

การออกแบบโครงสร้างอาคารเพื่อต้านทานแรงดันและอุณหภูมิ

DESIGNING BUILDING STRUCTURES TO RESIST PRESSURE AND  
TEMPERATURE



วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2566

KMITL-2023-EN-D-098-042

**DESIGNING BUILDING STRUCTURES TO RESIST PRESSURE AND  
TEMPERATURE**

**BOONCHAI SONTHIRONNACHAI**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT**

**OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF**

**DOCTOR OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING**

**SCHOOL OF ENGINEERING**

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

**2023**

**KMITL-2023-EN-D-098-042**



**COPYRIGHT 2023**

**SCHOOL OF ENGINEERING**

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

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบโครงสร้างอาคารเพื่อต้านทานแรงดันและ อุณหภูมิ
นักศึกษา	นาย บุญชัย สนธิธชัย
รหัสประจำตัว	63601028
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
พ.ศ.	2566

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร

## บทคัดย่อ

ปัจจุบันสถานที่ประกอบการสำหรับอุตสาหกรรมที่อาจก่อให้เกิดการระเบิด ซึ่งการระเบิดที่เกิดขึ้นจะประกอบไปด้วยแรงดันและอุณหภูมิ ทำให้เกิดความเสียหายได้โดยรวม ดังนั้นการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างอาคาร ที่สามารถต้านทานอุณหภูมิและแรงดัน โดยโครงสร้างอาคารประเภทนี้จะต้องออกแบบให้มีความแข็งแรงมากกว่าโครงสร้างอาคารโดยทั่วไป เนื่องจาก load ที่กระทำต่อโครงสร้างที่เกิดขึ้น ภายใน,ภายนอก รวมถึงเกิดจากภายในและภายนอกอาคาร จะส่งผลกระทบต่อให้เกิดความเสียหาย โดยเฉพาะทางด้านความปลอดภัย ดังตัวอย่างของสถานที่ประกอบการของ อุตสาหกรรมปิโตรเคมี,อาคารเก็บอาวุธวัตถุระเบิด,อาคารโรงไฟฟ้า,อาคารสถานที่เก็บแก๊สชนิดต่างๆ และอื่น ๆ ที่อาจก่อให้เกิดการระเบิด การออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดันและอุณหภูมิสำหรับงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับ (1) แรงดันที่กระทำต่อโครงสร้าง300บาร์ (2) อุณหภูมิที่กระทำต่อโครงสร้างอาคาร300C°และ(3) อุณหภูมิ300C°ที่ควบรวมกับแรงดัน300บาร์ที่กระทำต่อโครงสร้างอาคาร พิจารณาถึงโครงสร้างหลักในส่วนของ เสา,คานและพื้น ที่ออกแบบเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยการวิธีการจำลองแบบโครงสร้างอาคาร ศึกษาพฤติกรรมและพารามิเตอร์ที่เกิดขึ้นจากแรงดัน 300 บาร์(Bar)และอุณหภูมิ300 C° เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล สำหรับการออกแบบชิ้นส่วนประกอบของโครงสร้างอาคาร (เสา,คานและพื้น) ต้านทานแรงดันและอุณหภูมิ สำหรับLoad ที่กระทำต่อโครงสร้างอาคารที่เกิดจากการระเบิดจะมีความแตกต่างไปจากLoad ที่ถูกกระทำจากแรงแผ่นดินไหวและแรงที่ถูกกระทำจากแรงลม (seismic Load and wind loads) เนื่องจากระยะเวลาของ Load ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดจะรุนแรงและเป็นไปอย่างต่อเนื่องรวดเร็วกว่ามาก นับหน่วยเป็นวินาที(Milliseconds)รวมถึงปริมาณความร้อนที่สูงจากการระเบิด

<b>Thesis</b>	DESIGNING BUILDING STRUCTURES TO RESIST PRESSURE AND TEMPERATURE
<b>Student</b>	Mr. Boonchai Sonthironnachai
<b>Student ID</b>	63601028
<b>Degree</b>	Doctor of Engineering
<b>Program</b>	Civil Engineering
<b>Year</b>	2023
<b>Thesis Advisor.</b>	Asst.Prof.Dr. Arthit Petchsasithon

## ABSTRACT

These days, there are establishments for industries that may cause explosions. The explosion that occurs will consist of pressure and temperature. cause overall damage Therefore, the design and construction of building structures that can resist temperature and pressure. The type of building structure must be designed to be stronger than general building structures due to the load acting on the structure that occurs. internal, external, including caused by the inside and outside of the building In terms of buildings structure that can withstand such pressure and temperature, the structure has to be designed to be stronger than the typical buildings. Since this type of building will affect with damage especially in terms of safety. The establishments in the petrochemical industry, explosive armory, power stations, gas storage facilities, etc. are the examples of this type of building. This research is to study about (1) Pressure acting on the structure at 300 bars (2) Temperature acting on the structure at 300 °C and (3) Combined temperature at 300 °C with 300 bars of pressure acting on the building structure, considering primary structure of columns, beams, and slab which are the reinforced structure. The research includes the study of behaviors and parameters resulted from 300 °C temperature and 300 bars of pressure to analyze the data for designing the structural components (columns, beams, and slab) of the pressure and thermal resistant buildings. With regards to the load acting on the building structure, the load from explosion differs from seismic and wind loads due to more severity, continuous rapidity, within milliseconds, and the high amount of heat from the explosion.

**KEYWORDS:** High-temperature, High-pressure building structural design.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอบคุณทีมงานบริษัท ปตท. และสถาบันวิจัยนิวเคลียร์ที่ให้ข้อมูลต่างๆที่เป็นประโยชน์ สำหรับการศึกษาวเคราะห์ข้อมูลการออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ถือเป็นเกียรติที่สูงส่งแก่ผู้จัดทำที่ได้รับความกรุณาจากคณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์นี้ ด้วยคำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ของอาจารย์ทุกท่านที่ถือเป็นปัจจัยสำคัญและเป็นแรงผลักดันไปสู่ความสำเร็จในวิทยานิพนธ์นี้ด้วย ทางผู้จัดทำได้เรียนรู้และประยุกต์ใช้สิ่งต่างๆมากมาย ผู้จัดทำมีความสำนึกในพระคุณของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และโรงเรียนต่างๆที่ผู้เขียนเคยได้ร่ำเรียนมา ตลอดจนรวมถึงคณาจารย์ทุกท่านที่เคยสอนสั่งและอบรมให้ความรู้อย่างมากมาย

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่านทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ท้ายที่สุดนี้ขออวยคำขอบคุณอันแสนสุดพิเศษสุดมอบให้แก่สมาชิกครอบครัวของผู้จัดทำ ที่คอยมอบความรัก ความผูกพัน ความห่วงใย คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจอย่างต่อเนื่องตลอดจนสำเร็จการศึกษา

นาย บุญชัย สนธิธัญชัย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย.....	3
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตวิธีการวิจัย.....	3
1.6 ข้อจำกัดและขอบเขต.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	5
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	5
2.2 การวิเคราะห์และการออกแบบโครงสร้าง(Analysis and Design Structure) ..	5
2.3 น้ำหนักบรรทุกทุกกระทำบนส่วนโครงสร้าง(load to Structure)	6
2.4 การเคลื่อนที่แบบออสซิลเลต(Oscillation Displacement Feature).....	13
2.5 วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) .....	19
2.6 การสร้างสมการของเอลิเมนต์ในหนึ่งมิติ (Equation for the Finite Element In One Dimension) .....	20
2.7 แนวทางการออกแบบโครงสร้างอาคารปิโตรเคมี .....	22
2.8 ขั้นตอนการออกแบบความต้านทานแรงระเบิด(Blast Resistant Design Process) .....	23
2.9 การกำหนดการออกแบบอาคารต้านทานระเบิด .....	25
2.10 การกำหนดโหลด(Determination of Load) .....	26
2.11 คุณสมบัติของวัสดุที่ต้านทานแรงแบบไดนามิก (Dynamic load) .....	28
2.12 วิธีการวิเคราะห์แบบไดนามิก (Dynamic Analysis Methods) .....	34
2.13 สภาพข้อจำกัดในการออกแบบ.....	39

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.14 วิธีการออกแบบแบบไดนามิก (DYNAMIC DESIGN METHOD).....	44
2.15 โครงสร้างต้านทานนิวเคลียร์ (Design of structures to resist Nuclear)	46
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัยและวิธีดำเนินการวิจัย.....	52
3. ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดันและอุณหภูมิ.....	52
3.1 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดันและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในอาคาร.....	52
3.1.1 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์ที่เกิดขึ้นภายในอาคาร	54
3.1.2 วิธีการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์ที่เกิดขึ้นภายในอาคาร .....	55
3.1.3 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานอุณหภูมิ 300C° ที่เกิดขึ้นภายในอาคาร.	57
3.14 วิธีการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานอุณหภูมิ300 C° ที่เกิดขึ้นภายในอาคาร .....	57
3.15 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C° ที่เกิดขึ้นภายในอาคาร .....	59
3.16 วิธีการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300 C° เกิดขึ้นภายในอาคาร.....	59
3.2 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์, อุณหภูมิ300 C° และแรงดัน300บาร์ควบรวมกับอุณหภูมิ300 Co กระทำต่อโครงสร้างอาคารที่เกิดขึ้นภายนอกโครงสร้างอาคารที่มีความสูงแตกต่างกันของอาคาร2ชั้นและ5 ชั้น .....	61
3.2.1 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์ที่เกิดจาก ภายนอกอาคาร 2ชั้นและ5ชั้น.....	62
3.2.2 วิธีการออกแบบโครงสร้างอาคาร2ชั้นและ5ชั้นต้านทานแรงดัน300บาร์จากภายนอกอาคาร .....	63
3.2.3 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานอุณหภูมิ300 C° ที่เกิดจากภายนอกอาคาร2ชั้นและ5ชั้น .....	65
3.2.4 วิธีการออกแบบโครงสร้างอาคาร2ชั้นและ5ชั้นต้านทานอุณหภูมิ300 C° จากภายนอกอาคาร .....	66
3.2.5 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300 C° เกิดจากภายนอกอาคาร2ชั้นและ5ชั้น .....	68

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.6	วิธีการออกแบบโครงสร้างอาคาร 2 ชั้น และ 5 ชั้น ด้านทานแรงดัน 300 บาร์ และ อุณหภูมิ 300 C° จากภายนอกอาคาร.....	69
3.3	ออกแบบโครงสร้างอาคารด้านทานแรงดัน 300 บาร์, อุณหภูมิ 300 C° และแรงดัน 300 บาร์ ควบรวมกับอุณหภูมิ 300 C° กระทำต่อโครงสร้างอาคารที่เกิดขึ้นภายในและภายนอกโครงสร้างอาคารที่มีความสูงแตกต่างกันของอาคาร 2 ชั้น และ 5 ชั้น.....	72
3.3.1	ออกแบบโครงสร้างอาคารด้านทานแรงดัน 300 บาร์ ที่เกิดจาก ภายนอกและ ภายในอาคาร 2 ชั้น และ 5 ชั้น .....	73
3.3.2	วิธีการออกแบบโครงสร้างอาคาร 2 ชั้น และ 5 ชั้น ด้านทานแรงดัน 300 บาร์ จาก ภายนอกและภายในอาคาร .....	73
3.3.3	ออกแบบโครงสร้างอาคารด้านทานอุณหภูมิ 300 C° ที่เกิด ภายนอกและ ภายใน อาคาร 2 ชั้น และ 5 ชั้น .....	75
3.3.4	วิธีการออกแบบโครงสร้างอาคาร 2 ชั้น และ 5 ชั้น ด้านทานอุณหภูมิ 300 C° จากภายนอกและภายในอาคาร .....	75
3.3.5	ออกแบบโครงสร้างอาคารด้านทานแรงดัน 300 บาร์ และ อุณหภูมิ 300 C° ที่ เกิดภายนอกและภายในอาคาร 2 ชั้น และ 5 ชั้น .....	77
3.3.6	วิธีการออกแบบโครงสร้างอาคาร 2 ชั้น และ 5 ชั้น ด้านทานอุณหภูมิ 300 C° และ แรงดัน 300 บาร์ ภายนอกและภายในอาคาร .....	78
บทที่ 4	ผลการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างอาคารด้านทานแรงดันและอุณหภูมิ .....	81
4.	ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคารด้านทานแรงดันและอุณหภูมิ.....	81
4.1	ผลของโหลด (Load) ที่ประกอบด้วย แรงดัน 300 บาร์, อุณหภูมิ 300 C° และแรงดัน 300 บาร์ ควบรวมกับอุณหภูมิ 300 C° กระทำต่อโครงสร้างอาคารที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างอาคาร. ....	81
4.1.1	ผลวิเคราะห์เพื่อออกแบบโครงสร้างอาคารด้านทานแรงดัน 300 บาร์ ที่ เกิดขึ้นภายในโครงสร้างอาคาร .....	82
4.1.2	ผลการวิเคราะห์เพื่อออกแบบโครงสร้างอาคารด้านทานอุณหภูมิ 300 C° ที่เกิด จากภายในโครงสร้างอาคาร .....	87
4.1.3	ผลการวิเคราะห์เพื่อออกแบบโครงสร้างอาคารด้านทานแรงดัน 300 บาร์ และ อุณหภูมิ 300 C° ที่เกิดจากภายในอาคาร .....	93

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 ผลการวิเคราะห์เพื่อออกแบบเปรียบเทียบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน 300บาร์และอุณหภูมิ300 C° ที่กระทำภายนอกโครงสร้างอาคารที่มีความสูง แตกต่างกันของอาคาร2ชั้นและ5ชั้น.....	99
4.2.1 ผลการวิเคราะห์เพื่อออกแบบเปรียบเทียบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน 300บาร์ที่เกิดจากภายนอกอาคาร2ชั้นและ5ชั้น .....	99
4.2.2 ผลการวิเคราะห์เพื่อออกแบบเปรียบเทียบโครงสร้างอาคารต้านทานอุณหภูมิ 300 C° เกิดจากภายนอกอาคาร5ชั้นและ2ชั้น .....	106
4.2.3 ผลการวิเคราะห์เพื่อออกแบบเปรียบเทียบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน 300บาร์และอุณหภูมิ300 C° ที่เกิดจากภายนอกอาคาร2ชั้นและ5ชั้น .....	113
4.3 ผลการวิเคราะห์เพื่อออกแบบเปรียบเทียบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300 บาร์และอุณหภูมิที่300 C°(In-External load) โครงสร้างอาคารอาคาร2ชั้น และ 5ชั้น .....	120
4.3.1 ผลการวิเคราะห์เพื่อออกแบบเปรียบเทียบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน 300 บาร์ที่เกิดจากภายนอกและภายในอาคาร2ชั้นและ5ชั้น.....	121
4.3.2 ผลการวิเคราะห์เพื่อออกแบบเปรียบเทียบโครงสร้างอาคารต้านทานอุณหภูมิ 300 C°ที่เกิดจากภายนอกและภายในอาคาร2ชั้นและ5ชั้น .....	128
4.3.3 ผลการวิเคราะห์เพื่อออกแบบเปรียบเทียบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน 300 บาร์และอุณหภูมิ300C°ที่เกิดจากภายนอกและภายในอาคาร2ชั้นและ5 ชั้น .....	135
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย .....	144
5.สรุปผลการวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดันและอุณหภูมิ (Summarize of research result) .....	144
6. สรุปการวิจัย (Conclusion research) .....	147
เอกสารอ้างอิง.....	
ภาคผนวก ผลงานวิจัยในระหว่างการศึกษาที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	
ประวัติผู้เขียน.....	

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางที่ 2.1 น้ำหนักบรรทุกคงที่(DL)ของวัสดุโครงสร้างอาคาร .....	7
2.2 น้ำหนักบรรทุกจร(LL) สำหรับโครงสร้างอาคาร (ข้อบัญญัติของ กทม. พ.ศ. 2522) .....	8
2.3 แรงแลม(Wind load)ขั้นต่ำสำหรับส่วนของอาคาร (ข้อบัญญัติของกทม. พ.ศ.2522)	9
2.4 แรงแด็งกลับและค่าสัมประสิทธิ์ .....	47
4.1 ตารางแสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง Reaction force และ Reaction moment ของ เสา(Column),คาน(Beam) และพื้น(Slab) จากแรงดัน300บาร์(Bar) .....	82
4.2 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300 บาร์ ส่วนของ เสา(Column).....	83
4.3 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300 บาร์ ส่วนของ คาน (Beam) .....	85
4.4 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300 บาร์ ส่วนของ พื้น (Slab) .....	87
4.5 แสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง Reaction force และ Reaction moment ของ เสา(Column),คาน(Beam) และพื้น(Slab) จากอุณหภูมิ300C°.....	88
4.6 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานอุณหภูมิ 300C° ส่วนของ เสา (Column) .....	89
4.7 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานอุณหภูมิ 300 C° ส่วนของ คาน (Beam) .....	91
4.8 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานอุณหภูมิ 300 C° ส่วนของ พื้น (Slab) .....	92
4.9 แสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง Reaction force และ Reaction moment ของ เสา(Column),คาน(Beam) และพื้น(Slab) จากแรงดัน300บาร์(Bar)และอุณหภูมิ300 C°	93
4.10 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์ และอุณหภูมิ300 C° ส่วนของ เสา(Column) .....	95
4.11 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน 300บาร์และอุณหภูมิ300 C° ส่วนของ คาน (Beam) .....	96
4.12 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์ และอุณหภูมิ300 C°(Combine load) ส่วนของ พื้น (Slab) .....	98

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.13 แสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง Reaction force และ Reaction moment ของ เสา (Column),คาน(Beam) และพื้น(Sab) จากแรงดัน300บาร์(Bar)ของอาคาร5ชั้น และ2ชั้น .....	100
4.14 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้นด้านทานแรงดัน300บาร์ ส่วนของ เสา(Column) .....	102
4.15 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ด้านทานแรงดัน300บาร์ ส่วนของ คาน(Beam) .....	104
4.16 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้นด้านทานแรงดัน300บาร์ ส่วนของ พื้น(Slab) .....	106
4.17 แสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง Reaction force และ Reaction moment ของเสา (Column),คาน(Beam) และพื้น(Sab) จากอุณหภูมิ 300 Co ของอาคาร5ชั้นและ 2ชั้น .....	107
4.18 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ด้านทานอุณหภูมิ 300 C°ส่วนของ เสา(Column) .....	109
4.19 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้นด้านทานอุณหภูมิ 300 C°ส่วนของ คาน(Beam) .....	111
4.20 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้นด้านทานอุณหภูมิ 300 C° ส่วนของ พื้น(Slab) .....	113
4.21 แสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง Reaction force และ Reaction moment ของเสา (Column),คาน(Beam) และพื้น(Sab) จากแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C° ของอาคาร5ชั้นและ2ชั้น .....	114
4.22 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้นด้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C°ส่วนของ เสา(Column) .....	116
4.23 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้นด้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300C° ส่วนของ คาน(Beam) .....	118
4.24 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้นด้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300C°ส่วนของ พื้น(Slab) .....	120

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.25 แสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง Reaction force และ Reaction moment ของเสา (Column),คาน(Beam) และพื้น(Sab) จากแรงดัน300บาร์(Bar)ของอาคาร5ชั้น และ2ชั้น .....	122
4.26 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้นต้านทานแรงดัน300บาร์ (In-External load) ส่วนของ เสา(Column) .....	123
4.27 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้นต้านทานแรงดัน300บาร์(In-External load) ส่วนของ คาน(Beam) .....	126
4.28 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้นต้านทานแรงดัน300บาร์(In-External load) ส่วนของ พื้น(Slab) .....	128
4.29 แสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง Reaction force และ Reaction moment ของ เสา (Column),คาน(Beam) และพื้น(Sab) จากอุณหภูมิ300C°ของอาคาร5ชั้นและ2ชั้น .	129
4.30 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้นต้านทานอุณหภูมิ300C° (In-External load) ส่วนของ เสา(Column) .....	131
4.31 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้นต้านทานอุณหภูมิ300C° (In-External load) ส่วนของ คาน(Beam) .....	133
4.32 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้นต้านทานอุณหภูมิ300C° (In-External load) ส่วนของ พื้น(Slab) .....	135
4.33 แสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง Reaction force และ Reaction moment ของ เสา (Column),คาน(Beam) และพื้น(Sab) จากแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C°ของอาคาร5ชั้นและ2ชั้น .....	136
4.34 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้นต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° (In-External load) ส่วนของ เสา(Column) .	138
4.35 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้นต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C°(In-External load) ส่วนของ คาน (Beam) ..	140

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่

4.36 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้นต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300Co(In-External load) ส่วนของ พื้น(Slab) .....	142
5.1 Reaction Force และ Reaction moment เสาคาน และ พื้น (Internal Load) ...	144
5.2 Reaction Force และ Reaction moment เสาคาน และ พื้น (External Load) ...	145
5.3 Reaction Force และ Reaction moment เสาคาน และ พื้น (In-External Load) ..	145



## สารบัญรูป

ภาพประกอบที่	หน้า
2.1 ค่าแรงลมที่กระทำตั้งฉากต่อโครงหลังคาที่เป็นโครงจั่ว .....	10
2.2 ระบบมวลยึดกับสปริง .....	14
2.3 การกระจัดของวัตถุที่เป็นฟังก์ชันของเวลา .....	14
2.4 กราฟแสดงการกระจัด (a) ความเร็ว (b) และความเร่ง (c) ของวัตถุที่เป็นฟังก์ชันของเวลา .....	15
2.5 การออสซิลเลตของวัตถุมวล $m$ ที่ยึดติดกับสปริง .....	16
2.6 การออสซิลเลตแบบมีความหน่วง .....	17
2.7 การเปลี่ยนแปลงของการกระจัดกับเวลา .....	18
2.8 การเคลื่อนที่แบบ undamped, critically damped และ over damped .....	18
2.9 ตัวอย่างปัญหาทางโครงสร้างแบบง่าย ๆ .....	20
2.10 ลักษณะเอลิเมนต์แบบอย่างสำหรับโครงสร้าง .....	20
2.11 สปริงเอลิเมนต์ .....	22
2.12 แผนผังแสดงขั้นตอนการออกแบบอาคารต้านทานแรงระเบิดของอาคารปิโตรเคมีคอล	24
2.13 ลักษณะรูปร่างของการระเบิดแบบที่เป็นคลื่นระเบิด .....	27
2.14 Typical Stress-Strain Curve for concrete (From ASCE Manual 42) .....	28
2.15 Typical Stress-Strain Curve for Steel (From ASCE Manual 42) .....	30
2.16 Effect of Strain Rate on Stress-Strain Curve for Steel (From TM 5-1300).	31
2.17 Effect of Strain Rate on Stress-Strain Curve for Concrete (From TM5-1300)	31
2.18 Effect of Strain Rate on Dynamic Material Strength (From TM 5-1300) .....	32
2.19 Compressive strength of concretes at high temperatures .....	33
2.20 Force Acting on Primary Structural Elements .....	35
2.21 Typical Structure Represented as Equivalent SDOF System .....	35
2.22 SDOF Model for Dynamic Analysis .....	36
2.23 Typical MDOF Structure .....	37
2.24 Typical Moment Versus Curvature Diagram .....	41
2.25 Resistance Function For Member With Sequential plastic Hinges .....	42
2.26 Typical Simplified Elasto - Plastic Resistance Function .....	42
2.27 External forces on a foundation (from TM5-856) .....	45

## สารบัญรูป (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
2.28 ระดับค่าแรงคลื่นสะท้อนในอากาศ .....	46
2.29 ค่าสัมประสิทธิ์พื้นผิวแรงดึงกลับเฉลี่ยสำหรับโครงสร้างสี่เหลี่ยม .....	48
2.30 โหลดบนโครงสร้างสี่เหลี่ยมปิดเหนือพื้นดิน .....	48
2.31 Shock phenomenon in Strong Mach Reflections .....	50
2.32 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของ Overpressure และแบบไดนามิกกับเวลาในจุด .....	51
3.1 แสดงแผนผังภายในชั้นที่1 อาคารต้านทานแรงดันและอุณหภูมิ .....	53
3.2 แสดงแผนผังภายในชั้นที่2 อาคารต้านทานแรงดันและอุณหภูมิ .....	53
3.3 แสดงอุปกรณ์ที่ติดตั้งภายในชั้นที่1 ห้องการผสมแก๊ส (Mixing Gas) อาคารต้านทานแรงดันและอุณหภูมิ .....	54
3.4 โครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์กระทำภายในอาคาร .....	55
3.5 Load แรงดัน 300บาร์กระทำภายในโครงสร้างอาคาร .....	55
3.6 Load แรงดัน300บาร์กระทำโครงสร้างเสา (Column) .....	56
3.7 Load แรงดัน300บาร์ กระทำโครงสร้างคาน (Beam) .....	56
3.8 โหลด (Load) แรงดัน300บาร์ กระทำโครงสร้างพื้น (Slab) .....	56
3.9 โครงสร้างอาคารต้านทานอุณหภูมิ300C <sup>o</sup> กระทำภายในโครงสร้างอาคาร .....	57
3.10 Load อุณหภูมิ 300 C <sup>o</sup> กระทำภายในโครงสร้างอาคาร .....	57
3.11 Load อุณหภูมิ300 C <sup>o</sup> กระทำโครงสร้างเสา (Column) .....	58
3.12 Load อุณหภูมิ300 C <sup>o</sup> กระทำโครงสร้างคาน (Beam) .....	58
3.13 Load อุณหภูมิ300 C <sup>o</sup> กระทำโครงสร้างพื้น (Slab) .....	59
3.14 โครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300 C <sup>o</sup> กระทำภายใน โครงสร้างอาคาร .....	59
3.15 Load แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ (Temperature) 300 C <sup>o</sup> กระทำภายในโครงสร้างอาคาร .....	60
3.16 Load แรงดัน300บาร์(Pressure)และอุณหภูมิ300 C <sup>o</sup> กระทำโครงสร้างเสา (Column) .....	60
3.17 Load แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300 C <sup>o</sup> กระทำโครงสร้างคาน(Beam).....	61
3.18 Load แรงดัน300บาร์(pressure) และอุณหภูมิ300 C <sup>o</sup> กระทำโครงสร้างพื้น (Slab) .....	61
3.19 โครงสร้างอาคาร2ชั้นและ5ชั้น แผนผังที่ติดตั้งอุปกรณ์แรงดันแก๊ส .....	62
3.20 อาคาร5ชั้นและ2ชั้น แรงดัน300บาร์ กระทำภายนอกโครงสร้างอาคาร .....	62
3.21 Load แรงดัน (Pressure) 300บาร์กระทำภายนอกโครงสร้างอาคาร5ชั้น .....	63

## สารบัญรูป (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
3.22 Load แรงดัน(Pressure) 300บาร์กระทำภายนอกโครงสร้างอาคาร2ชั้น .....	63
3.23 Load แรงดัน300บาร์ กระทำภายนอกโครงสร้างเสา (Column) อาคาร5ชั้น ....	63
3.24 Load แรงดัน300บาร์ กระทำภายนอกโครงสร้างเสา (Column) อาคาร2ชั้น .....	64
3.25 Load แรงดัน300บาร์ กระทำภายนอกโครงสร้างคาน (Beam) อาคาร5ชั้น .....	64
3.26 Load แรงดัน300บาร์ กระทำภายนอกโครงสร้างคาน(Beam)อาคาร2ชั้น .....	64
3.27 Load แรงดัน300บาร์กระทำภายนอกโครงสร้างพื้น (Slab)อาคาร5ชั้น .....	65
3.28 Load แรงดัน300บาร์(Bar)กระทำภายนอกโครงสร้างพื้น(Slab)อาคาร2ชั้น .....	65
3.29 อาคาร5ชั้นและ2ชั้น อุณหภูมิ300 C° กระทำภายนอกโครงสร้างอาคาร .....	65
3.30 Load อุณหภูมิ300 C°กระทำภายนอกโครงสร้างอาคาร5ชั้น .....	66
3.31 Load อุณหภูมิ 300C° กระทำภายนอกโครงสร้างอาคาร2ชั้น .....	66
3.32 Load อุณหภูมิ300C° กระทำภายนอกโครงสร้างเสา (Column) อาคาร5ชั้น .....	66
3.33 Load อุณหภูมิ300C° กระทำภายนอกโครงสร้างเสา (Column) อาคาร2ชั้น .....	67
3.34 Load อุณหภูมิ300 C° กระทำภายนอกโครงสร้างคาน (Beam) อาคาร5ชั้น .....	67
3.35 Load อุณหภูมิ300 C° กระทำภายนอกโครงสร้างคาน (Beam)อาคาร2ชั้น .....	67
3.36 Load อุณหภูมิ300 C° กระทำภายนอกโครงสร้างพื้น (Slab)อาคาร5ชั้น .....	68
3.37 Load อุณหภูมิ300 C° กระทำภายนอกโครงสร้างพื้น (Slab)อาคาร2ชั้น .....	68
3.38 โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300 C°กระทำภายนอก โครงสร้างอาคาร .....	68
3.39 Load แรงดัน 300บาร์และอุณหภูมิ300C°กระทำภายนอกโครงสร้างอาคาร5ชั้น.....	69
3.40 Load แรงดัน 300บาร์และ อุณหภูมิ 300C° กระทำภายนอกโครงสร้างอาคาร2ชั้น.	70
3.41 Load แรงดัน300บาร์ และ อุณหภูมิ300C°กระทำภายนอกโครงสร้างเสา (Column) อาคาร5ชั้น.....	70
3.42 Load แรงดัน300บาร์ และ อุณหภูมิ300C° กระทำภายนอกโครงสร้างเสา (Column) อาคาร2ชั้น .....	70
3.43 Load แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° กระทำภายนอกโครงสร้างคาน (Beam) อาคาร5ชั้น .....	71
3.44 Load แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C°กระทำภายนอก โครงสร้างคาน (Beam) อาคาร2ชั้น .....	71

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
ภาพประกอบที่	
3.45 Load แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° กระทำภายนอกโครงสร้างพื้น(Slab) อาคาร5ชั้น .....	71
3.46 Load แรงดัน300บาร์ และอุณหภูมิ300 C° กระทำภายนอกโครงสร้างพื้น(Slab) อาคาร2ชั้น .....	72
3.47 แผนผังติดตั้งอุปกรณ์แรงดันแก๊ส .....	72
3.48 โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น .....	73
3.49 อาคาร5ชั้นและ2ชั้น แรงดัน300บาร์ กระทำภายนอกและภายในโครงสร้างอาคาร...	73
3.50 Load แรงดัน300บาร์กระทำภายนอกและภายในโครงสร้างอาคาร5ชั้นอาคารและ 2ชั้น .....	74
3.51 Load แรงดัน300บาร์ กระทำภายนอกและภายใน โครงสร้างเสา (Column) อาคาร 5ชั้นและ2ชั้น .....	74
3.52 Load แรงดัน300บาร์ กระทำภายนอกและภายใน โครงสร้างคาน (Beam) อาคาร 5ชั้นและ2ชั้น .....	74
3.53 Load แรงดัน300บาร์ กระทำภายนอกและภายใน โครงสร้างพื้น (Slab) อาคาร5ชั้น และ2ชั้น .....	75
3.54 อาคาร5ชั้นและ2ชั้นอุณหภูมิ300 C° กระทำภายนอกและภายในโครงสร้างอาคาร.	75
3.55 Load อุณหภูมิ300 C° กระทำภายนอกและภายในโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ 2ชั้น	76
3.56 Load อุณหภูมิ300Co กระทำภายนอกและภายใน โครงสร้างเสา (Column)อาคาร 5ชั้นและ2ชั้น .....	76
3.57 Load อุณหภูมิ300 C°กระทำภายนอกและภายใน โครงสร้างคาน (Beam)อาคาร 5ชั้นและ2ชั้น .....	77
3.58 Load อุณหภูมิ300 C°กระทำภายนอกและภายใน โครงสร้างพื้น (Slab)อาคาร5ชั้น และ2ชั้น .....	77
3.59 อาคาร5ชั้นและ2ชั้นอุณหภูมิ300 C°และแรงดัน300บาร์ กระทำภายนอกและภายใน โครงสร้างอาคาร .....	77
3.60 Load อุณหภูมิ300C° และแรงดัน300บาร์ กระทำภายนอกและภายในโครงสร้าง อาคาร5ชั้นและ2ชั้น .....	78
3.61 Load อุณหภูมิ300C°และแรงดัน300บาร์ กระทำภายนอกและภายใน โครงสร้างเสา (Column) อาคาร5ชั้นและ2ชั้น .....	78

## สารบัญรูป (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
3.62 Load อุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$ และแรงดัน300บาร์ กระทำภายนอกและภายใน โครงสร้างคาน(Beam) อาคาร5ชั้นและ2ชั้น .....	79
3.63 Load อุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$ และแรงดัน300บาร์ กระทำภายนอกและภายใน โครงสร้างพื้น(Slab)อาคาร5ชั้นและ2ชั้น .....	79
4.1 ผลกระทบของแรงดัน300บาร์กระทำภายในโครงสร้างอาคาร .....	82
4.2 ผลวิเคราะห์โครงสร้าง แรงดัน300บาร์กระทำที่บริเวณ เสา (Column) .....	83
4.3 การออกแบบหน้าตัดเสาและเหล็กเสริม อาคารต้านทานแรงดัน300บาร์ (Bar) .....	83
4.4 ผลวิเคราะห์โครงสร้าง แรงดัน300บาร์กระทำที่บริเวณ คาน (Beam) .....	84
4.5 การออกแบบหน้าตัด คานและเหล็กเสริม อาคารต้านทานแรงดัน300บาร์ (Bar) .....	85
4.6 ผลวิเคราะห์โครงสร้าง แรงดัน300บาร์กระทำที่บริเวณ พื้น (Slab) .....	86
4.7 การออกแบบหน้าตัด พื้น และเหล็กเสริม อาคารต้านทานแรงดัน300บาร์ (Bar) .....	86
4.8 ผลกระทบของอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$ กระทำภายในโครงสร้างอาคาร .....	87
4.9 ผลวิเคราะห์โครงสร้าง อุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$ กระทำที่บริเวณ เสา (Column) .....	88
4.10 การออกแบบหน้าตัดเสาและเหล็กเสริม อาคารต้านทานอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$ .....	89
4.11 ผลวิเคราะห์โครงสร้าง อุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$ กระทำที่บริเวณ คาน (Beam) .....	90
4.12 การออกแบบหน้าตัด คานและเหล็กเสริม อาคารต้านทานอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$ .....	90
4.13 ผลวิเคราะห์โครงสร้าง อุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$ กระทำที่บริเวณ พื้น (Slab) .....	91
4.14 การออกแบบหน้าตัด พื้น และเหล็กเสริม อาคารต้านทานอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$ .....	92
4.15 ผลกระทบของแรงดัน300บาร์ (Bar)และอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$ กระทำภายในโครงสร้างอาคาร .....	93
4.16 ผลวิเคราะห์โครงสร้าง แรงดัน300บาร์(Bar)และอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$ กระทำที่บริเวณ เสา(Column) .....	94
4.17 การออกแบบหน้าตัดเสาและเหล็กเสริม อาคารต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$ .....	94
4.18 ผลวิเคราะห์โครงสร้าง แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$ กระทำที่บริเวณ คาน (Beam) .....	95
4.19 การออกแบบหน้าตัด คานและเหล็กเสริม อาคารต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$ .....	96

## สารบัญรูป (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4.20 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300 C° กระทำที่บริเวณ พื้น(Slab) .....	97
4.21 การออกแบบหน้าตัด พื้น และเหล็กเสริม อาคารต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C° .....	98
4.22 ผลกระทบของแรงดัน300บาร์(Bar)กระทำภายนอกโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ..	99
4.23 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น แรงดัน300บาร์ (Bar)กระทำ ภายนอกที่ บริเวณ เสา(Column) .....	101
4.24 การออกแบบหน้าตัดเสาและเหล็กเสริม โครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ2ชั้นต้านทาน แรงดัน300บาร์ .....	101
4.25 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น แรงดัน300บาร์กระทำภายนอกที่บริเวณ คาน(Beam) .....	102
4.26 การออกแบบหน้าตัด คานและเหล็กเสริม อาคารต้านทานแรงดัน300บาร์ .....	103
4.27 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น แรงดัน300บาร์(Bar) กระทำภายนอกที่ บริเวณ พื้น(Slab) .....	105
4.28 การออกแบบหน้าตัดความหนาพื้นและเหล็กเสริม โครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ2ชั้น ต้านทานแรงดัน300บาร์ .....	105
4.29 ผลกระทบของอุณหภูมิ 300 C° กระทำภายนอกโครงสร้างอาคาร2ชั้นและ5ชั้น .....	106
4.30 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้นอุณหภูมิ 300 C°กระทำภายนอกที่บริเวณ เสา(Column) .....	108
4.31 การออกแบบหน้าตัดเสาและเหล็กเสริม โครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ2ชั้นต้านทาน อุณหภูมิ 300 C° .....	108
4.32 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น อุณหภูมิ 300 C°กระทำภายนอกที่ บริเวณ คาน(Beam) .....	109
4.33 การออกแบบหน้าตัด คานและเหล็กเสริม อาคารต้านทานอุณหภูมิ 300 C° .....	110
4.34 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น อุณหภูมิ 300 C°กระทำภายนอกที่ บริเวณ พื้น(Slab) .....	112
4.35 การออกแบบหน้าตัดความหนาพื้นและเหล็กเสริม โครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ2ชั้น ต้านทานอุณหภูมิ 300 C° .....	112

## สารบัญรูป (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4.36 ผลกระทบของแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C° กระทำภายนอกโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น .....	113
4.37 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C° กระทำภายนอกที่บริเวณ เสา(Column) .....	115
4.38 การออกแบบหน้าตัดเสาและเหล็กเสริม โครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ2ชั้นต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C° .....	115
4.39 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C° กระทำภายนอกที่บริเวณ คาน(Beam) .....	116
4.40 การออกแบบหน้าตัด คานและเหล็กเสริม อาคารต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C° .....	117
4.41 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C° กระทำภายนอกที่บริเวณ พื้น (Slab) .....	119
4.42 การออกแบบหน้าตัดความหนาพื้นและเหล็กเสริม โครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ2 ชั้นต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C° .....	119
4.43 ผลกระทบของแรงดัน300บาร์(Bar) (In-External load)ในโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น .....	121
4.44 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น แรงดัน300บาร์(Bar) (In-External load) ที่บริเวณ เสา (Column) .....	122
4.45 การออกแบบหน้าตัดเสาและเหล็กเสริม โครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ2ชั้นต้านทานแรงดัน300บาร์ (In-External load) .....	123
4.46 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น แรงดัน300บาร์(In-External load)ที่บริเวณ คาน(Beam) .....	124
4.47 การออกแบบหน้าตัด คานและเหล็กเสริม อาคารต้านทานแรงดัน300บาร์ (In-External load) .....	125
4.48 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น แรงดัน300บาร์(Bar) (In-External load) ที่บริเวณ พื้น (Slab) .....	127
4.49 การออกแบบหน้าตัดความหนาพื้นและเหล็กเสริม โครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ2ชั้นต้านทานแรงดัน300บาร์ .....	127

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
ภาพประกอบที่	
4.50 ผลกระทบของ Temperature 300 C° (In-External load) โครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น .....	128
4.51 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น อุณหภูมิ 300 C° (In-External load) ที่ บริเวณ เสา (Column) .....	130
4.52 การออกแบบหน้าตัดเสาและเหล็กเสริม โครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น ด้านทาน อุณหภูมิ 300 C° (In-External load) .....	130
4.53 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น อุณหภูมิ 300 C° (In-External load) ที่ บริเวณ คาน (Beam) .....	131
4.54 การออกแบบหน้าตัด คานและเหล็กเสริม อาคารด้านทานอุณหภูมิ 300 C° (In-External load) .....	132
4.55 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น อุณหภูมิ 300 C° (In-External load) ที่ บริเวณ พื้น (Slab) .....	134
4.56 การออกแบบหน้าตัด คานและเหล็กเสริม อาคารด้านทานอุณหภูมิ 300 C° (In-External load) .....	134
4.57 ผลกระทบของ Temperature 300 C° (In-External load) โครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น .....	135
4.58 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น (In-External load) ที่ บริเวณ เสา (Column) แรงดัน 300 บาร์ และ อุณหภูมิ 300 C° .....	137
4.59 การออกแบบหน้าตัดเสาและเหล็กเสริม โครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น ด้านทานแรง ดัน 300 บาร์ และ อุณหภูมิ 300 C° (In-External load) .....	137
4.60 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น (In-External load) ที่ บริเวณ คาน (Beam) แรงดัน 300 บาร์ และ อุณหภูมิ 300 C° .....	138
4.61 การออกแบบหน้าตัด คานและเหล็กเสริม อาคารด้านทานแรงดัน 300 บาร์ และ อุณหภูมิ 300 C° (In-External load) .....	139
4.62 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น (In-External load) ที่ บริเวณ พื้น (Slab) แรงดัน 300 บาร์ และ อุณหภูมิ 300 C° .....	141
4.63 การออกแบบหน้าตัด คานและเหล็กเสริม อาคารด้านทานแรงดัน 300 บาร์ และ อุณหภูมิ 300 C° (In-External load) .....	141

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

หลายสิบปีที่ผ่านมาการออกแบบโครงสร้างอาคารต่าง ๆ สำหรับอุตสาหกรรมและการอยู่อาศัยโดยทั่วไปจะคำนึงถึงประโยชน์การใช้สอยและการรับน้ำหนักของโครงสร้างอาคาร แต่สำหรับโครงสร้างอาคารอีกประเภทหนึ่ง ที่การออกแบบจะต้องคำนึงถึงโหลดที่เกิดจากแรงระเบิด นอกเหนือจากการรับน้ำหนักแล้วยังมีโครงสร้างอาคารสำหรับอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดการระเบิดที่ประกอบไปด้วยแรงดันและอุณหภูมิโดยคำนึงถึงโหลดที่กระทำนอกเหนือจากการรับน้ำหนักโดยทั่วไป

สำหรับอาคารสถานประกอบการต่าง ๆ ที่อาจก่อให้เกิดการระเบิด ซึ่งการระเบิดจะประกอบไปด้วยแรงดันและอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเสียหายให้กับโครงสร้างอาคาร อาคารต้านทานความดันและอุณหภูมิ(High Temperature and High Pressure Building Resistant) เป็นอาคารอีกประเภทหนึ่งที่จะต้องออกแบบโครงสร้างอาคารเพื่อที่จะต้านทานต่อแรงดันและอุณหภูมิ เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเคมี, โรงไฟฟ้า, งานวิจัยด้านเชื้อเพลิงที่เป็นพลังงานและเชื้อเพลิงพลังงานทางเลือก, อาคารเก็บแก๊ส รวมถึงอาคารเก็บอาวุธวัตถุระเบิดและอื่น ๆ ที่อาจก่อให้เกิดการระเบิด สำหรับอุตสาหกรรมที่มีความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดการระเบิดในกลุ่มพลังงานของการผสมแก๊ส(GAS)ประเภทต่าง ๆ เช่น  $N_2$  ,  $H_2$  ,  $CO_2$  ,  $O_2$  , LPG , LNG และ Helium (He) อาคารประเภทนี้จะออกแบบให้มีพื้นที่สำหรับการทดสอบการผสมแก๊สด้วยแรงดันและอุณหภูมิสูง โดยจะกำหนดให้มีพื้นที่ ๆ เป็นอันตราย(Hazardous Area) และพื้นที่ความปลอดภัย (Safety Area) ในแผนผังของพื้นที่ทั้งภายในและภายนอกอาคารแต่ละพื้นที่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีโครงสร้างอาคารที่มีความแข็งแรงเพียงพอที่สามารถต้านทานแรงดันและอุณหภูมิ อาคารประเภทนี้จะเป็อาคารที่ถูกออกแบบมาเพื่อต้านทานต่อแรงดัน, อุณหภูมิและแรงดันการควมรวมระหว่างแรงดันกับอุณหภูมิ เพื่อที่จะไม่ก่อให้เกิดการพังทลายอย่างรวดเร็วหรือไม่เกิดการพังทลายของโครงสร้างอาคารเมื่อเกิดการระเบิด การระเบิดจะมีปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่มีความเร็วเหนือเสียง วัสดุระเบิดจะถูกแปลงเป็นอุณหภูมิสูงและความดันสูง ก๊าซและอากาศจะขยายตัวอย่างรวดเร็วที่มีลักษณะของคลื่นที่เกิดจากระเบิด โหลดที่กระทำต่อโครงสร้างอาคารจะมีความแตกต่างไปจาก โหลด(Load) ที่ถูกกระทำจากแรงแผ่นดินไหวและแรงที่ถูกกระทำจากแรงลม (seismic Load and wind loads) เนื่องจากระยะเวลาของ โหลด(Load) ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดจะรุนแรงและเป็นไปอย่างต่อเนื่องรวดเร็วกว่ามาก นับหน่วยเป็นวินาที(Milliseconds)รวมถึงปริมาณความร้อนที่สูงจากการระเบิด

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงระเบิดที่ประกอบด้วย แรงดันและอุณหภูมิ ซึ่งโครงสร้างอาคารที่อาจก่อให้เกิด เช่น อาคารโรงไฟฟ้า, อาคารผลิตบรรจุแก๊ส ชนิดต่าง ๆ ,อุตสาหกรรมปิโตรเคมี (Petrochemical Building) และอาคารเก็บอาวุธวัตถุระเบิดที่ อาจก่อให้เกิดการระเบิดเพื่อประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับดังต่อไปนี้

1.2.1 แนวทางการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงระเบิดที่เกิดจากแรงจากภายนอก, ภายในและทั้งภายนอกภายในอาคารรวมถึงพิจารณาความเหมาะสมของความสูงของอาคาร

1.2.2 ผลที่ได้จากการออกแบบโครงสร้างสามารถนำไปใช้พัฒนาเพื่อเป็นประโยชน์สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี, โครงสร้างอาคารเก็บอาวุธวัตถุระเบิดและ อาคารโรงงานไฟฟ้า

1.2.3 สามารถพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับนวัตกรรมใหม่เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับการ ออกแบบโครงสร้างอาคารที่มีลักษณะคล้ายกันในอนาคต เช่น ห้องทดลองในอุตสาหกรรมการผสม แก๊สชนิดต่าง ๆ ,ห้องทดลองในอุตสาหกรรมนิวเคลียร์และอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่อาจก่อให้เกิดการ ระเบิด

## 1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย

1.3.1 การระเบิดที่เกิดขึ้นจะประกอบไปด้วยแรงดันและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและ รุนแรงพอที่จะทำให้เกิดความเสียหายให้กับโครงสร้างอาคาร

1.3.2 การควบรวมกันระหว่างแรงดันและอุณหภูมิเนื่องมาจากการรวมตัวของแก๊สก่อให้เกิด การระเบิดทำให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างอาคารและบริเวณโดยรอบ

1.3.3 เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของเหล็กและคอนกรีตโดยรวมแล้วจะพบว่าเหล็กจะมี ความสามารถในการต้านต่ออุณหภูมิได้น้อยกว่าคอนกรีตและคอนกรีตจะมีความสามารถในการ ต้านทานอัตราการยืดได้น้อยกว่าเหล็ก

1.3.4 ลักษณะของแรงดันที่เกิดขึ้นจากการระเบิด แรงดันจะดันตัวผ่านชั้นบรรยากาศขึ้นไป จากนั้นก็จะดันตัวผ่านชั้นบรรยากาศลงมาเป็นลักษณะของคลื่นที่ต่อเนื่องกัน

1.3.5 การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากการระเบิดเนื่องจากการอัดอากาศที่แรงดันผ่านชั้น บรรยากาศลงมาอย่างต่อเนื่อง

1.3.6 การระเบิดที่เกิดขึ้นอาจเกิดขึ้นได้ทั้งภายใน, ภายนอก รวมถึงภายในและภายนอก อาคาร

1.3.7 แรงดันและอุณหภูมิที่เกิดจากการระเบิดจะมีผลต่อความสูงของโครงสร้างอาคารและความเหมาะสมของการออกแบบใช้งานในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีหรืออาคารที่อาจก่อให้เกิดการระเบิด

1.3.8 การระเบิดที่เกิดขึ้น แรงดันที่เกิดจากการระเบิด จะดันตัวจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนช่วงนี้จะเรียกว่า positive จากนั้นจะดันตัวผ่านชั้นบรรยากาศลงด้านล่างช่วงนี้จะเรียกว่า Negative ซึ่งทั้งสองช่วงจะมีความรวดเร็วและรุนแรง จากนั้นแรงดันจะกระจายตัวไปเป็นวงรอบอย่างต่อเนื่องและค่อยๆอ่อนกำลังลงไป (ASCE TM5-1300) อุณหภูมิที่ขึ้นจะเกิดในช่วงที่มีแรงดันที่เกิดจากการขยายและรวมตัวของแก๊สชนิดต่าง ๆ โดยที่อาคารที่มีความสูงมากกว่า (5 ชั้น) จะรับโหลดที่กระทำก่อนและมากกว่าอาคารที่สูงน้อยกว่า (2 ชั้น)

## 1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดันและอุณหภูมิรวมถึงควมรวมกันของแรงดันและอุณหภูมิที่เกิดจาก ภายใน, ภายนอกและภายใน, ภายนอกอาคารพร้อมกันของอาคาร ที่แรงดัน 300 บาร์และอุณหภูมิ 300°C ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีการผสมของแก๊สชนิดต่าง ๆ ( $N_2$ ,  $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$ , LPG, LNG และ Helium (He) โดยการจำลองแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังนี้

1.4.1 โครงสร้างอาคารที่ออกแบบสำหรับงานวิจัยนี้เป็นโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและการวิจัยด้านพลังงาน (ปิโตรเลียม) ซึ่งมีโหลด (Load) ที่เกิดจากภายใน, ภายนอกและภายใน-ภายนอกพร้อมกัน โดยการวิเคราะห์ออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.4.2 โครงสร้างอาคารที่ออกแบบมีโหลด (Load) ที่กระทำต่อโครงสร้างอาคาร แรงดัน, อุณหภูมิ และ น้ำหนักบรรทุก ที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างอาคารนำมาวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ACI 318-08 (ACI Committee 318, 2008) และ ASCE Standard-Design Blast Resistant Building in Petrochemical ที่มีแรงกระทำสม่ำเสมอ (Uniform Direction) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.4.3 แรงดันและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะใช้ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดันและอุณหภูมิ ซึ่งได้จากการผสมของแก๊สชนิดต่าง ๆ ( $N_2$ ,  $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$ , LPG, LNG และ Helium (He)

1.4.4 ผลของโหลด (Load) ที่ประกอบด้วย แรงดัน, อุณหภูมิและแรงดันที่ควมรวมไปกับอุณหภูมิ กระทำต่อโครงสร้างอาคารนำไปวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ เสา (Column), คาน (Beam) และ พื้น (Slab)

## 1.5 ขอบเขตวิธีการวิจัย

1.5.1 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทาน แรงดัน, อุณหภูมิ และแรงดันที่ควมรวมกับอุณหภูมิที่เป็นโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.5.2 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทาน แรงดัน, อุณหภูมิ และแรงดันที่ควบรวมกับ อุณหภูมิที่โหลด (Load) จากภายใน, ภายนอก, ภายในและภายนอก อาคาร

1.5.3 ออกแบบเปรียบเทียบโครงสร้างอาคารต้านทาน แรงดัน, อุณหภูมิ และแรงดันที่ควบ รวมกับอุณหภูมิที่โหลด (Load) กระทำภายนอกรวมถึงภายในและภายนอกโครงสร้างอาคารของ โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น

1.5.4 ออกแบบโครงสร้างอาคารที่ต้านทาน แรงดัน,อุณหภูมิและแรงดันที่ควบรวมกับ อุณหภูมิ ในระบบแบบ orthogonal ส่วนของ เสา(Column),คาน(Beam)และพื้น(Slab) ที่เป็น ชั้นส่วนหลักของโครงสร้าง

1.5.5 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทาน แรงดัน, อุณหภูมิ และแรงดันที่ควบรวมกับ อุณหภูมิที่เป็นโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่แรงดัน300barและอุณหภูมิที่เกิดขึ้น300C° ซึ่ง อุณหภูมิและแรงดันที่เกิดขึ้นเนื่องจากการผสมแก๊สชนิดต่างๆ

## 1.6 ข้อกำหนดและขอบเขต

1.6.1 แรงดันและอุณหภูมิที่ใช้เป็นโหลด(Load) ในการออกแบบโครงสร้างอาคารเป็นแรงดัน และอุณหภูมิของการผสมแก๊สชนิดต่าง ๆที่ใช้ประกอบไปด้วย  $N_2$ ,  $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$ , LPG, LNG และ Helium (He) โดยการนำมาผสมกัน(Gas Mxing) ซึ่งเมื่อเกิดการระเบิดจะมีแรงดัน300บาร์และ อุณหภูมิ300C° กระทำต่อโครงสร้างอาคาร

1.6.2 โครงสร้างอาคารที่ออกแบบจะพิจารณาเฉพาะในส่วนของ เสา(Column), คาน(Beam) และ พื้น(Slab) ซึ่งใช้เป็นโครงสร้างหลัก

1.6.3 รูปแบบของโครงสร้างอาคารจะใช้วิธีจำลองแบบโครงสร้างอาคารที่เป็นอาคาร5ชั้นและ2 ชั้นซึ่งโหลด(Load)กระทำจาก ภายใน,ภายนอกรวมถึงภายในและภายนอกโครงสร้างอาคาร

1.6.4 ศึกษาเฉพาะโครงสร้างอาคารที่การออกแบบเท่านั้นซึ่งโครงสร้างอาคารจะแตกต่างไป จากโครงสร้างอาคารโดยทั่วไปเนื่องจากเป็นโครงสร้างที่ต้องรับโหลด (Load)ที่เกิดจากแรงระเบิดซึ่ง ประกอบไปด้วยแรงดันและอุณหภูมิสำหรับงานวิจัยและทดลองพลังงานทางด้านปิโตรเคมี

1.6.5 แรงดันและอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาและออกแบบมีปริมาณแรงดัน300บาร์& อุณหภูมิ.300C° กระทำต่อโครงสร้างอาคาร

1.6.6 ออกแบบด้วยโครงสร้างอาคารด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของอาคารต้านทานแรงระเบิดใน อุตสาหกรรมปิโตรเคมี

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 แนวคิดและทฤษฎี

การออกแบบโครงสร้างอาคารโดยทั่วไปจะคำนึงถึงประโยชน์ใช้สอยภายในอาคารและความสามารถในการรับน้ำหนักซึ่งจะมีมาตรฐานข้อกำหนดเพื่อความปลอดภัยสำหรับอาคารซึ่งจะกำหนดไว้ในกฎการออกแบบโครงสร้างอาคาร ตัวอย่าง เช่น มาตรฐานกรมโยธาธิการ และวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) หรือข้อกำหนดตาม ACI 318 Building Code (American Concrete Institute)[12] ที่ปัจจุบันใช้กันโดยทั่วไป นอกเหนือจากการออกแบบโครงสร้างอาคารโดยทั่วไปแล้ว โครงสร้างอาคารที่ต้านทานต่อแรงระเบิด[1]ที่ประกอบด้วยโหลด (Load) ที่กระทำเป็น แรงดัน (Pressure) และอุณหภูมิ (Temperature) โครงสร้างอาคารประเภทนี้จะถูกออกแบบให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะต้านทานต่อแรงดัน (Pressure) และอุณหภูมิ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีข้อพิจารณาและศึกษา เช่น ASCE: Design of Blast Resistant Buildings in Petrochemical Facilities[1] , ASCE 42: Design of Structures to Resist Nuclear Weapons Effects[4] ที่ใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงระเบิดที่ประกอบไปด้วยแรงดัน (Pressure) และอุณหภูมิ

### 2.2 การวิเคราะห์และการออกแบบโครงสร้าง (Analysis and Design Structure)

การวิเคราะห์โครงสร้าง (Structure Analysis) [10] เป็นการคำนวณหาแรงปฏิกิริยา แรงภายในต่าง ๆ ตลอดจนหาค่าการโก่งตัวของโครงสร้าง เมื่อโครงสร้างต้องรับน้ำหนักบรรทุกหรือแรงกระทำ หรือจากสาเหตุอื่น เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การทรุดตัวของฐานรองรับ

การออกแบบโครงสร้าง (Structure Design)[10],[14] เป็นการคำนวณเพื่อหาขนาดหน้าตัดของส่วนโครงสร้างให้สามารถต้านทานแรงภายในต่าง ๆ ได้อย่างปลอดภัย ประหยัดและเหมาะสม ทั้งนี้รวมถึงการคำนวณออกแบบให้รายละเอียดต่าง ๆ เช่น การทำรอยต่อหรือข้อต่อ การจัดวางเหล็กเสริม ฯลฯ

โดยทั่วไป งานคำนวณออกแบบทางวิศวกรรมโครงสร้างก่อนจะนำไปดำเนินการก่อสร้างแบ่งเป็นสองขั้นตอน

2.2.1 การวางแผนและกำหนดรูปแบบของโครงสร้างที่เหมาะสมร่วมกับสถาปนิกเพื่อให้ได้รูปทรงของโครงสร้างที่มั่นคง แข็งแรง และ สะดวกต่อการใช้สอยหรือบำรุงรักษา

2.2.2 การวิเคราะห์และการออกแบบโครงสร้างตามหลักวิชาการและมาตรฐานของการออกแบบซึ่งขึ้นกับชนิดของวัสดุที่จะใช้ก่อสร้าง ในการวิเคราะห์โครงสร้างวิศวกรผู้ออกแบบต้องจำลองรูปโครงสร้างจากแบบแปลนของสถาปนิก จัดให้มีฐานรองรับที่เหมาะสมเพื่อให้โครงสร้างมีเสถียรภาพมั่นคงสามารถถ่ายทอดแรงหรือน้ำหนักบรรทุกที่กระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากนั้นจึงกำหนดขนาดของส่วนโครงสร้างที่ควรใช้ขึ้นมาก่อนโดยอาศัยประสบการณ์ แล้วทำการวิเคราะห์โครงสร้างหาแรงปฏิกิริยา ตลอดจนแรงภายในต่าง ๆ เช่น แรงตามแนวแกน แรงเฉือน โมเมนต์ดัด โมเมนต์บิด หรือหน่วยแรงอื่น ๆ ที่จะเกิดขึ้นเนื่องมาจากน้ำหนักของโครงสร้างเองและน้ำหนักบรรทุกจากภายนอกขณะที่ส่วนโครงสร้างนั้นจะต้องรับหรือต้านทานตลอดอายุของการใช้งาน ผลวิเคราะห์ที่ได้จะนำไปพิจารณาออกแบบเพื่อหาขนาดหน้าตัดของส่วนโครงสร้างตามหลักวิชาการของการออกแบบโครงสร้างภายใต้มาตรฐานหรือข้อกำหนด ทั้งนี้ต้องพิจารณาทั้งในด้านกำลังความแข็งแรงและในสภาวะใช้งานการกระทำในขั้นตอนของการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างอาจต้องย้อนกลับไปทำซ้ำอีกเพื่อให้ได้ขนาดหน้าตัดของส่วนโครงสร้างที่ประหยัด เหมาะสมกับการใช้งานและสอดคล้องกับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำจริง

ฉะนั้น จะเห็นว่าการวิเคราะห์โครงสร้างนับเป็นงานเบื้องต้นที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งของวิศวกรผู้ออกแบบ ก่อนที่จะดำเนินการออกแบบเพื่อที่จะนำไปก่อสร้าง เพราะถ้าผลของการวิเคราะห์ไม่ถูกต้องจะเป็นเหตุให้การพิจารณาออกแบบผิดพลาดได้ซึ่งนับว่าเป็นอันตรายอย่างยิ่งต่อชีวิตและทรัพย์สิน และอาจถูกระงับหรือเพิกถอนใบอนุญาต นั้นหมายความว่า วิศวกรผู้ออกแบบต้องมีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการของการวิเคราะห์โครงสร้าง

## 2.3 น้ำหนักบรรทุกกระทำบนโครงสร้าง (Load to Structure)

ในขั้นตอนของการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง วิศวกรผู้ออกแบบต้องพิจารณาคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกหรือแรงที่โครงสร้างส่วนนั้น ๆ ต้องรับหรือต้านทานตลอดอายุของการใช้งานน้ำหนักบรรทุกหรือแรงที่กระทำแบ่งเป็น[10],[14]

2.3.1 น้ำหนักบรรทุกที่มีขนาดและตำแหน่งของการบรรทุกค่อนข้างคงที่แน่นอน เรียกว่า น้ำหนักหรือแรงสถิต (Static Load) สำหรับการวิเคราะห์ที่พิจารณาเฉพาะน้ำหนักบรรทุกหรือแรงแบบสถิต (Static Load) ซึ่งอาจเป็นน้ำหนักแบบจุด แบบแผ่ทั้งที่สม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ ทั้งนี้ น้ำหนักบรรทุกหรือแรงแบบสถิตที่กระทำต่อโครงสร้างมีประเภทคือ

2.3.1.1 น้ำหนักบรรทุกคงที่หรือน้ำหนักบรรทุกตายตัว (Dead Load) หมายถึง น้ำหนักบรรทุกที่มีตำแหน่งของการกระทำคงที่ถาวรตลอดเวลาและไม่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของน้ำหนัก ได้แก่ น้ำหนักของส่วนโครงสร้างเอง เช่น น้ำหนักของแผ่นพื้น ผนัง คาน เสา น้ำหนักของวัตถุหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งอยู่กับที่อย่างถาวร เช่น เครื่องทดสอบวัสดุก่อสร้าง ท่อน้ำประปา ท่อไฟฟ้า อุปกรณ์แสงสว่าง วัสดุบุตกแต่งพื้นผิว เครื่องมุงหลังคา เครื่องปรับอากาศ

ที่ติดตั้งแล้วเป็นต้น น้ำหนักบรรทุกคงที่มีแนวแรงกระทำอยู่ในแนวตั้งเสมอเพราะเกิดจากแรงดึงดูดของโลก

ในขั้นตอนแรกของการคำนวณออกแบบโครงสร้างซึ่งยังไม่ทราบขนาดรูปตัดของส่วนโครงสร้างที่ใช้จริง ดังนั้น จึงต้องสมมติหรือประมาณขนาดรูปตัดของส่วนโครงสร้างขึ้นมาก่อน แล้วหาน้ำหนักบรรทุกคงที่ของส่วนโครงสร้างที่สมมติขึ้น ภายหลังจากการวิเคราะห์และออกแบบส่วนโครงสร้างนั้นแล้วจะสามารถหาขนาดรูปตัดของส่วนโครงสร้างที่ต้องใช้จริงได้ ทำให้ทราบน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่แท้จริงของโครงสร้างนั้น

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าโดยประมาณของน้ำหนักบรรทุกคงที่ตามชนิดของวัสดุก่อสร้างจะเห็นว่าเมื่อกำหนดขนาดหน้าตัดของส่วนโครงสร้างขึ้นมา ก็จะได้น้ำหนักบรรทุกคงที่ของส่วนโครงสร้างนั้นเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างตัวอย่างเช่น เมื่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กเท่ากับ 2400 กก. ต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้น คานคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดหน้าตัด 20 X 50 ซม. จะหนักเท่ากับ 2400 X 0.20 X 0.40 หรือเท่ากับ 192kgs. /m<sup>2</sup>

ตารางที่ 2.1 น้ำหนักบรรทุกคงที่(DL)ของวัสดุโครงสร้างอาคาร[12]

คอนกรีตล้วน	2350	Kgs/m <sup>3</sup>
คอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา	2400	Kgs/m <sup>3</sup>
เหล็ก	7850	Kgs/m <sup>3</sup>
ไม้เนื้อแข็ง	700-1200	Kgs/m <sup>3</sup>
อิฐ	1900	Kgs/m <sup>3</sup>
วัสดุผนังหลังคา	5-18	Kgs/m <sup>2</sup>
แป้ไม้	5	Kgs/m <sup>2</sup>
โครงหลังคาไม้	10-20	Kgs/m <sup>2</sup>
ฝ้าเพดาน	14-26	Kgs/m <sup>2</sup>
กำแพงอิฐมอญ	180-360	Kgs/m <sup>2</sup>
กำแพงอิฐบล็อก	100-200	Kgs/m <sup>2</sup>
กำแพงคอนกรีตบล็อก	100-240	Kgs/m <sup>2</sup>
ฝ้าไม้ ไม้อัด รวม	12-30	Kgs/m <sup>2</sup>
พื้นไม้ รวมตง	30	Kgs/m <sup>2</sup>

2.3.1.2 น้ำหนักบรรทุกจร (live Load) หมายถึง น้ำหนักบรรทุกที่มีการเคลื่อนย้ายไปมาและอาจมีการแปรเปลี่ยนขนาดของน้ำหนัก น้ำหนักบรรทุกจรประกอบด้วยน้ำหนักบรรทุกจรที่กระทำในแนวตั้งจากแรงดึงดูดของโลก และน้ำหนักบรรทุกจรที่กระทำทางด้านข้างของโครงสร้างน้ำหนักทำจรรยาที่กระทำในแนวตั้งซึ่งเกิดจากแรงดึงดูดของโลก แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

ก. น้ำหนักบรรทุกจรแบบเคลื่อนย้ายไปมาได้ (movable load) เช่น น้ำหนักของผู้ใช้อาคาร น้ำหนักของเครื่องเรือน เครื่องจักร สิ่งของและสินค้าต่าง ๆ เช่น หนังสือ อุปกรณ์สำนักงานวัสดุก่อสร้าง ฯลฯ มีค่าขึ้นกับประเภทและการใช้สอยของอาคาร

ข. น้ำหนักบรรทุกจรแบบเคลื่อนที่ได้ (moving load) เช่น น้ำหนักของขบวนรถไฟ รถยนต์ รถบรรทุก เป็นต้น น้ำหนักบรรทุกจรแบบนี้มีอิทธิพลมากกว่าแบบแรกแม้ว่าจะมีขนาดของน้ำหนักบรรทุกเท่ากันก็ตาม เพราะเมื่อมีการเคลื่อนที่จะมีผลของแรงกระแทก (impact) จากการสั่นสะเทือนรวมอยู่ด้วย หรือเมื่อกำลังจะหยุดก็จะมีแรงกระทำตามแนวยาวต่อโครงสร้างด้วย ดังนั้น ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างเพื่อรับน้ำหนักบรรทุกแบบนี้ต้องรวมผลของแรงเหล่านี้ไว้ด้วย

น้ำหนักบรรทุกจรที่กระทำทางด้านข้างของโครงสร้าง มีทั้งน้ำหนักบรรทุกที่กระทำชั่วครั้งชั่วคราว ซึ่งได้แก่ แรงลม หรือแรงจากแผ่นดินไหว และน้ำหนักบรรทุกที่กระทำค่อนข้างคงที่ตลอดเวลา ซึ่งได้แก่ แรงดันของดิน หรือแรงดันของของเหลว เช่น แรงดันของน้ำ เป็นต้น การเลือกน้ำหนักบรรทุกจรเพื่อใช้วิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเป็นสิ่งที่ไม่ถนัดนัก บางครั้งอาจทราบค่าที่แน่นอน แต่มีบ่อยครั้งที่ไม่ทราบค่าแน่นอนจึงต้องสมมติหรือคาดคะเนขึ้นมาเองโดยอาศัยความชำนาญและประสบการณ์ อย่างไรก็ตาม อาจพิจารณาได้จากข้อมูลขององค์กรหรือหน่วยงานที่รับผิดชอบในด้านต่าง ๆ ที่ได้ศึกษาและให้ข้อกำหนดเกี่ยวกับน้ำหนักบรรทุกจรขั้นต่ำไว้

น้ำหนักบรรทุกจรสำหรับโครงอาคาร ข้อบัญญัติของกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2522 กำหนดน้ำหนักบรรทุกจรพื้นที่ทั่วไปของโครงอาคารประเภทต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 น้ำหนักบรรทุกจร(LL) สำหรับโครงอาคาร (ข้อบัญญัติของ กทม. พ.ศ. 2522)

หลังคา	50	Kgs/m <sup>2</sup>
กันสาด	100	Kgs/m <sup>2</sup>
ที่พักอาศัย ห้องน้ำ ห้องส้วม	150	Kgs/m <sup>2</sup>
อาคารชุด หอพัก โรงแรม	200	Kgs/m <sup>2</sup>
สำนักงาน ธนาคาร	250	Kgs/m <sup>2</sup>
อาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย โรงเรียน ห้างสรรพสินค้า โรงแรม หอประชุม	300	Kgs/m <sup>2</sup>

ภัตตาคาร ที่จอดหรือที่เก็บรถยนต์หนึ่ง คลังสินค้า พิพิธภัณฑ์ อัจฉรินทร์ โรงงานอุตสาหกรรม	400	Kgs/m <sup>2</sup>
โรงพิมพ์ ห้องเก็บเอกสาร	500	Kgs/m <sup>2</sup>
ห้องเก็บหนังสือของห้องสมุด	600	Kgs/m <sup>2</sup>
ที่จอดหรือเก็บรถยนต์บรรทุกเปล้า และรถอื่นๆ	800	Kgs/m <sup>2</sup>

แรงลม แรงลมที่กระทำต่อโครงอาคาร ขึ้นอยู่กับแรงดันแบบไดนามิกของลมที่เกิดจากความเร็วลม ซึ่งมีทั้งแรงดัน (Pressure) ด้านเหนือลม และแรงดูด (suction) ด้านใต้ลม ความเร็วลมจะแปรตามสภาพภูมิประเทศ ความสูงเหนือพื้นดิน และอาคารข้างเคียง ในการออกแบบจะสมมติให้แรงลมกระทำอย่างสม่ำเสมอต่อโครงอาคารด้านที่รับลม และแรงลมสามารถกระทำได้ทุกทิศทาง คณะอนุกรรมการของ ASCE แห่งสหรัฐอเมริกา (American Society of Civil Engineers) เสนอว่าแรงลมแบบสถิตที่กระทำตั้งฉากกับอาคาร [9],[12]

$$p = 0.00256C_s V^2 \text{ ปอนด์/ตารางฟุต} \quad (2.1)$$

$$\text{หรือ} \quad p = 0.00473C_s V^2 \text{ Kgs/m}^2 \quad (2.2)$$

ในเมื่อ V เป็นความเร็วลมหน่วยเป็นไมล์/ชม. หรือ กม. /ชม.

$C_s$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์ เรียกว่า Shape coefficient ขึ้นกับรูปทรงและสัดส่วนของอาคาร สำหรับอาคารสูงรูปกล่องสี่เหลี่ยม (box-type Structure) ไม่มีช่องเปิด ค่า  $C_s$  เท่ากับ 0.8 ที่ด้านเหนือลมซึ่งเป็นแรงดันและมีค่าเท่ากับ 0.5 ที่ด้านใต้ลมซึ่งเป็นแรงดูด

$$\text{ดังนั้นแรงลมทั้งหมดที่กระทำ} = \text{แรงดันด้านเหนือลม} + \text{แรงดูดด้านใต้ลม} \quad (2.3)$$

$$\text{หรือ} \quad p = 0.00473(0.8 + 0.5)V^2 = 0.0062V^2 \text{ kgs/m}^2 \quad (2.4)$$

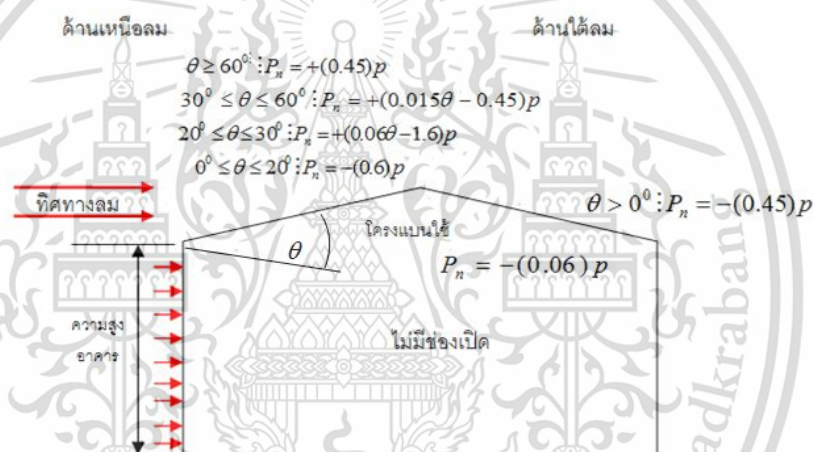
ฉะนั้นเมื่อทราบความเร็วลม จะหาค่าแรงลมที่กระทำตั้งฉากกับอาคารได้ ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร พ.ศ.2522 กำหนดแรงลมขั้นต่ำที่กระทำตั้งฉากกับโครงอาคารดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แรงลม(Wind load)ขั้นต่ำสำหรับส่วนของอาคาร (ข้อบัญญัติของกทม. พ.ศ.2522)

เมื่ออาคารที่สูงไม่เกิน 10 เมตร	50 kgs/m <sup>2</sup>
เมื่ออาคารที่สูงเกิน 10 เมตรแต่ไม่เกิน 20 เมตร	80 kgs/m <sup>2</sup>
เมื่ออาคารที่สูงเกิน 20 เมตรแต่ไม่เกิน 40 เมตร	120 kgs/m <sup>2</sup>
เมื่ออาคารที่สูงเกินกว่า 40 เมตร	160 kgs/m <sup>2</sup>

สำหรับการหาแรงลมที่กระทำตั้งฉาก ( $P_n$ ) กับแนวหลังคาขณะอนุกรมการของASCE แห่งสหรัฐอเมริกา ให้แบ่งพิจารณาออกเป็น แรงลมกระทำภายนอกอาคาร และแรงลมที่กระทำภายในอาคารดังนี้

แรงลมกระทำภายนอกอาคาร แรงลมที่กระทำตั้งฉากกับแนวหลังคา ( $P_n$ ) มีทั้งแรงดันและแรงดูดทั้งทางด้านเหนือลมและทางด้านใต้ลม ซึ่งขึ้นอยู่กับมุมลาดเอียง ( $\theta$ ) ของโครงสร้างหลังคาขณะอนุกรมการของ ASCE [14] เสนอค่าแรงลมที่กระทำตั้งฉากต่อโครงหลังคาที่เป็นโครงจั่ว ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.1 ซึ่งถ้าได้ค่าเป็นบวกจะหมายถึงแรงดันและในทำนองกลับกันถ้าได้ค่าเป็นลบจะหมายถึงแรงดูดหรือแรงยกตัวที่กระทำออกจากโครงหลังคา เช่น เมื่อ  $\theta = 20^\circ$  และแรงลมในแนวนอน  $p = 50\text{kgs/m}^2$  จะได้แรงดูดด้านเหนือลมเท่ากับ  $30\text{kgs/m}^2$  และแรงดูดด้านใต้ลมเท่ากับ  $22.5\text{kgs/m}^2$



ภาพประกอบที่ 2.1 ค่าแรงลมที่กระทำตั้งฉากต่อโครงหลังคาที่เป็นโครงจั่ว

แรงลมกระทำภายในอาคาร เมื่ออาคารมีช่องเปิดของหน้าต่างหรือประตู เท่ากับร้อยละ  $n$  ของเนื้อที่ผนังทั้งหมด ซึ่งค่าของ  $n$  อยู่ระหว่าง 0 ถึง 30% จะหาแรงลมที่กระทำตั้งฉากต่อโครงหลังคาภายในได้จากสมการต่อไปนี้ ซึ่งถ้าได้ค่าเป็นบวกจะหมายถึงแรงดันและถ้าได้ค่าเป็นลบจะหมายถึงแรงดูดที่กระทำออกจากหลังคา

$$\text{แรงลมภายในที่ด้านเหนือลม } P_n = (+0.225 + 0.0125n)p \leq 0.6p \quad (2.5)$$

$$\text{แรงลมภายในที่ด้านใต้ลม } P_n = (-0.225 - 0.007n)p \leq -0.45 \quad (2.6)$$

ถ้า  $n$  มีค่ามากกว่า 30% ให้ใช้ค่าสูงสุดที่กำหนดไว้

อย่างไรก็ดี เมื่อต้องการหาแรงลมที่กระทำตั้งฉากกับแนวหลังคา อาจใช้สูตรสำเร็จต่อไปนี้ ซึ่งพิจารณาเฉพาะแรงดันด้านเหนือลมเพียงอย่างเดียว โดยไม่คำนึงถึง

ก. การเกิดแรงดูดที่ด้านใต้ลม

ข. การเกิดแรงดูดที่ด้านรับลมเมื่อหลังคามีความเอียงลาดน้อย

ค. แรงดันและแรงดูดภายในอาคาร

ซึ่งหาได้จากสูตรดังนี้

$$P_n = P(2 \sin \theta) / (1 + \sin^2 \theta) \quad \text{Duchemin Formula} \quad (2.7)$$

$$P_n = P \sin \theta^{1.84 \cos \theta - 1} \quad \text{Hutton Formula} \quad (2.8)$$

$$P_n = P \theta / 45 \quad \text{Ketchum or Straight-line Formula} \quad (2.9)$$

ในเมื่อ  $\theta$  เป็นมุมลาดเอียงของหลังคา หน่วยเป็นองศา

สูตร Duchemin ได้รับความนิยมและเชื่อถือมาก ส่วนอีกสองสูตรให้ค่าสอดคล้องกับการทดลองเมื่อมุม  $\theta$  ไม่เกิน 35 องศา เมื่อมุมลาดเอียงของหลังคาน้อยกว่า 30 องศา ไม่ต้องพิจารณาผลของแรงลม

2.3.1.3 แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว แผ่นดินไหวทำให้เกิดแรงสั่นสะเทือนกระทำทางด้านข้างของโครงสร้างที่ตั้งอยู่ ซึ่งขนาดของแรงกระทำขึ้นอยู่กับมวลน้ำหนักและสติฟเนสของโครงสร้าง และความเร่งที่โครงสร้างเกิดการเคลื่อนที่ สามารถหาได้จาก [4],[9],[14]

แรงแบบสถิตย์ (Static load) ทั้งหมดที่กระทำทางข้างตรงฐานรองของโครงสร้าง  $V = ZIKCSW$  โดยที่  $Z$  = ค่าสัมประสิทธิ์ความรุนแรงของแผ่นดินไหว (Seismic Coefficient) ในเขตต่างๆ (Earthquake zone) มีค่าเท่ากับ 1 สำหรับเขตที่มีความเสี่ยงสูงสุด และมีค่าเท่ากับ 0.125 สำหรับเขตที่มีความเสี่ยงน้อยสุด

$I$  = ตัวคูณแสดงความสำคัญในการใช้งาน (Occupancy importance factor) ของโครงสร้างมีค่าอยู่ระหว่าง 1.00–1.50

$K$  = ตัวคูณซึ่งสัมพันธ์กับความต้านทานแรงทางข้างของโครงสร้าง สำหรับโครงอาคารจะมีค่าน้อยกว่า 0.67–1.33

$S$  = ค่าสัมประสิทธิ์ตามชนิดของชั้นดิน (Soil-profile coefficient) ที่รองรับโครงสร้าง มีค่าอยู่ระหว่าง 1.00–1.50

$W$  = น้ำหนักบรรทุกคงที่ทั้งหมดของโครงสร้าง มีหน่วยเช่นเดียวกับค่า  $V$

$C$  = ค่าสัมประสิทธิ์จากการแกว่งของโครงสร้าง  $= \frac{1}{15\sqrt{T}} \leq 0.12$

$T$  = ช่วงเวลาการแกว่งของโครงสร้าง  $= \frac{0.09H}{15\sqrt{D}}$  วินาทีในเมื่อ  $H$  และ  $D$  เป็นความสูง

และความกว้างในทิศทางที่รับแรงของโครงสร้าง หน่วยเป็นเมตร

แรงทางด้านข้างแบบสถิตย์ทั้งหมดที่คำนวณได้ จะพิจารณากระจายไปเป็นแรงทางข้างที่กระทำต่อชั้นต่าง ๆ ของโครงสร้าง ซึ่งมีค่าเป็นสัดส่วนกับน้ำหนักบรรทุกคงที่ของโครงสร้างที่อยู่ใต้ชั้นที่พิจารณาและความสูงของชั้นที่พิจารณา

นอกจากต้องพิจารณาวิเคราะห์และออกแบบให้โครงสร้างรับน้ำหนักบรรทุกคงที่ตายตัว และน้ำหนักบรรทุกจรดังกล่าวแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงลักษณะการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างจากแรงหรือน้ำหนักอย่างอื่นที่อาจเกิดขึ้นเช่น

ก. แรงกระทำตามแนวยาวที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำหนักบรรทุกจรเริ่มเคลื่อนที่ หรือกำลังจะหยุด

โดยคิดเป็นแรงกระทำตามทิศการเคลื่อนที่ของน้ำหนักบรรทุกจรนั้น

ข. แรงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำหนักบรรทุกจรเคลื่อนที่ไปบนโครงสร้างที่มีแนวโค้ง ทั้งนี้ค่าของแรงหนีศูนย์กลางขึ้นอยู่กับความเร็วที่เคลื่อนที่และความโค้งของโครงสร้างที่พิจารณา

2.3.1.4 การรวมน้ำหนักบรรทุกหรือแรงกระทำ จะเห็นว่าโครงสร้างต้องรับน้ำหนักบรรทุกหรือแรงกระทำหลายประเภทดังนั้นในการวิเคราะห์หรือออกแบบต้องพิจารณารวมค่าของน้ำหนักบรรทุกหรือแรงกระทำเพื่อให้ค่าสูงสุดที่ส่วนโครงสร้างนั้นต้องรับหรือต้านทานตลอดอายุการใช้งาน แต่ทั้งนี้ขึ้นกับมาตรฐานกำหนดของวิธีการออกแบบโครงสร้างถ้าน้ำหนักบรรทุกใช้งาน (Working load) ที่ส่วนโครงสร้างต้องรับหรือต้านทานได้แก่

D = น้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งาน (dead load)

L = น้ำหนักบรรทุกจรใช้งาน (live load) บวกด้วยแรงกระแทก (ถ้ามี)

W = แรงลม (wind load)

E = แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว (earthquake load)

หากต้องการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (Allowable Stress Design: ADS) จะพิจารณาจัดรวมน้ำหนักบรรทุกหรือแรงกระทำประเภทต่างๆดังต่อไปนี้

$$\text{น้ำหนักบรรทุกใช้งาน} = D \quad (2.10)$$

$$\text{หรือ} = D+L \quad (2.11)$$

$$\text{หรือ} = 0.75[D+L + (W \text{ หรือ } E)] \quad (2.12)$$

น้ำหนักบรรทุกใช้งานสูงสุดที่ได้จากสามกรณีข้างต้น เป็นน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่จะนำไปใช้คำนวณและออกแบบต่อไป

หากต้องการออกแบบโดยวิธีกำลังสำหรับโครงสร้างเหล็ก (Load Resistance factor Design: LRFD) จะพิจารณาจัดรวมน้ำหนักบรรทุกหรือแรงกระทำประเภทต่างๆที่เพิ่มค่าแล้ว (factored load) ซึ่งได้จากการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกใช้งานด้วยตัวคูณเพิ่มน้ำหนัก (load factor)[9],[12] ดังนี้

$$\text{น้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว} = 1.4D \quad (2.13)$$

$$\text{หรือ} = 1.2D+1.6L \quad (2.14)$$

$$\text{หรือ} = 1.2D+(0.5L \text{ หรือ } 0.8W) \quad (2.15)$$

$$\text{หรือ} = 1.2D+1.3W+0.5L \quad (2.16)$$

$$\text{หรือ} = 1.2D \pm 1.0E + 0.5L \quad (2.17)$$

$$\text{หรือ} = 0.9D \pm (1.3W \text{ หรือ } 1.0E) \quad (2.18)$$

## 2.4 การเคลื่อนที่แบบออสซิลเลต (Oscillation Displacement Feature)

การเคลื่อนที่ของวัตถุซึ่งมีลักษณะการสั่น (Vibration) รอบตำแหน่งสมดุล หรืออาจจะพูดอีกนัยหนึ่งก็ว่าเป็นการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำรอยเดิมโดยที่อัมพลิจูด (ค่าการกระจัดสูงสุด) ของวัตถุเทียบกับตำแหน่งสมดุลมีค่าคงที่หรือลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งเป็นศูนย์ การเคลื่อนที่ดังกล่าวเป็นการเคลื่อนที่แบบออสซิลเลต สำหรับการเคลื่อนที่แบบที่มีอัมพลิจูดคงที่เรียกว่า การออสซิลเลตแบบซิมเปิลฮาร์โมนิกส์ (simple harmonic motion) ส่วนการเคลื่อนที่ซึ่งอัมพลิจูดมีค่าลดลงเรื่อย ๆ เรียกว่า การออสซิลเลตแบบมีความหน่วง (damped oscillation)[27]

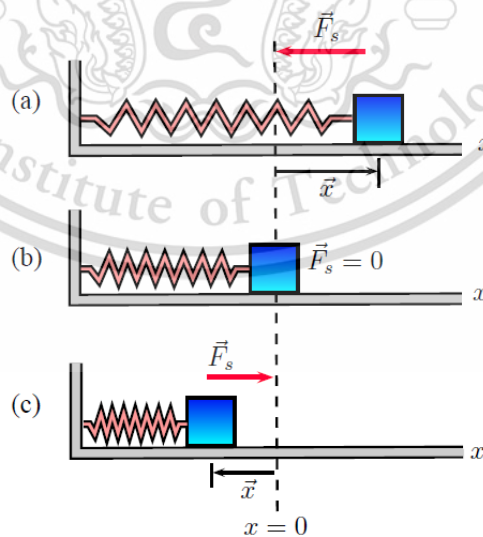
2.4.1 การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกส์ [27] พิจารณาระบบมวลยึดกับสปริงดังรูปที่ 2.9 สมมติว่าไม่มีความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสทั้งสอง เมื่อออกแรงดึงวัตถุมวล  $m$  จากตำแหน่งสมดุล ( $x = 0$ ) แล้วปล่อยให้วัตถุเคลื่อนที่อย่างอิสระ วัตถุมวล  $m$  จะถูกแรงดึงกลับของสปริง (restoring force,  $F_s$ ) กระทำโดยที่

$$F_s = -kx \quad (2.19)$$

ซึ่งแรงดังกล่าวจะมีทิศทางตรงข้ามกับการกระจัด นั่นคือแรงนี้จะดึงวัตถุเข้าหาตำแหน่งสมดุลเสมอ ค่าคงที่  $K$  คือ ค่าคงที่ของสปริง และเมื่อประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันกับระบบนี้ทำให้ได้ว่า ความเร่งของวัตถุจะมีทิศตรงข้ามกับการกระจัดเสมอ ดังนี้

$$F_s = -kx = ma$$

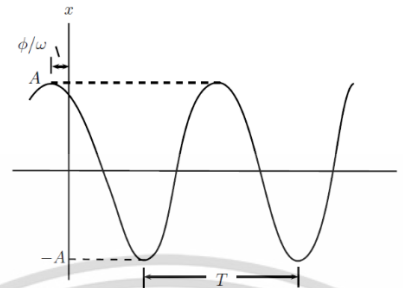
$$a = -\frac{k}{m}x \quad (2.20)$$



ภาพประกอบที่ 2.2 : ระบบมวลยึดกับสปริง

การเคลื่อนที่ของวัตถุดังกล่าวจะเห็นว่า ความเร่งของวัตถุเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการกระจัดของวัตถุและมีทิศตรงข้ามกับการกระจัดนี้ เรียกการเคลื่อนที่ในลักษณะแบบนี้ว่า การ

เคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกส์ (Simple harmonic motion, SHM) การเปลี่ยนแปลงการกระจัดกับเวลาดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.3 บรรยายด้วยสมการ



ภาพประกอบที่ 2.3 การกระจัดของวัตถุที่เป็นฟังก์ชันของเวลา

$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi) \quad (2.21)$$

$$\omega t + \phi + 2\pi = \omega(t + T) + \phi$$

$$\omega T = 2\pi$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2.22)$$

2.4.2 ความเร็ว และความเร่งของการเคลื่อนที่แบบ SHM จากสมการการกระจัดของการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกส์ เรานำวิเคราะห์หาความเร็วและความเร่งของวัตถุได้ดังนี้คือ

$$x = A \cos(\omega t + \phi)$$

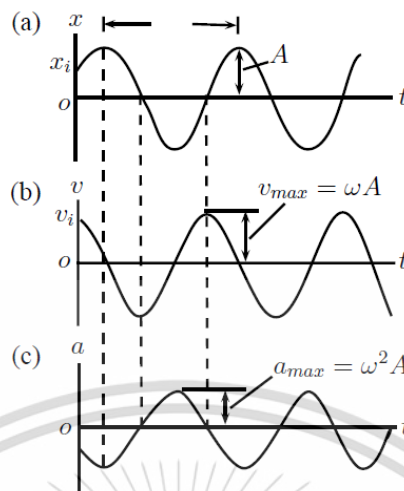
$$v = \frac{dx}{dt} = -\omega A \sin(\omega t + \phi) \quad (2.23)$$

$$a \frac{dv}{dt} = \omega^2 A \cos(\omega t + \phi) = -\omega^2 x \quad (2.24)$$

จากสมการของความเร็วและความเร่งจะพบว่าเฟสของความเร็วต่างจากเฟสของการกระจัดเป็นมุม  $90^\circ$  นั่นคือเมื่อ  $x$  มีค่ามากที่สุดหรือต่ำสุด ความเร็วมีค่าเป็นศูนย์ ในทำนองเดียวกันเมื่อ  $x = 0$  อัตราเร็วมีค่าสูงสุด ในขณะที่เฟสของความเร่งต่างจากเฟสของการกระจัดเป็นมุม  $180^\circ$  นั่นคือ เมื่อ  $x$  มีค่าสูงสุดความเร่งก็มีค่าสูงสุดด้วยเช่นกันแต่มีทิศตรงกันข้าม ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.4 และขนาดของความเร็วและความเร่งสูงสุดมีค่าเป็น

$$v_{\max} = \omega A \quad (2.25)$$

$$a_{\max} = \omega^2 A \quad (2.26)$$



ภาพประกอบที่ 2.4 กราฟแสดงการกระจัด (a) ความเร็ว (b) และความเร่ง (c) ของวัตถุที่เป็น  
ฟังก์ชันของเวลา

2.4.3 ความถี่เชิงมุมของการสั่นแบบ SHM ในการวิเคราะห์หาความถี่ของระบบที่มีการเคลื่อนที่แบบ SHM นี้จะมีแนวปฏิบัติคล้ายๆกัน สำหรับในที่นี้เราจะพิจารณาการหาความถี่ของระบบมวลยึดกับสปริง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.5 จากหัวข้อที่ผ่านมาเราจะเห็นว่าขนาดความเร่งจะแปรผันตรงกับการกระจัดดังนี้คือ

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{k}{m}x$$

ถ้ากำหนดให้  $\omega^2 = \frac{k}{m}$  และแทนค่าลงในสมการทำให้

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2x \quad (2.27)$$

แทนค่าการกระจัดสมการ  $x(t) = A\cos(\omega t + \phi)$

และความเร่งสมการของสมการ  $v = \frac{dx}{dt} = -\omega A \sin(\omega t + \phi)$  ลงในสมการ 2.36 จะได้

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \phi) = -\omega^2 x$$

พบว่าทั้งสองข้างเท่ากัน นั้นหมายความว่า สมการการกระจัด ( $x = A\cos(\omega t + \phi)$ ) เป็นผลเฉลยหนึ่งของสมการการเคลื่อนที่แบบ SHM และจากความสัมพันธ์ของความถี่เชิงมุมทำให้ได้ สำหรับระบบมวลยึดกับสปริง ความถี่เชิงมุมของการออสซิลเลตแบบ SHM คือ

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.28)$$

นอกจากนี้คาบและความถี่ของการออสซิลเลตของระบบนี้มีค่าเป็นดังนี้คือ

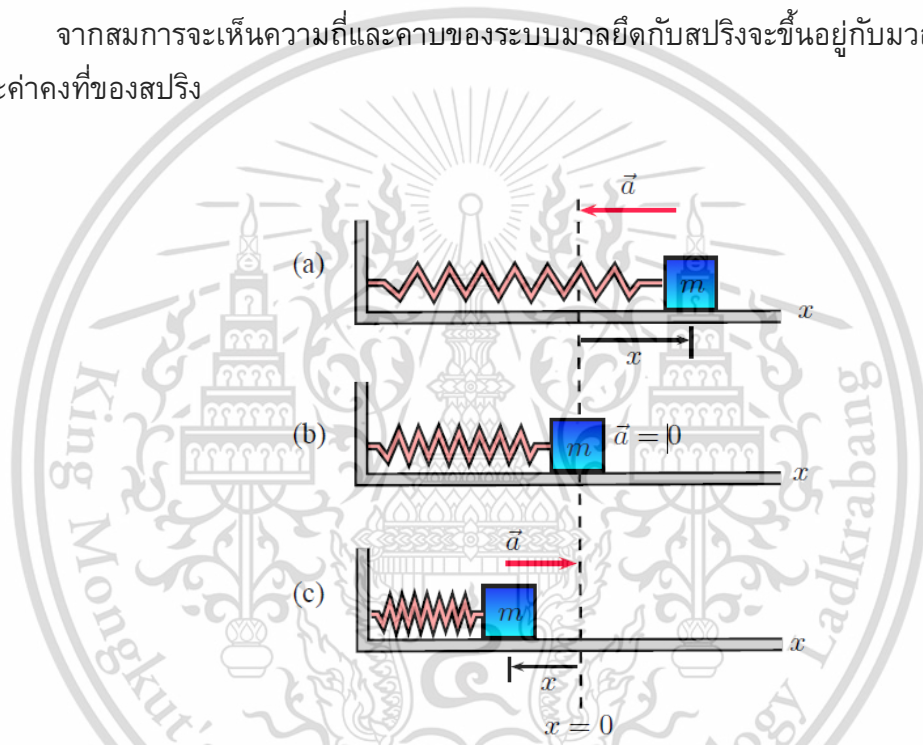
$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{k}{m}}$$

(2.29)

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

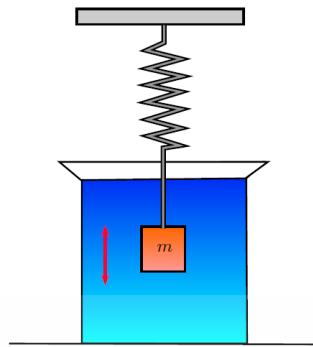
(2.30)

จากสมการจะเห็นความถี่และคาบของระบบมวลยึดกับสปริงจะขึ้นอยู่กับมวลของวัตถุ และค่าคงที่ของสปริง



ภาพประกอบที่ 2.5 การออสซิลเลตของวัตถุมวล  $m$  ที่ยึดติดกับสปริง

2.4.4 การออสซิลเลตแบบมีความหน่วง[27] การเคลื่อนที่แบบออสซิลเลตส่วนใหญ่จะมีการสูญเสียพลังงานอยู่ตลอดเวลาขณะเคลื่อนที่เนื่องจากมีแรงต้าน เช่น แรงเสียดทาน ทำให้การเคลื่อนที่ถูกลดทอนลง การออสซิลเลตแบบนี้เรียกว่า การออสซิลเลตแบบมีความหน่วง (Damped Oscillation) ในภาพประกอบที่ 2.6 พิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุมวล  $m$  ยึดติดกับสปริงที่มีค่า  $k$  แขนงในแนวตั้ง แล้วนำไปจุ่มในของเหลวเมื่อทำให้วัตถุมีการออสซิลเลตวัตถุจะมีแรงหน่วงในของเหลวกระทำตลอดเวลา โดยที่แรง



ภาพประกอบที่ 2.6 การออสซิลเลตแบบมีความหน่วง

หน่วง (Retard force,  $\vec{R}$ ) มีค่าเป็น

$$\vec{R} = b\vec{v} \quad (2.31)$$

เมื่อ  $b$  คือสัมประสิทธิ์ของความหน่วง (Damping coefficient) และแรงหน่วงนี้จะมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วของวัตถุ แรงดึงกลับของสปริง  $\vec{F}_r = -kx$  และโดยการประยุกต์กฎของนิวตันข้อที่สองสำหรับการเคลื่อนที่นี้ทำให้ได้

$$\sum F_x = F_r + R = -kx - bv = ma - kx - b \frac{dx}{dt} = m \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{b}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m} x = 0$$

เมื่อแรงหน่วงมีค่าน้อย ( $b$  มีค่าน้อยๆ) เปรียบเทียบค่าสูงสุดของแรงดึงกลับของสปริง เราจะได้คำตอบของสมการนี้อยู่ในรูป

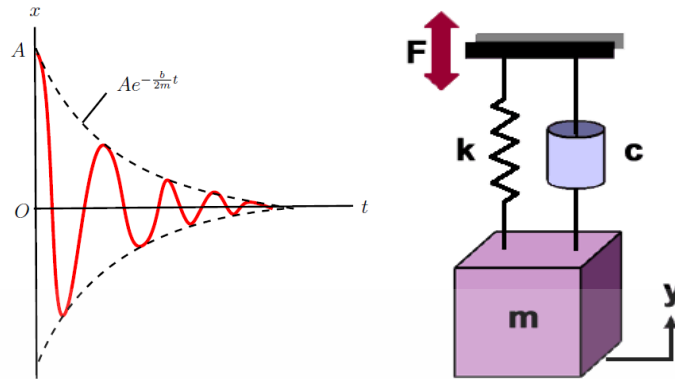
$$x = Ae^{-\frac{b}{2m}t} \cos(\omega t + \phi) \quad (2.32)$$

ซึ่งมีความถี่ของการออสซิลเลตเป็น

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{b}{2m}\right)^2} \quad (2.33)$$

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{b}{2m}\right)^2} \quad (2.34)$$

เมื่อ  $\omega_0$  คือ ความถี่ของการออสซิลเลตขณะที่ไม่มีความหน่วงหรือเรียกว่า ความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency) ลักษณะการออสซิลเลตแบบมีความหน่วงแสดงดังภาพประกอบที่ 2.7 ซึ่งจะเห็นว่าการกระจัดของวัตถุจะลดลงเรื่อยๆตามเวลาจนกระทั่งเป็นศูนย์ โดยทั่วไปเพื่อความ



ภาพประกอบที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงของการกระจัดกับเวลา

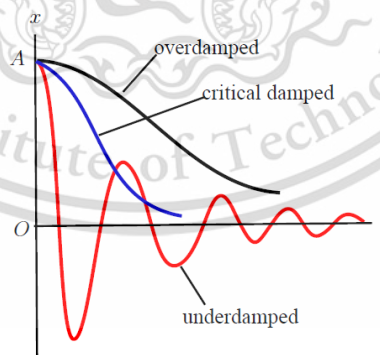
สะดวกในการแยกแยะว่าเมื่อไหร่ระบบจะออสซิลเลตแบบมีความหน่วงนั้น ได้ทำการกำหนดเงื่อนไขของการเกิดการออสซิลเลตไว้ดังนี้คือ

เมื่อแรงหน่วงสูงสุด  $R_{\max} = b v_{\max} < kA$  ระบบจะเคลื่อนที่แบบออสซิลเลต เรียกว่า Under damped

เมื่อค่า  $\frac{b}{2m} = \omega_0$  ระบบไม่มีการออสซิลเลต เรียกว่า Critically damped

เมื่อแรงหน่วงสูงสุด  $R_{\max} = b v_{\max} > kA$  และ  $\frac{b}{2m} > \omega_0$  ระบบไม่มีการออสซิลเลตเรียกว่า Over damped

ลักษณะการเคลื่อนที่ทั้งสามกลุ่มแสดงในภาพประกอบที่ 2.8 ซึ่งการกระจัดของวัตถุจะลดลงเข้าหาตำแหน่งสมดุล ( $x=0$ ) วัตถุจะแสดงพฤติกรรมเคลื่อนที่แบบออสซิลเลตก็ต่อเมื่ออยู่ในสภาวะ under damped เท่านั้น



ภาพประกอบที่ 2.8 การเคลื่อนที่แบบ undamped, critically damped และ over damped

## 2.5 วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method)

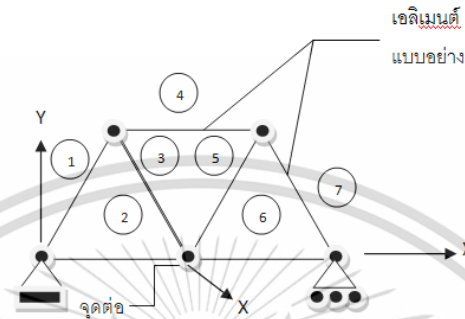
ในการแก้ปัญหาใดปัญหาหนึ่ง ปัญหานั้นจะประกอบด้วยสมการเชิงอนุพันธ์และเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดมาให้ ค่าผลเฉลยแม่นยำตรง(exact solution) ของปัญหาดังกล่าวจะประกอบด้วยค่าของตัวแปรต่าง ๆ กันตามตำแหน่งต่าง ๆ บนรูปร่างลักษณะของปัญหานั้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ค่าผลเฉลยแม่นยำตรงจะประกอบด้วยค่าต่าง ๆ ทั้งหมดนับเป็นจำนวนอนันต์ค่า แทนที่จะทำการหาค่าแม่นยำตรงที่ประกอบด้วยค่าต่าง ๆ จำนวนมากมายเช่นนี้ซึ่งสำหรับปัญหาในทางปฏิบัติจะทำได้ หลักการก็คือทำการเปลี่ยนค่าทั้งหมดที่มีจำนวนอนันต์ค่านั้นมาเป็นค่าที่นับเป็นค่าโดยประมาณที่มีจำนวนที่นับได้ (Finite) ด้วยการแทนรูปร่างลักษณะของปัญหาด้วยเอลิเมนต์ (elements) ซึ่งมีขนาดต่าง ๆ กัน [23],[24]

วิธีการดังกล่าวซึ่งเป็นที่นิยมเป็นนัยว่า ผลเฉลยของแต่ละเอลิเมนต์นั้นจำเป็นต้องสอดคล้อง (satisfy) กับสมการเชิงอนุพันธ์และเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดมาให้ในปัญหานั้น ๆ ซึ่งหมายความว่า หลักการของวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์จะเริ่มต้นจากการพิจารณาเอลิเมนต์ที่ละเอลิเมนต์ โดยการสร้างสมการสำหรับแต่ละเอลิเมนต์ที่ตั้งอยู่บนรากฐานที่ว่า สมการที่สร้างขึ้นมานั้นจำเป็นต้องสอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหาที่อยู่นั้น จากนั้นจึงนำสมการของแต่ละเอลิเมนต์ที่สร้างขึ้นมาได้มาประกอบกันเข้าก่อให้เกิดระบบสมการชุดใหญ่ ซึ่งในความหมายทางกายภาพก็คล้ายกับการนำทุกเอลิเมนต์มาประกอบรวมเข้าด้วยกันก่อให้เกิดเป็นรูปร่างลักษณะทั้งหมดของปัญหาที่แท้จริง จากนั้นจึงทำการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่ให้มาลงไปในระบบสมการชุดใหญ่นี้แล้วจึงทำการแก้สมการดังกล่าวซึ่งจะก่อให้เกิดผลเฉลยโดยประมาณที่ต้องการ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของปัญหานั้น จากคำอธิบายนี้จะเห็นได้ว่า ความแม่นยำของค่าผลเฉลยโดยประมาณที่คำนวณออกมาได้นั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนของเอลิเมนต์ที่ใช้ในการแก้ไขในการแก้ปัญหานั้นนอกจากนั้นความแม่นยำของผลเฉลยซึ่งเราจะศึกษาโดยละเอียดในบทต่อไปยังขึ้นอยู่กับการสมมุติรูปแบบของฟังก์ชันการประกายภายใน (interpolation functions) ที่ใช้กับแต่ละเอลิเมนต์นั้น กล่าวคือ ฟังก์ชันการประมาณภายในที่สมมุติขึ้นมานั้นมีความใกล้เคียงกับผลเฉลยแม่นยำตรงของปัญหานั้นมากน้อยเพียงใด ลักษณะการกระจายของฟังก์ชันการประมาณภายในโอเลเมนต์อาจสมมุติให้อยู่ในหลายรูป เช่น รูปแบบของการกระจายเชิงเส้น (linear distribution) ส่วนขนาด (magnitude) ของฟังก์ชันการประมาณภายในนี้จะขึ้นอยู่กับค่าที่จุดต่อ (node) เอลิเมนต์

## 2.6 การสร้างสมการของเอลิเมนต์ในหนึ่งมิติ (Equation for the Finite Element

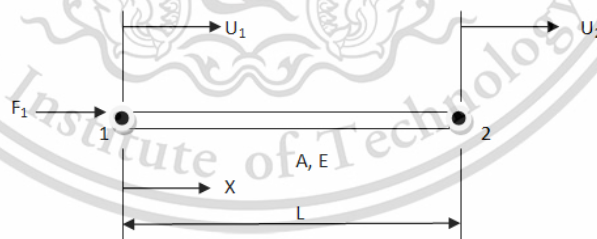
### In One Dimension)

2.6.1 ปัญหาทางโครงสร้าง (Truss problems) ดังแสดง ในภาพประกอบที่ 2.9 สามารถนำไปสู่ความเข้าใจในการสร้างสมการของเอลิเมนต์ได้เป็นอย่างดีโครงสร้างในรูป 2.9 ประกอบด้วยเหล็กท่อน (rod) ทั้งหมด 7 ท่อน



ภาพประกอบที่ 2.9 ตัวอย่างปัญหาทางโครงสร้างแบบง่าย ๆ

ซึ่งอาจทำการจำลองแบบตัวเอลิเมนต์ทั้งหมด 7 เอลิเมนต์ เอลิเมนต์ทั้งหมดนี้อยู่ในระบบแกนรวมใหญ่ X-Y (global coordinate system) หากเราพิจารณาไปในแต่ละเอลิเมนต์ เช่น เอลิเมนต์หมายเลข 3 เราจะเห็นว่าเอลิเมนต์นี้อยู่ในแนวแกน X ซึ่งอยู่ในระบบแกนย่อย x-y (local coordinate system) เมื่อโครงสร้างในภาพประกอบที่ 2.18 นี้ถูกแรงภายนอกกระทำ เราสามารถคำนวณหาการเคลื่อนตัวของจุดต่อต่างๆ ได้โดยใช้วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์แต่ขั้นตอนแรกที่ต้องทำคือ การสร้างสมการของเอลิเมนต์ขึ้นมาก่อน ดังเช่นหากเรานำเอลิเมนต์ใดเอลิเมนต์หนึ่ง เช่นเอลิเมนต์ 3 นี้มาพิจารณาดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.10



ภาพประกอบที่ 2.10 ลักษณะเอลิเมนต์แบบอย่างสำหรับโครงสร้าง

เอลิเมนต์แบบอย่างในภาพประกอบที่ 2.10 นี้ประกอบด้วย 2 จุดต่อหมายเลข 1 และ 2 ที่ปลายทั้งสองข้าง เอลิเมนต์นี้ทำจากวัสดุที่มีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) เท่ากับ  $E$  มีพื้นที่หน้าตัด (cross-sectional area) เท่ากับ  $A$  และมีความยาวเท่ากับ  $L$  มีแรง  $F_1$  และ  $F_2$  กระทำในแนวแกน  $x$  ที่จุดต่อ 1 และ 2 ตามลำดับ แรงดังกล่าวเป็นแรงที่เกิดขึ้นในแนวแกนเอลิเมนต์นี้เมื่อโครงสร้างทั้งหมดอยู่ภายใต้สภาวะสมดุล และแรงดังกล่าวทำให้จุดต่อ 1 และ 2 เคลื่อนตัวไปในแนวแกน  $x$  ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $U_1$  และ  $U_2$

เริ่มต้นจากสมการความสัมพันธ์ของความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ที่เรียกว่ากฎของฮุก (Hooke's law)[1] นั่นคือ

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2.35)$$

โดย  $\sigma$  แทนค่าของความเค้นและ  $\varepsilon$  แทนค่าของความเครียดสมมุติว่าภาพประกอบที่ 2.10 เราจับยึดที่จุดต่อ 1 และดึงที่จุด 2 ด้วยแรง  $F_2$  และสมการที่ 2.35 จะเขียนได้ในรูปแบบดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{F_2}{A} &= E \left( \frac{U_2 - U_1}{L} \right) \\ F_2 &= \frac{AE}{L} (U_2 - U_1) \\ -\frac{AE}{L} (U_1 - U_2) &= F_2 \end{aligned} \quad (2.36)$$

แต่ภายในความสมดุล  $\Sigma F_x = 0$

$$F_1 + F_2 = 0$$

$$F_1 = -F_2$$

$$F_1 = \frac{AE}{L} (U_1 - U_2)$$

(2.37)

นั่นคือสมการ (2.36) และ (2.37) สามารถนำมาเขียนได้ดังนี้

$$\frac{AE}{L} (U_1 - U_2) = F_1$$

$$-\frac{AE}{L} (U_1 - U_2) = F_2$$

ซึ่งเขียนในรูปของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & -\frac{AE}{L} \\ -\frac{AE}{L} & \frac{AE}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix}$$

$$\frac{AE}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix}$$

(2.38)

หรือย่อได้เป็น

$$[K]\{U\} = \{F\}$$

(2.39)

$[K]$  เรียกว่า เอลิเมนต์เมตริกซ์ของความแข็งเกร็ง (Element stiffness matrix)

$\{U\}$  เรียกว่า เมตริกซ์ของการเคลื่อนตัวที่จุดต่อ (Vector of nodal displacements)

$\{F\}$  เรียกว่า เมตริกซ์ของแรงกระทำที่จุดต่อ (Vector of nodal forces)

รูปแบบของสมการของเอลิเมนต์ดังแสดงในสมการ(2.38) สามารถนำไปใช้กับสปริงดังภาพประกอบที่2.11



ภาพประกอบที่2.11สปริงเอลิเมนต์

โดย K คือ ค่าความแข็งเกร็งของสปริง (spring stiffness) โดยมีหน่วยเป็นแรงต่อระยะทางที่เปลี่ยนแปลงไป เช่นนิวตันต่อเซนติเมตร สมการของสปริงเอลิเมนต์ดังแสดงในภาพประกอบที่2.11คือ

$$k \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix}$$

(2.40)

## 2.7 แนวทางการออกแบบโครงสร้างอาคารปิโตรเคมี

สำหรับอาคารดังกล่าวปัจจุบันไม่มีมาตรฐานอุตสาหกรรมที่เฉพาะเจาะจงหรือแนวทางในการออกแบบต้านทานแรงที่กระทำจากระเบิดของอาคารโรงงานกระบวนการ การออกแบบที่ใช้จะขึ้นอยู่กับบริษัทและเอกสารที่มีการรวบรวมไว้จากการก่อสร้างโดย[1]

1.จากการประชุมการก่อสร้างอาคารใหม่และสำหรับการควบคุมการผลิตสารเคมีจากสมาคมวิศวกรรมเคมี (SG-22)[1]

2.ลักษณะของการจัดประเภทของโรงงานเคมีซึ่งพิจารณาจากกระบวนการผลิตที่อันตรายและการควบคุมการออกแบบอาคารของสมาคมอุตสาหกรรมเคมี(CIA 1992)[1]

3.การออกแบบโครงสร้างที่จะต้านทานแรงระเบิดและผลกระทบจากอาวุธนิวเคลียร์สมาคมของอเมริกันสำหรับวิศวกรโยธา(ASCE คู่มือ 42)[4]

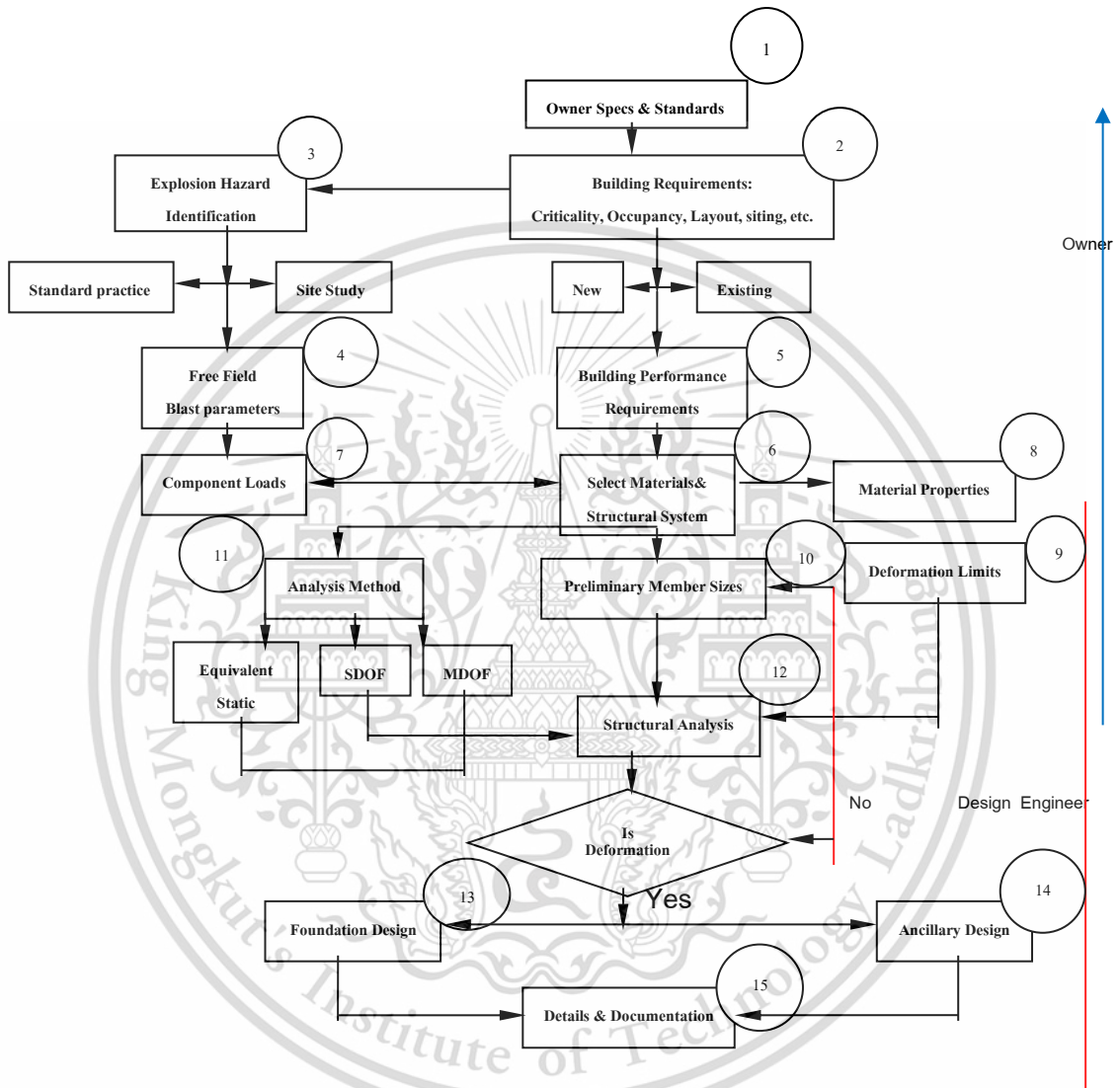
4. สำหรับโครงสร้างที่จะต้านทานแรงระเบิดและผลกระทบที่เกิดจากการระเบิดอุบัติเหตุ (TM 5-1300)[2]

เอกสารจาก SG-22 ของ CIA ที่มีลักษณะของการครอบคลุมที่ได้มีการประชุมออกแบบและการก่อสร้างของอาคารควบคุมในโรงงานปิโตรเคมีที่ระบุรวบรวมแรงกระทำจากระเบิดที่เอ็นทิจเทียบเท่ากับแรงกระทำแบบไดนามิก (elasto-plastic, single degree of freedom) แนวทางการออกแบบของเอกสารอื่น ๆ ที่อ้างถึงข้างต้นมีความครอบคลุมมากขึ้นโดยทั่วไปในการออกแบบการต้านทานแรงระเบิดที่มีอยู่จะใช้กันสำหรับทางทหารและอาวุธในทางการทหาร อย่างไรก็ตามปัจจัยพื้นฐานและหลักการออกแบบจะครอบคลุมอยู่ในเอกสารเหล่านี้มีผลบังคับใช้กับการออกแบบสำหรับประเภทอื่น ๆ ของการระเบิด

นอกเหนือไปจากสิ่งพิมพ์ที่อ้างถึงข้างต้นสถาบันอเมริกันของวิศวกรเคมี, ศูนย์ความปลอดภัยสำหรับกระบวนการทางเคมี (CCPS) คณะกรรมการและสถาบันปิโตรเลียมอเมริกัน (API) เมื่อเร็ว ๆ นี้ได้รับการแก้ไขด้านต่าง ๆ ของเทคโนโลยีการป้องกันการระเบิดที่เกี่ยวข้องกับรายงานฉบับนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง CCPS ได้มีการพัฒนาแนวทางการประเมินลักษณะของระเบิดที่เป็นแบบคว้นไอน้ำ, ไฟประเภทที่เป็นแลบ (Flash Fire) และแบบ BLEVEs (ลักษณะที่แบบ CCPS) แนวทางของการประเมินอาคารโรงงานที่มีกระบวนการในการเกิดจะเกิดการระเบิดและไฟจากภายนอก (ลักษณะอาคารที่กำหนดแบบ CCPS) สำหรับเอกสารจาก API และ CMA ที่มีการเผยแพร่วิธีการที่แนะนำเกี่ยวกับการบริหารจัดการเรื่องของอันตรายที่เกี่ยวข้องกับสถานที่ตั้งของโรงงานและสำหรับจัดการกับอาคารที่เป็นอันตราย (API RP-752)[2],[3]

## 2.8 ขั้นตอนการออกแบบความต้านทานแรงระเบิด (Blast Resistant Design Process)

กระบวนการโดยรวมจะมีการประเมินผลและการออกแบบของอาคารโรงงานปิโตรเคมีที่เกิดการจุดระเบิดซึ่งแสดงในภาพประกอบที่ 2.12 แผน ผังนี้จะแสดงให้เห็นลำดับขั้นตอนของพื้นฐานในกระบวนการออกแบบและการประเมินผลจากการระเบิดดังต่อไปนี้[1]



ภาพประกอบที่ 2.12 แผนผังแสดงขั้นตอนการออกแบบอาคารต้านทานแรงระเบิดของอาคาร

ปิโตรเคมีคอล

2.8.1 กำหนดขอบเขตของขั้นตอนที่ 1 และ 2 เพื่อกำหนดความต้องการของเจ้าของและความต้องการสำหรับการก่อสร้างอาคาร

2.8.2 การวิเคราะห์อันตรายจากการระเบิดจากแผนผังใน ขั้นตอนที่ 3 และ 4 จะต้องระบุสถานการณ์การระเบิดที่จะระเบิดที่มีแรงดันที่มากพอกับปริมาณสำหรับการออกแบบโครงสร้างจะต้องกำหนดแรงที่มากกระทำกับโครงสร้าง

2.8.3 การกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพการทำงาน: ขั้นตอนที่ 5 คือการกำหนดวิธีการที่อาคารควรดำเนินการในช่วงสถานการณ์การระเบิดของแรงที่มากกระทำกับโครงสร้าง

2.8.4 การกำหนดแรงที่มากกระทำจากการระเบิด 7 ขั้นตอนคือการตรวจสอบแรงที่กระทำจากการระเบิดสำหรับส่วนประกอบต่าง ๆ ของอาคาร ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดแรงที่มากกระทำ

2.8.5 ในการที่จะเลือกระบบโครงสร้างของอาคาร, วัสดุที่ใช้และผลการตอบสนองที่เป็นเกณฑ์การกำหนดจะขึ้นอยู่กับลำดับที่เป็นขั้นตอนของ ขั้นตอนที่ 6, 8 และ 9 ซึ่งจะมีการเลือกวัสดุที่ประกอบโครงสร้างและระบบสําของการก่อสร้าง และคุณสมบัติของโครงสร้างที่เกี่ยวข้องและข้อจำกัดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องของผลของการตอบสนองที่มีความสอดคล้องกับความต้องการของประสิทธิภาพสำหรับการก่อสร้างอาคาร(ประเภทการก่อสร้างและความแข็งแรงวัสดุแบบไดนามิกและเกณฑ์การตอบสนอง) (Type of Construction and Dynamic Material Strength and Response Criteria)

2.8.6 สำหรับการปฏิบัติเพื่อใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ ระบุไว้ใน ขั้นตอนที่ 10-12 จะมีการเลือกสำหรับการวิเคราะห์และสำหรับดำเนินการในระดับที่เหมาะสมโดยเฉพาะอย่างยิ่งการออกแบบคำนวณโครงสร้างสำหรับในสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งจะมีวิธีการวิเคราะห์แบบไดนามิกและวิธีการของขั้นตอนการออกแบบ (Dynamic Analysis Methods and Design Procedures)

2.8.7 ในขั้นตอนสุดท้ายสำหรับการออกแบบในรายละเอียดต่าง ๆ จะแสดงในแผนที่ขั้นตอน 13-15 ซึ่งจะเป็นสัดส่วนและส่วนประกอบของอาคารและการออกแบบรายละเอียดในเอกสารที่ใช้ในการออกแบบที่จะเสริมเพิ่มเติมเข้าไปในรายละเอียดต่าง ๆ ทั่วไปและทางด้านสถาปัตยกรรมต่าง ๆ ที่ใช้ในการพิจารณา (Typical Details and Ancillary and Architectural Consideration)

ซึ่งคาดว่าจะช่วยให้เจ้าของโครงการจะรับทราบถึงรายละเอียดต่าง ๆ โดยข้อกำหนดที่ 2.8.1-2.8.5 (ขั้นตอนที่ 1-5) CCPS เป็นแนวทางสำหรับอาคาร, CCPS แนวทางสำหรับการเกิดการระเบิด และ API RP-752 ให้คำแนะนำเกี่ยวกับขั้นตอนต่าง ๆ เหล่านี้จะเป็นความรับผิดชอบของวิศวกรผู้ออกแบบซึ่งจะอยู่ในขั้นตอนที่ 2.8.5-2.8.7 (ขั้นตอนที่ 6-15) ในขั้นตอนเหล่านี้เป็นจุดสนใจที่จะนำมาใช้เป็นหลัก ของเอกสารรายงานต่าง ๆ ที่มีอยู่ในมาตรฐานของ ASCE (ASCE = American Society of Civil Engineers)

## 2.9 การกำหนดการออกแบบอาคารต้านทานระเบิด

การตัดสินใจเกี่ยวกับการกำหนดของอาคารที่จะต้านแรงระเบิด จะทำโดยใช้มาตรฐานการปฏิบัติหรือโดยวิธีการดังต่อไปนี้เฉพาะในที่นี้จะกล่าวไว้สำหรับเป็นแนวทางสำหรับมาตรฐานแบบ อาคาร CCPS หรือ API RP-752 Bolt การกำหนดอาจใช้การจำแนกโดยจัดหมวดหมู่ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของ อันตรายจากการระเบิด เมื่อมีอาคารหรือการก่อสร้างที่ไกล

พอลและห่างพอลจากแหล่งที่มาของการระเบิด อาคารมีความเสี่ยงที่อาจจะสร้างความเสียหายที่เกิดจากแรงดันสูง(overpressures)จากแรงระเบิดการออกแบบให้มีความต้านทานแรงระเบิดได้ โดยมีข้อแนะนำแล้วแต่กรณีอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้[2],[7]

2.9.1 การกำหนดข้อปฏิบัติเกี่ยวกับอาคารของผู้ประกอบการอาคารที่พักอาศัย (API RP-752) แม้ในช่วงที่จะต้องมีการอพยพจะต้องมีการกำหนดที่ถูกต้องและนำมาใช้เป็นการบรรเทาเพื่อความปลอดภัยสำหรับการความต้านทานระเบิดซึ่งควรจะได้รับพิจารณาให้ครอบคลุมและการอพยพที่สมบูรณ์โดยใช้เวลาที่น้อยที่สุดเนื่องซึ่งจะต้องคำนึงจากจำนวนของขนาดและรูปแบบของอาคาร

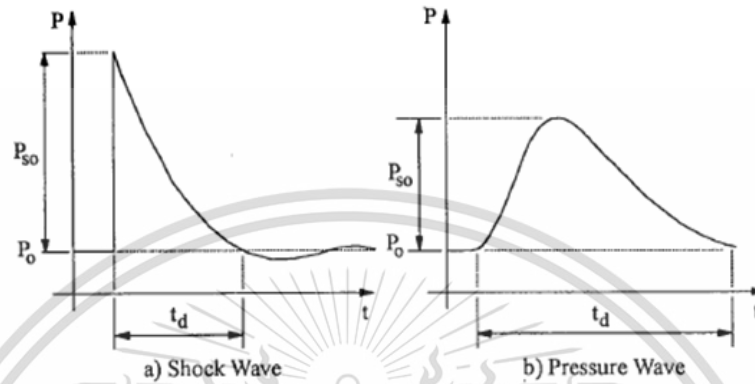
2.9.2 อาคารหรือสถานที่ก่อสร้างจะต้องมีแผนฉุกเฉินสำหรับดำเนินบรรเทาและรองรับสถานการณ์กรณีเกิดอุบัติเหตุ หนึ่งในแผนฉุกเฉินที่สำคัญที่จำเป็นต้องมีบุคลากรจะรองรับแผนซึ่งต้องอยู่ภายในระหว่างการเกิดอุบัติเหตุที่จะอำนวยความสะดวกหรือเพื่อความปลอดภัยปิดหน่วยปฏิบัติการ อีกหนึ่งแผนฉุกเฉินที่สำคัญคือที่อาคารควบคุมหรือหลายหน่วยงานควบคุมสำหรับหน่วยงานที่มีความเสี่ยงสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารไวไฟสถานที่เก็บและใกล้กับแหล่งที่มาของระเบิดและผลกระทบของการเกิดอุบัติเหตุเป็นสำคัญ

เมื่อต้องพิจารณาอาคารที่ไม่มีการเคลื่อนไหวควรพิจารณาต่อไปนี้ 1.อาคารควรมุ่งเน้นในส่วนด้านที่รับแรงระเบิดและควรพิจารณาทิศทางที่น่าจะเป็นไปได้มากที่สุด 2.อาคารที่อยู่อาศัยและบุคลากรที่ไม่เกี่ยวข้องควรอยู่ให้ห่างไกลจากสถานที่ต้องปฏิบัติงานจริง 3.เครื่องส่งสัญญาณอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ส่งสัญญาณของอาคารไม่ควรอยู่ต่ำกว่าระดับของอากาศที่ส่งได้และต้องมี ศักยภาพมากพอที่จะส่งสัญญาณไปในอากาศได้ 4.อาคารไม่ควรอยู่ในทิศทางใต้แรงแรงลมจากแหล่งที่ปล่อยสัญญาณออก

## 2.10 การกำหนดโหลด(Determination of Load)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับลักษณะของแรงระเบิดที่มีการอธิบายในรายละเอียดต่าง ๆ สามารถพบได้ในหลายสิ่งพิมพ์รวมทั้งข้อมูลของเบเคอร์(Baker) ปี 1983 และในเอกสารของCCPS ที่ใช้เป็นแนวทางของการระเบิด หัวข้อนี้ยังได้กล่าวถึงวิธีการระเบิดที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีรวมถึงการพิจารณาเพื่อตรวจสอบการแรงกระทำ(Load)ของระเบิดสำหรับการออกแบบโครงสร้างในส่วนแรกกล่าวถึงประเภทชนิดของการระเบิดที่อาจเกิดขึ้นในโรงงานปิโตรเคมี ส่วนที่สองได้อธิบายถึงตัวแปร(parameter)ของคลื่นระเบิดที่เป็นตัวกำหนดพื้นฐานของแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง สำหรับบางส่วนของวิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบันในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และบางค่าที่มีแรงดันเกินกว่าแรงระเบิด(Over pressure) สำหรับการระเบิดที่ใช้สำหรับการออกแบบจะรวมถึงการกำหนดการออกแบบแรงดันที่มาก ๆ ที่เป็นแรงดันแบบไอน้ำ และหัวข้อสุดท้ายสำหรับข้อกำหนดของการออกแบบอาคารที่มีแรงกระทำ

จากแรงระเบิดสำหรับวิธีการออกแบบการพิจารณาและการกำหนดแรงระเบิดที่กระทำ(Load)ใน ส่วนต่าง ๆ ของอาคารเป็นรูปสี่เหลี่ยม[1],[2]



ภาพประกอบที่ 2.13 ลักษณะรูปร่างของการระเบิดแบบที่เป็นคลื่นระเบิด

$$\begin{aligned}
 I_o &= \int_0^{t_d} P(t) dt & (2.41) \\
 &= 0.5 P_{so} t_d, \text{ For a triangular wave} \\
 &= 0.64 P_{so} t_d, \text{ For a half-sine wave} \\
 &= c P_{so} t_d, \text{ For an exponentially decaying shock wave}
 \end{aligned}$$

เมื่อ

- $P(t)$  = Overpressure function with respect to time
- $P_{so}$  = Peak side-on, or incident, overpressure
- $t_d$  = Duration of positive phase
- $c$  = A value between 0.2 and 0.5 depending on  $P_{so}$

สำหรับการออกแบบความต้านทานแรงระเบิดของอาคารที่เป็นแบบคลื่นระเบิดที่จำเป็นจะต้องมีข้อกำหนดของการออกแบบแรงของระเบิด(Load)ที่กระทำกับอาคารดังนี้

ส่วนที่อยู่บนสุดเป็นแรงดันสูงของผลรวม  $P_{so}$  , ผลรวมของระยะเวลา  $t_d$  และแรงกระแทกเชิงบวกที่สอดคล้องกัน  $I_o$

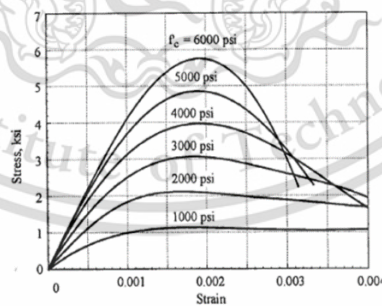
ส่วนที่อยู่บนสุดแรงดันลบ (ดูด)  $P_{so}$  ระยะเวลาเชิงลบของระยะเวลา  $t_d$  และแรงกระแทกเชิงลบที่สอดคล้องกัน  $I_o$

คลื่นระเบิดที่แบนแนวราบขณะที่มันแพร่กระจายออกจากศูนย์กลางการระเบิด ดังนั้นค่าของแรงดันเกินสูงสุดและลดแรงกระแทก(Shock)กับระยะทาง ในขณะที่ระยะเวลาที่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น ค่าระดับต่าง ๆ (parameter) ที่เป็นแรงระเบิดแบบคลื่นเหล่านี้สามารถพิจารณาจากข้อมูลที่ตีพิมพ์ในรูปแบบของค่าปรับขนาดแรงดันเกิน(overpressure), แรงกระแทก(shock)ของ

ระยะเวลาที่เป็นฟังก์ชันที่เป็นขนาดของระยะทาง TM 5-1300 ใช้เป็นข้อมูลเกี่ยวกับพลังงานที่มีมาก ๆ ซึ่งเป็นขั้นตอนการควบแน่นระเบิดซึ่งในขณะนั้น เบเกอร์(Baker) 1983 , TNO ปี 1985 ที่ใช้เป็นแนวทางขั้นตอนที่เป็นแบบ CCPS การกำหนดค่าระดับสำหรับการระเบิดแบบที่เป็นไอควันแบบแรงดันไอน้ำตามรูปแบบของตน แหล่งข้อมูลเหล่านี้ไม่ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับขั้นตอนแรงดูดของคลื่นระเบิดจากการระเบิดแบบแรงดันที่เป็นไอน้ำ เพราะแรงอัด, แรงดันที่เป็นเชิงลบระยะที่มีขนาดค่อนข้างเล็กและการต้านทานแรงด้านข้างหลักที่นิยมใช้กันจะไม่สนใจกับสาเหตุเหล่านี้ในการการออกแบบ ค่าของแรงดันสูง(overpressure)แรงระเบิดและระยะเวลาที่ใช้ ออกแบบที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีจะกล่าวถึงข้อกำหนดของการออกแบบแรงดันสูงที่เป็นแบบไอน้ำ ภาพประกอบที่ 2.13 เวลาที่คลื่นระเบิด overpressure กินเวลาเรียกว่าระยะเวลาระยะเวลาที่เป็นผลรวมภายใต้พื้นที่ใต้เส้นโค้งความดันที่รวมกับเวลาเป็นแรงกระแทกของคลื่นระเบิด ดังนั้นแรงกระแทก(shock)ในช่วงเวลาที่เป็นผลรวมดังสมการที่ 2.41

## 2.11 คุณสมบัติของวัสดุที่ต้านทานแรงแบบไดนามิก (Dynamic load)

สำหรับในส่วนนี้จะอธิบายถึงคุณสมบัติแบบไดนามิกของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างซึ่งใช้ออกแบบเพื่อต้านทานแรงจากการระเบิดที่ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี จากคุณสมบัติต่าง ๆ ที่คงมีอยู่จากการอ้างอิงและบ่อย ๆ ครั้งในส่วนนี้จะแสดงให้เห็นถึงค่าระดับขั้นต่ำซึ่งค่าที่ยอมรับการต้านทานแรงแบบไดนามิกของวัสดุเหล่านี้ได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตามคุณสมบัติของวัสดุแบบไดนามิกไม่เป็นข้อมูลที่เผยแพร่อย่างกว้างขวางสำหรับการได้รับคุณสมบัติเหล่านี้ แต่จะครอบคลุมถึงในรายละเอียดเพียงพอที่จะอนุญาตให้ใช้งานที่ถูกต้องสำหรับการออกแบบและการวิเคราะห์ของโครงสร้างอาคารปิโตรเคมี[4]



ภาพประกอบที่ 2.14 Typical Stress-Strain Curve for concrete (From ASCE Manual 42)

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด (Stress-Strain relationship) ผลการตอบสนองของวัสดุภายใต้แรงกระทำแบบคงที่(Static) หรือ แบบไดนามิก(Dynamic)จะเป็นไปตามความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดจากภาพประกอบที่ 2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่ผิดปกติสำหรับคอนกรีต เส้นที่โยงใยของวัสดุที่มีความคั่นและความเครียดที่มีการเปลี่ยนแปลงสิ่งที่สำคัญในภาพประกอบจะมีความเค้นและความเครียดของคอนกรีตที่มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นความเค้นและความเครียดจะเป็นเส้นตรงที่เพิ่มขึ้นแต่

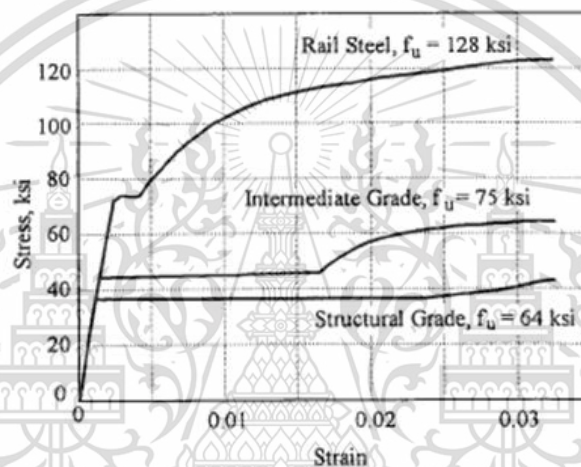
สำหรับเหล็กจะมีความยืดหยุ่นมากที่สุดความสัมพันธ์นี้ เป็นวัดโดยโมดูลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุ โดยทั่วไปคอนกรีตไม่ได้มีการกำหนดไว้สำหรับความยืดหยุ่นที่เป็นพลาสติกเนื่องจากธรรมชาติของคอนกรีตมีความเปราะแต่จะมีกำลังแรงอัดสูงสุดซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของคอนกรีตและส่วนผสมที่มีขนาดเล็กในส่วนที่เป็นเส้นโค้งจะเกิด ความเครียดซึ่งมีความสัมพันธ์กับขนาดที่มีส่วนผสมที่เล็กของการบดคอนกรีต ดังนั้นโมดูลัสของความยืดหยุ่นที่แตกต่างกันอย่างต่อเนื่องกับความเครียด เส้นที่ลากตัดกันจะเป็นโมดูลัสและแรงที่กระทำโดยปกติแล้วจะใช้ในการกำหนดค่าสำหรับโมดูลัสของความยืดหยุ่น การกำหนดนี้จะระบุในข้อกำหนดที่ให้การคงรูปมากที่สุด สำหรับการก่ออิฐฉาบจะมีการผสมของคอนกรีตแต่โดยทั่วไปจะมีกำลังอัดและค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นลดลง

สำหรับวัสดุเหล็กรูปพรรณเส้นโค้งมากแตกต่างจากคอนกรีตที่สามารถเห็นได้ในภาพประกอบที่ 2.15 เหล็กมีคุณสมบัติค่อนข้างเหนียวและสามารถทนต่อแรงกระทำที่สูงได้ก่อนถึงจุดที่จะมีการแยกออกจากกัน เหล็กโครงสร้างเกรดคาร์บอนต่ำ (eg A36, A572) จัดอยู่ในส่วนของการผลิตที่กำหนดตามความต้องการโดยทั่วไป เหล็กมีความแข็งแรงสูงไม่เหมาะสำหรับการใช้งานเพราะมีคุณสมบัติที่มีความความยืดหยุ่นน้อยและจะผลิตเป็นตามความต้องการใช้งานเฉพาะ วัสดุเหล็กคาร์บอนต่ำมีความเหมาะสมโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่จะต้านทานแรงระเบิด การออกแบบโครงสร้างที่ต้านทานแรงระเบิดควรมีความยืดหยุ่นสูงโดยไม่เปราะ เหล็กที่มีความแข็งแรงสูงควรหลีกเลี่ยงในการก่อสร้างเนื่องจากความเหนียวต่ำโดยทั่วไปจะไม่ใช้ในการที่จะใช้เป็นวัสดุในการก่อสร้าง การใช้ประเภทงานพิเศษเช่นประตูกันระเบิดและโล่กำบังอาจต้องใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงสูงเพื่อจะได้ต้านทานแรงระเบิดได้ตามความต้องการของการใช้งาน การเลือกคุณสมบัติของวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงควรจะเป็นไปตามข้อกำหนด

ตัวประกอบที่เพิ่มความแข็งแรง (SIF) คุณสมบัติที่เป็นแบบอยู่กับที่ (static) มีความหลากหลายของแหล่งที่มาของข้อมูลและมีการกำหนดไว้อย่างดีจากข้อกำหนดที่ใช้กันสำหรับมาตรฐานนี้ ข้อมูลจำเพาะที่อ้างอิงในข้อกำหนดคุณสมบัติทางกลขั้นต่ำสำหรับเกรดต่าง ๆ ของวัสดุที่ผลิต ในทางปฏิบัติความแข็งแรงมีค่ากำหนดเฉลี่ยของวัสดุเหล็กที่จะใช้อยู่ที่ประมาณ 25% สูงกว่าค่าต่ำสุดที่ระบุไว้ เป็นปัจจัยหนึ่งที่เพิ่มความแข็งแรงคุณสมบัติของวัสดุ สำหรับข้อกำหนดที่กล่าวใน TM-5-1300 แนะนำให้ใช้เป็นปัจจัยหนึ่งที่เพิ่มความแข็งแรง ที่จะนำไปใช้กับความเครียดเป็นผลคำตอบขั้นต่ำของความเครียดในโครงสร้างเหล็ก โครงสร้างที่มีความแข็งแรง (yield) 50 KSI (345MPa) หรือน้อยกว่าและเสริมกำลังในระดับที่ 60 หลายข้อมูลที่อ้างอิงถึงโรงงานนิวเคลียร์ได้ให้ข้อแนะนำเป็นปัจจัยหนึ่งที่เพิ่มความแข็งแรง ทั้งหมดเหล่านี้เพื่อเพิ่มอัตราของความปลอดภัยให้มากขึ้นสำหรับการออกแบบ การประยุกต์ใช้งานแนะนำไว้เป็นปัจจัยหนึ่งที่เป็นข้อกำหนดสำหรับการออกแบบในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่มีจุดที่อาจเกิดการระเบิดในหลายสถานที่

กระบวนการผลิตเหล็กรีดเย็น(Cold-form steel)ที่ทำให้เกิดความแข็งแรงเฉลี่ยดีเกินกว่าขั้นต่ำที่กำหนดไว้ในมาตรฐานข้อกำหนดของ TM 5-1300 ได้ แนะนำให้เพิ่มความแข็งแรงเป็น 1.2 เท่าของวัสดุ[2]

สำหรับความแข็งแรงของคอนกรีตได้ถูกกำหนดไว้เป็นแรงอัดต่ำสุด28วัน ของอายุการบ่มคอนกรีต ค่านี้จะใช้สำหรับการออกแบบและจะไม่เพิ่มขึ้นโดยทั่วไปจะกำหนดการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงกับอายุของคอนกรีต สำหรับการวิเคราะห์ของโครงสร้างที่มีอยู่ และตรวจสอบความแข็งแรงของคอนกรีตที่จะใช้ในการวิเคราะห์ นี้จะไม่มี ความแตกต่างที่ยิ่งจุดตัด แต่มันอาจจะเป็นสิ่งที่สำคัญมากเมื่อมีการตรวจสอบความต้านทานแรงเฉือน[3]



ภาพประกอบที่ 2.15 Typical Stress-Strain Curve For Steel (From ASCE Manual 42)

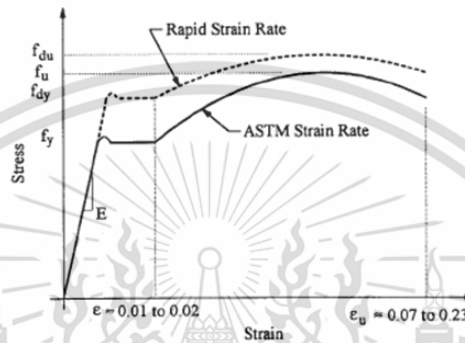
การเพิ่มความแข็งแรงแบบไดนามิก(Dynamic) ที่ผ่านมากอนกรีตและเหล็กจะมีความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นภายใต้แรงกระทำที่นำมาใช้ วัสดุเหล่านี้ไม่สามารถนำมาใช้สำหรับแรงกระทำอัตราเดียว ดังนั้นผลที่ได้จะเป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุก่อนที่จะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกน้อยลงที่มีอัตราส่วนก่อนเกิดความเครียด(Strain) ภายใต้แรงกระทำที่เพิ่มมากขึ้นสิ่งที่จะต้องคำนึงในอัตราส่วนที่ต่ำ ความเครียด(Strain)เป็นผลตอบสนองที่ค่อนข้างสำคัญสำหรับวัสดุที่ต่ำกว่าความแข็งแรงและลดลงตามการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงที่ให้ผลตอบสนองคงที่[13],[17]

สำหรับเหล็ก, โมดูลัสของความยืดหยุ่นมีความยืดหยุ่นที่อยู่ในแนวขนานของแรงที่กระทำแบบคงที่(Static)และแบบไดนามิก(Dynamic) ในความแข็งแรง ความเครียดความจะลาดชันตามเส้นโค้ง นี้เป็นความแตกต่างกันแต่ไม่สำคัญมากนักสำหรับการออกแบบโครงสร้าง

ความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นในการผลิตอยู่ในระดับความแข็งแรงสูงสุด สำหรับเหล็ก, อย่างไรก็ตามอัตราส่วนของแบบไดนามิก(Static)และคงที่(Static) เพื่อความแข็งแรงจะไม่น้อยกว่าที่จุดที่ยอมรับ(Yield)ได้อธิบายของเส้นโค้งความเค้นและความเครียด(Stress-Strain Curve) ดังตัวอย่างแรงกระทำแบบไดนามิก(Dynamic)และแบบคงที่(Static) ที่มีความต้องการของเหล็ก

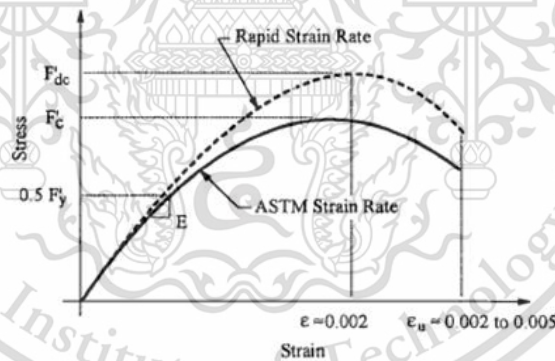
จะแสดงในภาพประกอบที่ 2.15 การยึดตัวของวัสดุจะไม่เพียงพอเมื่อได้รับแรงกระทำไดนามิก

ความแข็งแรงจะต้องมากพอและสูงพอสำหรับคอนกรีตภายใต้แรงกระทำแบบไดนามิก (Dynamic) ถึงแม้ว่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นมากขึ้นนอกจากนี้จะต้องไม่ละเลยความแตกต่างที่มีเล็กน้อย น้อยแสดงไว้ในภาพประกอบที่ 2.16 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองแบบไดนามิกและแบบคงที่สำหรับคอนกรีต[3]



ภาพประกอบที่ 2.16 Effect Of Strain Rate On Stress-Strain Curve For Steel

(From TM 5-1300)

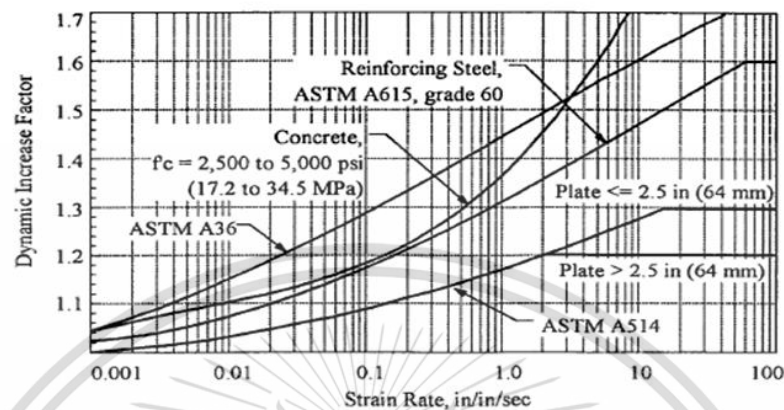


ภาพประกอบที่ 2.17 Effect Of Strain Rate On Stress-Strain Curve For Concrete

(From TM5-1300)

ขนาดแรงกระทำที่เพิ่มขึ้นแบบไดนามิก(Dynamic)จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างรวมทั้งความแข็งแรงของวัสดุแบบแรงกระทำคงที่(Static)และอัตราของความเครียด โดยทั่วไปความแข็งแรงของวัสดุแบบคงที่(Static),แรงกระทำที่เพิ่มขึ้นและลดลงจะเป็นความแข็งแรงแบบไดนามิก(Dynamic) ความเครียดของวัสดุจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจะ สูงขึ้นและเพิ่มขึ้นเมื่อมีแรงกระทำแบบไดนามิกวัสดุจะมีความแข็งแรงสูงสุดไปถึงทำให้วัสดุแตกหัก(yield) ดังภาพประกอบที่ 2.18 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความเครียดและอัตราส่วนแรง

กระทำแบบไดนามิกสำหรับโครงสร้างเหล็กที่รับแรงกระทำแบบคงที่(Static),โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก[2],[13]

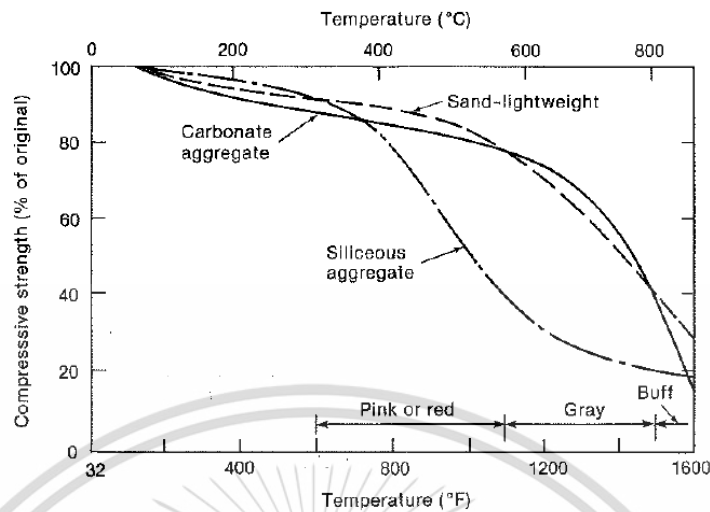


ภาพประกอบที่ 2.18 Effect of Strain Rate on Dynamic Material Strength  
(From TM 5-1300)

ตัวประกอบที่ทำให้แรงกระทำแบบไดนามิกเพิ่มขึ้น(DIF) เพื่อรวมผลกระทบที่ทำให้ความแข็งแรงของวัสดุเพิ่มขึ้นกับอัตราหน่วยความเครียด,ตัวประกอบที่เพิ่มขึ้นแรงกระทำแบบไดนามิก (DIF)ซึ่งมีความสำคัญที่นำมาใช้กับความแข็งแรงคงที่(Static) ตัวประกอบที่ทำให้แรงกระทำแบบไดนามิกเพิ่มขึ้น(DIF) เป็นอัตราส่วนพื้นฐานความแข็งแรงของวัสดุแบบไดนามิกกับความแข็งแรงแบบคงที่และมีฟังก์ชันชนิดของวัสดุเช่นเดียวกับอัตราหน่วยของความเครียด (Strain) เช่นเดียวกันDIFจะขึ้นอยู่กับชนิดของความเค้น (Stress) (เช่นกันกับการตัด,เฉือนโดยตรง) เนื่องจากค่าความเค้นสูงสุดเหล่านี้เกิดขึ้นในเวลาที่แตกต่างกัน ความเค้นตัดที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่ความเค้นเฉือนอาจเกิดขึ้นค่อนข้างช้าในเวลาที่เกิดในอัตราความเครียดเฉือนลดลง[5]

มาตรฐานของTM 5-1300 และการอ้างอิงอื่น ๆ ได้ให้ข้อแนะนำการเลือกค่าตามระดับช่วงความดันหรือปรับระยะการระเบิดจากแสงระเบิด วิธีนี้เป็นการรวมกลุ่มแรงที่กระทำจากระเบิดน้อยกว่าไม่กี่ร้อยปอนด์ต่อตารางนิ้ว(psi) ซึ่งเป็นแรงดันต่ำประเภทที่มีค่าเดียวสำหรับแต่ละระดับชนิดความเครียด สำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีส่วนใหญ่โครงสร้างจัดอยู่ในประเภทแรงดันต่ำ

พฤติกรรมของคอนกรีตเมื่อสัมผัสกับอุณหภูมิสูงและต่ำ (Behavior of concrete exposed to high and low temperatures)[25] เมื่อชิ้นส่วนที่เป็นคอนกรีตเมื่อถูกการสัมผัสกับอุณหภูมิสูงเช่นที่เกิดขึ้นในเหตุการณ์ไฟไหม้ในอาคาร ตัวอย่างเช่น ไฟที่ลุกลามไปในช่วงเวลาที่สำคัญของเวลาในระหว่างไฟไล่ความร้อนสูงเกิดขึ้น และจะเป็นผลให้ชั้นผิวขยายตัวและในที่สุดก็จะแตกกร้าวหรือ ร่อนเมื่อเกิดการเย็นตัว ส่วนการแตกกร้าวภายในของคอนกรีตหรือล่อนน้ำจากท่อดับเพลิงก็จะทำให้คอนกรีตเย็นที่พื้นผิว



ภาพประกอบที่ 2.19 Compressive strength of concretes at high temperatures

มอดูลัสของความยืดหยุ่นและความแข็งแรงของคอนกรีตก็จะลดลงที่อุณหภูมิสูงที่เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวของความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากภาพประกอบที่ 2.19 ประเภทของการรวมผลกระทบท่อการลดลงของความแข็งแรงตามที่แสดงในภาพประกอบที่ 2.19 โครงสร้างคอนกรีตส่วนใหญ่สามารถแบ่งได้เป็นหนึ่งในสามประเภทรวม , คาร์บอเนตซึ่งเป็นทรายหรือมีน้ำหนักเบา คอนกรีตที่ทำจากมวลรวมคาร์บอเนตเช่นหินปูนและโดโลไมต์ ที่ค่อนข้างได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิจนกว่าจะถึงประมาณ 650-700 C° เวลาที่คอนกรีตได้รับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอย่างรวดเร็วและสูญเสียความแข็งแรง ผลึกทรายในมวลรวมเช่น หินแกรนิตหินทราย, ผ่านการเปลี่ยนเฟสที่อุณหภูมิประมาณ 425-550 C° จากการดับเพลิงในส่วนที่ดับเพลิงก็จะเย็นตัวที่พื้นผิว ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันตามปริมาณและการล่อนของพื้นผิว มวลเบาค่อยๆสูญเสียความแข็งแรงของคอนกรีตที่อุณหภูมิสูงกว่า 650 C° การลดลงของอุณหภูมิจะทำให้ความแข็งแรงและขอบเขตของการล่อนเนื่องจากความร้อนจะเด่นชัดมากที่สุดที่คอนกรีตเปียกและเป็นผลก่อให้เกิดการสูญเสียความแข็งแรงไฟจะเป็นตัวช่วยเร่งที่สำคัญมากที่สุดกับคอนกรีต ความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มที่จะได้รับผลกระทบมากขึ้นจากอุณหภูมิ และแรงอัดของคอนกรีตส่วนประกอบทำด้วยหินปูนและทรายมวลรวมมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนสีเมื่อถูกความร้อน ตามที่ระบุไว้ในภาพประกอบที่ 2.19 และสีของคอนกรีตหลังจากที่ไฟไหม้สามารถเปลี่ยนเป็นทรายหยาบที่อุณหภูมิสูงและเข้าถึงตัวของคอนกรีตที่ได้รับในสถานะโดยทั่วไปคอนกรีตที่มีการเปลี่ยนสีที่เกินสีชมพูส่วนที่หน้าคอนกรีต คอนกรีตที่ได้เปลี่ยนเป็นสีชมพูและเปลี่ยนเป็นสีในขั้นตอนนี้เป็นสีเทาคอนกรีตอาจได้รับความเสียหายคอนกรีตดังกล่าวควรจะแยกออกไปและแทนที่ด้วยชั้นของคอนกรีตใหม่

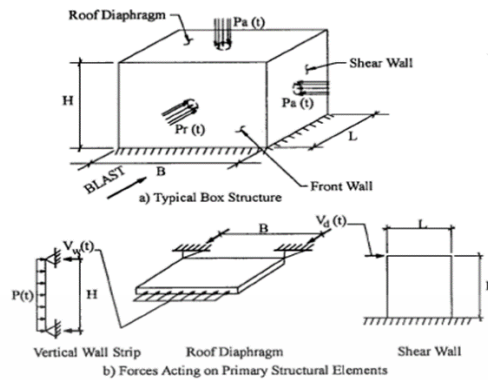
## 2.12 วิธีการวิเคราะห์แบบไดนามิก (Dynamic Analysis Methods)

วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) มีความสามารถในการผสมผสานที่ซับซ้อนในการเปลี่ยนแปลงวัสดุที่มีความเค้นในเวลาที่ต้องการ ในขณะที่วิธีการเหล่านี้จะสามารถใช้ได้อย่างกว้างขวาง โดยมากจะค่อนข้างซับซ้อน และในหลายกรณี การใช้ของวิธีการนี้จะไม่รับประกันเนื่องจากความไม่แน่นอนในการพยากรณ์แรงกระทำจากระเบิด คุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้แบบไดนามิกในส่วนนี้สามารถใช้ในการคำนวณเปรียบเทียบได้ ซึ่งการวิเคราะห์แบบไดนามิกใช้เป็นข้อมูลเพิ่มเติมแนวคิดที่สำคัญ แนวคิดหลัก หลายแนวคิดหลักที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์แบบไดนามิกของโครงสร้างงานวิจัยทั่วไปในระดับของความถูกต้องที่สำหรับใช้ในงานออกแบบเกี่ยวกับระเบิดทั่วไป วิธีการแยกส่วนเชื่อมต่อนั้นส่วนของโครงสร้าง [4]

วัตถุประสงค์โดยรวมของการวิเคราะห์แรงระเบิดแบบไดนามิกเพื่อเป็นการประเมินความสามารถของโครงสร้างที่ต้านทานแรงที่กระทำจากระเบิด เพื่อให้บรรลุเป้าหมายนี้ในการวิเคราะห์จะสามารถคาดการณ์ด้วยระดับของความถูกต้องแม่นยำ โครงสร้างที่แรงที่กระทำแบบไดนามิก การวิเคราะห์โดยทั่วไป เริ่มต้นด้วยการระบุค่าของโครงสร้าง ซึ่งรวมถึงชนิดของวัสดุ ความยาวช่วงเงื่อนไขการสนับสนุนและการประยุกต์ คุณสมบัติของวัสดุถูกนำมาใช้เพื่อประเมินความสามารถโดยรวม ส่วนมวลและอื่น ๆ จะกำหนดความแข็งและความสามารถในการออกแบบให้ต้านทานกับฟังก์ชัน การพัฒนาบนพื้นฐานต่าง ๆ สามารถใช้การประเมินความสามารถของชิ้นส่วนของโครงสร้าง การวิเคราะห์ในรายละเอียดเพื่อศึกษาวิธีการที่จะตรวจสอบการต้านทานต่อแรงระเบิดที่กำหนดโดยเฉพาะการวิเคราะห์ให้ดังต่อไปนี้[4],[7],[13]

1. ค่าสูงสุดที่มีความสัมพันธ์กันกับการแอ่นตัวของโครงสร้างแต่ละชิ้นส่วน
2. การหมุนที่มีความสัมพันธ์ที่ยึดออกไปในแนวแกนx(Hinge)ของชิ้นส่วน
3. ปฏิกริยาแบบไดนามิกที่ส่งผ่านไปยังชิ้นส่วนเอลิเมนต์
4. การโก่งและปฏิกริยาเนื่องจากการสะท้อนกับ

เมื่อวิเคราะห์เสร็จสมบูรณ์, การออกแบบสามารถดำเนินการตรวจสอบให้ความเพียงพอของชิ้นส่วนโดยผ่านเกณฑ์ประยุกต์สำหรับการยอมรับตามข้อกำหนด ปฏิสัมพันธ์ร่วมกันแบบไดนามิกที่จะละเอียดไม่ได้ โดยทั่วไปภายใต้ที่มีปฏิสัมพันธ์กันมีผลกระทบ ถ้าค่าความถี่ธรรมชาติคาดว่าจะมีเพียงเล็กน้อยของชิ้นส่วนของเอลิเมนต์โดยทั่วไปสำหรับชิ้นส่วน คือ การวิเคราะห์ ทางด้านข้างของอาคารที่แสดงในภาพประกอบที่2.20 ที่ผนังด้านหน้าหันหน้าไปทางระเบิดโดยทั่วไปจะออกแบบเป็นทางด้านกว้างของชิ้นส่วนแนวตั้งจากปฏิกริยาของเวลาสำหรับผนังแรงที่กระทำเข้าในแนวนอน หลังคาและผนังข้างวางขนานกับทิศทางของแรงระเบิด กำแพงเหล่านี้โดยทั่วไปเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ผนังรับแรงเฉือน หรือโครงเหล็ก การวิเคราะห์จะเริ่มจากด้านหน้าผนังกับหลังคาและผนังด้านข้าง , ทิศทางอย่างต่อเนื่องของแรงระเบิด[1]

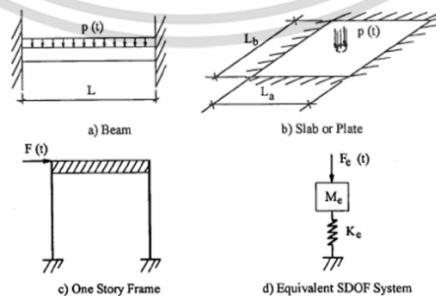


ภาพประกอบที่ 2.20 Force Acting on Primary Structural Elements

Single Degree of Freedom Systems พื้นฐานการวิเคราะห์แบบจำลองที่ใช้ในการออกแบบโปรแกรมส่วนใหญ่แรงระเบิดเป็นระดับเดียวของค่าอิสระ (SDOF) ระบบที่อยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์แบบไดนามิกสำหรับระบบแบบ SDOF จะได้อธิบายเกี่ยวกับวิธีการที่จะใช้เหล่านี้ในชั้นส่วนของโครงสร้าง พื้นฐาน

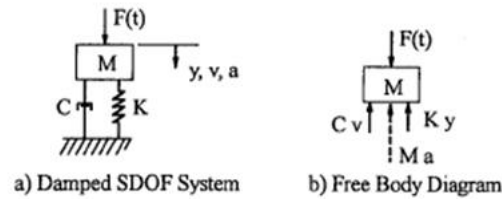
โครงสร้างทั้งหมดการไม่ระมัดระวังของตัวอย่างในการก่อสร้างความสามารถที่มากขึ้นในระดับหนึ่งของค่าอิสระ, อย่างไรก็ตามโครงสร้างจำนวนมากที่มีมาก ๆ สามารถเป็นตัวแทนหนึ่งตัวอย่างเพียงพอของระบบ SDOF เพื่อวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์ ความถูกต้องจะได้รับจากการประมาณ SDOF ขึ้นอยู่กับวิธีการที่ตีรูปร่างผิดปกติของโครงสร้างและความต้านทานที่สามารถเป็นความสัมพันธ์ที่เกี่ยวกับเวลา ที่เพียงพอผลลัพธ์ที่ถูกต้องสามารถได้รับสำหรับแรงกระทำที่กระทำต่อส่วนประกอบหลักของโครงสร้างเช่น คาน,เสา,ผนัง, แผ่นหลังคาและตัดผนัง

วิเคราะห์ส่วนใหญ่ของแบบไดนามิก สำหรับการออกแบบการต้านทานแรงระเบิดในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีจะทำได้ใช้การประมาณค่า SDOF ชนิดที่พบบ่อยของการก่อสร้างเช่นเฟรมเครื่องบินชั้นเดียวผนังกัน, เทำแขนและอาคารกำลังอัดแบบกล่อง (Compact box-like building) ระบบค่าอิสระ SDOF ตัวอย่างเช่นหลายโครงสร้างดังกล่าวจะแสดงภาพประกอบที่ 2.21



ภาพประกอบที่ 2.21 Typical Structure Represented as Equivalent SDOF System

ความที่เป็นระบบสมมูลแบบไดนามิกที่มีการหน่วงของระบบเชิงเส้นที่ยืดออก SDOF ดังในภาพประกอบที่ 2.22 แสดงระบบทางคณิตศาสตร์ดังนี้[1],[5],[7],[13]



ภาพประกอบที่ 2.22 SDOF Model For Dynamic Analysis

$$Ma + Cv + Ky = F(t) \quad (2.42)$$

เมื่อ

$M$  = mass

$a$  = acceleration

$C$  = viscous damping constant

$v$  = velocity

$K$  = stiffness

$y$  = displacement

$F(t)$  = applied force as a function of time

การยับยั้งการสะเทือนไม่นิยมใช้ในการออกแบบต้านทานแรงระเบิด เนื่องจากมีเวลาสั้นๆที่โครงสร้างที่มาถึงจะส่งผลกระทบไม่มากนักกับการเคลื่อนที่(displacements)สูงสุด การเชื่อสำหรับการกระจายพลังงานผ่านการความเหนียวอื่น ๆซึ่งในระหว่างขั้นตอนที่เกิดการเปลี่ยนแปลง แบบพลาสติกเป็นเหตุผลหนึ่งของการยับยั้งการสะเทือน เมื่อการยับยั้งไม่ได้มีผลต่อกระทำต่อมวลที่มีความต้านทาน ( $K Y$ ), แรงเฉื่อย ( $M$ ) และแรงภายนอก ( $F$ ) สมการสมดุลแบบไดนามิกสำหรับโดยรวมระบบยึดหยุ่นก็จะเป็น

$$Ma + Ky = F_1 \quad (2.43)$$

ในการวิเคราะห์ความต้านทานแรงระเบิดมักระบุเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นเพื่อจำลองพฤติกรรมแบบยึดหยุ่นพลาสติกของโครงสร้าง ความต้านทานสูงสุด ( $R_u$ ) เมื่อความต้านทานไม่เป็นเชิงเส้นสมการสมดุลแบบไดนามิกตั้งสมการ

$$M_a + R = F_1 \quad (2.44)$$

เมื่อ

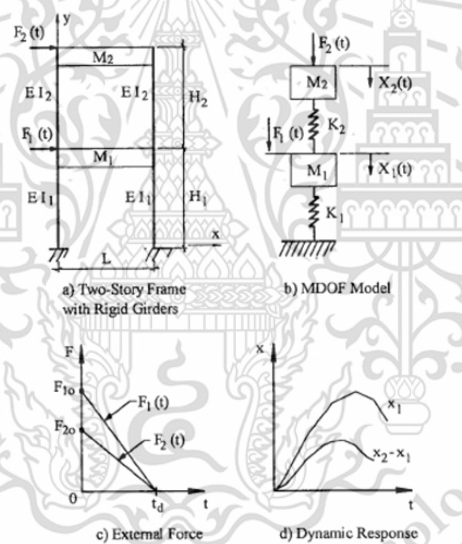
$$R = \text{lessor of } K_y \text{ or } R_o \quad (2.45)$$

การแก้ปัญหาสำหรับสมการ 3.43 สามารถแก้สมการได้โดยวิธีการต่าง ๆขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของฟังก์ชันแรงที่กระทำ,  $F$

การวิเคราะห์ที่ให้เกิดความแม่นยำของระบบ SDOF มักจะไม่จำเป็นต้องใช้หรือรับประกันในการประยุกต์ใช้ การออกแบบระเบิดโดยทั่วไป อย่างไรก็ตามกรณีพิเศษอาจจะเกิดขึ้นที่การแก้ปัญหาที่ซับซ้อนมากขึ้นเป็นธรรมดาอาจจะมีคุณภาพการวิเคราะห์โครงสร้างที่มี

อยู่สำหรับเงื่อนไขแรงที่กระทำเพิ่มขึ้นใหม่ โดยอ้างอิง สามารถสร้างโดยการวิเคราะห์ในความแข็งแรงจากแรงกระทำรูปร่างที่มีขนาดใหญ่ การเสนอแนะของวิธีการเหล่านี้อยู่นอกเหนือขอบเขตของเอกสารฉบับนี้ แต่คำแนะนำทางเทคนิคสามารถพบได้ในความแข็งแรงจาก Yu, ASCE คู่มือ 42 (ข้อ 7.6), Krauthammer 1990

ระบบค่าความอิสระหลายระดับ(Multi-Degree of Freedom Systems) ส่วนหนึ่งของวิธีการวิเคราะห์แบบไดนามิกที่อธิบายข้างต้นสำหรับระบบ SDOF ในระดับหลายค่าความอิสระ (MDOF) ระบบจะกล่าวถึงด้านล่าง ภาพประกอบที่ 2.22 ให้คำแนะนำทางเทคนิคไว้เพื่อช่วยในการเลือกวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมกับโครงสร้างซึ่งอาจไม่ได้รับการพิจารณาอย่างเพียงพอของระบบ SDOF รวมถึงโครงสร้างอาคารซึ่งมีหลากหลาย เช่น พื้น, คาน, คานระบบที่เป็นนั่งร้านและโครงสร้างที่มีความหลากหลายอย่างมีนัยสำคัญ ตัวอย่างของการศึกษาหลายระดับปกติของโครงสร้างที่มีค่าความอิสระแสดงในภาพประกอบที่ 2.23 ซึ่งเป็นอาคารสองชั้นอยู่ภายใต้แรงกระทำด้านข้างด้านบนของสำหรับกรณีแรงกระทำจากแรงระเบิด[13]



ภาพประกอบที่ 2.23 Typical MDOF Structure

วิธีการวิเคราะห์แบบไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis Methods) การวิเคราะห์องค์ประกอบที่จำกัด เป็นวิธีที่แนะนำหนึ่งอย่างหรือมากกว่าของเงื่อนไขต่อไปนี้ [2],[25]

1. อัตราส่วนของชั้นส่วนกับชั้นส่วนที่มีความถี่ของระบบอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 2.0 เช่น วิธีการวิเคราะห์แยกออกอาจให้ผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญ

2. เวลาที่เปลี่ยนแปลงช่วยให้ปฏิริยาหรือแรงในชั้นส่วนที่ต้องการปรับเปลี่ยนกับการประเมินโครงสร้างหรือฐานรากในรายละเอียดที่สำคัญ ในความพยายามที่จะลดค่าใช้จ่ายของการปรับเปลี่ยนโครงสร้างที่เหมาะสม

3.พฤติกรรมโครงสร้างโดยรวมจะประเมินเกี่ยวกับเสถียรภาพของโครงสร้าง ( frame bucking ) รวมถึงทั้งหมดของการเคลื่อนที่(Displacement)และผลกระทบของ P-delta (P-delta effects)

4.โครงสร้างมีลักษณะผิดปกติ เช่น ไม่สมมาตร หรือความไม่สม่ำเสมอของมวลและลักษณะความแข็ง

ในหลายโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของไฟไนต์เอลิเมนต์ตัวอย่างเช่น ABAQUS, ADINA, ANSYS, DYNA, DYNA, DYNA3D, LS-DYNA, NASTRAN และ NONSAP มีความพร้อมสำหรับการวิเคราะห์แบบไดนามิกไม่เชิงเส้น มาตรฐานที่กำหนดของคอมพิวเตอร์อื่น ๆ เช่น CBARCS, COSMOSM ,STABLE, ANSR-1 ที่ได้รับการพัฒนาโดยเฉพาะสำหรับการออกแบบโครงสร้างที่จะต่อต้านทานแรงระเบิด โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทั้งหมดเหล่านี้มีความสามารถในการวิเคราะห์เชิงเส้นในระดับที่แตกต่างกัน[1]

หลักการพิจารณาบางอย่างควรจะได้รับการด้วยเหตุผลที่อย่างเพียงพอในราคาที่เหมาะสมเมื่อใช้วิธีการวิเคราะห์แบบไฟไนต์เอลิเมนต์ หนึ่งในรายการที่ต้องพิจารณาคือความเหมาะสมและการดำเนินการจริงของประเภทของเอลิเมนต์ที่เหมาะสมที่สุดจากง่ายที่สุดในการที่ซับซ้อนมากที่สุดรวมถึงสปริงของเอลิเมนต์ , เอลิเมนต์ส่วนของคาน,แผ่นโลหะของโครงสร้างอาคารหรือสิ่งก่อสร้างและเอลิเมนต์ที่เป็นของแข็ง

อื่นที่สำคัญคือรายการเพื่อพิจารณาวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงผลข้อมูลจะถูกใช้เพื่อยืนยันความสอดคล้องกับเกณฑ์การยอมรับ ตัวอย่างเช่น การใช้ข้อมูลผลผลิตความเครียดจากแผ่นโลหะหรือเอลิเมนต์ของโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่เป็นพื้นไม่เป็นไปตามความจริง บางคอมพิวเตอร์จะกำหนดใช้yieldเป็นเกณฑ์ของสำหรับแผ่นโลหะและเอลิเมนต์ของโครงสร้างบนพื้นฐานของความเค้น(Stress) ( แรงและโมเมนต์ )ซึ่งจะมากขึ้นสำหรับวัตถุประสงค์ในการออกแบบโครงสร้าง ปัญหาอื่นที่เกิดขึ้นเมื่อพยายามที่จะกำหนดการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนเมื่อมีการตรวจสอบการโก่งที่สูงที่สุดของการต้านที่ยอมให้

ถึงแม้ว่าวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถให้วิธีการที่ถูกต้องที่สุดสำหรับวิเคราะห์โครงสร้างสำหรับแรงที่กระทำแบบระเบิด ความไม่แน่นอนที่เกี่ยวข้องกับแรงที่กระทำ โดยทั่วไปไม่ได้อธิบายถึงการใช้ของมัน นอกจากนี้ เช่นเดียวกันส่วนที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์และความเข้าใจมักจะเป็นสิ่งจำเป็นโดยการประยุกต์วิธีการที่อธิบายไว้ในตัวอย่างของ SDOF การวิเคราะห์ได้มีการแนะนำสำหรับการใช้งานยกเว้นในกรณีดังกล่าวตามที่อธิบายไว้ไม่ถูกต้องที่เกี่ยวข้องกับการประมาณค่า SDOF อาจจะเป็นที่ยอมรับไม่ได้

ขั้นตอนพื้นฐานสำหรับการรวมตัวเลขการใช้วิธีการเร่งความเร็วเชิงเส้นและฟังก์ชันที่จะต้านทานการโก่งของสองเส้นตรงสำหรับการบีบอัดและแรงดึง ขั้นตอนเหล่านี้จะถูกตั้งโปรแกรมได้อย่างง่ายสำหรับการใช้งานกับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลโดยไปใช้ภาษาโปรแกรมเช่นขั้นพื้นฐานหรือ FORTRAN หรือการกระจายของเลขฐาน หนึ่งในแหล่งที่มาของซอฟต์แวร์ทาง

วิศวกรรมไมโครคอมพิวเตอร์ของวิศวกรรมที่ช่วยวิเคราะห์, โครงสร้างที่เกี่ยวข้องไดนามิก(Dynamics) (Paz 1986) อีกโปรแกรมที่มีประโยชน์, BIGGSนอกจากนี้ยังมี (WBE 1990) ขั้นตอนต่อไปจะขึ้นอยู่กับตัวอย่างลาปาซ(Paz)ปี 1986 จะรวมอยู่ที่เกี่ยวกับแรงเฉือนผนังของการออกแบบอาคาร

### 2.13 สภาพข้อจำกัดในการออกแบบ

สภาพข้อจำกัดในวิธีการออกแบบของสภาพในออกแบบการต้านทานระเบิด วิธีการเหล่านี้ให้ความหมายที่เชื่อถือได้และมีเหตุผลที่ครอบคลุมเชื่อถือได้ของกลไกการทำงานความล้มเหลวและความสามารถของโครงสร้างสภาพข้อจำกัดวิธีการออกแบบสำหรับโครงสร้างเหล็ก, เหล็กขึ้นรูปเย็น, คอนกรีตเสริมเหล็กและการเสริมการก่ออิฐที่มีอยู่ อย่างไรก็ตาม ณ ขณะนี้ไม่มีข้อกำหนดการออกแบบสามารถใช้ได้สำหรับโครงสร้างอลูมิเนียม[5]

สำหรับโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็น, แรงกระทำและตัวประกอบของการออกแบบความต้านทาน(LRFD) เป็นวิธีที่ใช้กันวิธีการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กและวัสดุที่ก่อสร้างรายละเอียดวัสดุเกี่ยวกับการใช้วิธีการเหล่านี้สำหรับแต่ละชั้นของวัสดุแต่ละชนิด จำกัดข้อกำหนดสภาพการออกแบบพิเศษสำหรับเงื่อนไขแผ่นดินไหวสูงซึ่งเป็นที่นิยมใช้สำหรับการออกแบบความต้านทานระเบิดเหล่านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันความผิดพลาด non ductile เช่น buckling หรือวัสดุที่มีการใช้งานพิเศษรายละเอียดและสำหรับความต้องการการออกแบบ

การรวมแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง สภาพที่จำกัดข้อกำหนดที่พิจารณาการออกแบบตัวประกอบของแรงที่กระทำและถูกรวมเป็นชุดของแรงกระทำจะใช้เงื่อนไขเช่น น้ำหนักบรรทุกคงที่, น้ำหนักบรรทุกจร, แรงลมและแรงที่เกิดจากแผ่นดินไหว อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันไม่มีขีดจำกัด ของสภาพของข้อกำหนดการออกแบบที่ครอบคลุมแรงระเบิด. แรงที่เกิดจากระเบิดจะรวมกับแรงกระทำเฉพาะผู้ที่คาดว่าจะอยู่ในเวลาของการระเบิด ดังนั้นแรงที่เกิดจากระเบิดไม่ได้รวมด้วยกับกับแรงแผ่นดินไหวและแรงลม

ขอบเขตขั้นพื้นฐานของการรวมแรงกระทำทุกประเภทวัสดุที่ใช้ในการออกแบบต้านทานแรงระเบิดมีดังต่อไปนี้:

$$1.0(DL) + 1.0(LL) + 1.0(BL) \quad (2.46)$$

เมื่อ

DL = dead load

LL = live load

BL = blast load

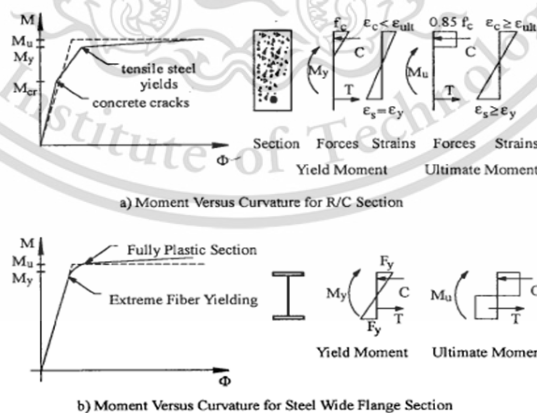
แรงกระทำจากน้ำหนักจร(live load)เป็นตัวประกอบแรงที่กระทำต่อหน่วยตามข้อสันนิษฐานที่ว่า เหตุระเบิดแรงกระทำจากบรรทุกที่เป็นเหตุการณ์ที่หายากมาก ๆ

ฟังก์ชันความต้านทาน ในการกำหนดความต้องการที่เป็นแบบไดนามิกของระบบ,หนึ่ง ความต้องการโดยกล่าวสรุปการพัฒนาแรงทั่วไปเมื่อเทียบกับความสัมพันธ์การเกิดการโก่งสำหรับ โครงสร้างโดยรวมหรือในชิ้นส่วนแต่ละชิ้น

แรงที่กระทำเหล่านี้เมื่อเทียบกับความสัมพันธ์ deflection ไม่เป็นเชิงเส้นปกติ (เนื่องจาก วัสดุหรือรูปทรงเรขาคณิต) และเรียกว่าฟังก์ชันของความต้านทาน จะมีพารามิเตอร์ที่ใช้ที่จำเป็น สำหรับการวิเคราะห์ระบบเทียบเท่าค่าความอิสระเดี่ยว (SDOF) ฟังก์ชันที่มีความต้านทานไม่ ปกติจำเป็นสำหรับการวิเคราะห์หลายระดับระบบอิสระ (MDOF) รูปแบบวัสดุที่ใช้ความเค้น (Stress)ไม่เป็นเชิงเส้นเมื่อเทียบกับข้อมูลที่ต้องใช้ ตามที่อธิบายไว้ใน Dynamic material Strength and Response Criteria ใช้ในระบบ (MDOF)[1]

ขั้นตอนแรกในการพัฒนาฟังก์ชันของความต้านทานคือการ กำหนดความจุส่วนที่ยืด ออก(plastic) เช่นขณะ plastic moment(M) ดังที่แสดงในภาพประกอบที่ 2.34 ขั้นตอนถัดไปคือ การ กำหนดลำดับของการยืดออกแบบต่อเนื่อง(Sequence of plastic Hinge) ของรูปแบบ และ แรงกระทำที่เกี่ยวข้อง และค่าของการคืนรูป ซึ่งทำได้ โดยการใช้แบบเพิ่มหน่วยลงในหน่วยแรง กระทำที่ระบบมีรูปแบบดังที่แสดงในภาพประกอบที่ 2.24 สำหรับคานายึดติด(Fixed)ที่ปลาย ปลายแบบ uniform load วิธีการรวบรวมเป็นแบบเชิงเส้นโค้งแสดงฟังก์ชันความต้านทานที่ แสดงในภาพประกอบที่ 2.34 เป็นประมาณการที่จะทำการวิเคราะห์และออกแบบ ประมาณนี้จะ ยกเว้นบางลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นเช่น

- คอนกรีตและวัสดุก่อสร้าง – การแตกร้าวเนื่องจากไม่เกิดเชิงตัว,การเริ่มการแตกหัก
- คอนกรีตเสริมเหล็กและโครงสร้างเหล็กที่ทนต่อความเครียด
- เหล็กโครงสร้าง – การเคลื่อนที่ที่ทำให้เกิดการแตกหักของเส้นใยโดยที่ส่วนความหนา

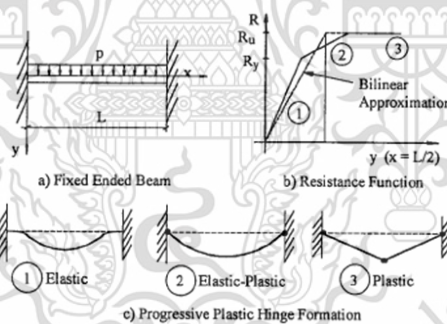


ภาพประกอบที่ 2.24 Typical Moment Versus Curvature Diagram

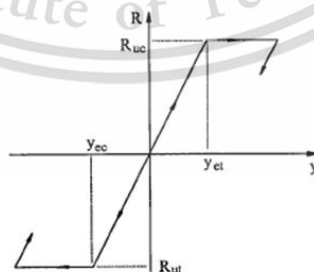
บางครั้งแรงที่กระทำ( preloads) ในการพิจารณาสำหรับพัฒนา ฟังก์ชันของความ ต้านทานแรงกระทำ(Preloads)ที่แรงกระทำคงที่(DL)หรือแรงกระทำแบบจร(LL)ซึ่งทำการกระทำใน ชิ้นส่วนจึงใช้ค่าของพลังงาน(Strain energy) ที่มีผลกระทบต่าง ๆของแรงกระทำการวิเคราะห์

ระบบ SDOF เทียบเท่า โดยการลดความต้านทานที่ใช้คำนวณได้ที่แรงกระทำในบางครั้ง อีกวิธีคือการเพิ่มแรงที่กระทำจากแรงระเบิด[1],[4]

ฟังก์ชันความต้านทานสามารถมีการประมาณเพิ่มเติมเข้ามาโดยยึดหยุ่น, การยึดแบบสมบูรณ์สองเส้นตรง(bilinear) ฟังก์ชันที่ใช้ในการพัฒนาแผนภูมิตอบสนองและสูตร ประมาณที่ทำโดยรักษาความต้านทานที่สูงและ equating พื้นที่ภายใต้เส้นโค้งที่เท่ากัน ที่มีพลังงาน(Strain energy) ขึ้นอยู่กับความต้านทานสูงสุด ดังที่แสดงในภาพประกอบที่ 2.25 ค่าความต้านทานสูงสุดอาจจะแตกต่างกันสำหรับการเพิ่มและลดลงของแรงกระทำทางตรงความแข็งที่ต้องยืดออกจะสามารถพิจารณาเป็นลักษณะพิเศษของ Dynamic Design Stress จะอธิบายถึงฟังก์ชันความต้านทานโดยทั่วไป ภาพประกอบที่ 2.26 ขั้นตอนพื้นฐานที่อธิบายสำหรับการออกแบบของชิ้นส่วน flexural ยังใช้สำหรับแรงเฉือนในชิ้นส่วน เป็นหลักการส่วนหนึ่งที่แตกต่างกันคือการกำหนด Initial stiffness ของความชัน(Slope) ของฟังก์ชัน resistance Deformations แรงเฉือนที่มีขนาดใหญ่ หรือมีขนาดใหญ่กว่า deformations flexural สำหรับชนิดชิ้นส่วนเหล่านี้แต่ละชิ้นส่วน และดังนั้น ไม่สามารถถูกละเลยเช่นในกรณีของ flexural members ความต้านทานสูงสุดจะถูกกำหนดตามข้อกำหนดการออกแบบความแข็งแรงเฉือนของที่มีเงื่อนไขตาม ACI 318-08[12] ใช้หน่วยแรงของตัวประกอบ (Factories)



ภาพประกอบที่ 2.25 Resistance Function For Member With Sequential plastic Hinges



ภาพประกอบที่ 2.26 Typical Simplified Elasto - Plastic Resistance Function

นอกจากข้อกำหนดของ ACI 318 รายการต่อไปนี้จะได้รับการพิจารณาการออกแบบแรงต้านทานระเบิด[1],[12]

1. ขั้นต่ำของการเสริมแรง : ข้อกำหนดการเสริมกำลังขั้นต่ำของ ACI 318 ที่ใช้ตามข้อกำหนด อย่างไรก็ตาม ตัวเลือกที่ใช้หนึ่งในสามการเพิ่มเติมเสริมกำลังมากกว่าคำนวณไม่ควรนำมาพิจารณา กำลังของโมเมนต์ขณะที่เป็นการเสริมแรงให้คอนกรีตภายใต้จะถูกควบคุม โดยแตกแรงของชิ้นส่วนโครงสร้าง เพื่อป้องกันพังทลายที่ควรจะเป็นตามอายุการใช้งานของ ductile เสริมเกินกว่าช่วงเวลาที่จะ cracking ผู้ออกแบบควรพิจารณาในการคำนวณให้อยู่ต่ำสุด จุดแข็งวัสดุแบบไดนามิกที่กล่าวถึงคือ Dynamic Material Strength and Response Criteria ควรจะนำมาใช้

2. คุณสมบัติที่สูงที่สุดของคอนกรีตเสริมเหล็ก : จะมีข้อกำหนดเป็นมาตรฐานสูงสำหรับการใช้งานเสริมแรงจะถูกรวมไว้เพื่อป้องกันไม่ให้ ผิวหน้าเสียหาย (crusting) ของคอนกรีตกับจุด yield ของเหล็กข้อกำหนดที่เป็นมาตรฐานจะยังช่วยให้การบีบอัดเสริมแรงเพื่อชดเชยความดึงเครียด (tension) สูงสุดตามที่มีความต้องการ เพราะการต้านทานแรงระเบิดสำหรับชิ้นส่วนของคอนกรีตหนักจะมีได้ยวกันเสริมในแต่ละหน้าที่จะต้านทานความเค้น (Stress) จะมีข้อกำหนดของการเสริมแรงสูงสุด

3. การแทนที่ของเกรดที่สูงขึ้นของการเสริมแรง การแทนที่ของเกรดที่สูงขึ้นของการเสริมแรงไม่ควรให้มีการเสริมความแข็งแรงที่จะเพิ่มกำลังของคอนกรีตที่ของชิ้นส่วนในขณะที่ไม่ส่งผลกระทบต่อรับแรงเฉือนของกำลังคอนกรีต ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลตอบสนองของความเหนียวที่จะกลายเป็นไม่เหนียว นอกจากนี้กำลังที่สูงขึ้นขณะที่จะมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นสำหรับโมเมนต์แบบ แรงปฏิกิริยาแบบไดนามิกซึ่งชิ้นส่วนจะต้องมีความต้านทานได้ เนื่องจากข้อกำหนดมาตรฐาน ASTM ให้ความต้องการขั้นต่ำ, จะต้องทดสอบมีผลรายงาน ควรได้รับการตรวจสอบเพื่อให้เป็นไปได้อย่างมีนัยสำคัญมากกว่าความแข็งแรง

4. การพัฒนา: ความยาวของการพัฒนาไม่ควรจะลดลงสำหรับการเสริมแรงมากเกินไป เพราะ plastic hinges จะทำให้มากกว่าการออกแบบเพื่อให้เสริมความแข็งแรงที่เกิด yield, การเสริมแรงเต็มรูปแบบควรจะใช้ในการคำนวณแบบกำลังของชิ้นส่วน การพัฒนาการเสริมแรงควรจะคำนวณตามคอมพิวเตอ์

5. ข้อกำหนด serviceability: ไม่ต้องใช้เกณฑ์วัสดุประสงค์เพื่อลดระดับโหลด cracking โหลดทั้งหมดของระเบิด Cracking ผลลัพธ์ที่คาดไว้เช่นความผิดปกติชนิดโหลด deformations แบบถาวรที่เกิดจากการตอบสนองช่วงพลาสติกได้เกิดการเกิดความเหนียวโดยขีดจำกัดของ dynamic material strength ที่สอดคล้องกับความต้องการของประสิทธิภาพของอาคารภายใต้แรงระเบิดได้

6. Lacking: ชนิดพิเศษที่ใช้เสริมแรงให้รูปร่างที่อย่างต่อเนื่อง (Bar) ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ผูกกันเป็นแถบตามยาว ที่ใช้เฉพาะในสถานการณ์พิเศษ เช่น ผนังในที่มีขนาดใหญ่ที่มีพองประมาณ รายงานบนแผ่นพื้นที่เกิดการหมุนและยึดออกแบบพลาสติกที่กำลังเพียงพอสามารถทำได้มาตรฐานหรือการควบคุมเสริมแรงตามยาว

7. การรวมแรง องค์ประกอบบางส่วนของคอนกรีตที่เป็นหลายเอลิเมนต์จะเกิดขึ้นพร้อมกันของด้านนอก plane เนื่องจากการตัดของแรงที่กระทำในการรวมกันกับระนาบที่หน้าตัดของแรงเฉือนที่กระทำ ตัวอย่างเช่นผนังด้านข้างต้องต้านทานทางด้านข้างสำหรับแรงดันสูงในส่วนที่เป็น plane ของผนังด้านข้าง นอกจากนี้ แรงปฏิกิริยาจากหลังคาที่เป็นเหมือนไดอะแฟรมกระทำในระนาบของผนังด้านข้างก็จะต้านทานได้โดย หมายถึง จัดการกับสถานที่

8. สำหรับการแยกชุดของการเสริมแรงอาจจะกำหนดสำหรับแต่ละชนิดของแรงที่กระทำกับความต้านทาน ตัวอย่างเช่น ภายนอกเช่น การเสริมกระทำจากภายนอกอาจจะต้านทานการตัดที่มีขนาดใหญ่แต่ละชั้นของตรงกลางแรงเสริมที่กระทำในขณะที่ชั้นของศูนย์กลางเสริมแรงอาจจะถูกใช้เพื่อต้านทานให้อยู่ในแนวระนาบแรงเฉือนควรระมัดระวังความต้องการใช้งานเพื่อให้แน่ใจว่า การรับกำลังในระบบ hinge ไม่เปลี่ยนแปลงที่ได้ออกแบบการเสริมกำลังไว้เป็นซึ่งผลมาจากเพื่อวัตถุประสงค์อื่น ๆ

9. ปฏิสัมพันธ์สมการขึ้นอยู่กับเกณฑ์ข้อกำหนดจากคู่มือ ASCE 42 [4] สามารถใช้เพื่อตรวจสอบพฤติกรรมที่ให้การยอมรับได้ดังสมการที่ 3.47

$$\left[\Delta_d / \Delta_a\right]_i^j + \left[\Delta_d / \Delta_a\right]_o^2 \leq 1.0 \quad (3.47)$$

เมื่อ

$\Delta_d$  = computed deformation (ductility ratio or support rotation)

$\Delta_a$  = allowable deformation (ductility ratio or support rotation)

$i$  = in-plane deformations

$o$  = out-of-plane deformations

10. เวลาของการ phasing ในระนาบเฉือนและโดยแรงที่กระทำปกติสามารถกำหนดรูปแบบ numerical เชิงตัวเลขรวม ให้มีเงื่อนไขกำลังที่จะถึงจุดสูงสุดในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน, แรงกระทำเหล่านี้สามารถแยกกระบวนการปฏิบัติการประเมินที่จะต้องนำมาใช้เพื่อให้การกำหนดนี้

## 2.14 วิธีการออกแบบแบบไดนามิก (DYNAMIC DESIGN METHOD)

ขั้นตอนการออกแบบแบบแรงกระทำคงหรือเทียบเท่าได้มีการอธิบายไว้แล้วซึ่งถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี บางครั้งผลของผลการออกแบบแบบคงที่หรือเทียบเท่าในการวางรากฐานที่จะทำไม่ได้หรือค่าใช้จ่ายสูงเกินไป ในสถานการณ์เช่นการวิเคราะห์แบบไดนามิกสามารถนำมาใช้การวิเคราะห์ (analysis) แบบไดนามิกคำนึงความต้านทานของมวลรากฐานในการต้านทานแรงกระทำและโดยทั่วไปจุดแตกหัก (Yield) ที่มากจะให้

การออกแบบเพิ่มเติมให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้มีการอธิบายเกี่ยวกับขั้นตอนในรายละเอียดในข้อกำหนดมาตรฐาน TM5-856 (volumn4) และ TR 4921[1],[4],[24]

แรงที่กระทำต่อส่วนของพื้นฐานจะแสดงในภาพประกอบที่ 2.27 สมการของการเคลื่อนไหวสำหรับรากฐานที่สามารถมีความสมดุลจะได้มาจากของแรงกระทำและโมเมนต์ที่ศูนย์กลางของแรงโน้มถ่วง

*Vertical Force:*

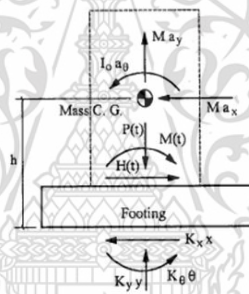
$$Ma_y + K_y y = P(t) + Mg \quad (3.48)$$

*horizontal Force:*

$$Ma_x + K_x (x - \theta h) = H(t) \quad (3.49)$$

*Rotations:*

$$I_o a_\theta + K_\theta \theta - K_x (x - \theta h) h = M(t) \quad (3.50)$$



ภาพประกอบที่ 2.27 External forces on a foundation (from TM5-856)

Where

$M$  = Mass of Structure

$a_y$  = Vertical acceleration

$K_y$  = Vertical Soil Stiffness

$y$  = Vertical Deflection

$P(t)$  = Vertical Dynamic Load

$a_x$  = Horizontal acceleration

$K_x$  = Horizontal Soil Stiffness

$x$  = Horizontal Deflection

$\theta$  = Rotation

$H(t)$  = Horizontal Dynamic Load

$g$  = Acceleration of gravity

$I_o$  = Mass Moment of Inertia About Center Of Gravity

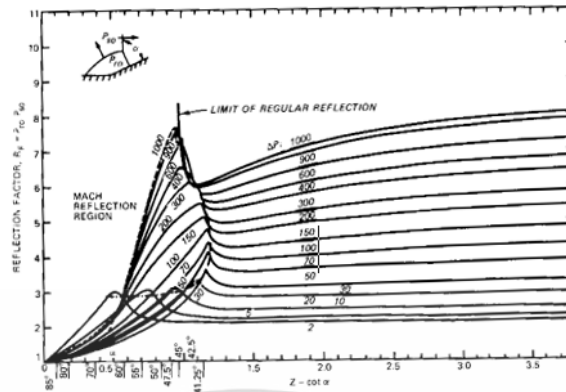
- $a_{\theta}$  = Rotational Acceleration  
 $K_{\theta}$  = Rotation Soil Stiffness  
 $h$  = Height from Lateral Soil Resistance To Center Of Gravity  
 $M(t)$  = Rotational Dynamic Load

สำหรับวัสดุอื่น ๆ ความแข็งของดิน, และจะถูกจำกัด โดยกำลังของดินที่ดีที่สุดนอกจากนี้ กลับเคลื่อนไหวและขึ้นลง สามารถสร้างความต้านทานให้เป็นศูนย์และต้องเหมาะสมอยู่ในข้อกำหนด, ความแข็งด้านข้าง จะถูกกำหนดด้วยแรงเสียดทาน และความดันที่แฝงอยู่ที่เกี่ยวข้องกับ ความยาวแขนของโมเมนต์ที่เหมาะสมของช่วงแขน(h)

การรู้จักบังคับฟังก์ชันความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์, ปฏิบัติจากชิ้นส่วนของ โครงสร้าง, การหมุนและการเคลื่อนไหวของฐานรากสามารถคำนวณโดยใช้ การรวมไม่เป็นเชิงเส้นแบบ Numerical ที่เป็นตัวเลขเดียวกับที่อธิบายไว้ใน SDOF (Single Degree of Freedom Systems) โดยมีข้อสังเกตที่ด้านข้างและการเคลื่อนไหวการหมุนที่เชื่อมต่อกันเป็นคู่และต้องมีการปรับปรุงแก้ไขตัวเลขสองตัวค่าความอิสระ ถ้าการเคลื่อนไหวสูงสุดจะพบว่ามีมากเกินไปที่ ฐานรากควรได้รับการขยายเพื่อเพิ่มการที่สัมผัสกับดินหรือขึ้นเพื่อเพิ่มความต้านทานให้ดิน สำหรับการทดลองนี้มีข้อผิดพลาดและทดลองวิธีการใช้จนกว่าจะเป็นที่น่าพอใจ โครงสร้างชนิดของเฟรมที่มีความยืดหยุ่นที่เป็นปกติจากค่าความอิสระจาก ไดนามิกฐานรากและมวลไม่ได้ เกี่ยวข้องกับการรวมกัน สำหรับโครงสร้างผนังชนิดที่มีแรงเฉือน, ผลของการเสริมโครงสร้าง (Super structure) ที่มากขึ้นและควรจะรวมอยู่ในการวิเคราะห์ โดยทั่วไป, รูปแบบฐานรากที่ควร จะรวมถึงชิ้นส่วนของโครงสร้างทั้งหมดที่มีแนวโน้มจะเคลื่อนที่อย่างแข็งแกร่งที่ฐานราก โดย อ้างอิงถึง TM 5-856 (Volume 7) ข้อกำหนดที่ 9.06 และ TR 4921[3]

## 2.15 โครงสร้างต้านทานนิวเคลียร์ (Design of structures to resist Nuclear)

ระเบิดและแรงสั่นสะเทือนบนโครงสร้างค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับเป็นสาเหตุการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ดัดเมื่ออากาศมีการเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงในทิศทางตรงกันข้ามกับแนวระนาบเป็นผลมาจากสภาพที่พื้นผิว อัตราส่วนของความดันที่เกิดขึ้นที่สะท้อน over pressure เป็นปัจจัยสะท้อนและเป็นฟังก์ชันของส่วนที่เป็นยอดคลื่น over pressure เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิด มุมที่คลื่นกระทบพื้นผิวแสดงในภาพประกอบที่ 2.28 เป็นผลของมุมที่สะท้อนให้เห็นถึงปัจจัยที่ หลากหลายในระดับของแรงที่เกิน[4]



ภาพประกอบที่ 2.28 แสดงระดับค่าแรงคลื่นสะท้อนในอากาศ

ค่าสัมประสิทธิ์และแรงดึง ความดันแบบไดนามิกเนื่องจากแรงดันจากอากาศช่วงสั้น ภายหลังอากาศที่เกิดจากแรงระเบิด (Air blast) ความสั่นสะเทือน (Shock load) ที่ออกไปบริเวณ ด้านหน้าและแรงดึงกลับ รวมถึงการยกกำลังบนวัตถุที่ยิ่งขึ้นไปในอากาศ อากาศที่ไหลกลับจะเป็นแรงที่เกิดจากความดันแบบไดนามิก ซึ่งทำหน้าที่ในทิศทางของกระแสอากาศ ในขณะที่กระทำกับเส้นตั้งฉากจะบังคับทิศทางของอากาศที่ดึงกลับและมีตัวฟังก์ชันของหลายตัวแปร อากาศไหลที่จะเป็นลักษณะเฉพาะ

วัตถุที่มีรูปทรง ขนาด และผิว ตำแหน่งบนวัตถุความสัมพันธ์ระหว่างความดันแบบไดนามิกและแรงที่กระทำบนวัตถุที่แสดงค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งรวม ค่าสัมประสิทธิ์ของวัตถุจะถูก กำหนดโดยสมการดังนี้

$$F = (C_d \text{ or } C_L) q A \quad 2.51$$

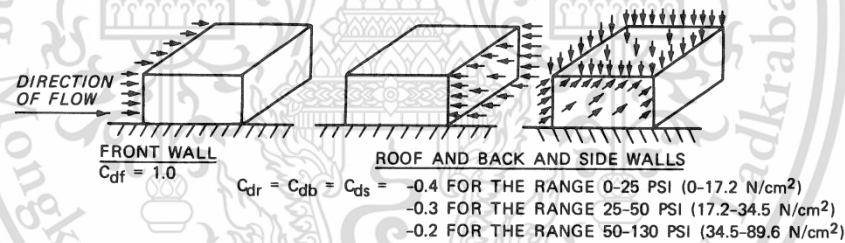
ในที่นี้  $F$  = แรงดึงรวม หรือแรงบังคับบนวัตถุ  $C_d$ ,  $C_L$  = แรงดึงกลับ ( $d$ ), สัมประสิทธิ์การยกตัว ( $L$ ) สำหรับวัตถุ,  $q$  = ความดันแบบไดนามิก และ = การเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉาก (perpendicular) กับการไหลของอากาศสำหรับแรงดึงหรือแรงควบคู่กับการไหลของอากาศที่มีแรงดึงกลับผ่านและค่าสัมประสิทธิ์สำหรับโครงสร้างรูปทรงต่างๆ ความยาวตลอดที่แสดงใน ข้อมูลนี้จะอยู่ในความดันที่พอ (overpressures) และน้อยกว่า 20 psi (140kPa) สำหรับแรงดันสูง สัมประสิทธิ์ลากสามารถปรับปรุง โดยใช้ผลทดสอบในกระแสอากาศที่อิสระที่มีลักษณะเป็นแผ่นยาว สัมประสิทธิ์ที่มีแรงดึงกลับสำหรับอากาศที่กระแสม้วนเพิ่มขึ้นจากค่า 2.0 ที่เป็น overpressure 20 psi (140kPa) ของ 2.5 ค่าที่ประมาณได้ 60 psi (410kPa), และให้ค่าสัมประสิทธิ์ 1.8 ที่ประมาณ 300 psi (2,100 kPa) .

ในการป้องกันที่ควรคำนึงถึงที่สุดประกอบของโครงสร้างปิดที่วางอยู่บนพื้นดิน แรงดึง และค่าสัมประสิทธิ์สำหรับพื้นผิวของแต่ละชั้นส่วนเป็นแรงที่กระทำที่ระดับแรงดันเกินสำหรับ โครงสร้างดังกล่าวจะถูก จำกัดด้วยระดับ ภาพประกอบที่ 2.29 มีการจัดค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์แรง

ดิ่งที่พื้นผิวที่มีแรงดันสูง( overpressures )ที่น้อยกว่าประมาณ 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (690 กิโลปาสคาล) สำหรับโครงสร้างสี่เหลี่ยมที่วางอยู่บนพื้นผิวระนาบ[3],[4],[13]

ตารางที่ 2.4 แรงดิ่งกลับและค่าสัมประสิทธิ์ (ปัดเศษทศนิยมหนึ่ง) เพื่อให้รูปร่างโครงสร้างของความยาวไม่มีที่สิ้นสุดที่ต่ำ สำหรับความดันที่มาก (น้อยกว่า 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้วหรือ 138 กิโลปาสคาล)

PROFILE AND WIND DIRECTION	$C_d$	$C_L$
	2.0	0
	2.0	0
	2.0	0
	1.8	0
	2.0	0.3
	1.8	2.1
	2.0	-0.1
	1.6	-0.5
	2.0	0
	2.0	-1.2
	2.2	0

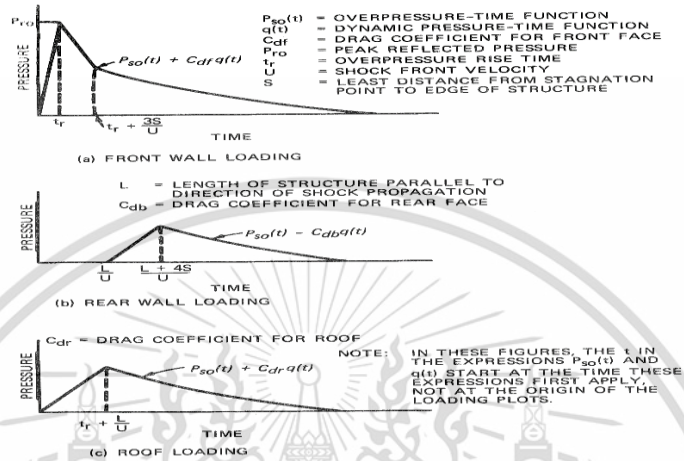


ภาพประกอบที่ 2.29 ค่าสัมประสิทธิ์พื้นผิวแรงดิ่งกลับเฉลี่ยสำหรับโครงสร้างสี่เหลี่ยม

ได้มีการตรวจสอบเพื่อให้เห็นถึงโครงสร้างอยู่ในบรรยากาศที่เต็มไปด้วยฝุ่น , โหลดที่ออกมาโดยความดันแบบไดนามิกมากกว่าในอากาศที่สะอาด นี้เนื่องจากผล แรงเฉื่อยที่มีของฝุ่นละออง และเพื่อวัตถุประสงค์ในการออกแบบ จากการสังเกตผลของโครงสร้าง, จะทำให้เกิดมีแรงดันที่มากและมากขึ้นแบบไดนามิกโดยมีฝุ่นด้วย และแรงย้อนกลับกับค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ตั้งที่แสดงไว้ โครงสร้างสี่เหลี่ยมแบบปิด

ในขณะที่คลื่นระเบิดที่อยู่ด้านหน้ามันจะสะท้อนให้เห็นค่าที่สูงขึ้นในบางส่วนทางด้านหน้า ที่มีแรงดันสูงที่เกิดขึ้นสูงสุดและทิศทางของพื้นผิวที่เกี่ยวข้องกับทิศทางของการขยายตัว คลื่นระเบิดจะโค้งหรือ แยกออกและแตกกระจาย(Diffracts) รอบโครงสร้างไปในทางด้านข้างและหลังคาและในที่สุดทิศทางด้านหน้าและด้านหลังแรงกดลงที่ดันออกเท่ากับแรงดันทั้งหมดจะเกิดขึ้น ในเวลาเดียวกัน เมื่อ พื้นผิวทั้งหมดจะอยู่ภายใต้แรงกดดันที่มีแรงดันย้อนกลับที่มีฟังก์ชันของความดันแบบไดนามิกและค่าแรงดิ่งกลับที่ค่าสัมประสิทธิ์ที่ผิว (ภาพประกอบที่

2.29) มีค่าสัมประสิทธิ์แรงดันย้อนกลับที่พื้นผิวที่แรงดันมาก (overpressures) น้อยกว่าประมาณ 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (700 กิโลปาสกาล) สำหรับโครงสร้างสี่เหลี่ยมที่วางอยู่บนพื้นผิวดิน



ภาพประกอบที่ 2.30 โหลดบนโครงสร้างสี่เหลี่ยมปิดเหนือพื้นดิน

ในอุดมคติของแรงที่กระทำจะแสดงออกไปทางด้านหน้าของโครงสร้างที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมที่แสดงในภาพประกอบที่ 2.40 แรงดันสูงสุดได้จะเท่ากับส่วนยอดที่สะท้อน แรงดันที่มาก  $P_{ro}$  ด้านหน้า สำหรับแรงความดันที่มาก ความรุนแรงที่เพิ่มขึ้นทันทีจากศูนย์ถึงค่าสูงสุดเพิ่มขึ้นเวลา  $t_r$  ความดันสูงสุดที่สะท้อนบนพื้นผิวผนังยังสามารถนำมาเป็นแรงสะท้อนแรงดันอาจจะถือว่าเป็นเส้นตรงจากจุดสูงสุดที่ค่า[4]

$$P_{so}(t) + C_{dr}q(t) \tag{2.52}$$

$P_{so}(t)$  = แรงดันมากที่เกิดขึ้นในช่วงของเวลา  $C_d$  = ค่าสัมประสิทธิ์การดึงกับพื้นผิวด้านหน้า และ  $q(t)$  = ความดันแบบไดนามิกเป็นกับของเวลา; ในเวลา  $t_s$  หรือที่เรียกว่าเวลาการประมาณที่เหมาะสมของเวลาเมื่อยล้าคือ

$$t_s = \frac{3s}{u} \tag{2.53}$$

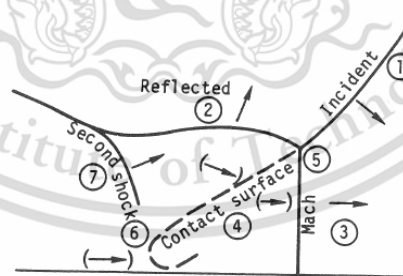
ในที่นี้  $u$  = ความเร็วแรงสันสะท้อนที่เป็นแรงลมระเบิด (air blast shock) ด้านหน้า และ  $s$  = ความสูงที่สุดของโครงสร้างหรือกิ่งหนึ่งความกว้างของโครงสร้างซึ่งเล็กน้อย

แรงที่กระทำบนด้านหน้าเหนือพื้นดินและด้านหลังของโครงสร้างสี่เหลี่ยมปิดที่แสดงในรูปที่ 2.30 ไม่มีแรงดันถูกส่งไปยังหน้าด้านหน้าด้านหลังจนถึงการสันสะท้อน(shock)ถึงด้านหน้า จะใช้อ้างอิงกับเวลาเช่นเดียวกับด้านหน้าแรงดันเฉลี่ยเริ่มต้นที่จะเกิดขึ้นบนพื้นหน้ากับในเวลาที เท่ากับความยาวของโครงสร้างขนานกับทิศทางของการขยายแผ่กระจายที่สันสะท้อน(shock)หารด้วยความเร็วของการขยายแผ่กระจายสันสะท้อน(Shock) ในเวลาต่อมา ของ

บางส่วนหลังจากที่ส่วนผิวหน้าด้านหลังได้กลายเป็นที่ปกคลุมอย่างสมบูรณ์ในการระเบิดความดันถึงค่าสูงสุดเท่ากับแรงดันที่เกิน ส่วนด้านบนลดลงเป็นจำนวนเท่ากับความดันย้อนกลับซึ่งสร้างขึ้นเป็นเส้นตรงในระยะเวลาเท่ากับ  $4S/U$  ซึ่งในส่วนของ  $U$  จะมีการกำหนดในลักษณะเดียวกับด้านหน้า

ในขณะที่คลื่นระเบิดผ่านโครงสร้างหลังคาจะรับโหลตได้ตลอดเวลาจะมีค่าเท่ากับแรงดันที่มากเกินไป และ จะลดลงโดยแรงดันลบซึ่งเป็นแรงย้อนกลับหรือดูดที่เกี่ยวข้อกับการไหลของอากาศรอบโครงสร้าง แรงกระทำที่หลังคามีค่าเฉลี่ยแสดงในภาพประกอบที่ 2.30 ถือว่าเป็นที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบหรือการวิเคราะห์ ความดันรวมเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงจากศูนย์ถึงค่าสูงสุดในเวลาเท่ากับเวลาการเคลื่อนที่ในทิศทางด้านหน้าที่สันสะท้อน (shock) ข้างหลังคา

อากาศที่เกิดจากแรงระเบิด (Air blast) เมื่ออาวุธนิวเคลียร์จะระเบิดในอากาศ ดัชนีการขยายตัวของเศษระเบิดและรังสีในอากาศร้อน (ลูกไฟ) ก่อให้เกิดคลื่นสันสะท้อน (Shock wave) ที่แข็งแกร่งขยายในอากาศโดยรอบ การมีปฏิสัมพันธ์กับผิวดินมีผลต่อรูปทรงและลักษณะของการขยายคลื่นระเบิด พื้นผิวหรือใกล้ผิวหน้าจะมีแรงสันสะท้อนออกมาครึ่งวงกลมที่สะท้อนจากพื้นดิน เป็นสัญญาณสะท้อนให้เห็นการเดินทางได้เร็วกว่าการสันสะท้อนจะเป็นสถานะที่เกิดขึ้นในอากาศร้อนในที่สุดการสันสะท้อนจะมายังที่เป็นสถานะที่เกิดขึ้นและรูปแบบลักษณะที่แตกแขนงที่เชื่อมต่อกับพื้นดินที่เป็นสี่ทิศทางและสามทิศทางบางสถานะของการเกิดขึ้นสะท้อนกลับจะเห็นเป็นเส้นที่แตกแยกและเกิดแรงกระแทก การเคลื่อนไหวแบบไดนามิกของอากาศที่อยู่ด้านหลังเส้นที่แตกแยกทำให้เกิดการสันสะท้อนซึ่งจะเป็นสองรูปแบบการเกิดปรากฏการณ์สันสะท้อนซ้ำ ๆ กัน การกำหนดค่าคลื่นจะแสดงจากภาพประกอบที่ 2.31 แสดงให้เห็นถึงปรากฏการณ์ที่อยู่บนพื้นฐานของเหตุผลดังต่อไปนี้[1],[4],[13]



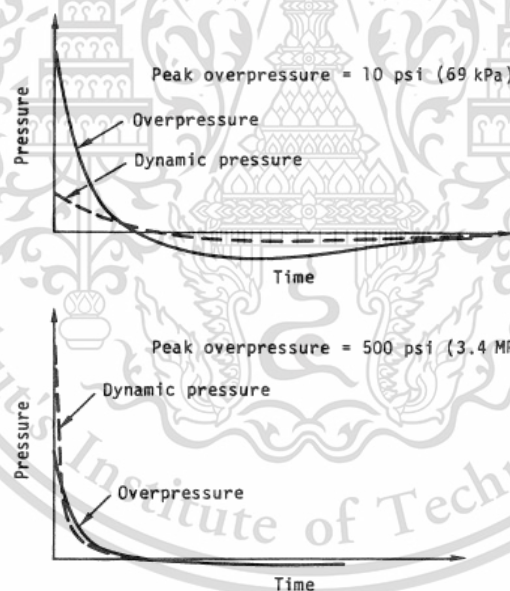
ภาพประกอบที่ 2.31 Shock phenomenon in Strong Mach Reflections

สาเหตุของการเกิดคลื่นคือ (1) จากจุดระเบิดเหนือพื้นดินสะท้อนให้เห็นถึงการสะท้อนแบบปกติ (2) ปลายจนถึงมุมที่ทำกับระนาบพื้นดินจะพอเพียงให้คลื่นสะท้อนรวมกับการเกิดคลื่น เป็นคลื่นสะท้อนให้เห็น (3) เป็นคลื่นที่ขยายถึง ผิวสัมผัส (4) อากาศแยกออกที่มีเฉพาะแรงสันสะท้อนจากอากาศที่ได้รับผ่านทั้งที่เกิดขึ้นจากการสะท้อนจะให้เห็นถึงแรงกระแทกที่เส้นที่อยู่ทางหลังของจุดเชื่อมต่อกับสามจุด (5) ที่จุดการเชื่อมต่อกับพื้นผิว อย่างไรก็ตาม กระแสอากาศเหนือพื้นผิวที่ติดต่อกันทั้งหมดไม่ได้ถูกเปิดชานกับพื้นผิว โดยการสันสะท้อนสะท้อน และจะ

รักษาโมเมนตัม บางส่วน ซึ่งผลก็คือมีการบีบอัดในพื้นที่ผิว (6) ในขณะที่อากาศเกิดการเคลื่อนไหวเหนือพื้นผิวสัมผัสที่มีการหยุด จะเกิดการบีบอัด (7) distorts การ และ chews ค่าระหว่างของเส้นที่สัมผัสที่พื้นผิวติดต่อกัน (8) และเมื่อเพิ่มความดันแรงสัมผัสของตัวเองจะแสดงถึงความดันที่ต่ำกว่าหลังคลื่นสะท้อนของการสะท้อนปกติ แต่การสัมผัสที่สองที่มีอย่างรวดเร็วจะสร้างได้สูงกว่าค่า ที่เปลี่ยนแปลง

ลักษณะของ อากาศที่มีการระเบิด (Air blast) สิ่งที่สำคัญวิศวกรจะออกแบบที่มีความดันในช่วงเวลานั้นและประวัติของความดันแบบไดนามิก เหล่านี้มักจะอธิบายโดยพารามิเตอร์ที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. เวลาที่ใช้ในการมาถึงตำแหน่งนั้น
2. แรงสูงสุดที่เกิดขึ้น
3. ความดันที่สูงสุดรวมกับระยะเวลาที่เกิดขึ้น
4. รวมระยะและแรงกระตุ้น (เวลาส่วนหนึ่งของความดันที่มีประวัติ)



ภาพประกอบที่ 2.32 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของ Overpressure และแบบไดนามิกกับเวลาในจุด

ความรู้ของพารามิเตอร์เหล่านี้จะต้องมาจากพื้นฐานที่มีอยู่ในการทดลองข้อมูลเทคนิคที่ซับซ้อนสำหรับการคำนวณทางทฤษฎีและในการที่จะคาดเดาและความแม่นยำ ของนักร้องแบบจะต้องรู้ถึงความจริงที่ว่าในความเป็นจริงมักจะมีหลายกฎเกณฑ์แรงที่กระทำและ ความผิดปกติที่เกิดจาก ระบบ เครื่องกลและโครงสร้างต้องถูกตรวจสอบให้เพียงพอ

## บทที่ 3

### ระเบียบวิธีวิจัยและวิธีดำเนินการวิจัย

#### 3. ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดันและอุณหภูมิ

สำหรับงานวิจัยนี้โครงสร้างอาคารที่ใช้ในการออกแบบนี้เป็นส่วนหนึ่งของอาคาร ตัวอย่างที่ออกแบบมาเพื่อใช้ใน อุตสาหกรรมปิโตรเคมีสำหรับการผสมแก๊ส(GAS)ชนิดต่าง ๆ เช่น  $N_2$  ,  $H_2$  ,  $H_2S$  ,  $CO_2$  ,  $O_2$  , LPG , LNG และ Helium (He) ตลอดจนโครงสร้างอาคารที่ออกแบบสามารถต้านทานต่อแรงดันและอุณหภูมิได้เพียงพอที่ไม่ก่อให้เกิดการพังทลาย ภายในอาคารจะติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมแก๊สชนิดต่าง ๆ อุปกรณ์ต่าง ๆ นี้จะมีแรงดันและอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบแก๊สชนิดต่าง ๆ ซึ่งอาจก่อให้เกิดการระเบิดแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะคือ ภายในโครงสร้างอาคาร, ภายนอกโครงสร้างอาคาร และทั้ง 2 ทิศทางภายในและภายนอกโครงสร้างอาคาร สำหรับโหลด(Load)ที่กระทำต่อโครงสร้างอาคารจะประกอบไปด้วย แรงดัน, อุณหภูมิและการควมรวมกันของแรงดันและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นพร้อมกันจากการระเบิด รูปแบบ สามารถแบ่งได้ดังนี้

3.1 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทาน 300 บาร์, อุณหภูมิ 300 C° และแรงดัน 300 บาร์ ควมรวมกับอุณหภูมิ 300 C° ที่เกิดขึ้นภายในอาคาร

3.2 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน 300 บาร์, อุณหภูมิ 300 C° และแรงดัน 300 บาร์ควมรวมกับอุณหภูมิ 300 C° กระทำต่อโครงสร้างอาคารที่เกิดขึ้นภายนอกโครงสร้างอาคารที่มีความสูงแตกต่างกันของอาคาร 2 ชั้นและ 5 ชั้น

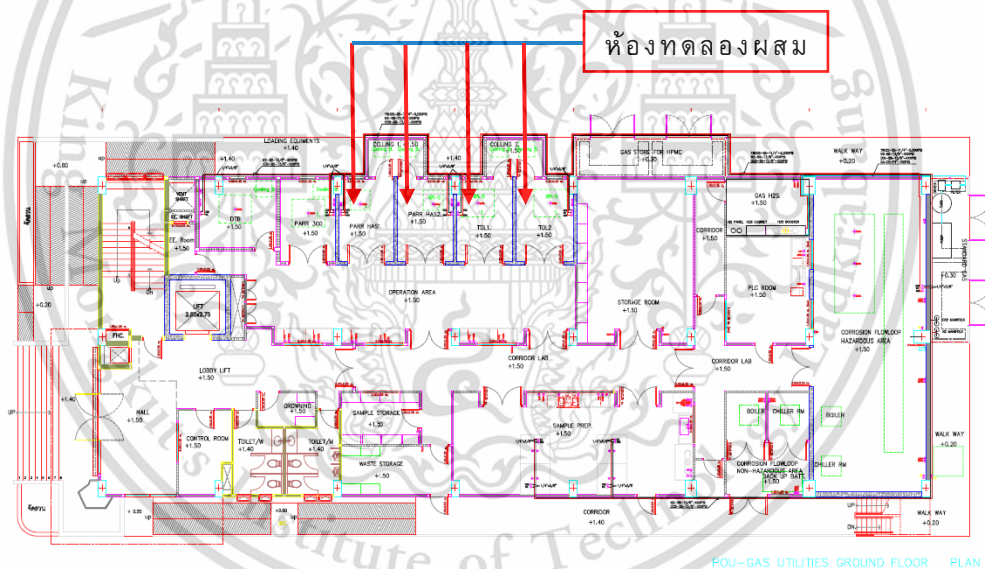
3.3 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน 300 บาร์, อุณหภูมิ 300 C° และแรงดัน 300 บาร์ควมรวมกับอุณหภูมิ 300 C° กระทำต่อโครงสร้างอาคารที่เกิดขึ้นภายในและภายนอกโครงสร้างอาคารที่มีความสูงแตกต่างกันของอาคาร 2 ชั้นและ 5 ชั้น

สำหรับการออกแบบจะจำลองแบบและออกแบบโครงสร้างอาคาร ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element) ด้วยโปรแกรม NASTRAN ซึ่งเป็นโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เดิมพัฒนาขึ้นสำหรับ NASA ที่ใช้ในปัจจุบัน , โหลด(Load) อุณหภูมิ 300 C° เป็นอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบค่าพลังงานความร้อนที่ใช้เกิดจากการรวมตัวของแก๊สชนิดต่าง ๆ เข้าด้วยกัน และสำหรับการรวมตัวของแก๊สชนิดต่าง ๆ เข้าด้วยมี 2 วิธีคือ (1) ทำให้แก๊สมีสถานะเป็นของเหลวด้วยอุณหภูมิที่ต่ำตามคุณสมบัติของแก๊สชนิดนั้น ๆ และ (2) ด้วยวิธีอัดแก๊สชนิดต่าง ๆ เข้ากันด้วยแรงดัน 250-300 บาร์ ซึ่งจะทำให้แก๊สสามารถควมรวมกันอยู่ในรูปของปริมาตรตามแรงดันที่กำหนด 250-300 บาร์

### 3.1 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดันและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในอาคาร

สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดันและอุณหภูมิเป็นข้อมูลที่ใช้ในการผสมแก๊สชนิดต่าง ๆ เช่น LPG, LNG, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, He โดยมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุมในห้องปฏิบัติการโดยมีแรงดัน300บาร์(Bar)และอุณหภูมิ300 องศา(C°) ซึ่งมีผลกระทบต่อโครงสร้างอาคารหลังนี้เมื่อเกิดการระเบิดขึ้น ข้อมูลดังกล่าวนี้จะใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารและห้องปฏิบัติการทดสอบคุณสมบัติของแก๊สชนิดต่าง ๆ รวมทั้งจะถูกติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับการทดสอบคุณสมบัติของแก๊สที่นำมาผสมกัน ซึ่งจะมีแรงดันและอุณหภูมิที่แตกต่างกันออกไป

สำหรับอาคารหลังนี้เป็นอาคาร5ชั้น ในส่วนของชั้นที่1จะใช้ทำการทดสอบคุณสมบัติของแก๊สชนิดต่าง ๆ อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งเข้าไปในภายในอาคารสำหรับผสมแก๊สชนิดต่าง ๆ โดยกำหนดค่าแรงดันสูงสุด300บาร์(Bar) และอุณหภูมิสูงสุดที่ 300 C° ในส่วนของชั้นที่1 และ2 ดังแสดงในภาพประกอบแผนผังอาคารที่3.1, 3.2 และ 3.3

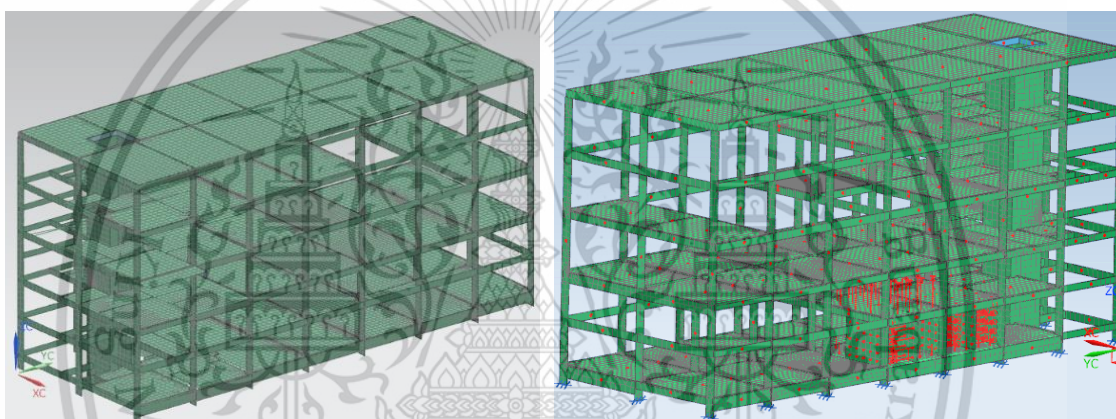


ภาพประกอบที่3.1แสดงแผนผังภายในชั้นที่1 อาคารต้านทานแรงดันและอุณหภูมิ



### 3.1.1 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์ที่เกิดขึ้นภายในอาคาร

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารได้กำหนดโหลด(Load) แรงดันที่300บาร์(Bar) กระทำต่อโครงสร้างอาคารเมื่อเกิดการระเบิดภายในอาคาร ซึ่งจากภาพประกอบที่3.1,3.2และ 3.3 เป็นแผนผังพื้นที่ใช้สอยชั้นที่1และ2 มีประมาณ800ตรม.โดยพื้นที่ชั้นที่1และชั้น2 ถูกออกแบบเพื่อใช้ทดสอบแรงดัน300บาร์(Bar) และอุณหภูมิ300C° สำหรับการผสมแก๊สชนิดต่าง ๆ และรูปแบบของโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์ แสดงในภาพประกอบที่3.4



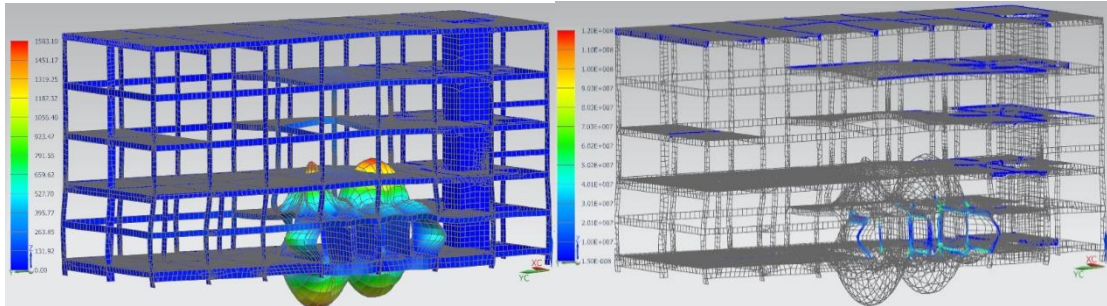
โครงสร้างอาคารแรงดัน300บาร์

แรงดัน300บาร์

ภาพประกอบที่3.4 โครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์กระทำภายในอาคาร

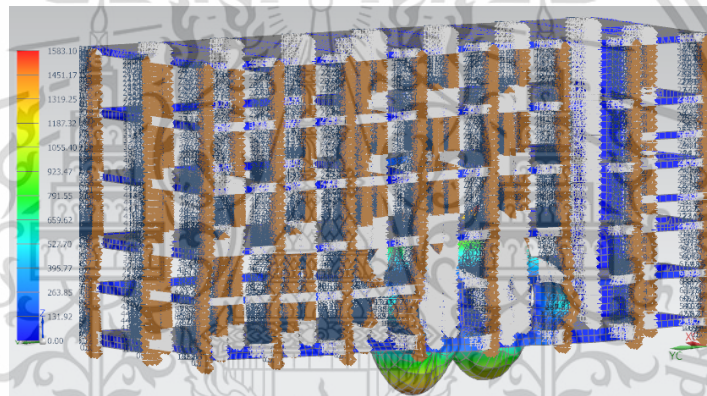
### 3.1.2 วิธีการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์ที่เกิดขึ้นภายในอาคาร

อาคารดังกล่าวถูกออกแบบกำหนดให้รับ โหลด(Load) กระทำภายในอาคาร 300บาร์ดัง ภาพประกอบที่3.5 กำหนดแรงดัน300บาร์ที่เกิดจากการผสมแก๊สชนิดต่าง ๆ สำหรับใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร ข้อมูลดังกล่าวนำมาใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนหลักต่าง ๆ ของโครงสร้างอาคารโดยทั่วไปของระบบแบบ orthogonal ที่มีชิ้นส่วนของ เสา(Colum), คาน (Beam) และ พื้น (Slab) ที่เป็นชิ้นส่วนหลักของระบบ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.5



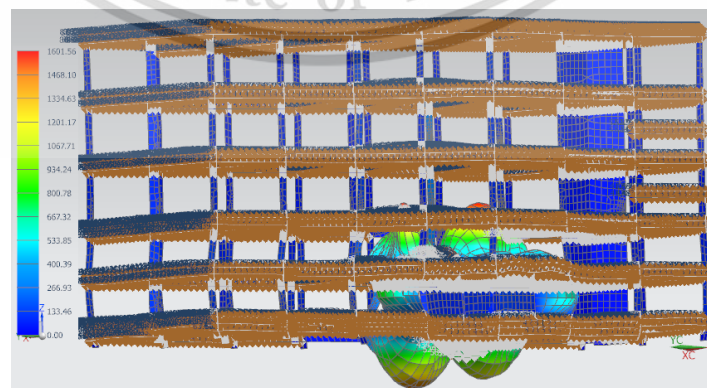
ภาพประกอบที่ 3.5 Load แรงดัน 300บาร์กระทำภายในโครงสร้างอาคาร

จากภาพประกอบที่ 3.5 โหลด(Load) ที่กระทำต่อโครงสร้างอาคาร 300 บาร์ การออกแบบในส่วนของคุณาและหน้าตัด เสา(Column) โหลด(Load) ที่กระทำมีแรงดัน 300 บาร์ มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่เสา(Column) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดเสา(Column) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.6



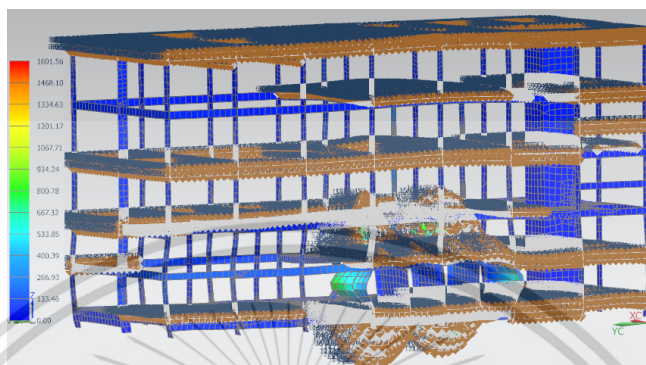
ภาพประกอบที่ 3.6 Load แรงดัน 300 บาร์กระทำโครงสร้างเสา(Column)

จากภาพประกอบที่ 3.5 โหลด(Load) ที่กระทำต่อโครงสร้างอาคาร 300 บาร์ การออกแบบในส่วนของคุณาและหน้าตัด คาน(Beam) โหลด(Load) ที่กระทำมีแรงดัน 300 บาร์ มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่คาน(Beam) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดคาน(Beam) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.7



ภาพประกอบที่ 3.7 Load แรงดัน 300 บาร์ กระทำโครงสร้างคาน(Beam)

จากภาพประกอบที่3.5 โหลด(Load) ที่กระทำต่อโครงสร้างอาคาร300บาร้ การออกแบบในส่วนของคุณภาพและหน้าตัด พื้น(Slab) โหลด(Load) ที่กระทำมีแรงดัน300บาร้ มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่คาน(Beam) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดพื้น(Slab) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.8



ภาพประกอบที่3.8 โหลด(Load) แรงดัน300บาร้ กระทำโครงสร้างพื้น(Slab)

### 3.1.3 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานอุณหภูมิ 300C° ที่เกิดขึ้นภายในอาคาร

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารนี้ได้กำหนดโหลด(Load) ที่เป็นอุณหภูมิ300C° กระทำต่อโครงสร้างอาคาร อุณหภูมิดังกล่าวเกิดจากเผาไหม้ 300 C° เนื่องจากการระเบิดและการทดสอบการผสมแก๊ส จากภาพประกอบที่3.1,3.2และ 3.3 พื้นที่ใช้สอยชั้นที่1 มีประมาณ 800 ตรม. และ พื้นที่ชั้นที่2 มีประมาณ 800 ตรม.(กว้าง40เมตร X ยาว20เมตร) ถูกแบ่งออกเป็นห้องๆเพื่อใช้ในการผสมแก๊สชนิดต่าง ๆ รูปแบบของโครงสร้างอาคารต้านทานอุณหภูมิ 300C° แสดงภาพประกอบที่3.9



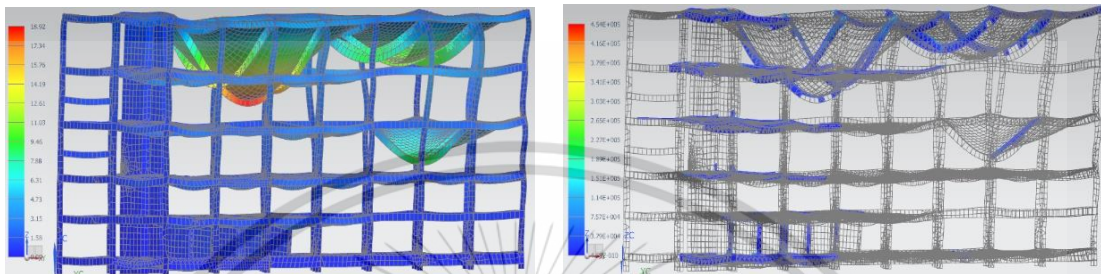
โครงสร้างอาคารอุณหภูมิ300C°

อุณหภูมิ300C°

ภาพประกอบที่3.9 โครงสร้างอาคารต้านทานอุณหภูมิ300C° กระทำภายในโครงสร้างอาคาร

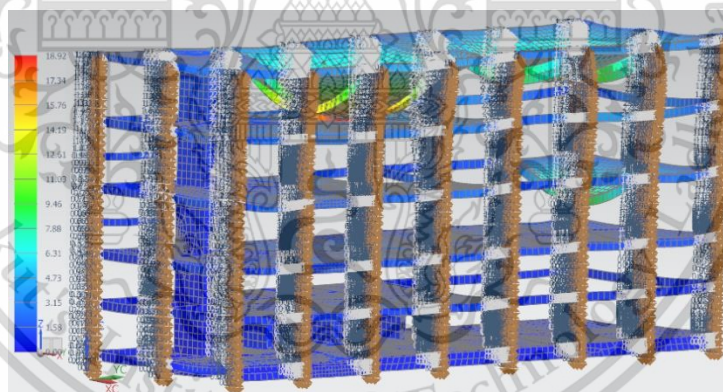
### 3.1.4 วิธีการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานอุณหภูมิ300C° ที่เกิดขึ้นภายในอาคาร

อาคารดังกล่าวถูกออกแบบกำหนดให้รับ โหลด(Load) กระทำภายในอาคาร ) อุณหภูมิ 300C° ดังภาพประกอบที่3.10 กำหนดแรงดึง300บาร์ที่เกิดจากการผสมแก๊สชนิดต่าง ๆ สำหรับใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร ข้อมูลดังกล่าวนำมาใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนหลักต่าง ๆ ของโครงสร้างอาคารโดยทั่วไปของระบบแบบ orthogonal ที่มีชิ้นส่วนของ เสา(Column), คาน (Beam) และ พื้น (Slab) ที่เป็นชิ้นส่วนหลักของระบบ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.10



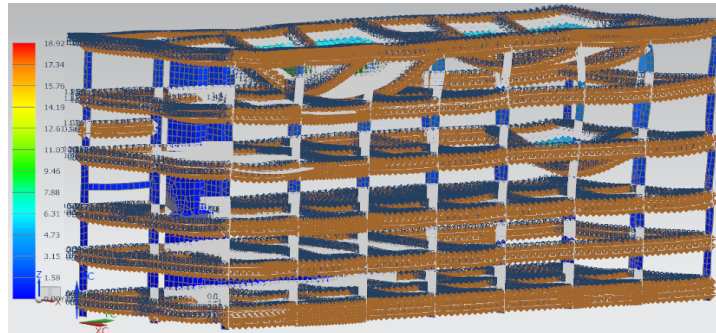
ภาพประกอบที่3.10 Load อุณหภูมิ 300C° กระทำภายในโครงสร้างอาคาร

จากภาพประกอบที่3.10 โหลด(Load) ที่กระทำต่อโครงสร้างอาคารอุณหภูมิ300C° การออกแบบในส่วนของคุณภาพและหน้าตัด เสา(Column) โหลด(Load) ที่กระทำมีอุณหภูมิ300C° มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่เสา(Column) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดเสา(Column) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.11



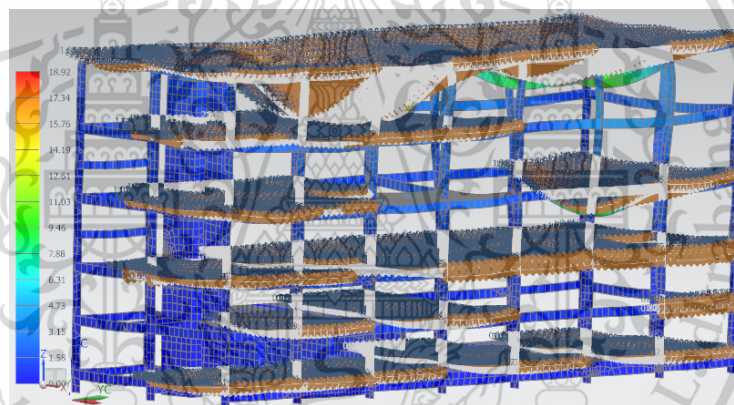
ภาพประกอบที่3.11 Load อุณหภูมิ300C° กระทำโครงสร้างเสา(Column)

จากภาพประกอบที่3.10 โหลด(Load) ที่กระทำต่อโครงสร้างอาคารอุณหภูมิ300C° การออกแบบในส่วนของคุณภาพและหน้าตัด คาน(Beam) โหลด(Load) ที่กระทำมีอุณหภูมิ300C° มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่คาน(Beam) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดคาน(Beam) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.12



ภาพประกอบที่ 3.12 Load อุณหภูมิ 300°C กระทำโครงสร้างคาน (Beam)

จากภาพประกอบที่ 3.10 โหลด (Load) ที่กระทำต่อโครงสร้างอาคารอุณหภูมิ 300°C การออกแบบในส่วนของขนาดและหน้าตัด พื้น (Slab) โหลด (Load) ที่กระทำมีอุณหภูมิ 300°C มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่พื้น (Slab) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดพื้น (Slab) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.13



ภาพประกอบที่ 3.13 Load อุณหภูมิ 300°C กระทำโครงสร้างพื้น (Slab)

### 3.1.5 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน 300 บาร์ และอุณหภูมิ 300°C ที่เกิดขึ้น

#### ภายในอาคาร

สำหรับการออกแบบควมรวมโหลด (Load) ที่กำหนดให้มีอุณหภูมิ 300°C และ แรงดัน 300 บาร์ (Bar) กระทำต่อโครงสร้างอาคาร อุณหภูมิและแรงดันดังกล่าวเกิดจากการทดสอบการผสมแก๊สที่มี อุณหภูมิ 300°C และ แรงดัน 300 บาร์ (Bar) จากภาพประกอบที่ 3.1, 3.2 และ 3.3 พื้นที่ใช้สอยชั้นที่ 1 มีประมาณ 800 ตรม. และ พื้นี่ชั้นที่ 2 มีประมาณ 800 ตรม. (กว้าง 40 เมตร X ยาว 20 เมตร) ถูกแบ่งออกเป็นห้องๆ เพื่อใช้ในการผสมแก๊สชนิดต่าง ๆ รูปแบบของโครงสร้างอาคารต้านทานอุณหภูมิ 300°C และ แรงดัน 300 บาร์ (Bar) แสดงภาพประกอบที่ 3.14



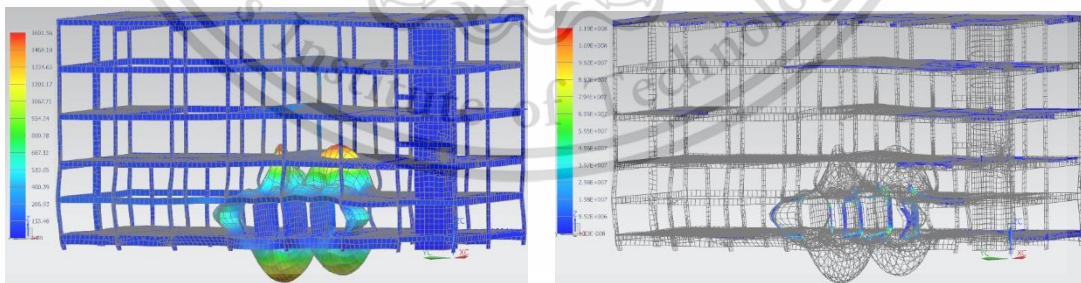
โครงสร้างอาคารแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ  
ภาพประกอบที่3.14 โครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° กระทำ  
ภายใน

### โครงสร้างอาคาร

### 3.1.6 วิธีการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300C°

#### เกิดขึ้นภายในอาคาร

อาคารดังกล่าวถูกออกแบบกำหนดให้รับ โหลด(Load) กระทำภายในอาคาร อุณหภูมิ 300C° และ แรงดัน300บาร์(Bar) ซึ่งเป็นการควมรวมโหลด(Combine Load) ดังภาพประกอบที่3.14 กำหนดให้อุณหภูมิ300C° และ แรงดัน300บาร์(Bar) ที่เกิดจากการผสมแก๊ส สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคาร ข้อมูลดังกล่าวนำมาใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างอาคารของระบบแบบorthogonal ที่มีชิ้นส่วนของ เสา(Column), คาน (Beam) และ พื้น (Slab) ที่เป็นชิ้นส่วนหลักของระบบ การออกแบบชิ้นส่วนหลักของโครงสร้างอาคารจะต้องรับโหลด (Load) อุณหภูมิ300C° และ แรงดัน300บาร์(Bar) ภายในห้องทดลองการผสมแก๊สชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.15

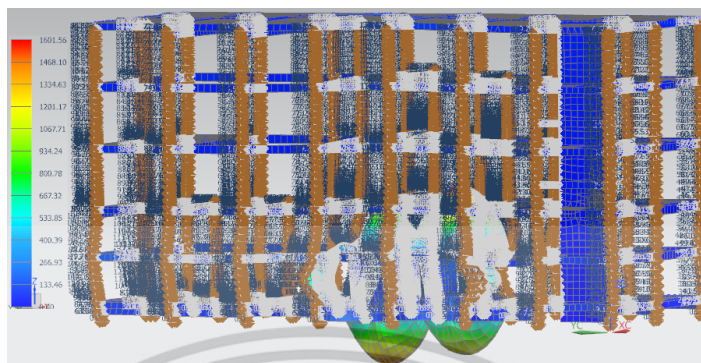


ภาพประกอบที่ 3.15 Load แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ(Temperature) 300C° กระทำ  
ภายใน

### โครงสร้างอาคาร

จากภาพประกอบที่3.15 โหลด(Load) ที่กระทำต่อโครงสร้างอาคารแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° การออกแบบในส่วนของขนาดและหน้าตัด เสา(Column) โหลด(Load) ที่กระทำมีแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction

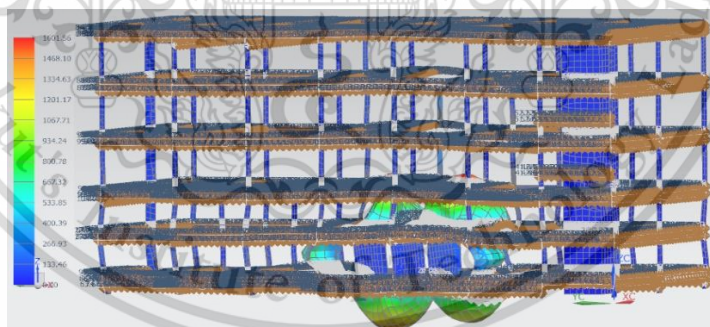
moment ที่เสา(Column) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดเสา(Column) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.16



ภาพประกอบที่ 3.16 Load แรงดัน300บาร์(Pressure)และอุณหภูมิ300C° กระทำโครงสร้างเสา

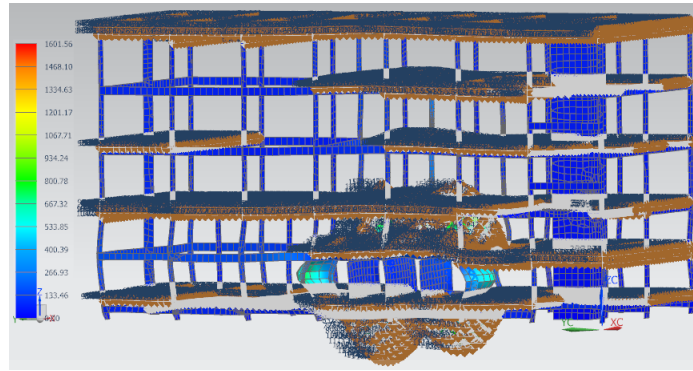
(Column)

จากภาพประกอบที่ 3.15 โหลด(Load) ที่กระทำต่อโครงสร้างอาคารแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° การออกแบบในส่วนของขนาดและหน้าตัด คาน(Beam) โหลด(Load) ที่กระทำมีแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่คาน(Beam) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดคาน(Beam) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.17



ภาพประกอบที่ 3.17 Load แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° กระทำโครงสร้างคาน(Beam)

จากภาพประกอบที่ 3.15 โหลด(Load) ที่กระทำต่อโครงสร้างอาคารแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° การออกแบบในส่วนของขนาดและหน้าตัด พื้น (Slab) โหลด(Load) ที่กระทำมีแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่พื้น (Slab) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดพื้น (Slab) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.18

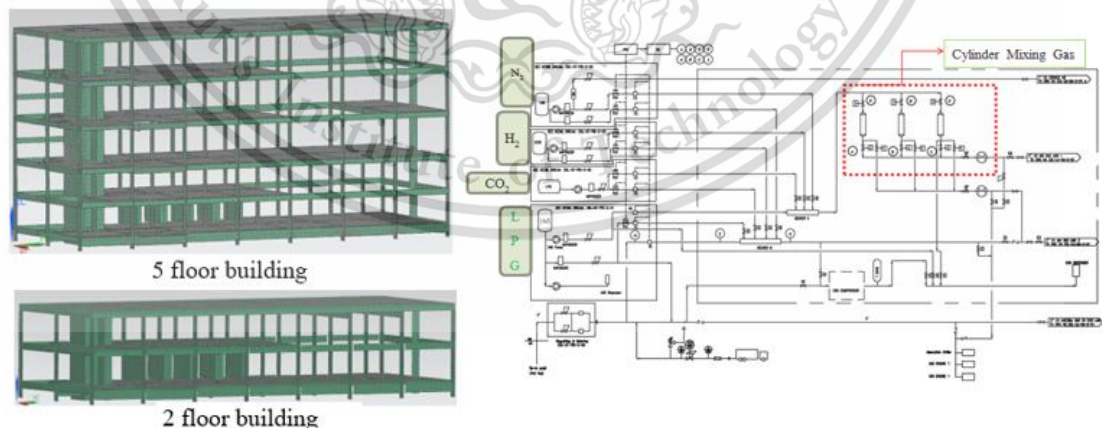


ภาพประกอบที่ 3.18 Load แรงดัน 300 บาร์ (pressure) และ อุณหภูมิ 300°C กระทำ  
โครงสร้างพื้น

(Slab)

### 3.2 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน 300 บาร์, อุณหภูมิ 300°C และ แรงดัน 300 บาร์ควบรวมกับอุณหภูมิ 300°C กระทำต่อโครงสร้างอาคารที่เกิดขึ้น ภายนอก โครงสร้างอาคารที่มีความสูงแตกต่างกันของอาคาร 2 ชั้น และ 5 ชั้น

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารที่มีโหลด (Load) จากการระเบิดกระทำภายนอก อาคารที่มีความสูงแตกต่างกันของอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น โหลด (Load) จากการระเบิดมีแรงดัน 300 บาร์ (Pressure load) และ อุณหภูมิ 300°C (Temperature Load) ภายนอกอาคารส่งผลกระทบต่อ โครงสร้างอาคารหลังนี้ ข้อมูลดังกล่าวนี้จะใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคาร อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งภายนอกอาคาร ใช้สำหรับการทดสอบคุณสมบัติของแก๊สที่นำมาผสมกัน รูปแบบของ โครงสร้างอาคารและแผนผังที่ติดตั้งอุปกรณ์ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.19

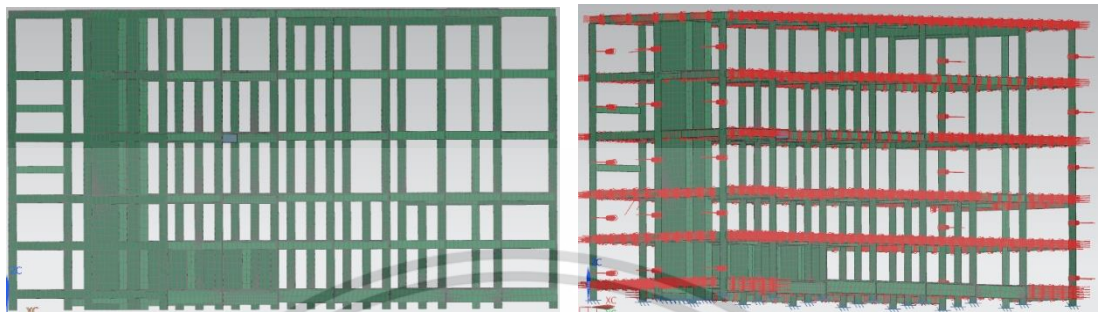


ภาพประกอบที่ 3.19 โครงสร้างอาคาร 2 ชั้น และ 5 ชั้น แผนผังที่ติดตั้งอุปกรณ์แรงดันแก๊ส

#### 3.2.1 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน 300 บาร์ ที่เกิดจาก ภายนอก อาคาร 2

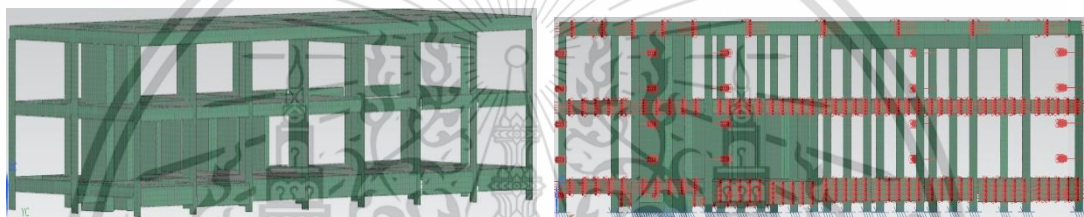
ชั้น และ 5 ชั้น

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารได้กำหนดโหลด(Load) แรงดันที่300บาร์(Bar) กระทำต่อโครงสร้างอาคารเมื่อเกิดการระเบิดจากภายนอกอาคาร ซึ่งจากรูปแบบของโครงสร้างอาคารและโหลด(Load) แรงดัน(Pressure Load) 300 บาร์กระทำต่อโครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ 2ชั้น ดังภาพประกอบที่ 3.20



โครงสร้างอาคาร5ชั้น

แรงดัน300บาร์กระทำภายนอกอาคาร 5



โครงสร้างอาคาร2ชั้น

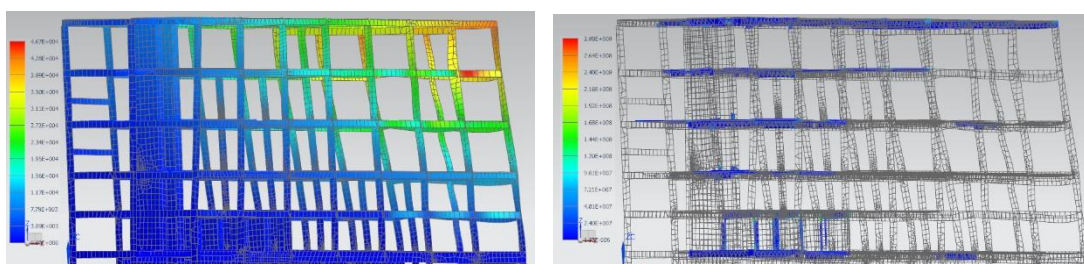
แรงดัน300บาร์กระทำภายนอกอาคาร 2

ภาพประกอบที่3.20 อาคาร5ชั้นและ2ชั้น แรงดัน300บาร์ กระทำภายนอกโครงสร้างอาคาร

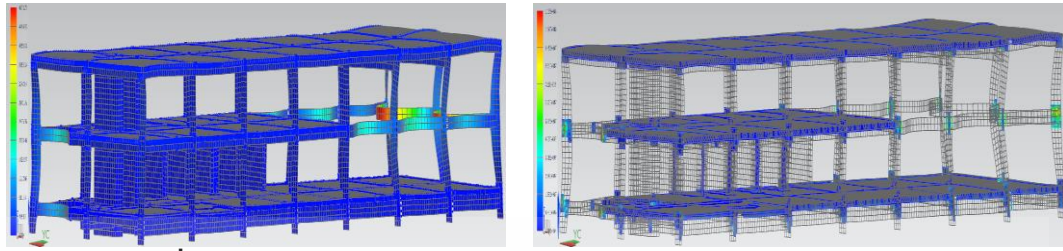
### 3.2.2 วิธีการออกแบบโครงสร้างอาคาร2ชั้นและ5ชั้นต้านทานแรงดัน300บาร์จาก

#### ภายนอกอาคาร

อาคารดังกล่าวถูกออกแบบกำหนดให้รับ โหลด(Load) กระทำภายนอกอาคาร 300บาร์ ดังภาพประกอบที่3.20 กำหนดแรงดัน300บาร์ที่เกิดจากการผสมแก๊สชนิดต่าง ๆ สำหรับใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร ข้อมูลดังกล่าวนำมาใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนหลักต่าง ๆ ของโครงสร้างอาคารโดยทั่วไปของระบบแบบ orthogonal ที่มีชิ้นส่วนของ เสา(Colum), คาน (Beam) และ พื้น (Slab) ที่เป็นชิ้นส่วนหลักของระบบ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.21 และ 3.22

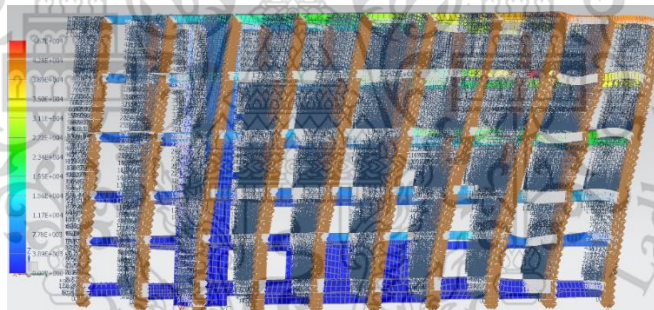


ภาพประกอบที่3.21 Load แรงดัน(Pressure) 300บาร์กระทำภายนอกโครงสร้างอาคาร5 ชั้น

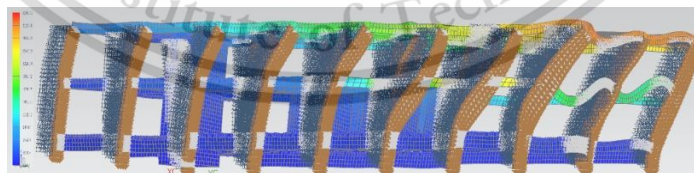


ภาพประกอบที่3.22 Load แรงดัน(Pressure) 300บาร์กระทำภายนอกโครงสร้างอาคาร2 ชั้น

จากภาพประกอบที่3.21และ3.22 โหลด(Load) แรงดัน300บาร์กระทำต่อภายนอกโครงสร้างอาคาร การออกแบบในส่วนของขนาดและหน้าตัด เสา(Column) โหลด(Load) ที่กระทำมีแรงดัน300บาร์ มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่เสา (Column) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดเสา(Column) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.23และ3.24



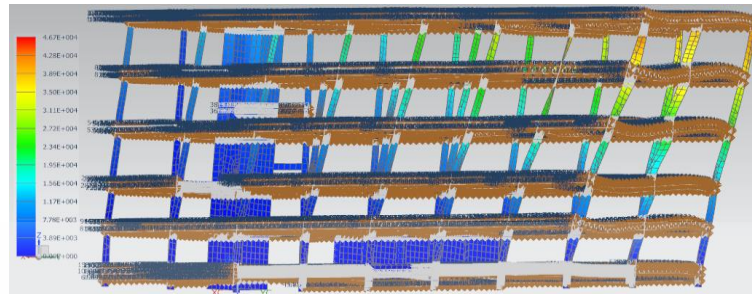
ภาพประกอบที่3.23 Load แรงดัน300บาร์ กระทำภายนอกโครงสร้างเสา (Column) อาคาร5 ชั้น



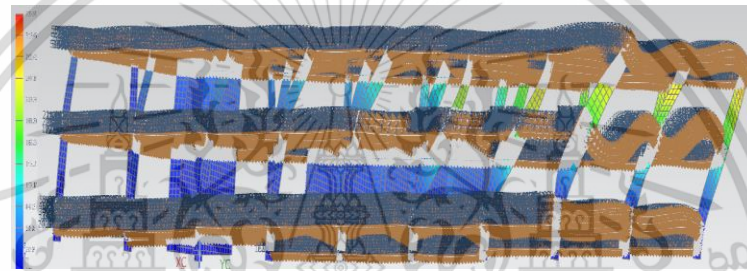
ภาพประกอบที่3.24 Load แรงดัน300บาร์ กระทำภายนอกโครงสร้างเสา(Column) อาคาร2ชั้น

จากภาพประกอบที่3.21และ3.22 โหลด(Load) แรงดัน300บาร์กระทำต่อภายนอกโครงสร้างอาคาร การออกแบบในส่วนของขนาดและหน้าตัด คาน (Beam) โหลด(Load) ที่กระทำมีแรงดัน300บาร์ มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่คาน

(Beam) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดเสา(Column) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.25 และ 3.26



ภาพประกอบที่ 3.25 Load แรงดัน 300 บาร์ กระทำภายนอกโครงสร้างคาน(Beam) อาคาร 5 ชั้น

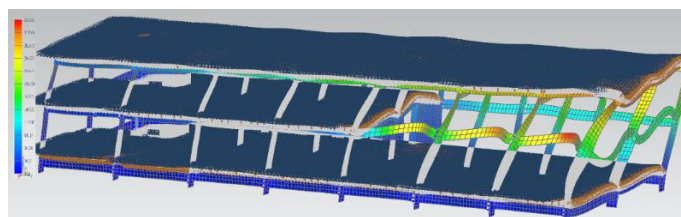


ภาพประกอบที่ 3.26 Load แรงดัน 300 บาร์ กระทำภายนอกโครงสร้างคาน(Beam) อาคาร 2 ชั้น

จากภาพประกอบที่ 3.21 และ 3.22 โหลด (Load) แรงดัน 300 บาร์กระทำต่อภายนอกโครงสร้างอาคาร การออกแบบในส่วนของขนาดและหน้าตัด พื้น (Slab) โหลด (Load) ที่กระทำมีแรงดัน 300 บาร์ มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่พื้น (Slab) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดพื้น (Slab) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.27 และ 3.28



ภาพประกอบที่ 3.27 Load แรงดัน 300 บาร์กระทำภายนอกโครงสร้างพื้น (Slab) อาคาร 5 ชั้น

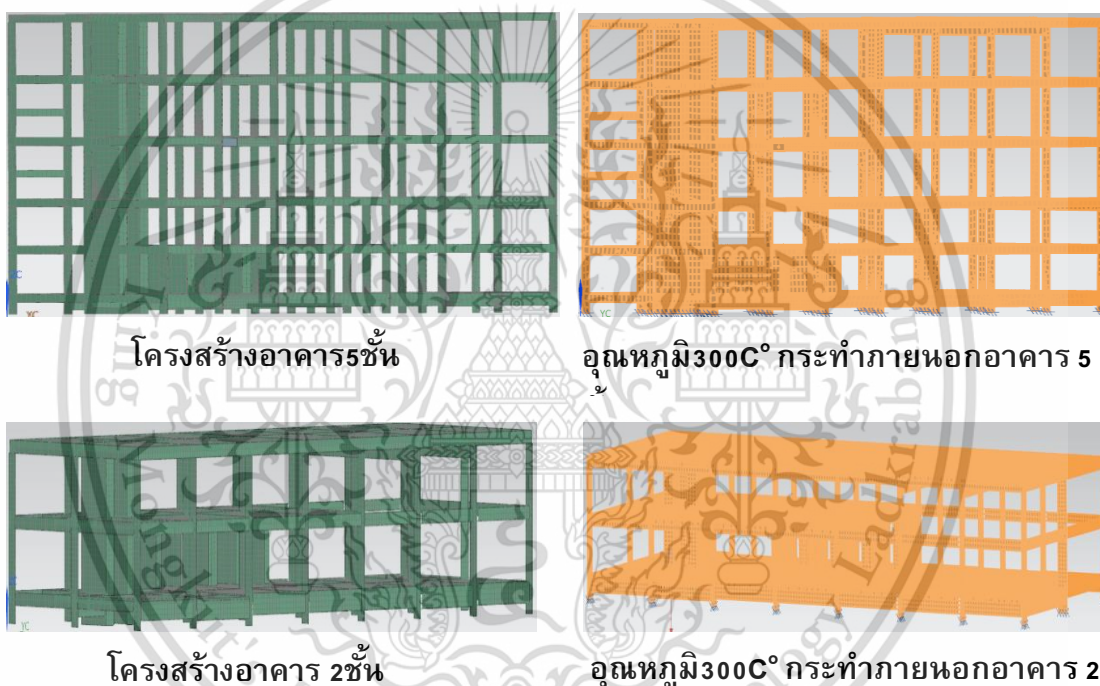


ภาพประกอบที่ 3.28 Load แรงดัน 300 บาร์ (Bar) กระทำภายนอกโครงสร้างพื้น (Slab) อาคาร 2 ชั้น

3.2.3 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานอุณหภูมิ 300°C<sup>o</sup> ที่เกิดจากภายนอกอาคาร 2

ชั้นและ 5 ชั้น

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารได้กำหนดโหลด (Load) อุณหภูมิ 300°C<sup>o</sup> กระทำต่อโครงสร้างอาคารเมื่อเกิดการระเบิดจากภายนอกอาคาร ซึ่งจากรูปแบบของโครงสร้างอาคาร และโหลด (Load) อุณหภูมิ 300°C<sup>o</sup> (Temperature load) กระทำต่อโครงสร้างอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น ดังภาพประกอบที่ 3.29



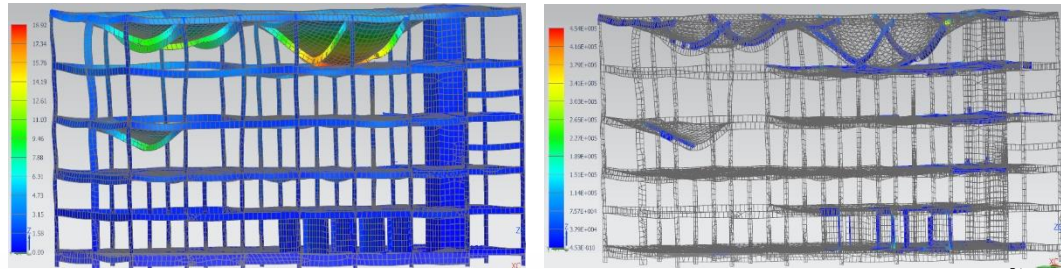
ภาพประกอบที่ 3.29 อาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น อุณหภูมิ 300 C<sup>o</sup> กระทำภายนอกโครงสร้างอาคาร

3.2.4 วิธีการออกแบบโครงสร้างอาคาร 2 ชั้นและ 5 ชั้นต้านทานอุณหภูมิ 300°C<sup>o</sup> จาก

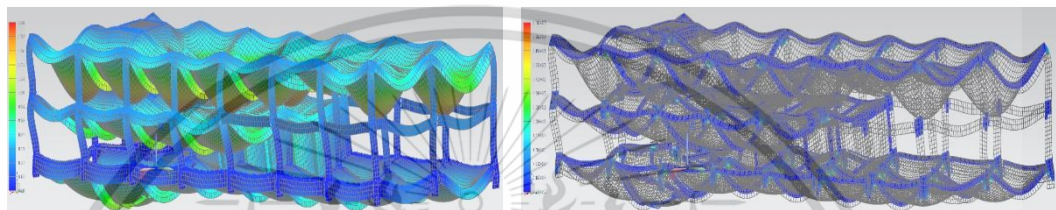
ภายนอก อาคาร

อาคารดังกล่าวถูกออกแบบกำหนดให้รับ โหลด (Load) กระทำภายนอกอาคาร อุณหภูมิ 300°C<sup>o</sup> ดังภาพประกอบที่ 3.29 กำหนดอุณหภูมิ 300°C<sup>o</sup> ที่เกิดจากการผสมแก๊สชนิดต่าง ๆ สำหรับใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร ข้อมูลดังกล่าวนำมาใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนหลักต่าง ๆ ของโครงสร้างอาคารโดยทั่วไปของระบบแบบ orthogonal ที่มีชิ้นส่วนของ เสา (Colum),

คาน (Beam) และ พื้น (Slab) ที่เป็นชิ้นส่วนหลักของระบบ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.30 และ 3.31

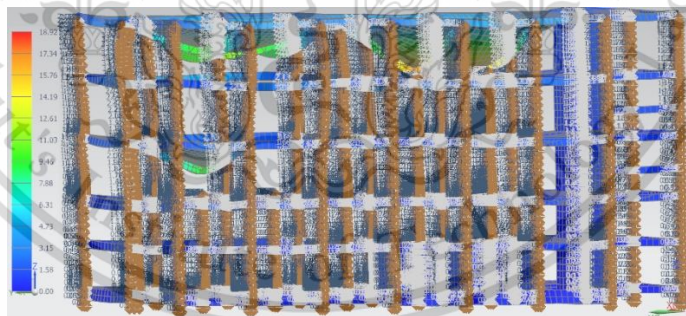


ภาพประกอบที่3.30 Load อุณหภูมิ300C° กระทำภายนอกโครงสร้างอาคาร3ชั้น

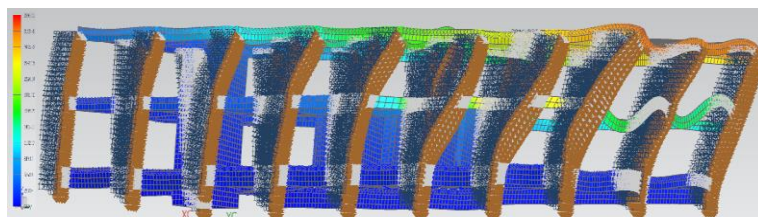


ภาพประกอบที่3.31 Load อุณหภูมิ 300C° กระทำภายนอกโครงสร้างอาคาร2ชั้น

จากภาพประกอบที่3.30และ3.31 โหลด(Load) อุณหภูมิ300C° กระทำต่อภายนอกโครงสร้างอาคาร การออกแบบในส่วนของคุณภาพและหน้าตัด เสา(Column) โหลด(Load) ที่กระทำมีอุณหภูมิ300C° มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่เสา (Column) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดเสา(Column) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.32และ3.33



ภาพประกอบที่3.32 Load อุณหภูมิ300C° กระทำภายนอกโครงสร้างเสา(Column) อาคาร 5ชั้น

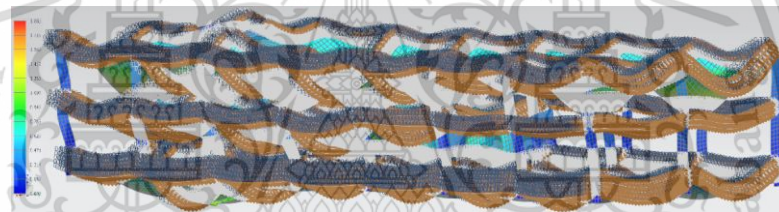


ภาพประกอบที่3.33 Load อุณหภูมิ300C° กระทำภายนอกโครงสร้างเสา(Column) อาคาร 2ชั้น

จากภาพประกอบที่ 3.30 และ 3.31 โหลด (Load) อุณหภูมิ  $300^{\circ}\text{C}$  กระทำต่อภายนอก โครงสร้างอาคาร การออกแบบในส่วนของคุณภาพและหน้าตัด คาน (Beam) โหลด (Load) ที่กระทำ มีอุณหภูมิ  $300^{\circ}\text{C}$  มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่คาน (Beam) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดคาน (Beam) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.34 และ 3.35

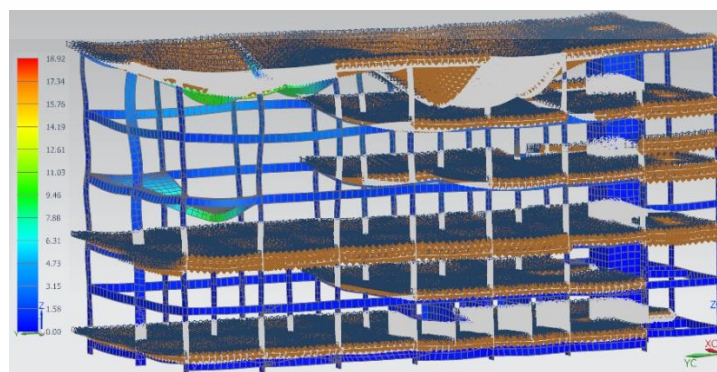


ภาพประกอบที่ 3.34 Load อุณหภูมิ  $300^{\circ}\text{C}$  กระทำภายนอกโครงสร้างคาน (Beam) อาคาร 5 ชั้น

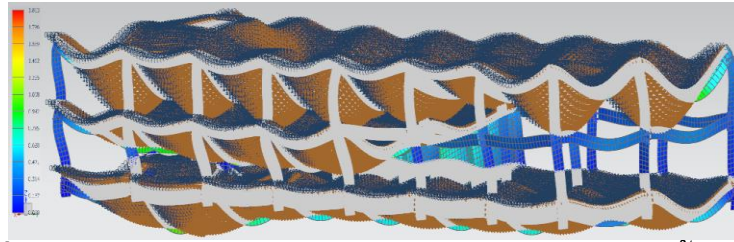


ภาพประกอบที่ 3.35 Load อุณหภูมิ  $300^{\circ}\text{C}$  กระทำภายนอกโครงสร้างคาน (Beam) อาคาร 2 ชั้น

จากภาพประกอบที่ 3.30 และ 3.31 โหลด (Load) อุณหภูมิ  $300^{\circ}\text{C}$  กระทำต่อภายนอก โครงสร้างอาคาร การออกแบบในส่วนของคุณภาพและหน้าตัดพื้น (Slab) โหลด (Load) ที่กระทำ มีอุณหภูมิ  $300^{\circ}\text{C}$  มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่พื้น (Slab) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดพื้น (Slab) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.36 และ 3.37



ภาพประกอบที่ 3.36 Load อุณหภูมิ 300°C กระทำภายนอกโครงสร้างพื้น(Slab)อาคาร 5 ชั้น

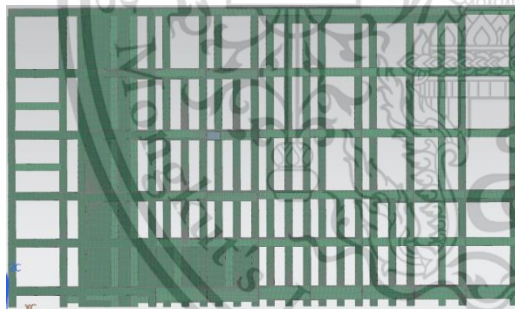


ภาพประกอบที่ 3.37 Load อุณหภูมิ 300°C กระทำภายนอกโครงสร้างพื้น(Slab)อาคาร 2 ชั้น

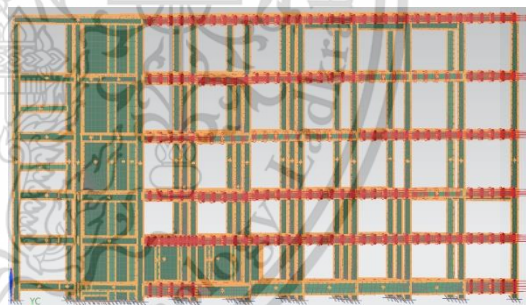
3.2.5 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน 300 บาร์และอุณหภูมิ 300°C  
เกิดจาก

ภายนอกอาคาร 2 ชั้นและ 5 ชั้น

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารได้กำหนดโหลด(Load) แรงดัน 300 บาร์(Bar)และอุณหภูมิ 300°C (Combine High Temperature & High Pressure) กระทำต่อโครงสร้างอาคารเมื่อเกิดการระเบิดจากภายนอกอาคาร ซึ่งจากรูปแบบของโครงสร้างอาคารและโหลด(Load) แรงดัน(Pressure Load) 300 บาร์และอุณหภูมิ 300°C (Temperature Load) กระทำต่อโครงสร้างอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น ดังภาพประกอบที่ 3.38



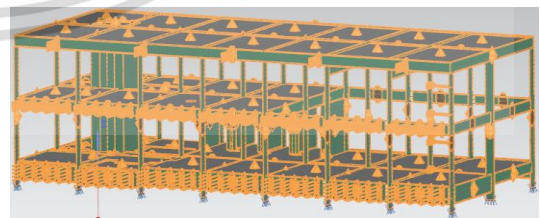
โครงสร้างอาคาร 5 ชั้น



แรงดัน 300 บาร์ อุณหภูมิ 300°C กระทำภายนอกอาคาร 5 ชั้น



โครงสร้างอาคาร 2 ชั้น



แรงดัน 300 บาร์ อุณหภูมิ 300°C กระทำภายนอก

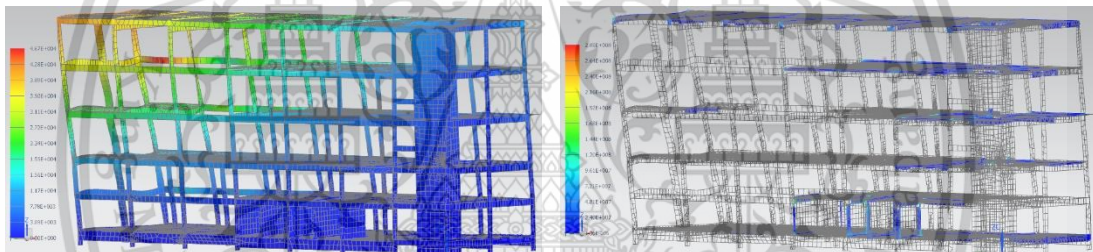
ภาพประกอบที่ 3.38 โครงสร้างอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น แรงดัน 300 บาร์และอุณหภูมิ 300°C กระทำ

## ภายนอกโครงสร้างอาคาร

### 3.2.6 วิธีการออกแบบโครงสร้างอาคาร 2 ชั้น และ 5 ชั้น ต้านทานแรงดัน 300 บาร์ และ

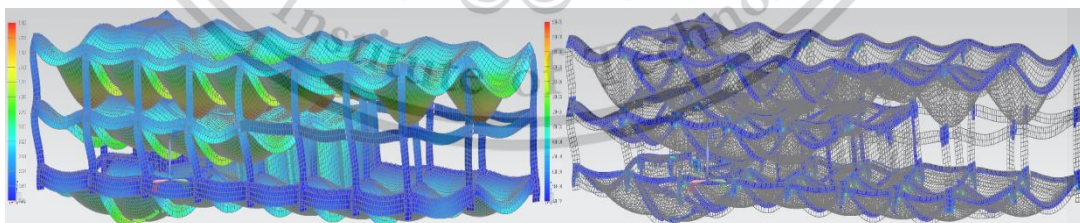
#### อุณหภูมิ 300°C จากภายนอกอาคาร

อาคารดังกล่าวถูกออกแบบกำหนดให้รับ โหลด (Load) กระทำภายในอาคาร อุณหภูมิ 300°C และ แรงดัน 300 บาร์ (Bar) ซึ่งเป็นการควมรวมโหลด (Combine Load) ดังภาพประกอบที่ 3.38 กำหนดให้อุณหภูมิ 300°C และ แรงดัน 300 บาร์ (Bar) ที่เกิดจากการผสมแก๊ส สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคาร ข้อมูลดังกล่าวนำมาใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างอาคารของระบบแบบ orthogonal ที่มีชิ้นส่วนของ เสา (Column), คาน (Beam) และ พื้น (Slab) ที่เป็นชิ้นส่วนหลักของระบบ การออกแบบชิ้นส่วนหลักของโครงสร้างอาคารจะต้องรับโหลด (Load) อุณหภูมิ 300°C และ แรงดัน 300 บาร์ (Bar) ภายนอกอาคารของโครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.39 และ 3.40



ภาพประกอบที่ 3.39 Load แรงดัน 300 บาร์ และ อุณหภูมิ 300°C กระทำภายนอกโครงสร้างอาคาร

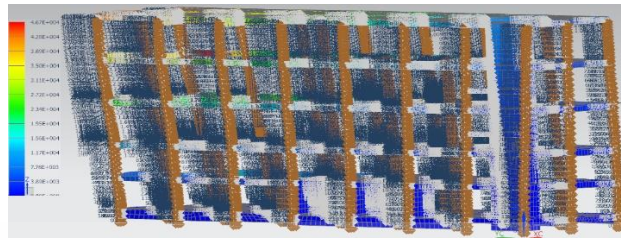
5 ชั้น



ภาพประกอบที่ 3.40 Load แรงดัน 300 บาร์ และ อุณหภูมิ 300°C กระทำภายนอกโครงสร้างอาคาร 2 ชั้น

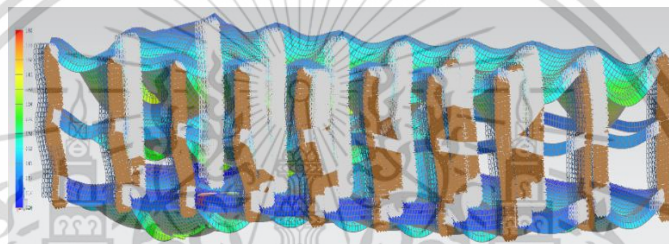
จากภาพประกอบที่ 3.39 และ 3.40 โหลด (Load) แรงดัน 300 บาร์ และ อุณหภูมิ 300°C กระทำต่อภายนอกโครงสร้างอาคาร การออกแบบในส่วนของคุณภาพและหน้าตัดเสา (Column) โหลด (Load) ที่กระทำมีแรงดัน 300 บาร์ และ อุณหภูมิ 300°C มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction

force และ Reaction moment ที่เสา(Column) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดเสา (Column) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.41และ3.42



ภาพประกอบที่3.41 Load แรงดัน300บาร์ และ อุณหภูมิ300C°กระทำภายนอกโครงสร้าง เสา

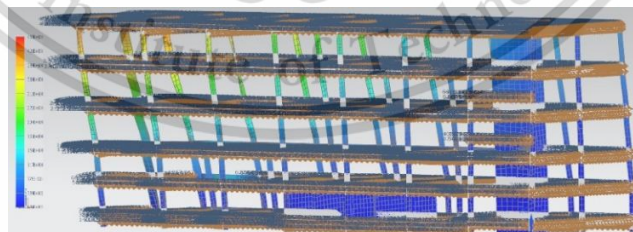
(Column) อาคาร5ชั้น



ภาพประกอบที่3.42 Load แรงดัน300บาร์ และ อุณหภูมิ300C° กระทำภายนอกโครงสร้าง เสา

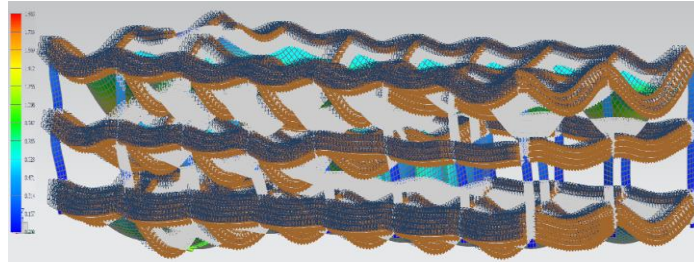
(Column) อาคาร2ชั้น

จากภาพประกอบที่3.39และ3.40 โหลด(Load) แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° กระทำต่อภายนอกโครงสร้างอาคาร การออกแบบในส่วนของคุณภาพและหน้าตัดคาน(Beam) โหลด(Load) ที่กระทำมีแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่คาน(Beam) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดคาน (Beam) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.43และ3.44



ภาพประกอบที่3.43 Load แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° กระทำภายนอกโครงสร้าง คาน

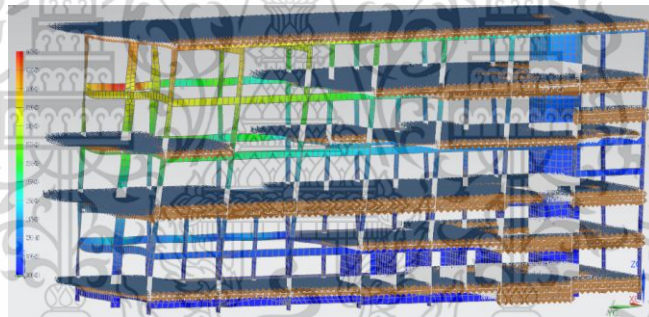
(Beam) อาคาร5ชั้น



ภาพประกอบที่3.44 Load แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C°กระทำภายนอก โครงสร้างคาน

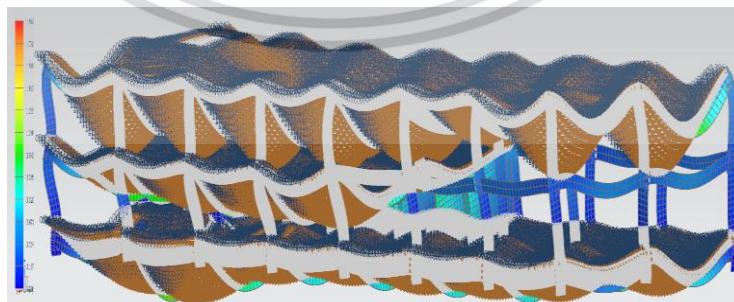
(Beam)อาคาร2ชั้น

จากภาพประกอบที่3.39และ3.40 โหลด(Load) แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C°กระทำต่อภายนอกโครงสร้างอาคาร การออกแบบในส่วนของขนาดและหน้าตัดพื้น(Slab) โหลด(Load) ที่กระทำมีแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่พื้น(Slab) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดพื้น(Slab) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.45และ3.46



ภาพประกอบที่3.45 Load แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° กระทำภายนอกโครงสร้างพื้น

(Slab) อาคาร5ชั้น

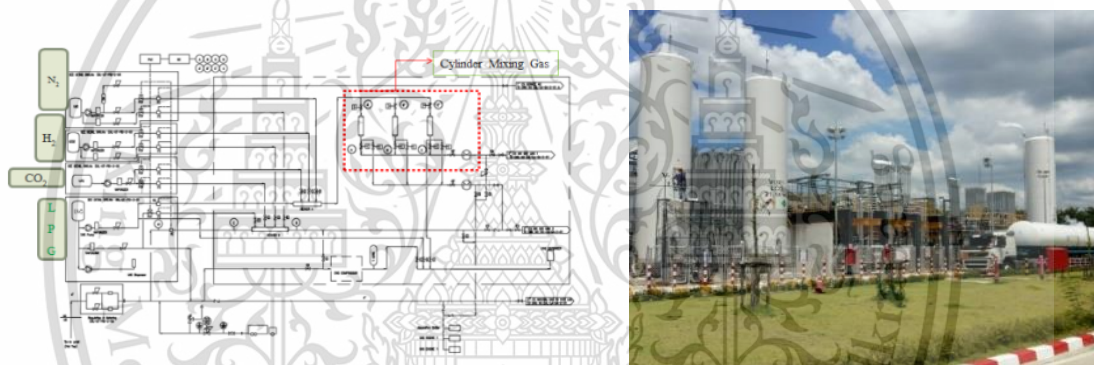


ภาพประกอบที่3.46 Load แรงดัน300บาร์ และอุณหภูมิ300C° กระทำภายนอกโครงสร้างพื้น

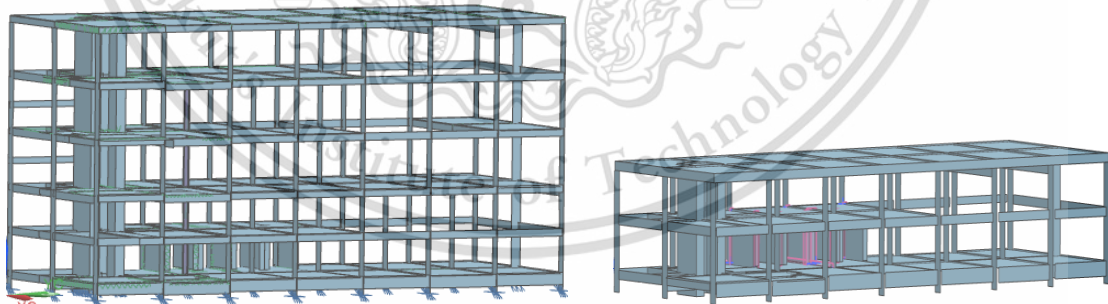
(Slab)อาคาร2ชั้น

### 3.3 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์, อุณหภูมิ300 °Cและแรงดัน300บาร์ควบรวมกับอุณหภูมิ300 °Cกระทำต่อโครงสร้างอาคารที่เกิดขึ้นภายในและภายนอกโครงสร้างอาคารที่มีความสูงแตกต่างกันของอาคาร2ชั้นและ5ชั้น

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารที่มีโหลด(Load)จากการระเบิดกระทำภายนอกและภายในอาคารที่มีความสูงแตกต่างกันของอาคาร5ชั้นและ2ชั้น โหลด(Load) จากการระเบิดมีแรงดัน300บาร์(Pressure load)และอุณหภูมิ300°C(Temperature Load) จากภายนอกและภายในอาคารส่งผลกระทบต่อโครงสร้างอาคารหลังนี้ ข้อมูลดังกล่าวนี้จะใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคาร อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งภายนอกและภายในอาคารใช้สำหรับการทดสอบคุณสมบัติของแก๊สที่นำมาผสมกัน รูปแบบของโครงสร้างอาคารและแผนผังที่ติดตั้งอุปกรณ์ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.47และ3.48



ภาพประกอบที่ 3.47 แผนผังติดตั้งอุปกรณ์แรงดันแก๊ส



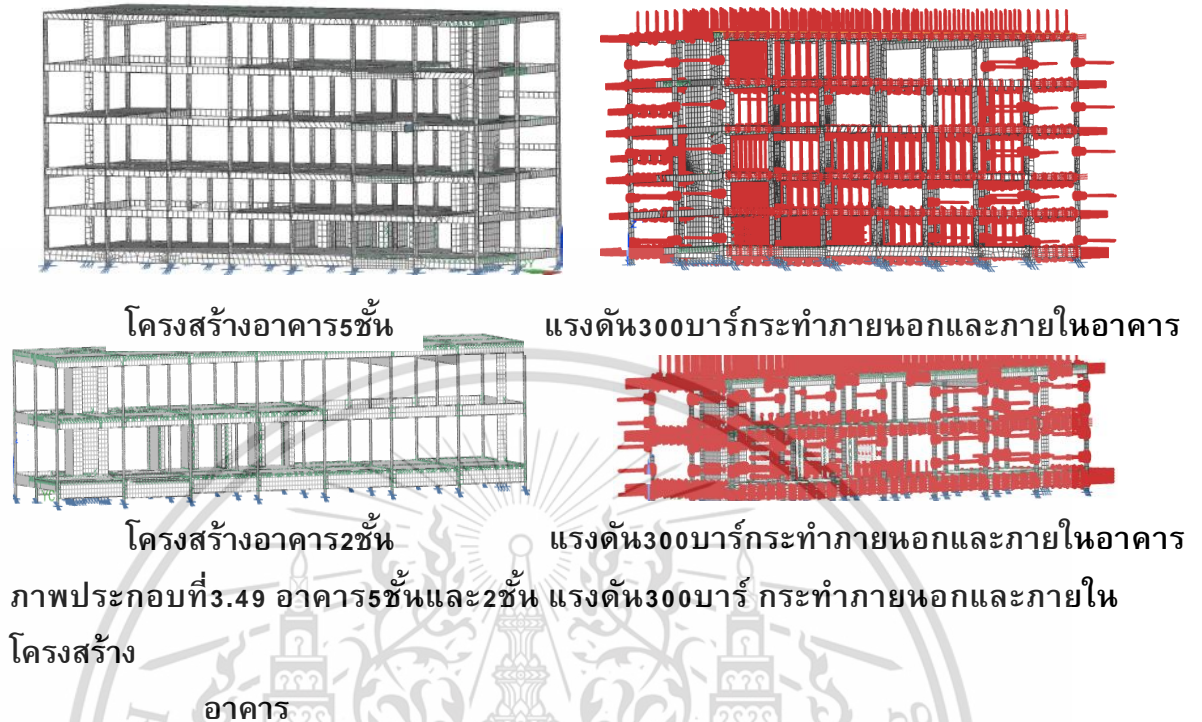
ภาพประกอบที่ 3.48 โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น

#### 3.3.1 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์ที่เกิดจาก ภายนอกและ

##### ภายในอาคาร 2ชั้นและ5ชั้น

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารได้กำหนดโหลด(Load) แรงดันที่300บาร์(Bar) กระทำต่อโครงสร้างอาคารเมื่อเกิดการระเบิดจากภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งจากรูปแบบของ

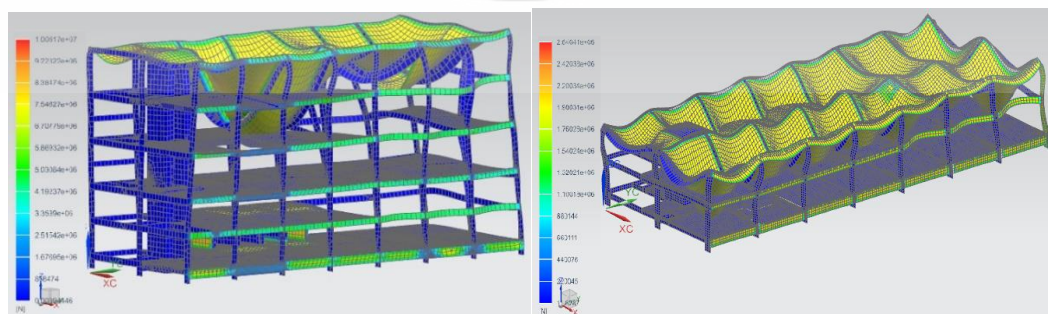
โครงสร้างอาคารและโหลด(Load) แรงดัน(Pressure Load) 300 บาร์กระทำต่อโครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ2ชั้น ดังภาพประกอบที่ 3.49



ภาพประกอบที่3.49 อาคาร5ชั้นและ2ชั้น แรงดัน300บาร์ กระทำภายนอกและภายใน โครงสร้าง

3.3.2 วิธีการออกแบบโครงสร้างอาคาร2ชั้นและ5ชั้นต้านทานแรงดัน300บาร์ จากภายนอกและภายในอาคาร

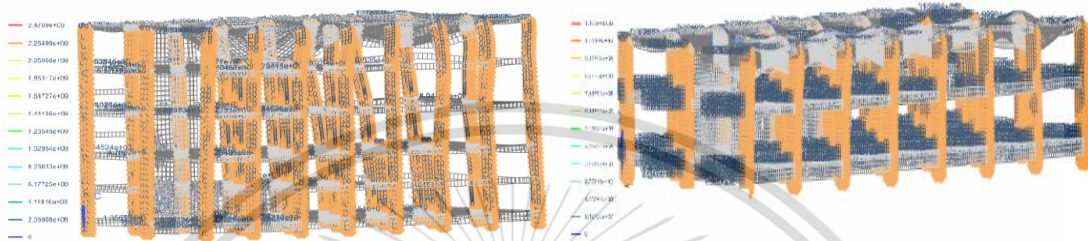
อาคารดังกล่าวถูกออกแบบกำหนดให้รับ โหลด(Load) กระทำภายในและภายนอกอาคาร 300บาร์ดังภาพประกอบที่3.49 กำหนดแรงดัน300บาร์ที่เกิดจากการผสมแก๊สชนิดต่างๆ สำหรับใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร ข้อมูลดังกล่าวนำมาใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนหลักต่างๆของโครงสร้างอาคารโดยทั่วไปของระบบแบบ orthogonal ที่มีชิ้นส่วนของ เสา (Colum), คาน (Beam) และ พื้น (Slab) ที่เป็นชิ้นส่วนหลักของระบบ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.50



ภาพประกอบที่3.50 Load แรงดัน300บาร์กระทำภายนอกและภายในโครงสร้างอาคาร5ชั้น

### อาคารและ2ชั้น

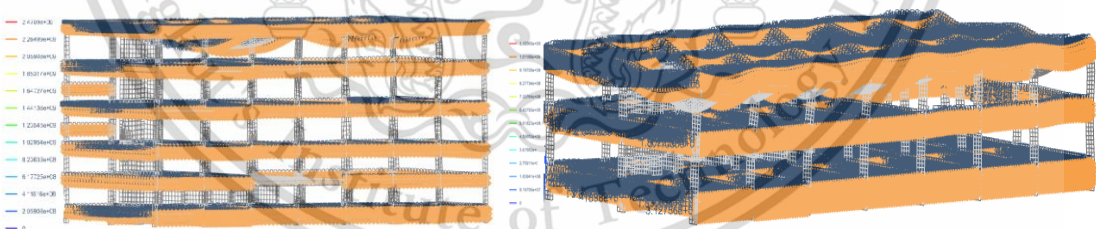
จากภาพประกอบที่3.50 โหลด(Load) แรงดัน300บาร์กระทำต่อภายนอกและภายใน โครงสร้างอาคาร การออกแบบในส่วนของคุณภาพและหน้าตัด เสา(Column) โหลด(Load) ที่กระทำมีแรงดัน300บาร์ มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่เสา (Column) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดเสา(Column) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.51



ภาพประกอบที่3.51 Load แรงดัน300บาร์ กระทำภายนอกและภายใน โครงสร้างเสา (Column)

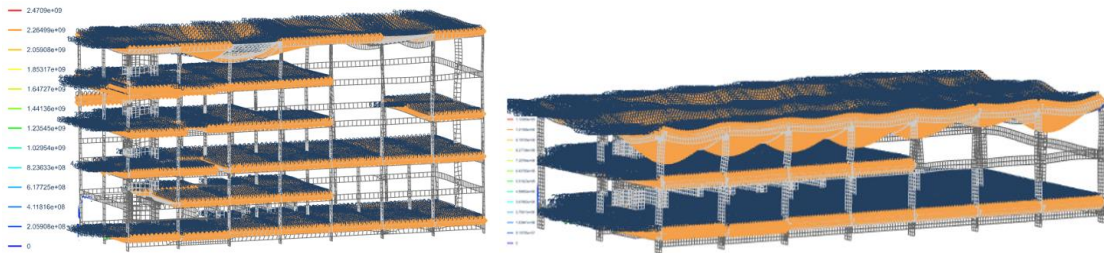
### อาคาร5ชั้นและ2ชั้น

จากภาพประกอบที่3.50 โหลด(Load) แรงดัน300บาร์กระทำต่อภายนอกและภายใน โครงสร้างอาคาร การออกแบบในส่วนของคุณภาพและหน้าตัด คาน (Beam) โหลด(Load) ที่กระทำมีแรงดัน300บาร์ มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่คาน (Beam) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดคาน (Beam) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.52



ภาพประกอบที่3.52 Load แรงดัน300บาร์ กระทำภายนอกและภายใน โครงสร้างคาน (Beam)อาคาร5ชั้นและ2ชั้น

จากภาพประกอบที่3.50 โหลด(Load) แรงดัน300บาร์กระทำต่อภายนอกและภายใน โครงสร้างอาคาร การออกแบบในส่วนของคุณภาพและหน้าตัด พื้น (Slab) โหลด(Load) ที่กระทำมีแรงดัน300บาร์ มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่พื้น (Slab) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดพื้น (Slab) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.53



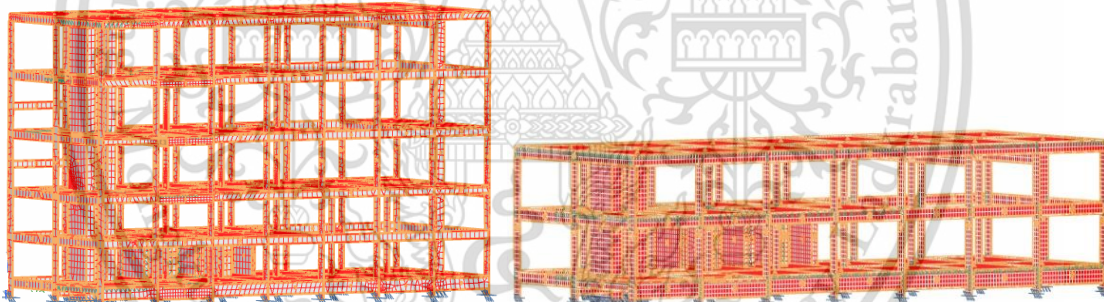
ภาพประกอบที่ 3.53 Load แรงดัน 300 บาร์ กระทำภายนอกและภายใน โครงสร้างพื้น (Slab)

อาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น

### 3.3.3 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$ ที่เกิด ภายนอกและภายใน

อาคาร 2 ชั้น และ 5 ชั้น

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารได้กำหนดโหลด (Load) อุณหภูมิ  $300^{\circ}\text{C}$  กระทำต่อโครงสร้างอาคารเมื่อเกิดการระเบิดจากภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งจากรูปแบบของโครงสร้างอาคารและโหลด (Load) อุณหภูมิ  $300^{\circ}\text{C}$  กระทำต่อโครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น ดังภาพประกอบที่ 3.54



ภาพประกอบที่ 3.54 อาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น อุณหภูมิ  $300^{\circ}\text{C}$  กระทำภายนอกและภายใน โครงสร้าง

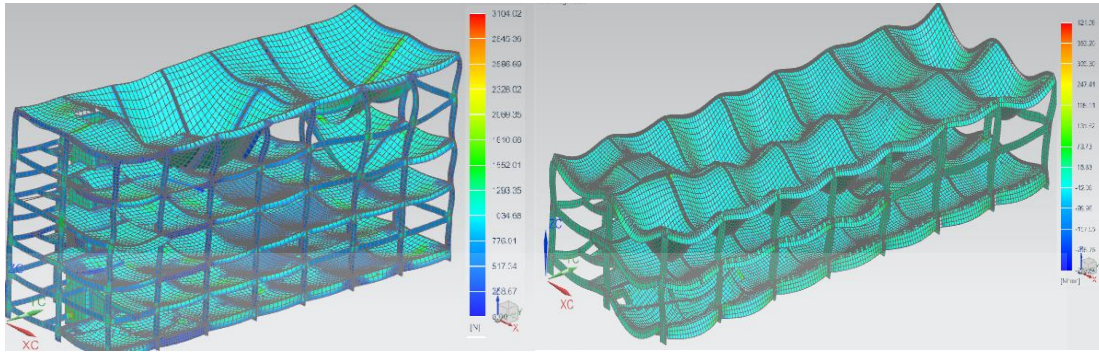
อาคาร

### 3.3.4 วิธีการออกแบบโครงสร้างอาคาร 2 ชั้น และ 5 ชั้น ต้านทานอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$ จาก

ภายนอกและภายในอาคาร

อาคารดังกล่าวถูกออกแบบกำหนดให้รับ โหลด (Load) กระทำภายในและภายนอกอาคาร อุณหภูมิ  $300^{\circ}\text{C}$  ดังภาพประกอบที่ 3.54 กำหนดให้อุณหภูมิ  $300^{\circ}\text{C}$  ที่เกิดจากการผสมแก๊สชนิดต่าง ๆ สำหรับใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร ข้อมูลดังกล่าวนำมาใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนหลักต่าง ๆ ของโครงสร้างอาคารโดยทั่วไปของระบบแบบ orthogonal ที่มี

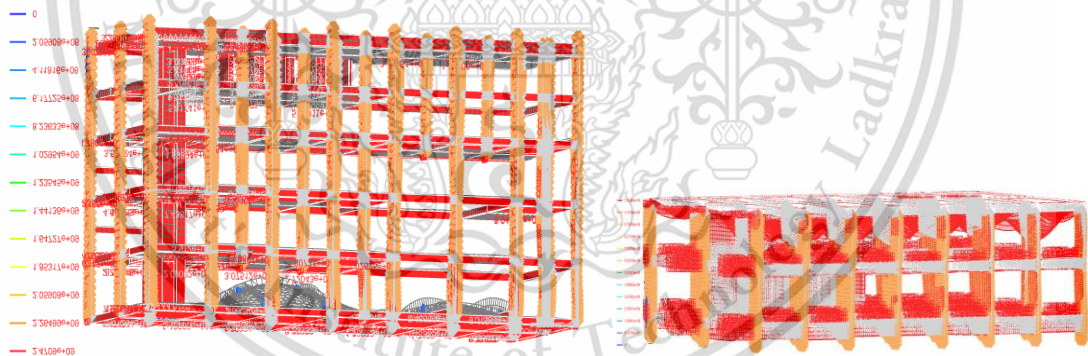
ชั้นส่วนของ เสา(Column), คาน (Beam) และ พื้น (Slab) ที่เป็นชั้นส่วนหลักของระบบ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.55



ภาพประกอบที่3.55 Load อุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$  กระทำภายนอกและภายในโครงสร้างอาคาร 5 ชั้นและ

2 ชั้น

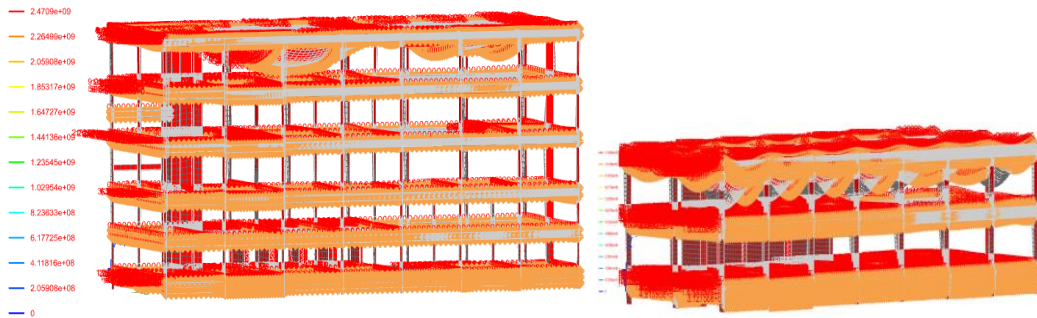
จากภาพประกอบที่3.55 โหลด(Load) อุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$  กระทำต่อภายนอกและภายใน โครงสร้างอาคาร การออกแบบในส่วนของขนาดและหน้าตัด เสา(Column) โหลด(Load) ที่กระทำมีอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$  มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่เสา (Column) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดเสา(Column) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.56



ภาพประกอบที่3.56 Load อุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$  กระทำภายนอกและภายใน โครงสร้างเสา (Column)

อาคาร5ชั้นและ2ชั้น

จากภาพประกอบที่3.55 โหลด(Load) อุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$  กระทำต่อภายนอกและภายใน โครงสร้างอาคาร การออกแบบในส่วนของขนาดและหน้าตัด คาน (Beam) โหลด(Load) ที่กระทำมีอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$  มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่คาน (Beam) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดคาน (Beam) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.57



ภาพประกอบที่ 3.57 Load อุณหภูมิ 300°C กระทำภายนอกและภายใน โครงสร้างคาน (Beam)

#### อาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น

จากภาพประกอบที่ 3.55 โหลด (Load) อุณหภูมิ 300°C กระทำต่อภายนอกและภายใน โครงสร้างอาคาร การออกแบบในส่วนของขนาดและหน้าตัดพื้น (Slab) โหลด (Load) ที่กระทำมี อุณหภูมิ 300°C มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่พื้น (Slab) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดพื้น (Slab) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.58



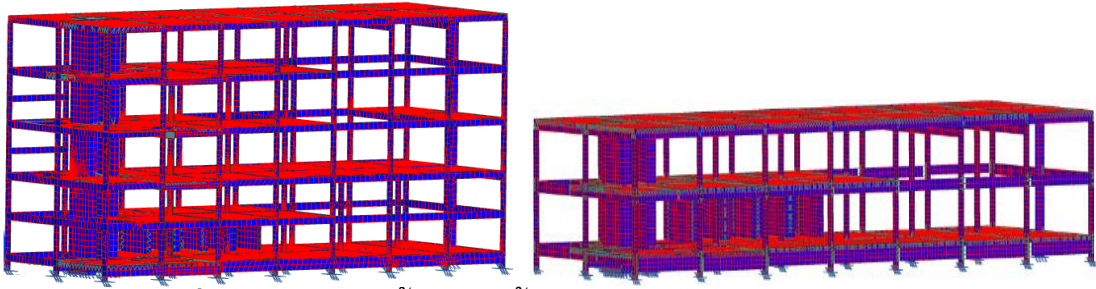
ภาพประกอบที่ 3.58 Load อุณหภูมิ 300°C กระทำภายนอกและภายใน โครงสร้างพื้น (Slab)

#### อาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น

3.3.5 ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน 300 บาร์ และ อุณหภูมิ 300°C ที่ เกิด

#### ภายนอกและภายในอาคาร 2 ชั้น และ 5 ชั้น

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารได้กำหนดโหลด (Load) อุณหภูมิ 300°C และ แรงดัน 300 บาร์ กระทำต่อโครงสร้างอาคาร ภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งจากรูปแบบของ โครงสร้างอาคารและโหลด (Load) ) อุณหภูมิ 300°C และ แรงดัน 300 บาร์ กระทำต่อโครงสร้าง อาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น ดังภาพประกอบที่ 3.59



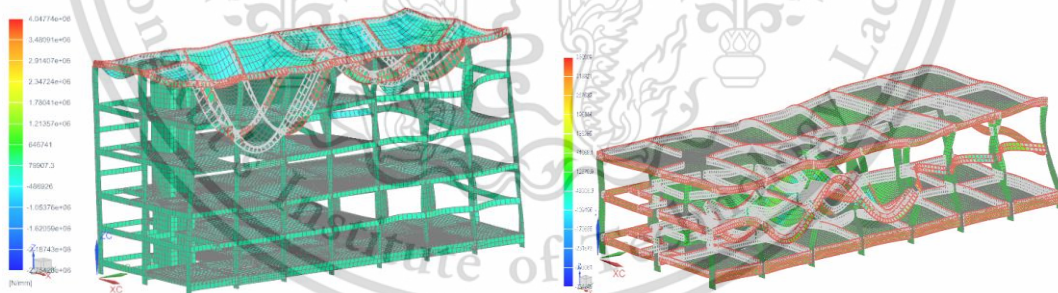
ภาพประกอบที่ 3.59 อาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น อุณหภูมิ  $300^{\circ}\text{C}$  และแรงดัน 300 บาร์ กระทำภายนอก

และภายในโครงสร้างอาคาร

### 3.3.6 วิธีการออกแบบโครงสร้างอาคาร 2 ชั้นและ 5 ชั้นต้านทานอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$ และแรงดัน 300 บาร์

#### แรงดัน 300 บาร์ภายนอกและภายในอาคาร

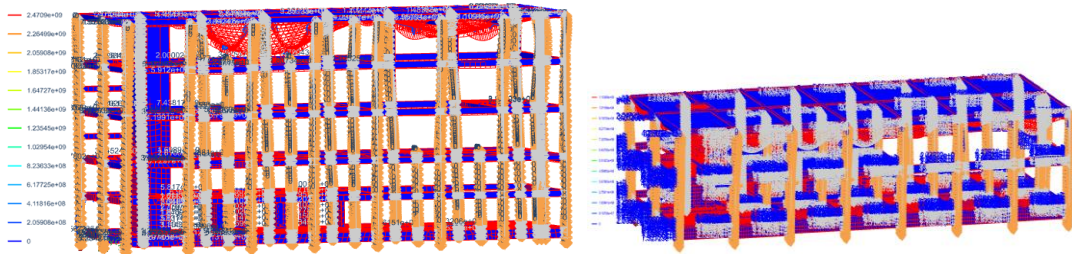
อาคารดังกล่าวถูกออกแบบกำหนดให้รับ โหลด (Load) กระทำภายในและภายนอกอาคาร อุณหภูมิ  $300^{\circ}\text{C}$  และแรงดัน 300 บาร์ ดังภาพประกอบที่ 3.59 กำหนดให้อุณหภูมิ  $300^{\circ}\text{C}$  และแรงดัน 300 บาร์ ที่เกิดจากการผสมแก๊สชนิดต่าง ๆ สำหรับใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร ข้อมูลดังกล่าวนำมาใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนหลักต่าง ๆ ของโครงสร้างอาคารโดยทั่วไปของระบบแบบ orthogonal ที่มีชิ้นส่วนของ เสา (Column), คาน (Beam) และ พื้น (Slab) ที่เป็นชิ้นส่วนหลักของระบบ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.60



ภาพประกอบที่ 3.60 Load อุณหภูมิ  $300^{\circ}\text{C}$  และแรงดัน 300 บาร์ กระทำภายนอกและภายในโครงสร้าง

สร้างอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น

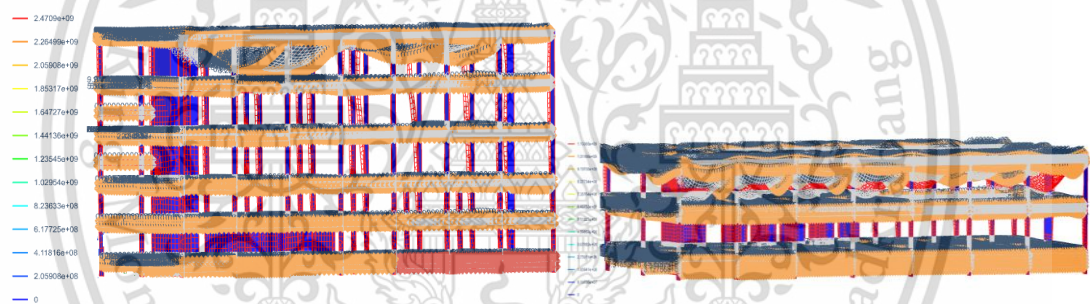
จากภาพประกอบที่ 3.60 โหลด (Load) อุณหภูมิ  $300^{\circ}\text{C}$  และแรงดัน 300 บาร์ กระทำต่อภายนอกและภายในโครงสร้างอาคาร การออกแบบในส่วนของขนาดและหน้าตัด เสา (Column) โหลด (Load) ที่กระทำมีอุณหภูมิ  $300^{\circ}\text{C}$  และแรงดัน 300 บาร์ มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่เสา (Column) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดเสา (Column) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.61



ภาพประกอบที่ 3.61 Load อุณหภูมิ 300C° และแรงดัน 300 บาร์ กระทำภายนอกและภายใน

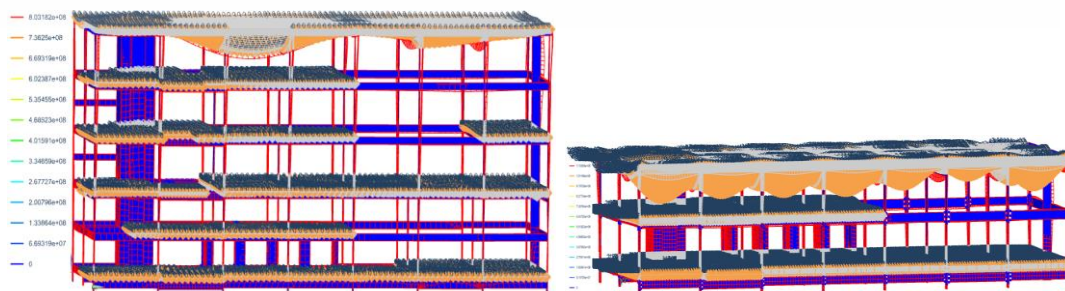
### โครงสร้างเสา (Column) อาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น

จากภาพประกอบที่ 3.60 โหลด (Load) อุณหภูมิ 300C° และแรงดัน 300 บาร์ กระทำต่อภายนอกและภายในโครงสร้างอาคาร การออกแบบในส่วนขนาดและหน้าตัด คาน (Beam) โหลด (Load) ที่กระทำมีอุณหภูมิ 300C° และแรงดัน 300 บาร์ มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่คาน (Beam) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดเสา (Column) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.62



ภาพประกอบที่ 3.62 Load อุณหภูมิ 300C° และแรงดัน 300 บาร์ กระทำภายนอกและภายใน โครงสร้างคาน (Beam) อาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น

จากภาพประกอบที่ 3.60 โหลด (Load) อุณหภูมิ 300C° และแรงดัน 300 บาร์ กระทำต่อภายนอกและภายในโครงสร้างอาคาร การออกแบบในส่วนขนาดและหน้าตัด พื้น (Slab) โหลด (Load) ที่กระทำมีอุณหภูมิ 300C° และแรงดัน 300 บาร์ มีผลกระทบที่ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่พื้น (Slab) สามารถนำไปออกแบบขนาดและหน้าตัดพื้น (Slab) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.63



ภาพประกอบที่ 3.63 Load อุณหภูมิ 300C° และแรงดัน 300 บาร์ กระทำภายนอกและภายใน

## โครงสร้างพื้น(Slab)อาคาร5ชั้นและ2ชั้น

การออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์,อุณหภูมิ300C° และควมรวมระหว่างแรงดันและอุณหภูมิ(300บาร์/300C°) จากโหลด(load) ที่กระทำต่อโครงสร้างอาคารที่แสดงในหัวข้อที่3.1และ3.2 ผลที่ได้สามารถนำข้อมูลมาใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ เสา(Column),คาน(Beam)และพื้น(Slab) ของโครงสร้างอาคารดังนี้

- 1.ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์(Bar)และอุณหภูมิ300C° โหลด(Load)กระทำภายในอาคาร
- 2.ออกแบบเปรียบเทียบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์(Bar)และอุณหภูมิ300C° โหลด(Load)กระทำจากภายนอกอาคาร
- 3.ออกแบบเปรียบเทียบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์ (Bar)และอุณหภูมิ300C° โหลด (Load)กระทำทั้งภายนอกและภายในอาคารอาคาร



## บทที่ 4

# ผลการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน และอุณหภูมิ

### 4.ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคารต้านทานแรงดันและอุณหภูมิ

สำหรับผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารเมื่อมีโหลด(Load) ที่เกิดจากแรงดัน300 บาร์,อุณหภูมิ300C° และแรงดัน300บาร์ที่ควบรวมกับอุณหภูมิ300C° มากระทำต่อโครงสร้างอาคาร ผลของโหลด(Load) ที่กระทำ ทำให้เกิด Reaction Force และReaction Moment ที่โครงสร้างอาคารและมีผลกระทบต่อชิ้นส่วนโครงสร้างอาคารในส่วนของ เสา(Column),คาน (Beam)และพื้น(Slab) ซึ่งผลที่เกิดขึ้นนี้สามารถนำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างอาคารที่สามารถต้านทานแรงดัน,อุณหภูมิและแรงดันควบรวมกับอุณหภูมิ โดยโหลด (Load)กระทำต่อโครงสร้างอาคารจะแบ่งเป็น3ลักษณะคือ

4.1 ผลของโหลด (Load)ที่ประกอบด้วย แรงดัน300บาร์, อุณหภูมิ300C° และแรงดัน 300บาร์ควบรวมกับอุณหภูมิ300C° กระทำต่อโครงสร้างอาคารที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างอาคาร

4.2 ผลของโหลด(Load)ที่ประกอบด้วย แรงดัน300บาร์,อุณหภูมิ300C° และแรงดัน300 บาร์ควบรวมกับอุณหภูมิ300C° กระทำต่อโครงสร้างอาคารที่เกิดขึ้นภายนอกโครงสร้างอาคารที่มีความสูงแตกต่างกันของอาคาร2ชั้นและ5ชั้น

4.3 ผลของโหลด(Load)ที่ประกอบด้วย แรงดัน300บาร์,อุณหภูมิ300C° และแรงดัน300 บาร์ควบรวมกับอุณหภูมิ300C° กระทำต่อโครงสร้างอาคารที่เกิดขึ้นภายในและภายนอก โครงสร้างอาคารที่มีความสูงแตกต่างกันของอาคาร2ชั้นและ5ชั้น

4.1 ผลของโหลด (Load)ที่ประกอบด้วย แรงดัน300บาร์, อุณหภูมิ300C° และแรงดัน300 บาร์

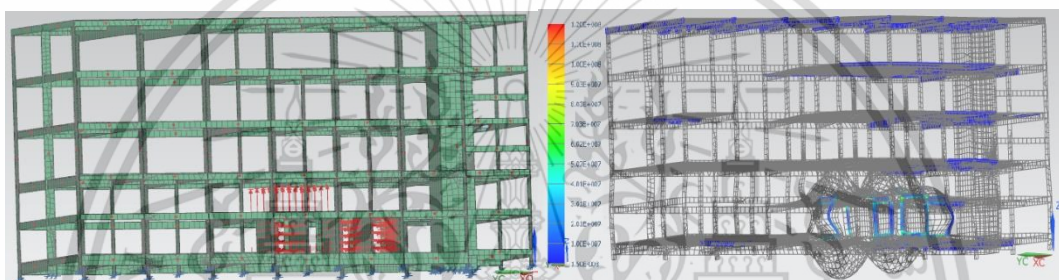
ควบรวมกับอุณหภูมิ300C° กระทำต่อโครงสร้างอาคารที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้าง อาคาร

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารที่มีโหลดกระทำภายในอาคาร5ชั้น โหลด(Load) กระทำต่อโครงสร้างอาคารที่เป็น แรงดันที่ 300 บาร์ (Pressure load), อุณหภูมิ 300C° (Temperature Load) และควบรวมกันของแรงดันที่300บาร์ (Pressure load)และอุณหภูมิ 300C° (Temperature Load) ซึ่งมีผลกระทบต่อโครงสร้างอาคารหลังนี้เมื่อเกิดการระเบิดขึ้น ข้อมูลดังกล่าวนี้จะใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารที่เกิดการระเบิดจากภายในอาคาร ทดสอบคุณสมบัติของแก๊สชนิดต่าง ๆ เช่น N<sub>2</sub> , H<sub>2</sub> , H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> , O<sub>2</sub> , LPG , LNG และ Helium

(He) รวมทั้งจะติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับการทดสอบคุณสมบัติของแก๊สที่นำมาผสมกัน ซึ่งจะมีแรงดันและอุณหภูมิที่แตกต่างกันออกไป อาคารหลังนี้เป็นอาคาร5ชั้น ได้กำหนดค่าแรงดันสูงสุด300บาร์(Bar) และอุณหภูมิสูงสุดที่ 300 C° กระทำภายในอาคาร ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงแรงดันและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดการระเบิด โดยออกแบบโครงสร้างอาคารที่เหมาะสมเมื่อโหลด(Load)กระทำจากภายในอาคาร

#### 4.1.1 ผลวิเคราะห์เพื่อออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์ที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างอาคาร

โครงสร้างอาคารที่ออกแบบกำหนดให้โหลด(Load) กระทำที่มีแรงดัน300บาร์(Bar) เกิดจากแรงระเบิดภายในโครงสร้างอาคารทำให้มีผลกระทบต่อโครงสร้าง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.1



ภาพประกอบที่4.1 ผลกระทบของแรงดัน300บาร์กระทำภายในโครงสร้างอาคาร

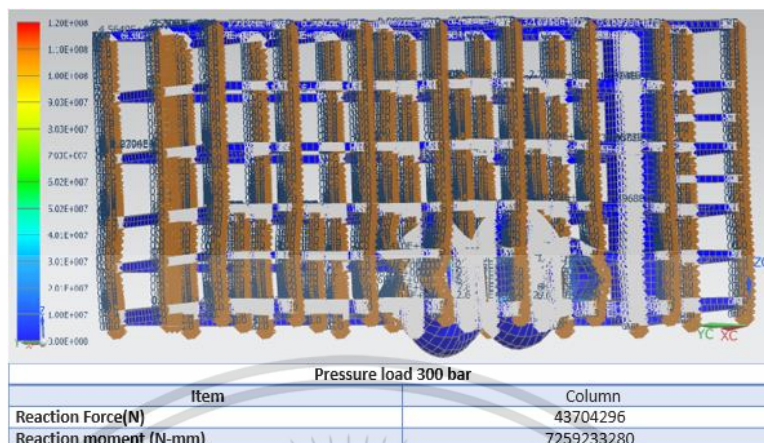
ผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารที่เกิดจากแรงดัน300บาร์(Bar) มีผลทำให้เกิด Reaction Force และ Reaction moment ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างอาคารในส่วนของ เสา (Column),คาน(Beam) และพื้น(Slab) ซึ่งผลวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถนำมาใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์(Bar) ที่เกิดจากแรงระเบิด ดังแสดงตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง Reaction force และ Reaction moment ของ เสา(Column),คาน(Beam) และพื้น(Sab) จากแรงดัน300บาร์(Bar)

Reaction Structure	Column	Beam	Slab
	pressure300bar	pressure300bar	pressure300bar
Reaction Force(N)	43,704,296	83,746,000	72,967,000
Reaction moment (N-mm)	7,259,233,280	4,326,300,000	607,430,000

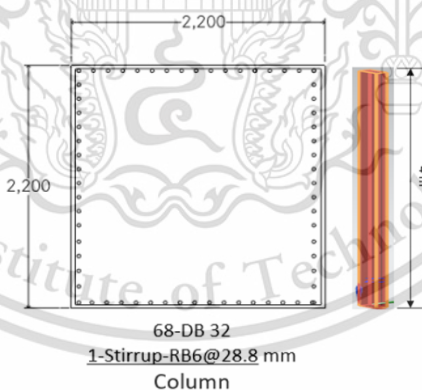
ผลจากแรงดัน300บาร์(Bar)ที่เกิดจากแรงระเบิด ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ เสา (Column) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้มาพิจารณาออกแบบ

โครงสร้างอาคารในส่วนของ เสา(Column) ที่ต้านทานต่อแรงดัน300บาร์(Bar) ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.2



ภาพประกอบที่ 4.2 ผลวิเคราะห์โครงสร้าง แรงดัน300บาร์กระทำที่บริเวณ เสา(Column)

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ เสา(Column) เพื่อต้านทานแรงดัน 300บาร์(Bar) ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้างขนาดและหน้าตัดคอนกรีตเหล็กเสริม โดยพิจารณาถึง ขนาดหน้าตัดของเสา(Column) ที่เหมาะสมตามคุณสมบัติของคอนกรีตและเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างอาคารนี้ โดยแสดงภาพประกอบ4.3 ขนาดหน้าตัดของเสา(Column) และเหล็กเสริมอาคารต้านทานแรงดัน300 บาร์(Bar)



ภาพประกอบ 4.3 การออกแบบหน้าตัดเสาและเหล็กเสริม อาคารต้านทานแรงดัน300 บาร์(Bar)

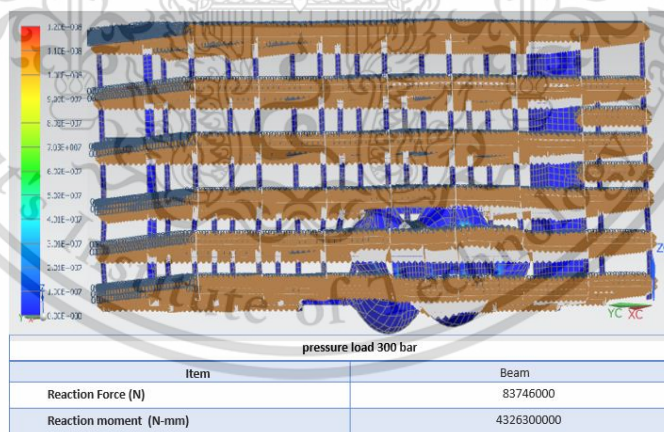
การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300 บาร์(Bar) การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างเสา(Column) ของระบบแบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.2 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300

บาร์ ส่วนของ เสา(Column)

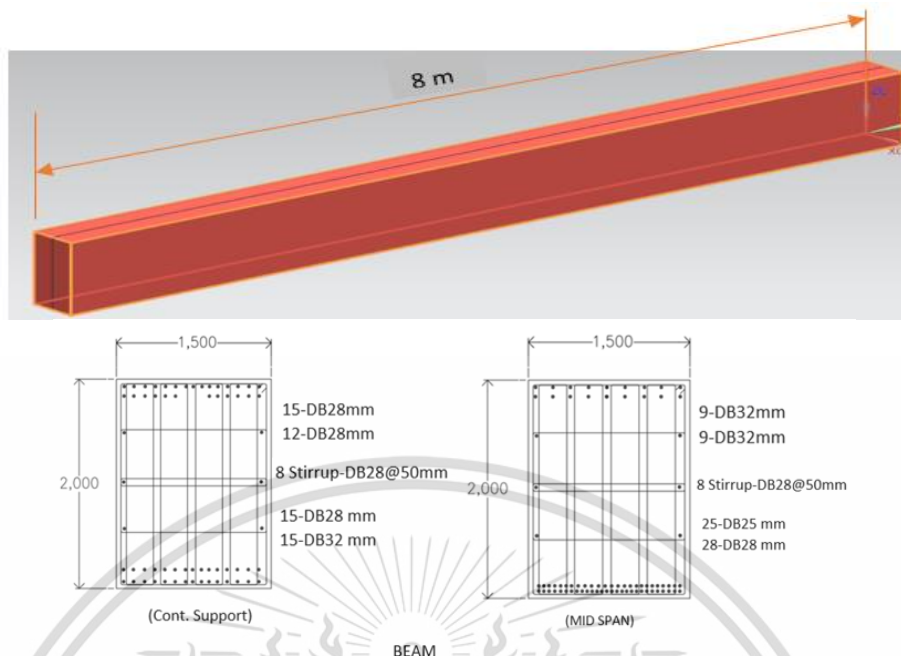
No.	Column detail	Property consumption
1	Column Dimension	2.20m x2.20m
2	Column Length, H (m.)	4
3	Main Bars	68-DB32 mm
4	Stirrup	1-RB6@0.288m
5	Concrete covering (m.)	0.05
6	Yield stress, $f_y$ (ksc.)	4000
7	Elastic Modulus of steel, $E_s$ (ksc.)	2040000
8	Comp. Stress of Concrete, $f_c'$ (ksc.)	380
9	Elastic Modulus of Concrete, $E_c$ (ksc.)	294353.18

ผลจากแรงดัน300บาร์(Bar)ที่เกิดจากแรงระเบิด ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ คาน (Beam) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้ มาพิจารณาออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ คาน(Beam) ที่ต้านทานต่อแรงดัน300บาร์(Bar) ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.4



ภาพประกอบที่ 4.4 ผลวิเคราะห์โครงสร้าง แรงดัน300บาร์กระทำที่บริเวณ คาน(Beam)

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ คาน(Beam) เพื่อต้านทานแรงดัน300 บาร์(Bar) ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้างขนาดและหน้าตัด คอนกรีตเหล็กเสริม โดยพิจารณาถึง ขนาดหน้าตัดของคาน(Beam) ที่เหมาะสมตามคุณสมบัติของคอนกรีตและเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างอาคารนี้ โดยแสดงภาพประกอบ 4.3 ขนาดหน้าตัดของคาน(Beam) และเหล็กเสริมอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์(Bar)



ภาพประกอบ 4.5 การออกแบบหน้าตัด คานและเหล็กเสริม อาคารต้านทานแรงดัน300 บาร์(Bar)

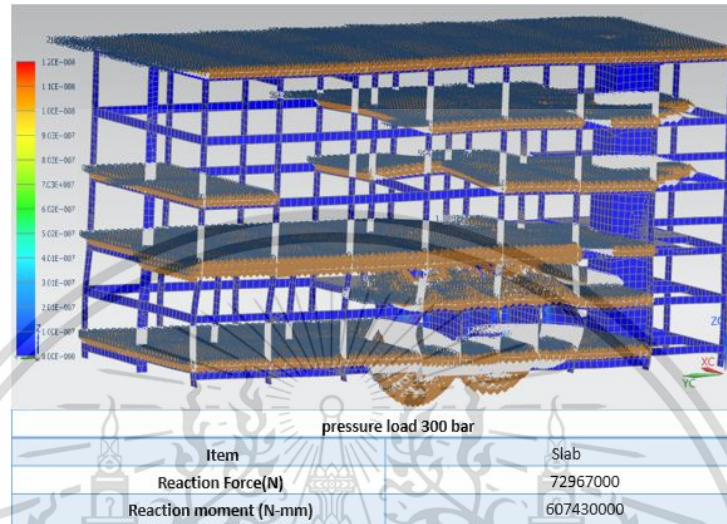
การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300 บาร์(Bar) การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างคาน(Beam) ของระบบแบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.3 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300 บาร์ ส่วนของ คาน (Beam)

No.	Beam detail	Property consumption
1	Beam Dimension	1.5 m x 2.0 m
2	Beam Length, H (m.)	8
3	Main Bars	15-DB28,12-DB28,15-DB28,15-DB32 9-DB32,9-DB32,25-DB25,28-DB28
4	Stirrup	8-DB28@50mm
5	Concrete covering (m.)	0.05
6	Yield stress, $f_y$ (ksc.)	5000
7	Elastic Modulus of steel, $E_s$ (ksc.)	2040000
8	Comp. Stress of Concrete, $f_c'$ (ksc.)	320

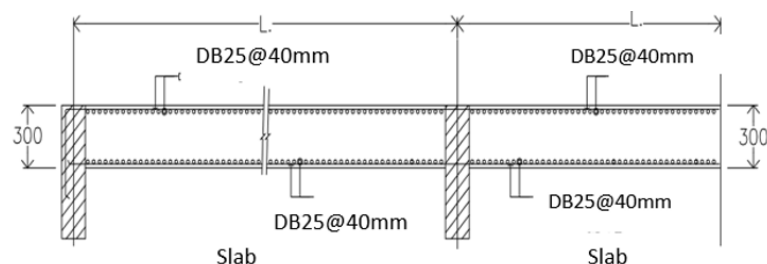
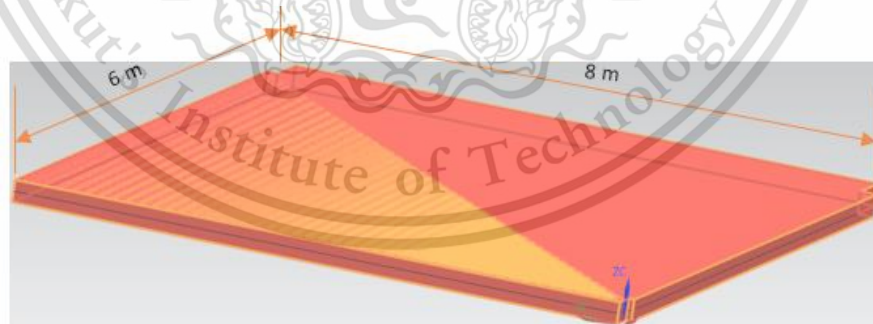
9	Elastic Modulus of Concrete, $E_c$ (ksc.)	270117
---	---	--------

ผลจากแรงดัน300บาร์(Bar)ที่เกิดจากแรงระเบิด ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ พื้น (Slab) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้ มาพิจารณาออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ พื้น (Slab) ที่ต้านทานต่อแรงดัน300บาร์(Bar) ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.6



#### ภาพประกอบที่ 4.6 ผลวิเคราะห์โครงสร้าง แรงดัน300บาร์กระทำที่บริเวณ พื้น(Slab)

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ พื้น(Slab) เพื่อต้านทานแรงดัน300 บาร์(Bar) ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้างขนาดและหน้าตัดคอนกรีตเหล็กเสริม โดยพิจารณาถึง ขนาดหน้าตัดของพื้น(Slab) ที่เหมาะสมตามคุณสมบัติของคอนกรีตและเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างอาคารนี้ โดยแสดงภาพประกอบ4.3 ขนาดหน้าตัดของพื้น(Slab) และเหล็กเสริมอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์(Bar)



#### ภาพประกอบ 4.7 การออกแบบหน้าตัด พื้น และเหล็กเสริม อาคารต้านทานแรงดัน300 บาร์(Bar)

การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300 บาร์(Bar) การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างพื้น(Slab) ของระบบแบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.4 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300

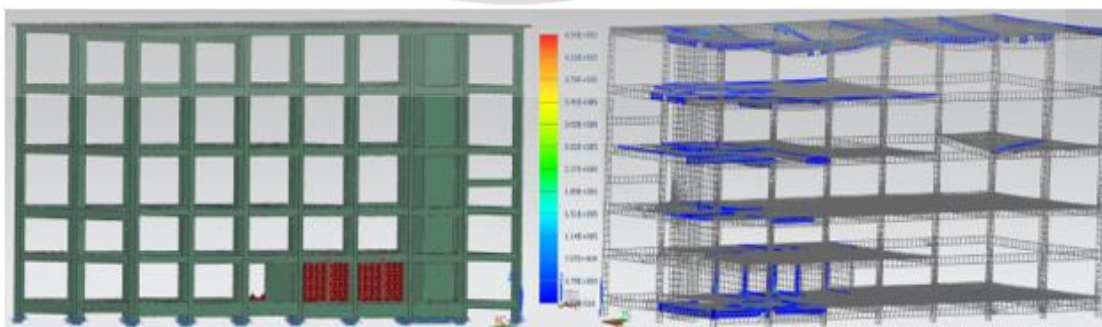
บาร์ ส่วนของ พื้น (Slab)

No.	Slab detail	Property consumption
1	Slab Dimension (m)	8 x 6
2	Slab thickness(cm)	30
3	Main Bars	DB25@40
4	Concrete covering (cm)	2.5
5	Yield stress, $f_y$ (ksc.)	4000
6	Elastic Modulus of steel, $E_s$ (ksc.)	2040000
7	Comp. Stress of Concrete , $f_c'$ (ksc.)	280
8	Elastic Modulus of Concrete, $E_c$ (ksc.)	270117

4.1.2 ผลการวิเคราะห์เพื่อออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานอุณหภูมิ300C°ที่เกิดจาก

ภายในโครงสร้างอาคาร

โครงสร้างอาคารที่ออกแบบมาให้ไหลด(Load) กระทำที่เป็นอุณหภูมิ300C° ภายในโครงสร้างอาคารทำให้มีผลกระทบต่อโครงสร้าง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.8



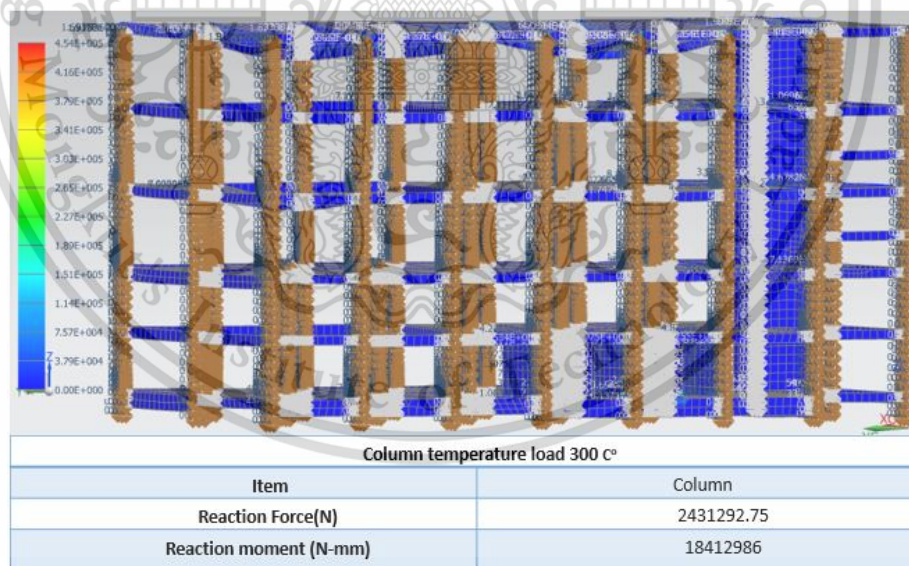
ภาพประกอบที่4.8 ผลกระทบของอุณหภูมิ300C°กระทำภายในโครงสร้างอาคาร

ผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารที่เกิดจากอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$  มีผลทำให้เกิด Reaction Force และ Reaction moment ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างอาคารในส่วนของ เสา(Column),คาน (Beam) และพื้น(Slab) ซึ่งผลวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถนำมาใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$  ที่เกิดจากแรงระเบิด ดังแสดงตารางที่4.5

**ตารางที่ 4.5** ตารางแสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง Reaction force และ Reaction moment ของ เสา(Column),คาน(Beam) และพื้น(Sab) จากอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$

Reaction Structure	Column Temperature $300^{\circ}\text{C}$	Beam Temperature $300^{\circ}\text{C}$	Slab Temperature $300^{\circ}\text{C}$
Reaction Force(N)	2,431,292.75	1,156,800	465,620
Reaction moment (N-mm)	18,412,986	62,675,000	62,675,000

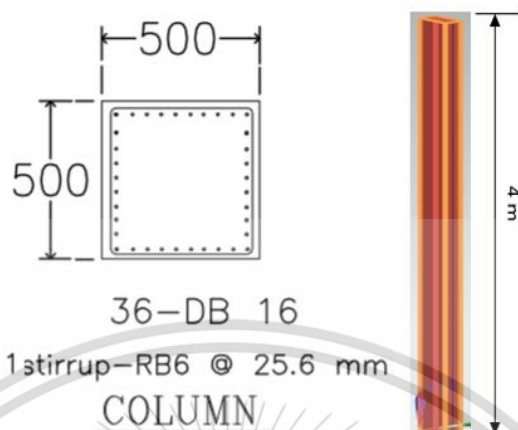
ผลจากอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$  ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ เสา (Column) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้มาพิจารณาออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ เสา (Column) ที่ต้านทานต่ออุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$  ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.9



**ภาพประกอบที่ 4.9** ผลวิเคราะห์โครงสร้าง อุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$ กระทำที่บริเวณ เสา(Column)

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ เสา(Column) เพื่อต้านทานอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$  ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้างขนาดหน้าตัดคอนกรีต เหล็กเสริม โดยพิจารณาถึง ขนาดและหน้าตัดของเสา(Column) ที่เหมาะสมตามคุณสมบัติของ

คอนกรีตและเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างอาคารนี้ โดยแสดงภาพประกอบ  
4.10 ขนาดหน้าตัดของเสา(Column) และเหล็กเสริมอาคารต้านทานอุณหภูมิ $300\text{C}^{\circ}$



ภาพประกอบ 4.10 การออกแบบหน้าตัดเสาและเหล็กเสริม อาคารต้านทานอุณหภูมิ  
 $300\text{C}^{\circ}$

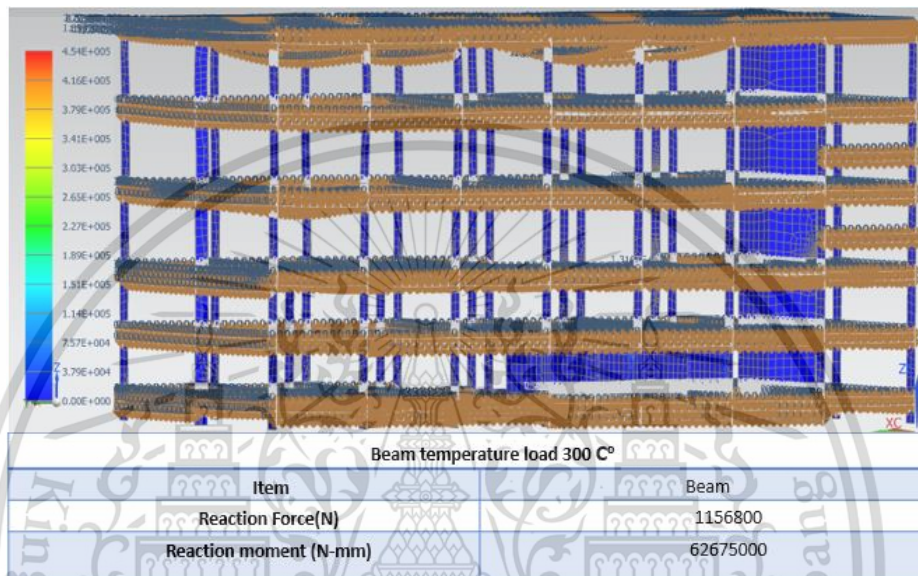
การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารต้านทานอุณหภูมิ  
 $300\text{C}^{\circ}$  การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างเสา(Column) ของระบบแบบ orthogonal  
แสดงตารางที่ 4.6 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทาน  
อุณหภูมิ  
 $300\text{C}^{\circ}$  ส่วนของ เสา(Column)

No.	Column detail	Property consumption
1	Column Dimension	0.50m x 0.50m
2	Column Length, H	4 m
3	Main Bars	36-DB16mm
4	Stirrup	1-RB6@0.256m
5	Concrete covering	0.05 m
6	Yield stress, $f_y$ (ksc.)	2400 ksc
7	Elastic Modulus of steel, $E_s$ (ksc.)	2040000 ksc
8	Comp. Stress of Concrete, $f_c'$ (ksc.)	380

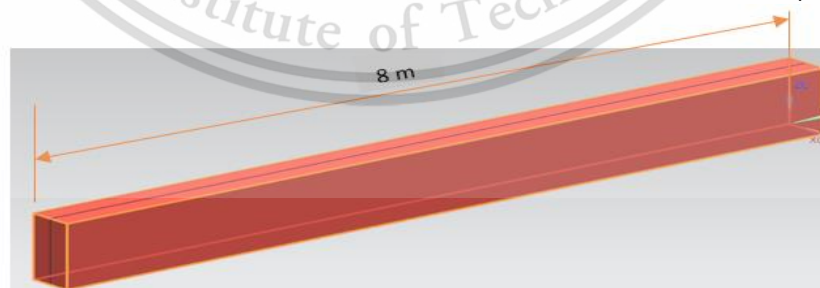
9	Elastic Modulus of Concrete, $E_c$ (ksc.)	296498
---	--	--------

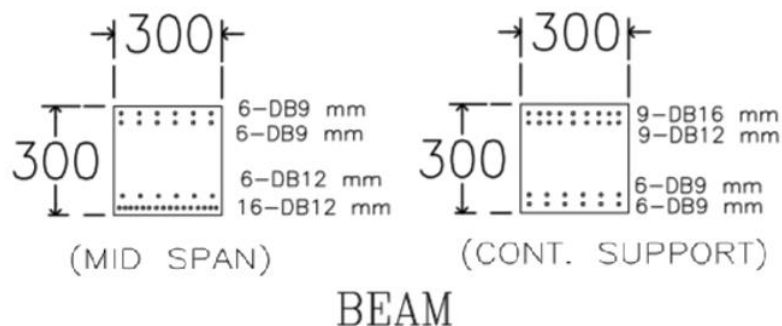
ผลจากอุณหภูมิ  $300\text{C}^\circ$  ที่เกิดจากแรงระเบิด ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ คาน (Beam) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้ มาพิจารณาออกแบบโครงสร้างอาคาร ในส่วนของ คาน(Beam) ที่ต้านทานต่ออุณหภูมิ  $300\text{C}^\circ$  ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.11



ภาพประกอบที่ 4.11 ผลวิเคราะห์โครงสร้าง อุณหภูมิ  $300\text{C}^\circ$ กระทำที่บริเวณ คาน(Beam)

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ เสา(Column) เพื่อต้านทานอุณหภูมิ  $300\text{C}^\circ$  ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้างขนาดและหน้าตัด คอนกรีตเหล็กเสริม โดยพิจารณาถึง ขนาดและหน้าตัดของคาน(Beam) ที่เหมาะสมตาม คุณสมบัติของคอนกรีตและเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบก่อสร้าง โครงสร้างอาคารนี้ โดยแสดง ภาพประกอบ 4.12 ขนาดหน้าตัดของคาน(Beam)และเหล็กเสริมอาคารต้านทานอุณหภูมิ  $300\text{C}^\circ$





### BEAM

ภาพประกอบ 4.12 การออกแบบหน้าตัด คานและเหล็กเสริม อาคารต้านทานอุณหภูมิ 300C°

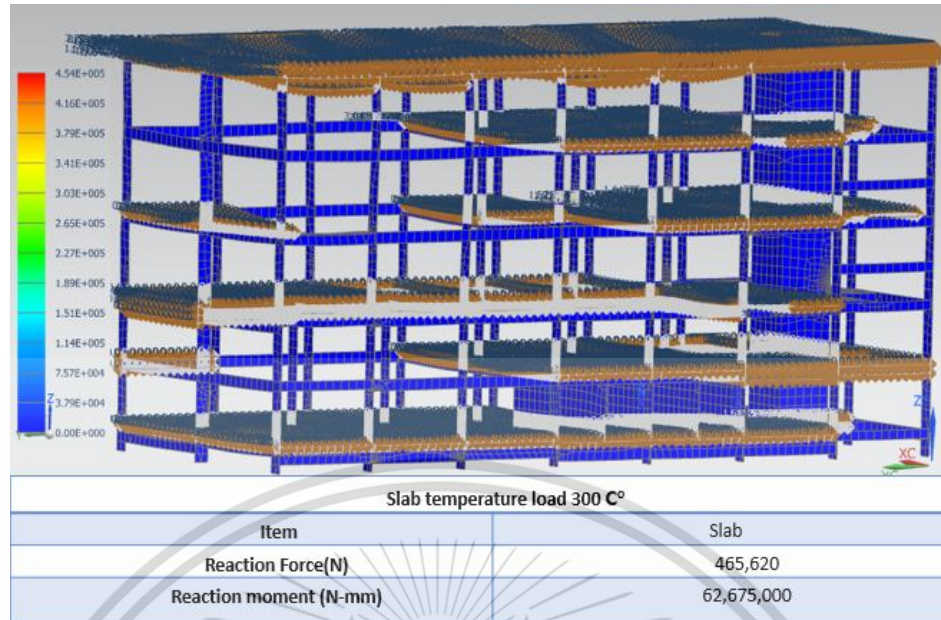
การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารต้านทานอุณหภูมิ 300C° การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างคาน(Beam) ของระบบแบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.7 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานอุณหภูมิ

300C° ส่วนของ คาน (Beam)

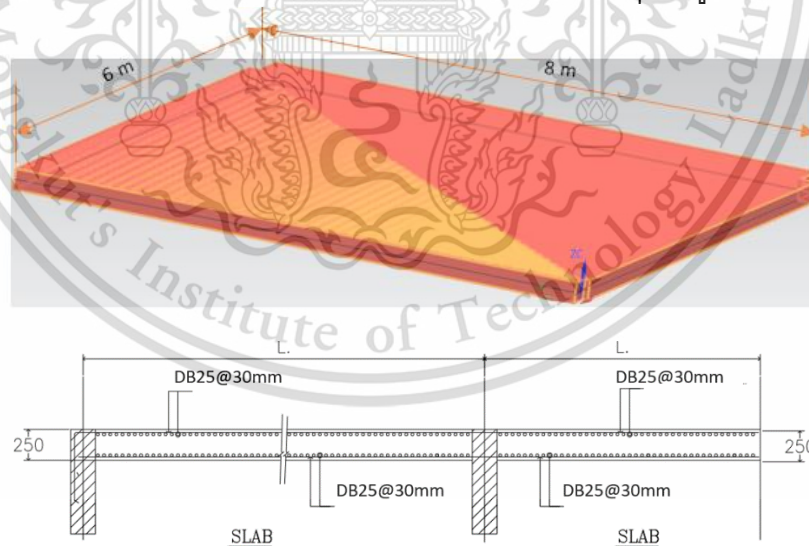
No.	Beam detail	Property consumption
1	Beam Dimension	0.30m x 0.30m
2	Beam Length, H	8 m
3	Main Bars	6-DB9,6-DB9,6-DB12,16-DB12 9-DB16,9-DB12,6-DB9,6-DB9
4	Stirrup	8-DB28@11.60 cm
5	Concrete covering	0.05m
6	Yield stress, $f_y$	2400 ksc
7	Elastic Modulus of steel, $E_s$ (ksc.)	2040000 ksc
8	Comp. Stress of Concrete, $f_c'$ (ksc.)	320 ksc
9	Elastic Modulus of Concrete, $E_c$ (ksc.)	272085 ksc

ผลจากอุณหภูมิ 300C° ที่เกิดจากแรงระเบิด ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ พื้น (Slab) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้ มาพิจารณาออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ พื้น (Slab) ที่ต้านทานต่ออุณหภูมิ 300C° ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.13



ภาพประกอบที่ 4.13 ผลวิเคราะห์โครงสร้าง อุณหภูมิ $300\text{C}^{\circ}$ กระทำที่บริเวณ พื้น(Slab)

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ พื้น(Slab) เพื่อต้านทานอุณหภูมิ  $300\text{C}^{\circ}$  ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้างขนาดและหน้าตัดคอนกรีตเหล็กเสริม โดยพิจารณาถึง ขนาดและหน้าตัดของพื้น(Slab)ที่เหมาะสมตามคุณสมบัติของคอนกรีตและเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบก่อสร้าง โครงสร้างอาคารนี้ โดยแสดงภาพประกอบ 4.14 ขนาดหน้าตัดของคาน(Beam)และเหล็กเสริมอาคารต้านทานอุณหภูมิ $300\text{C}^{\circ}$



ภาพประกอบ 4.14 การออกแบบหน้าตัด พื้น และเหล็กเสริม อาคารต้านทานอุณหภูมิ  $300\text{C}^{\circ}$

การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารต้านทานอุณหภูมิ  $300\text{C}^{\circ}$  ออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างพื้น(Slab) ของระบบแบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.8 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทาน อุณหภูมิ

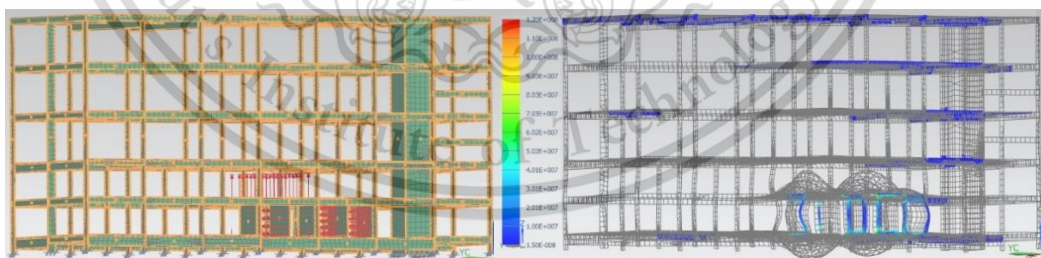
300C° ส่วนของ พื้น (Slab)

No.	Slab detail	Design requirements
1	Slab Dimension (m)	8 m x 6 m
2	Slab thickness(cm)	25 cm
3	Main Bars	DB25@30
4	Concrete covering	0.05m
5	Yield stress, $f_y$ (ksc.)	2400 ksc
6	Elastic Modulus of steel, $E_s$ (ksc.)	2040000 ksc
7	Comp. Stress of Concrete , $f_c'$ (ksc.)	240 ksc
8	Elastic Modulus of Concrete, $E_c$ (ksc.)	235632 ksc

4.1.3 ผลการวิเคราะห์เพื่อออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์ และ

อุณหภูมิ300C°ที่เกิดจากภายในอาคาร

โครงสร้างอาคารที่ออกแบบมาให้โหลด(Load) กระทำที่เป็นแรงดัน300บาร์(Bar)และ อุณหภูมิ300C° ที่เกิดจากแรงระเบิดภายในโครงสร้างอาคารทำให้มีผลกระทบต่อโครงสร้าง ดัง แสดงในภาพประกอบที่ 4.15



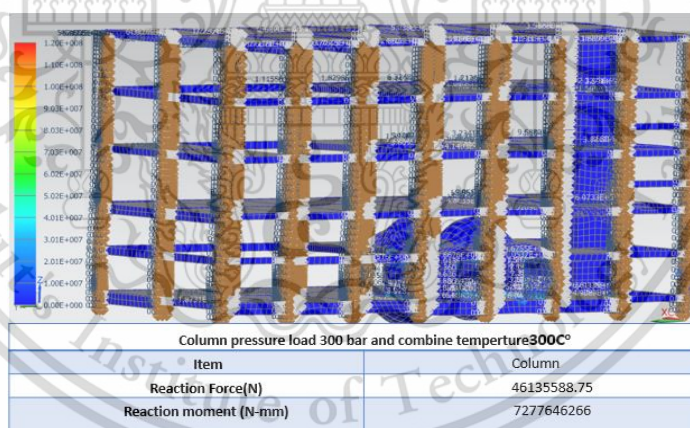
ภาพประกอบที่4.15 ผลกระทบของแรงดัน300บาร์(Bar)และอุณหภูมิ300C°กระทำภายใน โครงสร้าง อาคาร

ผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารที่เกิดจากแรงดัน300บาร์(Bar) และอุณหภูมิ300C° มีผลทำให้เกิด Reaction Force และ Reaction moment ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างอาคารในส่วน ของ เสา(Column),คาน(Beam) และพื้น(Slab) ซึ่งผลวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถนำมาใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์(Bar)และอุณหภูมิ300C° ที่เกิดจากแรง ระเบิด ดังแสดงตารางที่4.9

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง Reaction force และ Reaction moment ของเสา(Column),คาน(Beam) และพื้น(Slab) จากแรงดัน300บาร์(Bar)และอุณหภูมิ 300C°

Reaction Structure	Column Pressure300Bar& Temperature300 C°	Beam Pressure300Bar& Temperature300 C°	Slab Pressure300Bar& Temperature300 C°
Reaction Force(N)	46,135,588.75	84,902,800	73,432,620
Reaction moment (N-mm)	7,277,646,266	4,388,975,000	670,105,000

ผลจากแรงดัน300บาร์(Bar)และอุณหภูมิ300C° ที่เกิดจากแรงระเบิด ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ เสา (Column) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้มาพิจารณาออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ เสา(Column) ที่ต้านทานแรงดัน300 บาร์(Bar)และอุณหภูมิ300C° ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.16

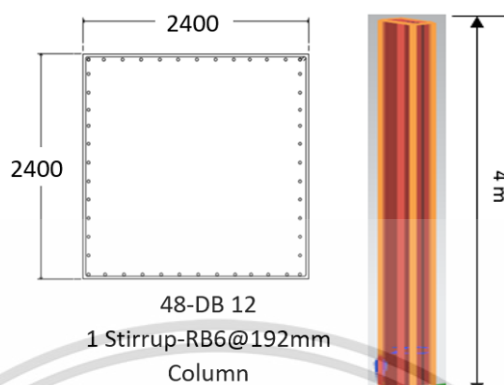


ภาพประกอบที่ 4.16 ผลวิเคราะห์โครงสร้าง แรงดัน300บาร์(Bar)และอุณหภูมิ300C° กระทำที่

#### บริเวณเสา(Column)

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ เสา(Column) เพื่อต้านทานแรงดัน 300บาร์และอุณหภูมิ300C° ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้าง ขนาดหน้าตัดคอนกรีตเหล็กเสริม โดยพิจารณาถึง ขนาดและหน้าตัดของเสา(Column) ที่เหมาะสมตามคุณสมบัติของคอนกรีตและเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบและก่อสร้างอาคาร

นี้ โดยแสดงภาพประกอบ 4.17 ขนาดหน้าตัดของเสา (Column) และเหล็กเสริมอาคารต้านทานแรงดัน 300 บาร์ และอุณหภูมิ 300°C



ภาพประกอบ 4.17 การออกแบบหน้าตัดเสาและเหล็กเสริม อาคารต้านทานแรงดัน 300 บาร์ และ

อุณหภูมิ 300°C

การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน 300 บาร์ และอุณหภูมิ 300°C การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างเสา (Column) ของระบบแบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.10 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

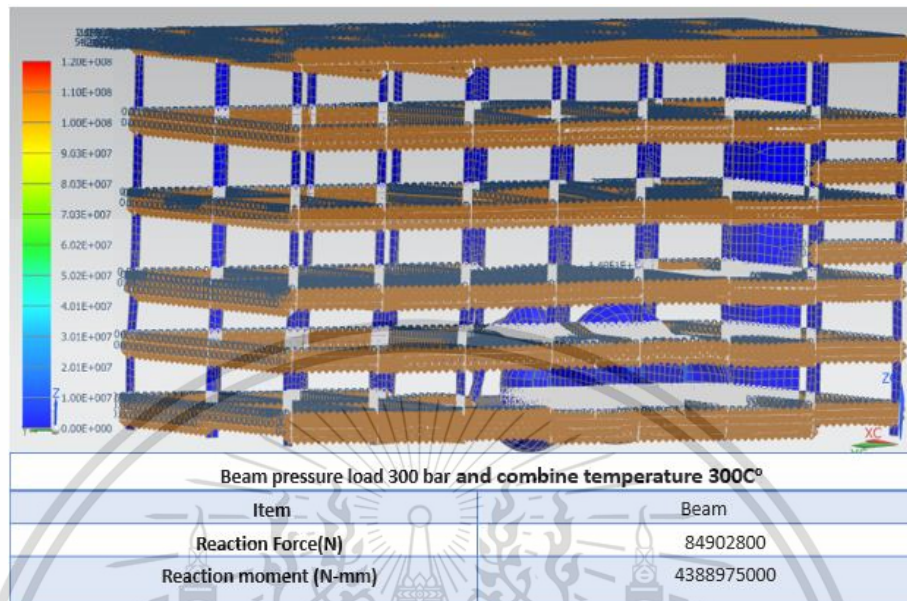
ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน

300 บาร์ และอุณหภูมิ 300°C ส่วนของ เสา (Column)

No.	Column detail	Design requirements
1	Column Dimension	2.40m x 2.40m
2	Column Length, H	4 m
3	Main Bars	48-DB12 mm
4	Stirrup	1-RB6@0.192m
5	Concrete covering	0.05 m
6	Yield stress, $f_y$	4000 ksc
7	Elastic Modulus of steel, $E_s$ (ksc.)	2040000 ksc
8	Comp. Stress of Concrete, $f'_c$ (ksc.)	380 ksc
9	Elastic Modulus of Concrete, $E_c$ (ksc.)	296498 ksc

ผลจากแรงดัน 300 บาร์ และอุณหภูมิ 300°C ที่เกิดจากแรงระเบิด ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ คาน (Beam) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้ มาพิจารณา

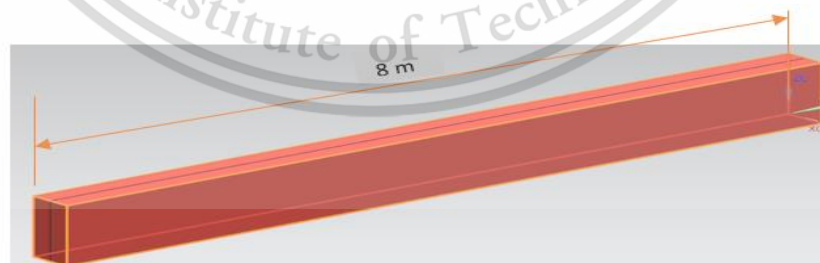
ออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ คาน(Beam) ที่ต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300C° ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.18

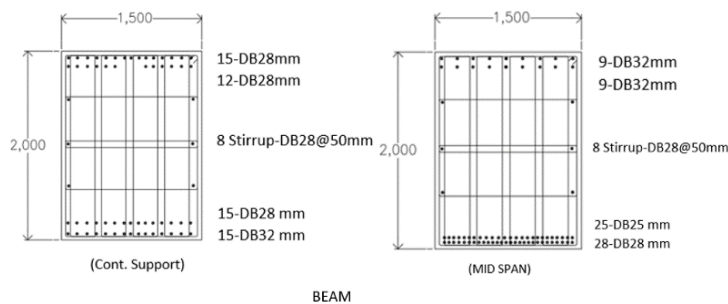


ภาพประกอบที่ 4.18 ผลวิเคราะห์โครงสร้าง แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C°กระทำที่บริเวณ

#### คาน(Beam)

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ คาน(Beam) เพื่อต้านทานแรงดัน300 บาร์และอุณหภูมิ300C° ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้างขนาดหน้าตัดคอนกรีตเหล็กเสริม โดยพิจารณาถึง ขนาดและหน้าตัดของคาน(Beam) ที่เหมาะสมตามคุณสมบัติของคอนกรีตและเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างอาคารนี้ โดยแสดงภาพประกอบ4.19 ขนาดหน้าตัดของคาน(Beam) และเหล็กเสริมอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C°





ภาพประกอบ 4.19 การออกแบบหน้าตัด คานและเหล็กเสริม อาคารต้านทานแรงดัน300 บาร์และ

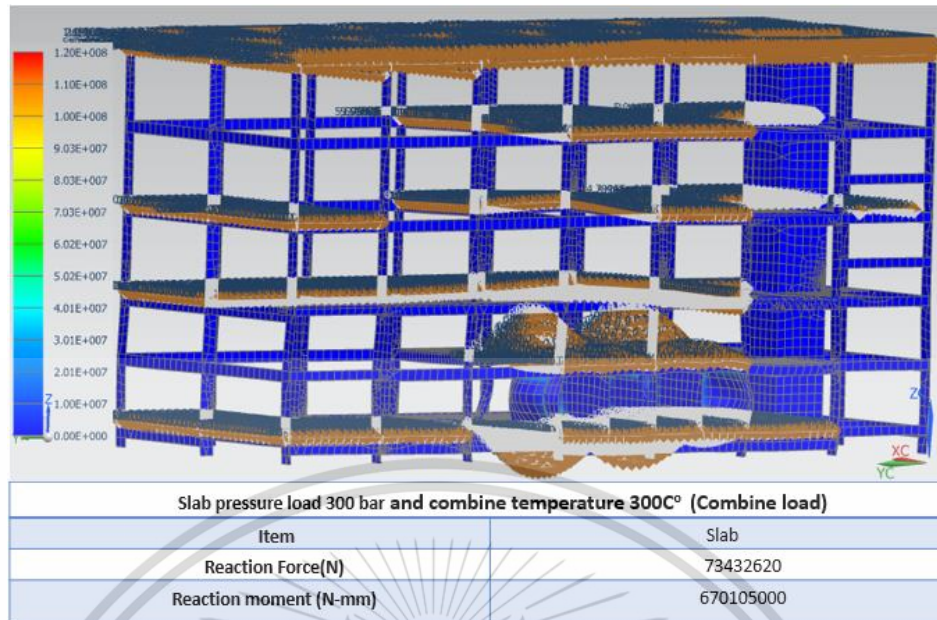
### อุณหภูมิ300C°

การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300 บาร์และอุณหภูมิ300C° การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างคาน(Beam) ของระบบแบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.11 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน 300บาร์และอุณหภูมิ300C° ส่วนของ คาน (Beam)

No.	Beam detail	Design requirements
1	Beam Dimension	1.5 m x2.0 m
2	Beam Length, H	8 m
3	Main Bars	15-DB28,12-DB28, 15-DB28,15-DB32 9-DB32,9-DB32, 25-DB25,28-DB28
4	Stirrup	8-DB28@50mm
5	Concrete covering	0.05 m
6	Yield stress, $f_y$	5000 ksc
7	Elastic Modulus of steel, $E_s$ (ksc)	2040000 ksc
8	Comp. Stress of Concrete, $f_c'$ (ksc)	320 ksc
9	Elastic Modulus of Concrete, $E_c$ (ksc.)	272085 ksc

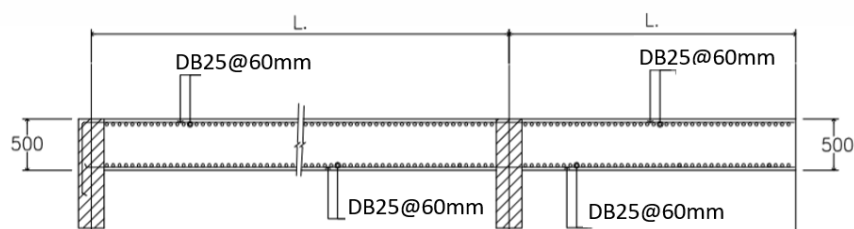
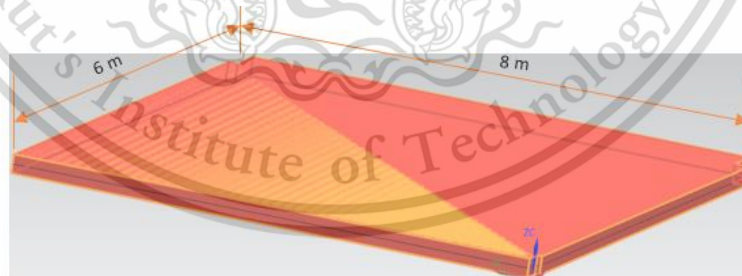
ผลจากแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° (Combine load) ที่เกิดจากแรงระเบิด ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ พื้น (Slab) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้ มาพิจารณาออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ พื้น (Slab) ที่ต้านทานต่อแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.20



ภาพประกอบที่ 4.20 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C°  
กระทำที่

#### บริเวณ พื้น(Slab)

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ พื้น(Slab)เพื่อต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้างขนาดหน้าตัดคอนกรีตเหล็กเสริม โดยพิจารณาถึง ขนาดและหน้าตัดของพื้น(Slab)ที่เหมาะสมตามคุณสมบัติของคอนกรีตและเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างอาคารนี้ โดยแสดงภาพประกอบ4.21 ขนาดหน้าตัดของพื้น(Slab) และเหล็กเสริมอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C°



SLAB

ภาพประกอบ 4.21 การออกแบบหน้าตัด พื้น และเหล็กเสริม อาคารต้านทานแรงดัน 300 บาร์และ

### อุณหภูมิ 300C°

การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน 300 บาร์และอุณหภูมิ 300C° การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างพื้น (Slab) ของระบบแบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.12 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน

300 บาร์และอุณหภูมิ 300C° (Combine load) ส่วนของ พื้น (Slab)

No.	Slab detail	Design requirements
1	Slab Dimension (m)	8 m x 6 m
2	Slab thickness(cm)	50 cm
3	Main Bars	DB25@60mm
4	Concrete covering	0.05m
5	Yield stress, $f_y$ (ksc)	4000 ksc
6	Elastic Modulus of steel, $E_s$ (ksc)	2040000 ksc
7	Comp. Stress of Concrete, $f_c'$ (ksc)	280 ksc
8	Elastic Modulus of Concrete, $E_c$ (ksc)	254512 ksc

4.2 ผลการวิเคราะห์เพื่อออกแบบเปรียบเทียบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน 300

บาร์และอุณหภูมิ 300C° ที่กระทำภายนอกโครงสร้างอาคารที่มีความสูงแตกต่างกัน

ของอาคาร 2 ชั้น และ 5 ชั้น

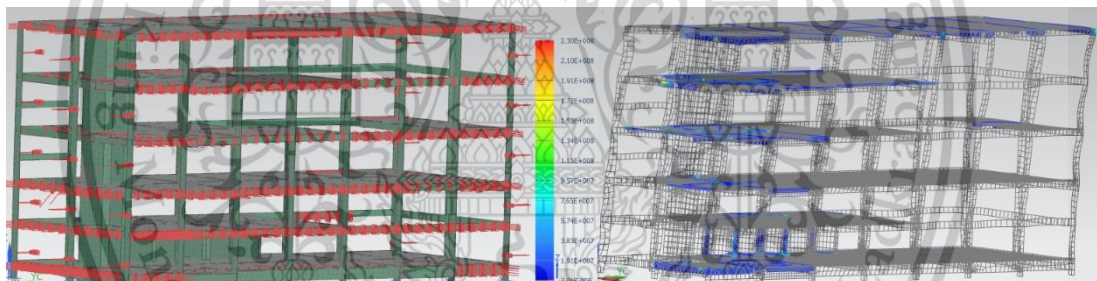
สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารที่มีโหลดกระทำภายนอกอาคารและมีความสูงของอาคารที่แตกต่างกัน โหลด (Load) กระทำต่อโครงสร้างอาคารที่เป็น แรงดันที่ 300 บาร์ (Pressure load), อุณหภูมิ 300C° (Temperature Load) และควมรวมกันของแรงดันที่ 300 บาร์ (Pressure load) และอุณหภูมิ 300C° (Temperature Load) ซึ่งมีผลกระทบต่อโครงสร้างอาคารหลังนี้เมื่อเกิด

การระเบิดขึ้น ข้อมูลดังกล่าวนี้จะใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารที่เกิดการระเบิดจากภายนอกอาคารทดสอบคุณสมบัติของแก๊สชนิดต่าง ๆ เช่น  $N_2$  ,  $H_2$  ,  $H_2S$ ,  $CO_2$  ,  $O_2$  , LPG , LNG และ Helium (He) รวมทั้งจะติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับการทดสอบคุณสมบัติของแก๊สที่นำมาผสมกัน ซึ่งจะมีแรงดันและอุณหภูมิที่แตกต่างกันออกไป อาคารหลังนี้เป็นอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น ได้กำหนดค่าแรงดันสูงสุด 300 บาร์ (Bar) และอุณหภูมิสูงสุดที่  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  กระทำภายนอกอาคาร ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงแรงดันและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดการระเบิด โดยเปรียบเทียบโครงสร้างอาคารที่มีความสูงแตกต่างกันซึ่งเป็นโครงสร้างอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น ออกแบบโครงสร้างอาคารที่เหมาะสมเมื่อโหลด (Load) กระทำจากภายนอกอาคาร

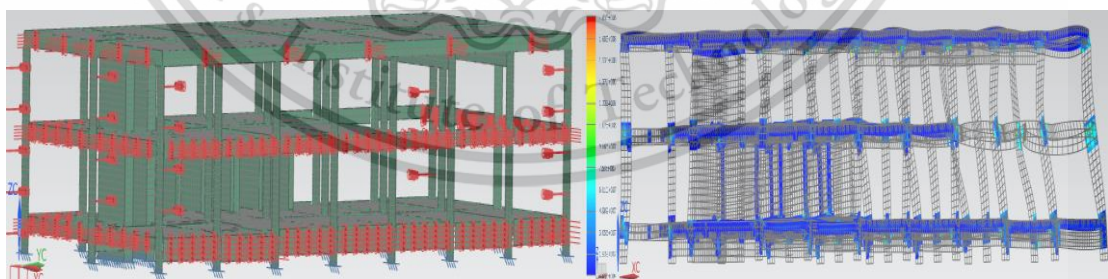
#### 4.2.1 ผลการวิเคราะห์เพื่อออกแบบเปรียบเทียบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน 300

##### บาร์ที่เกิดจากภายนอกอาคาร 2 ชั้นและ 5 ชั้น

โครงสร้างอาคารที่ออกแบบกำหนดให้โหลด (Load) กระทำที่มีแรงดัน 300 บาร์ (Bar) เกิดจากแรงระเบิดภายนอกโครงสร้างอาคาร 2 ชั้นและ 5 ชั้นทำให้มีผลกระทบต่อโครงสร้าง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.22



5 floor building structure pressure 300 bar



2 floor building structure pressure 300 bar

ภาพประกอบที่ 4.22 ผลกระทบของแรงดัน 300 บาร์ (Bar) กระทำภายนอกโครงสร้างอาคาร 5 ชั้น

และ 2 ชั้น

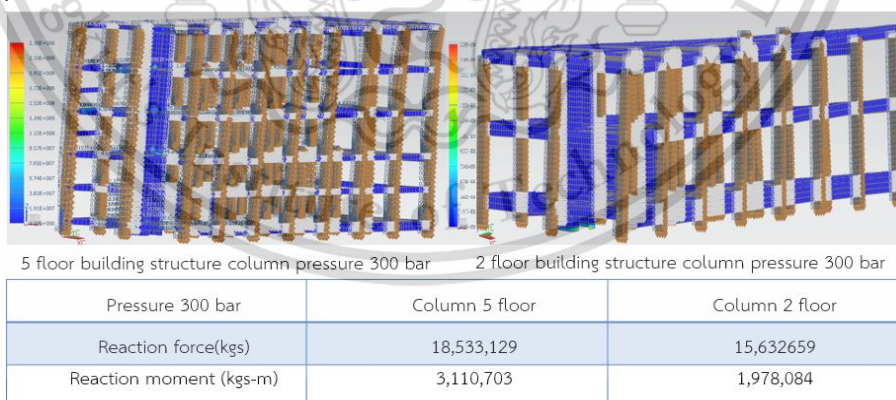
ผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารที่เกิดจากแรงดัน 300 บาร์ (Bar) มีผลทำให้เกิด Reaction Force และ Reaction moment ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น ในส่วนของ

เสา(Column),คาน(Beam) และพื้น(Slab) ซึ่งผลวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถนำมาใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์(Bar) 5ชั้นและ2ชั้น ที่เกิดจากแรงระเบิด ดังแสดงตารางที่4.13

ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง Reaction force และ Reaction moment ของเสา(Column),คาน(Beam) และพื้น(Sab) จากแรงดัน300บาร์(Bar)ของอาคาร5ชั้นและ2ชั้น

Reaction Structure	Column Pressure 300Bar 5floor	Column Pressure 300Bar 2floor	Beam Pressure 300Bar 5floor	Beam Pressure 300Bar 2floor	Slab Pressure 300Bar 5floor	Slab Pressure 300Bar 2floor
Reaction Force(kgs)	18,533,129	15,632,659	36,966,608	28,484,569	376,361	121,338
Reaction moment (kgs-m)	3,110,703	1,978,084	3,111,132	2,357,696	1,574,108	753,934

ผลจากแรงดัน300บาร์(Bar) ที่เกิดจากแรงระเบิด มีผลทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ เสา (Column) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้มาพิจารณาออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ในส่วนของ เสา(Column) ที่สามารถต้านทานแรงดัน300 บาร์(Bar) ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.23

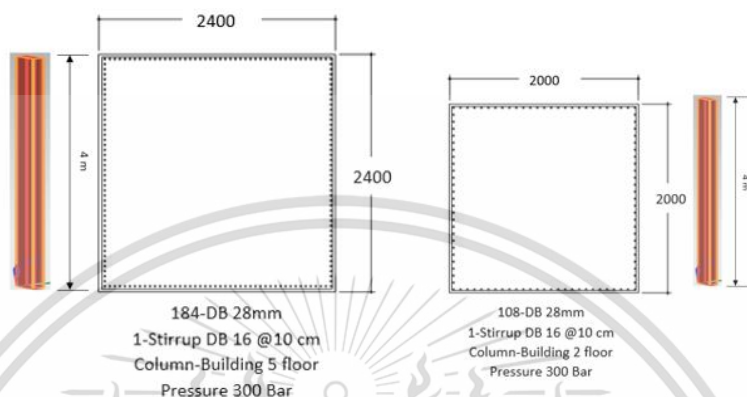


ภาพประกอบที่ 4.23 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น แรงดัน300 บาร์(Bar)กระทำ

ภายนอกที่บริเวณ เสา(Column)

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ เสา(Column) เพื่อต้านทานแรงดัน 300บาร์ ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้างขนาดหน้าตัดและ

เหล็กเสริมโดยพิจารณาถึง ขนาดหน้าตัดของเสา(Column)ที่เหมาะสม , คุณสมบัติของคอนกรีต และคุณสมบัติของเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบโครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ2ชั้น โดยแสดง ภาพประกอบ4.24 ขนาดหน้าตัดของเสา(Column) และเหล็กเสริมอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ด้านทาน แรงดัน300บาร์



ภาพประกอบ 4.24 การออกแบบหน้าตัดเสาและเหล็กเสริม โครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ2 ชั้น

#### ด้านทาน แรงดัน300บาร์

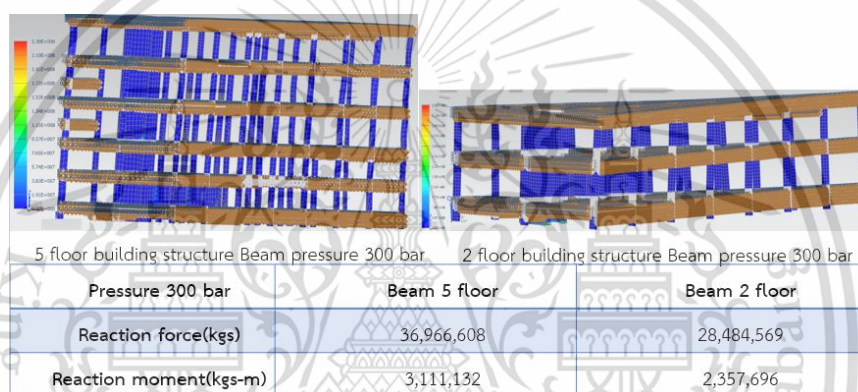
การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ด้านทานแรงดัน300บาร์ การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างเสา(Column) ของระบบ แบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.14 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ด้านทานแรงดัน300บาร์ ส่วนของ เสา(Column)

No	Column detail	5 floor building Property consumption (Pressure300bar)	2 floor building Property consumption (Pressure300bar)
1	Column Dimensions	2.40 m x 2.40	2 m x 2 m
2	Column Length, H (m)	22	8
3	Main Bars	184-DB28mm	108-DB 28mm
4	Stirrup	1-DB16@10 cm	1-DB16@ 10cm

5	Concrete covering (m)	0.05	0.05
6	Yield stress $f_y$ (ksc)	5000	5000
7	Elastic Modulus of steel, $E_s$ (ksc)	2040000	2040000
8	Comp.Stress of concrete $f_c'$ (ksc)	800	1000
9	Elastic Modulus of concrete, $E_c$ (ksc)	294353.18	294353.18

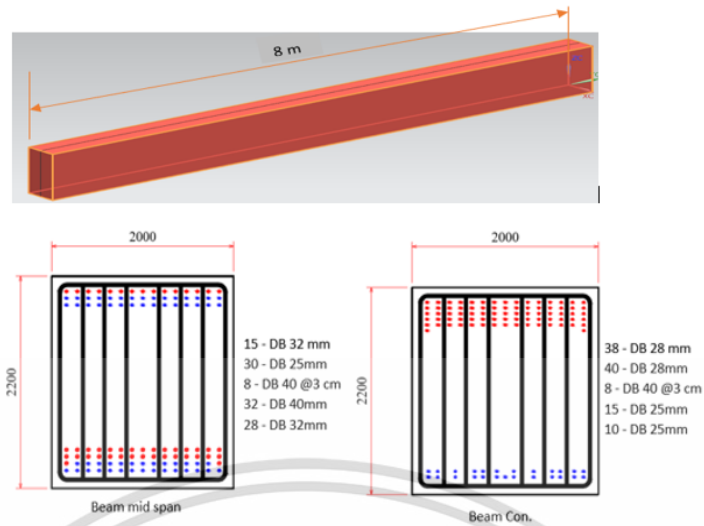
ผลจากแรงดัน300บาร์ ที่เกิดจากแรงระเบิด ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ คาน (Beam) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้ มาพิจารณาออกแบบโครงสร้างอาคาร5 ชั้นและ2ชั้น ในส่วนของ คาน(Beam) ที่ต้านทานแรงดัน300บาร์ ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.25



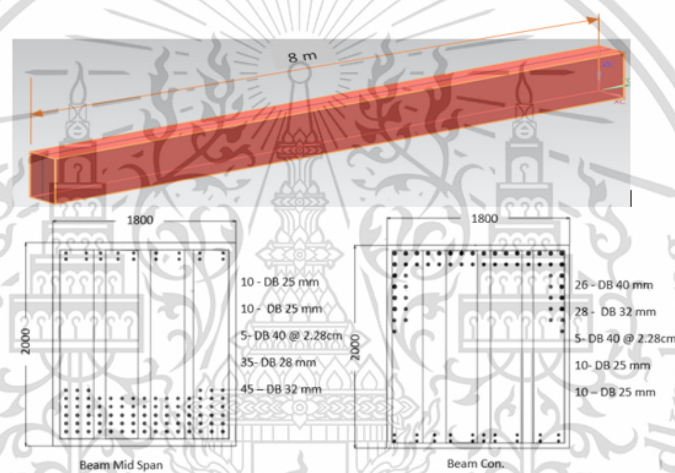
ภาพประกอบที่ 4.25 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น แรงดัน300บาร์กระทำภายนอก

#### ที่บริเวณ คาน(Beam)

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ คาน(Beam) เพื่อต้านทานแรงดัน300 บาร์ ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้างขนาดหน้าตัดและเหล็กเสริมโดยพิจารณาถึง ขนาดหน้าตัดของคาน(Beam)ที่เหมาะสม , คุณสมบัติของคอนกรีตและคุณสมบัติของเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบโครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ2ชั้น โดยแสดงภาพประกอบ 4.26 ขนาดหน้าตัดของคาน(Beam) และเหล็กเสริมอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ต้านทานแรงดัน300 บาร์



Beam Building 5 floor Pressure 300 Bar



Beam Building 2 floor Pressure 300 Bar

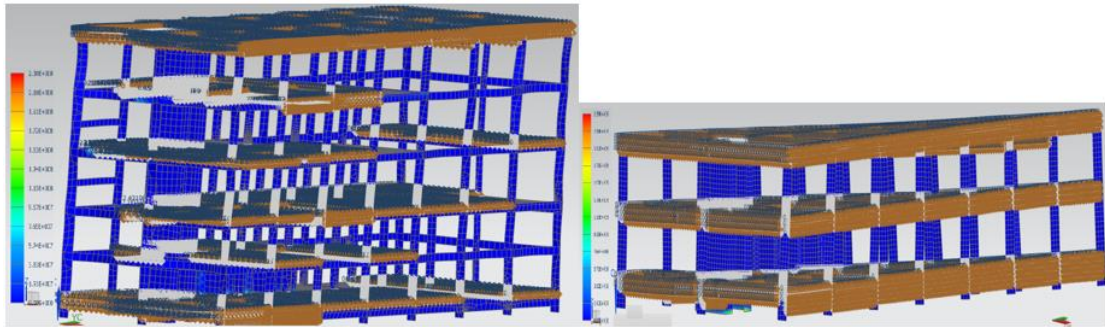
ภาพประกอบ 4.26 การออกแบบหน้าตัด คานและเหล็กเสริม อาคารต้านทานแรงดัน300 บาร์

การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารอาคาร5ชั้นและ2ชั้นต้านทานแรงดัน300บาร์ การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างคาน(Beam) ของระบบแบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.15 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้นต้านทานแรงดัน300บาร์ ส่วนของ คาน(Beam)

No	Beam detail	5 floor building Property consumption (Pressure300bar)	2 floor building Property consumption (Pressure300bar)
1	Beam Dimensions	2 m x 2.20 m	1.8 m x 2.00 m
2	Beam Length ,H (m)	8	8
3	Main Bars	Mid span :15- DB32mm , 30- DB25mm , 32- DB40mm , 28- DB32mm Beam Con : 38- DB28mm,40- DB28mm ,15- DB25mm , 10- DB25mm	Mid span :10- DB25mm , 10- DB25mm , 35- DB28mm , 45- DB32mm Beam Con : 26- DB40mm,28- DB32mm ,10- DB25mm , 10- DB25mm
4	Stirrup	8-DB40@3cm	5-DB40@2.28 cm
5	Concrete covering (m)	0.025	0.025
6	Yield stress $f_y$ (ksc)	5000	5000
7	Elastic Modulus of steel, $E_s$ (ksc)	2040000	2040000
8	Comp.Stress of concrete $f_c'$ (ksc)	320	320
9	Elastic Modulus of concrete, $E_c$ (ksc)	270117	270117

ผลจากแรงดัน300บาร์(Bar) ที่เกิดจากแรงระเบิด มีผลทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ พื้น (Slab) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้มาพิจารณาออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ในส่วนของ พื้น(Slab) ที่สามารถต้านทานแรงดัน300บาร์(Bar) ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.27



5 floor building structure slab pressure 300 bar

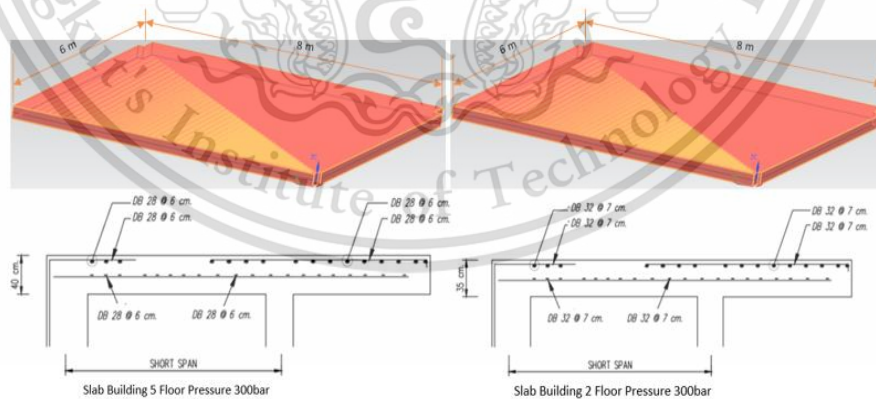
2 floor building structure slab pressure 300 bar

Pressure 300 bar	Slab 5 floor	Slab 2 floor
Reaction force(kgs)	376,361	121,338
Reaction moment (kgs-m)	1,574,108	753,934

ภาพประกอบที่ 4.27 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น แรงดัน 300 บาร์ (Bar) กระทำ

### ภายนอกที่บริเวณ พื้น (Slab)

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ พื้น (Slab) เพื่อต้านทานแรงดัน 300 บาร์ ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้างขนาดหน้าตัดและเหล็กเสริมโดยพิจารณาถึง ขนาดหน้าตัดความหนาของพื้น (Slab) ที่เหมาะสม, คุณสมบัติของคอนกรีตและคุณสมบัติของเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบโครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น โดยแสดงภาพประกอบ 4.28 ขนาดหน้าตัดความหนาของพื้น (Slab) และเหล็กเสริมอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น ต้านทานแรงดัน 300 บาร์



ภาพประกอบ 4.28 การออกแบบหน้าตัดความหนาพื้นและเหล็กเสริม โครงสร้างอาคาร 5 ชั้น

### และ 2 ชั้น ต้านทานแรงดัน 300 บาร์

การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น ต้านทานแรงดัน 300 บาร์ การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างพื้น (slab) ของระบบแบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.16 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

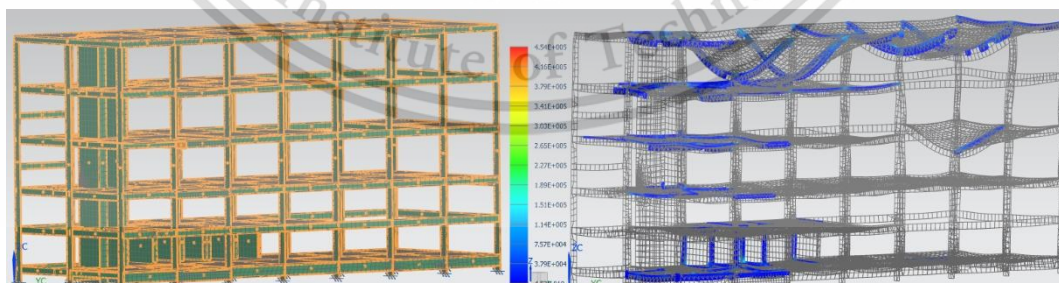
**ตารางที่ 4.16** ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น  
ต้านทานแรงดัน300บาร์ ส่วนของ พื้น(Slab)

No	Slab detail	5 floor building Property consumption (Pressure300bar)	2 floor building Property consumption (Pressure300bar)
1	Slab Dimensions	8 m x 6 m	8 m x 6 m
2	Slab thickness (cm)	40	35
3	Main Bars	DB28@6cm	DB28@6cm
4	Concrete covering (cm)	2.50	2.50
5	Yeild stress $f_y$ (ksc)	5000	5000
6	Elastic Modulus of steel , $E_s$ (ksc)	2040000	2040000
7	Comp.Stress of concrete $f_c'$ (ksc)	280	280
8	Elastic Modulus of concrete , $E_c$ (ksc)	252671.32	252671.32

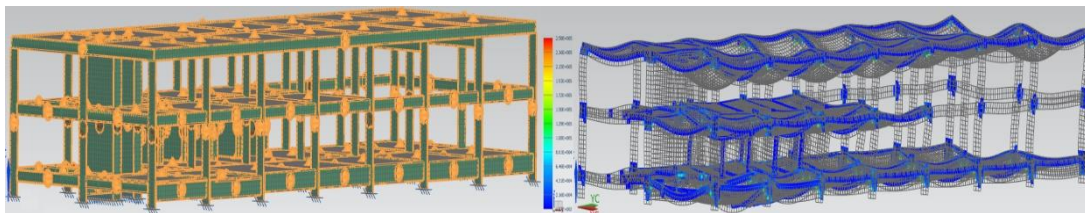
#### 4.2.2 ผลการวิเคราะห์เพื่อออกแบบเปรียบเทียบโครงสร้างอาคารต้านทาน อุณหภูมิ

##### 300C° เกิดจากภายนอกอาคาร5ชั้นและ2ชั้น

โครงสร้างอาคารที่ออกแบบมาให้โหลด(Load) กระทำที่เป็นอุณหภูมิ 300 C° ที่เกิดจาก  
แรงระเบิดภายนอกโครงสร้างอาคารทำให้มีผลกระทบต่อโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้นที่นำมา  
เปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้น ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.29



**5 floor building structure Temperature 300 C°**



**2 floor building structure Temperature 300 C°**

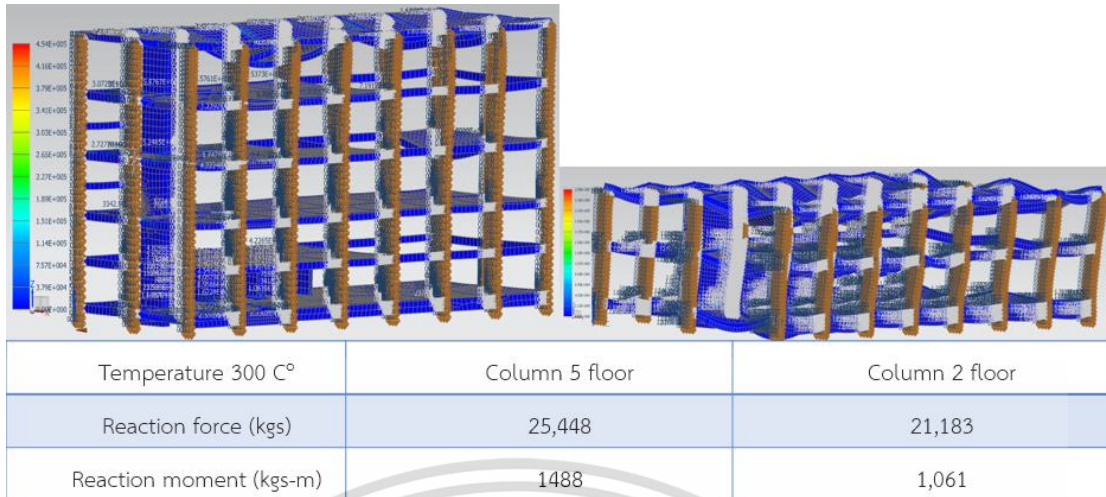
ภาพประกอบที่ 4.29 ผลกระทบของอุณหภูมิ 300 C° กระทำภายนอกโครงสร้างอาคาร 2 ชั้น และ 5 ชั้น

ผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารที่เกิดจากอุณหภูมิ 300 C° มีผลทำให้เกิด Reaction Force และ Reaction moment ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น ในส่วนของเสา (Column), คาน (Beam) และพื้น (Slab) ซึ่งผลวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถนำมาใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานอุณหภูมิ 300 C° 5 ชั้น และ 2 ชั้น ที่เกิดจากแรงระเบิด ดังแสดงตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ตารางแสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง Reaction force และ Reaction moment ของเสา (Column), คาน (Beam) และพื้น (Sab) จากอุณหภูมิ 300 C° ของอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น

Reaction Structure	Column Temperature 300 C° 5floor	Column Temperature 300 C° 2floor	Beam Temperature 300 C° 5floor	Beam Temperature 300 C° 2floor	Slab Temperature 300 C° 5floor	Slab Temperature 300 C° 2floor
Reaction Force(kgs)	25,448	21,183	36,435	26,284	36,435.27	7,602.45
Reaction moment (kgs-m)	1488	1,061	1,842	743	1,888.28	2,103

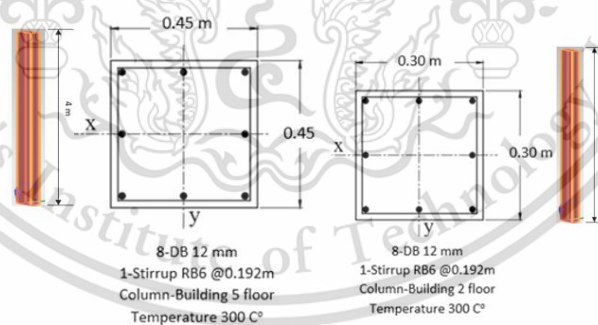
ผลจากอุณหภูมิ 300 C° ที่เกิดจากแรงระเบิด มีผลทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ เสา (Column) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้มาพิจารณาออกแบบโครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น ในส่วนของ เสา (Column) ที่สามารถต้านทานอุณหภูมิ 300 C° ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.30



ภาพประกอบที่ 4.30 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น อุณหภูมิ 300 C° กระทำภายนอก

### ที่บริเวณ เสา (Column)

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ เสา (Column) เพื่อต้านทานอุณหภูมิ 300 C° ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้างขนาดหน้าตัดและเหล็กเสริมโดยพิจารณาถึง ขนาดหน้าตัดของเสา (Column) ที่เหมาะสม , คุณสมบัติของคอนกรีต และคุณสมบัติของเหล็กเสริมที่ใช้ ออกแบบโครงสร้างอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น โดยแสดงภาพประกอบ 4.31 ขนาดหน้าตัดของเสา (Column) และเหล็กเสริมอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น ต้านทานอุณหภูมิ 300 C°



ภาพประกอบ 4.31 การออกแบบหน้าตัดเสาและเหล็กเสริม โครงสร้างอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น

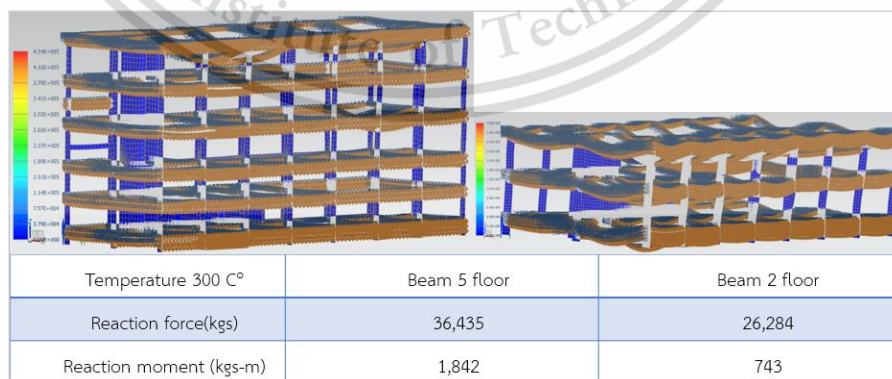
### ต้านทานอุณหภูมิ 300 C°

การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น ต้านทานอุณหภูมิ 300 C° การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างเสา (Column) ของระบบแบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.18 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ 4.18 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น  
 ด้านทานอุณหภูมิ 300 C° ส่วนของ เสา(Column)

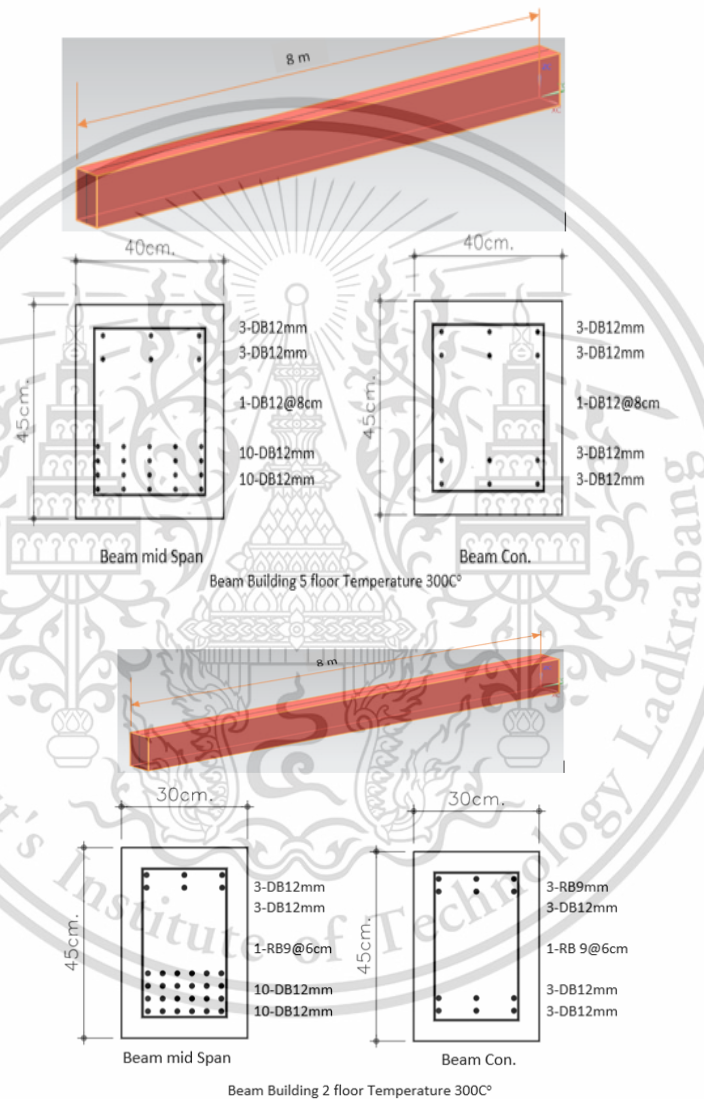
No	Column detail	5 floor building Property consumption (Temperature 300C °)	2 floor building Property consumption (Temperature 300C °)
1	Column Dimensions	0.45 m x 0.45 m	0.30 m x 0.30 m
2	Column Length, H (m)	22	8
3	Main Bars	8-DB 12 mm	8-DB 12 mm
4	Stirrup	1-RB6@0.192 m	1-RB6@0.192 m
5	Concrete covering (m)	0.05	0.05
6	Yeild stress $f_y$ (ksc)	3000	3000
7	Elastic Modulus of steel , $E_s$ (ksc)	2040000	2040000
8	Comp.Stress of concrete $f_c'$ (ksc)	280	240
9	Elastic Modulus of concrete , $E_c$ (ksc)	252671.32	233928.19

ผลจากอุณหภูมิ 300 C° ที่เกิดจากแรงระเบิด ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ คาน (Beam) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้ มาพิจารณาออกแบบโครงสร้างอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น ในส่วนของ คาน(Beam) ที่ด้านทานอุณหภูมิ 300 C° ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.32



ภาพประกอบที่ 4.32 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น อุณหภูมิ 300 C° กระทำ  
 ภายนอกที่บริเวณ คาน(Beam)

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ คาน(Beam) เพื่อต้านทานอุณหภูมิ 300 C° ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้างขนาดหน้าตัดและเหล็กเสริมโดยพิจารณาถึง ขนาดหน้าตัดของคาน(Beam)ที่เหมาะสม , คุณสมบัติของคอนกรีต และคุณสมบัติของเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบโครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ2ชั้น โดยแสดงภาพประกอบ4.33 ขนาดหน้าตัดของคาน(Beam) และเหล็กเสริมอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ต้านทานอุณหภูมิ 300 C°



ภาพประกอบ 4.33 การออกแบบหน้าตัด คานและเหล็กเสริม อาคารต้านทานอุณหภูมิ 300 C°

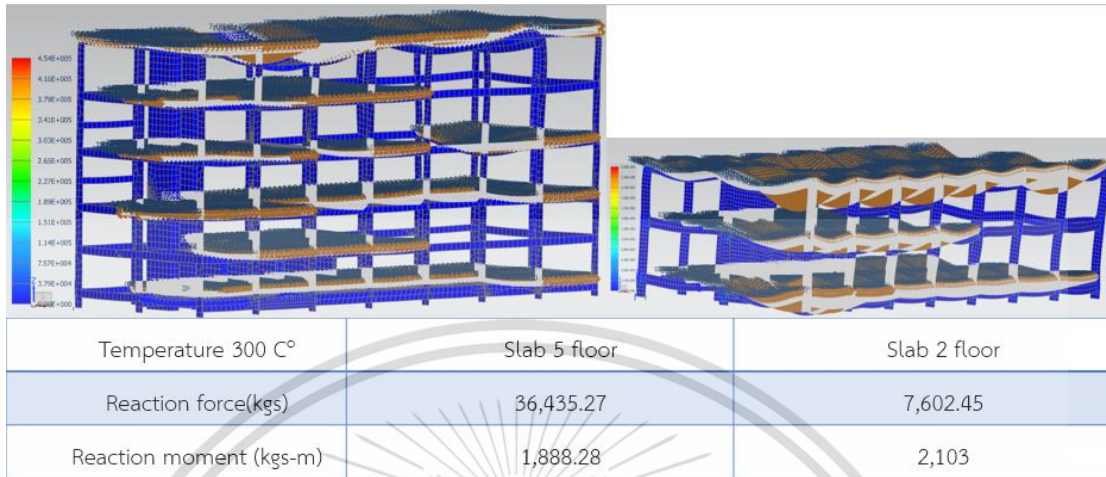
การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารอาคาร 5ชั้นและ2 ชั้น ต้านทานอุณหภูมิ 300 C° การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างคาน (Beam) ของระบบแบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.19 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ 4.19 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น  
 ด้านทานอุณหภูมิ 300 C° ส่วนของ คาน(Beam)

No	Beam detail	5 floor building Property consumption (Temperature 300C°)	2 floor building Property consumption (Temperature 300C°)
1	Beam Dimensions	0.40 m x 0.45 m	0.30 m x 0.45 m
2	Beam Length, H (m)	8	8
3	Main Bars	Mid span : 3-DB12mm 3-DB12mm 10-DB12mm 10-DB12mm Beam Con : 3- DB12mm 3-DB12mm 3-DB12mm 3-DB12mm	Mid span : 3-DB12mm 3-DB12mm 10-DB12mm 10-DB12mm Beam Con : 3-DB9 mm 3-DB12mm 3-DB12mm 3-DB12mm
4	Stirrup	1-DB12@8cm	1-DB9@6cm
5	Concrete covering (m)	0.025	0.025
6	Yeild stress $f_y$ (ksc)	3000	3000
7	Elastic Modulus of steel, $E_s$ (ksc)	2040000	2040000
8	Comp. Stress of concrete $f_c'$ (ksc)	320	280
9	Elastic Modulus of concrete, $E_c$ (ksc)	270117	252671.32

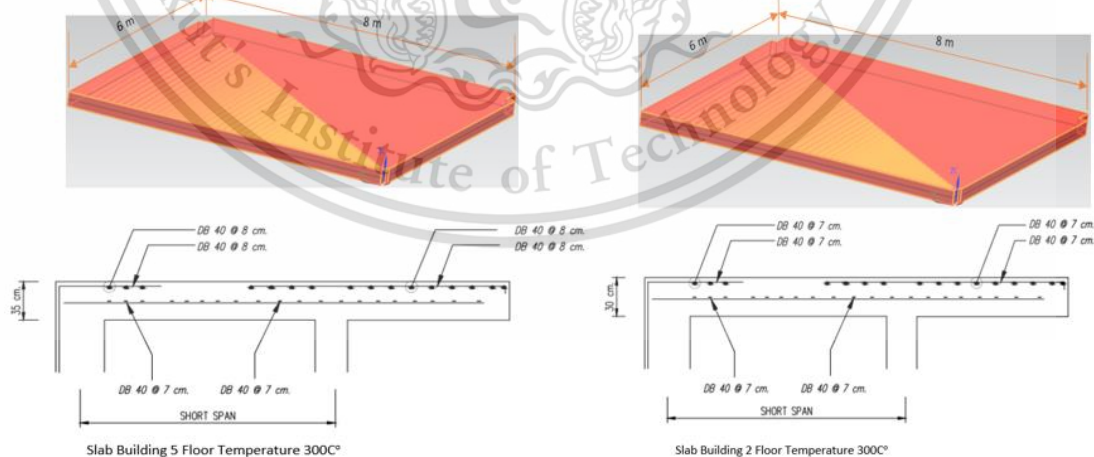
ผลจากอุณหภูมิ 300 C° ที่เกิดจากแรงระเบิด มีผลทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ พื้น (Slab) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้มาพิจารณาออกแบบโครงสร้าง

อาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น ในส่วนของ พื้น(Slab) ที่สามารถต้านทานอุณหภูมิ 300 C° ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.34



ภาพประกอบที่ 4.34 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น อุณหภูมิ 300 C° กระทำภายนอกที่บริเวณ พื้น(Slab)

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ พื้น(Slab) เพื่อต้านทานอุณหภูมิ 300 C° ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้างขนาดหน้าตัดและเหล็กเสริมโดยพิจารณาถึง ขนาดหน้าตัดความหนาของพื้น(Slab)ที่เหมาะสม , คุณสมบัติของคอนกรีตและคุณสมบัติของเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบโครงสร้างอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น โดยแสดงภาพประกอบ 4.35 ขนาดหน้าตัดความหนาของพื้น(Slab) และเหล็กเสริมอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้นต้านทานอุณหภูมิ 300 C°



ภาพประกอบ 4.35 การออกแบบหน้าตัดความหนาพื้นและเหล็กเสริม โครงสร้างอาคาร 5 ชั้น

และ 2 ชั้นต้านทานอุณหภูมิ 300 C°

การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารอาคาร5ชั้นและ2ชั้น  
ต้านทานอุณหภูมิ 300 C° การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างพื้น(Slab) ของระบบ  
แบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.20 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

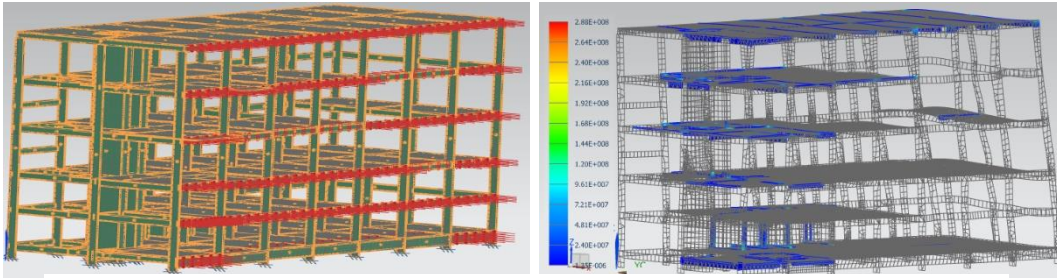
ตารางที่ 4.20 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น  
ต้านทานอุณหภูมิ 300 C° ส่วนของ พื้น(Slab)

No	Slab detail	5 floor building Property consumption (Temperature300C°)	2 floor building Property consumption (Temperature300C°)
1	Slab Dimensions	8 m x 6 m	8 m x 6 m
2	Slab thickness (cm)	35	30
3	Main Bars	DB40@8cm	DB28@7cm
4	Concrete covering(cm)	2.50	2.50
5	Yeild stress $f_y$ (ksc)	3000	3000
6	Elastic Modulus of steel , $E_s$ (ksc)	2040000	2040000
7	Comp.Stress of concrete $f_c'$ (ksc)	280	280
8	Elastic Modulus of concrete , $E_c$ (ksc)	252671.32	252671.32

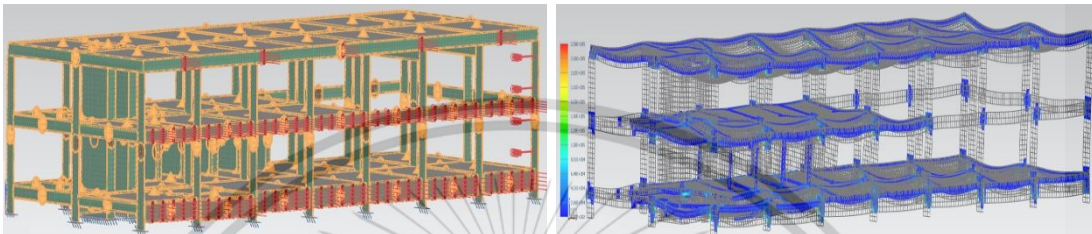
#### 4.2.3 ผลการวิเคราะห์เพื่อออกแบบเปรียบเทียบโครงสร้างอาคารต้านทาน แรงดัน300

บาร์และอุณหภูมิ300C° ที่เกิดจากภายนอกอาคาร2ชั้นและ5ชั้น

โครงสร้างอาคารที่ออกแบบมาให้โหลด(Load) กระทำที่เป็นแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ  
300 C° ที่เกิดจากแรงระเบิดภายนอกโครงสร้างอาคารทำให้มีผลกระทบต่อโครงสร้างอาคาร5  
ชั้นและ2ชั้นที่นำมาเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้น ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.36



5 floor building structure Pressure 300 bar and Temperature 300 C°



2 floor building structure Pressure 300 bar and Temperature 300 C°

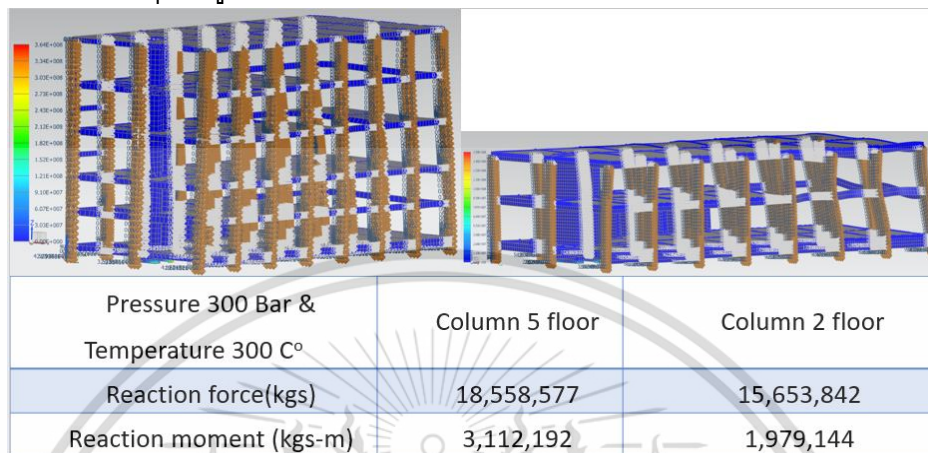
ภาพประกอบที่ 4.36 ผลกระทบของแรงดัน 300 บาร์ และ อุณหภูมิ 300 C° กระทำภายนอก  
โครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น

ผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารที่เกิดจากแรงดัน 300 บาร์ และ อุณหภูมิ 300 C° มีผลทำให้เกิด Reaction Force และ Reaction moment ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น ในส่วนของ เสา (Column), คาน (Beam) และ พื้น (Slab) ซึ่งผลวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถนำมาใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน 300 บาร์ และ อุณหภูมิ 300 C° 5 ชั้น และ 2 ชั้น ที่เกิดจากแรงระเบิด ดังแสดงตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ตารางแสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง Reaction force และ Reaction moment ของ เสา (Column), คาน (Beam) และ พื้น (Slab) จากแรงดัน 300 บาร์ และ อุณหภูมิ 300 C° ของอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น

Reaction Structure	Column Pressure 300bar & Temperature 300 C° 5floor	Column Pressure 300bar & Temperature 300 C° 2floor	Beam Pressure 300bar & Temperature 300 C° 5floor	Beam Pressure 300bar & Temperature 300 C° 2floor	Slab Pressure 300bar & Temperature 300 C° 5floor	Slab Pressure 300bar & Temperature 300 C° 2floor
Reaction Force(kgs)	18,558,577	15,653,842	37,003,043	28,510,853	412,796	128,940
Reaction moment (kgs-m)	3,112,192	1,979,144	3,112,974	2,358,439	1,575,996	756,037

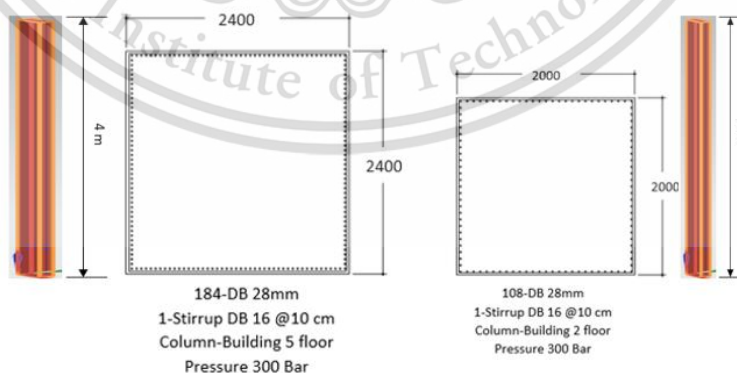
ผลจากแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C° ที่เกิดจากแรงระเบิด มีผลทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ เสา (Column) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้มาพิจารณาออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ในส่วนของ เสา(Column) ที่สามารถต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C° ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.37



ภาพประกอบที่ 4.37 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ

**300 C°กระทำภายนอกที่บริเวณ เสา(Column)**

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ เสา(Column) เพื่อต้านทานแรงดัน 300บาร์และอุณหภูมิ 300 C° ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้าง ขนาดหน้าตัดและเหล็กเสริมโดยพิจารณาถึง ขนาดหน้าตัดของเสา(Column)ที่เหมาะสม , คุณสมบัติของคอนกรีตและคุณสมบัติของเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบโครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ2 ชั้น โดยแสดงภาพประกอบ4.38 ขนาดหน้าตัดของเสา(Column) และเหล็กเสริมอาคาร5ชั้นและ 2ชั้น ต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C°



ภาพประกอบ 4.38 การออกแบบหน้าตัดเสาและเหล็กเสริม โครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ2 ชั้น

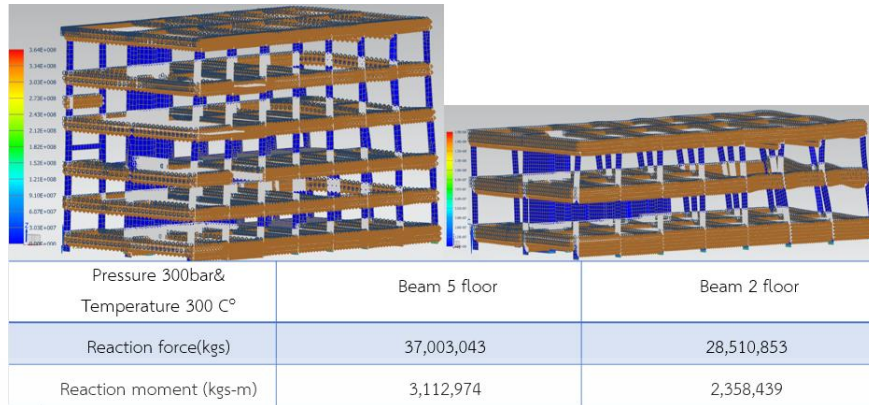
**ต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C°**

การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C° การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างเสา(Column) ของระบบแบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.22 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ 4.22 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C° ส่วนของ เสา(Column)

No	Column detail	5 floor building Property consumption (Pressure300bar &Temperature300C°)	2 floor building Property consumption (Pressure300bar &Temperature300C°)
1	Column Dimensions	2.40 m x 2.40	2 m x 2 m
2	Column Length,H (m)	22	8
3	Main Bars	184-DB28mm	108-DB 28mm
4	Stirrup	1-DB16@10 cm	1-DB 16@ 10cm
5	Concrete covering (m)	0.05	0.05
6	Yeild stress $f_y$ (ksc)	5000	5000
7	Elastic Modulus of steel , $E_s$ (ksc)	2040000	2040000
8	Comp.Stress of concrete $f_c'$ (ksc)	800	1000
9	Elastic Modulus of concrete , $E_c$ (ksc)	294353.18	270117.01

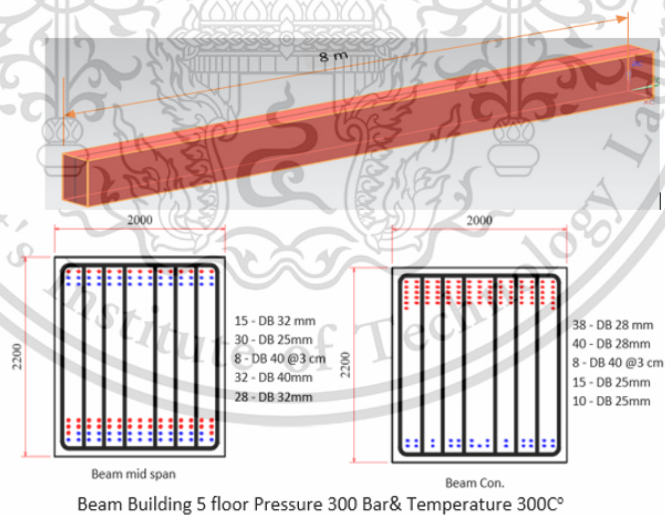
ผลจากแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C° ที่เกิดจากแรงระเบิด ทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ คาน (Beam) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้ มาพิจารณาออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ในส่วนของ คาน(Beam) ที่ต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C° ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.39

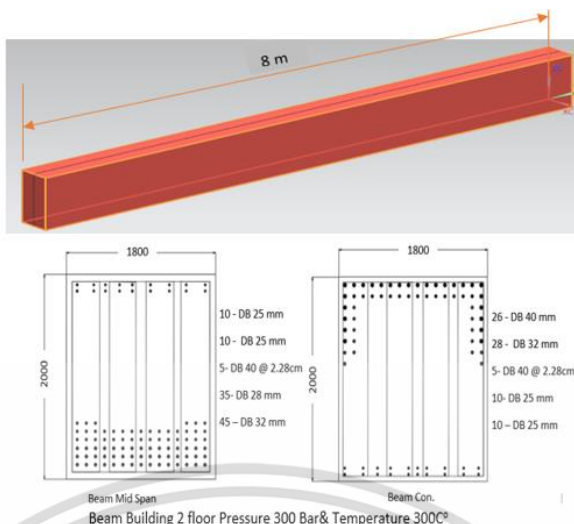


ภาพประกอบที่ 4.39 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น แรงดัน 300 บาร์ และ อุณหภูมิ

### 300C° กระทำภายนอกที่บริเวณ คาน(Beam)

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ คาน(Beam) เพื่อต้านทานแรงดัน 300 บาร์ และอุณหภูมิ 300 C° ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้าง ขนาดหน้าตัดและเหล็กเสริมโดยพิจารณาถึง ขนาดหน้าตัดของคาน(Beam) ที่เหมาะสม , คุณสมบัติของคอนกรีตและคุณสมบัติของเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบโครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น โดยแสดงภาพประกอบ 4.40 ขนาดหน้าตัดของคาน(Beam) และเหล็กเสริมอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น ต้านทานแรงดัน 300 บาร์ และอุณหภูมิ 300 C°





ภาพประกอบ 4.40 การออกแบบหน้าตัด คานและเหล็กเสริม อาคารต้านทานแรงดัน300 บาร์และ

**อุณหภูมิ 300 C°**

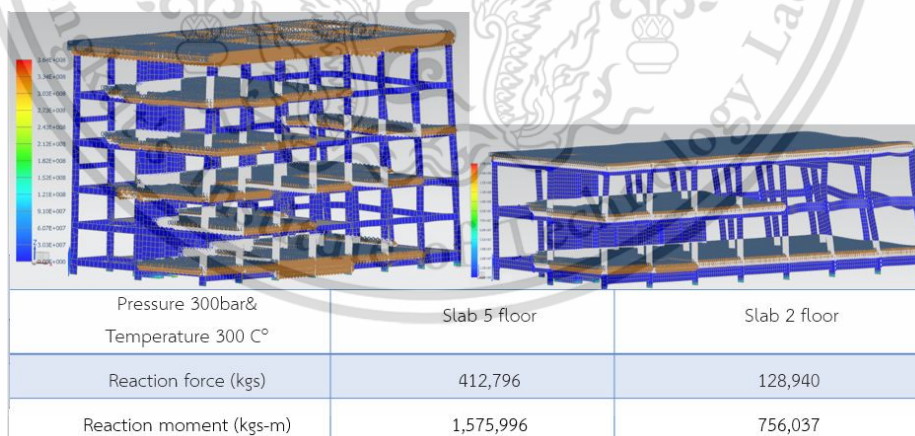
การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารอาคาร5ชั้นและ2 ชั้น ต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C° การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างคาน(Beam) ของระบบแบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.23 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ 4.23 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C° ส่วนของ คาน(Beam)

No	Beam detail	5 floor building Property consumption (Pressure300bar &Temperature300C°)	2 floor building Property consumption (Pressure300bar &Temperature300C°)
1	Beam Dimensions	2.00 m x 2.20 m	1.8 m x 2.00 m
2	Beam Length,H (m)	8	8
3	Main Bars	Mid span :15-DB32mm , 30-DB25mm , 32-DB40mm , 28-DB32mm	Mid span :10-DB25mm , 10-DB25mm , 35-DB28mm , 45-DB32mm Beam Con : 26-DB40mm,28-DB32mm ,10-DB25mm , 10-DB25mm

		Beam Con : 38-DB28mm,40-DB28mm ,15-DB25mm , 10-DB25mm	
4	Stirrup	8-DB40@3cm	5-DB40@2.28 cm
5	Concrete covering (m)	0.025	0.025
6	Yeild stress $f_y$ (ksc)	5000	5000
7	Elastic Modulus of steel , $E_s$ (ksc)	2040000	2040000
8	Comp.Stress of concrete $f_c'$ (ksc)	320	320
9	Elastic Modulus of concrete , $E_c$ (ksc)	270117	270117

ผลจากแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C° ที่เกิดจากแรงระเบิด มีผลทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ พื้น (Slab) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้มาพิจารณา ออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ในส่วนของ พื้น(Slab) ที่สามารถต้านทานแรงดัน300 บาร์และอุณหภูมิ 300 C° ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.41

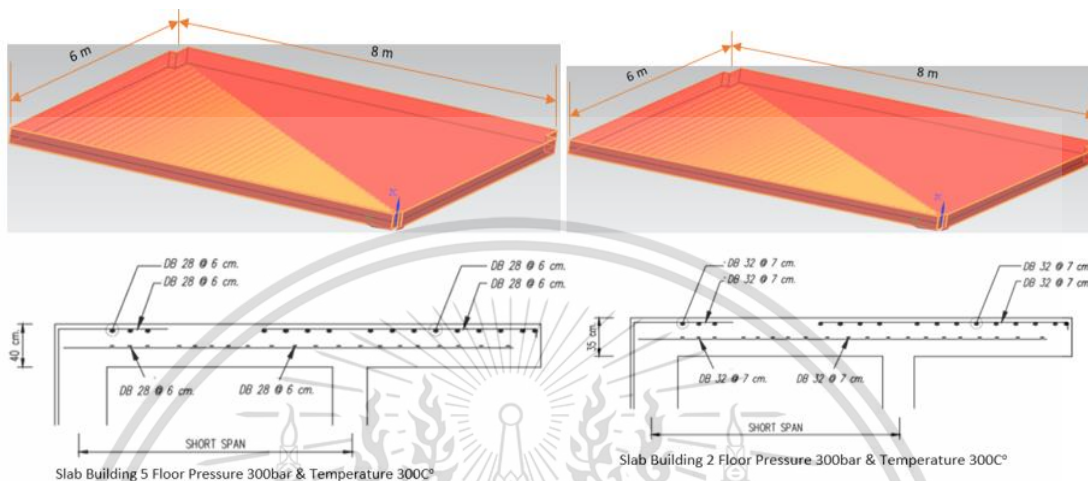


ภาพประกอบที่ 4.41 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ

### 300 C° กระทำภายนอกที่บริเวณ พื้น (Slab)

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ พื้น(Slab) เพื่อต้านทานแรงดัน300 บาร์และอุณหภูมิ 300 C° ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้าง

ขนาดหน้าตัดและเหล็กเสริมโดยพิจารณาถึง ขนาดหน้าตัดความหนาของพื้น(Slab)ที่เหมาะสม , คุณสมบัติของคอนกรีตและคุณสมบัติของเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบโครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ2 ชั้น โดยแสดงภาพประกอบ4.42 ขนาดหน้าตัดความหนาของพื้น(Slab) และเหล็กเสริมอาคาร5 ชั้นและ2ชั้น ด้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C°



ภาพประกอบ 4.42 การออกแบบหน้าตัดความหนาพื้นและเหล็กเสริม โครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ 2ชั้น

ด้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C°

การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารอาคาร5ชั้นและ2 ชั้น ด้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C° การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างพื้น(Slab) ของระบบแบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.24 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ 4.24 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ด้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ 300 C° ส่วนของ พื้น(Slab)

No	Slab detail	5 floor building Property consumption (Pressure300bar &Temperature300C°)	2 floor building Property consumption (Pressure300bar &Temperature300C°)
1	Slab Dimensions	8 m x 6 m	8 m x 6 m
2	Slab thickness (cm)	40	35
3	Main Bars	DB28@6cm	DB28@6cm
4	Concrete covering (cm)	2.50	2.50
5	Yeild stressfy (ksc)	5000	5000

6	Elastic Modulus of steel , $E_s$ (ksc)	2040000	2040000
7	Comp.Stress of concrete $f_c'$ (ksc)	320	320
8	Elastic Modulus of concrete , $E_c$ (ksc)	270117	270117

#### 4.3 ผลการวิเคราะห์เพื่อออกแบบเปรียบเทียบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300

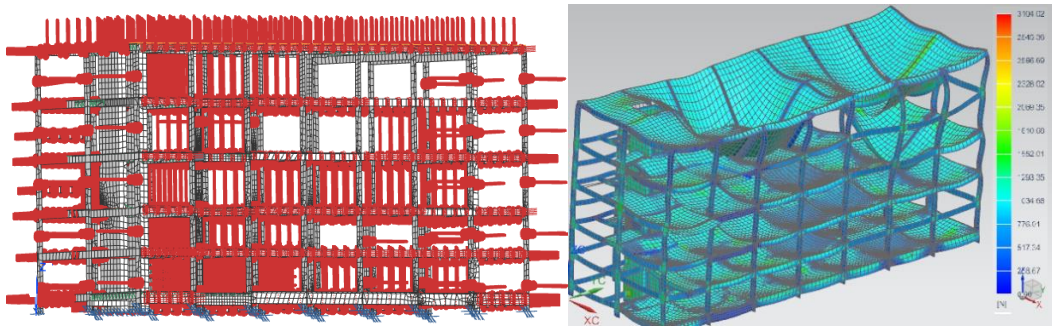
บาร์และอุณหภูมิที่300C° (In-External load) โครงสร้างอาคารอาคาร2ชั้น และ 5ชั้น

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารที่มีโหลดกระทำภายนอกและภายในอาคารและมีความสูงของอาคารที่แตกต่างกัน โหลด(Load) กระทำต่อโครงสร้างอาคารที่เป็น แรงดันที่300 บาร์(Pressure load), อุณหภูมิ300C°(Temperature Load) และควมรวมกันของแรงดันที่300 บาร์(Pressure load)และอุณหภูมิ300C°(Temperature Load) ซึ่งมีผลกระทบต่อโครงสร้างอาคารหลังนี้เมื่อเกิดการระเบิดขึ้น ข้อมูลดังกล่าวนี้จะใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารที่เกิดการระเบิดจากภายนอกและภายในอาคาร ทดสอบคุณสมบัติของแก๊สชนิดต่าง ๆ เช่น  $N_2$  ,  $H_2$  ,  $H_2S$  ,  $CO_2$  ,  $O_2$  , LPG , LNG และ Helium (He) รวมทั้งจะติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับการทดสอบคุณสมบัติของแก๊สที่นำมาผสมกัน ซึ่งจะมีแรงดันและอุณหภูมิที่แตกต่างกันออกไป อาคารหลังนี้เป็นอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ได้กำหนดค่าแรงดันสูงสุด300บาร์(Bar) และอุณหภูมิสูงสุดที่ 300 C° กระทำภายนอกและภายในอาคาร ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงแรงดันและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดการระเบิด โดยเปรียบเทียบโครงสร้างอาคารที่มีความสูงแตกต่างกันซึ่งเป็นโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้นออกแบบโครงสร้างอาคารที่เหมาะสมเมื่อโหลด(Load)กระทำจากภายนอกและภายในอาคาร

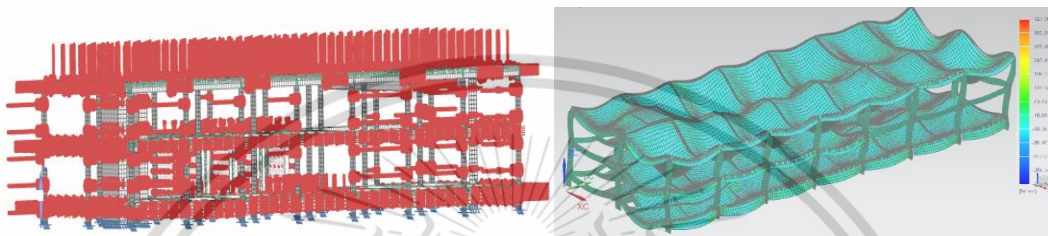
##### 4.3.1 ผลการวิเคราะห์เพื่อออกแบบเปรียบเทียบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300

บาร์ที่เกิดจากภายนอกและภายในอาคาร2ชั้นและ5ชั้น

โครงสร้างอาคารที่ออกแบบกำหนดให้โหลด(Load) กระทำที่มีแรงดัน300บาร์(Bar) เกิดจากแรงระเบิดภายนอกและภายในโครงสร้างอาคาร2ชั้นและ5ชั้นทำให้มีผลกระทบต่อโครงสร้าง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.43



5 floor building structure pressure 300 bar



2 floor building structure pressure 300 bar

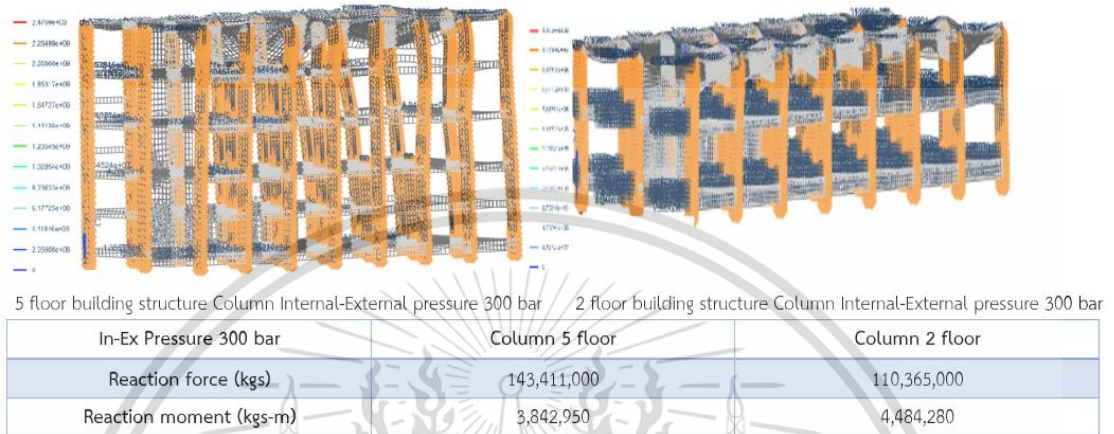
**ภาพประกอบที่ 4.43 ผลกระทบของแรงดัน 300 บาร์ (Bar) (In-External load) ในโครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น**

ผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารที่เกิดจากแรงดัน 300 บาร์ (Bar) มีผลทำให้เกิด Reaction Force และ Reaction moment ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น ในส่วนของเสา (Column), คาน (Beam) และ พื้น (Slab) ซึ่งผลวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถนำมาใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน 300 บาร์ (Bar) 5 ชั้น และ 2 ชั้น ที่เกิดจากแรงระเบิด ดังแสดงตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 ตารางแสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง Reaction force และ Reaction moment ของเสา (Column), คาน (Beam) และ พื้น (Slab) จากแรงดัน 300 บาร์ (Bar) ของอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น

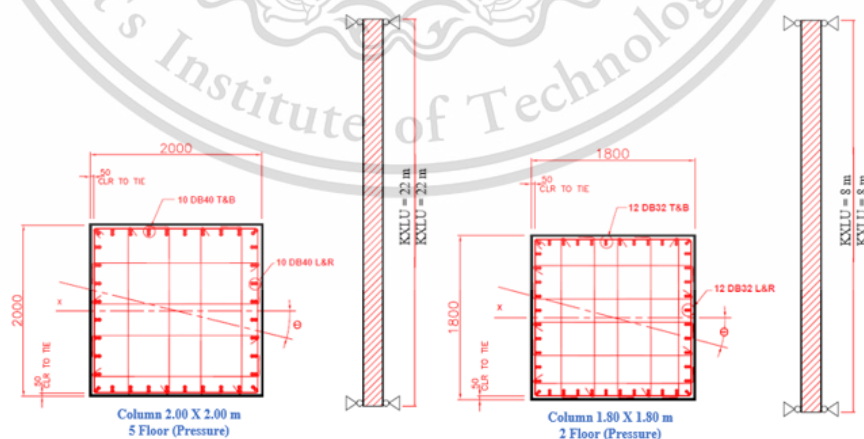
Reaction Structure	Column Pressure 300Bar 5floor	Column Pressure 300Bar 2floor	Beam Pressure 300Bar 5floor	Beam Pressure 300Bar 2floor	Slab Pressure 300Bar 5floor	Slab Pressure 300Bar 2floor
Reaction Force(kgs)	143,411,000	110,365,000	205,673,000	62,548,100	92,691,700	18631100
Reaction moment (kgs-m)	3,842,950	4,484,280	10,674,600	2,395,340	10,929,300	3,809,690

ผลจากแรงดัน300บาร์(Bar) ที่เกิดจากแรงระเบิดทั้งภายนอกและภายใน มีผลทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ เสา (Column) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้มา พิจารณาออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ในส่วนของ เสา(Column) ที่สามารถต้านทาน แรงดัน300บาร์(Bar) ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.44



ภาพประกอบที่ 4.44 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น แรงดัน300บาร์(Bar) (In-External load) ที่บริเวณ เสา (Column)

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ เสา(Column) เพื่อต้านทานแรงดัน 300บาร์ ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดภายนอกและภายในโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้าง ขนาดหน้าตัดและเหล็กเสริมโดยพิจารณาถึง ขนาดหน้าตัดของเสา(Column)ที่เหมาะสม , คุณสมบัติของคอนกรีตและคุณสมบัติของเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบโครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ2 ชั้น โดยแสดงภาพประกอบ4.45 ขนาดหน้าตัดของเสา(Column) และเหล็กเสริมอาคาร5ชั้นและ 2ชั้น ต้านทานแรงดัน300บาร์



ภาพประกอบ 4.45 การออกแบบหน้าตัดเสาและเหล็กเสริม โครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ2 ชั้น

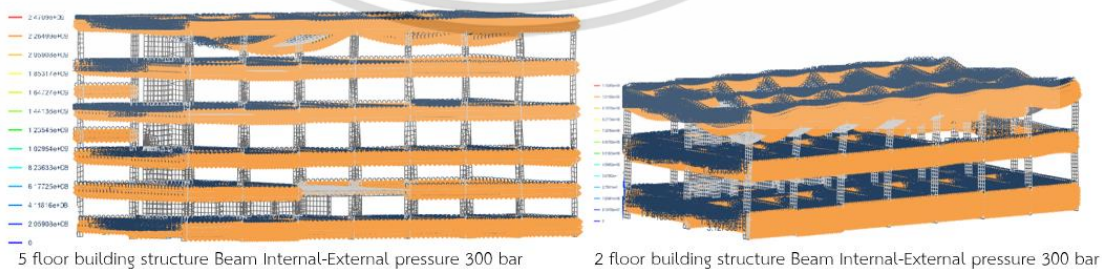
ต้านทานแรงดัน300บาร์ (In-External load)

การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ต้านทานแรงดัน300บาร์ การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างเสา(Column) ของระบบ แบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.26 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ 4.26 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ต้านทานแรงดัน300บาร์ (In-External load) ส่วนของ เสา(Column)

No	Column detail	5 floor building Property consumption (Pressure300bar)	2 floor building Property consumption (Pressure300bar)
1	Column Dimensions (cm)	200.00 x 200.00	180.00 x 180.00
2	Column Length, H (cm)	2200.00	800.00
3	Main Bars (mm)	40-DB40	48-DB32
4	Stirrup (Casing rebar) cm	1-DB16@10	1-DB16@10
5	Concrete covering (cm)	5	5
6	Yield stress $f_y$ (ksc)	5000	5000
7	Elastic Modulus of steel, $E_s$ (ksc)	2040000	2040000
8	Comp.Stress of concrete $f_c'$ (ksc)	1000	1000
9	Elastic Modulus of concrete $E_c$ (ksc)	478136.38	478136.38

ผลจากแรงดัน300บาร์(Bar) ที่เกิดจากแรงระเบิดทั้งภายนอกและภายใน มีผลทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ คาน (Beam) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้มา พิจารณาออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ในส่วนของ คาน (Beam) ที่สามารถต้านทาน แรงดัน300บาร์(Bar) ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.46

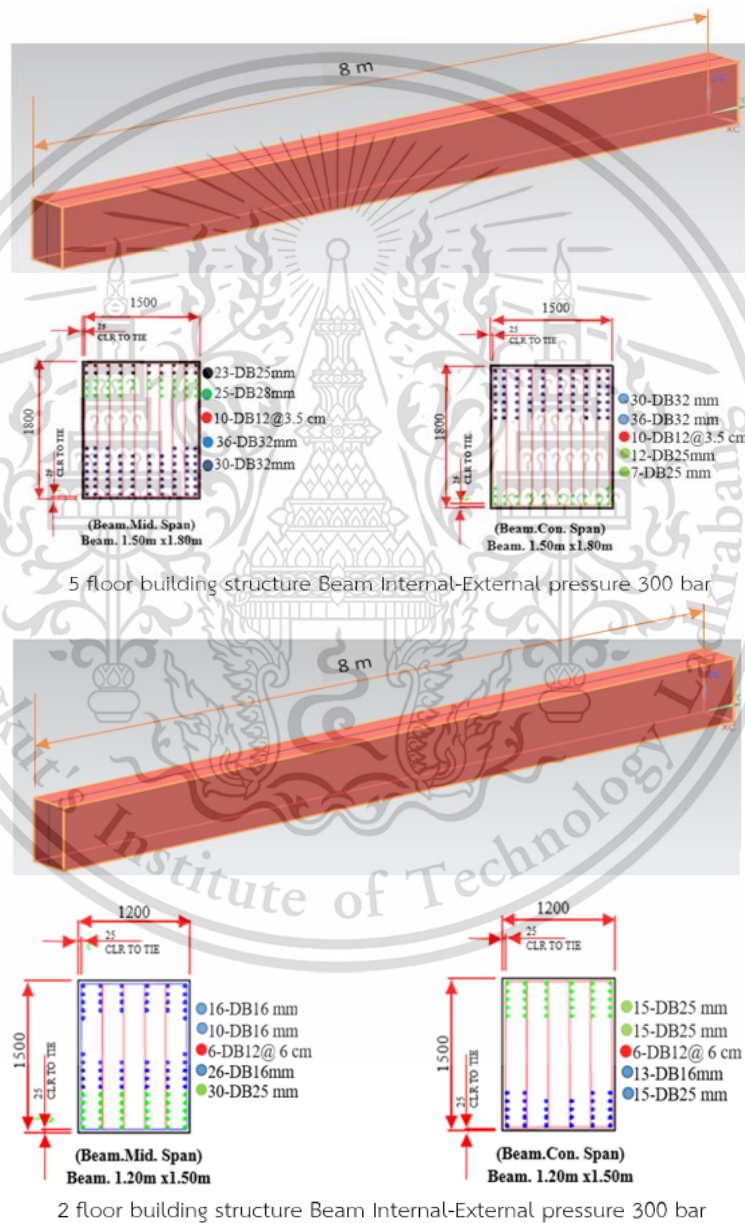


In-Ex Pressure 300 bar	Beam 5 floor	Beam 2 floor
Reaction force (kgs)	205673000	62548100
Reaction moment (kgs-m)	10674600	2395340

ภาพประกอบที่ 4.46 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น แรงดัน300บาร์

### (In-External load) ที่บริเวณ คาน(Beam)

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ คาน(Beam) เพื่อต้านทานแรงดัน 300 บาร์ ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดภายนอกและภายในโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้าง ขนาดหน้าตัดและเหล็กเสริมโดยพิจารณาถึง ขนาดหน้าตัดของคาน(Beam) ที่เหมาะสม , คุณสมบัติของคอนกรีตและคุณสมบัติของเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบโครงสร้างอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น โดยแสดงภาพประกอบ 4.47 ขนาดหน้าตัดของคาน(Beam) และเหล็กเสริมอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น ต้านทานแรงดัน 300 บาร์



ภาพประกอบ 4.47 การออกแบบหน้าตัด คานและเหล็กเสริม อาคารต้านทานแรงดัน 300 บาร์

### (In-External load)

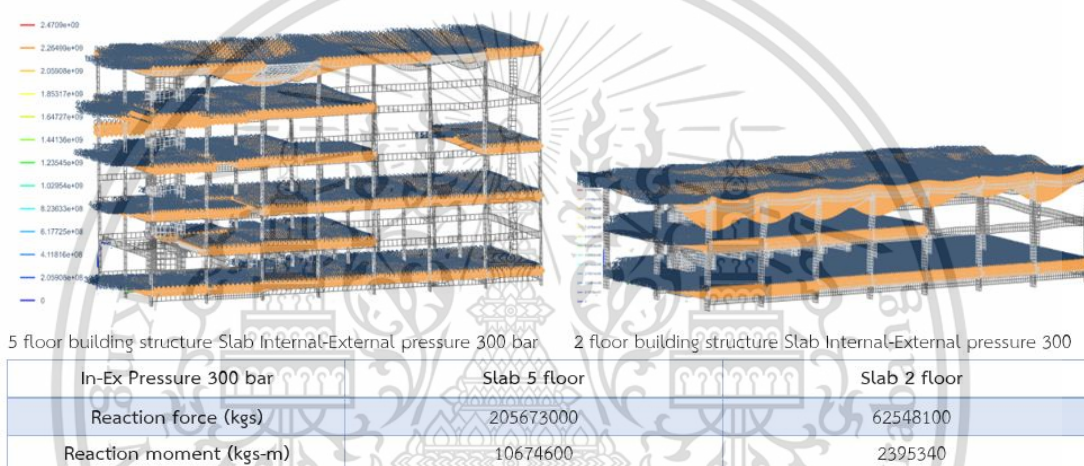
การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารอาคาร5ชั้นและ2ชั้น  
 ต้านทานแรงดัน300บาร์ การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างเสา(Column) ของระบบ  
 แบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.27 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ 4.27 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น  
 ต้านทานแรงดัน300บาร์(In-External load) ส่วนของ คาน(Beam)

No	Beam detail	5 floor building Property consumption (Pressure300bar)	2 floor building Property consumption (Pressure300bar)
1	Beam Dimensions (cm)	150.00 x 180.00	120.00 x 150.00
2	Beam Length ,H (cm)	800.00	800.00
3	Main Bars	Mid-span: 23-DB25, 25-DB28, 10-B12@3.5cm, 36-DB32, 30-DB32 Beam con: 30-DB32, 36-DB32, 10-DB12@3.5cm, 12-DB25, 7-DB25	Mid-span: 16-DB16, 10-DB16, 6-DB12@6cm, 26-DB16, 30-DB25 Beam con: 15-DB25, 15-DB25, 6-DB12@6cm, 13-DB16, 15-DB16
4	Stirrup (cm)	10-DB12@3.5	6-DB12@6
5	Concrete covering (cm)	2.50	2.50

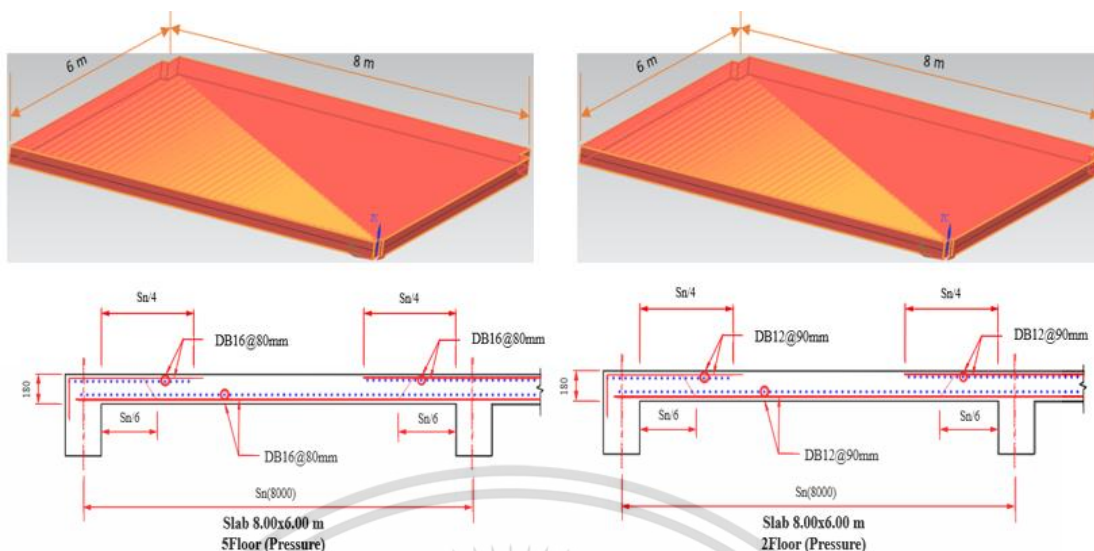
6	Yield stress $f_y$ (ksc)	5000	5000
7	Elastic Modulus of steel, $E_s$ (ksc)	2040000	2040000
8	Comp.Stress of concrete $f_c'$ (ksc)	380	380
9	Elastic Modulus of concrete, $E_c$ (ksc)	294743	294743

ผลจากแรงดัน300บาร์(Bar) ที่เกิดจากแรงระเบิดทั้งภายนอกและภายใน มีผลทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ พื้น (Slab) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้มาพิจารณาออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ในส่วนของพื้น (Slab) ที่สามารถต้านทานแรงดัน300บาร์(Bar) ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.48



**ภาพประกอบที่ 4.48 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น แรงดัน300บาร์(Bar) (In-External load) ที่บริเวณ พื้น (Slab)**

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ พื้น(Slab) เพื่อต้านทานแรงดัน300 บาร์ ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดภายนอกและภายในโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้าง ขนาดหน้าตัดและเหล็กเสริมโดยพิจารณาถึง ขนาดหน้าตัดของ พื้น(Slab) ที่เหมาะสม , คุณสมบัติของคอนกรีตและคุณสมบัติของเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบโครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ2 ชั้น โดยแสดงภาพประกอบ4.49 ขนาดหน้าตัดของ พื้น(Slab) และเหล็กเสริมอาคาร5ชั้นและ2 ชั้น ต้านทานแรงดัน300บาร์



ภาพประกอบ 4.49 การออกแบบหน้าตัดความหนาพื้นและเหล็กเสริม โครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้นต้านทานแรงดัน 300 บาร์

การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้นต้านทานแรงดัน 300 บาร์ การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างพื้น (slab) ของระบบแบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.28 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

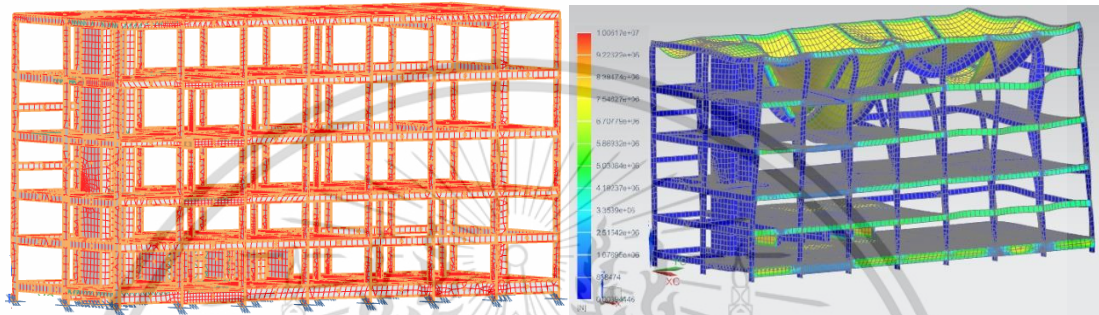
ตารางที่ 4.28 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้นต้านทานแรงดัน 300 บาร์ (In-External load) ส่วนของ พื้น (Slab)

No	Slab detail	5 floor building Property consumption (Pressure 300 bar)	2 floor building Property consumption (Pressure 300 bar)
1	Slab Dimensions (cm)	800.00 x 600.00	800.00 x 600.00
2	Slab thickness (cm)	18.00	18.00
3	Main Bars (mm)	DB16@80	DB12@90
4	Concrete covering (cm)	2.50	2.50
5	Yield stress $f_y$ (ksc)	5000	4000
6	Elastic Modulus of steel, $E_s$ (ksc)	2040000	2040000
7	Comp. Stress of concrete $f_c'$ (ksc)	320	320
8	Elastic Modulus of concrete, $E_c$ (ksc)	270474.78	270474.78

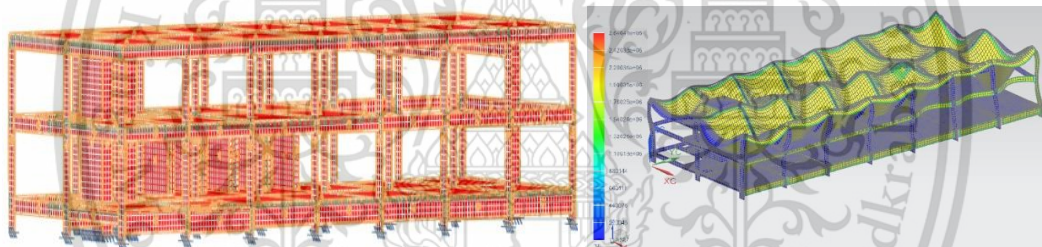
### 4.3.2 ผลการวิเคราะห์เพื่อออกแบบเปรียบเทียบโครงสร้างอาคารด้านทานอุณหภูมิ

#### 300C° ที่เกิดจากภายนอกและภายในอาคาร 2 ชั้น และ 5 ชั้น

โครงสร้างอาคารที่ออกแบบกำหนดให้โหลด (Load) กระทำที่มีอุณหภูมิ 300C° เกิดจากแรงระเบิดภายนอกและภายในโครงสร้างอาคาร 2 ชั้น และ 5 ชั้น ทำให้มีผลกระทบต่อโครงสร้าง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.50



5 floor building structure Temperature 300C°



2 floor building structure Temperature 300C°

ภาพประกอบที่ 4.50 ผลกระทบของ Temperature 300C° (In-External load) โครงสร้างอาคาร

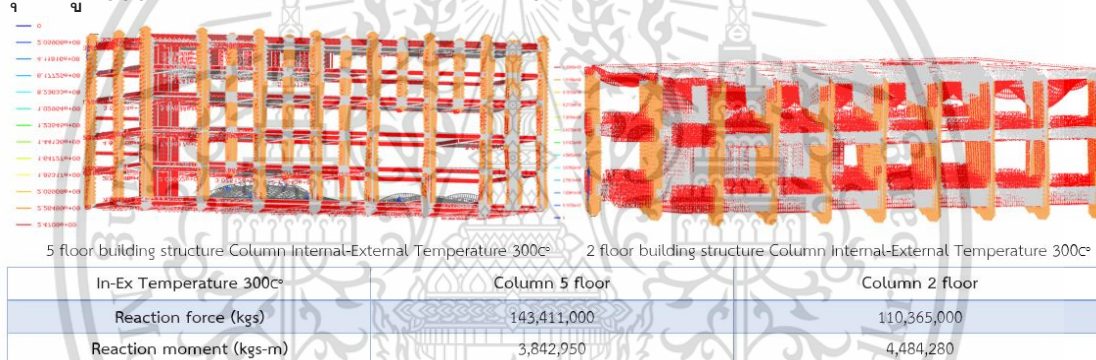
#### 5 ชั้น และ 2 ชั้น

ผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารที่เกิดจากอุณหภูมิ 300C° มีผลทำให้เกิด Reaction Force และ Reaction moment ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น ในส่วนของ เสา (Column), คาน (Beam) และ พื้น (Slab) ซึ่งผลวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถนำมาใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารด้านทานอุณหภูมิ 300C° 5 ชั้น และ 2 ชั้น ที่เกิดจากแรงระเบิด ดังแสดงตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.29 ตารางแสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง Reaction force และ Reaction moment ของ เสา (Column), คาน (Beam) และ พื้น (Sab) จากอุณหภูมิ 300C° ของอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น

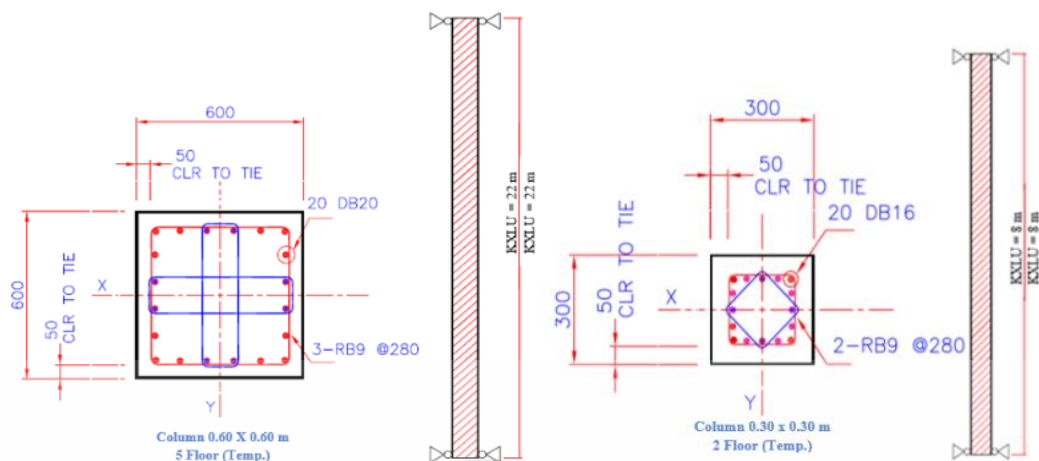
Reaction Structure	Column Temp.300C° 5floor	Column Temp.300C° 2floor	Beam Temp.300C° 5floor	Beam Temp.300C° 2floor	Slab Temp.300C° 5floor	Slab Temp.300C° 2floor
Reaction Force(kgs)	24,963.60	20,779.90	35,743.30	25,784.80	45,431.90	7,458.02
Reaction moment (kgs-m)	1,460.04	1,040.53	2,226.96	728.65	1,852.39	2,062.63

ผลจากอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$  ที่เกิดจากแรงระเบิดทั้งภายนอกและภายใน มีผลทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ เสา (Column) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้มาพิจารณาออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ในส่วนของ เสา(Column) ที่สามารถต้านทานอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$  ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.51



ภาพประกอบที่ 4.51 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้นอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$  (In-External load)ที่บริเวณ เสา(Column)

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ เสา(Column) เพื่อต้านทานอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$  ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดภายนอกและภายในโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้าง ขนาดหน้าตัดและเหล็กเสริมโดยพิจารณาถึง ขนาดหน้าตัดของเสา(Column)ที่เหมาะสม , คุณสมบัติของคอนกรีตและคุณสมบัติของเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบโครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ2 ชั้น โดยแสดงภาพประกอบ4.52 ขนาดหน้าตัดของเสา(Column) และเหล็กเสริมอาคาร5ชั้นและ 2ชั้น ต้านทานอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C}$



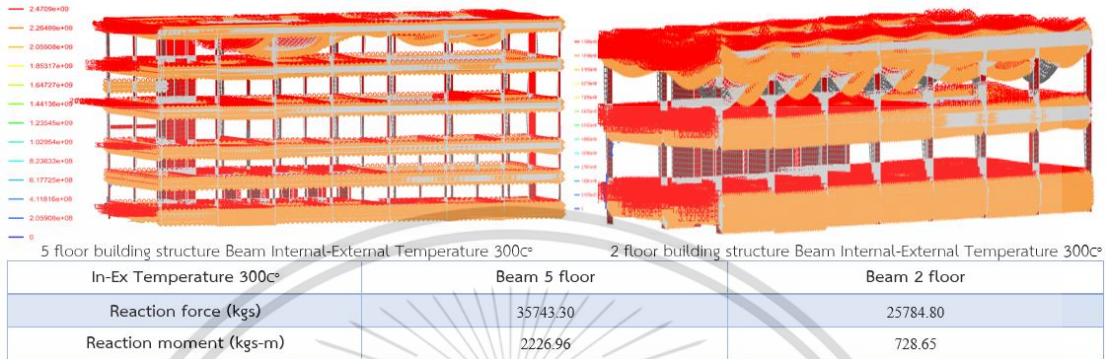
ภาพประกอบ 4.52 การออกแบบหน้าตัดเสาและเหล็กเสริม โครงสร้างอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น  
ด้านทานอุณหภูมิ 300C° (In-External load)

การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น  
ด้านทานแรงดัน 300 บาร์ การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างเสา (Column) ของระบบ  
แบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.30 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ 4.30 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น  
ด้านทานอุณหภูมิ 300C° (In-External load) ส่วนของ เสา (Column)

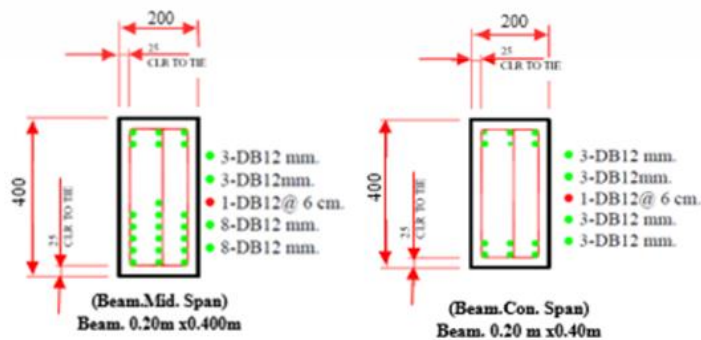
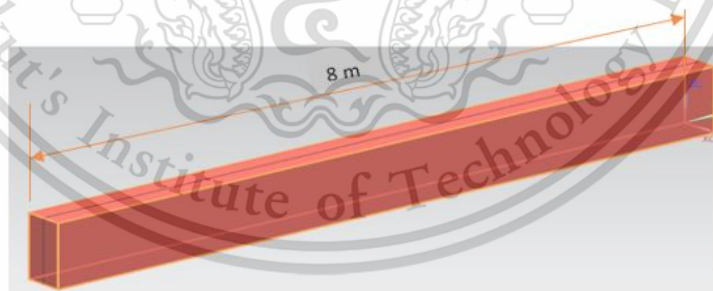
No	Column detail	5 floor building Property consumption (Temp. 300C°)	2 floor building Property consumption (Temp. 300C°)
1	Column Dimensions (cm)	60.00 x 60.00	30.00 x 30.00
2	Column Length, H (cm)	2200.00	800.00
3	Main Bars (mm)	20-DB20	20-DB16
4	Stirrup (Casing rebar) cm	3-RB9@28	2-RB6@25.60
5	Concrete covering (cm)	5	5
6	Yield stress $f_y$ (ksc)	3000	3000
7	Elastic Modulus of steel, $E_s$ (ksc)	2040000	2040000
8	Comp. Stress of concrete $f_c'$ (ksc)	320	320
9	Elastic Modulus of concrete, $E_c$ (ksc)	294743	294743

ผลจากอุณหภูมิ 300°C ที่เกิดจากแรงระเบิดทั้งภายนอกและภายใน มีผลทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ คาน (Beam) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้มาพิจารณาออกแบบโครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น ในส่วนของ คาน (Beam) ที่สามารถต้านทานอุณหภูมิ 300°C ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.53

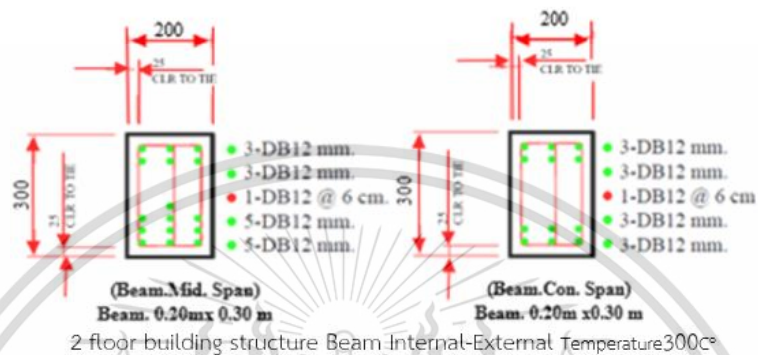
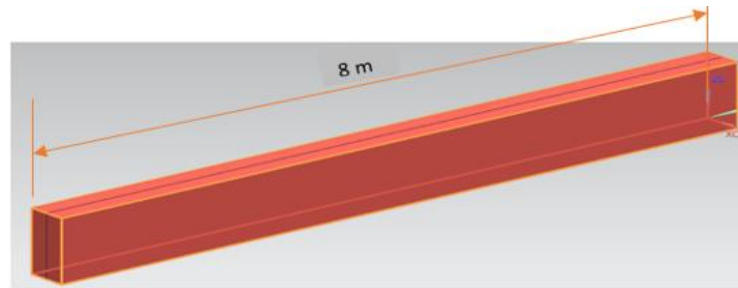


ภาพประกอบที่ 4.53 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น อุณหภูมิ 300°C (In-External load) ที่บริเวณ คาน (Beam)

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ คาน (Beam) เพื่อต้านทานอุณหภูมิ 300°C ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดภายนอกและภายใน โดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้าง ขนาดหน้าตัดและเหล็กเสริมโดยพิจารณาถึง ขนาดหน้าตัดของคาน (Beam) ที่เหมาะสม , คุณสมบัติของคอนกรีตและคุณสมบัติของเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบโครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น โดยแสดงภาพประกอบ 4.54 ขนาดหน้าตัดของคาน (Beam) และเหล็กเสริมอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น ต้านทานอุณหภูมิ 300°C



5 floor building structure Beam Internal-External Temperature 300c°



2 floor building structure Beam-Internal-External Temperature 300C°

ภาพประกอบ 4.54 การออกแบบหน้าตัด คานและเหล็กเสริม อาคารต้านทานอุณหภูมิ 300C°

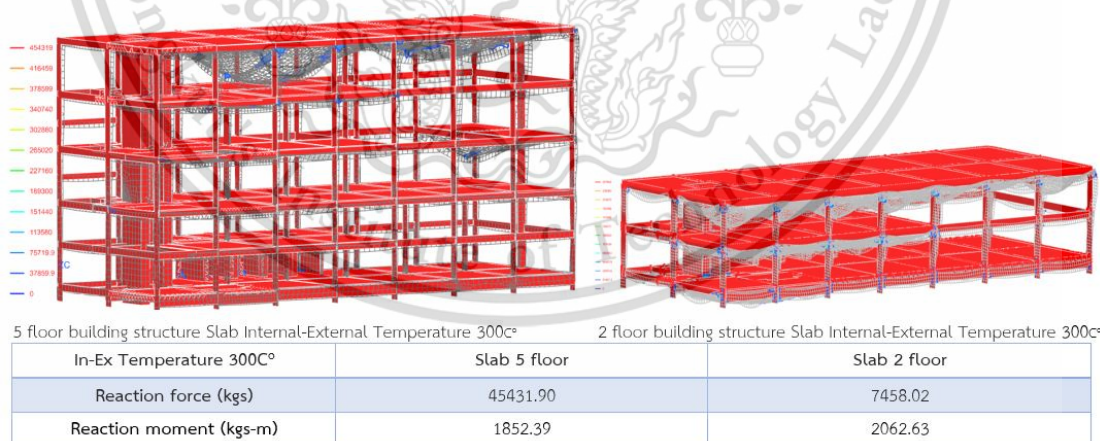
**(In-External load)**

การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้นต้านทานอุณหภูมิ 300C° การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างคาน(Beam) ของระบบแบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.31 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ ตารางที่ 4.31 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้นต้านทานอุณหภูมิ 300C° (In-External load) ส่วนของ คาน(Beam)

No	Beam detail	5 floor building Property consumption (Temp.300C°)	2 floor building Property consumption (Temp.300C°)
1	Beam Dimensions (cm)	20.00 x 40.00	20.00 x 30.00
2	Beam Length ,H (cm)	800.00	800.00
3	Main Bars (mm)	Mid-span: 3-DB12, 3-DB12, 1-DB12@6cm, 3-DB12, 3-DB12	Mid-span: 3-DB12, 3-DB12, 1-DB12@6cm, 5-DB12, 5-DB12

		Beam con: 3-DB12, 3-DB12, 1-DB12@6cm, 3-DB12, 3-DB12	Beam con: 3-DB89, 3-DB12, 1-DB12@6cm, 3-DB12, 3-DB12
4	Stirrup (cm)	1-DB12@6	1-DB89@6
5	Concrete covering (cm)	0.025	0.025
6	Yield stress $f_y$ (ksc)	3000	3000
7	Elastic Modulus of steel $E_s$ (ksc)	2040000	2040000
8	Comp.Stress of concrete $f_c'$ (ksc)	320	280
9	Elastic Modulus of concrete, $E_c$ (ksc)	240475.00	240475.00

ผลจากอุณหภูมิ  $300\text{C}^\circ$  ที่เกิดจากแรงระเบิดทั้งภายนอกและภายใน มีผลทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ พื้น(Slab) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้มาพิจารณา ออกแบบโครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น ในส่วนของ พื้น(Slab) ที่สามารถต้านทานอุณหภูมิ  $300\text{C}^\circ$  ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.55

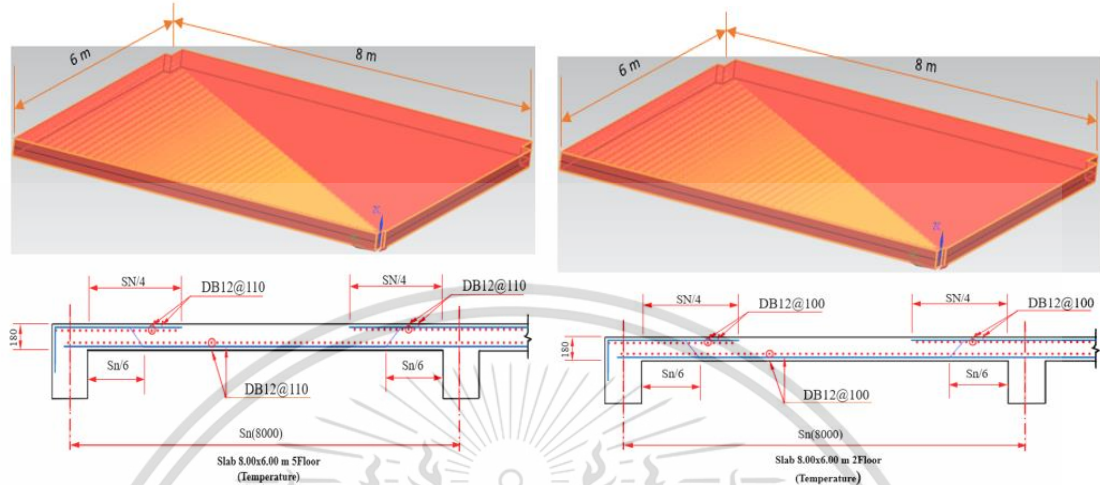


ภาพประกอบที่ 4.55 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น อุณหภูมิ  $300\text{C}^\circ$  (In-External

load) ที่บริเวณ พื้น(Slab)

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ พื้น(Slab) เพื่อต้านทานอุณหภูมิ  $300\text{C}^\circ$  ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดภายนอกและภายในโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้าง ขนาดหน้าตัดและเหล็กเสริมโดยพิจารณาถึง ขนาดหน้าตัดของพื้น(Slab) ที่เหมาะสม ,

คุณสมบัติของคอนกรีตและคุณสมบัติของเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบโครงสร้างอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น โดยแสดงภาพประกอบ 4.56 ขนาดหน้าตัดของพื้น(Slab) และเหล็กเสริมอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น ด้านทานอุณหภูมิ 300C°



ภาพประกอบ 4.56 การออกแบบหน้าตัด คานและเหล็กเสริม อาคารด้านทานอุณหภูมิ 300C°

(In-External load)

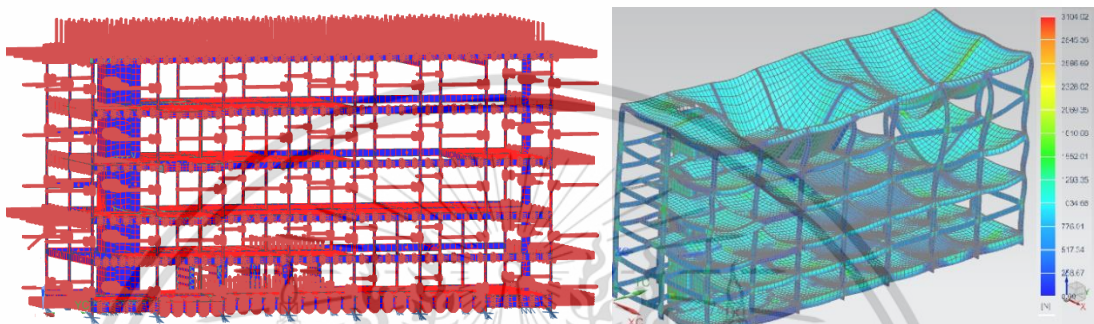
ตารางที่ 4.32 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น ด้านทานอุณหภูมิ 300C° (In-External load) ส่วนของ พื้น(Slab)

No	Slab detail	5 floor building Property consumption (Temp.300C°)	2 floor building Property consumption (Temp.300C°)
1	Slab Dimensions (cm)	800.00 x 600.00	800.00 x 600.00
2	Slab thickness (cm)	18.00	18.00
3	Main Bars (mm)	DB12@110	DB12@100
4	Concrete covering (cm)	2.50	2.50
5	Yeild stress $f_y$ (ksc)	3000	3000
6	Elastic Modulus of steel , $E_s$ (ksc)	2040000	2040000
7	Comp.Stress of concrete $f_c'$ (ksc)	250	250
8	Elastic Modulus of concrete $E_c$ (ksc)	240491.21	240491.21

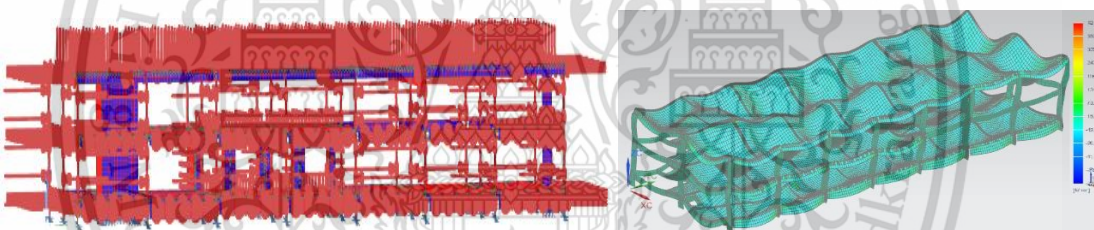
### 4.3.3 ผลการวิเคราะห์เพื่อออกแบบเปรียบเทียบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300

บาร์และอุณหภูมิ300C°ที่เกิดจากภายนอกและภายในอาคาร2ชั้นและ5ชั้น

โครงสร้างอาคารที่ออกแบบกำหนดให้โหลด(Load) กระทำที่มีแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C°เกิดจากแรงระเบิดภายนอกและภายในโครงสร้างอาคาร2ชั้นและ5ชั้นทำให้มีผลกระทบต่อโครงสร้าง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.57



5 floor building structure (In-External) Pressure300bar and Temperature 300C°



2 floor building structure (In-External) Pressure300bar and Temperature 300C°

ภาพประกอบที่4.57 ผลกระทบของ Temperature300C° (In-External load)โครงสร้างอาคาร

5ชั้นและ2ชั้น

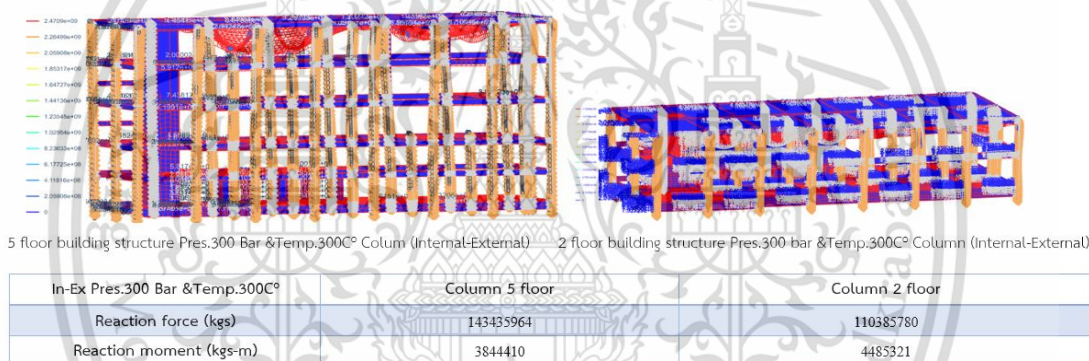
ผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารที่เกิดจากแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° มีผลทำให้เกิด Reaction Force และ Reaction moment ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ในส่วนของ เสา(Column),คาน(Beam) และพื้น(Slab) ซึ่งผลวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถนำมาใช้ สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° 5ชั้นและ2ชั้น ที่เกิดจากแรงระเบิด ดังแสดงตารางที่4.33

ตารางที่ 4.33 ตารางแสดงผลวิเคราะห์โครงสร้าง Reaction force และ Reaction moment ของ เสา(Column),คาน(Beam) และพื้น(Sab) จากแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° ของ

อาคาร5ชั้นและ2ชั้น

Reaction Structure	Column Press.300Bar& Temp.300C° 5floor	Column Press.300Bar& Temp.300C° 2floor	Beam Press.300Bar& Temp.300C° 5floor	Beam Press.300Bar& Temp.300C° 2floor	Slab Press.300Bar& Temp.300C° 5floor	Slab Press.300Bar& Temp.300C° 2floor
Reaction Force(kgs)	143,435,964	110,385,780	205,708,743	62,573,885	92,737,132	18,638,558
Reaction moment (kgs-m)	3,844,410	4,485,321	10,676,827	2,396,069	10,931,152	3,811,753

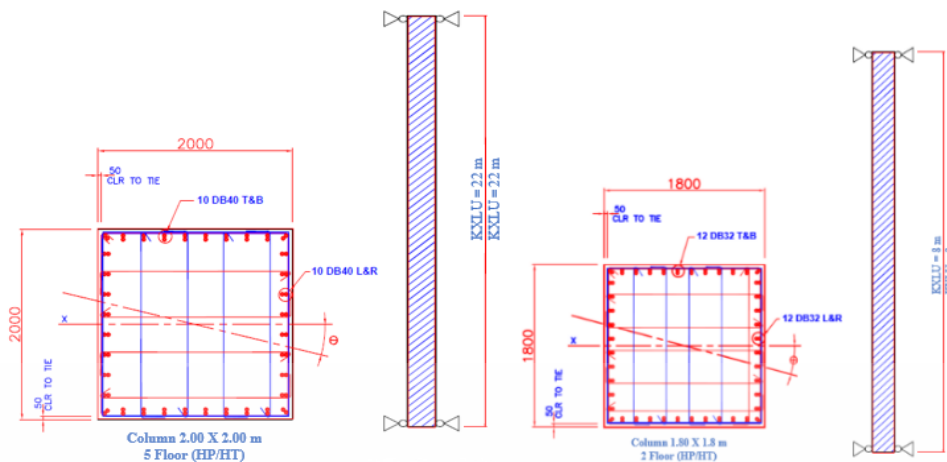
ผลจากแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° ที่เกิดจากแรงระเบิดทั้งภายนอกและภายใน มีผลทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ เสา (Column) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้มาพิจารณาออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ในส่วนของ เสา(Column) ที่สามารถต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.58



ภาพประกอบที่ 4.58 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น (In-External load) ที่บริเวณ

**เสา(Column)แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C°**

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ เสา(Column) เพื่อต้านทานแรงดัน 300บาร์และอุณหภูมิ300C° ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดภายนอกและภายในโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้างขนาดหน้าตัดและเหล็กเสริมโดยพิจารณาถึง ขนาดหน้าตัดของเสา (Column)ที่เหมาะสม , คุณสมบัติของคอนกรีตและคุณสมบัติของเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบ โครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ2ชั้น โดยแสดงภาพประกอบ4.59 ขนาดหน้าตัดของเสา(Column) และเหล็กเสริมอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C°



ภาพประกอบ 4.59 การออกแบบหน้าตัดเสาและเหล็กเสริม โครงสร้างอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น

**ต้านทานแรงดัน 300 บาร์ และ อุณหภูมิ 300°C (In-External load)**

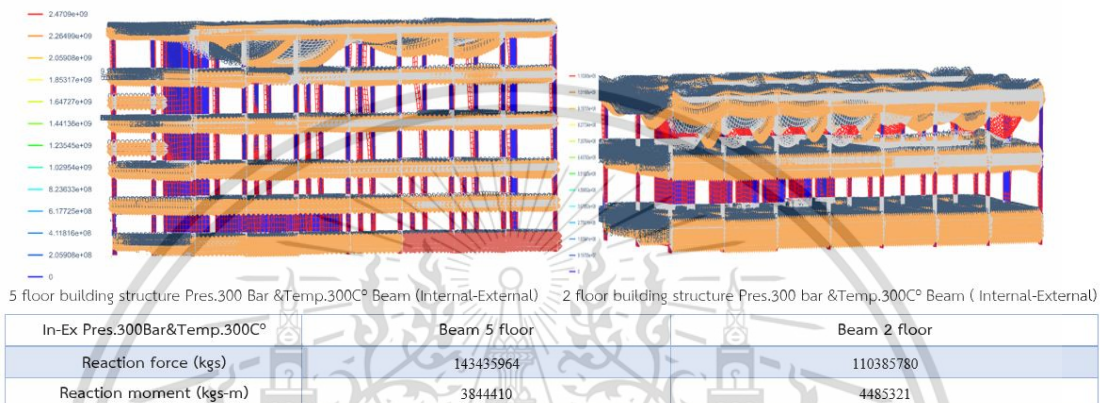
การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น ต้านทานแรงดัน 300 บาร์ และ อุณหภูมิ 300°C การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างเสา (Column) ของระบบแบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.34 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ 4.34 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร 5 ชั้นและ 2 ชั้น ต้านทานแรงดัน 300 บาร์ และ อุณหภูมิ 300°C (In-External load) ส่วนของ เสา (Column)

No	Column detail	5 floor building Property consumption (Press.300 Bar &Temp.300C°)	2 floor building Property consumption (Press.300 Bar &Temp.300C°)
1	Column Dimensions (cm)	200.00 x 200.00	180.00 x 180.00
2	Column Length, H (cm)	2200.00	800.00
3	Main Bars (mm)	40-DB40	48-DB32
4	Stirrup (Casing rebar) cm	16-DB@10	16-DB@10
5	Concrete covering (cm)	0.05	0.05
6	Yield stress $f_y$ (ksc)	5000	4000
7	Elastic Modulus of steel, $E_s$ (ksc)	2040000	2040000

8	Comp.Stress of concrete $f_c'$ (ksc)	1000	1000
9	Elastic Modulus of concrete, $E_c$ (ksc)	478136.38	478136.38

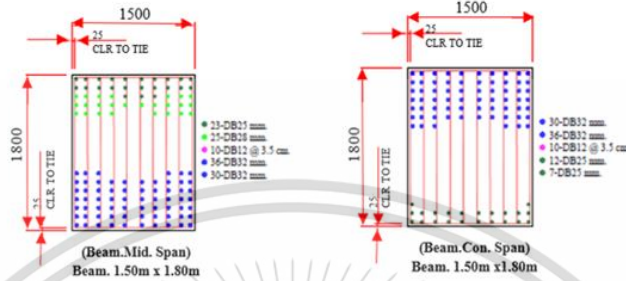
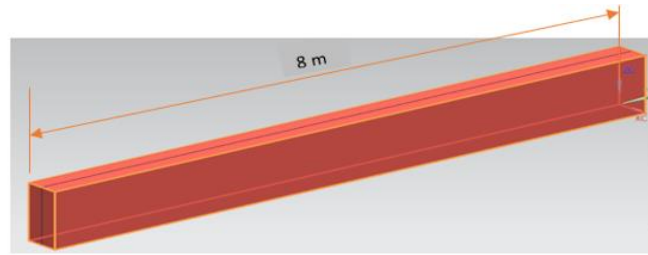
ผลจากแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° ที่เกิดจากแรงระเบิดทั้งภายนอกและภายใน มีผลทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ คาน (Beam) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้มาพิจารณาออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ในส่วนของ คาน (Beam) ที่สามารถต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.60



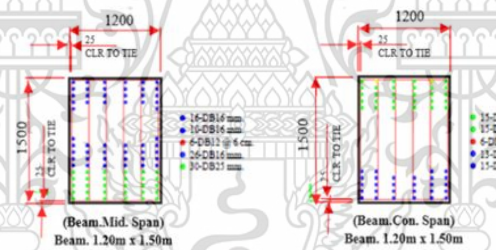
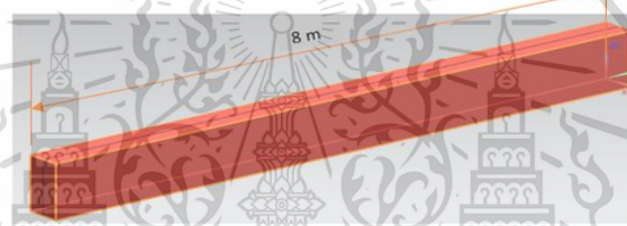
ภาพประกอบที่ 4.60 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น(In-External load) ที่บริเวณ

**คาน(Beam)แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C°**

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ คาน(Beam) เพื่อต้านทานแรงดัน300 บาร์และอุณหภูมิ300C° ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดภายนอกและภายในโดยนำผลที่เกิดขึ้น มาออกแบบโครงสร้างขนาดหน้าตัดและเหล็กเสริมโดยพิจารณาถึง ขนาดหน้าตัดของคาน(Beam) ที่เหมาะสม , คุณสมบัติของคอนกรีตและคุณสมบัติของเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบโครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ2ชั้น โดยแสดงภาพประกอบ4.61 ขนาดหน้าตัดของคาน(Beam) และเหล็กเสริมอาคาร 5ชั้นและ2ชั้น ต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C°



5 floor building structure Beam Internal-External Press.300Bar & Temperature300C°



2 floor building Structure Beam Internal-External Press.300Bar & Temperature 300C°

ภาพประกอบ 4.61 การออกแบบหน้าตัด คานและเหล็กเสริม อาคารต้านทานแรงดัน300 บาร์และ

**อุณหภูมิ300C° (In-External load)**

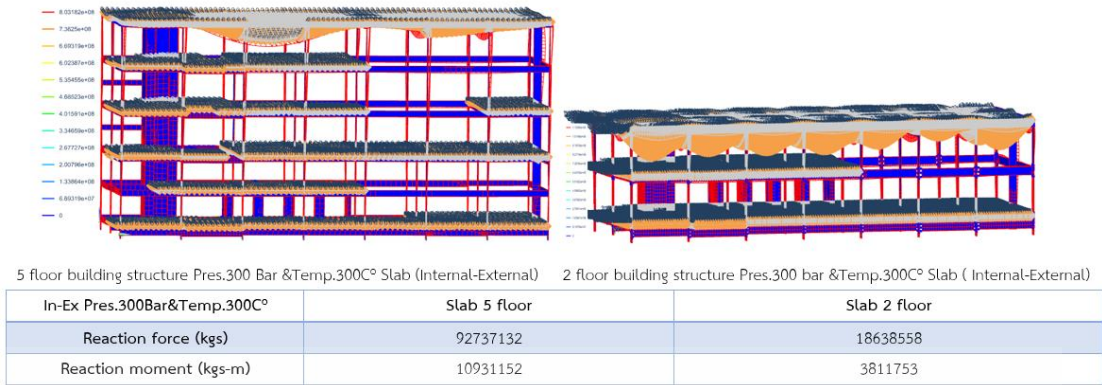
การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างคาน (Beam) ของระบบแบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.35 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ 4.35 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C°(In-External load) ส่วนของ คาน (Beam)

No	Beam detail	5 floor building	2 floor building

		Property consumption (Press.300 Bar &Temp.300C°)	Property consumption (Press.300 Bar &Temp.300C°)
1	Beam Dimensions (cm)	150.00 x 180.00	120.00 x 150.00
2	Beam Length ,H (cm)	800.00	800.00
3	Main Bars (mm)	Mid-span: 23-DB25, 25-DB28, 10-DB12@3.5cm, 36-DB32, 30-DB32 Beam con: 30-DB32, 36-DB32, 10-DB12@3.5cm, 12-DB25, 7-DB25	Mid-span: 16-DB16, 10-DB16, 6-DB12@6cm, 26-DB16, 30-DB25 Beam con: 15-DB25, 15-DB25, 10-B12@6cm, 13-DB16, 15-DB16
4	Stirrup (cm)	10-DB12@3.00	6-DB12@6.00
5	Concrete covering (cm)	0.025	0.025
6	Yield stress $f_y$ (ksc)	5000	5000
7	Elastic Modulus of steel, $E_s$ (ksc)	2040000	2040000
8	Comp.Stress of concrete $f_c'$ (ksc)	380	380
9	Elastic Modulus of concrete, $E_c$ (ksc)	294743.00	294743.00

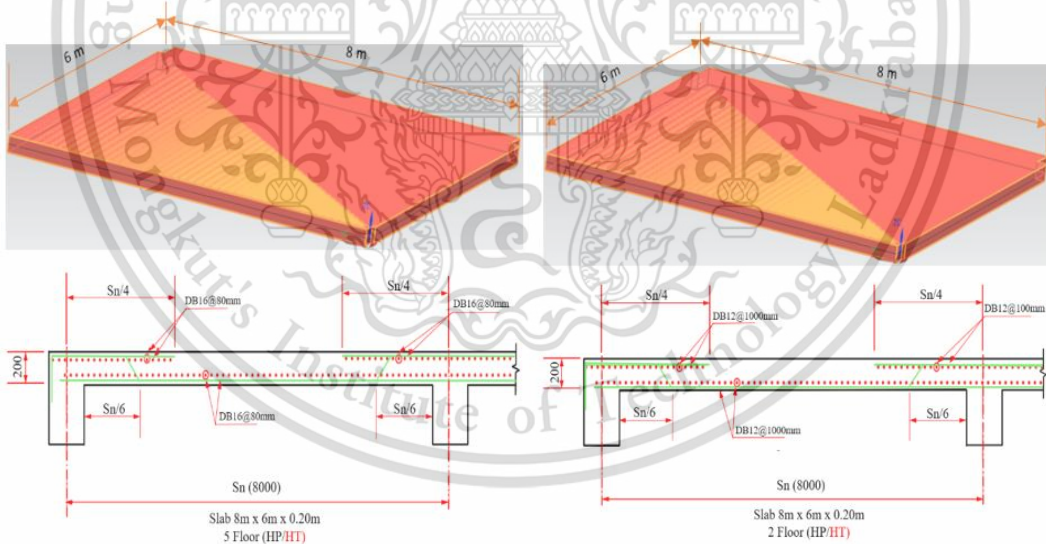
ผลจากแรงดัน 300 บาร์ และ อุณหภูมิ 300°C ที่เกิดจากแรงระเบิดทั้งภายนอกและภายใน มีผลทำให้เกิด Reaction force และ Reaction moment ที่บริเวณ พื้น (Slab) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้มาพิจารณาออกแบบโครงสร้างอาคาร 5 ชั้น และ 2 ชั้น ในส่วนของ พื้น (Slab) ที่สามารถต้านทานแรงดัน 300 บาร์ และ อุณหภูมิ 300°C ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4.62



ภาพประกอบที่ 4.62 ผลวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น (In-External load) ที่บริเวณ

**พื้น(Slab) แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C°**

สำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารในส่วนของ พื้น(Slab) เพื่อต้านทาน แรงดัน300 บาร์และอุณหภูมิ300C° ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดภายนอกและภายในโดยนำผลที่เกิดขึ้น มา ออกแบบโครงสร้างขนาดหน้าตัดและเหล็กเสริมโดยพิจารณาถึง ขนาดหน้าตัดของพื้น(Slab) ที่เหมาะสม , คุณสมบัติของคอนกรีตและคุณสมบัติของเหล็กเสริมที่ใช้ออกแบบโครงสร้างอาคาร 5ชั้นและ2ชั้น โดยแสดงภาพประกอบ 4.63 ขนาดหน้าตัดของพื้น(Slab) และเหล็กเสริมอาคาร5 ชั้นและ2ชั้น (ต้านทาน) แรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C°



ภาพประกอบ 4.63 การออกแบบหน้าตัด คานและเหล็กเสริม อาคารต้านทานแรงดัน300 บาร์และ

**อุณหภูมิ300C° (In-External load)**

การออกแบบส่วนประกอบชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างอาคารอาคาร5ชั้นและ2ชั้น ต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° การออกแบบก่อสร้างส่วนประกอบโครงสร้างพื้น (Slab) ของระบบแบบ orthogonal แสดงตารางที่ 4.36 คุณสมบัติที่ใช้ในการออกแบบ

**ตารางที่ 4.36** ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้น  
ต้านทานแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C°(In-External load) ส่วนของ พื้น  
(Slab)

No	Slab detail	5 floor building Property consumption (Press.300 Bar &Temp.300C°)	2 floor building Property consumption (Press.300 Bar &Temp.300C°)
1	Slab Dimensions (cm)	800.00 x 600.00	800.00 x 600.00
2	Slab thickness (cm)	20.00	20.00
3	Main Bars (mm)	DB16@80	DB12@100
4	Concrete covering (cm)	2.50	2.50
5	Yeild stress $f_y$ (ksc)	5000	5000
6	Elastic Modulus of steel $E_s$ (ksc)	2040000	2040000
7	Comp.Stress of concrete $f_c'$ (ksc)	320	320
8	Elastic Modulus of concrete $E_c$ (ksc)	270474.78	270474.78

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน300บาร์(Bar),อุณหภูมิ300C° และแรงดัน300บาร์ควบรวมกับอุณหภูมิ300 C° (Combine load pressure 300 bar and Temperature 300 C°) ซึ่งผลดังกล่าวสามารถนำมาออกแบบโครงสร้างในส่วนอง เสา (Column),คาน(Beam)และพื้น(Slab) ที่เกิดจากการระเบิดภายในอาคาร,ภายนอกอาคาร, ภายนอกและภายในอาคาร แสดงวิธีการออกแบบและผลวิเคราะห์ที่นำมาออกแบบก่อสร้างโครงสร้างอาคารต้านทาน แรงดัน(High pressure),อุณหภูมิ(High Temperature)และควบรวมกันระหว่างความดันและอุณหภูมิ(Combine High Temperature and High Pressure) จากวิจัยพบว่า การระเบิดทำให้เกิดผลกระทบ3รูปแบบ (1) แรงดัน(High Pressure) (2) อุณหภูมิ(High Temperature) และ (3)ควบรวมระหว่างแรงดันและอุณหภูมิ(Combine high Temperature and High Pressure) และการเกิดขึ้นของการระเบิดจะมี3อย่างด้วยกันคือ(1) เกิดขึ้นภายในอาคาร (2) เกิดขึ้นภายนอกอาคาร (3) เกิดขึ้นทั้งภายนอกและภายในอาคาร ความสูงที่แตกต่างกันของโครงสร้างอาคาร5ชั้นและ2ชั้นจะมีความเหมาะสมสำหรับเลือกใช้อาคารและความเหมาะสมที่จะต้านทานการระเบิด เมื่อนำมาเปรียบเทียบจะพบว่า Reaction Force และ Reaction Moment ที่เกิดขึ้นจะพบว่ามีค่าแตกต่างกัน ทำให้การออกแบบ ขนาด และหน้าตัด(Cross Section) และคุณสมบัติของวัสดุ(Material properties) รวมถึงความแข็งแรง

ของคอนกรีต ( $f_c'$ ) จะมีความแตกต่างกัน ซึ่งทั้งหมดนี้ได้นำมาสรุปและเปรียบเทียบในการออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดันและอุณหภูมิตั้งแต่แสดงผลสรุปงานวิจัย



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

#### 5.สรุปผลการวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดันและอุณหภูมิ (Summarize of research result)

การออกแบบโครงสร้างอาคารต้านทาน แรงดัน300บาร์,อุณหภูมิ300C° และควมรวมระหว่างแรงดัน300บาร์และอุณหภูมิ300C° โหลด(Load)ที่เกิดจากแรงระเบิดภายใน,ภายนอก และทั้งภายในภายนอกอาคาร ในระบบการก่อสร้างแบบ orthogonal ซึ่งผลการที่ได้จากวิเคราะห์โครงสร้างทำให้เกิด Reaction Force และ Reaction moment ในส่วนของ เสา (Column), คาน(Beam) และ พื้น(Slab) ผลดังกล่าวสามารถนำไปออกแบบในส่วนของคุณสมบัติความแข็งแรงของวัสดุตั้งต่อไปนี้

5.1. Reaction Force และ Reaction moment ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดภายในอาคาร ทำให้ เสา (Column), คาน (Beam) และ พื้น (Slab) มี Reaction Force และ Reaction moment เกิดขึ้น สามารถนำไปออกแบบในส่วนของคุณสมบัติความแข็งแรงของวัสดุ

ตารางที่5.1 Reaction Force และ Reaction moment เสา, คาน และ พื้น (Internal Load)

Member	Reaction Force (N)	Reaction moment (N-mm)	Dim. Cross-section (m)	concrete $f_c'$ (ksc)	Yield stress of steel bar, $f_y$ (ksc)
Column 300 bar	43,704,296	7,259,233,280	2.20 x 2.20	380	4,000
Beam 300 bar	83,746,000	4,326,300,000	1.50 x 2.00	320	5,000
Slab 300 bar	72,967,000	607,430,000	0.30	280	4,000
Column 300 C°	2,431,292.75	18,412,986	0.50 x 0.50	380	2,400
Beam 300 C°	1,156,800	62,675,000	0.30 x 0.30	320	240
Slab 300 C°	465,620	62,675,000	0.25	240	2,400
Column 300 bar /300 C°	46,135,588.75	7,277,646,266	2.40 x 2.40	380	4,000
Beam 300 bar /300 C°	84,902,800	4,388,975,000	1.50 x 2.00	320	5,000
Slab 300 bar /300 C°	73,432,620	670,105,000	0.50	280	5,000

สรุปผลโหลดที่เกิดขึ้นภายใน(Internal Load)โครงสร้างอาคาร (1)แรงดัน(Load)ที่กระทำบนโครงสร้างอาคารจะมากกว่าโหลดที่เป็นอุณหภูมิ (2) ขนาดหน้าตัด เสา,คาน,พื้น คุณสมบัติของคอนกรีตและเหล็กเส้นเสริมแรง ส่งผลต่อความต้านทาน แรงดันและอุณหภูมิ (3)

ขนาดพื้นที่ของอาคารเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบส่วนประกอบโครงสร้าง (4) แรงดันจากการระเบิดโดยทั่วไปจะมากกว่าค่าเพื่อการรับน้ำหนักของอาคาร ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงพารามิเตอร์เหล่านี้ในการออกแบบอาคารที่ทนต่อแรงดันและอุณหภูมิ

5.2 Reaction Force และ Reaction moment ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดภายนอกอาคาร ทำให้ เสา (Column), คาน (Beam) และ พื้น (Slab) มี Reaction Force และ Reaction moment เกิดขึ้นทั้งสองอาคาร 2ชั้นและ5ชั้น สามารถนำไปออกแบบในส่วนของขนาดและหน้าตัดรวมถึงคุณสมบัติความแข็งแรงของวัสดุและความเหมาะสมของการเลือกใช้งานอาคาร

ตารางที่5.2 Reaction Force และ Reaction moment เสา,คาน และ พื้น (External Load)

Member	Reaction Force (kgs) 5 FL.	Reaction Force (kgs) 2 FL	Reaction moment (kgs-m) 5 FL	Reaction moment (kgs-m) 2FL	Dim. Cross-section 5FL. (m)	Dim. Cross-section 2FL. (m)	Concrete $f_c'$ 5 FL. (ksc)	concrete $f_c'$ 2 FL (ksc)	Yield stress of steel bar, $f_y$ 2FL(ksc)	Yield stress of steel bar, $f_y$ 5FL(ksc)
Column 300 bar	18,533, 129	15,632, 659	3,110, 703	1,978, 084	2.40 x 2.40	2 x 2	800	1000	5000	5000
Beam 300 bar	36,966, 608	28,484, 569	3,111, 132	2,357, 696	2 x 2.20	1.8 x 2.00	320	320	5000	5000
Slab 300 bar	376,361	121,338	1,574,108	753,934	0.40	0.35	280	280	5000	5000
Column 300 C°	25,448	21,183	1488	1,061	0.45 x 0.45	0.30 x 0.30	280	240	3000	3000
Beam 300 C°	36,435	26,284	1,842	743	0.40 x 0.45	0.30 x 0.45	320	280	3000	3000
Slab 300 C°	36,435 .27	7,602.45	1,888.28	2,103	0.35	0.30	280	280	3000	3000
Column 300 bar /300 C°	18,558, 577	15,653, 842	3,112,192	1,979,144	2.40 x 2.40	2 x 2	800	1000	5000	5000
Beam 300 bar /300 C°	37,003, 043	28,510, 853	3,112,974	2,358,439	2.00 x 2.20	1.8 x 2.00	320	320	5000	5000
Slab 300 bar /300 C°	412,796	128,940	1,575,996	756,037	0.40	0.35	320	320	5000	5000

สรุปผลโหลดที่เกิดขึ้นภายนอก(External Load)โครงสร้างอาคาร (1) แรงดัน,อุณหภูมิ และแรงดันควมรวมกับอุณหภูมิบนโครงสร้างอาคารเสริมแรงพบว่าการระเบิดจากภายนอกมีค่า

มากกว่าแรงระเบิดจากภายใน(2) ความสูงของอาคารจะมีผลกระทบต่อLoadที่กระทำบนโครงสร้าง ดังนั้น โหลดที่กระทำบนโครงสร้างอาคารที่สูงกว่าจะมีโหลดมากกว่าโหลดที่กระทำบนโครงสร้างอาคารที่ต่ำกว่า (3) โหลดแรงดันมีผลกระทบต่อโครงสร้างมากกว่าโหลดที่เกิดจากอุณหภูมิ ดังนั้นจะต้องคำนึงถึงพารามิเตอร์เหล่านี้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารที่ต้านทานต่อแรงดันและอุณหภูมิ

5.3 Reaction Force และ Reaction moment ที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิดภายในและภายนอกอาคาร ทำให้ เสา (Column), คาน (Beam) และ พื้น (Slab) มี Reaction Force และ Reaction moment เกิดขึ้นทั้งสองอาคาร 2ชั้นและ5ชั้น สามารถนำไปออกแบบในส่วนของขนาดและหน้าตัดรวมถึงคุณสมบัติความแข็งแรงของวัสดุและความเหมาะสมของการเลือกใช้งานอาคาร

ตารางที่5.3 Reaction Force และ Reaction moment เสา,คาน และ พื้น (In-External Load)

Member	Reaction Force (kgs) 5 FL.	Reaction Force (kgs) 2 FL	Reaction moment (kgs-m) 5 FL	Reaction moment (kgs-m) 2FL	Dim. Cross-section 5FL.(m)	Dim. Cross-section 2FL.(m)	Concrete $f_c'$ 5 FL. (ksc)	concrete $f_c'$ 2 FL (ksc)	Yield stress of steel bar, $f_y$ 2FL(ksc)	Yield stress of steel bar, $f_y$ 5FL(ksc)
Column 300 bar	143,411,000	110,365,000	3,842,950	4,484,280	2.00 x 2.00	1.80 x 1.80	1000	1000	5000	5000
Beam 300 bar	205,673,000	62,548,100	10,674,600	2,395,340	1.50 x 1.80	1.20 x 1.50	380	380	5000	5000
Slab 300 bar	92,691,700	18,631,100	10,929,300	3,809,690	1.80	1.80	320	320	5000	4000
Column 300 C°	24,963.60	20,779.90	1,460.04	1,040.53	0.60 x 0.60	0.30 x 0.30	320	320	3000	3000
Beam 300 C°	35,743.30	25,784.80	2,226.96	728.65	0.20 x 0.40	0.20 x 0.30	320	280	3000	3000
Slab 300 C°	4,5431.90	7,458.02	1,852.39	2,062.63	0.18	0.18	250	250	3000	3000
Column 300 bar /300 C°	143,435,964	110,385,780	3,844,410	4,485,321	2.00 x 2.00	1.80 x 1.80	1000	1000	5000	4000
Beam 300 bar /300 C°	205,708,743	62,573,885	10,676,827	2,396,069	1.50 x 1.80	1.20 x 1.50	380	380	5000	5000
Slab 300 bar /300 C°	92,737,132	18,638,558	10,931,152	3,811,753	0.20	0.20	320	320	5000	5000

สรุปผลโหลดที่เกิดขึ้นภายใน-ภายนอก (Internal-External Load) โครงสร้างอาคาร (1) โครงสร้างอาคารต้านทานต่อแรงดันและอุณหภูมิทั้งภายในและภายนอกที่เกิดจากแรงระเบิด ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของอาคารจะมีผลต่อโครงสร้างอาคารห้าและสองชั้นภายใต้แรงดัน 300 บาร์ อุณหภูมิโหลด 300 °C (2) โหลดแรงดัน 300 บาร์, อุณหภูมิ 300 °C และควมรวมกันกับแรงดันอุณหภูมิ เมื่อเปรียบเทียบผลปรากฏว่าอาคารสองชั้นจะต้านทานต่อโหลดได้ดีกว่าโครงสร้างอาคารห้าชั้น (3) โหลดที่เกิดจากการระเบิดจากภายใน-ภายนอกมีค่ามากกว่าแรงระเบิดจากภายในและภายนอกเพียงอย่างเดียว

## 6. สรุปการวิจัย (Conclusion research)

ผลการวิจัยโครงสร้างอาคารต้านทานแรงดัน 300 บาร์ (Bar), อุณหภูมิ 300 °C และแรงดัน 300 บาร์ รวมกับอุณหภูมิ 300 °C (Combine load pressure 300 bar and Temperature 300 °C) ซึ่งผลดังกล่าวสามารถนำมาออกแบบโครงสร้างในส่วนของ เสา (Column), คาน (Beam) และ พื้น (Slab) กำหนดให้การระเบิดที่เกิดขึ้นคือ (1) เกิดขึ้นภายในอาคาร (2) เกิดขึ้นภายนอกอาคาร (3) เกิดขึ้นทั้งภายนอกและภายในอาคาร เมื่อนำมาเปรียบเทียบความสูงที่แตกต่างกันของโครงสร้างอาคารห้าชั้นและสองชั้น ความเหมาะสมสำหรับเลือกใช้อาคารสองชั้นจะต้านทานการระเบิดได้ดีกว่าอาคารห้าชั้นเนื่องจากลักษณะของการระเบิดแรงดันและอุณหภูมิที่เกิดขึ้น จะดันตัวจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน (peak  $P_{so}$ ) ช่วงนี้เรียกว่า positive จากนั้นจะดันตัวผ่านชั้นบรรยากาศลงด้านล่าง ( $P_o, -P_{so}$ ) ช่วงนี้จะเรียกว่า Negative จากนั้นแรงดันจะกระจายตัวไปเป็นวงรอบอย่างต่อเนื่องและค่อยๆอ่อนกำลังลง Reaction force , Reaction moment ที่เกิดขึ้นกระทำต่อโครงสร้างอาคารห้าชั้นจะมีมากกว่า อาคารสองชั้นเนื่องจากอยู่ในช่วง peak load ( $P_{so}$ ) และเมื่อนำมาเปรียบเทียบโหลดที่เป็นแรงดันและอุณหภูมิ โหลดที่เป็นแรงดันจะมี Reaction force , Reaction moment ที่เกิดขึ้นมากกว่าโหลดที่เป็นอุณหภูมิ สำหรับการออกแบบอาคารต้านทานแรงระเบิดจะต้องคำนึงถึงแรงดันและอุณหภูมิที่ควมรวมกันจากการระเบิดโดยการ Combine Pressure and Temperature load ซึ่งจะพบว่า Reaction Force และ Reaction Moment ที่เกิดขึ้นช่วงเริ่มต้นของการระเบิด การออกแบบขนาดและหน้าตัด (Cross Section) และคุณสมบัติของวัสดุ (Material properties) รวมถึงความแข็งแรงของคอนกรีต ( $f'c$ ) ต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน สำหรับงานวิจัยนี้โครงสร้างอาคารที่ออกแบบเป็นโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของเหล็กจะมีการเปลี่ยนรูปที่อุณหภูมิตั้งแต่ 200 °C (Behavior of Steel Structures under Elevated Temperature) และคอนกรีตจะพบว่าการเปลี่ยนรูปที่อุณหภูมิตั้งแต่ 500 °C ( Properties of Concrete at Elevated Temperatures) ซึ่งเหล็กจะมีความสามารถต้านทานต่ออุณหภูมิได้น้อยกว่าคอนกรีต แต่คอนกรีตจะมีอัตราการยัดน้อยกว่าเหล็ก เมื่อนำมาเปรียบเทียบโครงสร้างที่เป็นคอนกรีตและโครงสร้างที่เป็นเหล็ก ความเหมาะสมการใช้งานโครงสร้างคอนกรีตต้านทานต่ออุณหภูมิได้ดีกว่า และถ้าต้านทานต่อแรงดันโครงสร้างที่เป็นเหล็กจะต้านทานได้ดีกว่าเนื่องจากมีอัตราการยัดที่สูงกว่าคอนกรีต อย่างไรก็ตามควรออกแบบให้มีความเหมาะสมตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

แนวคิดและการพัฒนาการออกแบบต้านทานแรงดันและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากภายนอกของอาคารสูงควรรออกแบบให้โครงสร้างให้มี facade ที่ด้านนอกเพื่อป้องกันแรงดันและอุณหภูมิที่เกิดจากแรงระเบิดจากภายนอก



## เอกสารอ้างอิง

- [1] Frank J .Hsin (Editor). 1997. **Design of Blast Resistant Buildings in Petrochemical Facilities**. Virginia : ASCE.
- [2] Angelo Castellano, Joseph Caltagirone, ARRADOM Frederick E. Sock, Norval Dobbs,  
**Ammann & Whitney US Department of the Army Technical Manual 1990, TM5-1300. Design of structures to resist the effects of accidental explosions.**
- [3] Ramon Gilsanz, Ronald Hamburger, Darrell Barker, Joseph L. Smith, Ahmad Rahimian ,AUTHOR(S) 2013. **AISC Design Guide 26 Design of Blast Resistant Structures**
- [4] American Society of Civil Engineers. Committee on Structural Dynamics (1961)., **ASCE 42:Design of Structures to Resist Nuclear Weapons Effects**
- [5] Charles J. Oswald,Ph.D.,(Jan,2007) P.E. **Blast Design Considerations for Structural Engineers**
- [6] J A Clarke Professor (Second,edition,2001) of Environmental Engineering University of Strathclyde Glasgow, Scotland, **Energy Simulation Building Design 2nd Edition**
- [7] Joseph.,E.Shepherd (August 2007) California Institute of Technology Pasadena, CA USA 91125,**Structural Response to Explosions**
- [8] David N. Bilow, P.E., S.E., Director, **Engineered Structures,(2008)**, Portland Cement Association 5420 Old Orchard Road, Skokie, IL 60077,Phone 847-972-9064,email:dbilow@cement.org Mahmoud E. Kamara, PhD., Senior Structural Engineer,Portland Cement Association 5420 Old Orchard Road, Skokie, IL 60077, Phone 847-972-9012,
- [9] **International Building Code (2006)** Section 1602.1.
- [10] H. Gulvanessian CEN/TC250 EN 1990 Euro code – **Basis of structural design section 4.1.1**
- [11] Paolo Formichi CEN/TC250/SC1 University of Pisa (Italy) ,**EN 1991-1-1 Euro code 1: Actions on Structures** – Part 1-1: General actions – densities, self-weight, imposed loads for buildings section 3.2
- [12] **ACI318-08: Building code** Requirement for Structural Commentary

- [13] Hrvoje Draganić,(2012) Vladimir Sigmund **BLAST LOADING ON STRUCTURES**
- [14] ASCE/SEI 7-05 **Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures**.  
American Society of Civil Engineers. 2006. p. 1. ISBN 0-7844-0809-2.
- [15] European Committee for Standardization. 2002. "1.5.3.1". Eurocode 0: **Basis of structural design EN 1990**. Bruxelles:
- [16] T. Ngo, P. Mendis, A. Gupta & J. Ramsay.,(2007). **Blast Loading and Blast Effects on Structures – An Overview**, The University of Melbourne, Australia
- [17] Gilbert F. Kenneth J. Graham., 1985. **Explosive Shocks in Air (Chapter9) Internal Blast**
- [18] Cox, A.W., Lees, F.P. and Ang, M.L., '**Classification of Hazardous Locations**', **1993.Hazardous Areas Classification - European Standard**
- [19] Charles J. Oswald, Ph.D., P.E.,( March 22, 2007) **Blast Design Considerations for Structural Engineers Structural Engineers**.
- [20] Le Blanc, M Adoum, VLapoujade (2005) **-External blast load on structures– Empirical approach G, 5th European LS Dyna Users**
- [21] NATO hand Book ( FEBRUARY 1996) on The Medical Aspects of NBC Defensive Operations A Med P-6(B ) Chapter 3. **Effects of Nuclear Explosions**
- [22] Susan Lamont Doctor of Philosophy, University of Edinburgh, 2001 **Structures in Response to Compartment Fires** (The Behaviour of Multi-storey Composite Steel Framed Structures in Response to Compartment Fires Susan Lamont Doctor of Philosophy, University of Edinburgh, 2001.)
- [23] Dechaumphai,P.,( Bangkok,2007) **Finite Element Method in Engineering** , 4<sup>th</sup> Edition, Chulalongkorn University Press.
- [24] Dechaumphai,P.,( , Bangkok,2002) **Finite Element Method for Computational Fluid Dynamics**, Chulalongkorn University Press
- [25] Dechaumphai,P.,( February 1992), **Adaptive Unstructured meshing for Thermal stress Analysis of Built-up Structures**",NASA TM104221.
- [26] For **explanations of Newton's laws** of motion by Newton in the early 18<sup>th</sup> century, by the physicist William Thomson (Lord Kelvin) in the mid-19<sup>th</sup> century
- [27] **The Emerging Science of Spontaneous Order**. Hyperion, 2003, pp 106-109



ภาคผนวก



ภาคผนวก

ผลงานวิจัยในระหว่างการศึกษาที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่



**STRUCTURAL DESIGN FOR PRESSURE- AND TEMPERATURE-  
RESISTANT BUILDINGS**

Boonchai Sonthirongnachaia, and Asst.Prof. Dr. Arthit Petchsasithonb  
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok,  
Thailand

Published in: 2019 Engineering Journal

Engineering Journal

Volume 23 Number 2

ISSN: 0125-8281

DOI: 10.4186/ej.2019.23.2

PUBLISHED: 2019-03-31

**COMPARATIVE STRUCTURAL DESIGN FOR PRESSURE- AND  
TEMPERATURE- RESISTANT BUILDINGS WITH LOADS AFFECTING  
EXTERNALLY ON STRUCTURES OF DIFFERENT HEIGHTS**

Boonchai Sonthirongnachaia, and Asst.Prof. Dr. Arthit Petchsasithonb  
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok,  
Thailand

Published in: 2019 Engineering Journal

Engineering Journal

Volume 23 Number 2

ISSN: 0125-8281

DOI: 10.4186/ej.2019.23.2

PUBLISHED: 2019-03-31

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นาย บุญชัย สนธิธมชัย  
 วัน เดือน ปีเกิด 28 มกราคม 2508 ที่กรุงเทพฯ  
 ที่อยู่ 201/445 อำเภอบางเสาธง ตำบลบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ 10540  
 ประวัติการศึกษา 25550 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยศรี  
 ปทุม

### ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ.2550 ผลงานวิจัยวิทยานิพนธ์ สูตรการคำนวณการสูญเสียแรงในเส้นลวดอัดแรง  
 มหาวิทยาลัยศรีปทุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา  
 ความชำนาญเฉพาะด้าน อุตสาหกรรมปิโตรเคมี  
 ประสบการณ์การทำงาน  
 พ.ศ. 2548-2559 วิศวกรระดับ7  
 บริษัท ปตท. จำกัดมหาชน  
 พ.ศ. 2560-ปัจจุบัน Advisor Engineering Support  
 สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (สปป.ลาว)