริเวณที่มีการยื่นออกไปจากโครงกรอบจะมีแรงดัดเพิ่มขึ้น โดยองค์อาคารที่รองรับแรงดัดมากคือเสา รองลงมาคือคานหลังคาระดับล่างที่ยื่นออกไปด้านข้าง



**ภาพที่ 5.18** แสดงแรงดัดบริเวณคานช่วงกลางโครงสร้างของ รูปแบบ B-04

บริเวณคานตรงกลาง ทำหน้าที่ในการยึดโยงโครงสร้างทั้งสองฝั่ง แรงดัดเพิ่มขึ้นบริเวณที่เชื่อมกับเสาและรับคานหลังคาระดับบน ที่คานหลังคาระดับบนมีแรงดัดกระจายตลอดช่วง จะเพิ่มมากบริเวณเชื่อมกับหัวเสาและบริเวณตัว V บริเวณคานกลาง ส่วนบริเวณปลายลดลง กลางคานมีแรงดัดน้อยเนื่องจาก V ตรงกลางช่วยรับแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 5.19** แสดงการเปรียบเทียบแรงดัดและรูปทรงโครงสร้างของ รูปแบบ B-04

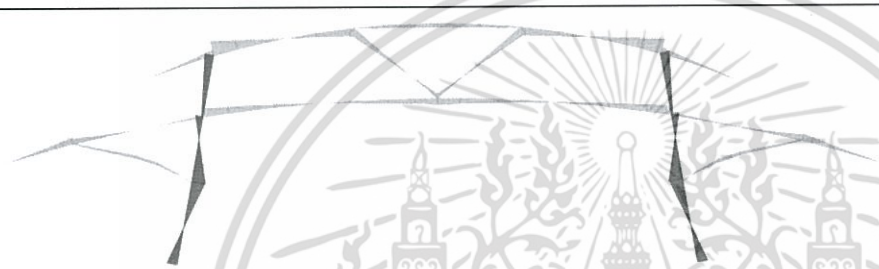
ที่มา : ผู้วิจัย

เสาและคานกลางรองรับแรงดัดใกล้เคียงกัน กระจายทั่วทั้งองค์อาคาร จะเพิ่มขึ้นบริเวณที่องค์อาคารอื่นมาเชื่อมต่อตลอดช่วงองค์อาคาร รองรับแรงดัดมากบริเวณที่เป็นค้ำยันหลังคาระดับล่าง จุดเชื่อมต่อเป็นแบบยึดแน่นทั้งหมดการส่งผ่านแรงดัดได้อย่างเต็มที่ เสาจึงมีขนาดหน้าตัดที่ใหญ่เพื่อให้เพียงพอต่อการรองรับ และทิศทางการเอียงของเสาทำให้เกิดแรงดัดมากขึ้นตั้งแต่ฐานรองรับ แต่ช่วยลดแรงดัดบริเวณที่เชื่อมต่อกับคานหลังคาระดับล่าง

คานหลังคาระดับล่าง เป็นคานที่ยื่นออกมาจากเสาเกิดแรงดัดมากบริเวณที่เชื่อมต่อกับเสาและบริเวณที่ค้ำยันมาเชื่อมต่อ บริเวณกลางและปลายของคานจะมีแรงดัดน้อยมาก ตัวค้ำยันบริเวณช่วงกลางจะมีแรงดัดมากและลดลงบริเวณหัวและท้าย แรงดัดจะเกิดที่เสามากกว่าทำให้องค์อาคารที่เป็นคานหลังคาและค้ำยันมีขนาดที่เล็กลงเนื่องจากไม่ต้องรับภาระมาก

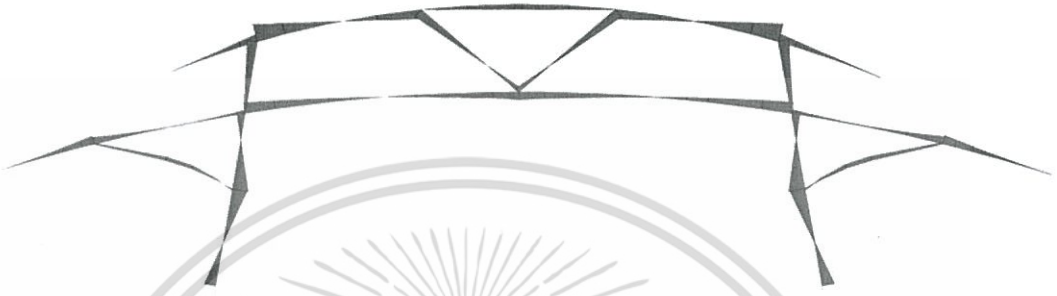
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.7 แสดงแรงภายในโครงสร้างของรูปแบบ B-04**

| องค์อาคาร | โมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram) | ลักษณะ |
|---|---|---|
| 1. เสา |  | - เสาเกิดแรงดัดมากที่สุด โดยเฉพาะบริเวณที่องค์อาคารอื่นมาเชื่อมต่อ และบริเวณฐานรองรับเกิดแรงดัดกลับ |
| 2. คานกลางและคานหลังคาระดับบน | | - คานช่วงกลางเกิดแรงดัดกระจายตลอดช่วง มีปริมาณเพิ่มขึ้นบริเวณที่เชื่อมต่อกับเสาและคานหลังคาระดับบน<br>- คานหลังคาระดับบน มีแรงดัดกระจายสม่ำเสมอ เพิ่มขึ้นบริเวณเชื่อมต่อกับหัวเสาและคานกลาง บริเวณ V มีแรงดัดน้อยลง |
| 3. คานหลังคาระดับล่างและค้ำยัน | | - คานหลังคาระดับล่าง เกิดแรงดัดมากบริเวณเชื่อมต่อกับเสา และช่วงที่เชื่อมต่อกับค้ำยัน<br>- ค้ำยันเกิดแรงดัดมากช่วงกลางของค้ำยัน ลดน้อยลงบริเวณที่เชื่อมต่อกับคานหลังคาระดับล่าง |

จากตารางที่ 5.4 จะเห็นได้ว่าแรงดัดจะมากขึ้นในบริเวณที่องค์อาคารเชื่อมต่อกัน บริเวณคานกลางและคานหลังคาระดับบนรวมทั้งเสาจะมีแรงดัดใกล้เคียงกัน บริเวณคานหลังคาระดับล่างที่ยื่นออกด้านข้างจะมีแรงดัดมากกว่าบริเวณกลางช่วงพาด บริเวณฐานรองรับมีแรงดัดกลับ

**5.1.7.2 เปรียบเทียบผลของฐานรองรับโครงสร้างหลังคารูปแบบ B-04**



ก. ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed)

ข. ฐานรองรับแบบยึดหมุน (Hinge)

**ภาพที่ 5.20** แสดงการเปรียบเทียบฐานรองรับแบบยึดหมุนและแบบยึดแน่นของ รูปแบบ B-04

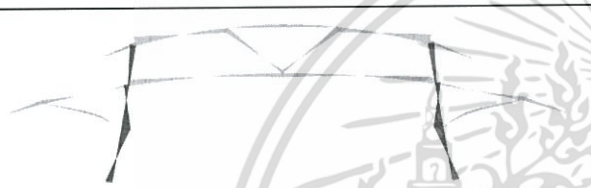
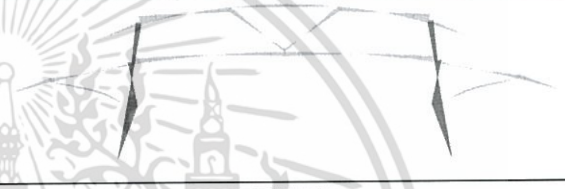
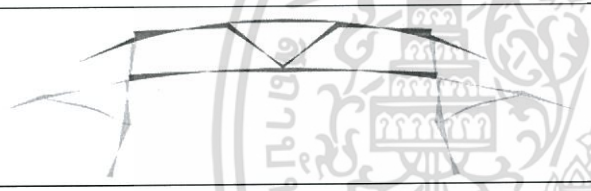
ที่มา : ผู้วิจัย

ผลการทดสอบการเปรียบเทียบแรงดัด แสดงให้เห็นว่าแรงดัดบริเวณฐานเสาแตกต่างกันแต่โดยรวมในส่วนอื่นยังคงเหมือนกัน โดยในฐานรองรับแบบยึดหมุนบริเวณฐานรองรับจะมีแรงดัดน้อยมากและเพิ่มขึ้นจนถึงบริเวณเชื่อมต่อกับค้ำยัน ซึ่งจะมีแรงดัดในบริเวณค้ำยันที่มากกว่าฐานรองรับแบบยึดแน่น ส่วนฐานรองรับแบบยึดแน่นจะมีแรงดัดกลับตั้งแต่บริเวณฐานรองรับทำให้แรงดัดโดยรวมของบริเวณนี้น้อยกว่าฐานรองรับแบบยึดหมุน

จากผลการทดสอบฐานรองรับทั้ง 2 ประเภท สามารถเปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นโดยแจกแจงตามองค์อาคารแต่ละส่วน แสดงแนวโน้มของแรงที่แตกต่างกันในแต่ละประเภทของฐานรองรับดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบผลจากฐานรองรับของโครงสร้างรูปแบบ B-04**

| องค์อาคาร | โมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram) | | ลักษณะ |
|---|---|---|---|
| | ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed) | ฐานรองรับแบบยึดหมุน (Hinge) | |
| 1. เสา |  |  | - บริเวณฐานยึดหมุนจะมีแรงดัดน้อยมาก แต่ส่วนอื่นจะมากกว่า |
| 2. คานกลางและคานหลังคาระดับบน |  | | - ใกล้เคียงกันทั้ง 2 แบบ |
| 3. คานหลังคาระดับล่างและค้ำยัน | | | - ใกล้เคียงกันทั้ง 2 แบบ |

จากตารางที่ 5.8 พบว่าผลจากประเภทของฐานรองรับส่งผลให้แรงดัดบริเวณเสาเปลี่ยนไป ฐานรองรับแบบยึดแน่นจะมีแรงดัดกลับที่บริเวณฐาน แรงดัดในส่วนที่ต่อเนื่องกันจะมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ส่วนฐานรองรับแบบยึดหมุนบริเวณฐานรองรับจะมีแรงดัดน้อยมาก ส่วนที่ต่อเนื่องกันจะมีปริมาณแรงดัดที่มากกว่าแบบยึดหมุนเนื่องจากแรงดัดไปในทิศทางเดียวกัน ไม่มีแรงดัดกลับที่ฐานจึงมีแรงดัดที่เพิ่มมากกว่าแบบยึดแน่น ในส่วนอื่นจะใกล้เคียงกันทั้ง 2 แบบ

## 5.2 รูปแบบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

### 5.2.1 โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบ S-01

โครงสร้างหลังคารูปแบบ S-01 มีลักษณะโครงข้อแข็ง ช่วงพาด 13.86 เมตร รูปทรงเป็นโครงกรอบปิด

แบบจำลองโครงสร้างหลักตามรูปแบบ S-01 มีทั้งหมด 1 รูปแบบโครงสร้างหลัก โดยจำลองน้ำหนักบรรทุก (Live Load) และน้ำหนักบรรทุกตายตัว (Dead Load) ของโครงสร้างให้ใกล้เคียงที่สุด

**ภาพที่ 5.21** แสดงแบบจำลองโครงสร้างของ รูปแบบ S-01

ที่มา : ผู้วิจัย

### 5.2.2 ผลการทดสอบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบ S-01

การทดสอบแบบจำลองด้วยโปรแกรม SAP2000 ของโครงสร้างรูปแบบ S-01 ได้ผลการทดสอบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**5.2.2.1 โครงสร้างหลังคารูปแบบ S-01**

ก. แสดงรูปทรงโครงสร้าง

ข. แสดงโมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram)

**ภาพที่ 5.22** แสดงผลการทดสอบโครงสร้างของ รูปแบบ S-01

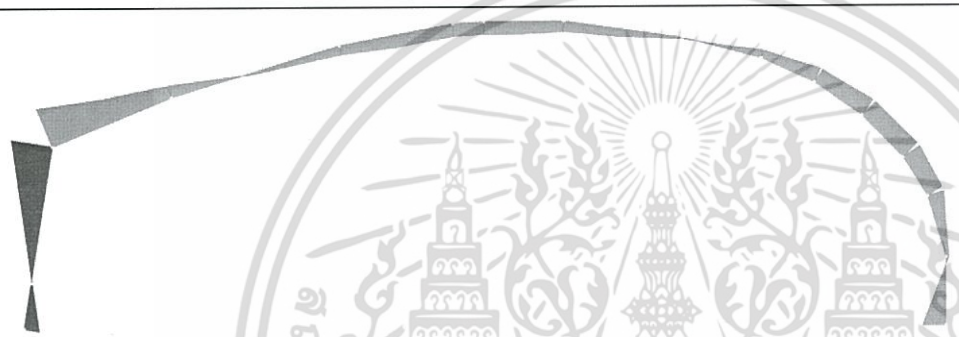
ที่มา : ผู้วิจัย

แบบจำลองโครงสร้างรูปแบบ S-01 ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed) จะเกิดแรงดัดมากบริเวณที่เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างองค์อาคาร โดยเฉพาะบริเวณหัวเสาและคาน ช่วงกลางของช่วงพาดมีแรงดัดลดลงและเพิ่มขึ้นบริเวณไหล่ของโครงสร้าง

รูปทรงของโครงสร้างเป็นโครงกรอบปิด และเป็นเส้นโค้งตลอดช่วงเชื่อมต่อกับเสาเอียง แรงดัดที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างจะมีมากบริเวณที่เป็นไหล่ของโครงสร้างและลดลงบริเวณกลางช่วงพาด โดยเฉพาะบริเวณไหล่ด้านที่องค์อาคารเชื่อมต่อกันแรงดัดจะเพิ่มขึ้นมากกว่าด้านที่เป็นเส้นโค้งต่อเนื่องตลอดช่วงอย่างเห็นได้ชัด ฐานรองรับทั้งสองด้านมีแรงดัดกลับทำให้มีขนาดที่เล็กลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.9 แสดงแรงภายในโครงสร้างของรูปแบบ S-01**

| องค์อาคาร | โมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram) | ลักษณะ |
|---|---|---|
| 1. เสา |  | - เสาเกิดแรงดัดมากบริเวณไหล่ของโครงสร้าง บริเวณฐานรองรับมีแรงดัดกลับ |
| 2. คานโครงข้อแข็ง | | - บริเวณไหล่โครงสร้างที่เชื่อมต่อกับเสามีแรงดัดมาก ไหล่โครงสร้างด้านที่เป็นคานมีแรงดัดมากเช่นกัน กลางช่วงพาดแรงดัดลดลง<br>- บริเวณฐานรองรับมีแรงดัดกลับ |

จากตารางที่ 5.9 จะเห็นได้ว่าแรงดัดจะมากที่สุดบริเวณที่เป็นจุดเชื่อมต่อของเสาและโครงข้อแข็ง ซึ่งเป็นบริเวณที่เป็นไหล่ของโครงสร้าง ส่วนด้านโครงข้อแข็งบริเวณที่เป็นไหล่ของโครงสร้างก็มีแรงดัดมากขึ้นเช่นกันเนื่องจากเป็นองค์อาคารที่เป็นเส้นโค้งต่อเนื่องกันจึงน้อยกว่าด้านที่เชื่อมกับเสา บริเวณกลางช่วงพาดนั้นมีแรงดัดลดลงและเป็นแรงดัดกลับ บริเวณฐานรองรับทั้งสองด้านเกิดแรงดัดกลับบริเวณฐาน

**5.2.2.2 เปรียบเทียบผลของฐานรองรับโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-01**

ก. ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed)

ข. ฐานรองรับแบบยึดหมุน (Hinge)

**ภาพที่ 5.23** แสดงการเปรียบเทียบฐานรองรับแบบยึดหมุนและแบบยึดแน่นของ รูปแบบ S-01

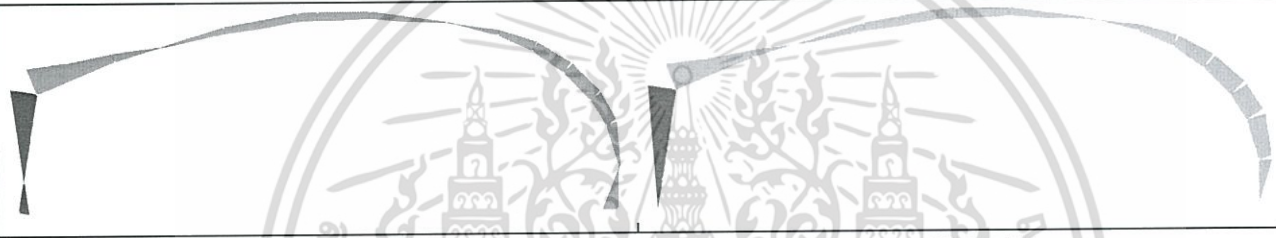
ที่มา : ผู้วิจัย

ผลการทดสอบการเปรียบเทียบแรงดัด แสดงให้เห็นว่าแรงดัดบริเวณฐานรองรับแตกต่างกัน ฐานรองรับแบบยึดแน่นจะมีแรงดัดกลับบริเวณฐาน ส่วนในฐานรองรับแบบยึดหมุนด้านที่เป็นเสาแรงดัดจะน้อยมากบริเวณฐานและเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่เชื่อมต่อ องค์อาคารที่เป็นแนวโค้งต่อเนื่องแรงดัดบริเวณฐานจะน้อยมากและแรงดัดจะเพิ่มขึ้นบริเวณไหล่ของโครงสร้างซึ่งแรงดัดจะมีมากกว่าฐานรองรับแบบยึดแน่น และบริเวณกลางช่วงพาดแรงดัดลดน้อยกว่าบริเวณไหล่เช่นเดียวกันทั้งสองแบบแต่ฐานรองรับแบบยึดหมุนจะมากกว่าเล็กน้อย

จากผลการทดสอบฐานรองรับทั้ง 2 ประเภท สามารถเปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นโดยแจกแจงตามองค์อาคารแต่ละส่วน แสดงแนวโน้มของแรงที่แตกต่างกันในแต่ละประเภทของฐานรองรับดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.10 แสดงการเปรียบเทียบผลจากฐานรองรับของโครงสร้างรูปแบบ S-01**

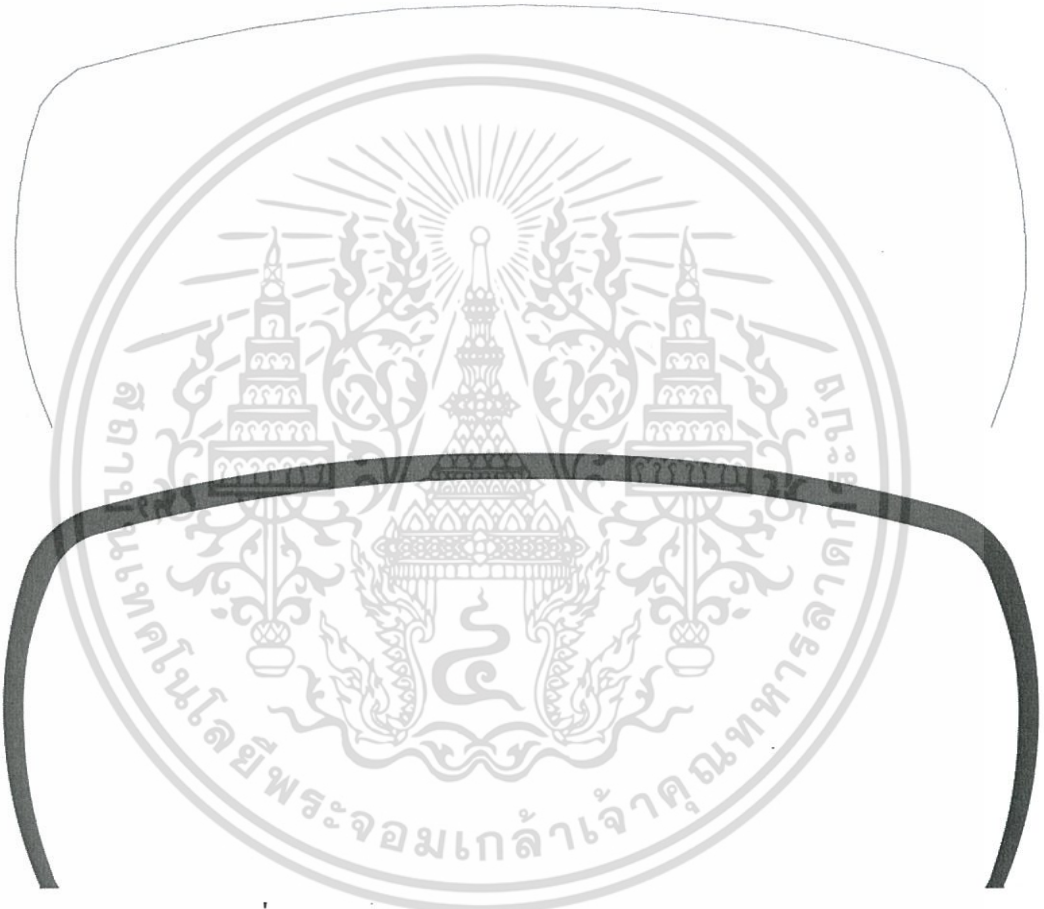
| องค์อาคาร | โมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram) | | ลักษณะ |
|---|---|---|---|
| | ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed) | ฐานรองรับแบบยึดหมุน (Hinge) | |
| 1. เสา |  | | - บริเวณฐานยึดหมุนจะมีแรงดัดน้อยกว่า และปลายเสามีแรงดัดมากกว่า |
| 2. คานโครงข้อแข็ง | | | - แบบยึดหมุนบริเวณฐานไม่มีแรงดัดกลับ และปริมาณแรงโดยรวมเพิ่มขึ้น |

จากตารางที่ 5.10 พบว่าผลจากประเภทของฐานรองรับส่งผลให้แรงดัดบริเวณเสาเปลี่ยนไป ฐานรองรับแบบยึดแน่นจะมีแรงดัดกลับที่บริเวณฐาน ส่วนฐานรองรับแบบยึดหมุนบริเวณฐานรองรับจะมีแรงดัดน้อยมาก ส่วนที่เป็นคานโครงข้อแข็งแบบยึดหมุนจะแรงดัดน้อยบริเวณฐาน แต่แรงโดยรวมจะเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะบริเวณที่เป็นไหล่ของโครงสร้าง

### 5.2.3 โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบ S-02

โครงสร้างหลังคารูปแบบ S-02 มีลักษณะโครงข้อแข็ง ช่วงพาด 36.00 เมตร รูปทรงเป็นโครงกรอบปิด

แบบจำลองโครงสร้างหลักตามรูปแบบ S-02 มีทั้งหมด 1 รูปแบบโครงสร้างหลัก โดยจำลองน้ำหนักบรรทุก (Live Load) และน้ำหนักบรรทุกตายตัว (Dead Load) ของโครงสร้างให้ใกล้เคียงที่สุด



**ภาพที่ 5.24** แสดงแบบจำลองโครงสร้างของ รูปแบบ S-02

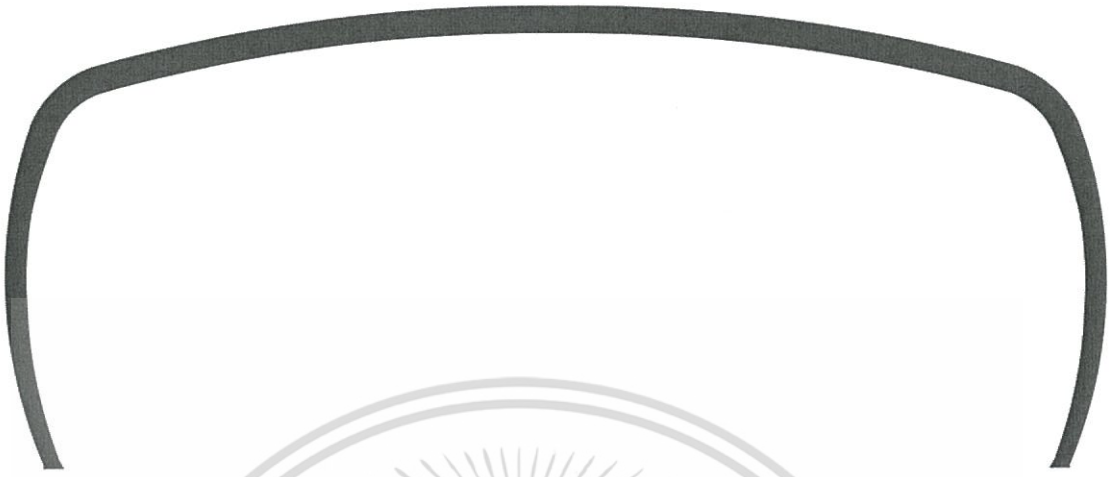
ที่มา : ผู้วิจัย

### 5.2.4 ผลการทดสอบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบ S-02

การทดสอบแบบจำลองด้วยโปรแกรม SAP2000 ของโครงสร้างรูปแบบ S-02 ได้ผลการทดสอบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**5.2.4.1 โครงสร้างหลังคารูปแบบ S-02**



ก. แสดงรูปทรงโครงสร้าง

ข. แสดงโมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram)

**ภาพที่ 5.25** แสดงผลการทดสอบโครงสร้างของ รูปแบบ S-02

ที่มา : ผู้วิจัย

แบบจำลองโครงสร้างรูปแบบ S-02 ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed) จะเกิดแรงดัดมากบริเวณช่วงกลางขององค์อาคารแนวดิ่งและบริเวณไหล่ และลดลงถึงจุดดัดกลับทั้งสองด้านจากนั้นเพิ่มขึ้นจนถึงกึ่งกลางช่วงพาด

รูปทรงของโครงสร้างเป็นโครงกรอบปิด และเป็นเส้นโค้งตลอดช่วง แรงดัดที่เกิดขึ้นบริเวณช่วงกลางองค์อาคารแนวดิ่งจะมากเนื่องจากแนวเส้นโค้งของโครงสร้าง บริเวณไหล่ของโครงสร้างแรงดัดจึงไม่ได้เยอะที่สุด

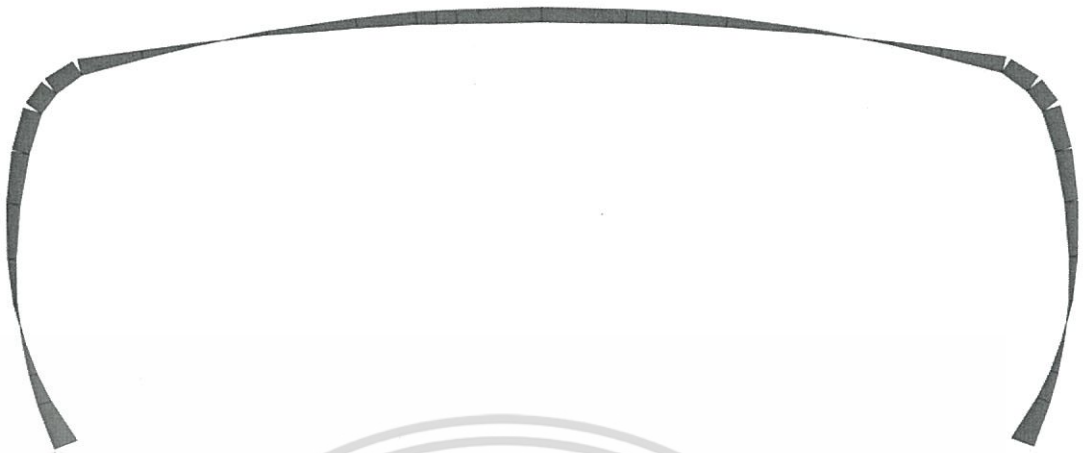
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.11 แสดงแรงภายในโครงสร้างของรูปแบบ S-02**

| องค์อาคาร | โมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram) | ลักษณะ |
|---|---|---|
| 1. โครงข้อแข็ง | | - บริเวณองค์อาคารแนวดิ่งและบริเวณไหล่ของโครงสร้างมีแรงดัดมาก<br>- จุดดัดกลับของแรงดัดอยู่ใกล้กับไหล่ของโครงสร้าง และค่อยๆเพิ่มจนถึงกลางช่วงพาด<br>- ฐานรองรับเป็นแบบยึดหมุนมีแรงดัดน้อย |

จากตารางที่ 5.11 จะเห็นได้ว่าแรงดัดจะมากที่สุดบริเวณตั้งแต่ช่วงขององค์อาคารแนวดิ่งจนถึงบริเวณไหล่ของโครงสร้าง เนื่องจากเป็นเส้นโค้งแรงดัดจึงเพิ่มตั้งแต่องค์อาคารแนวดิ่งบริเวณไหล่ของโครงสร้างจึงมีปริมาณใกล้เคียงกัน บริเวณจุดดัดกลับของแรงอยู่ถัดจากไหล่ของโครงสร้าง และเพิ่มขึ้นถึงบริเวณกึ่งกลางของช่วงพาด บริเวณฐานรองรับทั้งสองด้านเป็นแบบยึดหมุนแรงดัดที่ฐานรองรับจึงน้อย

**5.2.4.2 เปรียบเทียบผลของฐานรองรับโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-02**



ก. ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed)

ข. ฐานรองรับแบบยึดหมุน (Hinge)

**ภาพที่ 5.26** แสดงการเปรียบเทียบฐานรองรับแบบยึดหมุนและแบบยึดแน่นของ รูปแบบ S-02

ที่มา : ผู้วิจัย

ผลการทดสอบการเปรียบเทียบแรงดัด แสดงให้เห็นว่าแรงดัดบริเวณฐานรองรับแตกต่างกัน ในฐานรองรับแบบยึดหมุนแรงดัดบริเวณฐานจะน้อยมาก แรงดัดบริเวณช่วงองค์อาคารแนวดิ่งจะมากบริเวณช่วงกลางไปจนถึงบริเวณไหล่ ส่วนในฐานรองรับแบบยึดแน่นจะมีแรงดัดกลับบริเวณฐานและแรงดัดจะเพิ่มขึ้นบริเวณไหล่ของโครงสร้าง แรงดัดโดยรวมบริเวณองค์อาคารแนวดิ่งฐานรองรับแบบยึดหมุนจะมีมากกว่าฐานรองรับแบบยึดแน่น และบริเวณกลางช่วงพาดแรงดัดของฐานแบบยึดหมุนจะมากกว่าเล็กน้อย

จากผลการทดสอบฐานรองรับ แสดงแนวโน้มของแรงที่แตกต่างกันของฐานรองรับดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.12 แสดงการเปรียบเทียบผลจากฐานรองรับของโครงสร้างรูปแบบ S-01**

| องค์อาคาร | โมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram) | | ลักษณะ |
|---|---|---|---|
| | ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed) | ฐานรองรับแบบยึดหมุน (Hinge) | |
| 1. โครงข้อแข็ง | | | - บริเวณฐานยึดหมุนจะมีแรงดัดน้อยกว่า และปริมาณแรงโดยรวมเพิ่มขึ้น |

จากตารางที่ 5.12 พบว่าผลจากประเภทของฐานรองรับส่งผลให้แรงดัดเปลี่ยนไป ฐานรองรับแบบยึดแน่นจะมีแรงดัดกลับที่บริเวณฐานเพิ่มขึ้น แรงดัดโดยรวมกระจายใกล้เคียงกัน ส่วนฐานรองรับแบบยึดหมุนบริเวณฐานรองรับจะมีแรงดัดน้อยมาก และเพิ่มขึ้นมากในทุกส่วนของโครงสร้าง ทั้งบริเวณองค์อาคารแนวอิ่งจนถึงไหล่ของโครงสร้าง และบริเวณกลางช่วงพาด ทำให้แรงดัดโดยรวมมากกว่าแบบยึดแน่น

### 5.2.5 โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบ S-03

โครงสร้างหลังคารูปแบบ S-03 มีลักษณะโครงเสาและคาน ช่วงพาด 10.00 เมตร และยื่นออกไปข้างละ 9.80 เมตร

แบบจำลองโครงสร้างหลักตามรูปแบบ S-03 มีทั้งหมด 1 รูปแบบโครงสร้างหลัก โดยจำลองน้ำหนักบรรทุก (Live Load) และน้ำหนักบรรทุกตายตัว (Dead Load) ของโครงสร้างให้ใกล้เคียงที่สุด

**ภาพที่ 5.27** แสดงแบบจำลองโครงสร้างของ รูปแบบ S-03

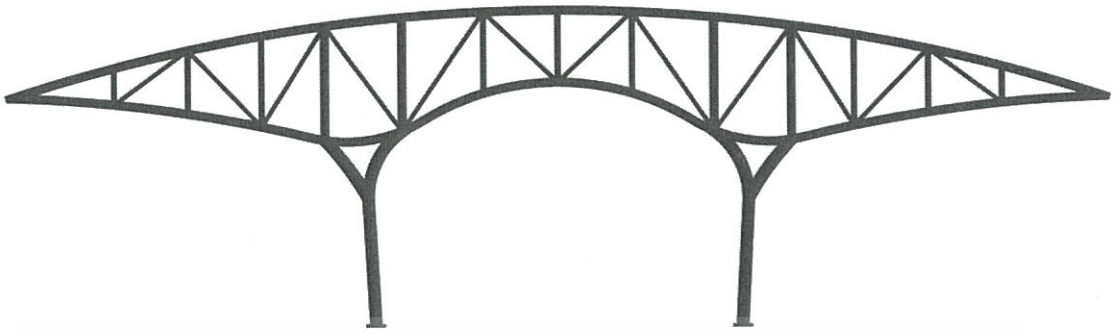
ที่มา : ผู้วิจัย

### 5.2.6 ผลการทดสอบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รูปแบบ S-03

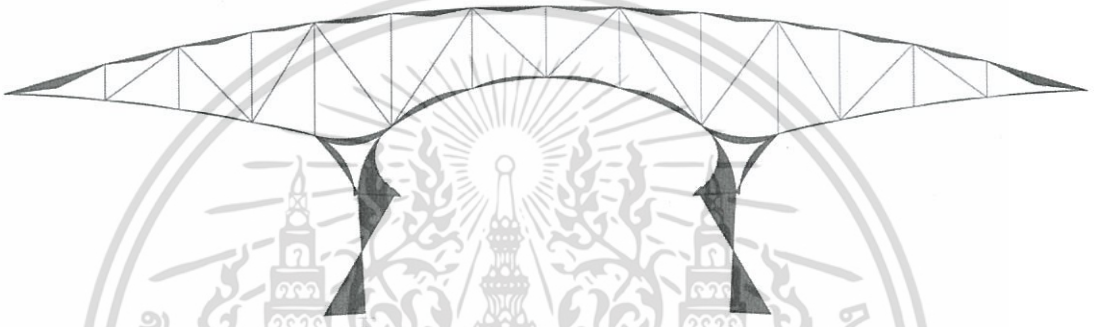
การทดสอบแบบจำลองด้วยโปรแกรม SAP2000 ของโครงสร้างรูปแบบ S-03 ได้ผลการทดสอบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**5.2.6.1 โครงสร้างหลังคารูปแบบ S-03**



ก. แสดงรูปทรงโครงสร้าง



ข. แสดงโมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram)

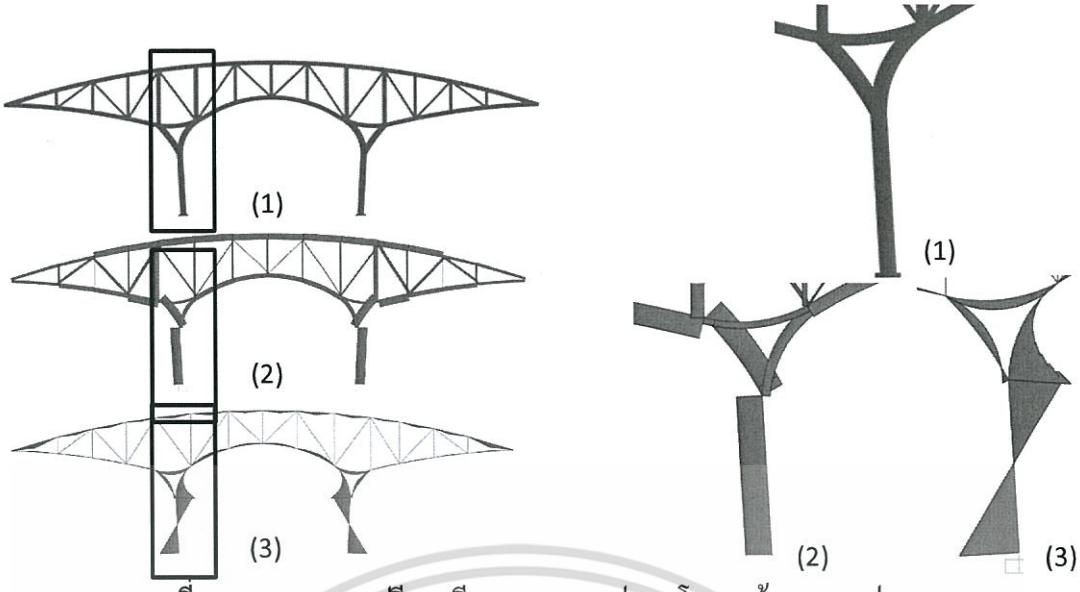
ค. แสดงแรงตามแนวแกน (Axial force diagram)

**ภาพที่ 5.28** แสดงผลการทดสอบโครงสร้างของ รูปแบบ S-03

ที่มา : ผู้วิจัย

แบบจำลองโครงสร้างรูปแบบ S-03 ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed) จะเกิดแรงดัดมากขึ้นในบริเวณที่เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างองค์อาคาร โครงถักจะมีแรงดัดน้อยมาก มีแรงตามแนวแกนที่มากบริเวณกลางช่วงพาด และลดลงบริเวณปลายที่ยื่นออกไป องค์อาคารที่รองรับแรงดัดมากคือเสา ในรูปแบบ S-03 จะพิจารณาจากแรงตามแนวแกนเป็นหลัก

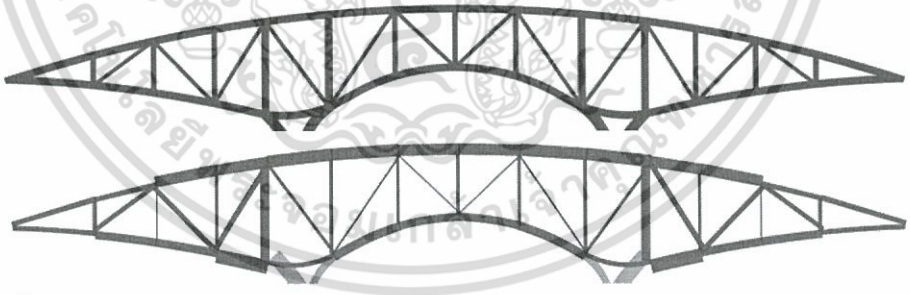
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 5.29** แสดงการเปรียบเทียบแรงและรูปทรงโครงสร้างของ รูปแบบ S-03

ที่มา : ผู้วิจัย

บริเวณเสารูป Y จะเกิดแรงดัดและแรงตามแนวแกนมาก โดยแรงดัดจะมีมากจากเสาและด้านกึ่งกลางช่วงพาด แรงตามแนวแกนบริเวณกลางช่วงพาดจะน้อยกว่าด้านที่ยื่นออกไป ปลายแยกทั้งสองของเสารูป Y แต่ละด้านจะรับแรงที่ต่างกัน ด้านกลางช่วงพาดจะรับแรงดัดมาก ด้านที่ยื่นออกไปจะรับแรงตามแนวแกนมาก



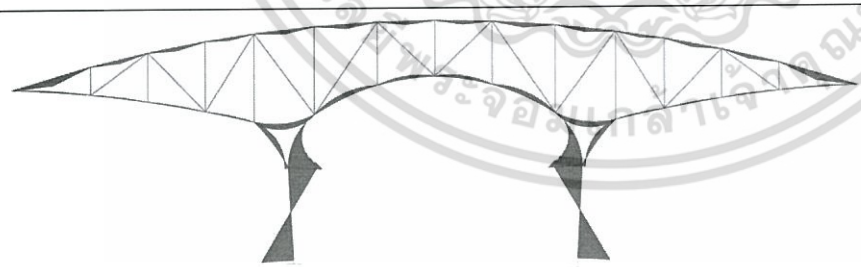
**ภาพที่ 5.30** แสดงการเปรียบเทียบแรงตามแนวแกนและรูปทรงโครงถักของ รูปแบบ S-03

ที่มา : ผู้วิจัย

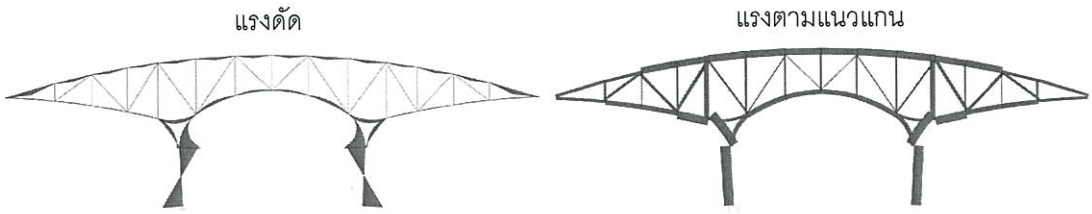
แรงตามแนวแกนของโครงถักจะมีมากบริเวณส่วน Upper chord และ Lower chord โดยเฉพาะกลางช่วงพาด และน้อยลงบริเวณที่ยื่นออกไปด้านข้างตามรูปทรงที่ลู่ลง แรงตามแนวแกนส่วน Upper chord จะมากกว่าด้านล่าง บริเวณระหว่างปลายแยกเสาจะมีแรงน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

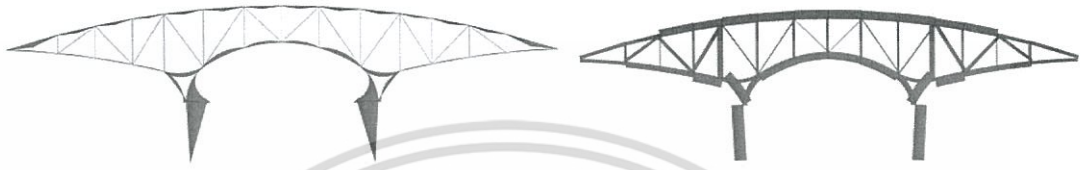
**ตารางที่ 5.13 แสดงแรงภายในโครงสร้างของรูปแบบ S-03**

| องค์อาคาร | แรงตามแนวแกน (Axial force) | ลักษณะ |
|---|---|---|
| 1. เสา | | - เสาจะเกิดแรงตามแนวแกนสม่ำเสมอตลอดช่วง บริเวณปลายแยกรูปตัว Y ฝั่งด้านกลางช่วงพาดจะมีแรงตามแนวแกนน้อยกว่าฝั่งด้านนอก |
| 2. โครงถัก | | - Upper chord บริเวณกลางช่วงพาดจะเกิดแรงสม่ำเสมอและช่วงปลายทั้งสองข้างจะลดลง<br>- Lower chord บริเวณกลางช่วงพาดมีแรงตามแนวแกนสม่ำเสมอ บริเวณที่ต่อกับเสาจะมีแรงมากและลดลงไปทางปลายโครงถัก |
| **องค์อาคาร** | **โมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram)** | **ลักษณะ** |
| 3.เสาและคานโครงถัก |  | - เสาจะมีแรงดัดมากที่สุดตลอดช่วง บริเวณปลายแยกฝั่งด้านกลางช่วงพาดแรงดัดเยอะกว่าฝั่งด้านนอกค่อยๆลดลงจนถึงจุดเชื่อมต่อกับโครงถัก |

**5.2.6.2 เปรียบเทียบผลของฐานรองรับโครงสร้างหลังคารูปแบบ S-03**




ก. ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed)



ข. ฐานรองรับแบบยึดหมุน (Hinge)

**ภาพที่ 5.31** แสดงการเปรียบเทียบฐานรองรับแบบยึดหมุนและแบบยึดแน่นของ รูปแบบ S-03

ที่มา : ผู้วิจัย

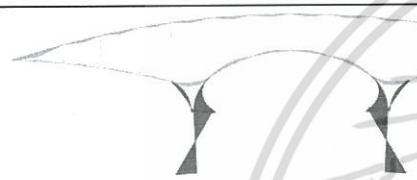
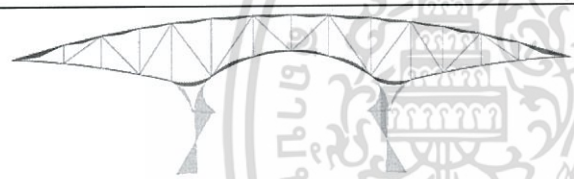
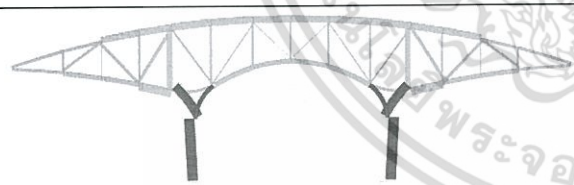
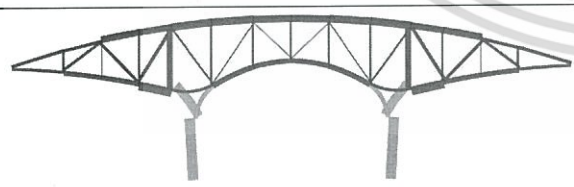
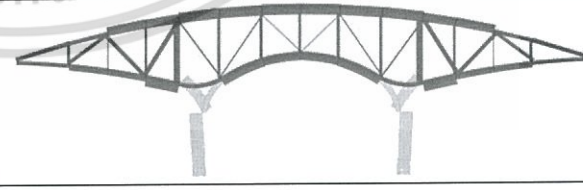
ผลการทดสอบเปรียบเทียบแรงดัด แสดงให้เห็นว่าแรงดัดบริเวณฐานรองรับต่างกัน บริเวณปลายแยกเสารูป Y แตกต่างกันเล็กน้อย แบบยึดหมุนจะมีปริมาณแรงที่มากกว่าแบบยึดแน่นเล็กน้อย

การเปรียบเทียบแรงตามแนวแกนแสดงให้เห็นว่า แรงโดยรวมนั้นแบบยึดหมุนมากกว่าแบบยึดแน่น บริเวณกลางช่วงพาดปลายเสารูป Y และ Lower chord จะรับแรงเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งภายในของโครงถักจะมีแรงตามแนวแกนมากกว่าแบบยึดแน่นเล็กน้อย ส่วนด้านที่ยื่นออกไปปริมาณแรงใกล้เคียงกัน

จากผลการทดสอบฐานรองรับทั้ง 2 ประเภท สามารถเปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นโดยแจกแจงตามองค์อาคารแต่ละส่วน แสดงแนวโน้มของแรงที่แตกต่างกันในแต่ละประเภทของฐานรองรับดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

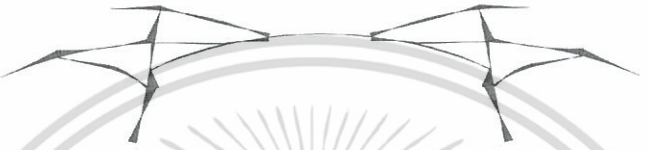
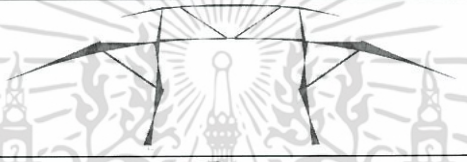
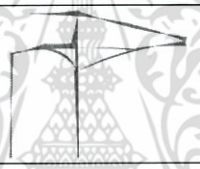
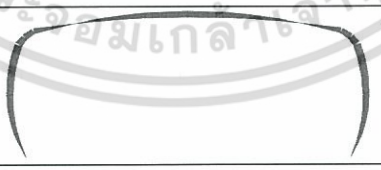
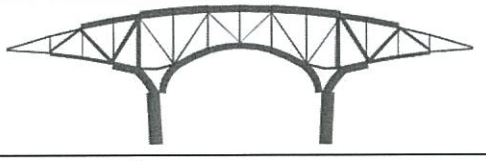
**ตารางที่ 5.14 แสดงการเปรียบเทียบผลจากฐานรองรับของโครงสร้างรูปแบบ S-03**

| องค์อาคาร | โมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram) | | ลักษณะ |
|---|---|---|---|
| | ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed) | ฐานรองรับแบบยึดหมุน (Hinge) | |
| 1. เสา |  | | - บริเวณฐานยึดหมุนจะมีแรงดัดน้อยมาก ปลายเสาจะมากกว่า |
| 2. คานโครงถัก |  | | - โครงถักมีแรงดัดน้อยมากทั้ง 2 แบบ |
| **องค์อาคาร** | **แรงตามแนวแกน (Axial force)** | | **ลักษณะ** |
| | **ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed)** | **ฐานรองรับแบบยึดหมุน (Hinge)** | |
| 1. เสา |  | | - แนวโน้มแรงใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณแรงแบบยึดหมุนมากกว่า |
| 2. คานโครงถัก |  |  | - แนวโน้มแรงใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณแรงแบบยึดหมุนมากกว่า |

## 5.3 สรุปการศึกษาแรงภายในโครงสร้าง

จากการศึกษาผลการทดสอบแรงที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้าง โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element) ด้วยโปรแกรม SAP2000 ตามรูปแบบโครงสร้างทั้ง 7 รูปแบบ สรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

**ตารางที่ 5.15 สรุปผลการทดสอบแรงที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้าง**

| รูปแบบ | โมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram) | ฐานรองรับ |
|---|---|---|
| B-01 |  | ยึดแน่น |
| B-02 |  | ยึดแน่น |
| B-03 |  | ยึดแน่น |
| B-04 | | ยึดแน่น |
| S-01 | | ยึดแน่น |
| S-02 |  | ยึดหมุน |
| **รูปแบบ** | **แรงตามแนวแกน (Axial force)** | **ลักษณะ** |
| S-03 |  | ยึดแน่น |

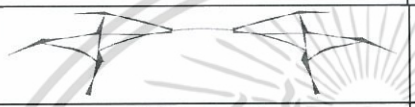
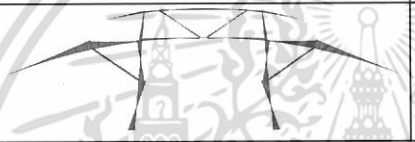
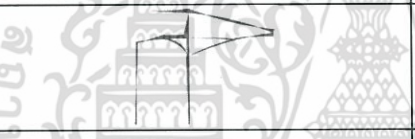
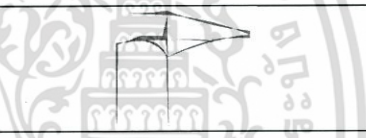
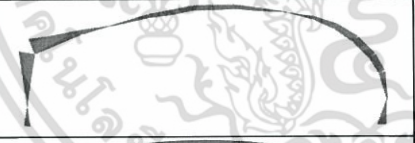
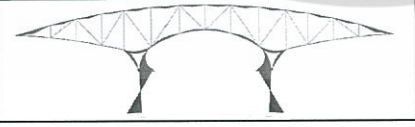
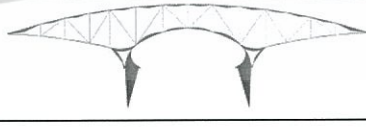
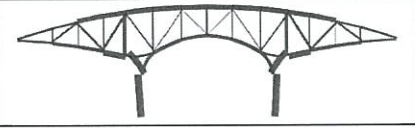
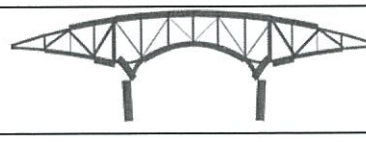
จากตารางที่ 5.8 แสดงให้เห็นว่าแรงดัดภายในองค์อาคารจะเพิ่มขึ้นในบริเวณที่เป็นจุดเชื่อมต่อขององค์อาคาร เสาจะเป็นองค์อาคารที่รับแรงดัดมากที่สุด โครงข้อแข็งแรงดัดจะมากที่สุดบริเวณไหล่ของโครงสร้างและมีจุดดัดกลับใกล้กับไหล่ของโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.3 สรุปการเปรียบเทียบผลของฐานรองรับ

จากการศึกษาพบว่าผลการทดสอบการเปลี่ยนประเภทของฐานรองรับ ได้ส่งผลต่อแรงภายในโครงสร้างที่ต่างกัน สรุปผลได้ดังนี้

**ตารางที่ 5.16 สรุปผลการเปรียบเทียบผลทดสอบประเภทของฐานรองรับ**

| รูปแบบ | ตารางโมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram) | | บริเวณที่ส่งผล | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed) | ฐานรองรับแบบยึดหมุน (Hinge) | เสา | คานกลาง | คาน |
| B-01 |  | | O | X | X |
| B-02 |  | | O | O | X |
| B-03 |  |  | O | O | X |
| B-04 | | | O | X | X |
| S-01 |  | | O | - | O |
| S-02 | | | O | - | O |
| S-03 |  |  | O | - | X |
| **รูปแบบ** | **ปริมาณแรงตามแนวแกน (Axial force)** | | | | |
| S-03 |  |  | O | O | O |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.16 แสดงให้เห็นว่าผลการทดสอบประเภทของฐานรองรับส่งผลถึงพฤติกรรมแรงที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะเสาที่จะเห็นได้ชัดและคานช่วงกลางที่มีผลเล็กน้อย ส่วนคานที่ยื่นออกด้านข้างนั้นจะไม่มีผลกับแรงที่เกิดขึ้น รูปแบบที่เป็นโครงข้อแข็งจะส่งผลทั้งโครงสร้าง เนื่องจากเป็นรูปปิดต่อเนื่องกัน ทำให้ส่งผลถึงกันอย่างชัดเจน

จากการศึกษาพบว่าประเภทของฐานรองรับจะส่งผลต่อแรงภายในโครงสร้างเฉพาะส่วนของโครงสร้างที่เป็นโครงกรอบปิดที่เป็นส่วนหลักของโครงสร้าง ส่วนที่มาเชื่อมต่อกับโครงกรอบปิดหรือโครงหลักดังกล่าวจะไม่ส่งผลถึง ดังจะเห็นได้ชัดเจนในรูปแบบที่เป็นเสาและคาน ส่วนรูปแบบโครงสร้างที่เป็นโครงข้อแข็งนั้นจะเป็นโครงกรอบปิดที่เป็นเส้นโค้งต่อเนื่อง ประเภทฐานรองรับจึงส่งผลต่อแรงภายในทุกส่วนของโครงสร้าง

ฐานรองรับแบบยึดแน่นจะมีโมเมนต์ในทิศทางตรงกันข้ามหรือโมเมนต์ดัดกลับบริเวณฐานรองรับ ส่งผลให้แรงดัดโดยรวมนั้นจะกระจายตลอดทั้งองค์อาคาร ส่วนฐานรองรับแบบยึดหมุนนั้นบริเวณฐานรองรับแรงดัดจะน้อยมาก ในส่วนอื่นแรงดัดจะเพิ่มขึ้นมากโดยเฉพาะบริเวณไหล่ของโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6

# สรุปและข้อเสนอแนะ

หลังคาเป็นส่วนหนึ่งของสถาปัตยกรรม ปิดล้อมพื้นที่ภายในและป้องกันเพื่อให้ผู้ใช้งานเกิดความสะดวกสบาย ขนาดของพื้นที่ที่หลังคาปิดล้อมนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของอาคารนั้นๆ โครงสร้างหลังคาพาดช่วงกว้างจึงเป็นสิ่งที่นำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาหรือความเหมาะสมกับลักษณะการใช้งานของอาคาร โดยโครงสร้างที่นำมาใช้มักเลือกวัสดุเหล็กรูปพรรณเนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง น้ำหนักเบาและสามารถก่อสร้างได้หลากหลายรูปแบบ โดยเป็นการประกอบชิ้นส่วนต่างๆเพื่อให้ได้รูปทรงตามการออกแบบ

รูปทรงของโครงสร้างนอกจากจะตอบสนองลักษณะการใช้งานที่เหมาะสมแล้วยังต้องต้านทานแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างเพื่อความแข็งแรง โดยใช้ปริมาณวัสดุที่น้อยที่สุดรับแรงให้ได้มากที่สุด รูปทรงจึงมีผลมาจากแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างและต้านทานแรงที่เกิดขึ้น และพบว่าจุดต่อและฐานรองรับมีส่วนสำคัญที่จะส่งผลให้แรงที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างต่างกัน ซึ่งจำแนกตามการยึดแน่นได้เป็น จุดต่อแบบยึดแน่น (Rigid connection) จุดต่อแบบยึดหมุน (Simple connection) และแบบกึ่งยึดแน่น (Semi-rigid connection) พฤติกรรมการรับแรงในแต่ละประเภทแตกต่างกันส่งผลถึงแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างและรูปทรงของโครงสร้าง

วิธีการศึกษาในครั้งนี้ ได้ทำการสำรวจเบื้องต้นและศึกษาข้อมูลจากโครงการรถไฟฟ้า BTS และรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ สามารถจำแนกรูปแบบได้ 7 รูปแบบ และศึกษาในส่วนของโครงสร้างหลักของหลังคาสถานีแต่ละรูปแบบ ทำการศึกษาส่วนที่ 1 ศึกษารูปทรงของโครงสร้างแต่ละรูปแบบ โดยสำรวจสถานที่จริงร่วมกับเอกสารแบบก่อสร้าง ส่วนที่ 2 ทำการศึกษาผลของแรงภายในต่อรูปทรงโครงสร้างที่เกิดขึ้น โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ด้วยโปรแกรม SAP2000 เปรียบเทียบผลกับรูปทรงโครงสร้าง ส่วนที่ 3 ศึกษาผลของประเภทจุดรองรับต่อแรงที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้าง ด้วยระเบียบวิธีไฟไฟนต์เอลิเมนต์เช่นเดียวกับส่วนที่ 2 เปรียบเทียบผลของฐานรองรับประเภทยึดหมุนและยึดแน่น วิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงแรงภายในที่เกิดขึ้นและส่งผลต่อรูปทรงของโครงสร้าง

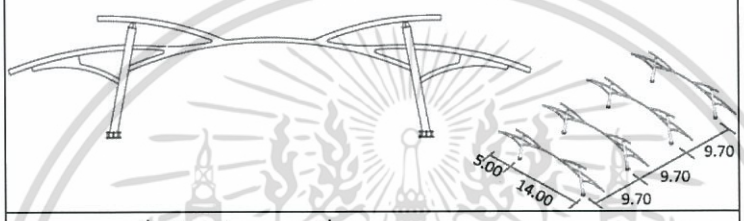
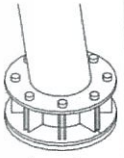
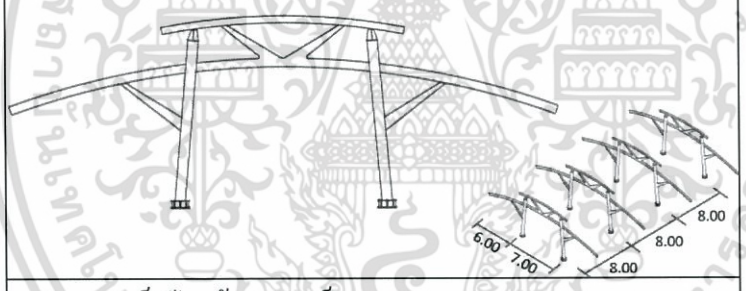
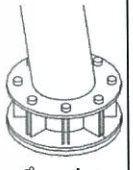
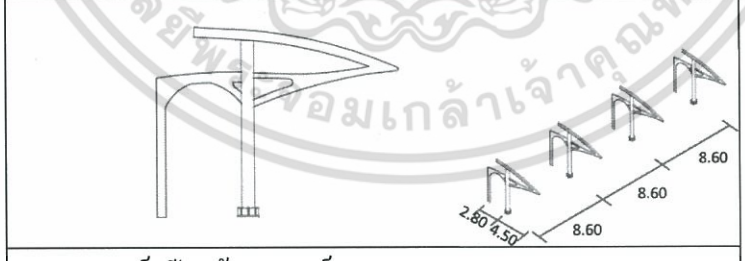
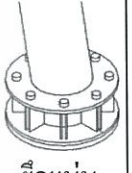
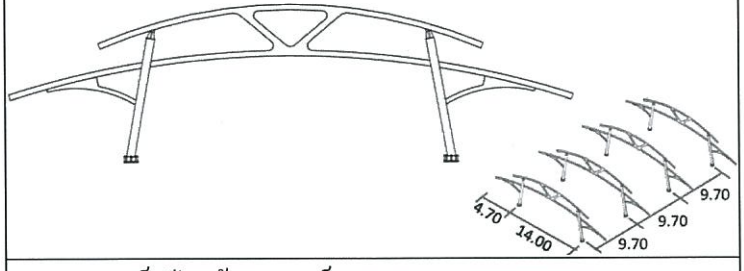
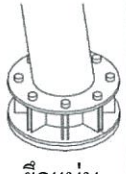
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.1 ข้อค้นพบที่สำคัญ

### 6.1.1 รูปทรงโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้า BTS และรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

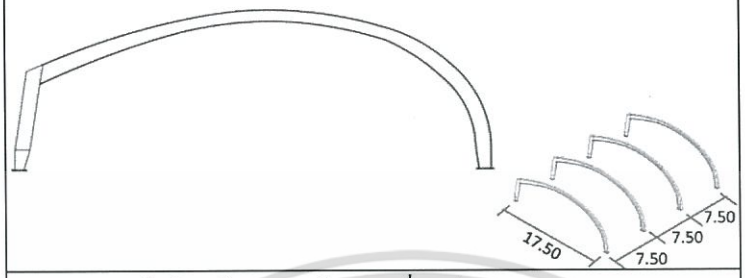
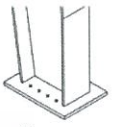
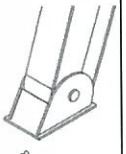
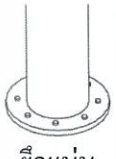
ผลจากการศึกษาข้อมูล สามารถจำแนกรูปแบบโครงสร้างหลักได้ 7 รูปแบบ ดังนี้

**ตารางที่ 6.1 รูปแบบของโครงสร้างหลังคาเหล็กรูปพรรณอาคารกรณีศึกษา**

| รูปแบบโครงสร้างหลังเหล็กรูปพรรณอาคารสถานีรถไฟฟ้า BTS | | | |
|---|---|---|---|
| **รูปแบบ** | **รูปทรงโครงสร้าง** | **ช่วงพาด / ระยะยื่น** | **ชนิดฐานรองรับ** |
| B-01 (เสาและคาน) |  <br>- คานเหล็กปีกกว้าง, เสาเหล็กกลม | 14 เมตร / 5 เมตร |  <br>ยึดแน่น |
| B-02 (เสาและคาน) |  <br>- คานเหล็กปีกกว้าง, เสาเหล็กกลม | 7 เมตร / 6 เมตร |  <br>ยึดแน่น |
| B-03 (เสาและคาน) |  <br>- คานเหล็กปีกกว้าง, เสาเหล็กกลม | 2.8 เมตร / 4.5 เมตร |  <br>ยึดแน่น |
| B-04 (เสาและคาน) |  <br>- คานเหล็กปีกกว้าง, เสาเหล็กกลม | 14 เมตร / 4.7 เมตร |  <br>ยึดแน่น |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 6.1 (ต่อ)**

| รูปแบบโครงสร้างหลังเหล็กรูปพรรณอาคารสถานีรถไฟฟ้าเชื่อมต่อท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ | | | |
|---|---|---|---|
| **รูปแบบ** | **รูปทรงโครงสร้าง** | **ช่วงพาด / ระยะยื่น** | **ชนิดฐานรองรับ** |
| S-01 (โครงข้อแข็ง) |  - คานเหล็กปีกกว้าง, เสาเหล็กกลมเชื่อมประกอบ | 17.5เมตร/ 2 เมตร |  ยึดแน่น |
| S-02 (โครงข้อแข็ง) | - คานเหล็กปีกกว้าง | 36 เมตร |  ยึดหมุน |
| S-03 (เสาและคาน/ โครงข้อหมุน) | - เหล็กท่อกลม, เสาเหล็กกลม | 10 เมตร / 9.8 เมตร |  ยึดแน่น |

จากรูปแบบโครงสร้างหลังคาทั้ง 7 รูปแบบ สามารถสรุปลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างแต่ละรูปแบบโดยมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**6.1.1.1 รูปทรงโครงสร้าง**

จากตารางที่ 6.1 พบว่ารูปทรงของโครงสร้างโดยรวมเป็นลักษณะโครงกรอบรูปปิดเป็นหลักและมีส่วนที่ยื่นออกไปด้านข้าง มีเฉพาะรูปแบบที่เป็นโครงข้อแข็งคือ S-01 และ S-02 ที่เป็นโครงกรอบปิดไม่มีส่วนยื่นออกไปด้านข้าง

แนวเส้นขององค์อาคารจะเป็นเส้นโค้ง โดยจะเป็นเส้นโค้งที่ต่อเนื่องกับองค์อาคารอื่นที่อยู่ในแนวใกล้เคียงกัน ส่วนของเสาจะเป็นเส้นตรงเอียงเข้าหากึ่งกลางช่วงพาด พบ 4 รูปแบบคือ B-01, 02, 04 และ S-01 เสาที่เอียงออกจากกึ่งกลางช่วงพาด 1 รูปแบบ คือ S-03 และเสาที่ตั้งฉากกับพื้น 1 รูปแบบ คือ B-03

**6.1.1.2 ประเภทโครงสร้าง**

มีโครงสร้าง 2 ประเภทคือ เสาคานจำนวน 5 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบ B-01, 02, 03, 04 และS-03ซึ่งมีโครงข้อหมุนทำหน้าที่เป็นคานด้วย โครงข้อแข็งจำนวน 2 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบ S-01 และ S-02

**6.1.1.3 ฐานรองรับ**

พบฐานรองรับ 2 ประเภทคือ ฐานรองรับแบบยึดแน่น 6 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบ B-01, 02, 03, 04 และ S-01, 03 ฐานรองรับแบบยึดหมุน 1 รูปแบบ คือ S-02

**6.1.2 รูปทรงและแรงที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้าง**

จากตารางที่ 5.15 การศึกษารูปทรงและแรงที่เกิดขึ้นสามารถสรุปแนวโน้มของรูปทรงและแรงที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

1. รูปทรงของโครงสร้างมีความสอดคล้องกับลักษณะการรับแรงของโครงสร้างรวมทั้งแรงที่เกิดกับองค์อาคารต่างๆ โดยรูปทรงขององค์อาคารที่มีความหนาจะอยู่บริเวณจุดต่อของแต่ละองค์อาคารเพื่อรองรับแรงที่เกิดขึ้นมาก รูปทรงขององค์อาคารที่บางกว่าจะรองรับในจุดที่มีแรงเกิดขึ้นน้อยกว่า ในรูปแบบโครงสร้างที่มีลักษณะเสาและคาน จะมีองค์อาคารที่มีปลายแยกเพื่อกระจายแรงที่จะเกิดบริเวณจุดต่อขององค์อาคารและบางส่วนเพื่อลดแรงที่จะเกิดกับองค์อาคารอื่น ทำให้สามารถลดขนาดขององค์อาคารบางส่วนและเพิ่มขนาดในบางส่วนที่จำเป็นเพื่อใช้วัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพ รูปแบบที่มีลักษณะโครงข้อแข็งนั้นแรงที่เกิดขึ้นจะอยู่บริเวณไหล่ของโครงสร้างหรือจุดที่อยู่ระหว่างแนวระนาบและแนวดิ่งของโครงสร้าง บริเวณนี้จึงมีขนาดที่ใหญ่

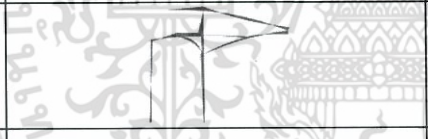
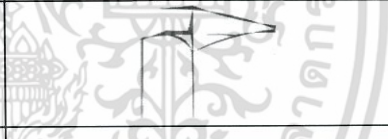
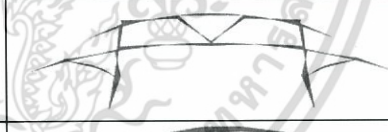
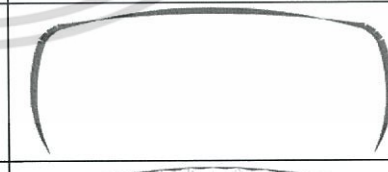
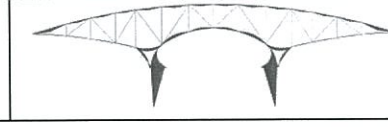
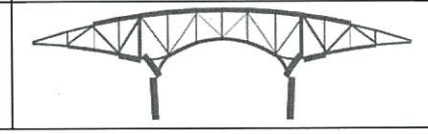
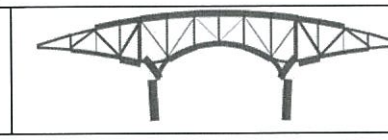
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จุดรองรับของโครงสร้างโดยรวมเป็นแบบยึดแน่นทำให้บริเวณองค์อาคารใกล้ฐานรองรับเกิดโมเมนต์ดัดกลับทำให้แรงดัดกระจายตลอดช่วง ทำให้แรงดัดโดยรวมนั้นใกล้เคียงกัน จุดรองรับที่เป็นจุดยึดหมุนนั้นจะส่งผลให้โมเมนต์บริเวณฐานรองรับนั้นน้อยมากองค์อาคารบริเวณสามารถเล็กลงได้มาก แต่โมเมนต์โดยรวมจะมากกว่าฐานรองรับแบบยึดแน่น

**6.1.3 การเปรียบเทียบผลของประเภทฐานรองรับ**

ผลการทดสอบจากฐานรองรับทั้ง 2 ประเภท สามารถเปรียบเทียบแนวโน้มแรงที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างได้ดังนี้

**ตารางที่ 6.2 สรุปผลการเปรียบเทียบผลทดสอบประเภทของฐานรองรับ**

| รูปแบบ | ตารางโมเมนต์แรงดัด (Bending moment diagram) | | บริเวณที่ส่งผล | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed) | ฐานรองรับแบบยึดหมุน (Hinge) | เสา | คานกลาง | คาน |
| B-01 | | | O | X | X |
| B-02 | | | O | O | X |
| B-03 |  |  | O | O | X |
| B-04 | |  | O | X | X |
| S-01 | | | O | - | O |
| S-02 | |  | O | - | O |
| S-03 | |  | O | - | X |
| **รูปแบบ** | **ปริมาณแรงตามแนวแกน (Axial force)** | | | | |
| S-03 |  |  | O | O | O |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 6.2 จะเห็นได้ว่า ผลของประเภทจุดต่อนั้นจะส่งผลต่อพฤติกรรมของแรงที่เกิดขึ้นโดยเฉพาะส่วนของเสาโดยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. แรงที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงในส่วนของเสามากที่สุดเนื่องจากเป็นส่วนที่รองรับแรงจากทั้งส่วนของโครงสร้างและเชื่อมต่อกับฐานรองรับโดยตรง ส่วนคานช่วงกลางจะส่งผลในบางรูปแบบเนื่องจากทำหน้าที่ในการยึดโยงโครงสร้างจึงมีการส่งผลเพียงบางส่วน

2. ผลที่เกิดขึ้นนั้นจะส่งผลเฉพาะส่วนของโครงสร้างรูปกรอบปิดที่เป็นส่วนหลักของโครงสร้าง โดยจะส่งผลต่อส่วนที่เชื่อมต่อกับฐานรองรับมากที่สุด และไม่ส่งผลต่อส่วนที่ยื่นออกจากโครงกรอบหลัก ในรูปแบบโครงสร้างที่เป็นโครงกรอบปิดเส้นโค้งต่อเนื่องจะเห็นได้ชัด โดยจะส่งผลต่อแรงภายในตลอดช่วงโครงสร้าง

3. ฐานรองรับแบบยึดแน่นจะมีโมเมนต์ดัดกลับบริเวณฐานทำให้แรงดัดกระจายสม่ำเสมอ ส่วนฐานรองรับแบบยึดหมุนนั้นบริเวณฐานรองรับจะมีแรงดัดน้อยมาก แต่ในส่วนอื่นของโครงสร้างแรงดัดจะมากกว่าแบบยึดหมุน โดยเฉพาะบริเวณไหล่ของโครงสร้าง

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษารูปทรงและเปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นของโครงสร้างหลังคาเหล็กรูปพรรณกรณีศึกษา สถานีรถไฟฟ้า BTS และสถานีรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ มีข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไปดังนี้

1. จากการสำรวจพบว่าสถานีรถไฟฟ้าที่เป็นส่วนต่อขยายไปในหลายเส้นทางมีรูปทรงโครงสร้างที่แตกต่างออกไป มีความน่าสนใจในการศึกษารูปทรงและแรงที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างรวมถึงกระบวนการก่อสร้าง

2. ควรศึกษารูปทรงและรูปแบบโครงสร้างอื่นๆ เพื่อเปรียบเทียบผลของฐานรองรับหาแนวโน้มความสัมพันธ์ฐานรองรับและรูปทรงโครงสร้างในรูปแบบอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม


Heino Engel. 2540. **Structure Systems**. Max Dorn Presse.

กออิศรา ประชาอาทร. 2555. “จุดต่อโครงสร้างหลังคาเหล็กรูปพรรณช่วงพาดกว้าง : กรณีศึกษา สถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ.” วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

จรัญพัฒน์ ภูวนันท์. 2542. **การก่อสร้างด้วยเหล็ก.** กรุงเทพฯ : อี.ที.พับลิชชิ่ง

เฉลิม สุจริต. 2543. **วัสดุและการก่อสร้างสถาปัตยกรรม.** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชลธี อิ่มอุดม. 2554. **ระบบโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เดอะโคไซคลับ. 2541. **การก่อสร้างด้วยโครงสร้างเหล็ก.** แปลโดย สุจริต คูณธนกุลวงศ์ และทักษิณ เทพชาตรี. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น.

ทักษิณ เทพชาตรี และอัครวัชร เล่นวารี. 2553. **พฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นันท์นภัส เพชรคงทอง. 2554 “การเปรียบเทียบปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกแบบอาคารโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ : กรณีศึกษา สถานีรถไฟฟ้า BTS และ สถานีรถไฟเชื่อมต่อท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ.” วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

บุรฉัตร ฉัตรวีระ และวทัชภพ เดชพันธ์, (ผู้เรียบเรียง) 2545. **ฮิบเบลเลอร์ และอาร์. ซี. วิเคราะห์โครงสร้าง.** กรุงเทพฯ : เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า.

ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์. 2527. **การวิเคราะห์โครงสร้าง**. พิมพ์ครั้งที่ 1.

ปราโมทย์ เดชะอำไพ. 2542. **ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วินิต ช่อวิเชียร. 2544. **การวิเคราะห์โครงสร้าง.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริวัฒน์ ไชยชนะ. 2539. **วิเคราะห์โครงสร้าง.** กรุงเทพฯ : เอส. เอส. บุ๊คส์เฮ้าส์.

สนั่น เจริญเผ่า. 2527. **การออกแบบโครงสร้างไม้และโครงสร้างเหล็ก.** พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| **ชื่อ – นามสกุล** | นายพีรพงศ์ เหลืองพานิช |
| **วัน เดือน ปีเกิด** | 8 มิถุนายน พ.ศ.2532 จังหวัดกรุงเทพมหานคร |
| **ที่อยู่** | 88/31 ม.พนาสนธิ์ 7 ซ.กาญจนาภิเษก 46 ถ.กาญจนาภิเษก แขวง ดอกไม้ เขตประเวศ กทม. 10250 |

**ประวัติการศึกษา**

| | |
|---|---|
| 2549 | มัธยมศึกษา โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ |
| 2554 | สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต (สถาปัตยกรรม) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้