

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยของพื้นสำเร็จรูป  
โดยใช้งานเป็นพื้นยื่นสำหรับบ้านพักอาศัย

A STUDYING OF PRECAST CONCRETE SLAB'S SAFETY CAPACITY  
BY USING AS CANTILEVER DESIGN FOR HOUSING



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 58563 /  
วัน,เดือน,ปี..... 25 ส.ค. 2549

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A STUDYING OF PRECAST CONCRETE SLAB'S SAFETY CAPACITY  
BY USING AS CANTILEVER DESIGN FOR HOUSING**



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

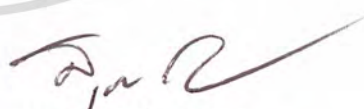
หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยของพื้นสำเร็จรูป  
โดยใช้งานเป็นพื้นยื่นสำหรับบ้านพักอาศัย

นักศึกษา นายเกษมศักดิ์ ยิ้มละม้าย รหัสประจำตัว 43010582  
นายชนาวุฒิ แซ่ไคว้ รหัสประจำตัว 43010650  
นายภักพงษ์ เหลืองบงกช รหัสประจำตัว 43010725

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา  
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ สมเกียรติ ขวัญพุกภัย

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายเซ็น
1. ผศ. สุพจน์ ศรีนิล	
2. อาจารย์ สมเกียรติ ขวัญพุกภัย	
3. อาจารย์ ทรงกลด แซ่อึ้ง	
4. ผศ.ดร.จักรพงษ์ พงษ์เพ็ง	
5. อาจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวร	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

  
(ผศ.สุพจน์ ศรีนิล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา  
วันที่ 26 เดือน เมษายน พ.ศ. 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยของพื้นสำเร็จรูป โดยใช้งานเป็นพื้นยื่นสำหรับบ้านพักอาศัย		
	A STUDYING OF PRECAST CONCRETE SLAB'S SAFETY CAPACITY BY USING AS CANTILEVER DESIGN FOR HOUSING		
นักศึกษา	นายเกษมศักดิ์ ชัมละม้าย	รหัสประจำตัว	43010582
	นายธนาวุฒิ แซ่ไคว่	รหัสประจำตัว	43010650
	นายภักพงษ์ เหลืองบงกช	รหัสประจำตัว	43010725
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ สมเกียรติ ขวัญพุกฤษ์		
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
ปีการศึกษา	2546		

## บทคัดย่อ

ในปัจจุบันชิ้นส่วนสำเร็จรูปเข้ามามีบทบาทอย่างมากในการก่อสร้าง เนื่องจากการทำงานที่ให้ความสะดวกรวดเร็ว สามารถควบคุมคุณภาพและระยะเวลาในการก่อสร้างได้ง่ายกว่าการใช้โครงสร้างหล่อในที่ แต่เนื่องจากพฤติกรรมของพื้นสำเร็จรูปถูกออกแบบมาเพื่อใช้เป็นแบบช่วงเดี่ยวจึงเป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งในการใช้งาน บทความนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อรายงานการค้นคว้าและทดสอบโดยการนำพื้นสำเร็จรูปแผ่นเรียบมาใช้งานเป็นพื้นยื่นสำหรับบ้านพักอาศัยและเนื่องจากโมเมนต์ลَبที่เกิดขึ้นจากพฤติกรรมของพื้นยื่นและด้วยเหตุผลนี้จึงต้องออกแบบเหล็กเสริมในส่วนของคอนกรีตทับหน้า ในการทดสอบได้ทำการวางน้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุดที่ 2.5 เท่าของน้ำหนักบรรทุกออกแบบสำหรับบ้านพักอาศัย (150 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) โดยเพิ่มน้ำหนักบรรทุกทีละร้อยละ 25 ของน้ำหนักบรรทุกทดสอบในช่วงความยาวต่างๆ และวัดค่าการแอ่นตัวพร้อมทั้งสังเกตรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้น จากนั้นนำค่าการแอ่นตัวที่ได้จากการทดสอบไปเปรียบเทียบกับค่าการคำนวณที่ได้ตามทฤษฎี ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการนำแผ่นพื้นสำเร็จรูปแผ่นเรียบมาใช้งานเป็นพื้นยื่นเพื่อที่จะใช้รับน้ำหนักบรรทุกสำหรับบ้านพักอาศัยควรใช้ความยาวพื้นยื่นไม่เกิน 1.0 เมตร จากผลสรุปเห็นได้ว่าจะช่วยลดขั้นตอนการออกแบบในส่วน โมเมนต์ลَبที่เกิดขึ้นกับคาน ทำให้การทำงานของวิศวกรสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title : A STUDYING OF PRECAST CONCRETE SLAB'S SAFETY  
CAPACITY BY USING AS CANTILEVER DESIGN FOR HOUSING

Name : MR.KASEMSAK YIMLAMAI  
MR.THANAWUT SAEKHOW  
MR.PAKPONG LUANGBONGKOT

Field : CIVIL ENGINEERING

Faculty : ENGINEERING

Advisor : MR.SOMKIAT KHWANPRUK

## ABSTRACT

Nowadays precast concrete is mostly taken part in construction because of its more convenience and being faster and we can control qualities and limited time more easily than in-situ concrete in construction, however; the behavior of precast concrete is designed for only simple, so this is the limitation for it. This paper is presented to show the testing of precast concrete plank for cantilever slab of housing. And because negative moment occurs from the behavior of cantilever slab, reinforce is designed for this purpose and it is put in topping concrete. On testing, load test which is put on the slab was 2.5 times of live load designed for housing (150 kilogram per square metre) by gradually increasing 25% of load test at any length, and measuring the deflection, including observing the cracking occurred. After that we took the result from testing to compare to the calculation from theory. The conclusion is that precast concrete plank is used as the cantilever should not be more than 1.0 metre. From this decreasing the process of designing torsion which has an affect on the beam. This makes engineers do their work more conveniently and faster.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ไม่มีคำกล่าวใดที่สามารถบ่งบอกถึงความกรุณา และความอนุเคราะห์ของอาจารย์ สมเกียรติ ขวัญพุกฤษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ได้ ตลอดระยะเวลาของงานศึกษานี้ท่านได้ให้ คำแนะนำ และการสั่งสอนที่มีค่ามากมายนอกเหนือจากขอบข่ายทางวิศวกรรม ท่านได้เน้นให้ประพฤติน โดย อุตสาหกรรมการศึกษา และการปรับปรุงเกี่ยวกับภาษาและการนำเสนองาน ซึ่งถือเป็นสิ่งอันมีค่าที่ผู้ ประพันธ์ได้ จากการศึกษานี้ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นอกเหนือจาก ปรินญาอัน สูงส่ง ขอกล่าวคำขอบคุณอย่างซาบซึ้งและนับถือแด่ อาจารย์สมเกียรติ ขวัญพุกฤษ์

ถือเป็นเกียรติอันสูงส่งแก่ผู้ประพันธ์ที่ได้รับจากคณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆท่าน ด้วยคำแนะนำและข้อคิดเห็นที่กระจ่างชัด ของท่านถือเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับความสำเร็จในงานนี้ ผู้ประพันธ์ได้เรียนรู้สิ่งต่าง ๆ มากมายจาก ท่าน ขอกล่าวคำขอบคุณอย่างยิ่ง สำหรับความเข้าใจ ข้อคิดเห็น และคำชี้แนะที่ท่านมอบให้สำหรับโครง งานนี้ในฐานะกรรมการสอบโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณอย่างซาบซึ้ง สำหรับความร่วมมือ และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งที่ผู้ประพันธ์ได้รับ จากท่านผู้ซึ่งช่วยให้โครงการพิเศษนี้ได้สำเร็จลุล่วงโดยสมบูรณ์ ซึ่งท่านเหล่านั้นได้แก่ บริษัท วิน คอนกรีต จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์แผ่นพื้นสำเร็จรูปที่ใช้ในการทดสอบจำนวนหนึ่ง ขอขอบคุณ บริษัท ซอยล์เทสดีงสยาม จำกัด และบริษัท Excel Precision (Thailand) Ltd ที่ได้ให้ทุนสนับสนุน แก่โครงการพิเศษ ขอขอบคุณท่านเหล่านี้อย่างยิ่ง ขอขอบคุณ เพื่อนร่วมชั้นเรียนที่ให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจแก่ผู้ประพันธ์อย่างดีเสมอมา

ท้ายที่สุดแต่ไม่ใช่น้อยที่สุดสำหรับคำขอบคุณอันพิเศษสุดที่มอบให้แก่สมาชิกครอบครัวทุกคนที่ มอบความรัก ความห่วงใยและให้การช่วยเหลืออย่างต่อเนื่องตลอดการศึกษาของผู้ประพันธ์และ ขอขอบคุณห้องสมุด KMITL สำหรับหนังสือและแหล่งข้อมูลอันทรงค่าสำหรับงานศึกษานี้

นายเกษมศักดิ์ ยิ้มละม้าย

นายธนาวุฒิ แซ่โก้ว

นายภักพงษ์ เหลืองบงกช

ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่ เรื่อง	หน้า
ปกใน (ภาษาไทย)	ก
ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
หน้าอนุมัติ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ฏ
คำอธิบายคำย่อ	ณ
<b>1 บทนำ</b>	
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2. วัตถุประสงค์	1
1.3. ขอบเขตของโครงการพิเศษ	2
<b>2 วรรณกรรมปริทัศน์</b>	
2.1. ทฤษฎี	3
2.1.1. พฤติกรรมของพื้นที่สำเร็จโดยทั่วไป	3
2.1.1.1. หลักการของพื้นที่สำเร็จรูป	3
2.1.2. โครงสร้างคอมโพสิต	3
2.1.2.1. ข้อดีของโครงสร้างคอมโพสิต	3
2.1.2.2. การวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นของโครงสร้างคอมโพสิต	4
2.1.2.3. การวิเคราะห์หน่วยแรงเฉือนแนวราบที่แนวรอยต่อระหว่างผิวคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จกับพื้นที่หล่อในที่	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่ เรื่อง	หน้า
2.1.3. การเชื่อมลวดของการอัดแรง	6
2.1.3.1. การเชื่อมลวดเนื่องจากการหดตัวอีลาสติกของคอนกรีต	6
2.1.3.2. การเชื่อมลวดเนื่องจากการคลายแรงของเหล็กเสริมอัดแรง	6
2.1.3.3. การเชื่อมลวดเนื่องจากการคืบของคอนกรีต	6
2.1.4. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน	7
2.1.5. การหาค่าการแอ่นตัว	7
2.1.5.1. การหาค่าการแอ่นตัวโดยวิธี Double Integration	7
2.1.5.2. การหาค่าการแอ่นตัวโดยวิธี Moment Area	8
2.2. การวิเคราะห์ทางทฤษฎี	11
2.2.1. หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากโครงสร้างคอมโพสิต	11
2.2.2. หน่วยแรงเฉือนในแนวราบที่เกิดขึ้นจากโครงสร้างคอมโพสิต	11
2.2.3. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน	12
2.2.4. การวิเคราะห์ความยาวเหล็กเสริม	13
2.2.5. การวิเคราะห์ค่าการแอ่นตัว	13
2.2.6. มาตรฐานการทดสอบ	14
<b>3 การดำเนินการทดสอบ</b>	
3.1. วัสดุและอุปกรณ์	15
3.2. คุณสมบัติของพื้นสำเร็จรูปแผ่นเรียบ	15
3.2.1. วัสดุที่ใช้ในการผลิต	15
3.2.2. คุณสมบัติในการรับน้ำหนักบรรทุกจร	15
3.3. ลักษณะแผ่นพื้นที่ใช้ในการทดสอบ	16
3.4. การเตรียมแผ่นพื้นเพื่อการทดสอบ	16
3.5. การติดตั้งเครื่องมือทดสอบ	17
3.6. การทดสอบและการบันทึกข้อมูลทดสอบการรับน้ำหนักแบบแผ่กระจาย	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
4	ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล	
	4.1 ผลการทดสอบ	19
	4.2. การวิเคราะห์ผลการทดสอบ	42
5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
	5.1. สรุปผลการทดสอบ	45
	5.2. ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้งานจริง	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1.	ตารางสรุปรายการคำนวณหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากโครงสร้างคอมโพสิต	11
2.2.	ตารางสรุปรายการคำนวณหน่วยแรงเฉือนในแนวราบ ที่เกิดขึ้นจากโครงสร้างคอมโพสิต	12
2.3.	ตารางสรุปรายการคำนวณการเสริมเหล็ก	12
2.4.	ตารางสรุปรายการคำนวณความยาวการเสริมเหล็ก	13
2.5.	ตารางสรุปรายการคำนวณค่าการแอ่นตัว	14
3.1.	ตารางการรับน้ำหนักบรรทุกจรของพื้นสำเร็จรูป	15
4.1.	ตารางบันทึกผลการทดสอบที่ระยะความยาวพื้นยื่น 1.0 m. (ชุดที่ 1)	20
4.2.	ตารางบันทึกผลการทดสอบที่ระยะความยาวพื้นยื่น 1.0 m. (ชุดที่ 2)	21
4.3.	ตารางบันทึกผลการทดสอบที่ระยะความยาวพื้นยื่น 1.2 m. (ชุดที่ 1)	22
4.4.	ตารางบันทึกผลการทดสอบที่ระยะความยาวพื้นยื่น 1.2 m. (ชุดที่ 2)	23
4.5.	ตารางบันทึกผลการทดสอบที่ระยะความยาวพื้นยื่น 1.4 m. (ชุดที่ 1)	24
4.6.	ตารางบันทึกผลการทดสอบที่ระยะความยาวพื้นยื่น 1.4 m. (ชุดที่ 2)	25
4.7.	ตารางบันทึกผลการทดสอบที่ระยะความยาวพื้นยื่น 1.6 m. (ชุดที่ 1)	26
4.8.	ตารางบันทึกผลการทดสอบที่ระยะความยาวพื้นยื่น 1.6 m. (ชุดที่ 2)	27
4.9.	ตารางสรุปผลการทดสอบ	28
4.10.	ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวที่ได้จากการทดสอบ กับค่าการแอ่นตัวที่คำนวณได้จากทฤษฎี	42
5.1.	ตารางแสดงความสามารถในการรับโมเมนต์	46
5.2.	ตารางแสดงความสามารถในการรับหน่วยบนหน้าตัดเกิดขึ้น	46
5.3.	ตารางแสดงความสามารถในการรับหน่วยแรงเฉือนในแนวราบที่เกิดขึ้น	46

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1.	การกระจายของหน่วยแรงบนหน้าตัดคอนกรีต	3
2.2.	พฤติกรรมโครงสร้างคอมโพสิต	5
2.3.	แสดงการวาด Moment diagram, $\frac{M}{EI}$ diagram สำหรับคานและการวาด Elastic curve	8
2.4.	แสดงการหาระยะการแอ่นตัวในแนวดิ่ง	9
3.1.	ลักษณะการทดสอบ	16
3.2.	รูปตัดของแผ่นพื้นและทับหน้าที่ใช้ในการทดสอบ	16
3.3.	การติดตั้ง DIAL GAUGE	17
4.1.	กราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุก ที่ค่าต่าง ๆ ที่ระยะความยาวช่วง 1.00 m. (ชุดที่ 1)	29
4.2.	กราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุก ที่ค่าต่าง ๆ ที่ระยะความยาวช่วง 1.00 m. (ชุดที่ 2)	30
4.3.	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุก ที่ค่าต่าง ๆ ที่ระยะความยาวช่วง 1.00 m.	31
4.4.	กราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุก ที่ค่าต่าง ๆ ที่ระยะความยาวช่วง 1.20 m. (ชุดที่ 1)	32
4.5.	กราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุก ที่ค่าต่าง ๆ ที่ระยะความยาวช่วง 1.20 m. (ชุดที่ 2)	33
4.6.	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุก ที่ค่าต่าง ๆ ที่ระยะความยาวช่วง 1.20 m.	34
4.7.	กราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุก ที่ค่าต่าง ๆ ที่ระยะความยาวช่วง 1.40 m. (ชุดที่ 1)	35
4.8.	กราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุก ที่ค่าต่าง ๆ ที่ระยะความยาวช่วง 1.40 m. (ชุดที่ 2)	36
4.9.	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุก ที่ค่าต่าง ๆ ที่ระยะความยาวช่วง 1.40 m.	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.10.	กราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุกที่ค่าต่าง ๆ ที่ระยะความยาวช่วง 1.60 m. (ชุดที่ 1)	38
4.11.	กราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุกที่ค่าต่าง ๆ ที่ระยะความยาวช่วง 1.60 m. (ชุดที่ 2)	39
4.12.	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุกที่ค่าต่าง ๆ ที่ระยะความยาวช่วง 1.60 m.	40
4.13.	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวจากการทดสอบ ณ ตำแหน่งปลายของแผ่นพื้นกับน้ำหนักบรรทุกที่ค่าต่าง ๆ ของช่วงความยาวต่าง ๆ	41
4.14.	แสดงการเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวที่ได้จากการทดสอบกับค่าการแอ่นตัวที่คำนวณได้จากทฤษฎีที่ระยะความยาวช่วง 1.0 m.	42
4.15.	แสดงการเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวที่ได้จากการทดสอบกับค่าการแอ่นตัวที่คำนวณได้จากทฤษฎีที่ระยะความยาวช่วง 1.2 m.	43
4.16.	แสดงการเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวที่ได้จากการทดสอบกับค่าการแอ่นตัวที่คำนวณได้จากทฤษฎีที่ระยะความยาวช่วง 1.4 m.	43
4.17.	แสดงการเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวที่ได้จากการทดสอบกับค่าการแอ่นตัวที่คำนวณได้จากทฤษฎีที่ระยะความยาวช่วง 1.6 m.	44
5.1.	รูปตัวอย่างการเสริมเหล็กกันกระดกที่ปลายคาน	47
5.2.	แสดงตัวอย่างเหตุการณ์ที่อาจทำให้เกิดการแตกร้าวที่ผิวคอนกรีตได้	48
ผก.1.	การเตรียมแบบหล่อสำหรับเทคอนกรีตทับหน้า	ผก 2
ผก.2.	ลักษณะการวางเหล็กเสริมและเหล็กตะแกรง	ผก 2
ผก.3.	การเทคอนกรีตทับหน้า	ผก 3
ผก.4.	การตรวจสอบระยะการยุบตัวของคอนกรีต	ผก 3
ผก.5.	การเตรียมแบบหล่อใช้สำหรับทดสอบกำลังของคอนกรีต	ผก 4
ผก.6.	ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบกำลังของคอนกรีต	ผก 4
ผก.7.	การทดสอบกำลังของคอนกรีตก่อนการทดสอบแผ่นพื้น	ผก 5
ผก.8.	การเตรียมแผ่นพื้นที่ใช้ในการทดสอบและการติดตั้ง DIAL GAUGE	ผก 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผก.9.	การทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบที่ $93.75 \text{ kg/m}^2$ และวัดค่าการแอ่นตัว	ผก 6
ผก.10.	การทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบที่ $187.50 \text{ kg/m}^2$ และวัดค่าการแอ่นตัว	ผก 6
ผก.11.	การทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบที่ $281.25 \text{ kg/m}^2$ และวัดค่าการแอ่นตัว	ผก 7
ผก.12.	การทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบที่ $375 \text{ kg/m}^2$ และวัดค่าการแอ่นตัว	ผก 7
ผก.13.	ตรวจสอบรอยแตกร้าวหลังจากวางน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบที่ $375 \text{ kg/m}^2$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	ผก 8
ผก.14.	ปลดน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบ เพื่อวัดค่าการคืนตัวที่ 24 ชั่วโมง	ผก 8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คำอธิบายสัญลักษณ์

## สัญลักษณ์

## ความหมาย

A	พื้นที่หน้าตัดของคอนกรีตอัดแรง
$A_{pc}$	พื้นที่หน้าตัดของคอนกรีตพื้นสำเร็จรูป
$A_{ps}$	พื้นที่หน้าตัดของลวดอัดแรงในพื้นที่สำเร็จรูป
$b_f$	ความกว้างของผิวรอยต่อ
$b_c$	ความกว้างเทียบเท่าของหน้าตัดแปลง
c	ระยะระหว่างตำแหน่งบนหน้าตัดคอนกรีตถึงแกน
$c_b$	ระยะจากศูนย์กลางของหน้าตัดถึงขอบล่าง
$c_t$	ระยะจากศูนย์กลางของหน้าตัดถึงขอบบน
CR	การเสื่อมลดเนื่องจากการคืบของคอนกรีต
$d_{pc}$	ความลึกประสิทธิภาพของเหล็กเสริมอัดแรงสำหรับหน้าตัดคอมโพสิต
ES	การเสื่อมลดเนื่องจากการหดตัวอีลาสติกของคอนกรีต
$E_s$	โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก
$E_{ci}$	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเมื่อเริ่มการอัดแรง
e	ระยะเยื้องศูนย์กลาง
$f_c$	หน่วยแรงอัดสูงสุดที่ยอมให้ในคอนกรีตที่สภาวะใช้งาน
$f_c'$	กำลังอัดของคอนกรีต
$f_{ci}'$	กำลังอัดของคอนกรีตเมื่อเริ่มการอัดแรง
$f_{cs}$	หน่วยแรงในคอนกรีตที่แนวของเหล็กเสริมอัดแรง ทันทีหลังจากการถ่ายแรง
$f_{csd}$	หน่วยแรงในคอนกรีตที่แนวของเหล็กเสริมอัดแรงหลังจากการอัดแรง เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ทั้งหมด
$f_{pi}$	หน่วยแรงดึงเบื้องต้นก่อนการเสื่อมลด
$f_{pu}$	หน่วยแรงดึงสูงสุดที่ลวดอัดแรงรับได้
$f_{py}$	จุดครากของลวดอัดแรง
$f_{pc}$	หน่วยแรงดึงประสิทธิภาพหลังการเสื่อมลด
$f_t$	หน่วยแรงดึงสูงสุดที่ยอมให้ในคอนกรีต
I	โมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดคอมโพสิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คำอธิบายสัญลักษณ์

## สัญลักษณ์

## ความหมาย

$I_c$	โมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดคอนกรีต
$I_{pc}$	โมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดคอนกรีตในส่วนพื้นสำเร็จรูป
$I_{tr}$	โมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดแปลง
$K_{CR}$	ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับองค์อาคารอัดแรง
$M$	โมเมนต์ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด(รวมน้ำหนักตัวเองด้วย)
$M_D$	โมเมนต์ที่เกิดจากน้ำหนักตัวเอง
$M_{SD}$	โมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกกองค้ำ
$\Delta M$	โมเมนต์ที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดคอม โพลิต
$n$	อัตราส่วน โมดูลัส
$P_c$	แรงอัดประสิทธิภาพ
$P_i$	แรงที่หักลบการสูญเสียแรงดึงในเหล็กเสริมที่เกิดขึ้นทันทีทันใด
$Q$	โมเมนต์ที่หนึ่งของพื้นที่คอนกรีตพื้นหล่อในที่รอบแกนศูนย์ถ่วงของหน้าตัดคอม โพลิต
$r$	รัศมีจายเรชั่นของหน้าตัดทั้งหมด
$RE$	การเสื่อมลดเนื่องจากการคลายแรงของเหล็กเสริมอัดแรง
$v_h$	หน่วยแรงเฉือนแนวราบที่เกิดขึ้นที่รอยต่อ
$v_{nh}$	กำลังต้านทานแรงเฉือนแนวราบที่รอยต่อของหน้าตัด
$V_u$	แรงเฉือนรวมเพิ่มส่วน
$v_{uh}$	หน่วยแรงเฉือนแนวราบที่รอยต่อที่ต้องการ
$w_D$	น้ำหนักบรรทุกทุกกองที่
$w_L$	น้ำหนักบรรทุกจร
$w_{SD}$	น้ำหนักบรรทุกทุกกองค้ำ
$w_u$	น้ำหนักบรรทุกจรทั้งหมด
$\sigma_c$	หน่วยแรงในคอนกรีต
$\Delta\sigma_c$	หน่วยแรงอัดบนหน้าตัดคอม โพลิต
$\Delta v$	แรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกทุกที่สามารถกระทำต่อหน้าตัดคอม โพลิต
$\phi$	ตัวคูณลดกำลังสำหรับแรงเฉือนมีค่าเท่ากับ 0.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คำอธิบายคำย่อ

คำย่อ

ชื่อเต็ม

A.C.I	American Concrete Institute
BMD	Bending Moment Diagram
KMITL	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
ksc	kilogram per square centimeter
SFD	Shear Force Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การก่อสร้างบ้านพักอาศัยในปัจจุบันนั้นมีแนวโน้มว่าส่วนใหญ่จะหันมาใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปแทนการก่อสร้างแบบหล่อในที่ไม่ว่าจะเป็นทั้งเสา ผนัง และพื้น เป็นต้น ซึ่งมีผลดี คือช่วยลดขั้นตอนที่ยุ่งยากในการทำแบบหล่อการวางเหล็กเสริมและไม่ต้องเสียเวลาในการรอให้คอนกรีตแข็งตัวจนสามารถรับกำลังได้ ทำให้สามารถควบคุมระยะเวลาในการก่อสร้างได้แน่นอนมากขึ้น ประหยัดและสะดวกต่อการทำงานอีกด้วย ซึ่งชิ้นส่วนสำเร็จรูปเหล่านี้จะได้มาตรฐานทั้งขนาด รูปร่าง และกำลังที่สามารถรับได้มากเนื่องจากการเสริมด้วยลวดอัดแรงกำลังสูง ซึ่งทางโรงงานจะต้องผลิตให้ได้มาตรฐาน ด้วยเหตุนี้เองการก่อสร้างในปัจจุบันจึงนิยมใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปมากขึ้น ซึ่งในการออกแบบพื้นยื่นส่วนใหญ่จะออกแบบเป็นโครงสร้างหล่อในที่ และเนื่องจากพฤติกรรมของพื้นสำเร็จรูปที่ออกแบบมาเพื่อรับโมเมนต์บวกที่เกิดจากพฤติกรรมของพื้นช่วงเดี่ยวนั้น จึงเป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งในการใช้งาน

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาทดสอบความสามารถในการนำพื้นสำเร็จรูปแบบแผ่นเรียบมาใช้งานเป็นพื้นยื่น โดยจะต้องทำการเสริมเหล็กบนในส่วนคอนกรีตทับหน้าเพื่อรับ โมเมนต์ลบที่เกิดขึ้นจากพฤติกรรมของพื้นยื่น ซึ่งถ้าพื้นสำเร็จรูปแบบแผ่นเรียบมาใช้งานเป็นพื้นยื่นได้ก็จะทำให้ขั้นตอนการทำพื้นรวดเร็วยิ่งขึ้น และไม่ทำให้เกิดโมเมนต์บิดกับคานตัวที่รับพื้นยื่น ทำให้การออกแบบคานสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งข้อมูลที่ได้จะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบ และช่วยเพิ่มความมั่นใจให้แก่วิศวกรผู้ออกแบบในระดับหนึ่ง

### 1.2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของแผ่นพื้นสำเร็จรูปแผ่นเรียบโดยใช้งานเป็นพื้นยื่น
2. เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบและใช้งานจริง

### 1.3. ขอบเขตของโครงการพิเศษ

1. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะใช้วิธีหน่วยแรงใช้งานเป็นเกณฑ์
2. การออกแบบจะใช้น้ำหนักบรรทุกจรออกแบบสำหรับบ้านพักอาศัย คือ  $150 \text{ kg/m}^2$  โดยการทดสอบจะใช้ค่า FS. 2.5
3. การทดสอบคอนกรีตที่หน้าจะเทให้เสมอกับปลายแผ่นพื้นสำเร็จรูปเท่านั้น
4. การทดสอบจะทดสอบในช่วงความยาวของส่วนยื่นไม่เกิน 4 ช่วง ช่วงละ 2 ชุดทดสอบ
5. การทดสอบจะทดสอบเฉพาะกรณีใช้น้ำหนักแผ่กระจายเต็มแผ่นพื้นเท่านั้น
6. การทดสอบจะนำไปเปรียบเทียบกับรายการคำนวณทางทฤษฎี
7. การทดสอบใช้แผ่นพื้นสำเร็จแผ่นเรียบขนาด  $0.35 \times 4 \text{ m}$ หนา 5 cm ลวดอัดแรง 5 เส้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### วรรณกรรมปริทัศน์

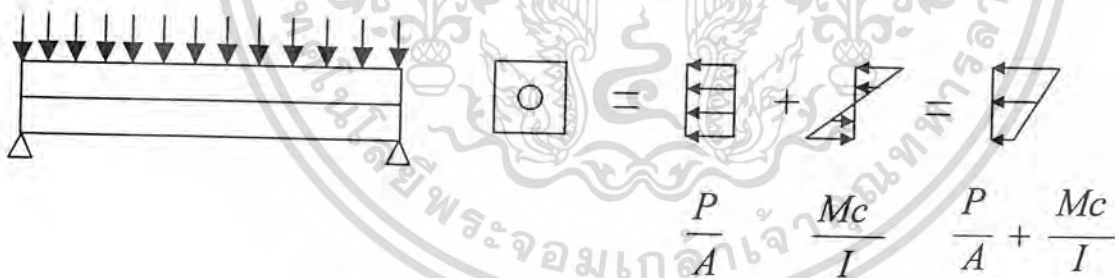
#### 2.1. ทฤษฎี

##### 2.1.1. พฤติกรรมของพื้นสำเร็จโดยทั่วไป <sup>(1)</sup>

พื้นสำเร็จรูป คือ แผ่นพื้นที่ทำการหล่อสำเร็จมาจากโรงงานเป็นที่เรียบร้อยแล้ว และมีการเสริมลวดอัดแรงเข้าไปเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนัก

##### 2.1.1.1. หลักการของพื้นสำเร็จรูป

พื้นสำเร็จรูปที่ผลิตสำเร็จแล้วนั้นจะเกิดแรงอัดขึ้นในคอนกรีต เนื่องจากลวดอัดแรงที่เสริมเข้าไป เมื่อทำการตัดลวดที่ได้ตั้งไว้หลังจากที่คอนกรีตแข็งตัวแล้ว พฤติกรรมของลวดก็จะพยายามหดตัวกลับมาซึ่งทำให้เกิดแรงอัดขึ้นในคอนกรีตก่อนการใช้งาน เมื่อให้แรงอัดไว้ก่อนก็เท่ากับเป็นการปรับปรุงความสามารถในการรับแรงดึงของคอนกรีต กล่าวคือ หน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดคอนกรีต จะเป็นผลรวมของหน่วยแรงเนื่องจากการอัดแรงและหน่วยแรงเนื่องจากโมเมนต์ภายนอกซึ่งทำให้เกิดแรงอัดในส่วนบนและแรงดึงในส่วนล่าง แรงดึงส่วนล่างนี้จะไปหักล้างกับแรงอัดจากการอัดแรงจึงทำให้แรงดึงในส่วนล่างนี้น้อยลงหรือหมดไป ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1. การกระจายของหน่วยแรงบนหน้าตัดคอนกรีต

##### 2.1.2. โครงสร้างคอมโพสิต

โครงสร้างคอมโพสิตประกอบด้วย ชั้นส่วนคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จและชั้นส่วนคอนกรีตหล่อที่รับร่วมนกันโดยอาศัยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวทั้งสอง

##### 2.1.2.1. ข้อดีของโครงสร้างคอมโพสิต

- สามารถลดเวลาในการก่อสร้างลงได้
- ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพดี ซึ่งโรงงานผลิตต้องควบคุมคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทำแบบหล่อและค้ำยัน
- ช่วยเพิ่มความต่อเนื่องของโครงสร้าง ซึ่งส่วนที่หล่อทับที่จะออกแบบสำหรับการรับน้ำหนักเพิ่มจากชั้นส่วนสำเร็จรูป

#### 2.1.2.2. การวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นของโครงสร้างคอมโพสิต

คุณสมบัติของคอนกรีตในส่วนของชั้นส่วนคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ จะแตกต่างไปจากคอนกรีตหล่อทับที่ เนื่องจากคอนกรีตที่ใช้ อาจมีกำลังต่างกันและอายุของคอนกรีตก็แตกต่างกันด้วย การวิเคราะห์โครงสร้างคอมโพสิตภายใต้สถานะ การใช้งานจะสมมติว่าโครงสร้างคอมโพสิตมีพฤติกรรมยืดหยุ่น การกระจายของหน่วยการยึดหดตัวเป็นเส้นตรงตลอดหน้าตัด หน่วยแรงดึงและแรงอัดของคอนกรีตจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับหน่วยการยึดหดตัวตามกฎของฮุก เนื่องจากคอนกรีตในส่วนของชั้นส่วนคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จแตกต่างไปจากคอนกรีตในส่วนของคอนกรีตหล่อทับที่ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตก็จะแตกต่างกันด้วย ดังนั้นหน่วยการยึดหดตัวค่าหนึ่ง ค่าหน่วยแรงดึงและอัดในคอนกรีตในส่วนของชั้นส่วนคอนกรีตอัดแรงจะไม่เท่ากับหน่วยแรงดึงและอัดในคอนกรีตในส่วนของคอนกรีตหล่อทับที่

ขั้นตอนการวิเคราะห์โครงสร้างคอมโพสิตโดยทฤษฎีอีลาสติก

- 1) ขั้นตอนขณะถ่ายแรง จะพิจารณาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนชั้นส่วนคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ เนื่องจากแรงอัดจากเหล็กเสริมอัดแรงและน้ำหนักตัวเอง
- 2) ขั้นตอนขณะเทคอนกรีตทับที่ ต้องพิจารณาว่ามีค้ำยันรองรับขณะเทพื้นหรือไม่
  - 2.1) ไม่มีค้ำยันรองรับ จะพิจารณาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนชั้นส่วนคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ เนื่องจากแรงอัดจากเหล็กเสริมอัดแรง น้ำหนักชั้นส่วนน้ำหนักพื้นคอนกรีตและน้ำหนักอุปกรณ์ก่อสร้างต่าง ๆ ขณะเทพื้น
  - 2.2) มีค้ำยันรองรับ จะพิจารณาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนชั้นส่วนคอนกรีตอัดแทนหล่อสำเร็จเนื่องจากแรงอัดจากเหล็กเสริมอัดแรง และน้ำหนักชั้นส่วนเท่านั้น ส่วนน้ำหนักของพื้นคอนกรีตและน้ำหนักอุปกรณ์ก่อสร้างต่าง ๆ จะถ่ายสู่ค้ำยันแทน
- 3) ขั้นตอนขณะใช้งาน หลังจากคอนกรีตหล่อทับที่แข็งตัวแล้ว หน้าตัดที่รับแรงจะเป็นหน้าตัดคอมโพสิต
  - 3.1) ไม่มีค้ำยันรองรับ จะพิจารณาหน่วยแรงบนหน้าตัดคอมโพสิตที่เพิ่มขึ้นเนื่องจาก น้ำหนักคงที่เพิ่มเติมและน้ำหนักบรรทุกจร หลังจากนั้นจะนำหน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นไปรวมกับหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จในขั้นตอนที่ 2
  - 3.2) มีค้ำยันรองรับ จะพิจารณาหน่วยแรงบนหน้าตัดคอมโพสิตที่เพิ่มขึ้น เนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากน้ำหนักคงที่เพิ่มเติม น้ำหนักบรรทุกจร และน้ำหนักพื้นคอนกรีตด้วย  
หลังจากนั้นน้ำหนักแรงที่เพิ่มขึ้นไปรวมกับหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัด  
คอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จในขั้นตอนที่ 2

โดยมีการคำนวณดังสมการที่ 2.1 - 2.3 ในดังนี้

ขณะถ่ายแรง

$$\sigma_c = \frac{P_t}{A} \pm \frac{P_{ec}}{I} \pm \frac{M_{DC}}{I} \quad (2.1)$$

ขณะเทพื้นหล่อในที่

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A} \pm \frac{P_{ec}}{I} \pm \frac{Mc}{I} \quad (2.2)$$

ขณะใช้งาน

$$\Delta\sigma_c = \frac{\Delta Mc}{I} \quad (2.3)$$

### 2.1.2.3. การวิเคราะห์หน่วยแรงเฉือนแนวราบที่แนวรอยต่อระหว่างผิวคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จกับพื้นหล่อในที่

พฤติกรรมคอมโพสิตระหว่างคอนกรีตอัดแรงและพื้นหล่อในที่ที่เกิดขึ้นได้สมบูรณ์ก็ต่อเมื่อกำลังรับแรงเฉือนที่รอยต่อระหว่างผิวสัมผัสทั้ง 2 มีเพียงพอที่จะไม่เกิดการเคลื่อนแยกตัวที่รอยต่อ (Slip) กำลังรับแรงเฉือนที่รอยต่อของชิ้นส่วนคอมโพสิตนี้จึงมีความสำคัญมาก ถ้ากำลังรับแรงเฉือนนี้ไม่เพียงพอ เมื่อชิ้นส่วนนี้รับน้ำหนักบรรทุกก็จะเป็นการเคลื่อนแยกตัวที่รอยต่อและพฤติกรรมคอมโพสิตก็จะไม่เกิดขึ้น ดังรูป 2.2



ก) พฤติกรรมคอมโพสิตสมบูรณ์



ข) พฤติกรรมคอมโพสิตไม่เกิด

รูปที่ 2.2. พฤติกรรมโครงสร้างคอมโพสิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาที่จุดประลัยซึ่งขณะนั้นการแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่หน้าตัดพฤติกรรมจะไม่เป็นอีลาสติก ค่าหน่วยแรงเฉือนแนวราบที่รอยต่อหาได้จากสมการที่ 2.4

$$v_{uh} = \frac{V_u}{b_f d_p} \quad (2.4)$$

การออกแบบหน่วยแรงเฉือนแนวราบที่รอยต่อจะต้องออกแบบให้หน่วยแรงเฉือนของหน้าตัดที่ยอมให้มากกว่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ดังสมการที่ 2.5

$$v_{nh} \geq \frac{v_{uh}}{\phi} \quad (2.5)$$

### 2.1.3. การเสื่อมลดของการอัดแรง

#### 2.1.3.1. การเสื่อมลดเนื่องจากการหดตัวอีลาสติกของคอนกรีต (ES)

คอนกรีตจะหดตัวได้แรงอัดทำให้เหล็กเสริมอัดแรงซึ่งยึดเหนี่ยวติดกับเนื้อคอนกรีตหดตัวด้วยส่งผลให้เกิดการเสื่อมลดของแรงดึงในเหล็กเสริมและแรงอัดในเนื้อคอนกรีต สำหรับองค์อาคารอัดแรงแบบค้ำก่อน ถ้าแนวเหล็กเสริมมีการเยื้องศูนย์เป็นระยะ  $e$  ที่กลางช่วงและถ้ารวมโมเมนต์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักของตัวคาน  $M_D$  หน่วยแรงในคอนกรีตที่ตำแหน่งใดๆ สามารถหาได้ดังสมการที่ 2.6

$$f_{cs} = \frac{P_i}{A_c} \left(1 + \frac{e^2}{r^2}\right) + \frac{M_D e}{I_c} \quad (2.6)$$

#### 2.1.3.2. การเสื่อมลดเนื่องจากการคลายแรงของเหล็กเสริมอัดแรง (RE)

ลวดที่มีการคลายหน่วยแรงจะเกิดการคลายแรง ถ้าถูกดึงให้ยืดยู่ตลอดเวลาส่งผลให้แรงดึงภายในลวดลดลง ปริมาณของการเสื่อมลดไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่แรงดึงค้างอยู่ในลวด แต่ยังขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของหน่วยแรงดึงเบื้องต้นต่อกำลังครากของเหล็กเสริม  $\frac{f_{pi}}{f_{pu}}$  การเสื่อมลดในรูปแบบนี้เรียกว่า “การเสื่อมลดเนื่องจากการคลายแรงของเหล็กเสริม” คณะกรรมการร่วม ACI-ASCE ได้เสนอการหาการเสื่อมลดเนื่องจากการคลายแรง โดยถือว่าเป็นผลร่วมของการหดตัวอีลาสติก การคืบ และการหดตัว สามารถหาได้ดังสมการที่ 2.7

$$RE = C[K_{RE} - J(ES+CR+SH)] \quad (2.7)$$

#### 2.1.3.3. การเสื่อมลดเนื่องจากการคืบของคอนกรีต (CR)

การคืบ คือ การที่วัตถุหดตัวเพิ่มขึ้นเมื่อทิ้งไว้เนื้อวัสดุนั้นอยู่ภายใต้น้ำหนักกระทำคงค้างเป็นเวลานาน การเสื่อมลดของหน่วยแรงเนื่องจากการคืบ จึงเป็นผลมาจากน้ำหนักบรรทุกคงค้าง แต่อย่างเดียวน้ำหนักการหดตัวจะขึ้นอยู่กับขนาดของน้ำหนักกระทำ ระยะเวลาที่กระทำ และคุณสมบัติ

สมบัติของคอนกรีตอัน ได้แก่ ส่วนผสม การบ่ม อายุขององค์อาคารเมื่อเริ่มใช้งาน และสภาพแวดล้อม สามารถหาได้ดังสมการที่ 2.8

$$CR = nK_{CR} \quad (2.8)$$

#### 2.1.4. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน<sup>[2]</sup>

การออกแบบเหล็กเสริมบนในส่วนของคอนกรีตทับหน้าจะใช้ทฤษฎีการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน เพื่อรับโมเมนต์ลบที่เกิดขึ้นตามพฤติกรรมของพื้นยื่น ซึ่งหาได้จากสมการที่ 2.9

$$A_s = \frac{M}{f_s j d} \quad (2.9)$$

อัตราส่วนของเหล็กที่ใช้ต้องมีค่าไม่มากเกินไปกว่าอัตราส่วนสมดุล แต่ต้องมีค่าไม่น้อยกว่าอัตราส่วนของเหล็กเสริมได้การยื่นหดตัวและขนาดของเหล็กเสริมเอกที่ใช้แผ่นพื้นต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 6 mm. วางเรียงกันให้มีระยะห่างไม่เกิน 3 เท่าของความหนาแผ่นพื้น หรือไม่เกิน 45 cm. โดยใช้คาน้อยและต้องเรียงห่างกันไม่น้อยกว่า ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมเอก หรือ 1.34 เท่าของขนาดโตของหิน หรืออย่างน้อย 2.5 cm. ระยะคอนกรีตหุ้มประมาณ 1.5 ถึง 2.0 cm.

#### 2.1.5. การหาค่าการแอ่นตัว<sup>[3]</sup>

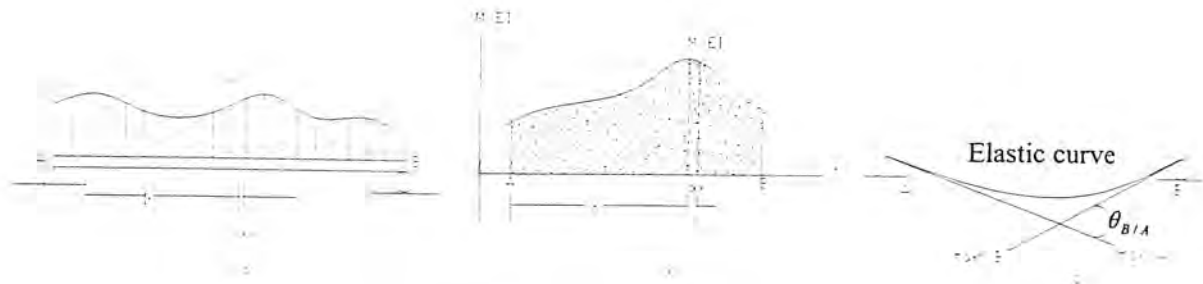
##### 2.1.5.1. การหาค่าการแอ่นตัวโดยวิธี Double Integration

ในการหาค่าการแอ่นตัวโดยวิธี Double Integration จะต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับระยะ x ตามความยาวคาน การอินทิเกรตในครั้งแรกจะได้ ความลาดเอียงของ elastic curve และในการอินทิเกรตครั้งที่ 2 จะได้ elastic curve ซึ่งในการอินทิเกรตแต่ละครั้งจะได้ค่าค้างที่ในการอินทิเกรตขึ้น และมีค่าแตกต่างกันแล้วแต่กรณี ซึ่งหาได้จากสมการที่ 2.10 และ 2.11

$$\Delta_{\max} = e \left( \sec \sqrt{\frac{P}{EI} \times \frac{L}{2}} - 1 \right) \quad (2.10)$$

$$\Delta_{\max} = \left( \frac{w}{Pn^2} + e \right) \left[ \sec \left( \frac{1}{2} nL \right) \right] + \frac{w}{Pn^2} + \frac{wL^2}{8P} - e \quad (2.11)$$

### 2.1.5.2. การหาค่าการแอ่นตัวโดยวิธี Moment Area



รูปที่ 2.3 แสดงการวาด Moment diagram,  $\frac{M}{EI}$  diagram สำหรับคานและการวาด Elastic curve

ถ้าวาด Moment diagram สำหรับคาน แล้วหารค่า โมเมนต์ที่ทุกตำแหน่งด้วย flexural rigidity หรือ EI เราจะได้รูป  $\frac{M}{EI}$  diagram ดังแสดงในรูปที่ 2.3 จากสมการ 2.12

$$d\theta = \frac{M}{EI} dx \quad (2.12)$$

จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของ slope,  $d\theta$  ของเส้นสัมผัสที่สองข้างของชิ้นส่วนเล็กๆ กว้าง  $dx$  มีค่าเท่ากับพื้นที่สี่เหลี่ยมของ  $\frac{M}{EI}$  diagram ดังนั้นถ้าอินทิเกรตจากตำแหน่ง A บน elastic curve ไปยังตำแหน่ง B จะได้ ดังสมการที่ 2.13

$$\theta_{\frac{B}{A}} = \int_A^B \frac{M}{EI} dx \quad (2.13)$$

ซึ่งสมการนี้เป็นพื้นฐานของทฤษฎีแรกของทฤษฎีพื้นที่ของ โมเมนต์

“ทฤษฎีที่ 1 : การเปลี่ยนแปลงของ slope ระหว่างสองตำแหน่งบน elastic curve มีค่าเท่ากับพื้นที่ของ  $\frac{M}{EI}$  diagram ระหว่างสองตำแหน่งนั้น”

พจน์  $\theta_{\frac{B}{A}}$  หมายถึงมุมที่เส้นสัมผัสจาก A ทำกับเส้นสัมผัสจาก B โดยวัดจากเส้นสัมผัสจาก A ดังนั้น slope จะชันขึ้นหรือมุมจะวัดทวนเข็มนาฬิกา เมื่อพื้นที่ของ  $\frac{M}{EI}$  diagram เป็นบวก และ

ในทางตรงกันข้ามถ้าพื้นที่เป็นลบหรืออยู่ในแกน x มุมจะวัดตามเข็มนาฬิกาจากเส้นสัมผัส A ไป B

ทฤษฎีที่สองจะใช้ในการหาระยะห่างในแนวตั้งของเส้นสัมผัสของ elastic curve ซึ่งแสดงโดยระยะ  $dt$  ในรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นระยะห่างในแนวตั้งของเส้นสัมผัสที่สองด้านของชิ้นส่วนเล็กๆ ซึ่งมีความยาวเท่ากับ  $dx$  วัดในแนวตั้งได้ตำแหน่งของจุด A จากสมมติฐานที่ว่า การหมุนตัวและระยะแอ่นตัวของ elastic curve จัดว่าเป็นค่าที่น้อยมาก ดังนั้นจะสมมติให้ความยาวของเส้นสัมผัสให้

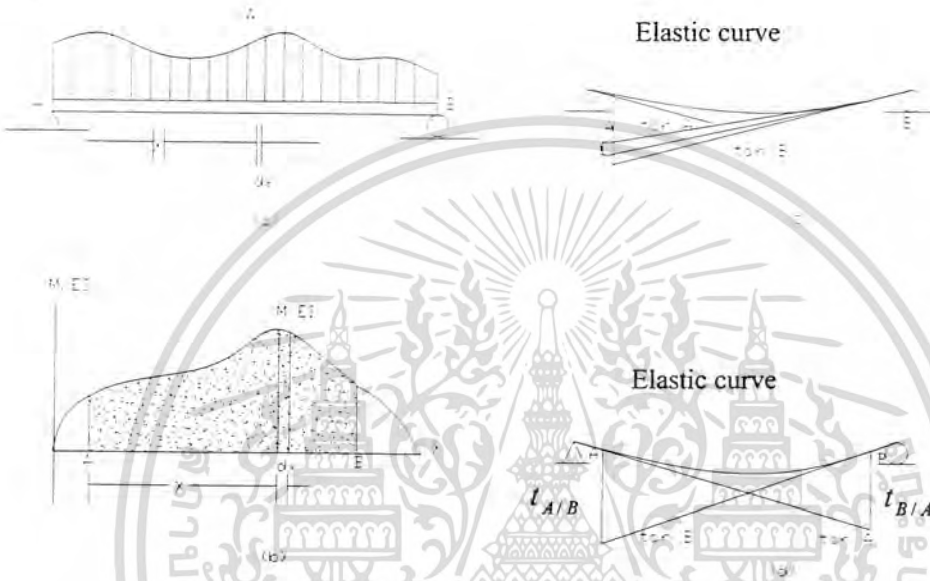
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวของเส้นสัมผัสแต่ละเส้นเป็น  $x$  และให้  $ds' = dt$  ใช้สมการระยะของมุมกวาด  $s = \theta r$

และถ้าให้  $r$  เท่ากับ  $x$  เราจะได้  $dt = x d\theta$  แทนค่า  $d\theta = \frac{M}{EI} dx$  จากสมการ 7-2 และอินทิเกรต

จากตำแหน่ง A บน elastic curve ไปยังตำแหน่ง B จะได้  $t_{A/B} = \int_A^B x \frac{M}{EI} dx = \bar{x} \int_A^B \frac{M}{EI} dx$

โดยที่  $\bar{x}$  เป็นระยะห่างจากตำแหน่ง A ไปยังศูนย์ถ่วงของพื้นที่ใต้  $\frac{M}{EI}$  diagram ระหว่างตำแหน่ง A และ B



รูปที่ 2.4 แสดงการหาระยะการแอ่นตัวในแนวโค้ง

ดังนั้นจะสรุปทฤษฎีที่สองของทฤษฎีพื้นที่โมเมนต์ได้ดังต่อไปนี้

“ทฤษฎีที่ 2 : ระยะในแนวโค้งวัดจากเส้นสัมผัสจากตำแหน่ง A บน elastic curve ไปยังเส้นสัมผัสซึ่งลากต่อมาจากตำแหน่ง B มีค่าเท่ากับ โมเมนต์รอบจุด A ของพื้นที่ของ  $\frac{M}{EI}$  ระหว่างสองตำแหน่งนั้น ”

เส้นสัมผัสจาก A จะอยู่เหนือเส้นสัมผัสที่ลากต่อมาจาก B เมื่อพื้นที่ของ  $\frac{M}{EI}$  diagram เป็นบวก และในทางตรงกันข้าม เส้นสัมผัสจาก A จะอยู่ใต้เส้นสัมผัสที่ลากต่อมาจาก B เมื่อพื้นที่ของ  $\frac{M}{EI}$  diagram เป็นลบ และควรสังเกตว่า โดยทั่วไปแล้ว  $t_{A/B}$  ไม่เท่ากับ  $t_{B/A}$  ตามแสดงในรูปที่ 2.4

$t_{A/B}$  หาได้จากโมเมนต์ของพื้นที่ใต้  $\frac{M}{EI}$  diagram รอบจุด A และ  $t_{B/A}$  หาได้จากโมเมนต์ของพื้นที่

ใต้  $\frac{M}{EI}$  diagram รอบจุด B

การวิเคราะห์โดยวิธีพื้นที่ของโมเมนต์จะแบ่งเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

1)  $\frac{M}{EI}$  diagram

1.1) หาแรงลัพธ์ที่ฐานรองรับ และวาด  $\frac{M}{EI}$  diagram

1.2) ถ้าน้ำหนักบรรทุกประกอบด้วยน้ำหนักกระทำเป็นจุด  $\frac{M}{EI}$  diagram จะประกอบด้วย

เส้นตรงหลายเส้น ซึ่งจะง่ายในการหาพื้นที่และศูนย์ถ่วง

1.3) ถ้าน้ำหนักกระทำประกอบด้วยน้ำหนักแผ่กระจายร่วมกับน้ำหนักกระทำเป็นจุด วิเคราะห์จะง่ายขึ้น ถ้าแยกเขียน  $\frac{M}{EI}$  diagram ของแต่ละน้ำหนัก แล้วใช้วิธี superposition

2) Elastic Curve

2.1) วาด elastic curve โดยใช้ความเป็นจริงที่ว่า ที่ฐานยึดแน่น slope ต้องเป็นศูนย์ และไม่ว่าจะเป็นฐานยึดแน่น ฐานหมุน หรือ ฐานเลื่อน deflection ต้องเป็นศูนย์

2.2) รูปร่างของ elastic curve จะวาดได้โดยพิจารณาจากรูปของ  $\frac{M}{EI}$  diagram ถ้าโมเมนต์เป็นบวก คานจะแอ่นลง ถ้าโมเมนต์เป็นลบคานจะแอ่นขึ้น และทิศทางของการแอ่นตัวจะเปลี่ยน ณ ตำแหน่งที่โมเมนต์เป็นศูนย์ (inflection point)

2.3) ณ ตำแหน่งที่ต้องการหา slope และ deflection ลากเส้นสัมผัสที่ตำแหน่งนั้น รวมทั้งลากเส้นสัมผัสที่ฐานรองรับด้วย พิจารณาว่าเส้นสัมผัสจากฐานรองรับใด สมควรที่จะใช้ในการวิเคราะห์

3) Moment-Area Theorems

ใช้ทฤษฎีที่ 1 ในการหามุมระหว่างเส้นสัมผัส และใช้ทฤษฎีที่ 2 ในการหาระยะในแนวตั้งระหว่างเส้นสัมผัส ระยะที่ได้นี้ไม่ใช่การแอ่นตัวของจุดบน elastic curve ต้องนำระยะนี้ไปใช้ประกอบกับมุมที่ได้จากทฤษฎีที่ 1 จึงจะหาระยะแอ่นตัวได้

## 2.2. การวิเคราะห์ทางทฤษฎี

### 2.2.1. หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากโครงสร้างคอมโพสิต

หน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดของโครงสร้างคอมโพสิตไม่ว่าจะเป็นหน่วยแรงอัดหรือหน่วยแรงดึงก็ตามจะต้องไม่เกินค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ ถ้าหน่วยแรงเกิดขึ้นเกินกว่าค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ แสดงว่าหน้าตัดนั้นไม่สามารถรับน้ำหนักนั้นได้ ซึ่งรายการคำนวณหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากโครงสร้างคอมโพสิต แสดงดังตารางที่ 2.1.

ตารางที่ 2.1. ตารางสรุปรายการคำนวณหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากโครงสร้างคอมโพสิต

ช่วง ความ ยาว พื้นชั้น (m.)	ที่คอนกรีตทับหน้า				ที่คอนกรีตอัดแรง			หมายเหตุ
	หน่วยแรง ที่เกิดขึ้นที่ ผิวบน (ksc)	หน่วยแรง ที่เกิดขึ้นที่ ผิวล่าง (ksc)	หน่วยแรง ดึงที่ยอม ให้ (ksc)	หมายเหตุ	หน่วยแรง ที่เกิดขึ้นที่ ผิวบน (ksc)	หน่วยแรง ที่เกิดขึ้นที่ ผิวล่าง (ksc)	หน่วยแรง อัดที่ยอม ให้ (ksc)	
1.0	13.62	1.01	29.93	ใช้ได้	-56.58	-32.93	-157.5	ใช้ได้
1.2	19.62	1.59	29.93	ใช้ได้	-60.56	-34.92	-157.5	ใช้ได้
1.4	26.71	2.16	29.93	ใช้ได้	-64.28	-39.37	-157.5	ใช้ได้
1.6	34.87	2.82	29.93	ใช้ไม่ได้	-66.22	-46.11	-157.5	ใช้ได้

หมายเหตุ - เครื่องหมายบวกเป็นแรงอัด , เครื่องหมายลบเป็นแรงดึง

จากตารางที่ 2.1. เห็นได้ว่าที่ความยาว 1.6 m. เท่านั้นที่หน่วยแรงที่เกิดขึ้นเกินกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ดังนั้นจึงเริ่มการทดสอบที่ความยาว 1.6 m.

### 2.2.2 หน่วยแรงเฉือนในแนวราบที่เกิดขึ้นจากโครงสร้างคอมโพสิต

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นตรงรอยต่อจะต้องน้อยกว่าหน่วยแรงเฉือนของหน้าตัดที่ยอมให้จึงจะทำให้พฤติกรรมของโครงสร้างคอมโพสิตเกิดขึ้นโดยสมบูรณ์ แต่ถ้าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นตรงรอยต่อจะต้องมากกว่าหน่วยแรงเฉือนของหน้าตัดที่ยอมให้ก็จะเกิดการเคลื่อนแยกตัวที่รอยต่อ (Slip) ทำให้พฤติกรรมของโครงสร้างคอมโพสิตไม่เกิดส่งผลให้ความสามารถในการรับกำลังลดลงไปด้วย ซึ่งรายการคำนวณหน่วยแรงเฉือนในแนวราบที่เกิดขึ้นจากโครงสร้างคอมโพสิต แสดงดังตารางที่ 2.2.

ตารางที่ 2.2. ตารางสรุปรายการคำนวณหน่วยแรงเฉือนในแนวราบที่เกิดขึ้นจากโครงสร้างคอมโพสิต

ช่วงความยาวพื้นยื่น (m)	หน่วยแรงเฉือน แนวราบที่เกิดขึ้น (ksc)	หน่วยแรงเฉือน แนวราบที่ยอมให้ (ksc)	หมายเหตุ
1.0	1.43	5.6	ผ่าน
1.2	1.72	5.6	ผ่าน
1.4	2.00	5.6	ผ่าน
1.6	2.29	5.6	ผ่าน

หมายเหตุ - หน่วยแรงเฉือนแนวราบที่ยอมให้มีความเท่ากับ 5.6 ksc. สำหรับผิวที่ถูกตั้งใจทำให้หยาบไม่มีเหล็กผ่านรอยต่อผิวสัมผัส<sup>[4]</sup>

จากตารางที่ 2.2. จะเห็นได้ว่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นตรงรอยต่อจะคือน้อยกว่าหน่วยแรงเฉือนของหน้าตัดที่ยอมให้แสดงว่าพฤติกรรมของโครงสร้างคอมโพสิตเกิดขึ้นโดยสมบูรณ์ไม่เกิดการเคลื่อนแยกตัวที่รอยต่อ

### 2.2.3. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน เพื่อใช้คำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการในการรับโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นจากพฤติกรรมของพื้นยื่น แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3. ตารางสรุปรายการคำนวณการเสริมเหล็ก

ช่วงความยาวพื้นยื่น (m)	ปริมาณเหล็กเสริม
1.0	RB 9 @ 0.25
1.2	RB 9 @ 0.19
1.4	RB 9 @ 0.14
1.6	RB 9 @ 0.10

หมายเหตุ - เหล็กเสริมกันร้าวใช้เหล็กตะแกรง  $\varnothing 4$  mm. 20 "

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.2.4. การวิเคราะห์ความยาวเหล็กเสริม

การวิเคราะห์ความยาวเหล็กเสริมที่จะใช้ในการเสริมเหล็ก เพื่อที่จะใช้ในการรับ โมเมนต์ลบที่เกิดขึ้น โดยจะวิเคราะห์หา BMD ของแต่ละช่วงความยาวและหาว่าจุดดัดกลับของ โมเมนต์ลบสิ้นสุดที่ระยะเท่าใด เพื่อที่จะเสริมเหล็กไม่น้อยกว่าระยะนั้น (รายการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข) แสดงดังตารางที่ 2.4.

ตารางที่ 2.4. ตารางสรุปรายการคำนวณความยาวการเสริมเหล็ก

ช่วงความยาวพื้นชั้น (m)	ความยาวเหล็กเสริมที่ คำนวณ (m)	ความยาวเหล็กเสริมที่ เลือกใช้ (m)
1.0	1.33	1.4
1.2	1.72	1.8
1.4	2.16	2.2
1.6	2.67	2.7

#### 2.2.5. การวิเคราะห์ค่าการแอ่นตัว

การหาค่าการแอ่นตัวของแผ่นพื้นสำเร็จรูปจะพิจารณาเฉพาะกรณีที่แผ่นพื้นยังไม่เกิดการแตกร้าวเท่านั้น ซึ่งในการคำนวณโดยจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรก ค่าการโก่งตัวที่เกิดจากการหดตัวของลวดอัดแรง กับค่าการแอ่นตัวจากน้ำหนักตัวเอง ซึ่งในขั้นตอนนี้จะใช้ทฤษฎี Double Integration Method ในการคำนวณ ขั้นตอนที่ 2 ค่าการแอ่นตัวเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร จะใช้วิธี Moment Area ในการคำนวณ (รายการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข) แสดงดังตารางที่ 2.5.

ตารางที่ 2.5 ตารางสรุปรายการคำนวณค่าการแอ่นตัวที่ตำแหน่งปลายของแผ่นพื้น

ช่วงความยาวพื้นชั้น (m)	ค่าการ โก่งตัว เนื่องจากลวดอัดแรง และน้ำหนักตัวเอง (mm)	ค่าการแอ่นตัวเนื่อง จากน้ำหนักบรรทุกจร (mm)	ค่าการแอ่นตัวสุทธิ (mm)
1.0	-1.12	1.56	0.44
1.2	-1.34	0.10	-1.24
1.4	-1.57	-2.01	-3.58
1.6	-1.79	-4.80	-6.59

หมายเหตุ - เครื่องหมายบวกเป็นการโก่งขึ้น , เครื่องหมายลบเป็นการแอ่นลง

- พิจารณาเฉพาะกรณีที่แผ่นพื้นยังไม่เกิดการแตกร้าวเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.6. มาตรฐานการทดสอบ (มอก.557-2531)<sup>(5)</sup>

ตัวอย่างทดสอบ

ให้ใช้ตัวอย่างจำนวน 3 แผ่น ทดสอบครั้งละ 1 แผ่น  
เครื่องมือ

### 1. อุปกรณ์การกด

ให้ใช้วัสดุหรือเครื่องกดอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้

- (1) การทดสอบแบบน้ำหนักแผ่สม่ำเสมอ ให้ใช้วัสดุ เช่น ปูนซีเมนต์ ทราย เหล็ก หรือ อื่นๆ วางแผ่ให้น้ำหนักสม่ำเสมอบนพื้นที่ที่จะทดสอบ
- (2) การทดสอบแบบน้ำหนักลงเป็นจุด ให้ใช้เครื่องกดแบบเฟือง หรือแบบไฮดรอลิก ระยะห่างระหว่างตัวกดทั้งสองให้เท่ากับ 1 ใน 3 ของความยาวประสิทธิภาพ เครื่องกดต้องสามารถเพิ่มแรงกดได้อย่างสม่ำเสมอ

2. มาตรฐานความแอ่นตัวต้องอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร

3. แท่นชารต้องมั่นคงแข็งแรง และอยู่ห่างกันเท่ากับความยาวประสิทธิภาพ

วิธีการทดสอบแผ่นพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จสำหรับพื้นคอนกรีต

1. ตัดตั้งมาตรฐานความแอ่นตัวที่กึ่งกลางแผ่นคอนกรีต และที่แท่นชารทั้งสอง เพื่อใช้เปรียบเทียบความแอ่นตัว

2. เริ่มใส่น้ำหนักบนแผ่นคอนกรีตเป็นช่วงดังนี้ คือ ร้อยละ 25 ร้อยละ 50 ร้อยละ 75 ร้อยละ 100 ร้อยละ 125 ร้อยละ 150 ของน้ำหนักบรรทุกที่กำหนดไว้สำหรับแผ่นคอนกรีตแต่ละชั้นคุณภาพ หลังจากใส่น้ำหนักบรรทุกแต่ละค่าแล้วให้อ่านค่าแล้วให้อ่านค่าความแอ่นตัวทันที และหลังจากเวลาผ่านไปแล้ว 15 นาที ให้อ่านค่าความแอ่นตัวอีกครั้งหนึ่ง แล้วจึงเริ่มเพิ่มน้ำหนัก บรรทุกช่วงต่อไป ทำเช่นนี้เรื่อยไปจนครบช่วงการเพิ่มน้ำหนัก การใส่น้ำหนักบรรทุกนี้ต้องค่อยๆ ใส ต้องให้น้ำหนักแผ่สม่ำเสมอตลอดช่วงด้วย

3. เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกจนถึงร้อยละ 150 ของน้ำหนักบรรทุกแล้ว ให้ปล่อยไว้ 24 ชั่วโมง แล้วอ่านค่าความแอ่นตัวอีกครั้งหนึ่ง

4. เริ่มปลดน้ำหนักบรรทุก โดยปฏิบัติเป็นขั้นตอนย้อนกลับ กับตอนใส่น้ำหนักบรรทุกทุกประการ

5. อ่านค่าการคืนตัว(Recovery of Deflection) อีกครั้งหนึ่ง หลังจากปลดน้ำหนักบรรทุกออกหมดแล้ว 24 ชั่วโมง

หมายเหตุ - จากมาตรฐานนี้ได้นำไปประยุกต์ใช้ในการทดสอบซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 3

# บทที่ 3

## การดำเนินการทดสอบ

### 3.1. วัสดุและอุปกรณ์

1. แผ่นพื้นสำเร็จรูปความยาว 4 m
2. ปูนซีเมนต์
3. มวลรวม
4. เหล็กเสริม RB 9
5. เหล็กตะแกรง  $\varnothing$  4 mm 20"
6. ถุงใส่ทรายน้ำหนัก 25 kg
7. แท่นธารเหล็ก
8. DIAL GAUGE

### 3.2. คุณสมบัติของพื้นสำเร็จรูปแผ่นเรียบ <sup>(6)</sup>

#### 3.2.1. วัสดุที่ใช้ในการผลิต

- 1) ใช้ปูนซีเมนต์ PORT LAND TYPE 1
- 2) คอนกรีตจะต้องมีกำลังอัดประลัยไม่ต่ำกว่า 350 ksc. ทดสอบด้วยคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6" X 12" เมื่ออายุครบ 28 วัน
- 3) ลวดอัดแรงที่มีกำลังดึงประลัยไม่ต่ำกว่า 17500 ksc. คุณสมบัติมาตรฐาน มอก. 95-2517
- 4) ลวดอัดแรงจะถูกดึงด้วยแรงดึงไม่น้อยกว่า 70 – 75 % ของแรงดึงประลัย

#### 3.2.2. คุณสมบัติในการรับน้ำหนักบรรทุกจร

แผ่นพื้นขนาดหน้าตัด 0.05 X 0.35 m.

ตารางที่ 3.1. ตารางการรับน้ำหนักบรรทุกจรของพื้นสำเร็จรูป

n \ s	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2
5	620	532	464	400	350	300	260	
6	753	649	563	492	431	400	318	274
7	814	702	610	533	469	414	330	293

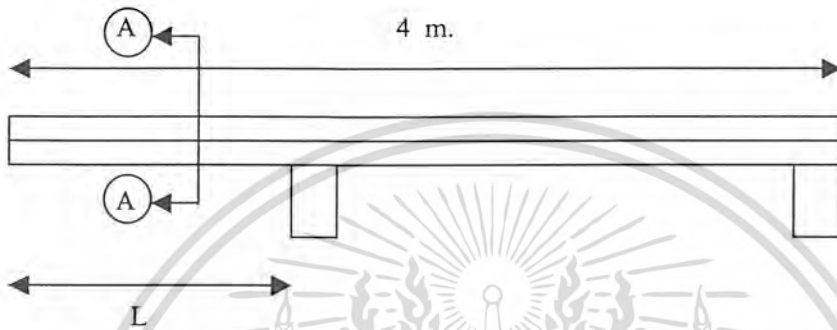
หมายเหตุ - ต้องมีค้ำยัน , แผ่นพื้นหนา 5 cm. ทับหน้า 5 cm. ความหนารวม 10 cm.

ที่มา : เอกสารประกอบพื้นสำเร็จรูป บริษัท วิน คอนกรีต จำกัด

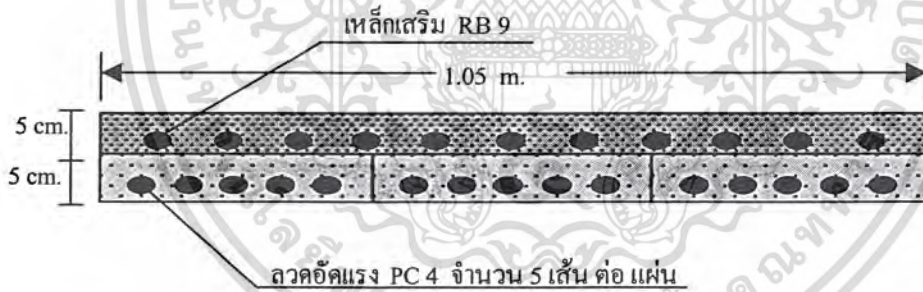
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3. ลักษณะแผ่นพื้นที่ใช้ในการทดสอบ

ในการทดสอบครั้งนี้จะทำการทดสอบโดยการนำพื้นสำเร็จรูปแผ่นเรียบมาวางบนแท่นธาร โดยให้มีลักษณะปลายยื่น 1 ข้าง ซึ่งระยะในส่วนปลายยื่นจะทำการทดสอบ 4 ระยะ คือที่ระยะ 1.00 m. , 1.20 m. , 1.40 m. และ 1.60 m. ซึ่งความช่วงในจะแปรผันตามไปด้วย โดยความยาวรวมจะเป็น 4 m. ในการทดสอบแต่ละระยะจะใช้ชุดการทดสอบ 2 ชุด แต่ละชุดการทดสอบใช้แผ่นพื้นสำเร็จรูป จำนวน 3 แผ่น หล่อเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1. ลักษณะการทดสอบ



รูปที่ 3.2. รูปตัดของแผ่นพื้นและทับหน้าที่ใช้ในการทดสอบ

### 3.4. การเตรียมแผ่นพื้นเพื่อการทดสอบ

1) ออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ทับหน้า (TOPPING) ของแผ่นพื้นสำเร็จรูป ด้วยวิธี AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (A.C.I) <sup>[7]</sup> ใช้กำหนดให้กำลังอัดของแท่งคอนกรีต ทรงกระบอกมาตรฐาน ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 cm. มีความสูง 30 cm. ให้รับแรงอัดได้ไม่ต่ำกว่า 173 ksc. เพื่อให้ได้ค่า  $f_c = 0.375 f'_c$  มีค่าเป็น 65 ksc. ตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร <sup>[8]</sup>

2) นำแผ่นพื้นสำเร็จรูป ขึ้นวางบนแท่นธารทดสอบ

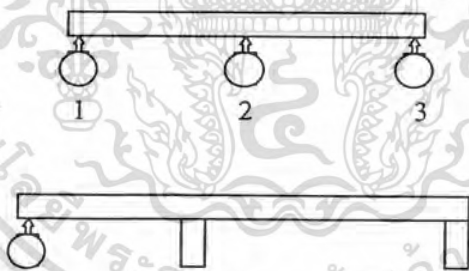
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การเทคอนกรีตทับหน้า ให้วางตะแกรงเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 mm. ระยะห่างตะแกรง 20 cm. และเสริมเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 mm. ที่ปลายด้านพื้นยื่นเพื่อรับโมเมนต์ลบก่อนการเท จะทำการรดน้ำ และทำความสะอาด ผิวหน้าของแผ่นพื้น จากนั้นก่อนการเทจริง ๆ ก็ทำการรดน้ำ ปูนเหลว ก่อนข้างเจือจาง เพื่อให้คอนกรีตทับหน้า และแผ่นพื้น ยึดเหนี่ยวกันได้ดียิ่งขึ้น แล้วค่อยจึงทำการเทคอนกรีตทับหน้าลงบนแผ่นพื้น พร้อมทั้ง หล่อแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน จำนวนเท่ากับชุดของแผ่นพื้นแต่ละชุด เพื่อใช้ในการทดสอบกำลังอัดต่อไป

4) เมื่อคอนกรีตเริ่มก่อตัว จึงทำการบ่มคอนกรีตทับหน้า โดยการใช้กระสอบป่าน คลุมให้ตลอดผิวหน้า แล้วรดน้ำให้ชุ่ม เป็นเวลา 7 วัน แล้วจึงทำการทดสอบแท่งคอนกรีต และแผ่นพื้นที่ต่อไป เมื่อผลการทดสอบได้ค่า  $f_c' \geq 173$  ksc จึงทำการทดสอบน้ำหนักบรรทุก ก่อนการเทคอนกรีต ทับหน้าจะต้องทำคานรองรับช่วงปลายแผ่นพื้นไว้เพื่อบรรรับน้ำหนัก เสมือนเป็นค้ำยันชั่วคราว เมื่อจะทำการทดสอบจึงทำการปลดออก

### 3.5. การติดตั้งเครื่องมือทดสอบ

DIAL GAUGE ทั้งหมด 3 ตัว ในการวัดการแอ่นตัวของแผ่นพื้นตัวอย่าง โดยที่ตำแหน่งปลายแผ่นพื้นที่ยื่น ใช้ DIAL GAUGE 3 ตัว ติดตั้งตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3 ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3. การติดตั้ง DIAL GAUGE

### 3.6. การทดสอบและการบันทึกข้อมูลทดสอบการรับน้ำหนักแบบแผ่กระจาย (UNIFORM LOAD)

1) ก่อนทำการทดสอบให้เอาคานรองรับบริเวณปลายคานออกก่อน แล้วบันทึกค่าระยะแอ่นตัวเริ่มต้น ของแผ่นพื้นแต่ละตัวอย่าง

2) ทำการปรับหน้าปัด DIAL GAUGE ให้เริ่มต้นที่ศูนย์ เพื่อให้ง่ายต่อการอ่าน

3) เริ่มต้นทำการทดสอบ โดยเพิ่มแรงกดบนแผ่นพื้นตัวอย่าง ทำการทดสอบเป็นช่วงๆ ช่วงละ  $93.75 \text{ kg/m}^2$  (25%) โดยใช้กระสอบทรายวางทับ ให้กระจายกันไปอย่างสม่ำเสมอ ในการวางกระสอบทรายเพื่อเพิ่มแรงกดนั้น จะต้องค่อยๆวาง เพื่อไม่ให้เกิดการกระแทก เพราะอาจทำให้ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบผิดพลาดไปได้ เมื่อวางน้ำหนักเสร็จ ก็จะทำการบันทึกค่าการแอ่นตัวของแผ่นพื้นตัวอย่าง จาก DIAL GAUGE ทั้ง 3 ตัวในทันที และทิ้งไว้อีก 15 นาที แล้วจึงทำการอ่านค่าอีกครั้ง ทำการบันทึกค่าที่ได้ลงในตารางการทดสอบที่เตรียมไว้

4) เพิ่มแรงกดบนแผ่นพื้น เพิ่มขึ้นเป็นช่วงๆ อ่านค่าและบันทึกค่าเช่นเดียวกับข้อ 3 จนกระทั่งน้ำหนักบรรทุกที่กดลงแผ่นพื้น มีค่าเป็น  $375 \text{ kg/m}^2$  ซึ่งเป็น 2.5 เท่าของ  $150 \text{ kg/m}^2$ <sup>[9]</sup> ซึ่งเป็นน้ำหนักบรรทุกจรตามข้อกำหนดในการออกแบบบ้านพักอาศัย

5) เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุก จนถึง  $375 \text{ kg/m}^2$  ก็ปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลา อย่างน้อย 24 ชั่วโมง แล้วจึงทำการอ่านค่าระยะแอ่นตัวอีกครั้งหนึ่ง

6) ถอดน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดออกปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลา อย่างน้อย 24 ชั่วโมง แล้วจึงทำการอ่านค่าระยะการคืนตัวกลับของแผ่นพื้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

#### 4.1 ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบทั้งหมด ได้รวบรวมและแสดงในตารางที่ 4.1 ถึง 4.8 ซึ่งเป็นตารางบันทึกข้อมูลต่าง ๆ จากการทดสอบที่ประกอบไปด้วย ค่าน้ำหนักบรรทุกที่ค่าต่าง ๆ ค่าการแอ่นตัว และค่าการคืนตัวเมื่อทำการปลดน้ำหนักบรรทุกออก ซึ่งค่าที่ได้นี้มาจากการอ่านค่าจาก DIAL GAUGE จำนวน 3 ตัว ที่ติดตั้งตรงตำแหน่งปลายของพื้นยื่น และจากข้อมูลที่ได้ก็นำมาเขียนเป็นกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.1 ถึง 4.12 เป็นกราฟซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุกที่ค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการอ่านค่า DIAL GAUGE จำนวน 3 ตัว ที่ติดตั้งตรงตำแหน่งปลายของพื้นยื่น ส่วนกราฟที่ 4.13 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุกที่ค่าต่าง ๆ ของช่วงความยาวต่าง ๆ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของค่าการแอ่นตัวทั้ง 3 จุด ที่ตำแหน่งปลายของพื้นยื่น



ตารางที่ 4.1. ตารางบันทึกผลการทดสอบที่ระยะความยาวพื้นยื่น 1.0 m. (ชุดที่ 1)

น้ำหนักบรรทุก (Kg)	ค่าการแอ่นตัว (mm.)					
	ตำแหน่งที่ 1		ตำแหน่งที่ 2		ตำแหน่งที่ 3	
	LOADING		LOADING		LOADING	
	1m.	15m.	1m.	15m.	1m.	15m.
0.00		0.03		0.02		0.03
93.75	0.20	0.25	0.18	0.23	0.20	0.25
187.50	0.48	0.51	0.45	0.48	0.47	0.50
281.25	0.76	0.80	0.72	0.76	0.75	0.79
375.00	0.96	0.99	0.91	0.94	0.95	0.98
375(24 hour)		1.08		1.02		1.06
ค่าการแอ่นตัวเมื่อปลด load		0.37		0.48		0.36
ค่าการคืนตัว		0.71		0.54		0.70
ค่าการแอ่นเฉลี่ย ที่ 24 ชั่วโมง = 1.05 mm.			ค่าการค่าการคืนตัวเฉลี่ย ที่ 24 ชั่วโมง = 0.65 mm.			
ไม่ปรากฏรอยแตกร้าว						

ตารางที่ 4.2. ตารางบันทึกผลการทดสอบที่ระยะความยาวพื้นยื่น 1.0 m. (ชุดที่ 2)

น้ำหนักบรรทุก(Kg)	ค่าการแอ่นตัว (mm.)					
	ตำแหน่งที่ 1		ตำแหน่งที่ 2		ตำแหน่งที่ 3	
	LOADING		LOADING		LOADING	
	1m.	15m.	1m.	15m.	1m.	15m.
0.00		0.03		0.04		0.02
93.75	0.21	0.26	0.24	0.30	0.22	0.27
187.50	0.48	0.51	0.54	0.58	0.51	0.54
281.25	0.76	0.78	0.85	0.87	0.80	0.82
375.00	0.95	0.98	1.06	1.09	1.00	1.04
375(24 hour)		1.07		1.18		1.12
ค่าการแอ่นตัวเมื่อปลด load		0.35		0.37		0.35
ค่าการคืนตัว		0.71		0.82		0.78
ค่าการแอ่นเฉลี่ย ที่ 24 ชั่วโมง = 1.14 mm.			ค่าการค่าการคืนตัวเฉลี่ย ที่ 24 ชั่วโมง = 0.77 mm.			
ไม่ปรากฏรอยแตกร้าว						

ตารางที่ 4.3. ตารางบันทึกผลการทดสอบที่ระยะความยาวพื้นยื่น 1.2 m. (ชุดที่ 1)

น้ำหนักบรรทุก(Kg)	ค่าการแอ่นตัว (mm.)					
	ตำแหน่งที่ 1		ตำแหน่งที่ 2		ตำแหน่งที่ 3	
	LOADING		LOADING		LOADING	
	1m.	15m.	1m.	15m.	1m.	15m.
0.00		0.19		0.27		0.19
93.75	1.03	1.10	1.17	1.23	0.59	0.65
187.50	1.55	1.58	1.70	1.73	1.05	1.09
281.25	2.19	2.39	2.36	2.55	2.64	2.83
375.00	3.01	3.11	3.18	3.28	3.50	3.60
375(24 hour)		3.21		3.46		3.78
ค่าการแอ่นตัวเมื่อปลด load		1.58		1.62		1.88
ค่าการคืนตัว		1.63		1.84		1.90
ค่าการแอ่นเฉลี่ย ที่ 24 ชั่วโมง = 3.48 mm.			ค่าการค่าการคืนตัวเฉลี่ย ที่ 24 ชั่วโมง = 1.79 mm.			
ไม่ปรากฏรอยแตกร้าว						

ตารางที่ 4.4. ตารางบันทึกผลการทดสอบที่ระยะความยาวพื้นยื่น 1.2 m. (ชุดที่ 2)

น้ำหนักบรรทุก(Kg)	ค่าการแอ่นตัว (mm.)					
	ตำแหน่งที่ 1		ตำแหน่งที่ 2		ตำแหน่งที่ 3	
	LOADING		LOADING		LOADING	
	1m.	15m.	1m.	15m.	1m.	15m.
0.00		0.21		0.20		0.23
93.75	1.00	1.02	0.88	0.91	0.92	0.94
187.50	1.40	1.46	1.72	1.78	1.13	1.88
281.25	2.24	2.41	2.42	2.51	2.36	2.57
375.00	3.05	3.23	3.43	3.50	3.24	3.57
375(24 hour)		3.67		3.71		3.86
ค่าการแอ่นตัวเมื่อปลด load		1.61		1.90		2.14
ค่าการคืนตัว		2.06		1.81		1.72
ค่าการแอ่นเฉลี่ย ที่ 24 ชั่วโมง = 3.75 mm.			ค่าการค่าการคืนตัวเฉลี่ย ที่ 24 ชั่วโมง = 1.86 mm.			
ไม่ปรากฏรอยแตกร้าว						

ตารางที่ 4.5. ตารางบันทึกผลการทดสอบที่ระยะความยาวพื้นยื่น 1.4 m. (ชุดที่ 1)

น้ำหนักบรรทุก(Kg)	ค่าการแอ่นตัว (mm.)					
	ตำแหน่งที่ 1		ตำแหน่งที่ 2		ตำแหน่งที่ 3	
	LOADING		LOADING		LOADING	
	1m.	15m.	1m.	15m.	1m.	15m.
0.00		1.43		1.29		1.52
93.75	1.92	2.11	1.58	1.76	2.21	2.39
187.50	3.84	3.93	3.51	3.85	4.78	4.91
281.25	6.62	6.91	6.32	6.57	6.92	6.95
375.00	8.83	9.64	8.41	9.15	8.55	9.31
375(24 hour)		10.92		10.41		11.20
ค่าการแอ่นตัวเมื่อปลด load		6.79		6.63		6.98
ค่าการคืนตัว		4.13		3.78		4.22
ค่าการแอ่นเฉลี่ย ที่ 24 ชั่วโมง = 10.84 mm.			ค่าการค่าการคืนตัวเฉลี่ย ที่ 24 ชั่วโมง = 4.04 mm.			
ปรากฏรอยแตกร้าว						

ตารางที่ 4.6. ตารางบันทึกผลการทดสอบที่ระยะความยาวพื้นยื่น 1.4 m. (ชุดที่ 2)

น้ำหนักบรรทุก(Kg)	ค่าการแอ่นตัว (mm.)					
	ตำแหน่งที่ 1		ตำแหน่งที่ 2		ตำแหน่งที่ 3	
	LOADING		LOADING		LOADING	
	1m.	15m.	1m.	15m.	1m.	15m.
0.00		1.63		1.37		1.68
93.75	2.66	2.81	2.61	2.78	2.63	2.66
187.50	5.09	5.53	5.15	5.53	5.01	5.42
281.25	6.58	7.00	6.62	7.91	6.47	6.94
375.00	8.90	9.05	9.33	9.59	8.79	9.03
375(24 hour)		10.74		11.00		11.48
ค่าการแอ่นตัวเมื่อปลด load		6.95		7.01		7.26
ค่าการคืบตัว		3.80		4.00		4.22
ค่าการแอ่นเฉลี่ย ที่ 24 ชั่วโมง = 11.08 mm.			ค่าการคืบตัวเฉลี่ย ที่ 24 ชั่วโมง = 4.01 mm.			
ปรากฏรอยแตกร้าว						

ตารางที่ 4.7. ตารางบันทึกผลการทดสอบที่ระยะความยาวพื้นยื่น 1.6 m. (ชุดที่ 1)

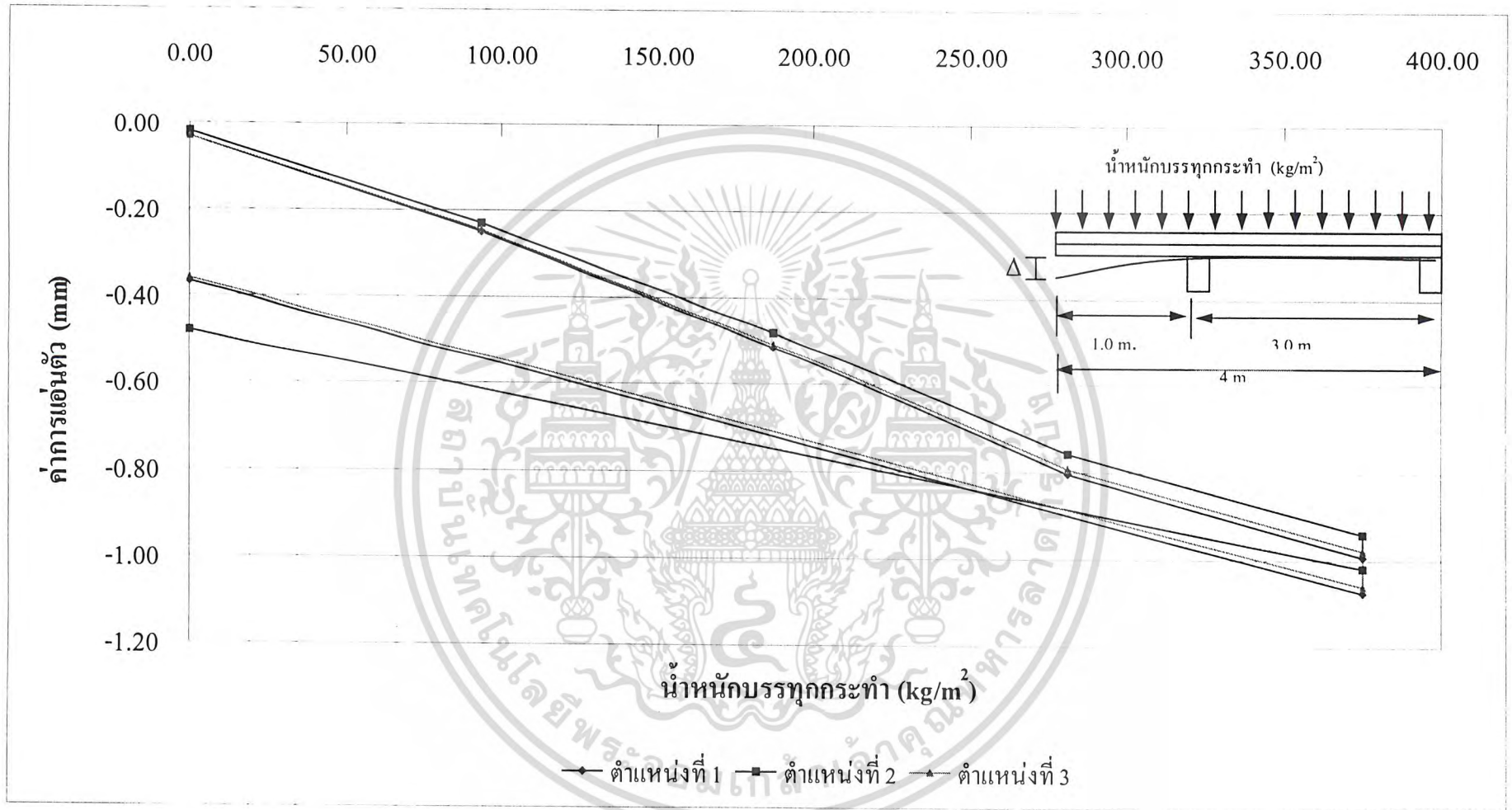
น้ำหนักบรรทุก(Kg)	ค่าการแอ่นตัว (mm.)					
	ตำแหน่งที่ 1		ตำแหน่งที่ 2		ตำแหน่งที่ 3	
	LOADING		LOADING		LOADING	
	1m.	15m.	1m.	15m.	1m.	15m.
0.00		15.94		15.50		13.24
93.75	18.48	18.34	18.04	18.45	15.11	15.26
187.50	20.63	20.93	20.29	20.73	17.79	18.11
281.25	24.84	24.98	24.14	25.76	23.25	24.00
375.00	28.45	28.78	27.79	29.99	26.81	27.36
375(24 hour)		29.20		29.66		28.92
ค่าการแอ่นตัวเมื่อปลด load		20.88		21.22		20.68
ค่าการคืนตัว		8.32		8.45		8.24
ค่าการแอ่นเฉลี่ย ที่ 24 ชั่วโมง = 29.26 mm.			ค่าการค่าการคืนตัวที่ 24 ชั่วโมง = 8.34 mm.			
ปรากฏรอยแตกร้าวมากจนเห็นได้ชัด						

ตารางที่ 4.8. ตารางบันทึกผลการทดสอบที่ระยะความยาวพื้นยื่น 1.6 m. (ชุดที่ 2)

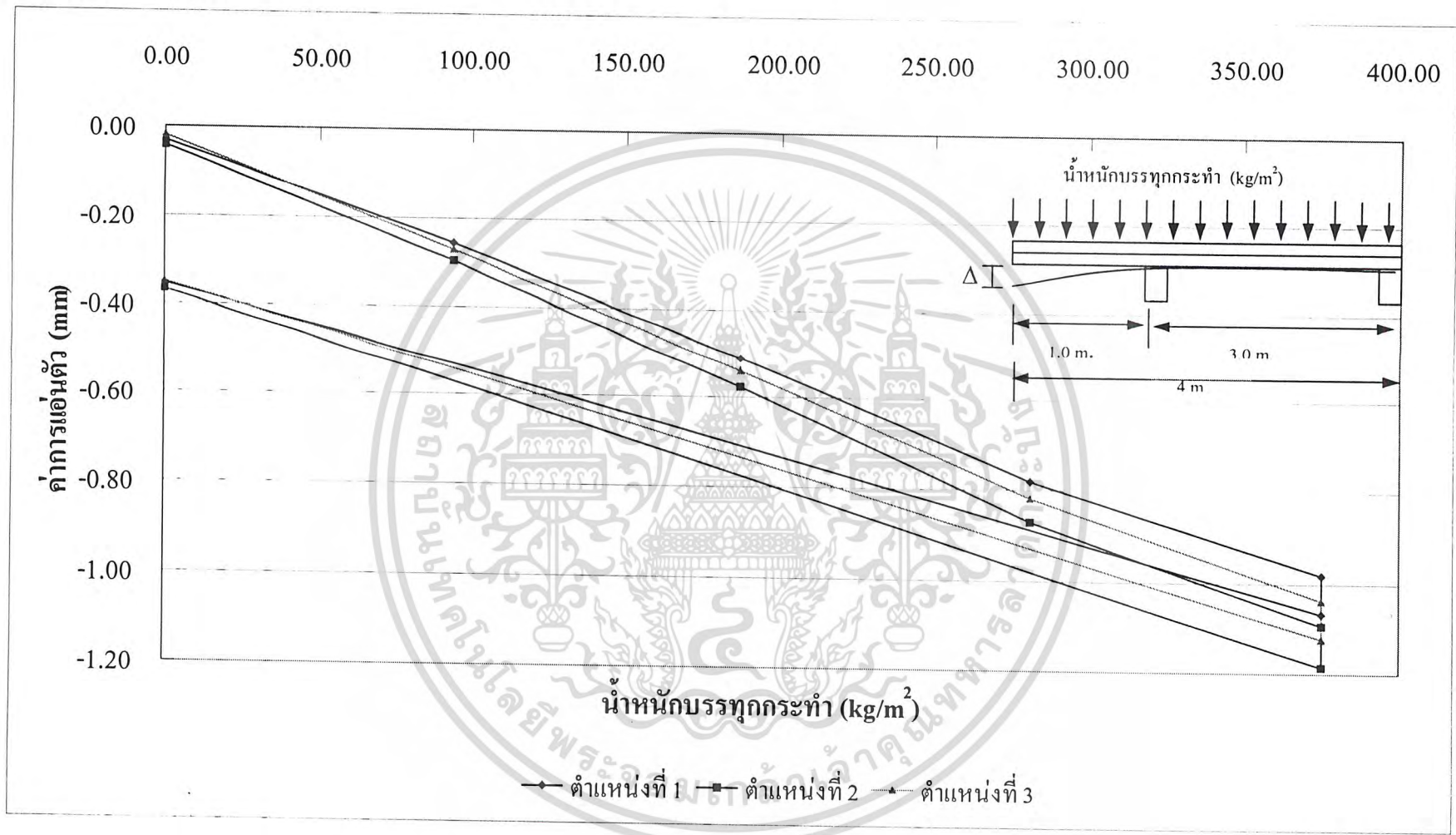
น้ำหนักบรรทุก(Kg)	ค่าการแอ่นตัว (mm.)					
	ตำแหน่งที่ 1		ตำแหน่งที่ 2		ตำแหน่งที่ 3	
	LOADING		LOADING		LOADING	
	1m.	15m.	1m.	15m.	1m.	15m.
0.00		16.91		15.94		15.86
93.75	18.29	18.47	18.17	18.37	18.33	19.18
187.50	21.25	22.06	21.22	21.27	22.07	22.13
281.25	23.72	23.90	23.03	23.96	24.58	24.80
375.00	26.37	26.69	26.55	27.23	26.71	27.32
375(24 hour)		28.87		29.90		29.26
ค่าการแอ่นตัวเมื่อปลด load		20.62		21.43		20.89
ค่าการคืนตัว		8.25		8.48		8.37
ค่าการแอ่นเฉลี่ยที่ 24 ชั่วโมง = 29.34 mm.			ค่าการค่าการคืนตัวเฉลี่ยที่ 24 ชั่วโมง = 8.37 mm.			
ปรากฏรอยแตกร้าวมากจนเห็นได้ชัด						

ตารางที่ 4.9. ตารางสรุปผลการทดสอบ

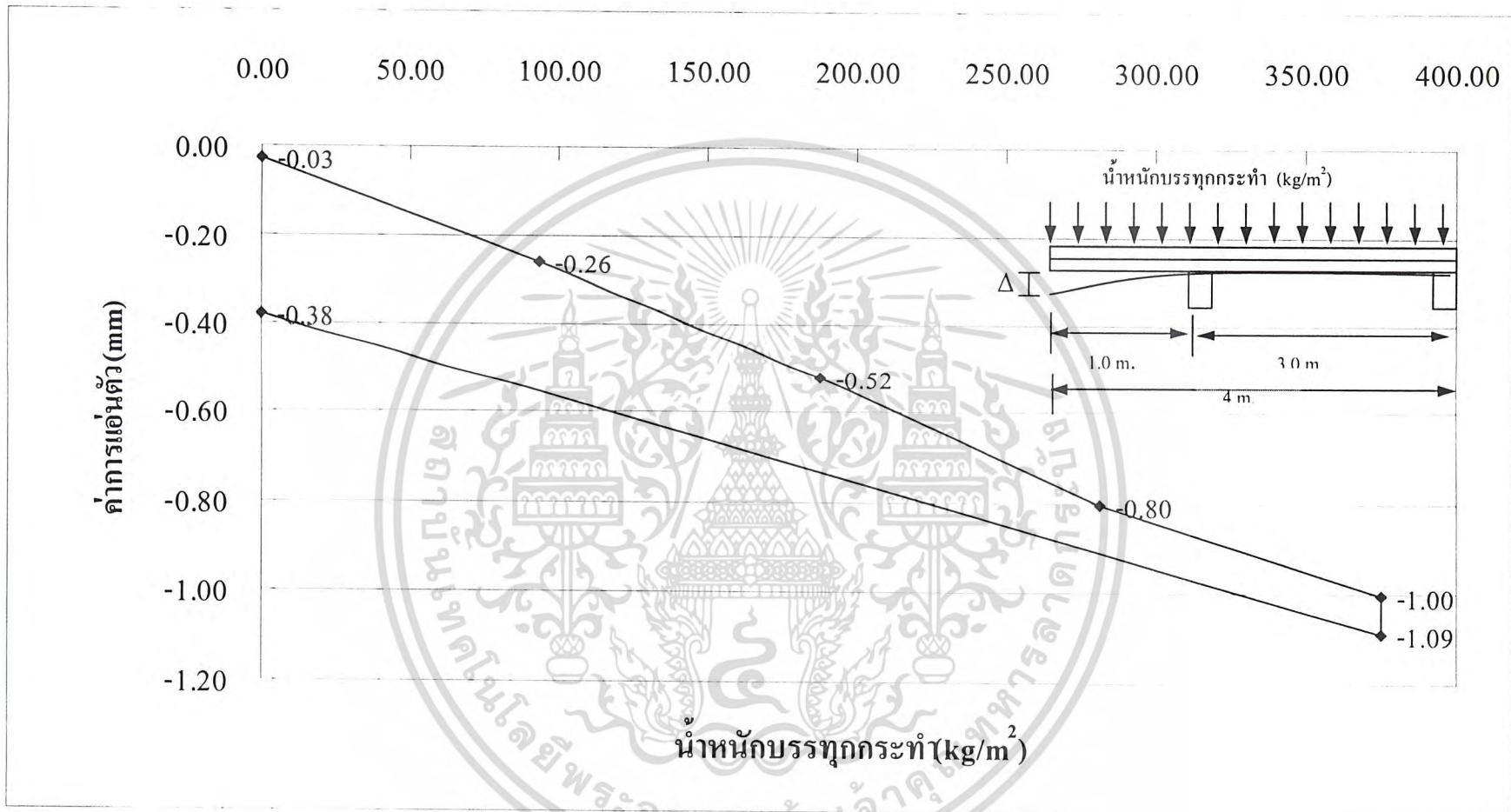
ช่วงความยาว (m)	ค่าการแอ่น ที่ 24 ชั่วโมง จุดที่ 1 (mm)	ค่าการแอ่น ที่ 24 ชั่วโมง จุดที่ 2 (mm)	ค่าการแอ่น เฉลี่ย ที่ 24 ชั่วโมง (mm)	ค่าการคืบตัว ที่ 24 ชั่วโมง จุดที่ 1 (mm)	ค่าการคืบตัว ที่ 24 ชั่วโมง จุดที่ 2 (mm)	ค่าการคืบตัว เฉลี่ย ที่ 24 ชั่วโมง (mm)	เปอร์เซ็นต์ การคืบตัว	การสังเกต รอยแตก
1.0	1.05	1.14	1.095	0.65	0.77	0.71	64.84	ไม่ปรากฏ
1.2	3.48	3.75	3.615	1.79	1.86	1.825	50.48	ไม่ปรากฏ
1.4	10.84	11.08	10.96	4.04	4.01	4.025	36.72	ปรากฏ
1.6	29.26	29.34	29.30	8.34	8.37	8.355	28.52	ปรากฏ



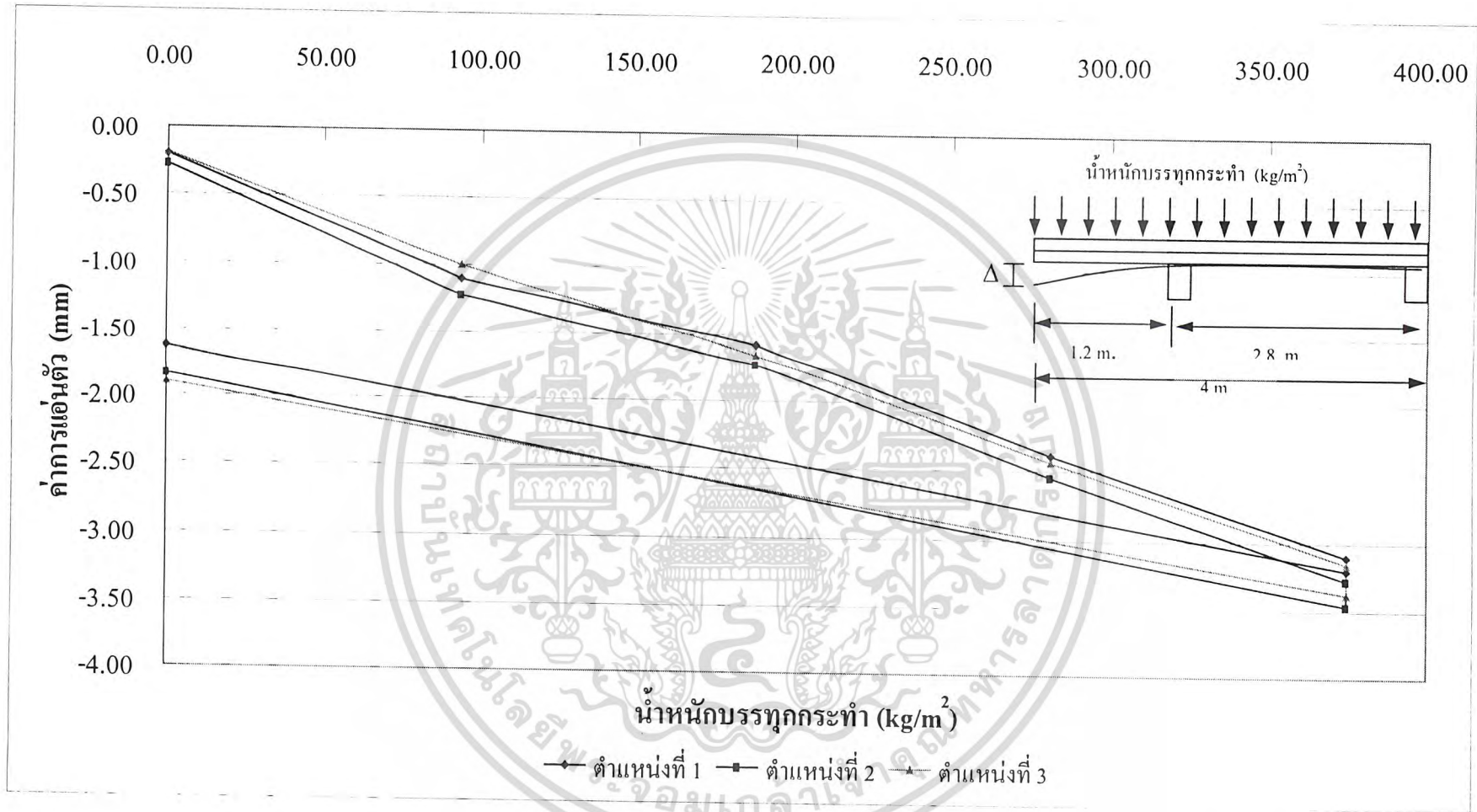
รูปที่ 4.1. กราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุกที่ค่าต่าง ๆ ที่ระยะความยาวช่วง 1.00 m. (ชุดที่ 1)



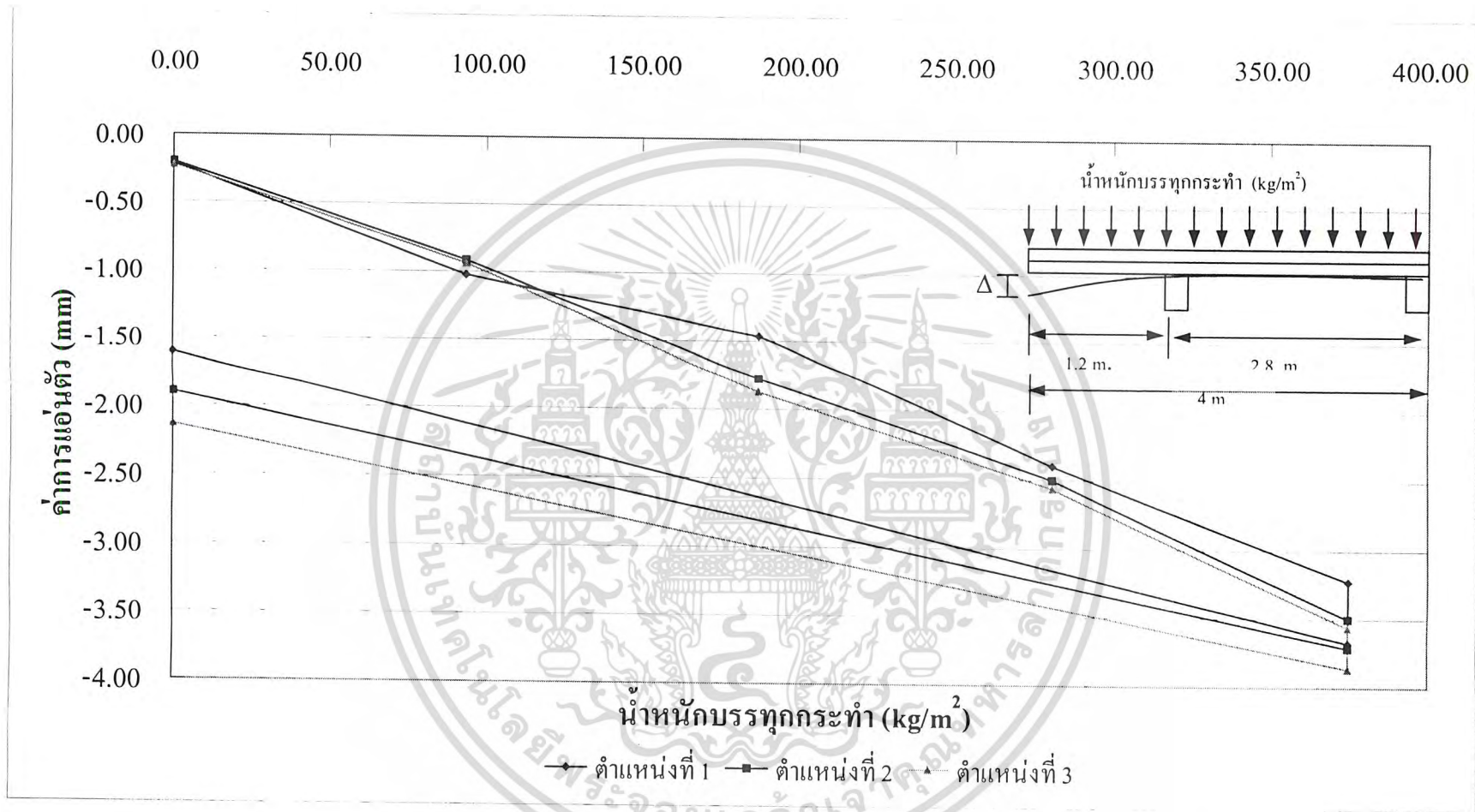
รูปที่ 4.2. กราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเอนตัวกับน้ำหนักบรรทุกที่ค่าต่าง ๆ ที่ระยะความยาวช่วง 1.00 m. (จุดที่ 2)



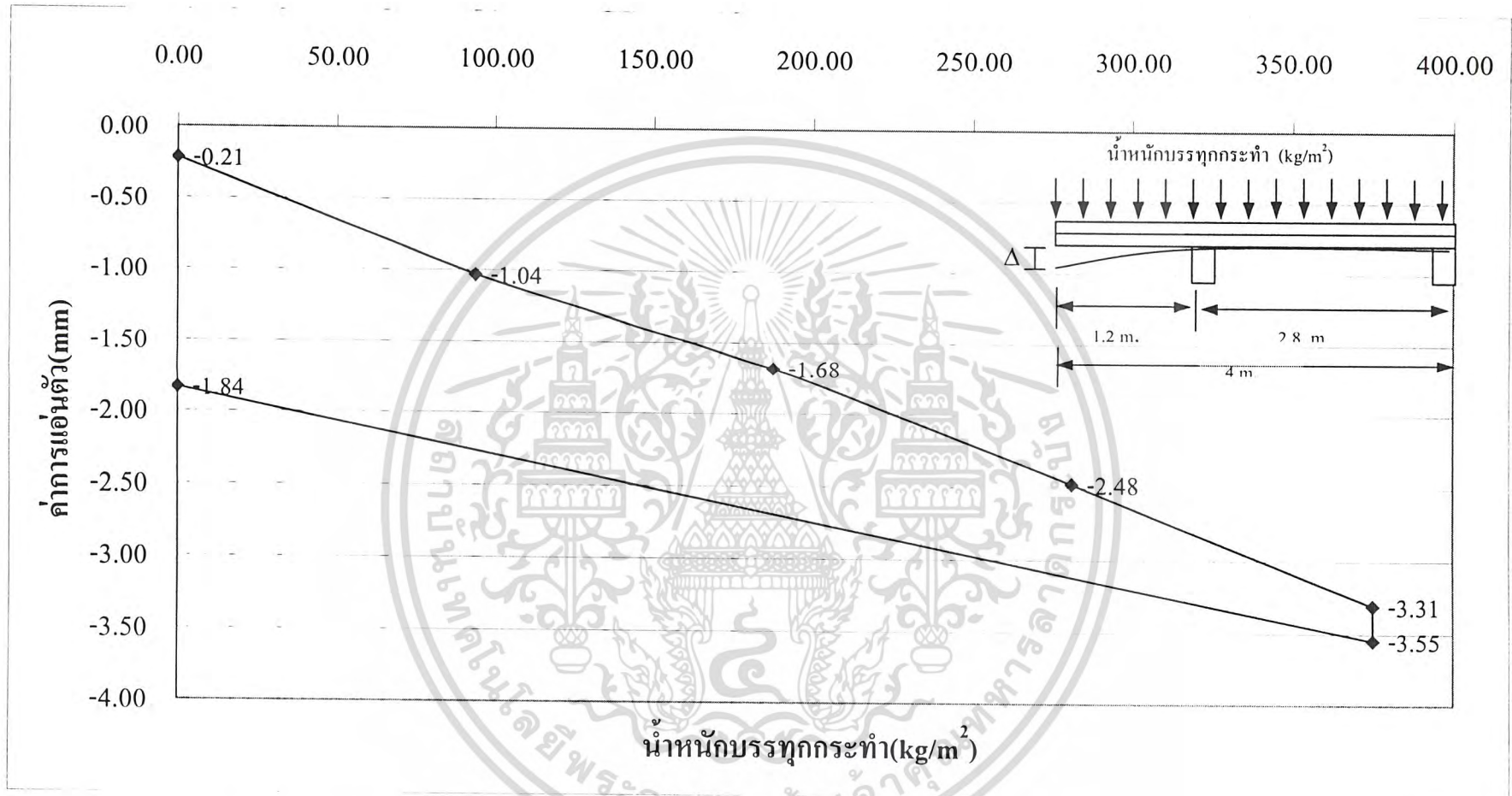
รูปที่ 4.3. กราฟแสดงค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเอ่นตัวกับน้ำหนักรวมทุกกระทำที่ค่าต่าง ๆ ที่ระยะความยาวช่วง 1.00 m.



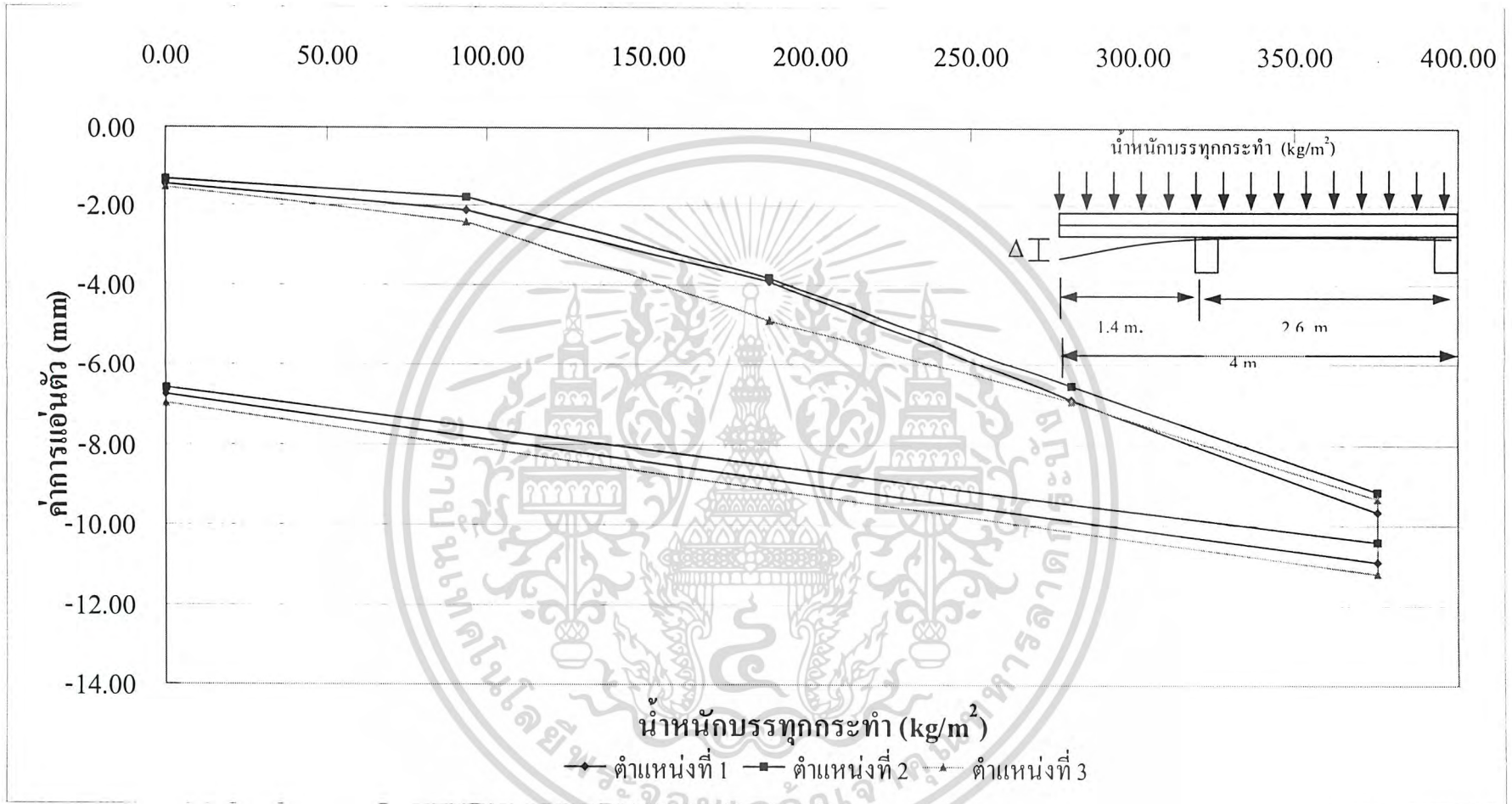
รูปที่ 4.4. กราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุกที่ค่าต่าง ๆ ที่ระยะความยาวช่วง 1.20 m. (จุดที่ 1)



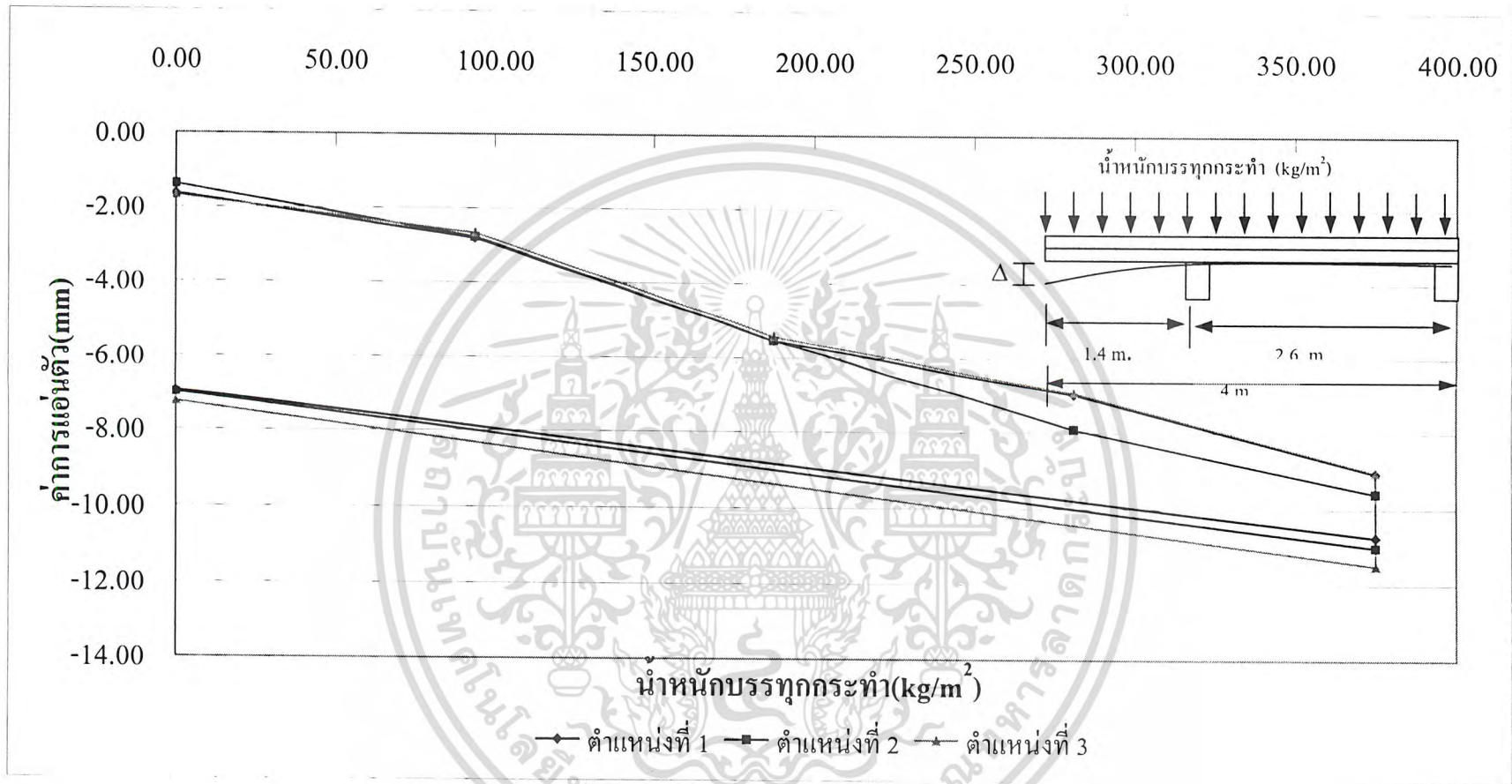
รูปที่ 4.5. กราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุกที่ค่าต่าง ๆ ที่ระยะความยาวช่วง 1.20 m. (ชุดที่ 2)



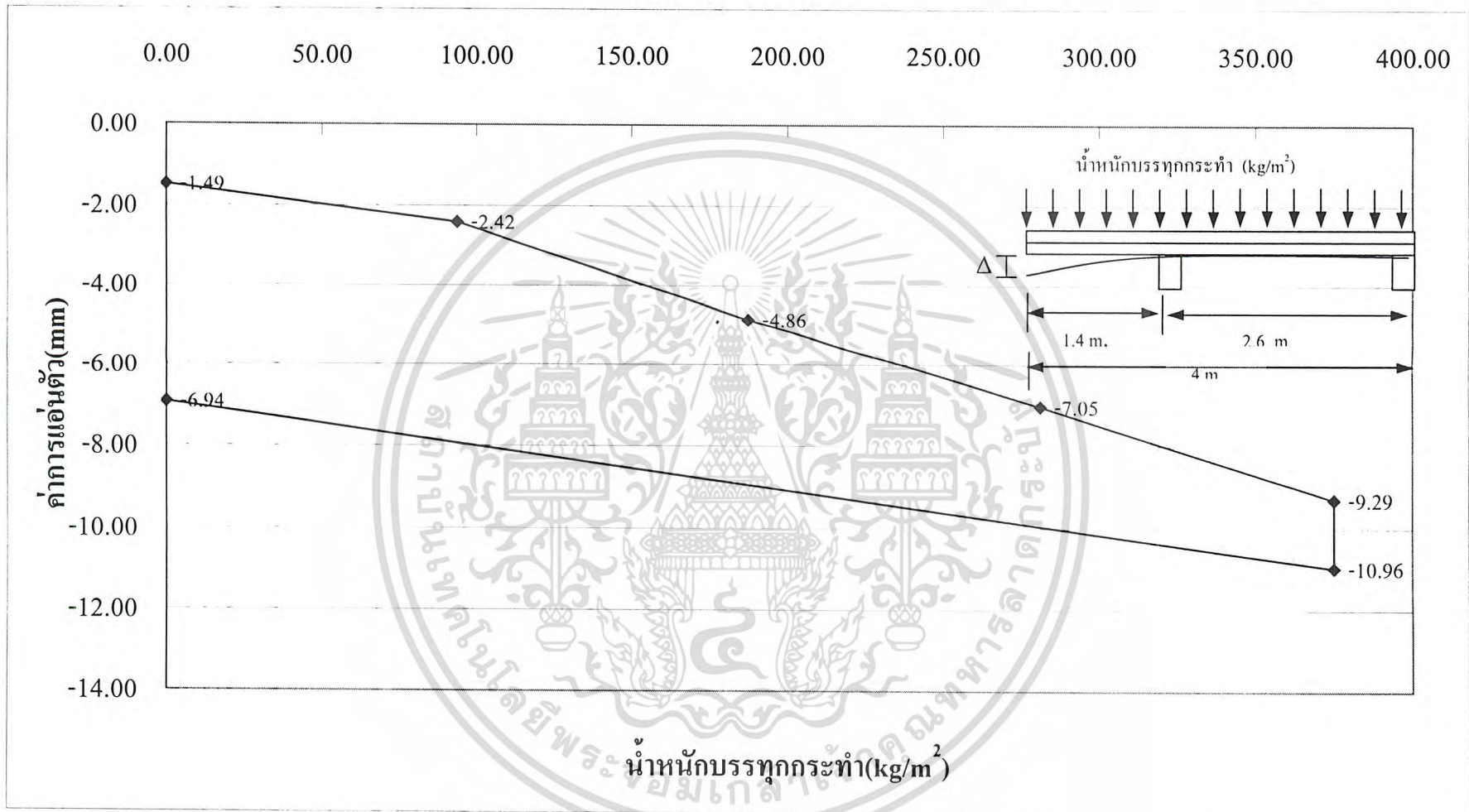
รูปที่ 4.6. กราฟแสดงค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุกที่ค่าต่าง ๆ ที่ระยะความยาวช่วง 1.20 m.



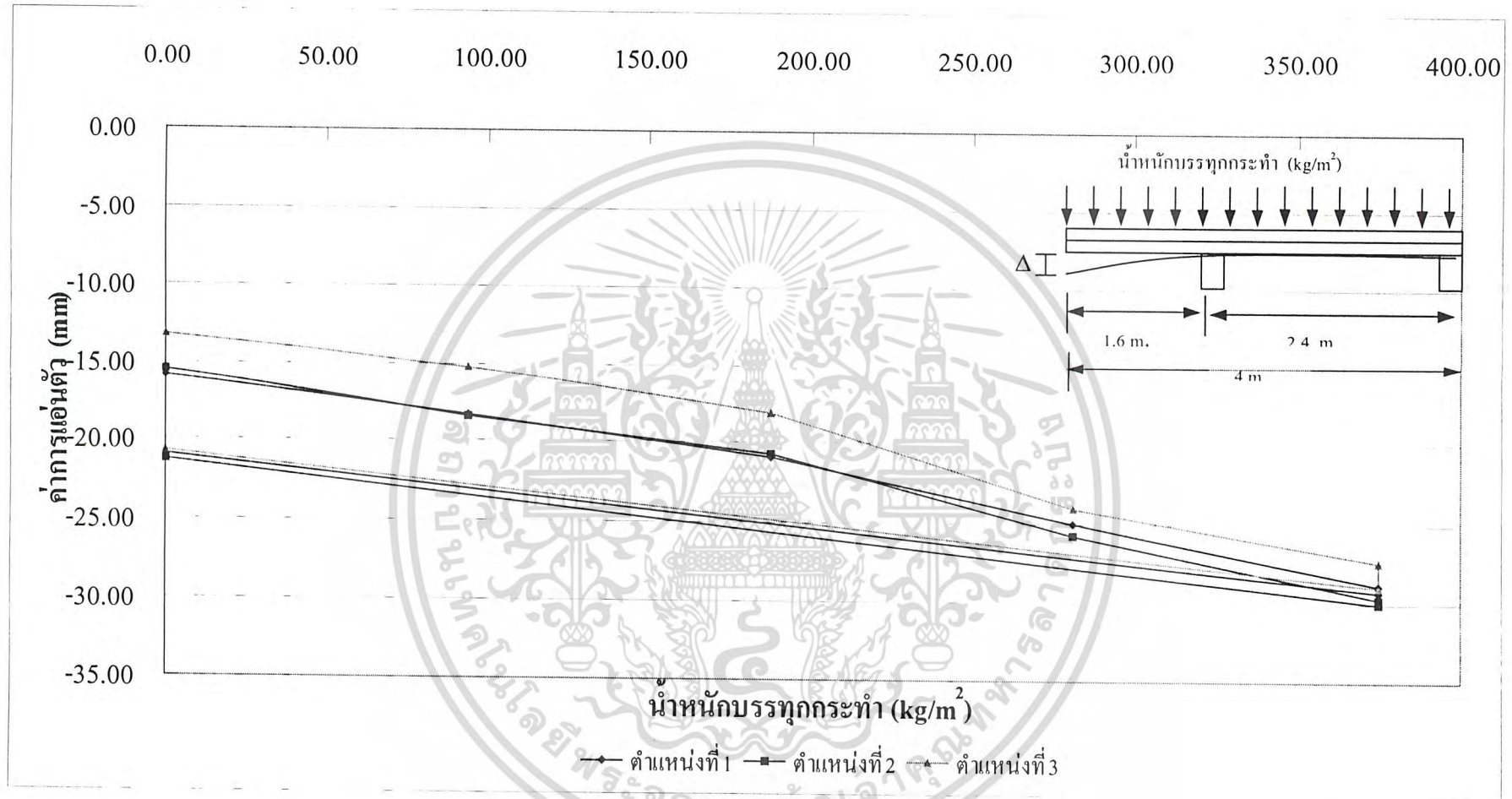
รูปที่ 4.7. กราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุกที่ค่าต่าง ๆ ที่ระยะความยาวช่วง 1.40 m. (ชุดที่ 1)



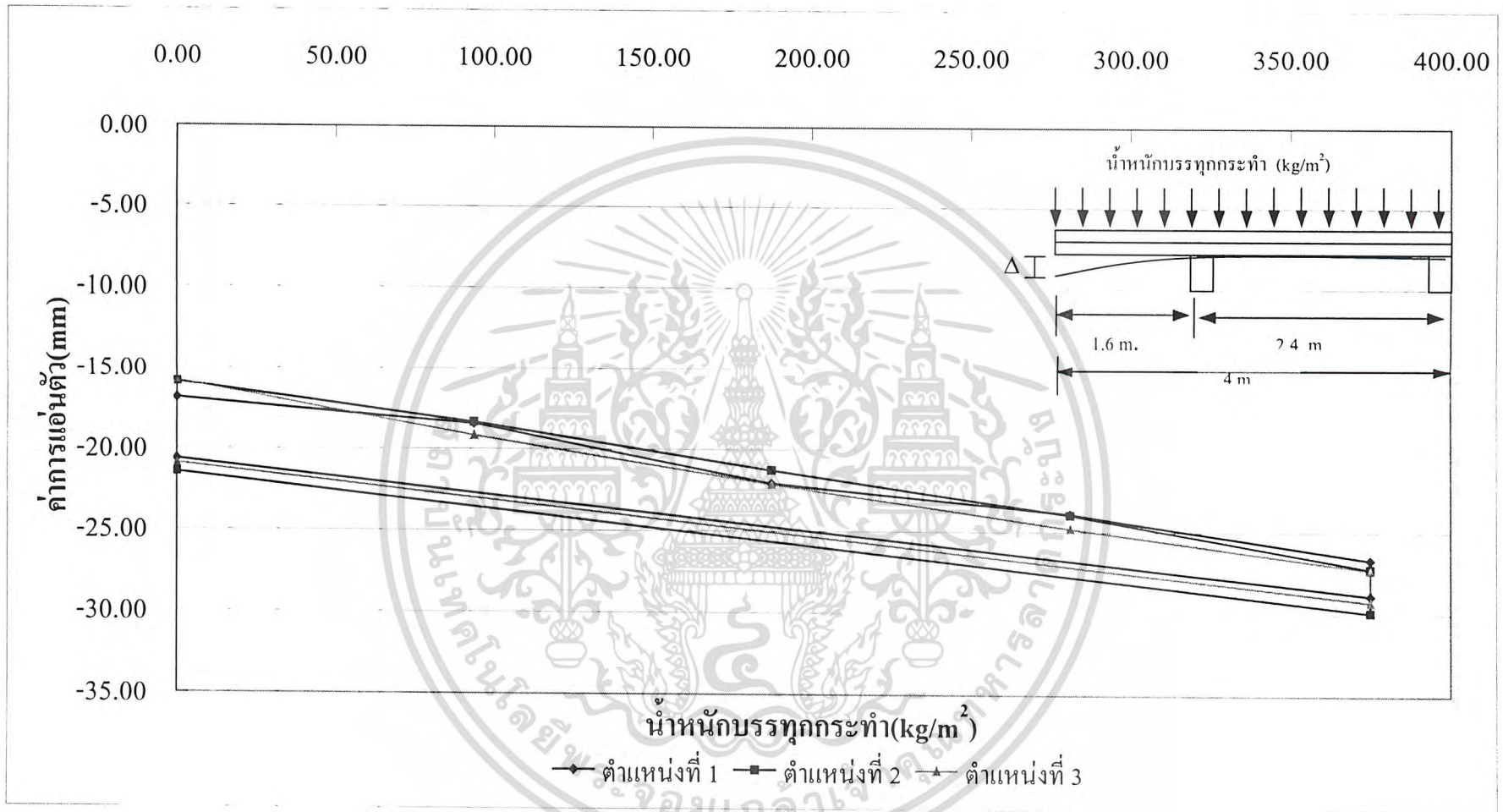
รูปที่ 4.8. กราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุกที่ค่าต่าง ๆ ที่ระยะความยาวช่วง 1.40 m. (จุดที่ 2)



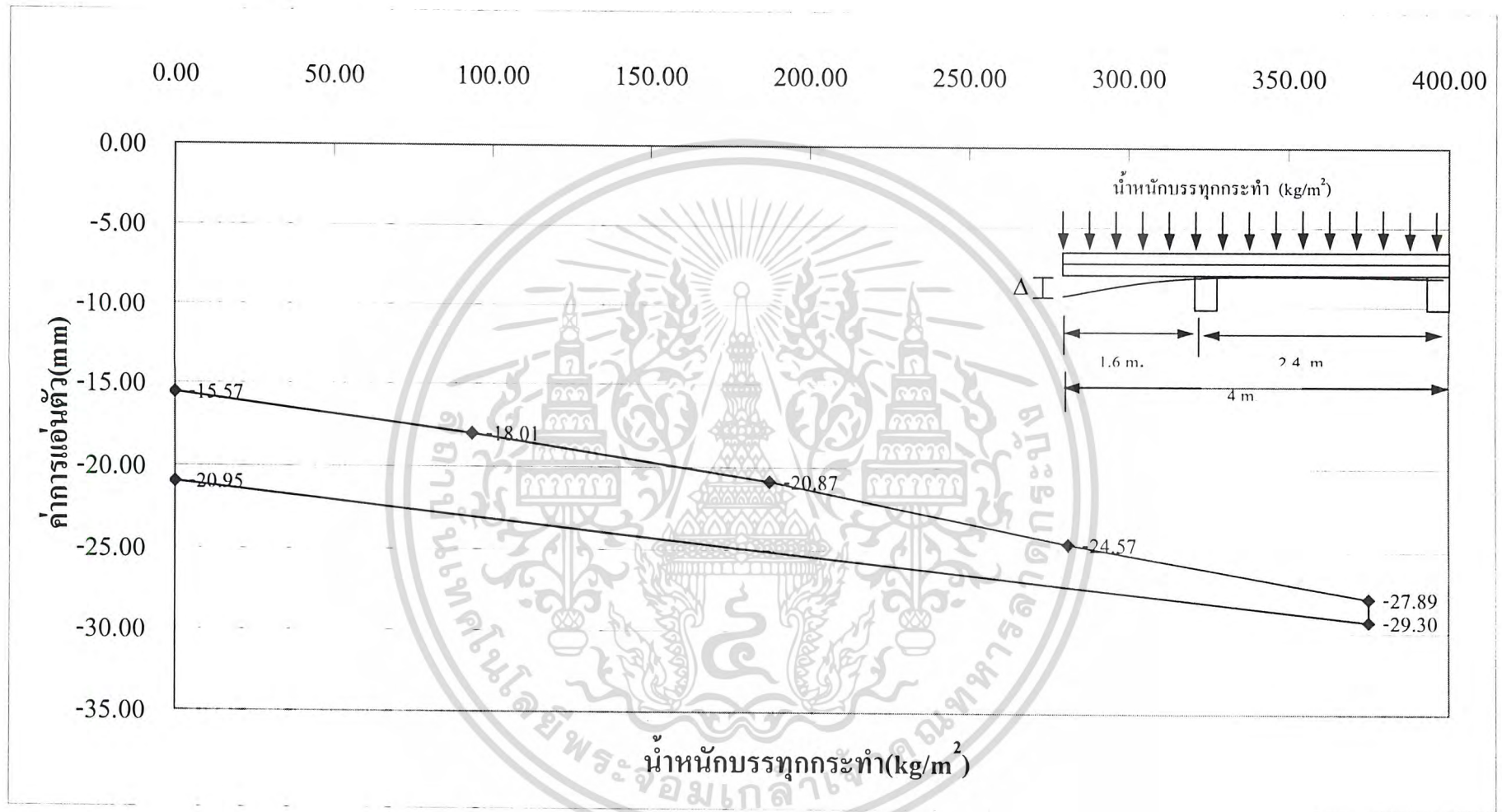
รูปที่ 4.9. กราฟแสดงค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุกที่ค่าต่าง ๆ ที่ระยะความยาวช่วง 1.40 m.



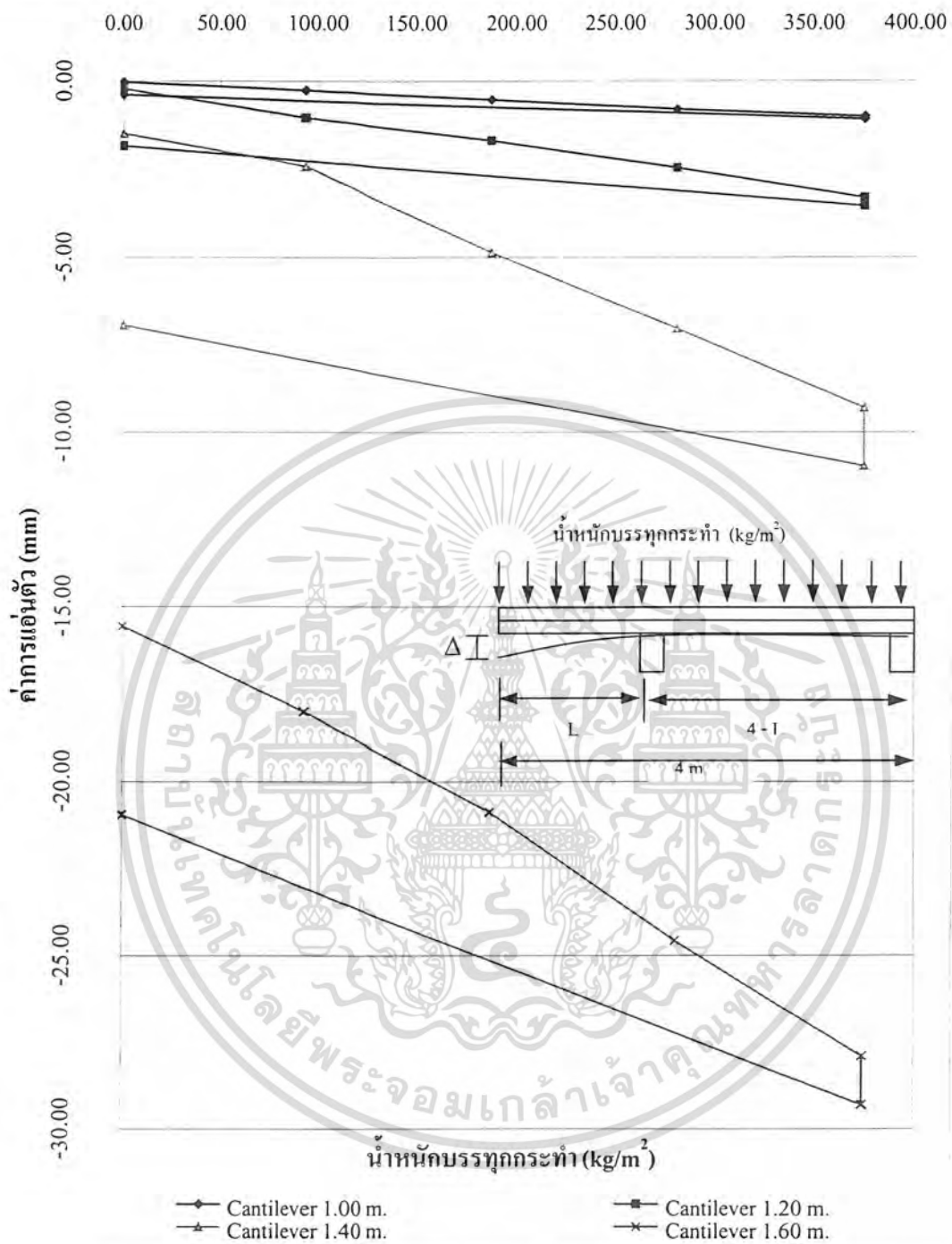
รูปที่ 4.10. กราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุกที่ค่าต่าง ๆ ที่ระยะความยาวช่วง 1.60 m. (ชุดที่ 1)



รูปที่ 4.11. กราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวกับน้ำหนักรบรรทุกที่ค่าต่าง ๆ ที่ระยะความยาวช่วง 1.60 m. (ชุดที่ 2)



รูปที่ 4.12. กราฟแสดงค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุกที่ค่าต่าง ๆ ที่ระยะความยาวช่วง 1.60 m.



รูปที่ 4.13. กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวจากการทดสอบ ณ ตำแหน่งปลายของแผ่นพื้นกับ น้ำหนักบรรทุกที่ค่าต่าง ๆ ของช่วงความยาวต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

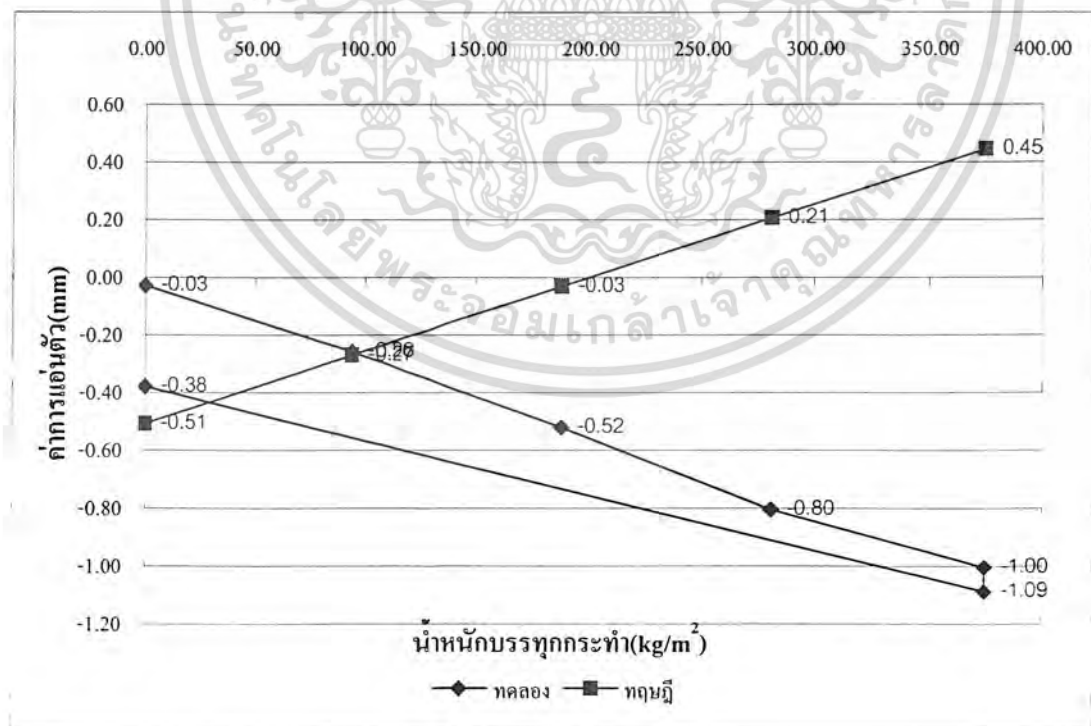
#### 4.2. การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากค่าการแอ่นตัวที่ได้จากการทดสอบจะนำมาเปรียบเทียบกับค่าการแอ่นตัวที่คำนวณได้จากทฤษฎี ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.10. และรูปที่ 4.14. ถึง 4.17.

ตารางที่ 4.10. ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวที่ได้จากการทดสอบ  
กับค่าการแอ่นตัวที่คำนวณได้จากทฤษฎี

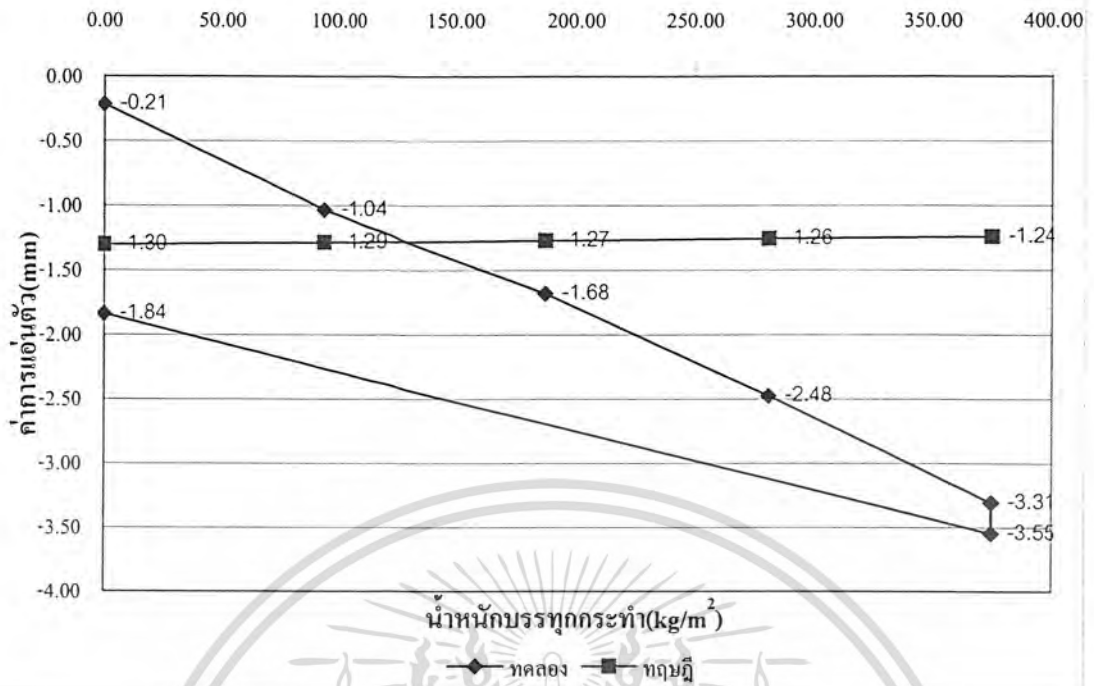
ช่วงความยาวพื่นยื่น (m)	ค่าการแอ่นตัว สุทธิที่คำนวณ ได้จากทฤษฎี (mm)	ค่าการแอ่นตัว เฉลี่ยที่ได้จาก การทดสอบ (mm)	ค่าการคลาดเคลื่อน (mm)	เปอร์เซ็นต์ การเกินตัว
1.0	0.44	-1.09	1.53	64.84
1.2	-1.24	-3.61	2.37	50.48
1.4	-3.58	-10.96	7.38	36.72
1.6	-6.59	-29.30	22.71	28.52

หมายเหตุ - เครื่องหมายบวกเป็นการโก่งขึ้น , เครื่องหมายลบเป็นการแอ่นลง

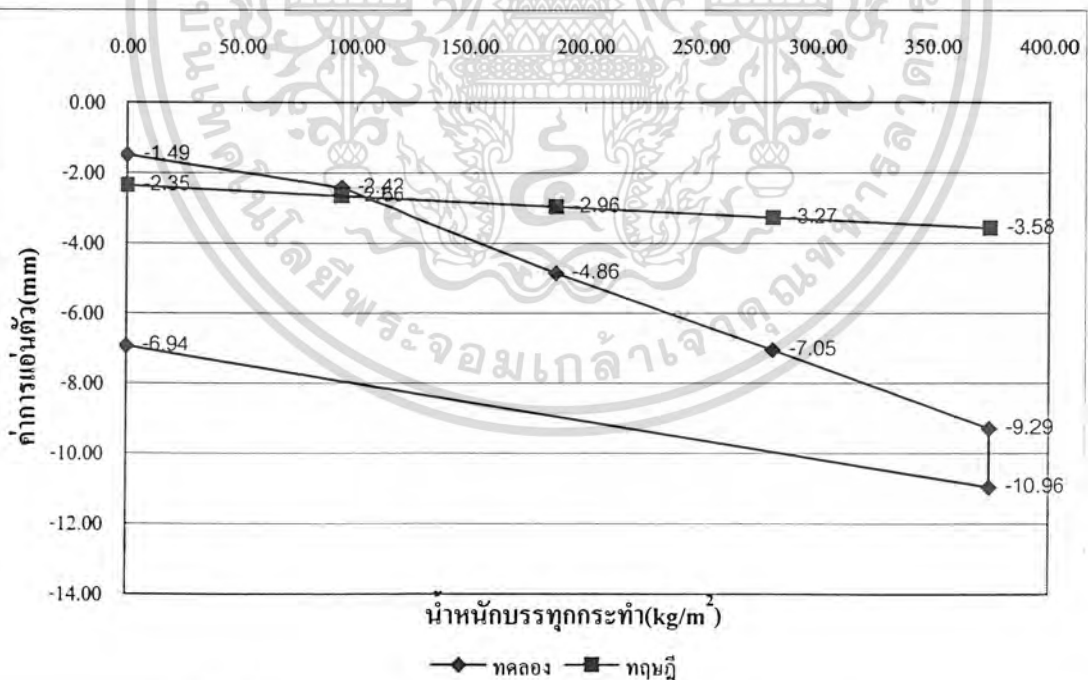


รูปที่ 14.14. แสดงการเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวที่ได้จากการทดสอบกับ  
ค่าการแอ่นตัวที่คำนวณได้จากทฤษฎีที่ระยะความยาวช่วง 1.0 m.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

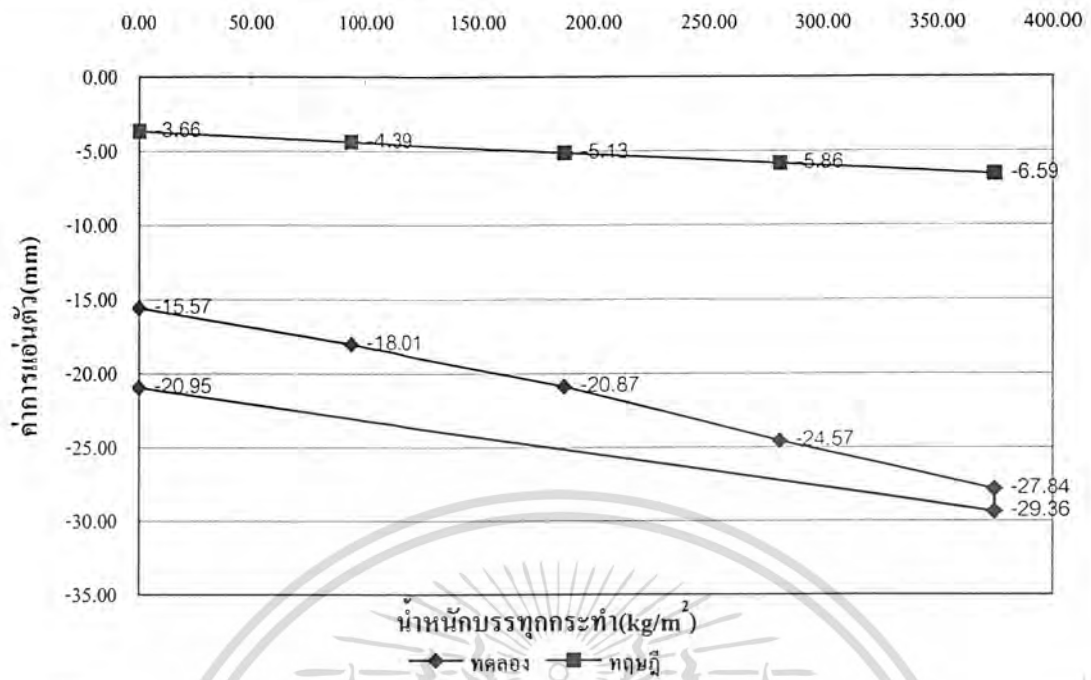


รูปที่ 14.15. แสดงการเปรียบเทียบค่าการแตกร้าวที่ได้จากการทดสอบกับค่าการแตกร้าวที่คำนวณได้จากทฤษฎีที่ระยะเวลายาวช่วง 1.2 m.



รูปที่ 14.16. แสดงการเปรียบเทียบค่าการแตกร้าวที่ได้จากการทดสอบกับค่าการแตกร้าวที่คำนวณได้จากทฤษฎีที่ระยะเวลายาวช่วง 1.4 m.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 14.17. แสดงการเปรียบเทียบค่าการแอนตัวที่ได้จากการทดสอบกับ  
ค่าการแอนตัวที่คำนวณได้จากทฤษฎีที่ระยะความยาวช่วง 1.6 m.

จากตารางที่ 4.10. และรูปที่ 4.14. ถึง 4.17. จะเห็นได้ว่าถ้าช่วงความยาวพื้นยื่นเพิ่มมากขึ้น ค่าการคลาดเคลื่อนการแอนตัวที่คำนวณได้จากทฤษฎีกับค่าการแอนตัวที่ได้จากการทดสอบ มีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นด้วย ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การคืนตัวจะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งที่ช่วงความยาวพื้นยื่น 1.4 m. และ 1.6 m. มีความแตกต่างมากระหว่างค่าการแอนตัวที่คำนวณได้จากทฤษฎีกับค่าการแอนตัวที่ได้จากการทดสอบ เพราะว่าที่ 2 ช่วงความยาวนี้เกิดการแตกร้าวขึ้น จึงทำให้ค่าการแอนตัวที่ได้จากการทดสอบมากกว่าค่าการแอนตัวที่คำนวณได้จากทฤษฎี ซึ่งพิจารณาเฉพาะกรณีที่ไม่เกิดการแตกร้าวเท่านั้น ส่วนที่ช่วงความยาวพื้นยื่น 1.0 m. ค่าการแอนตัวที่คำนวณได้จากทฤษฎีกับค่าการแอนตัวที่ได้จากการทดสอบมีทิศทางตรงข้ามกัน เนื่องจากค่าโมดูลัสยืดหยุ่นระหว่างคอนกรีตทับหน้ากับคอนกรีตอัดแรง

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1. สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบและการวิเคราะห์การทดสอบแผ่นพื้นสำเร็จรูปที่ความยาวทั้งหมด 4 m. จะเห็นได้ว่าในช่วงความยาว 1.4 m. และ 1.6 m. ค่าการแอ่นตัวที่ได้จากการทดสอบแตกต่างกันไปจากค่าการแอ่นตัวที่คำนวณได้จากทฤษฎีมากขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การคืนตัวค่อนข้างน้อย และยังไม่ปรากฏรอยแตกร้าวด้วย ส่วนช่วงความยาว 1.2 m. ถึงแม้ว่าค่าการแอ่นตัวที่ได้จากการทดสอบแตกต่างกันไปจากค่าการแอ่นตัวที่คำนวณได้จากทฤษฎีไม่มากนัก และไม่ปรากฏรอยแตกร้าว แต่ถ้าได้รับน้ำหนักกระทำซ้ำๆ ไปเรื่อยๆ อาจจะทำให้ค่าการแอ่นตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อการรับน้ำหนักและความปลอดภัย ส่วนในช่วงความยาว 1.0 m. ค่าการแอ่นตัวที่ได้จากการทดสอบแตกต่างกันไปจากค่าการแอ่นตัวที่คำนวณได้จากทฤษฎีไม่มากนัก ค่าเปอร์เซ็นต์การคืนตัวก็ค่อนข้างมาก และยังไม่ปรากฏรอยแตกร้าวด้วย จึงเหมาะสมที่จะนำพื้นสำเร็จแผ่นเรียบไปใช้งานเป็นพื้นยื่นสำหรับบ้านพักอาศัย โดยจะต้องมีการเสริมเหล็กเข้าไปในส่วนของคอนกรีตทับหน้าให้เพียงพอต่อการต้าน โมเมนต์ล้นที่เกิดขึ้นจากพฤติกรรมของพื้นยื่นทั้งปริมาณและความยาวตามทฤษฎีซึ่งได้กล่าวไปแล้วในงานวิจัยนี้

#### 5.2. ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้งานจริง (กรณีใช้เป็นพื้นยื่นในส่วนระเบียง)

ในการนำแผ่นพื้นสำเร็จรูปแผ่นเรียบไปใช้งานเป็นพื้นยื่นในส่วนระเบียง จะมีการก่อผนังราวกันตกสูงประมาณ 0.9 m. จึงได้ทำการตรวจสอบความสามารถของพื้นสำเร็จรูปแผ่นเรียบที่นำไปใช้งาน ในด้านความสามารถในการรับ โมเมนต์ ความสามารถในการรับหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัด และความสามารถในการรับหน่วยแรงเฉือนในแนวราบ จากผลสรุปที่สามารถนำแผ่นพื้นสำเร็จรูปมาใช้งานเป็นพื้นยื่นได้ที่มีความยาวส่วนยื่น 1.0 m. ดังนั้นจึงจะเริ่มพิจารณาในช่วงความยาวนี้ แสดงดังตารางที่ 5.1. ถึง 5.3.

ตารางที่ 5.1. ตารางแสดงความสามารถในการรับโมเมนต์

ช่วงความยาวที่นำไปใช้งาน (m)	ค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นจากการใช้งาน (kg-m)	ค่าความสามารถในการรับโมเมนต์ของเหล็กเสริม RB 9 (kg-m)	หมายเหตุ
1.0	357.00	215.28	ใช้ไม่ได้
0.9	303.75	215.28	ใช้ไม่ได้
0.8	254.40	215.28	ใช้ไม่ได้
0.7	208.95	215.28	ใช้ได้

ตารางที่ 5.2. ตารางแสดงความสามารถในการรับหน่วยบนหน้าคคเกิดขึ้น

ความยาว (m.)	ที่คอนกรีตทับหน้า			หมายเหตุ	ที่คอนกรีตอัดแรง			หมายเหตุ
	หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่คิ้วบน (ksc)	หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่คิ้วล่าง (ksc)	หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (ksc)		หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่คิ้วบน (ksc)	หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่คิ้วล่าง (ksc)	หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (ksc)	
0.7	7.86	0.64	29.93	ใช้ได้	-57.24	-26.02	-157.5	ใช้ได้

หมายเหตุ - เครื่องหมายบวกเป็นแรงอัด , เครื่องหมายลบเป็นแรงดึง

ตารางที่ 5.3. ตารางแสดงความสามารถในการรับหน่วยแรงเฉือนในแนวราบที่เกิดขึ้น

ความยาว (m)	หน่วยแรงเฉือนแนวราบที่เกิดขึ้น (ksc)	หน่วยแรงเฉือนแนวราบที่ยอมให้ (ksc)	หมายเหตุ
0.7	0.53	5.2	ใช้ได้

หมายเหตุ - หน่วยแรงเฉือนแนวราบที่ยอมให้มามีค่าเท่ากับ 5.2 ksc.

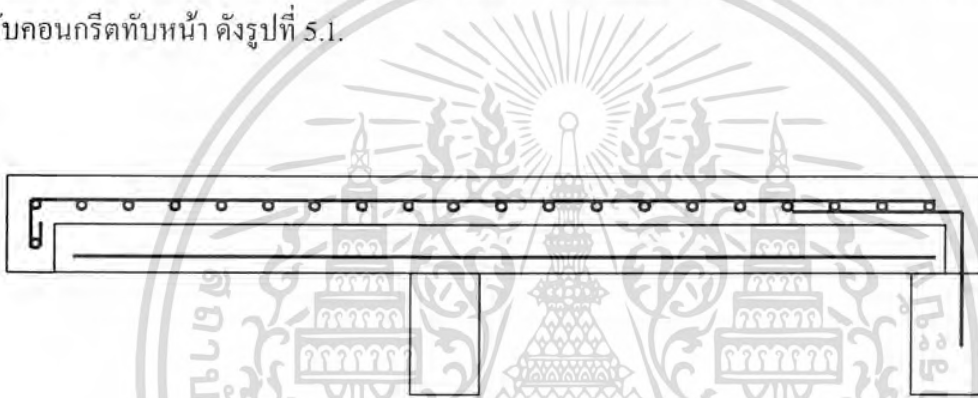
สำหรับคิ้วที่ถูกต้องใจทำให้ขยาย ไม่มีเหล็กผ่านรอยต่อคิ้วสัมผัส [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

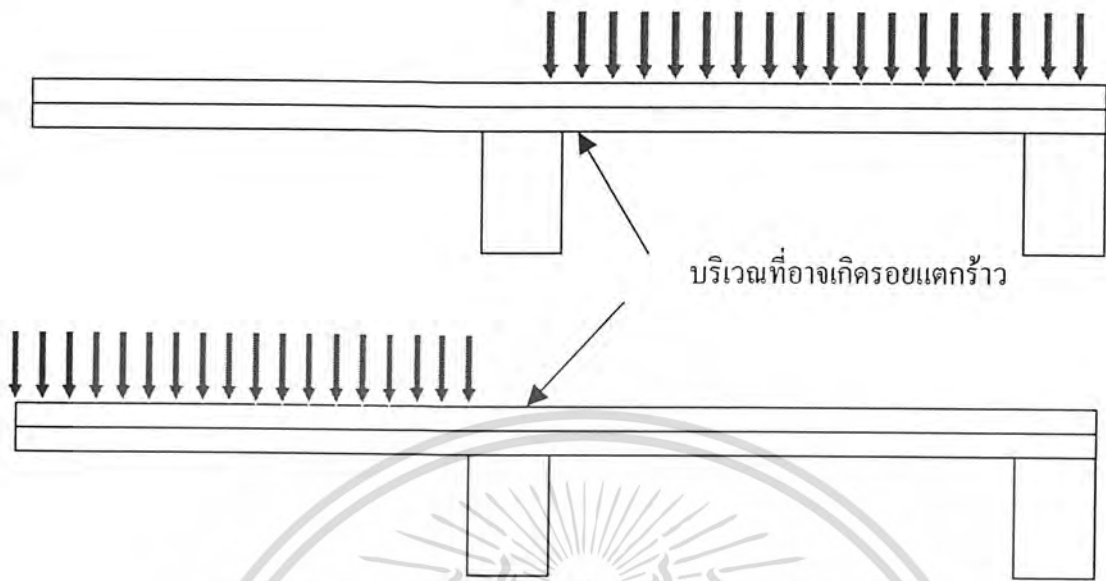
จากตารางที่ 5.1. ถึง 5.3. จะเห็นได้ว่าเมื่อนำพื้นสำเร็จรูปแผ่นเรียบที่ช่วงความยาวทดสอบ 1 m. ไปใช้งาน โดยมีผนังรวกกันตกรสูง 0.9 m. จะสามารถใช้ได้ที่มีความยาวพื้นยื่น 0.7 m. จึงจะสามารถรับโมเมนต์ที่เกิดขึ้นได้ โดยใช้ปริมาณเหล็กเสริมเท่าที่ทดสอบคือที่ความยาว 1 m. ส่วนในด้านความสามารถในการรับหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัด และความสามารถในการรับหน่วยแรงเฉือนในแนวราบก็สามารถรับได้ด้วย

ดังนั้นการนำแผ่นพื้นสำเร็จรูปแผ่นเรียบไปใช้งานเป็นพื้นยื่นที่ออกแบบปริมาณเหล็กเสริมที่ความยาว 1 m. ในส่วนระเบียงที่มีการก่อผนังรวกกันตกรสูงประมาณ 0.9 m. สามารถนำไปใช้งานได้ในช่วงความยาวสูงสุด 0.7 m.

ขอแนะนำเพิ่มเติมในการนำไปใช้งานควรคำนึงถึงการออกแบบในส่วนเหล็กยึดกันกระดกในส่วนท้ายของแผ่นพื้นและทำการหุ้มปลายพื้นเพื่อช่วยเพิ่มการยึดรั้งกันระหว่างคอนกรีตอัดแรงกับคอนกรีตทับหน้า ดังรูปที่ 5.1.



รูปที่ 5.1. ตัวอย่างการเสริมเหล็กกันกระดกที่ปลายคาน



รูปที่ 5.2. แสดงตัวอย่างเหตุการณ์ที่อาจทำให้เกิดการแตกร้าวที่ผิวคอนกรีตได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการอ้างอิง

- [ 1 ] - นเรศ พันธราช, 2540. การออกแบบคอนกรีตอัดแรง, พิมพ์ครั้งที่ 1 , กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ไลบารีนาย.
- [ 2 ] - วินิต ช่อวิเชียร, 2545. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์ ป. สัมพันธ์พาณิชย์.
- [ 3 ] - วินิต ช่อวิเชียร, 2544. ทฤษฎีโครงสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ป. สัมพันธ์พาณิชย์.
- [ 4 ] - AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ( ACI ) อ้างถึงใน นเรศ พันธราช, 2540. การออกแบบคอนกรีตอัดแรง, พิมพ์ครั้งที่ 1 , กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ไลบารีนาย.
- [ 5 ] - มาตรฐานการทดสอบคอนกรีตหล่อสำเร็จ มอก. 557-2531 อ้างถึงใน บริษัท เชนเนอร์ลเอนยีเนียร์ริ่ง . คู่มือวิศวกรโยธา. กรุงเทพฯ .
- [ 6 ] - คุณสมบัติของพื้นสำเร็จรูปแผ่นเรียบ อ้างถึงใน บริษัท วิน คอนกรีต จำกัด, เอกสารประกอบพื้นสำเร็จรูป.
- [ 7 ] - AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ( ACI ) อ้างถึงใน คมสัน มาลีสี และ นิพนธ์ จิรสวรรณกุล , 2535. การศึกษาความสามารถในการรับน้ำหนักของพื้นสำเร็จรูปเมื่อมีการก่อกำแพง. โครงการพิเศษ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [ 8 ] - วีระเดช พะเยาศิริพงศ์, 2544. รวมกฎหมายก่อสร้าง , กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ พัฒนาศึกษา.
- [ 9 ] - มาตรฐานการทดสอบคอนกรีตอัดแรง อ้างถึงใน บริษัท อิมแพ็ค จำกัด, รายงานการทดสอบแผ่นพื้นสำเร็จรูปแผ่นเรียบ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- นเรศ พันธราช, 2540. การออกแบบคอนกรีตอัดแรง, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ:
- สำนัก พิมพ์ ไลบราเรียนาย.
- วินิต ช่อวิเชียร, 2545. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้
- งาน. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์ ป. สัมพันธ์พาณิชย์.
- วินิต ช่อวิเชียร, 2544. ทฤษฎีโครงสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ป. สัมพันธ์
- พาณิชย์
- วีระเดช พะเขาสีริงศ์, 2544. รวมกฎหมายก่อสร้าง, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ พัฒนา
- ศึกษา.
- S. timoshenko & D.H. young. Elements of strength, Maruzen Asian Edition: D. van
- nostrand company, Inc, Maruzen company, Ltd
- Ferdinand P. Beer, E. rosssell Johnston, JR. Metric Edition. Mechanics of Materials:
- Mc Graw-hill Book Company.
- Punmia, B.C, 1981, Strength of materials and mechanics of structures, New Delhi :
- Standard Publishers Distributors
- John Case, Lord Chilver, Carl T.F. Ross, 1999. Strength of materials and structure, 4
- th ed London : Arnold.
- H. Werner Rosenthal, 1972. Structure, London : Macmillan.
- F.K. Kong, R.H. Evans, 1989. Reinforced and prestressed concrete, 3rd ed. London :
- ELBS/Van Nostrand Reinhold.
- R. Holland, 1997. Reinforced concrete. London : Thomas Telford.

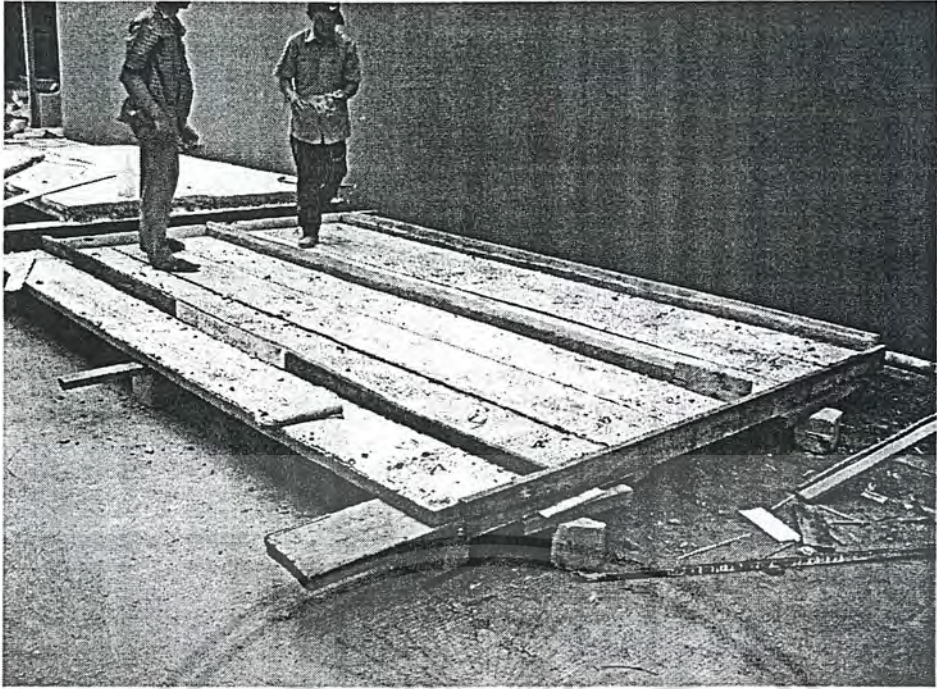
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก

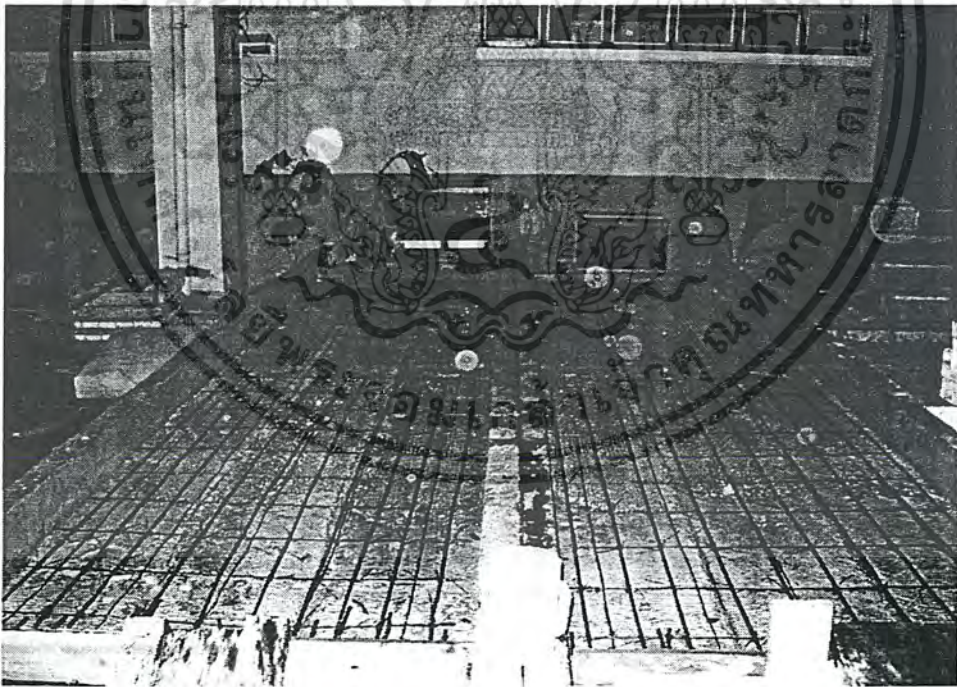
## รูปแสดงการดำเนินการทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

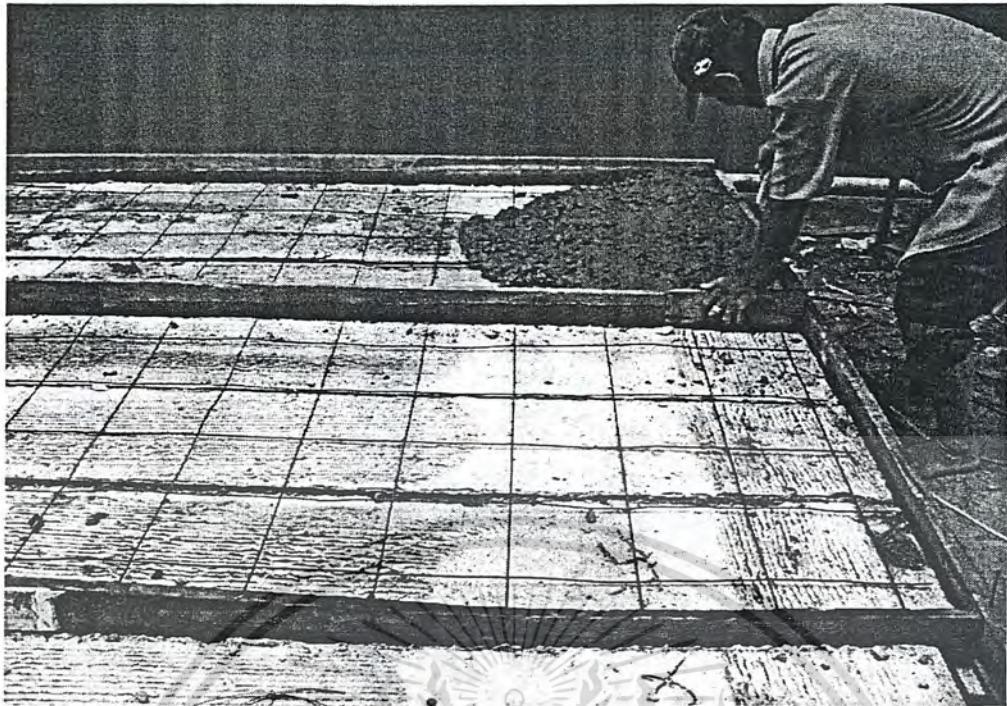


รูปที่ ผก.1. การเตรียมแบบหล่อสำหรับเทคอนกรีตที่พื้น



รูปที่ ผก. 2. ลักษณะการวางเหล็กเสริมและเหล็กตะแกรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

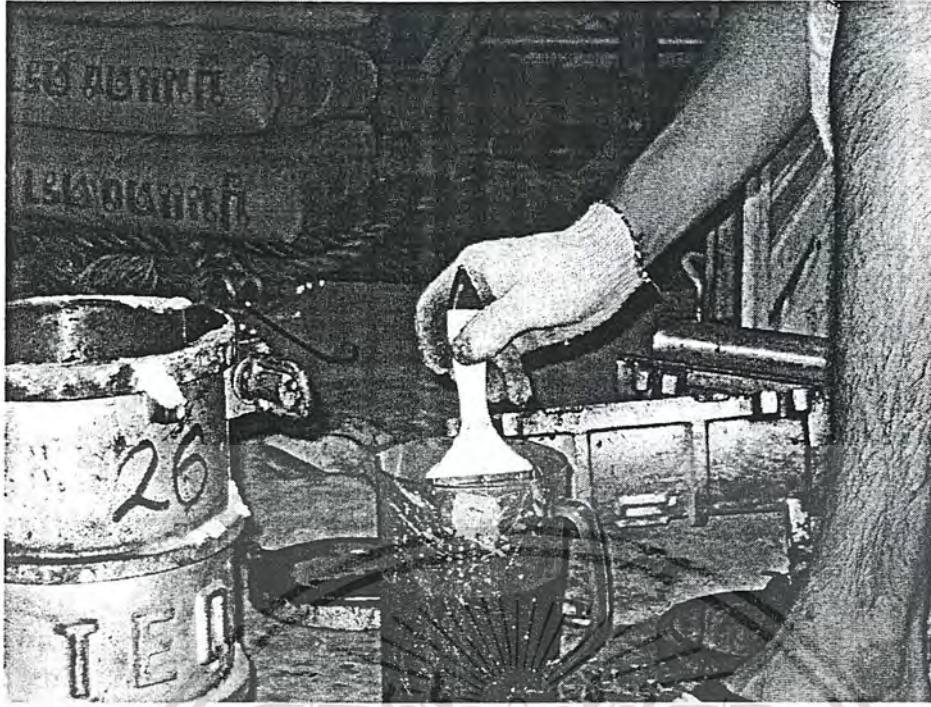


รูปที่ ผก.3. การเทคอนกรีตทับหน้า



รูปที่ ผก.4. การตรวจสอบระยะการยุบตัวของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

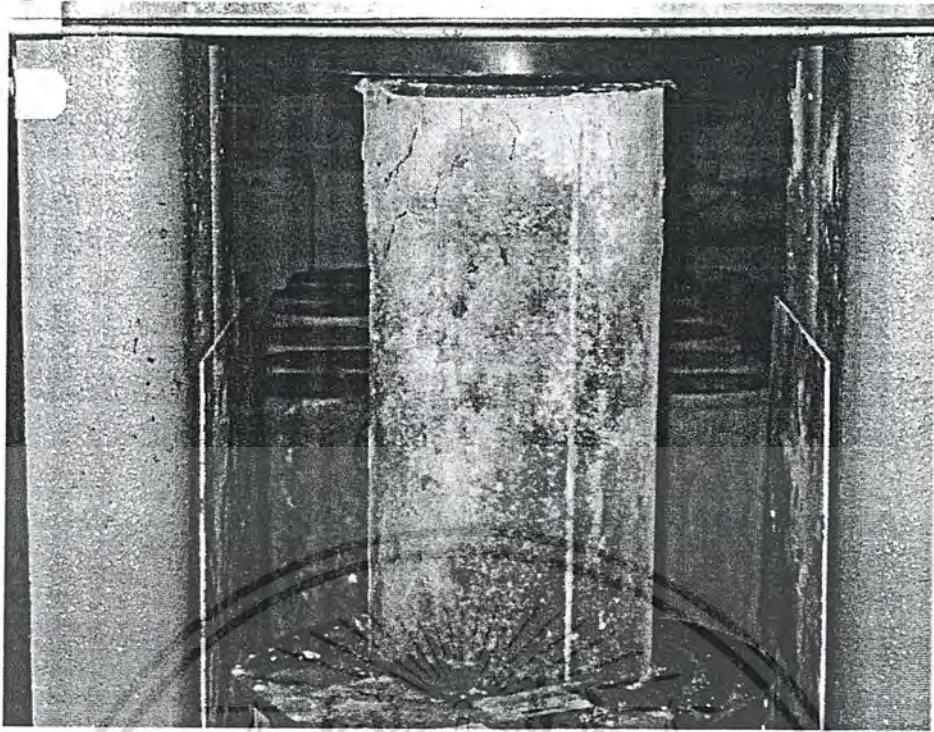


รูปที่ ผก. 5. การเตรียมแบบหล่อใช้สำหรับทดสอบกำลังของคอนกรีต

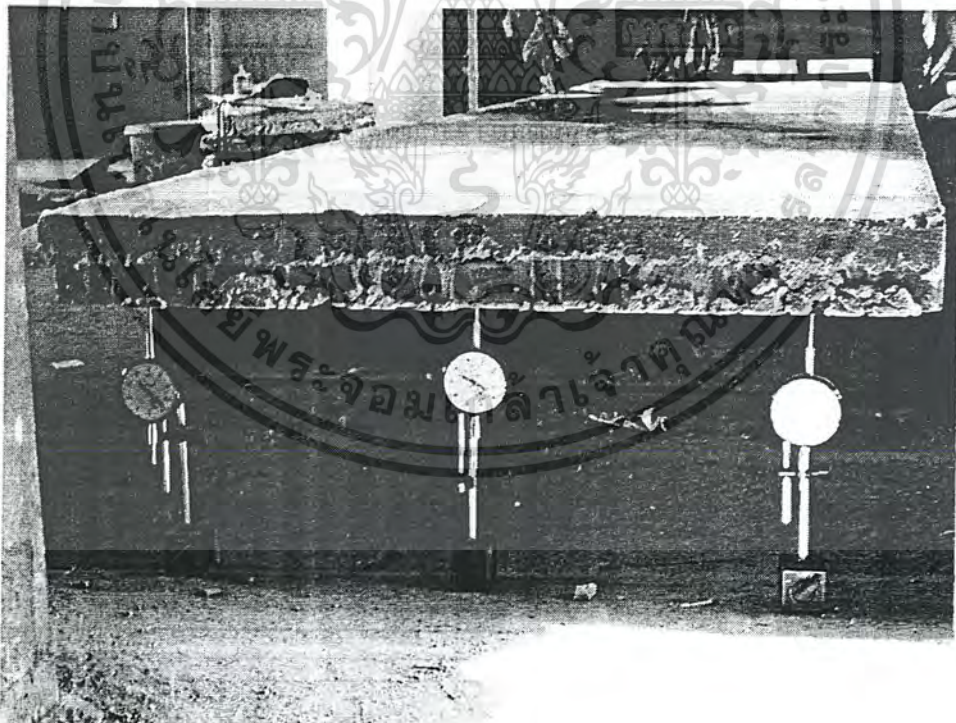


รูปที่ ผก. 6. ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบกำลังของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

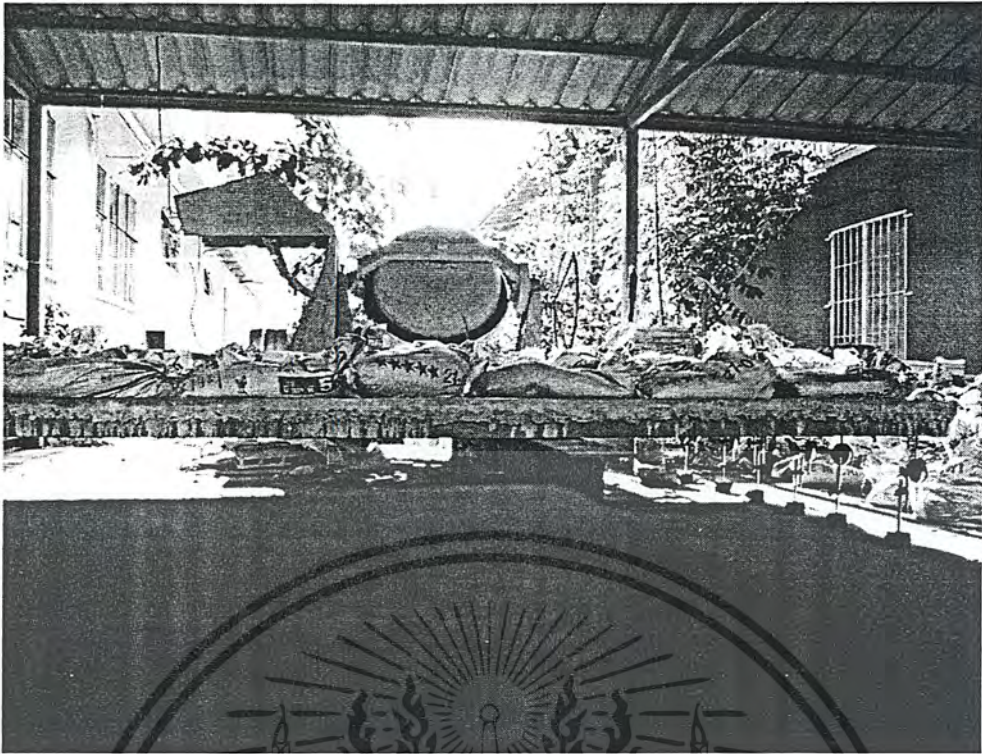


รูปที่ ผก. 7. การทดสอบกำลังของคอนกรีตก่อนการทดสอบแผ่นพื้น



รูปที่ ผก. 8. การเตรียมแผ่นพื้นที่ใช้ในการทดสอบและการติดตั้ง DIAL GAUGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

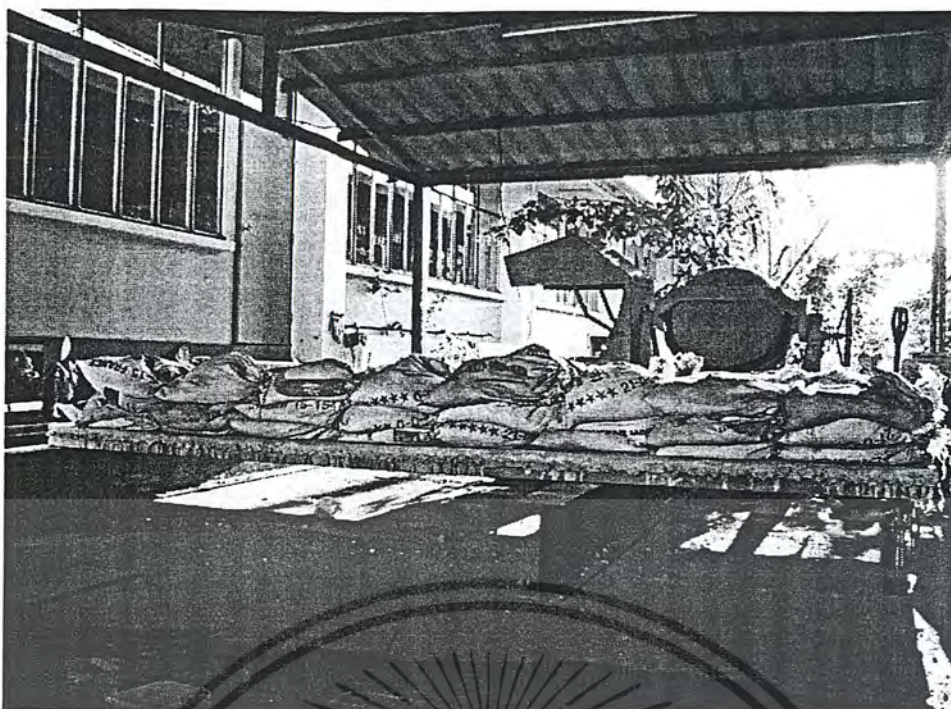


รูปที่ ผก.9. การทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบที่  $93.75 \text{ kg/m}^2$  และวัดค่าการแอ่นตัว

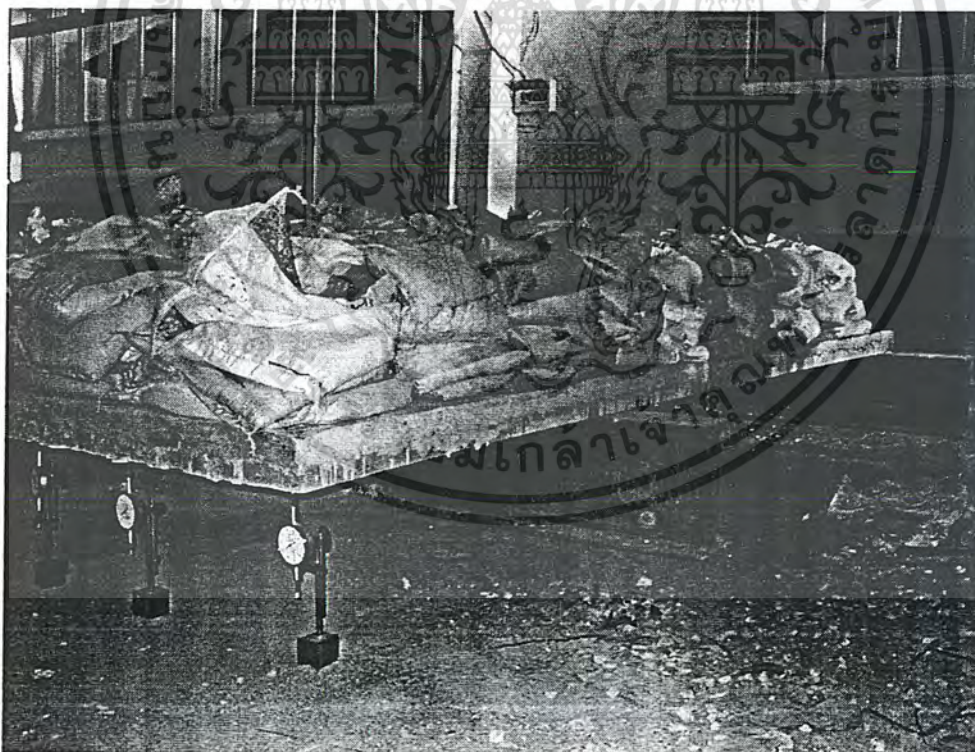


รูปที่ ผก.10. การทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบที่  $187.50 \text{ kg/m}^2$  และวัดค่าการแอ่นตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผก.11. การทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบที่  $281.25 \text{ kg/m}^2$  และวัดค่าการแอ่นตัว

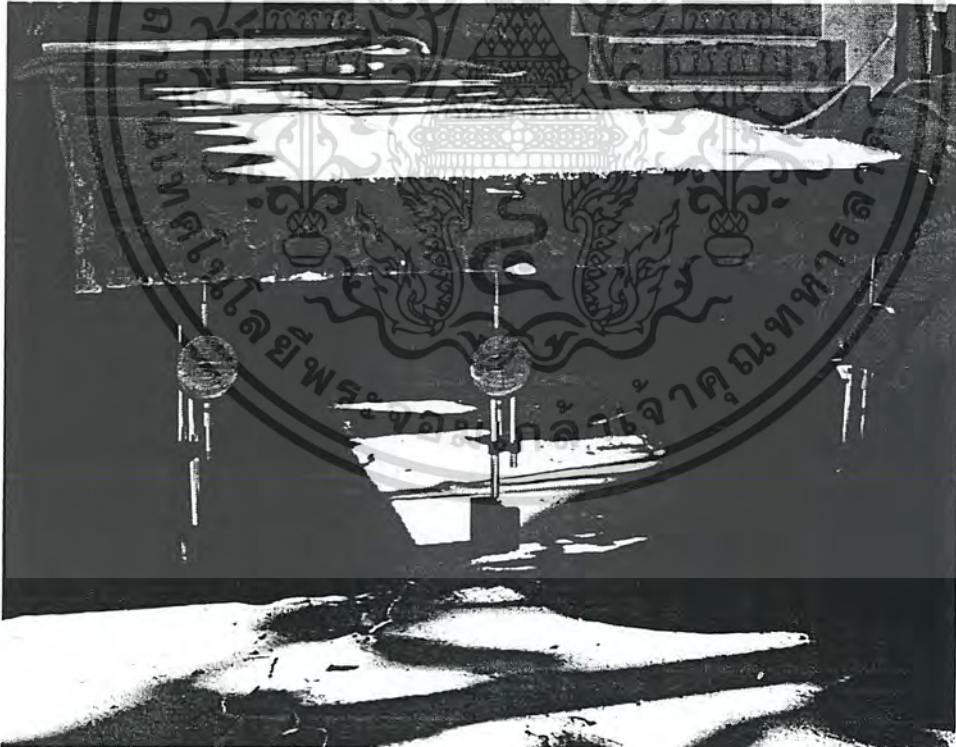


รูปที่ ผก.12. การทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบที่  $375 \text{ kg/m}^2$  และวัดค่าการแอ่นตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผก. 13. ตรวจสอบรอยแตกร้าวหลังจากวางน้ำหนักบรรทุกทดสอบที่  $375 \text{ kg/m}^2$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ ผก. 14. ปลดน้ำหนักบรรทุกทดสอบ เพื่อวัดค่าการคืนตัวที่ 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข

## รายการคำนวณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำนวณการเสื่อมลดของแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปอัดแรงแผ่นเรียบ



ใช้แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปอัดแรงสี่เหลี่ยมตันขนาด 35\*5 cm. ยาว 4 m.

เทคอนกรีตทับหน้าหนา 5 cm.

$$f'_c = 350 \text{ ksc}, \quad f_{pu} = 17500 \text{ ksc}, \quad f_{pi} = 0.7f_{pu} = 12250 \text{ ksc},$$

$$f_c = 0.45f'_c = 157.5 \text{ ksc}, \quad f_{ci}' = 0.8f'_c = 280 \text{ ksc},$$

$$f_{ci} = 0.6f_{ci}' = 168 \text{ ksc}, \quad f_t = 1.6\sqrt{f_c} = 29.93 \text{ ksc},$$

$$f_{py} = 0.8f_{pu} = 14000 \text{ ksc}$$

การคำนวณ

- คุณสมบัติของแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปอัดแรงสี่เหลี่ยมตัน

$$A_{pc} = 5 \times 35 = 175 \text{ cm}^2, \quad c_t = c_b = 2.5 \text{ cm}, \quad e = 0.5 \text{ cm},$$

$$A_{ps} = \pi \times 0.2^2 \times 5 = 0.126 \text{ cm}^2, \quad I_{pc} = \frac{35 \times 5^3}{12} = 364.58 \text{ cm}^4,$$

$$r^2 = \frac{I_{pc}}{A_{pc}} = 364.58 / 175 = 2.08 \text{ cm}^2$$

$$w_c = 0.35 \times 0.05 \times 2400 = 42 \text{ kg/m}, \quad E_s = 1.97 \times 10^6 \text{ ksc}$$

$$P_i = A_{ps} f_{pi} = 5 \times 0.126 \times 12250 = 7717.5 \text{ kg}$$

$$M_D = \frac{wl^2}{8} = \frac{42 \times 4^2}{8} = 84 \text{ kg-m}$$

- การเสื่อมลดเนื่องจากการหดตัวอีลาสติกของคอนกรีต (ES), ให้  $P_i = P_j$

$$f_{cs} = \frac{-P_i}{A_{pc}} \left[ 1 + \frac{e^2}{r^2} \right] + \frac{M_D e}{I_{pc}}$$

$$= \frac{-7717.5}{175} \left[ 1 + \frac{0.5^2}{2.08} \right] + \frac{84 \times 100 \times 0.5}{364.58}$$

$$= -49.4 + 11.52 = -37.88 \text{ ksc}$$

$$E_{ci} = 15,200 \sqrt{f_{ci}'} = 15200 \sqrt{280} = 254344.65 \text{ ksc}$$

$$n = \frac{E_s}{E_{ci}} = \frac{1.97 \times 10^6}{254344.65} = 7.75$$

$$\text{ดังนั้น } ES = n f_{cs} = 7.75 \times 37.88 = 293.57 \text{ ksc}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเสื่อมลดเนื่องจากการคืบของคอนกรีต (CR)

$$E_c = 15200 \sqrt{f'_c} = 15200 \sqrt{350} = 284365.96 \text{ ksc}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{1.97 \times 10^6}{284365.96} = 6.93$$

$$W_{SD} (\text{topping}) = 0.05 \times 0.35 \times 2400 = 42 \text{ kg-m}$$

$$M_{SD} = \frac{wl^2}{8} = \frac{42 \times 4^2}{8} = 84 \text{ kg-m}$$

$$f_{CSD} = \frac{M_{SD} e}{I_{pc}} = \frac{84 \times 100 \times 0.05}{364.58} = 11.52 \text{ ksc}$$

$$CR = nK_{cr} (f_{cs} - f_{CSD}) = 6.93 \times 2(37.88 - 11.52) = 365.35 \text{ ksc}$$

$$K_{cr} = 2 \text{ สำหรับองค์อาคารอัดแรงแบบคั้งก่อน}$$

- การเสื่อมลดเนื่องจากการคลายแรงของเหล็กเสริม (RE)

$$\frac{f_{pi}}{f_{pu}} = 0.7 \text{ ใช้ลวดอัดแรง ได้ค่า } C = 1$$

ให้ใช้ลวดอัดแรง PC4 (ความต้านแรงดึงค่าสุด 17500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

$$\text{ได้ค่า } K_{rc} = 1300 \text{ ksc}, J = 0.14$$

$$RE = C [K_{rc} - J(ES + CR + SH)]$$

$$= 1 [1,300 - 0.14 (293.57 + 365.35 + 0)] = 1,207.75 \text{ ksc}$$

สรุปการเสื่อมลด

$$\text{คั้งนั้นการเสื่อมลดทั้งหมด} = 293.57 + 365.35 + 1207.75 = 1866.67 \text{ ksc}$$

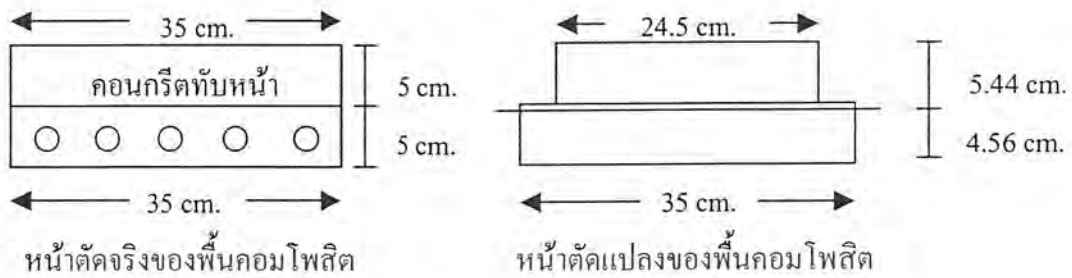
$$f_{pc} = f_{pi} - \text{การเสื่อมลดทั้งหมด}$$

$$= 12250 - 1866.67 = 10383.33 \text{ ksc}$$

$$P_c = f_{pc} A_{ps} = 10383.33 \times 0.126 \times 5 = 6541.5 \text{ kg}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำนวณหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากโครงสร้างคอมโพสิต



อัตราส่วนโมดูลัสยืดหยุ่นของพื้นหล่อทับต่อพื้นคอนกรีตอัดแรง

$$n_c = \frac{15200\sqrt{173}}{15200\sqrt{350}} = 0.7$$

ความกว้างเทียบเท่า  $b_c = 0.7 \times 35 = 224.5 \text{ cm.}$

ตำแหน่งศูนย์กลางของหน้าตัดแปลง

$$y = \frac{(24.5 \times 5 \times 2.5) + (35 \times 5 \times 7.5)}{(24.5 \times 5) + (35 \times 5)} = 5.44 \text{ cm.}$$

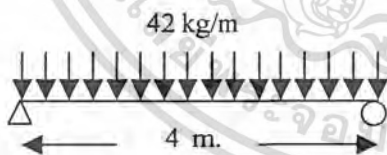
โมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดแปลง

$$I_{tr} = \left( \frac{24.5 \times 5^3}{12} + 24.5 \times 5 \times 2.94^2 \right) + \left( \frac{35 \times 5^3}{12} + 35 \times 5 \times 2.06^2 \right) = 2421.26 \text{ cm}^4$$

น้ำหนักของคอนกรีตทับหน้า

$$w_c = 0.35 \times 0.05 \times 2400 = 42 \text{ kg-m}$$

สมการค่าโมเมนต์ที่ตำแหน่งต่างๆ



$$M = 84x - 21x^2$$

- หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากโครงสร้างคอมโพสิตที่ระยะพื้นยื่น 1 เมตร

ขณะถ่ายแรง

หน่วยแรงที่ผิวคอนกรีตของแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแผ่นเรียบ

$$\sigma_c = \frac{-P_i}{A_c} \pm \frac{P_i e c}{I_{pc}} \pm \frac{M_D c}{I_{pc}}$$

$$M = 84(1) - 21(1)^2 = 63 \text{ kg-m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma_c = -\frac{7717.5}{175} \pm \frac{7717.5 \times 0.5 \times 2.5}{364.58} \pm \frac{63 \times 100 \times 2.5}{364.58}$$

$$= -44.1 \pm 26.46 \pm 43.2$$

ผิวบน :  $\sigma_c = -44.1 + 26.46 - 43.2 = -60.84 \text{ ksc} < f_{ci} = -168 \text{ ksc}$

ผิวล่าง :  $\sigma_c = -44.1 - 26.46 + 43.2 = -27.36 \text{ ksc} < f_{ci} = -168 \text{ ksc}$

ขณะเทคอนกรีตทับหน้า (มีการติดตั้งค้ำยันในขณะเทคอนกรีตทับหน้าและวางเป็นพื้นชั่วคราวเดียว)

หน่วยแรงที่ผิวคอนกรีตของแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแผ่นเรียบ

$$\sigma_c = \frac{-Pe}{A_c} \pm \frac{P_e ec}{I_{pc}} \pm \frac{M_{DC}}{I_{pc}}$$

$$M = 84(1) - 21(1)^2 = 63 \text{ kg-m}$$

$$\sigma_c = -\frac{6541.5}{175} \pm \frac{6541.5 \times 0.5 \times 2.5}{364.58} \pm \frac{63 \times 100 \times 2.5}{364.58}$$

$$= -37.38 \pm 22.43 \pm 43.2$$

ผิวบน :  $\sigma_c = -37.38 + 22.43 - 43.2 = -58.15 \text{ ksc} < f_c = -157.5 \text{ ksc}$

ผิวล่าง :  $\sigma_c = -37.38 - 22.43 + 43.2 = -16.61 \text{ ksc} < f_c = -157.5 \text{ ksc}$

ขณะใช้งาน (นำแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแผ่นเรียบไปใช้เป็นพื้นอื่น)

หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นที่ผิวคอนกรีตของ โครงสร้างคอมโพสิต

$$\Delta\sigma_c = \frac{\Delta Mc}{I_{tr}}$$

$$\Delta M = [42 + (375 \times 0.35)] \frac{1^2}{2} = 86.63 \text{ kg-m}$$

ผิวบน :  $\Delta\sigma_c = \frac{86.63 \times 100 \times 5.44}{2421.26} = 19.46 \text{ ksc}$

รอยต่อ :  $\Delta\sigma_c = \frac{86.63 \times 100 \times 0.44}{2421.26} = 1.57 \text{ ksc}$

ผิวล่าง :  $\Delta\sigma_c = -\frac{86.63 \times 100 \times 4.56}{2421.26} = -16.32 \text{ ksc}$

ดังนั้นหน่วยแรงรวมที่เกิดขึ้นจริงบนหน้าตัดพื้นคอนกรีตทับหน้า

ผิวบน :  $\sigma_c = 19.46 \times 0.7 = 13.62 < f_t = 29.93 \text{ ksc}$

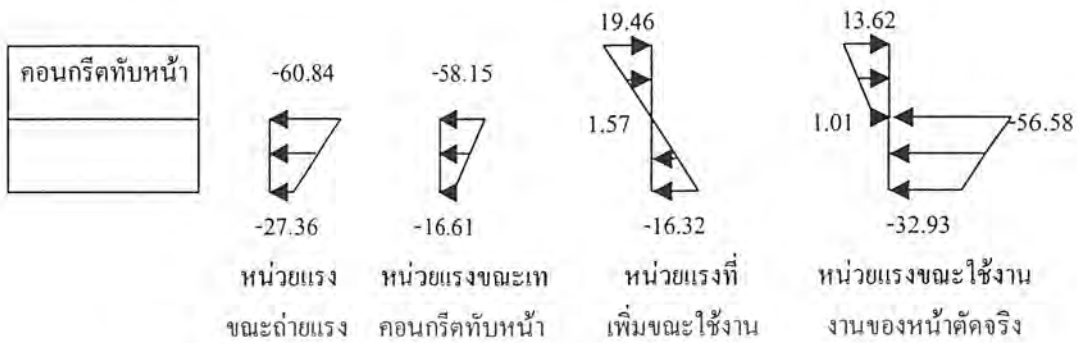
ผิวล่าง :  $\sigma_c = 1.57 \times 0.7 = 1.01 < f_t = 29.93 \text{ ksc}$

ดังนั้นหน่วยแรงรวมที่เกิดขึ้นจริงบนหน้าตัดพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป

ผิวบน :  $\sigma_c = -58.15 + 1.57 = -56.58 < f_c = -157.5 \text{ ksc}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิวล่าง :  $\sigma_c = -16.61 - 16.32 = -32.93 < f_c = -157.5 \text{ ksc}$



หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากโครงสร้างคอมโพสิตที่ระยะพื้นชั้น 1.2 เมตร  
ขณะถ่ายแรง

หน่วยแรงที่ผิวคอนกรีตของแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแผ่นเรียบ

$$\sigma_c = \frac{-P_i \pm P_i e c}{A_c} \pm \frac{M_D c}{I_{pc}}$$

$$M = 84(1.2) - 21(1.2)^2 = 70.56 \text{ kg-m}$$

$$\sigma_c = -\frac{7717.5}{175} \pm \frac{7717.5 \times 0.5 \times 2.5}{364.58} \pm \frac{70.56 \times 100 \times 2.5}{364.58}$$

$$= -44.1 \pm 26.46 \pm 48.38$$

ผิวบน :  $\sigma_c = -44.1 + 26.46 - 48.38 = -66.02 \text{ ksc} < f_{ci} = -168 \text{ ksc}$

ผิวล่าง :  $\sigma_c = -44.1 - 26.46 + 48.38 = -22.18 \text{ ksc} < f_{ci} = -168 \text{ ksc}$

ขณะเทคอนกรีตทับหน้า (มีการติดตั้งค้ำยันในขณะเทคอนกรีตทับหน้าและวางเป็นพื้นช่วงเดียว)

หน่วยแรงที่ผิวคอนกรีตของแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแผ่นเรียบ

$$\sigma_c = \frac{-P_e}{A_c} \pm \frac{P_e e c}{I_{pc}} \pm \frac{M_D c}{I_{pc}}$$

$$M = 84(1.2) - 21(1.2)^2 = 70.56 \text{ kg-m}$$

$$\sigma_c = -\frac{6541.5}{175} \pm \frac{6541.5 \times 0.5 \times 2.5}{364.58} \pm \frac{70.56 \times 100 \times 2.5}{364.58}$$

$$= -37.38 \pm 22.43 \pm 48.38$$

ผิวบน :  $\sigma_c = -37.38 + 22.43 - 48.38 = -63.33 \text{ ksc} < f_c = -157.5 \text{ ksc}$

ผิวล่าง :  $\sigma_c = -37.38 - 22.43 + 48.38 = -11.43 \text{ ksc} < f_c = -157.5 \text{ ksc}$

ขณะใช้งาน (นำแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแผ่นเรียบไปใช้เป็นพื้นชั้น)

หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นที่ผิวคอนกรีตของโครงสร้างคอมโพสิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta\sigma_c = \frac{\Delta Mc}{I_{rr}}$$

$$\Delta M = [42 + (375 \times 0.35)] \frac{1.2^2}{2} = 124.74 \text{ kg-m}$$

$$\text{ผิวบน} : \Delta\sigma_c = \frac{124.74 \times 100 \times 5.44}{2421.26} = 28.03 \text{ ksc}$$

$$\text{รอยต่อ} : \Delta\sigma_c = \frac{124.74 \times 100 \times 0.44}{2421.26} = 2.27 \text{ ksc}$$

$$\text{ผิวล่าง} : \Delta\sigma_c = -\frac{124.74 \times 100 \times 4.56}{2421.26} = -23.49 \text{ ksc}$$

ดังนั้นหน่วยแรงรวมที่เกิดขึ้นจริงบนหน้าตัดพื้นคอนกรีตทับหน้า

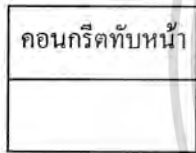
$$\text{ผิวบน} : \sigma_c = 28.03 \times 0.7 = 19.62 < f_t = 29.93 \text{ ksc}$$

$$\text{ผิวล่าง} : \sigma_c = 2.27 \times 0.7 = 1.59 < f_t = 29.93 \text{ ksc}$$

ดังนั้นหน่วยแรงรวมที่เกิดขึ้นจริงบนหน้าตัดพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป

$$\text{ผิวบน} : \sigma_c = -63.33 + 2.27 = -60.56 < f_c = -157.5 \text{ ksc}$$

$$\text{ผิวล่าง} : \sigma_c = -11.43 - 23.49 = -34.92 < f_c = -157.5 \text{ ksc}$$



หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากโครงสร้างคอมโพสิตที่ระยะพื้นชั้น 1.4 เมตร

ขณะถ่ายแรง

หน่วยแรงที่ผิวคอนกรีตของแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแผ่นเรียบ

$$\sigma_c = \frac{-P_i}{A_c} \pm \frac{P_i e c}{I_{pc}} \pm \frac{M_{Dc}}{I_{pc}}$$

$$M = 84(1.4) - 21(1.4)^2 = 76.44 \text{ kg-m}$$

$$\begin{aligned} \sigma_c &= -\frac{7717.5}{175} \pm \frac{7717.5 \times 0.5 \times 2.5}{364.58} \pm \frac{76.44 \times 100 \times 2.5}{364.58} \\ &= -44.1 \pm 26.46 \pm 52.42 \end{aligned}$$

$$\text{ผิวบน} : \sigma_c = -44.1 + 26.46 - 52.42 = -70.06 \text{ ksc} < f_{ct} = -168 \text{ ksc}$$

$$\text{ผิวล่าง} : \sigma_c = -44.1 - 26.46 + 52.42 = -18.14 \text{ ksc} < f_{ct} = -168 \text{ ksc}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะเทคอนกรีตทับหน้า (มีการติดตั้งค้ำยันในขณะที่เทคอนกรีตทับหน้าและวางเป็นพื้นช่วงเดียว)

หน่วยแรงที่ผิวคอนกรีตของแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแผ่นเรียบ

$$\sigma_c = \frac{-Pe}{A_c} \pm \frac{P_e ec}{I_{pc}} \pm \frac{M_D c}{I_{pc}}$$

$$M = 84(1.4) - 21(1.4)^2 = 76.44 \text{ kg-m}$$

$$\begin{aligned} \sigma_c &= -\frac{6541.5}{175} \pm \frac{6541.5 \times 0.5 \times 2.5}{364.58} \pm \frac{76.44 \times 100 \times 2.5}{364.58} \\ &= -37.38 \pm 22.43 \pm 52.42 \end{aligned}$$

$$\text{ผิวบน} : \sigma_c = -37.38 + 22.43 - 52.42 = -67.37 \text{ ksc} < f_c = -157.5 \text{ ksc}$$

$$\text{ผิวล่าง} : \sigma_c = -37.38 - 22.43 + 52.42 = -7.39 \text{ ksc} < f_c = -157.5 \text{ ksc}$$

ขณะใช้งาน (นำแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแผ่นเรียบ ไปใช้เป็นพื้นอื่น)

หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นที่ผิวคอนกรีตของโครงสร้างคอมโพสิต

$$\Delta \sigma_c = \frac{\Delta M c}{I''}$$

$$\Delta M = [42 + (375 \times 0.35)] \frac{1.4^2}{2} = 169.79 \text{ kg-m}$$

$$\text{ผิวบน} : \Delta \sigma_c = \frac{169.79 \times 100 \times 5.44}{2421.26} = 38.15 \text{ ksc}$$

$$\text{รอยต่อ} : \Delta \sigma_c = \frac{169.79 \times 100 \times 0.44}{2421.26} = 3.09 \text{ ksc}$$

$$\text{ผิวล่าง} : \Delta \sigma_c = -\frac{169.79 \times 100 \times 4.56}{2421.26} = -31.98 \text{ ksc}$$

ดังนั้นหน่วยแรงรวมที่เกิดขึ้นจริงบนหน้าตัดพื้นคอนกรีตทับหน้า

$$\text{ผิวบน} : \sigma_c = 38.15 \times 0.7 = 26.71 < f_t = 29.93 \text{ ksc}$$

$$\text{ผิวล่าง} : \sigma_c = 3.09 \times 0.7 = 2.16 < f_t = 29.93 \text{ ksc}$$

ดังนั้นหน่วยแรงรวมที่เกิดขึ้นจริงบนหน้าตัดพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป

$$\text{ผิวบน} : \sigma_c = -67.37 + 3.09 = -64.28 < f_c = -157.5 \text{ ksc}$$

$$\text{ผิวล่าง} : \sigma_c = -7.39 - 31.98 = -39.37 < f_c = -157.5 \text{ ksc}$$

คอนกรีตทับหน้า

-70.06



-18.14

หน่วยแรง  
ขณะถ่ายแรง

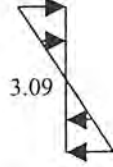
-67.37



-7.39

หน่วยแรงขณะเท  
คอนกรีตทับหน้า

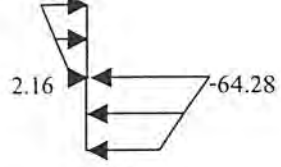
38.15



3.09

หน่วยแรงที่  
เพิ่มขณะใช้งาน

26.71



2.16

-39.37

หน่วยแรงขณะใช้งาน  
งานของหน้าตัดจริง

หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากโครงสร้างคอมโพสิตที่ระยะพื้นชั้น 1.6 เมตร  
ขณะถ่ายแรง

หน่วยแรงที่ผิวคอนกรีตของแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแผ่นเรียบ

$$\sigma_c = \frac{-P_i}{A_c} \pm \frac{P_i e c}{I_{pc}} \pm \frac{M_D c}{I_{pc}}$$

$$M = 84(1.6) - 21(1.6)^2 = 80.64 \text{ กิโลกรัม-เมตร}$$

$$\sigma_c = \frac{-7717.5}{175} \pm \frac{7717.5 \times 0.5 \times 2.5}{364.58} \pm \frac{80.64 \times 100 \times 2.5}{364.58}$$

$$= -44.1 \pm 26.46 \pm 55.3$$

$$\text{ผิวบน} : \sigma_c = -44.1 + 26.46 - 55.3 = -72.94 \text{ ksc} < f_{ct} = -168 \text{ ksc}$$

$$\text{ผิวล่าง} : \sigma_c = -44.1 - 26.46 + 55.3 = -15.26 \text{ ksc} < f_{ct} = -168 \text{ ksc}$$

ขณะเทคอนกรีตทับหน้า (มีการติดตั้งค้ำยันในขณะเทคอนกรีตทับหน้าและวางเป็นพื้นช่วงเดียว)

หน่วยแรงที่ผิวคอนกรีตของแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแผ่นเรียบ

$$\sigma_c = \frac{-P_e}{A_c} \pm \frac{P_e e c}{I_{pc}} \pm \frac{M_D c}{I_{pc}}$$

$$M = 84(1.6) - 21(1.6)^2 = 80.64 \text{ กิโลกรัม-เมตร}$$

$$\sigma_c = \frac{-6541.5}{175} \pm \frac{6541.5 \times 0.5 \times 2.5}{364.58} \pm \frac{80.64 \times 100 \times 2.5}{364.58}$$

$$= -37.38 \pm 22.43 \pm 55.3$$

$$\text{ผิวบน} : \sigma_c = -37.38 + 22.43 - 55.3 = -70.25 \text{ ksc} < f_c = -157.5 \text{ ksc}$$

$$\text{ผิวล่าง} : \sigma_c = -37.38 - 22.43 + 55.3 = -4.51 \text{ ksc} < f_c = -157.5 \text{ ksc}$$

ขณะใช้งาน (นำแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแผ่นเรียบไปใช้เป็นพื้นชั้น)

หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นที่ผิวคอนกรีตของโครงสร้างคอมโพสิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta\sigma_c = \frac{\Delta Mc}{I_{rr}}$$

$$\Delta M = [42 + (375 \times 0.35)] \frac{1.6^2}{2} = 221.76 \text{ kg-m}$$

$$\text{ผิวบน} : \Delta\sigma_c = \frac{221.76 \times 100 \times 5.44}{2421.26} = 49.82 \text{ ksc}$$

$$\text{รอยต่อ} : \Delta\sigma_c = \frac{221.76 \times 100 \times 0.44}{2421.26} = 4.03 \text{ ksc}$$

$$\text{ผิวล่าง} : \Delta\sigma_c = -\frac{221.76 \times 100 \times 4.56}{2421.26} = -41.76 \text{ ksc}$$

ดังนั้นหน่วยแรงรวมที่เกิดขึ้นจริงบนหน้าตัดพื้นคอนกรีตทับหน้า

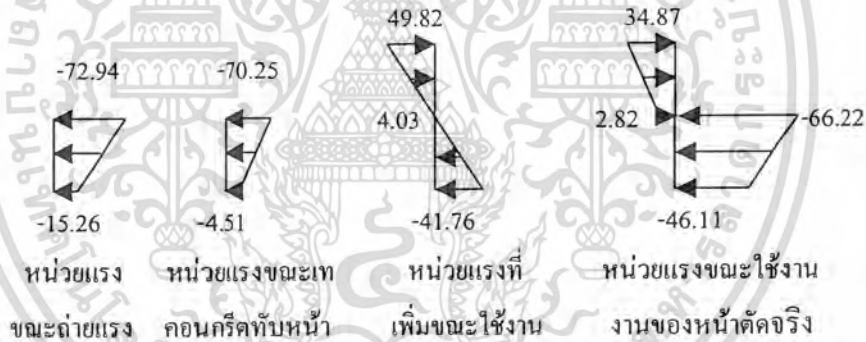
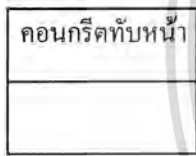
$$\text{ผิวบน} : \sigma_c = 49.82 \times 0.7 = 34.87 > f_t = 29.93 \text{ ksc}$$

$$\text{ผิวล่าง} : \sigma_c = 4.03 \times 0.7 = 2.82 < f_t = 29.93 \text{ ksc}$$

ดังนั้นหน่วยแรงรวมที่เกิดขึ้นจริงบนหน้าตัดพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป

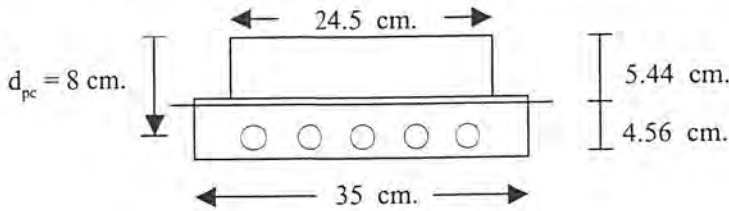
$$\text{ผิวบน} : \sigma_c = -70.25 + 4.03 = -66.22 < f_c = -157.5 \text{ ksc}$$

$$\text{ผิวล่าง} : \sigma_c = -4.51 - 41.76 = -46.11 < f_c = -157.5 \text{ ksc}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำนวณหน่วยแรงเฉือนในแนวราบที่เกิดขึ้นจากโครงสร้างคอมโพสิต



พิจารณาต่อความกว้างแผ่นพื้นสำเร็จรูปแผ่นเรียบ 1 แผ่น (0.35 cm.)

$$w_u = 1.4w_D + 1.7w_L$$

$$= 1.4(42 + 42) + 1.7(375 \times 35) = 340.73 \text{ kg/m}$$

$v_{uh} = 5.2 \text{ ksc}$  สำหรับผิวที่ถูกตั้งใจทำให้หยาบไม่มีเหล็กผ่านรอยต่อผิวสัมผัส

ที่  $L = 1.0 \text{ m}$ .

$$v_u = w_u l$$

$$= 340.73 \times 1 = 340.73 \text{ kg}$$

$$v_{uh} = \frac{V_u}{\phi b_f d_{pc}}$$

$$= \frac{340.73}{0.85 \times 35 \times 8} = 1.43 \text{ ksc} < v_{uh} = 5.6 \text{ ksc}$$

ที่  $L = 1.2 \text{ m}$ .

$$v_u = w_u l$$

$$= 340.73 \times 1.2 = 408.88 \text{ kg}$$

$$v_{uh} = \frac{V_u}{\phi b_f d_{pc}}$$

$$= \frac{408.88}{0.85 \times 35 \times 8} = 1.72 \text{ ksc} < v_{uh} = 5.6 \text{ ksc}$$

ที่  $L = 1.4 \text{ m}$ .

$$v_u = w_u l$$

$$= 340.73 \times 1.4 = 477.02 \text{ kg}$$

$$v_{uh} = \frac{V_u}{\phi b_f d_{pc}}$$

$$= \frac{477.02}{0.85 \times 35 \times 8} = 2.00 \text{ ksc} < v_{uh} = 5.6 \text{ ksc}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่  $L = 1.6 \text{ m}$ .

$$v_u = w_u l$$
$$= 340.73 \times 1.6 = 545.17 \text{ kg}$$

$$v_{uh} = \frac{V_u}{\phi b_f d_{pc}}$$
$$= \frac{545.17}{0.85 \times 35 \times 8} = 2.29 \text{ ksc} < v_{uh} = 5.6 \text{ ksc}$$

รายการคำนวณการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

$$f'_c = 173 \text{ ksc}, f_c = 0.375$$

$$f'_c = 65 \text{ ksc}, \text{SR } 24, f_s = 1200 \text{ ksc},$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2.04 \times 10^6}{15120 \sqrt{f'_c}} = \frac{2.04 \times 10^6}{15120 \sqrt{173}} = 10.26 = 11$$

$$k = \frac{1}{1 + \frac{f_s}{n f_c}} = \frac{1}{1 + \frac{1200}{11 \times 65}} = 0.373$$

$$j = 1 - \frac{k}{3} = 1 - \frac{0.373}{3} = 0.876$$

$$R = \frac{1}{2} f_c k j = \frac{1}{2} \times 65 \times 0.373 \times 0.876 = 10.62 \text{ ksc.}$$

$$\text{ระยะหุ้มคอนกรีต} = 1.5 \text{ cm}$$

ที่  $L = 1 \text{ m}$

ความหนาที่ต้องการ

$$t = \frac{L}{10} \left( 0.4 + \frac{f_y}{7000} \right) = \frac{100}{10} \left( 0.4 + \frac{2400}{7000} \right) = 7.43 \text{ cm. ใช้ } 10 \text{ cm}$$

น้ำหนักที่กระทำ

$$\text{น้ำหนักพื้น} = 0.1 \times 1 \times 2400 = 240 \text{ kg/m}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกจร} = 150 \text{ kg/m}$$

$$\text{น้ำหนักรวม} = 390 \text{ kg/m}$$

โมเมนต์ที่เกิด

$$M = \frac{wL^2}{2} = \frac{390 \times 1^2}{2} = 195 \text{ kg-m}$$

ตรวจสอบหน้าตัด

$$d \text{ ที่ต้องการ} = \sqrt{\frac{M}{Rb}} = \sqrt{\frac{195}{10.62 \times 1}} = 4.29 \text{ cm}$$

$$d \text{ จริง} = 10 - 1.5 - \frac{0.9}{2} = 8.05 \text{ cm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณเหล็กเสริม

$$A_s = \frac{M}{f_s j d} = \frac{195 \times 100}{1200 \times 0.876 \times 8.05} = 2.3 \text{ cm}^2$$

ใช้ RB9 @ 25 cm.

ที่ L = 1.2 m.

ความหนาที่ต้องการ

$$t = \frac{L}{10} \left( 0.4 + \frac{f_y}{7000} \right) = \frac{120}{10} \left( 0.4 + \frac{2400}{7000} \right) = 8.91 \text{ cm ใช้ } 10 \text{ cm}$$

น้ำหนักที่กระทำ

$$\text{น้ำหนักพื้น} = 0.1 \times 1 \times 2400 = 240 \text{ kg/m}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกจร} = 150 \text{ kg/m}$$

$$\text{น้ำหนักรวม} = 390 \text{ kg/m}$$

โมเมนต์ที่เกิด

$$M = \frac{wl^2}{2} = \frac{390 \times 1.2^2}{2} = 280.8 \text{ kg-m}$$

ตรวจสอบหน้าตัด

$$d \text{ ที่ต้องการ} = \sqrt{\frac{M}{Rb}} = \sqrt{\frac{280.8}{10.62 \times 1}} = 5.14 \text{ cm}$$

$$d \text{ จริง} = 10 - 1.5 - \frac{0.9}{2} = 8.05 \text{ cm}$$

ปริมาณเหล็กเสริม

$$A_s = \frac{M}{f_s j d} = \frac{280.8 \times 100}{1200 \times 0.876 \times 8.05} = 3.31 \text{ cm}^2$$

ใช้ RB9 @ 19 cm.

ที่ L = 1.4 m

ความหนาที่ต้องการ

$$t = \frac{L}{10} \left( 0.4 + \frac{f_y}{7000} \right) = \frac{140}{10} \left( 0.4 + \frac{2400}{7000} \right) = 10.4 \text{ cm ใช้ } 10 \text{ cm}$$

น้ำหนักที่กระทำ

$$\text{น้ำหนักพื้น} = 0.1 \times 1 \times 2400 = 240 \text{ kg/m}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกจร} = 150 \text{ kg/m}$$

$$\text{น้ำหนักรวม} = 390 \text{ kg/m}$$

โมเมนต์ที่เกิด

$$M = \frac{wl^2}{2} = \frac{390 \times 1.4^2}{2} = 382.2 \text{ kg-m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบหน้าตัด

$$d \text{ ที่ต้องการ} = \sqrt{\frac{M}{Rb}} = \sqrt{\frac{382.2}{10.62 \times 1}} = 6.0 \text{ cm}$$

$$d \text{ จริง} = 10 - 1.5 - \frac{0.9}{2} = 8.05 \text{ cm}$$

ปริมาณเหล็กเสริม

$$A_s = \frac{M}{f_s j d} = \frac{382.2 \times 100}{1200 \times 0.876 \times 8.05} = 4.52 \text{ cm}^2$$

ใช้ RB9 @ 14 cm.

ที่  $L = 1.6 \text{ m}$

ความหนาที่ต้องการ

$$r = \frac{L}{10} \left( 0.4 + \frac{f_y}{7000} \right) = \frac{160}{10} \left( 0.4 + \frac{2400}{7000} \right) = 11.88 \text{ cm ใช้ } 10 \text{ cm}$$

น้ำหนักที่กระทำ

$$\text{น้ำหนักพื้น} = 0.1 \times 1 \times 2400 = 240 \text{ kg/m}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกจร} = 150 \text{ kg/m}$$

$$\text{น้ำหนักรวม} = 390 \text{ kg/m}$$

โมเมนต์ที่เกิด

$$M = \frac{wl^2}{2} = \frac{390 \times 1.6^2}{2} = 499.2 \text{ kg-m}$$

ตรวจสอบหน้าตัด

$$d \text{ ที่ต้องการ} = \sqrt{\frac{M}{Rb}} = \sqrt{\frac{499.2}{10.62 \times 1}} = 6.86 \text{ cm}$$

$$d \text{ จริง} = 10 - 1.5 - \frac{0.9}{2} = 8.05 \text{ cm}$$

ปริมาณเหล็กเสริม

$$A_s = \frac{M}{f_s j d} = \frac{499.2 \times 100}{1200 \times 0.876 \times 8.05} = 5.9 \text{ cm}^2$$

ใช้ RB9 @ 10 cm.

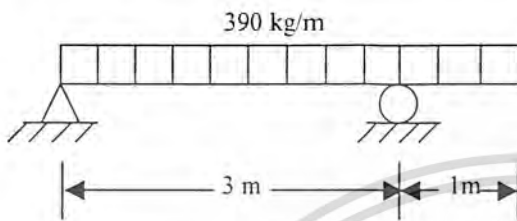
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำนวณหาความยาวเสริมเหล็ก

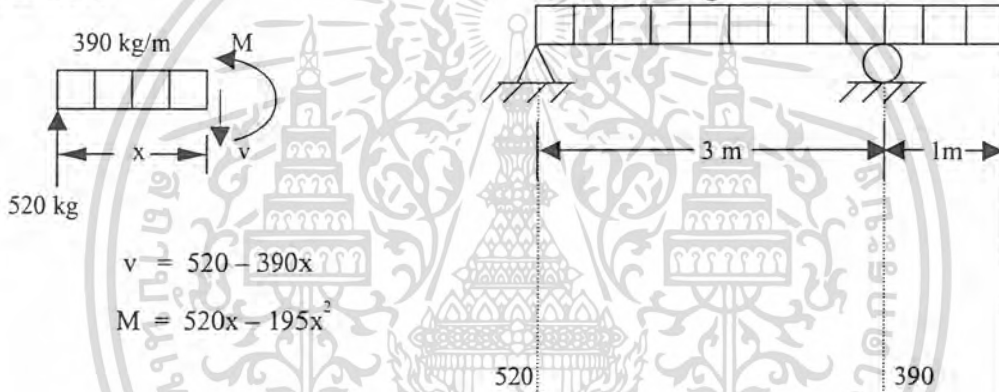
พิจารณาที่ความกว้างต่อ 1 เมตร

น้ำหนักบรรทุก  $w = 240 + 150 = 390 \text{ kg/m}$

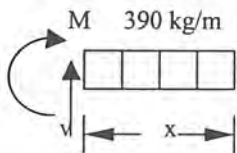
ช่วงพื้นชั้น 1 m



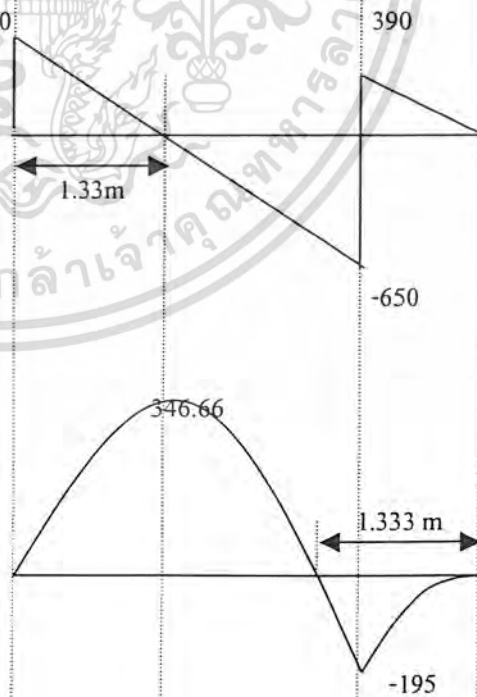
เมื่อ  $0 \leq x \leq 3$



เมื่อ  $0 \leq x \leq 1$

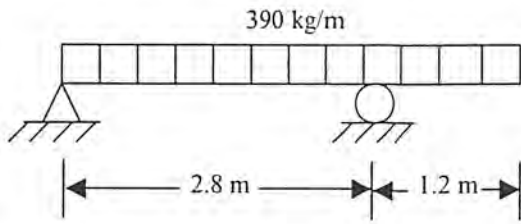


$v = 390x$   
 $M = -195x^2$

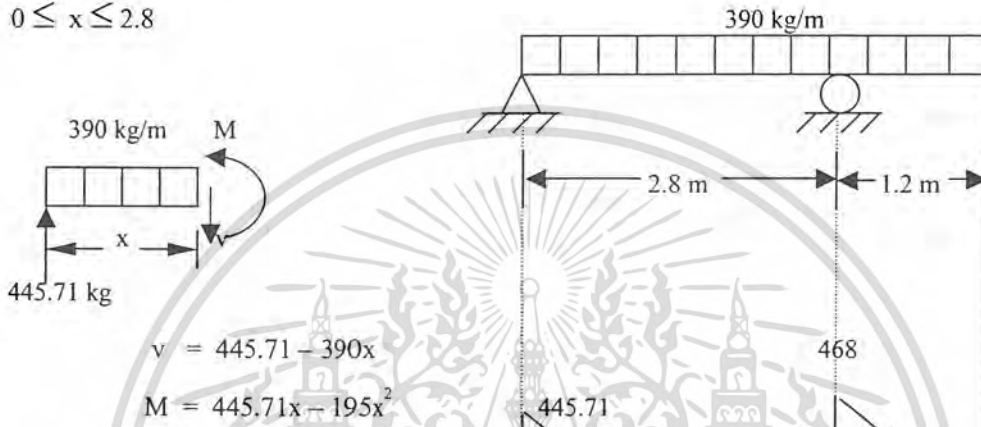


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

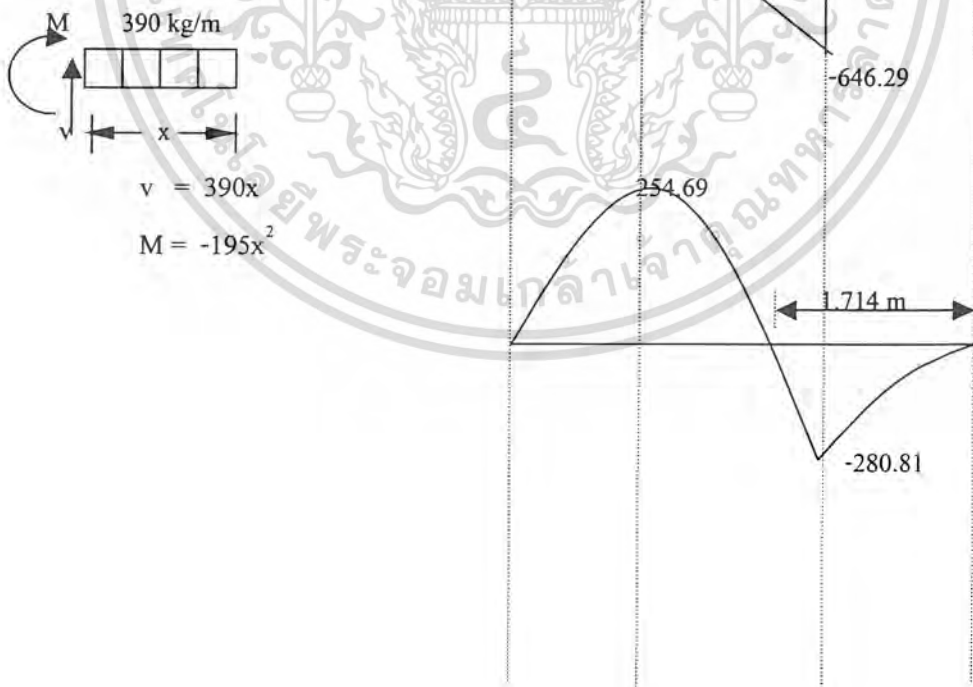
ช่วงพื่นยื่น 1.2 m



เมื่อ  $0 \leq x \leq 2.8$

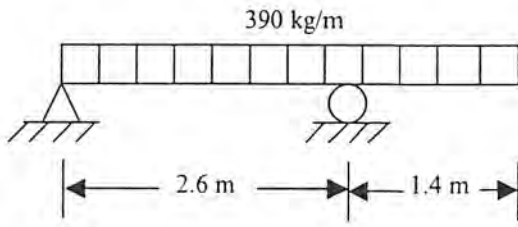


เมื่อ  $0 \leq x \leq 1.2$

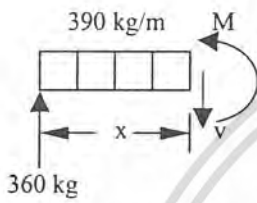


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงพื้นยื่น 1.4 m



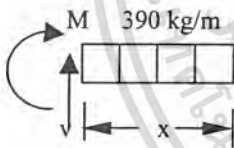
เมื่อ  $0 \leq x \leq 2.6$



$$v = 360 - 390x$$

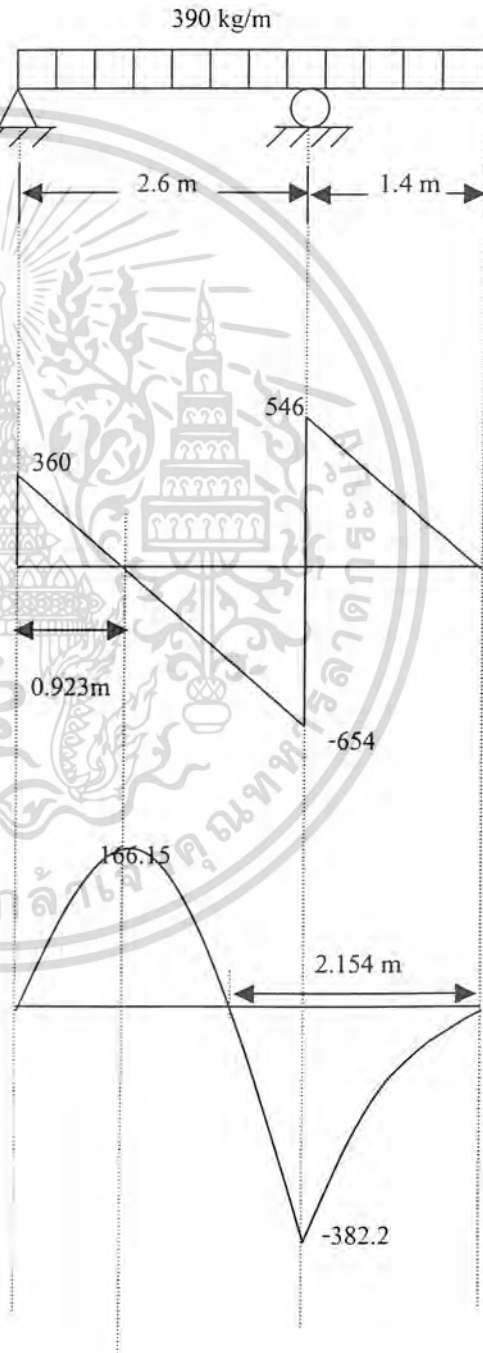
$$M = 360x - 195x^2$$

เมื่อ  $0 \leq x \leq 1.4$



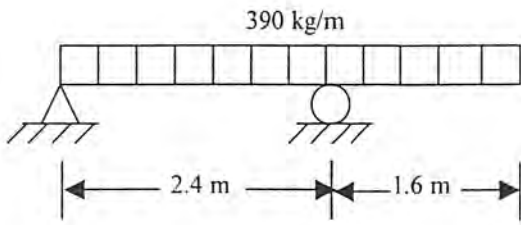
$$v = 390x$$

$$M = -195x^2$$

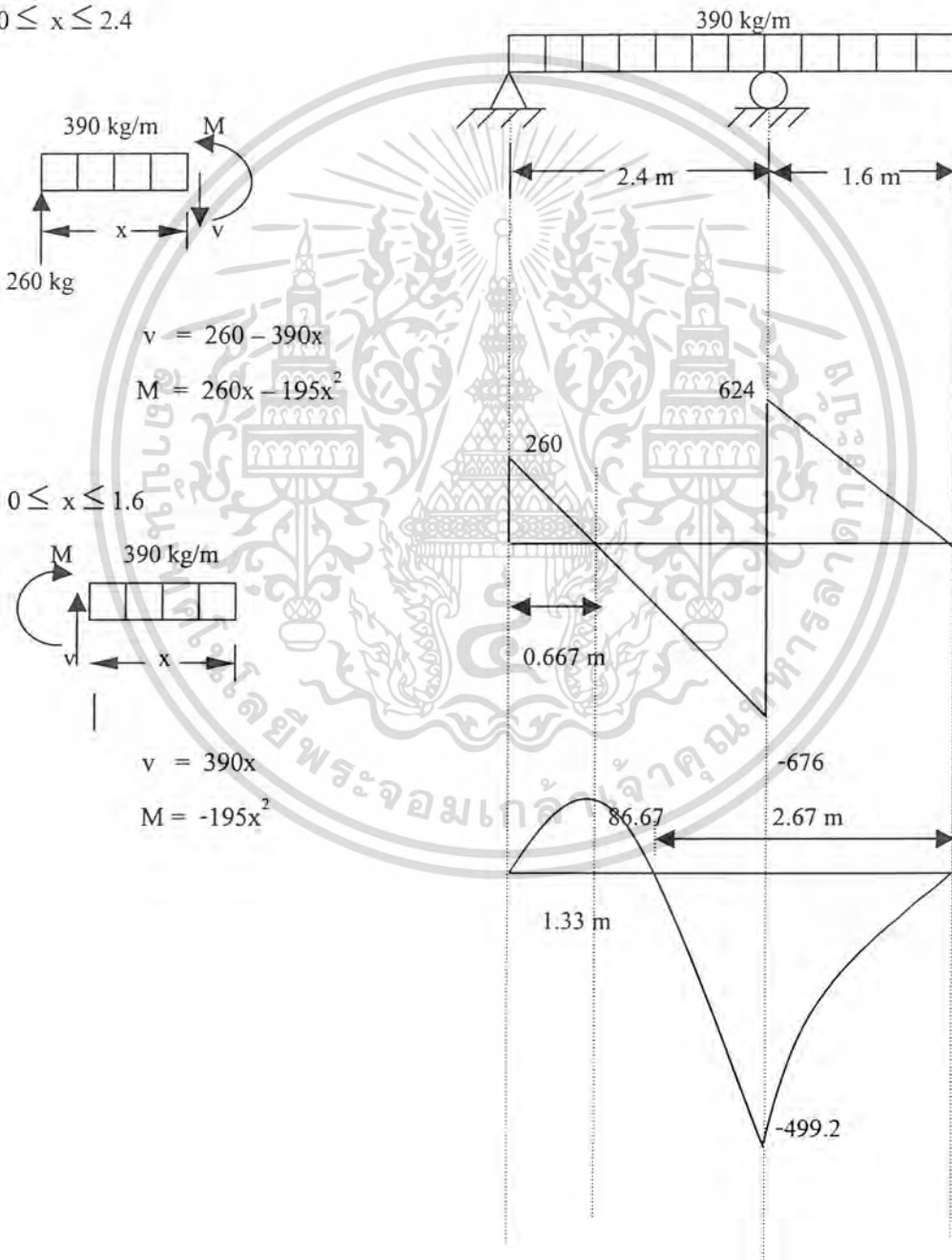


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงพื้นยื่น 1.6 m



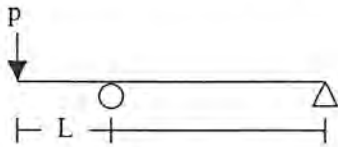
เมื่อ  $0 \leq x \leq 2.4$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### รายการคำนวณในการนำไปใช้งานจริง

กรณีใช้เป็นพื้นยื่นในส่วนระเบียง



ให้พื้นผนังราวกันตกสูง 0.9 m. ที่ปลายของพื้นยื่น  
(ให้น้ำหนักผนัง =  $180 \text{ kg/m}^2$ )

### ความสามารถในการรับโมเมนต์จากการเสริมเหล็ก RB 9

$$f_s = 1200 \text{ ksc}, j = 0.876, d = 8.05 \text{ cm.}$$

$$\text{ใช้ RB9 @ 25 cm, } A_s = 2.54 \text{ cm}^2$$

$$M = A_s f_s j d = 2.54 \times 1200 \times 0.876 \times 8.05 = 215.28 \text{ kg-m}$$

โมเมนต์ที่เกิดเนื่องจากน้ำหนักที่กระทำ

พิจารณาต่อความกว้าง 1 m.

$$P = 180 \times 0.9 = 162 \text{ kg}$$

$$W_L = 150 = 150 \text{ kg/m}$$

$$W_D = 2400 \times 0.1 = 240 \text{ kg/m}$$

ที่  $L = 1 \text{ m.}$

$$-M = PL = 162 \times 1 = 162 \text{ kg-m}$$

$$-M = WL^2/2 = (150+240) \times 1^2 / 2 = 195 \text{ kg-m}$$

$$-M_T = 162 + 195 = 357 \text{ kg-m} > 215.28 \text{ kg-m} \text{ ใช้ไม่ได้}$$

ที่  $L = 0.9 \text{ m.}$

$$-M = PL = 162 \times 0.9 = 145.8 \text{ kg-m}$$

$$-M = WL^2/2 = (150+240) \times 0.9^2 / 2 = 157.95 \text{ kg-m}$$

$$-M_T = 145.8 + 157.95 = 303.75 \text{ kg-m} > 215.28 \text{ kg-m} \text{ ใช้ไม่ได้}$$

ที่  $L = 0.8 \text{ m.}$

$$-M = PL = 162 \times 0.8 = 129.6 \text{ kg-m}$$

$$-M = WL^2/2 = (150+240) \times 0.8^2 / 2 = 124.8 \text{ kg-m}$$

$$-M_T = 129.6 + 124.8 = 254.4 \text{ kg-m} > 215.28 \text{ kg-m} \text{ ใช้ไม่ได้}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่  $L = 0.7 \text{ m}$ .

$$-M = PL = 162 \times 0.7 = 113.4 \text{ kg-m}$$

$$-M = WL^2/2 = (150+240) \times 0.7^2 / 2 = 95.55 \text{ kg-m}$$

$$-M_T = 113.4 + 95.55 = 208.95 \text{ kg-m} < 215.28 \text{ kg-m} \text{ ใช้ได้}$$

ตรวจสอบหน่วยแรงที่เกิดขึ้น

(ในขั้นตอนเบื้องต้น, ขณะถ่ายแรง และขณะเทคอนกรีตทับหน้าเหมือนในรายการคำนวณหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากโครงสร้างคอมโพสิต)

พิจารณาต่อความกว้างแผ่นพื้นสำเร็จรูปแผ่นเรียบ 1 แผ่น (0.35 cm.)

ที่  $L = 0.7 \text{ m}$ .

- ขณะใช้งาน (นำแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแผ่นเรียบไปใช้เป็นพื้นยื่น)

หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นที่ผิวคอนกรีตของโครงสร้างคอมโพสิต

$$\Delta\sigma_c = \frac{\Delta M c}{I_r}$$

$$\Delta M = \left[ 42 \times \frac{0.7^2}{2} \right] + [180 \times 0.9 \times 0.35] \times 0.7 = 49.98 \text{ kg-m}$$

$$\text{ผิวบน} : \Delta\sigma_c = \frac{49.98 \times 100 \times 5.44}{2421.26} = 11.23 \text{ ksc}$$

$$\text{รอยต่อ} : \Delta\sigma_c = \frac{49.98 \times 100 \times 0.44}{2421.26} = 0.91 \text{ ksc}$$

$$\text{ผิวล่าง} : \Delta\sigma_c = \frac{49.98 \times 100 \times 4.56}{2421.26} = -9.41 \text{ ksc}$$

ดังนั้นหน่วยแรงรวมที่เกิดขึ้นจริงบนหน้าตัดพื้นคอนกรีตทับหน้า

$$\text{ผิวบน} : \sigma_c = 11.23 \times 0.7 = 7.86 < f_t = 29.93 \text{ ksc}$$

$$\text{ผิวล่าง} : \sigma_c = 0.91 \times 0.7 = 0.64 < f_t = 29.93 \text{ ksc}$$

ดังนั้นหน่วยแรงรวมที่เกิดขึ้นจริงบนหน้าตัดพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป

$$\text{ผิวบน} : \sigma_c = -58.15 + 0.91 = -57.24 < f_c = -157.5 \text{ ksc}$$

$$\text{ผิวล่าง} : \sigma_c = -16.61 - 9.41 = -26.02 < f_c = -157.5 \text{ ksc}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

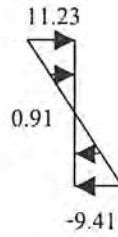
คอนกรีตทับหน้า



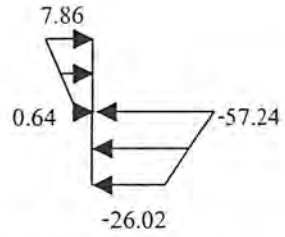
หน่วยแรง  
ขณะถ่ายแรง



หน่วยแรงขณะเท  
คอนกรีตทับหน้า



หน่วยแรงที่  
เพิ่มขณะใช้งาน



หน่วยแรงขณะใช้งาน  
งานของหน้าตัดจริง

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนในแนวที่เกิดขึ้น

พิจารณาต่อความกว้างแผ่นพื้นสำเร็จรูปแผ่นเรียบ 1 แผ่น (0.35 cm.)

ที่  $L = 0.7$  m.

$$v_u = P$$

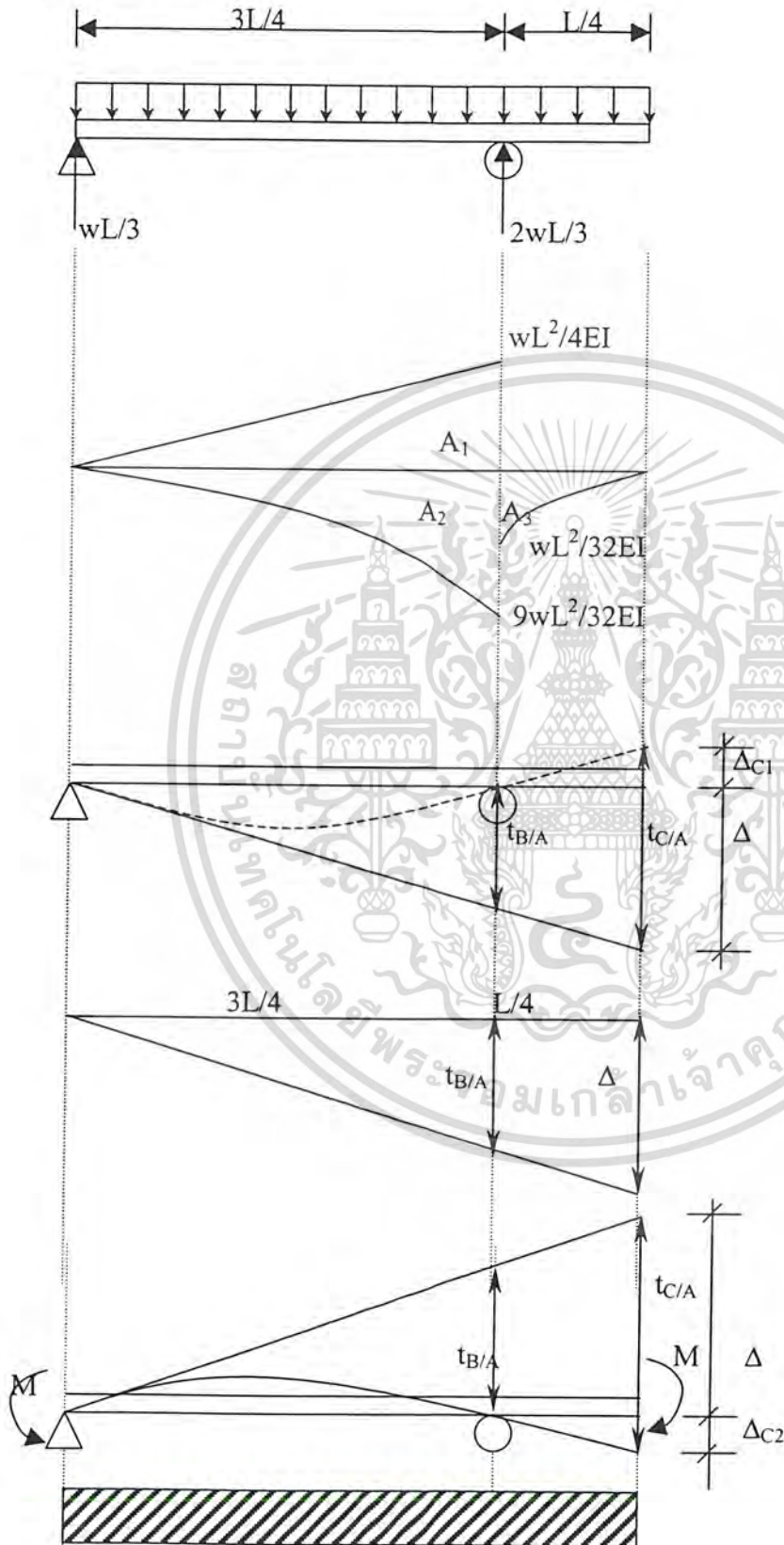
$$= 180 \times 0.7 = 126 \text{ kg}$$

$$v_{uh} = \frac{V_u}{\phi b_f d_{pc}}$$

$$= \frac{126}{0.85 \times 35 \times 8} = 0.53 \text{ ksc} < v_{uh} = 5.6 \text{ ksc}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำนวณการแอ่นตัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SPAN 1.00 M.**

*Distribution*

$$t_{\frac{B}{A}} = \left[ \frac{1}{2} \times \frac{WL^2}{4EI} \times \frac{3L}{4} \right] \left[ \frac{3L}{4} \times \frac{1}{3} \right] - \left[ \frac{1}{3} \times \frac{9WL^2}{32EI} \times \frac{3L}{4} \right] \left[ \frac{3L}{4} \times \frac{1}{4} \right]$$

$$= \frac{21WL^4}{2048EI} \uparrow$$

$$t_{\frac{C}{A}} = \left[ \frac{1}{2} \times \frac{WL^2}{4EI} \times \frac{3L}{4} \right] \left[ \frac{3L}{4} \times \frac{1}{3} + \frac{L}{4} \right] - \left[ \frac{1}{3} \times \frac{9WL^2}{32EI} \times \frac{3L}{4} \right] \left[ \frac{3L}{4} \times \frac{1}{4} + \frac{L}{4} \right] - \left[ \frac{1}{3} \times \frac{WL^2}{32EI} \times \frac{L}{4} \right] \left[ \frac{L}{4} \times \frac{3}{4} \right]$$

$$= \frac{WL^4}{64EI} \uparrow$$

$$\Delta = \frac{\frac{3L}{4} + \frac{L}{4}}{\frac{3L}{4}}$$

$$= \frac{4}{3}$$

$$\Delta_{C1} = t_{\frac{C}{A}} - \left( \frac{4}{3} \right) t_{\frac{B}{A}}$$

$$= \frac{WL^4}{64EI} - \left( \frac{4}{3} \right) \left[ \frac{21WL^4}{2048} \right]$$

$$= \frac{WL^4}{512EI} \uparrow (up)$$

*Moment form Wire*

$$t_{\frac{B}{A}} = - \left[ \frac{M}{EI} \times \frac{3L}{4} \right] \left[ \frac{3L}{4} \times \frac{1}{2} \right]$$

$$= - \frac{9ML^2}{32EI} \downarrow$$

$$t_{\frac{C}{A}} = - \left[ \frac{M}{EI} \times L \right] \times L$$

$$= - \frac{ML^2}{2EI} \downarrow$$

$$\Delta = \frac{\frac{3L}{4} + \frac{L}{4}}{\frac{3L}{4}}$$

$$= \frac{4}{3}$$

$$\Delta_{C2} = t_{\frac{C}{A}} - \Delta t_{\frac{B}{A}}$$

$$= - \frac{ML^2}{2EI} - \left( \frac{4}{3} \right) \left[ - \frac{9ML^2}{32EI} \right]$$

$$= - \frac{ML^2}{8EI} \downarrow (down)$$

*Superposion*

$$\Delta_c = \Delta_{C1} + \Delta_{C2}$$

$$= \frac{WL^4}{512EI} + \left( - \frac{ML^2}{8EI} \right) \uparrow (up)$$

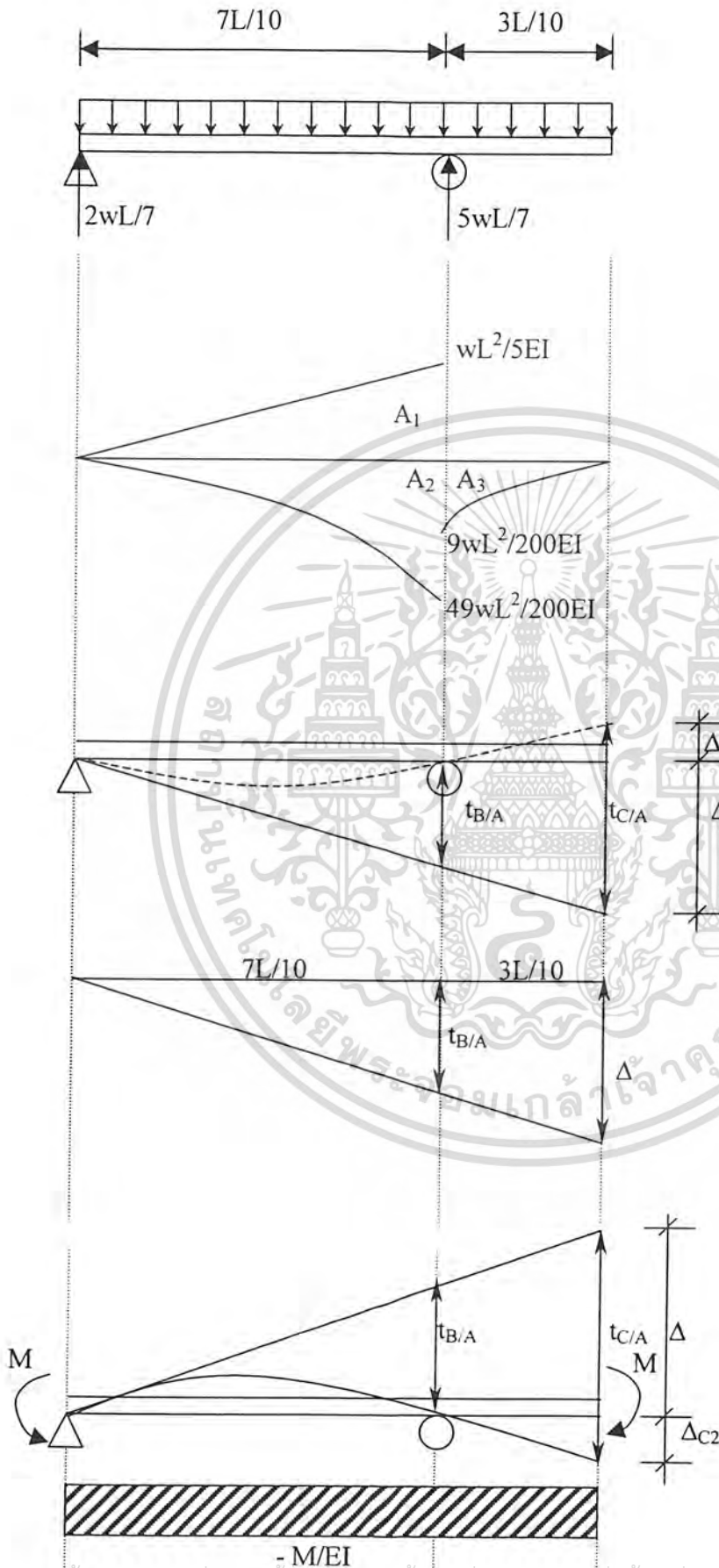
$$= \frac{2.15 \times 400^4}{512 \times (284366 \times 2421.26)} - \frac{3848.45 \times 400^2}{8 \times 284366 \times 2421.26}$$

$$= 0.156 - 0.112$$

$$= 0.045 \text{ cm.}$$

$$= 0.45 \text{ mm.} \uparrow (up)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SPAN 1.20 M.**

*Moment from Wire*

*Distribution*

$$t_{\frac{B}{A}} = \left[ \frac{1}{2} \times \frac{WL^2}{5EI} \times \frac{7L}{10} \right] \left[ \frac{7L}{10} \times \frac{1}{3} \right] - \left[ \frac{1}{3} \times \frac{49WL^2}{200EI} \times \frac{7L}{10} \right] \left[ \frac{7L}{10} \times \frac{1}{4} \right]$$

$$= 0.00634 \frac{WL^4}{EI} \uparrow$$

$$t_{\frac{C}{A}} = \left[ \frac{1}{2} \times \frac{WL^2}{5EI} \times \frac{7L}{10} \right] \left[ \frac{7L}{10} \times \frac{1}{3} + \frac{3L}{10} \right] - \left[ \frac{1}{3} \times \frac{49WL^2}{200EI} \times \frac{7L}{10} \right] \left[ \frac{7L}{10} \times \frac{1}{4} + \frac{3L}{10} \right] - \left[ \frac{1}{3} \times \frac{9WL^2}{200EI} \times \frac{3L}{10} \right] \left[ \frac{3L}{10} \times \frac{3}{4} \right]$$

$$= 0.00917 \frac{WL^4}{EI} \uparrow$$

$$\Delta = \frac{\frac{7L}{10} + \frac{3L}{10}}{\frac{7L}{10}}$$

$$= \frac{10}{7}$$

$$\Delta_{C1} = \frac{t_{\frac{C}{A}}}{\Delta} - \Delta t_{\frac{B}{A}}$$

$$= 0.00917 \frac{WL^4}{EI} - \left( \frac{7}{10} \right) \left[ 0.00634 \frac{WL^4}{EI} \right]$$

$$= 0.000114 \frac{WL^4}{EI} \uparrow (up)$$

$$t_{\frac{B}{A}} = - \left[ \frac{M}{EI} \times \frac{7L}{10} \right] \left[ \frac{7L}{10} \times \frac{1}{2} \right]$$

$$= - \frac{49 ML^2}{200 EI}$$

$$t_{\frac{C}{A}} = - \left[ \frac{M}{EI} \times L \right] \times \frac{L}{2}$$

$$= - \frac{ML^2}{2EI}$$

$$\Delta = \frac{\frac{7L}{10} + \frac{3L}{10}}{\frac{7L}{10}}$$

$$= \frac{10}{7}$$

$$\Delta_{C2} = \frac{t_{\frac{C}{A}}}{\Delta} - \Delta t_{\frac{B}{A}}$$

$$= - \frac{ML^2}{2EI} - \left( \frac{10}{7} \right) \left[ - \frac{49 ML^2}{200 EI} \right]$$

$$= - \frac{3ML^2}{20EI} \downarrow (down)$$

*Superposion*

$$\Delta_C = \Delta_{C1} + \Delta_{C2}$$

$$= 0.000114 \frac{WL^4}{EI} + \left( - \frac{3ML^2}{20EI} \right) \downarrow (down)$$

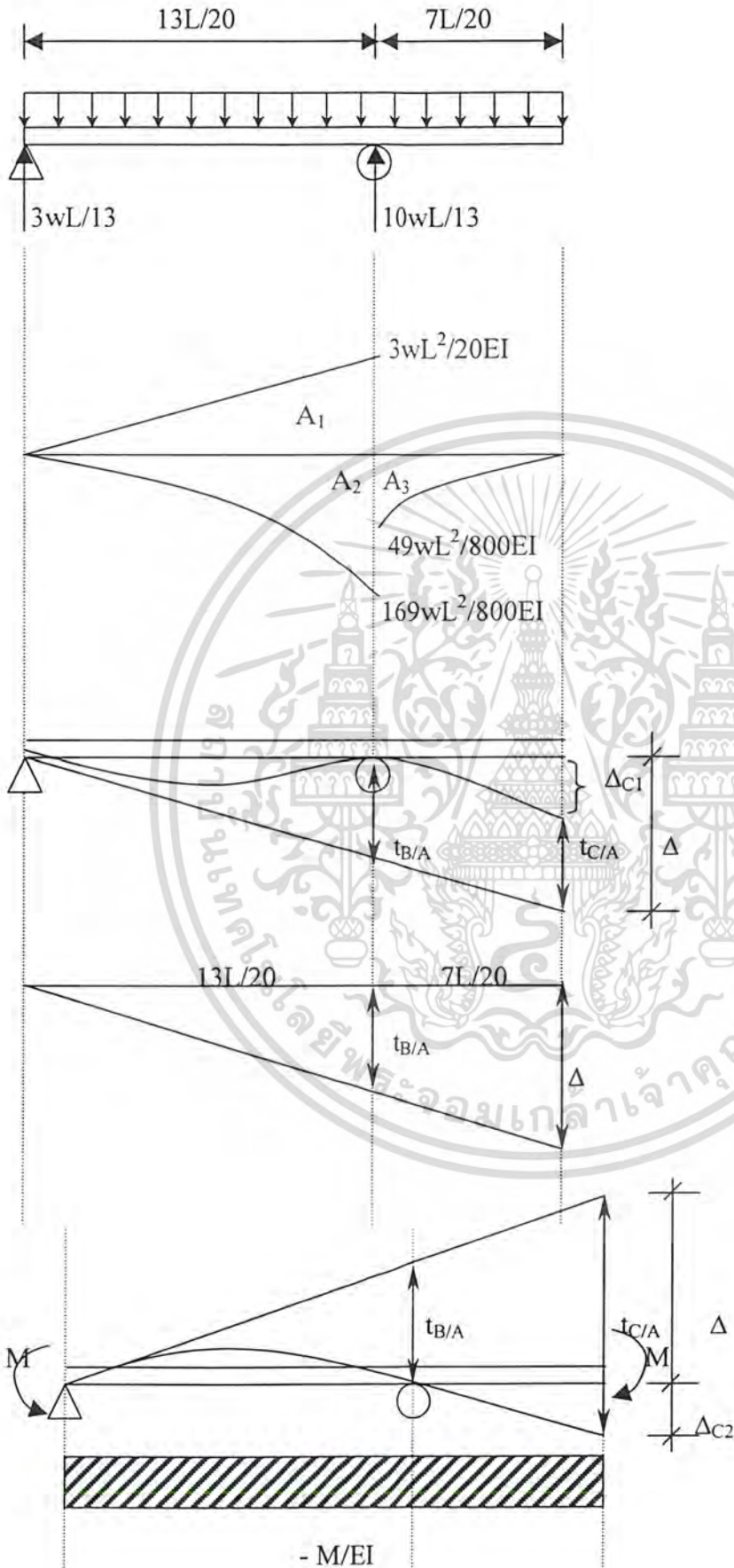
$$= 0.000114 \frac{2.15 \times 400^4}{284366 \times 2421.26} - \frac{3 \times 3848.45 \times 400^2}{30 \times 284366 \times 2421.26}$$

$$= 0.01 - 0.134$$

$$= -0.124 \text{ cm.}$$

$$= 1.24 \text{ mm.} \downarrow (down)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPAN 1.40 M.

Moment form Wire

Distribution

$$t_{\frac{B}{A}} = \left[ \frac{1}{2} \times \frac{3WL^2}{20EI} \times \frac{13L}{20} \right] \left[ \frac{13L}{20} \times \frac{1}{3} \right]$$

$$- \left[ \frac{1}{3} \times \frac{169WL^2}{800EI} \times \frac{13L}{20} \right] \left[ \frac{13L}{20} \times \frac{1}{4} \right]$$

$$= 0.003125 \frac{WL^4}{EI} \uparrow$$

$$t_{\frac{C}{A}} = \left[ \frac{1}{2} \times \frac{3WL^2}{20EI} \times \frac{13L}{20} \right] \left[ \frac{13L}{20} \times \frac{1}{3} + \frac{7L}{20} \right]$$

$$- \left[ \frac{1}{3} \times \frac{169WL^2}{800EI} \times \frac{13L}{20} \right] \left[ \frac{13L}{20} \times \frac{1}{4} + \frac{7L}{20} \right]$$

$$- \left[ \frac{1}{3} \times \frac{49WL^2}{800EI} \times \frac{7L}{20} \right] \left[ \frac{7L}{20} \times \frac{3}{4} \right]$$

$$= 0.002292 \frac{WL^4}{EI} \uparrow$$

$$\Delta = \frac{\frac{13L}{20} + \frac{7L}{20}}{\frac{13L}{20}}$$

$$= \frac{20}{13}$$

$$\Delta_{C1} = t_{\frac{C}{A}} - \Delta t_{\frac{B}{A}}$$

$$= 0.002292 \frac{WL^4}{EI} - \left( \frac{4}{3} \right) \left[ 0.003125 \frac{WL^4}{EI} \right]$$

$$= -0.00251692 \frac{WL^4}{EI} \downarrow (down)$$

$$t_{\frac{B}{A}} = - \left[ \frac{M}{EI} \times \frac{13L}{20} \right] \left[ \frac{13L}{20} \times \frac{1}{2} \right]$$

$$= - \frac{169 ML^2}{800 EI}$$

$$t_{\frac{C}{A}} = - \left[ \frac{M}{EI} \times L \right] \times \frac{L}{2}$$

$$= - \frac{ML^2}{2 EI}$$

$$\Delta = \frac{\frac{13L}{20} + \frac{7L}{20}}{\frac{13L}{20}}$$

$$= \frac{20}{13}$$

$$\Delta_{C2} = t_{\frac{C}{A}} - \Delta t_{\frac{B}{A}}$$

$$= - \frac{ML^2}{2 EI} - \left( \frac{20}{13} \right) \left[ - \frac{169 ML^2}{800 EI} \right]$$

$$= - \frac{7 ML^2}{40 EI} \downarrow (down)$$

Superpositon

$$\Delta_C = \Delta_{C1} + \Delta_{C2}$$

$$= -0.00251692 \frac{WL^4}{EI} + \left( - \frac{7ML^2}{40EI} \right) \downarrow (down)$$

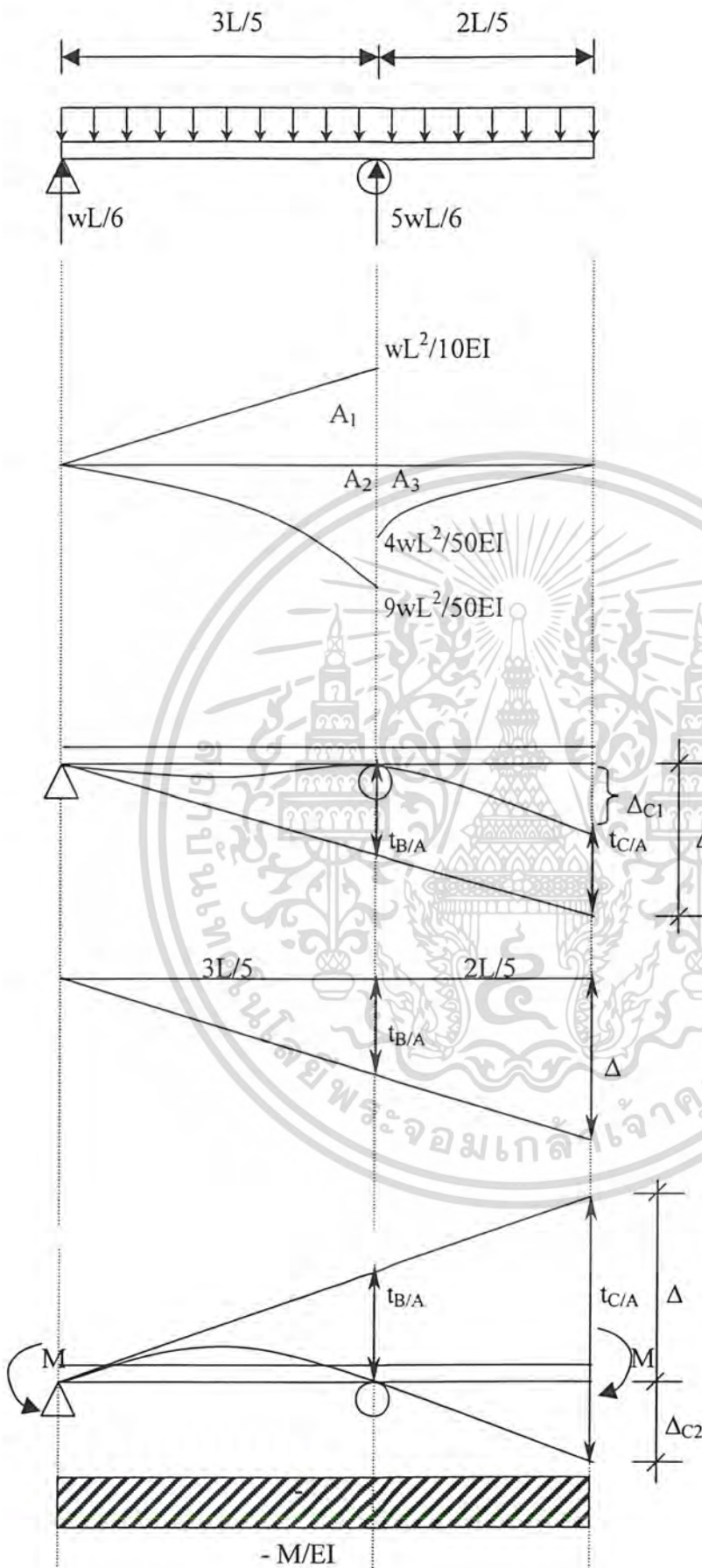
$$= -0.00251692 \frac{2.15 \times 400^4}{284366 \times 2421.26} - \frac{7 \times 3848.45 \times 400^2}{40 \times 284366 \times 2421.26}$$

$$= -0.201 - 0.157$$

$$= -0.358 \text{ cm.}$$

$$= 3.58 \text{ mm.} \downarrow (down)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SPAN1.60M.**

*Distribution*

*Moment form Wire*

$$t_{\frac{B}{A}} = \left[ \frac{1}{2} \times \frac{WL^2}{10EI} \times \frac{3L}{5} \right] \left[ \frac{3L}{5} \times \frac{1}{3} \right] - \left[ \frac{1}{3} \times \frac{9WL^2}{50EI} \times \frac{3L}{5} \right] \left[ \frac{3L}{5} \times \frac{1}{4} \right]$$

$$= \frac{3WL^4}{5000EI} \uparrow$$

$$t_{\frac{C}{A}} = \left[ \frac{1}{2} \times \frac{WL^2}{10EI} \times \frac{3L}{5} \right] \left[ \frac{3L}{5} \times \frac{1}{3} + \frac{2L}{5} \right] - \left[ \frac{1}{3} \times \frac{9WL^2}{50EI} \times \frac{3L}{5} \right] \left[ \frac{3L}{5} \times \frac{1}{4} + \frac{2L}{5} \right] - \left[ \frac{1}{3} \times \frac{4WL^2}{50EI} \times \frac{2L}{5} \right] \left[ \frac{2L}{5} \times \frac{3}{4} \right]$$

$$= -\frac{WL^4}{200EI} \downarrow$$

$$\Delta = \frac{\frac{3L}{5} + \frac{2L}{5}}{\frac{3L}{5}}$$

$$= \frac{5}{3}$$

$$\Delta_{c1} = t_{\frac{C}{A}} - \Delta t_{\frac{B}{A}}$$

$$= -\frac{WL^4}{200EI} - \left( \frac{4}{3} \right) \left[ \frac{3WL^4}{5000EI} \right]$$

$$= -\frac{3WL^4}{500EI} \downarrow (down)$$

$$t_{\frac{B}{A}} = - \left[ \frac{M}{EI} \times \frac{3L}{5} \right] \left[ \frac{3L}{5} \times \frac{1}{2} \right]$$

$$= -\frac{9ML^2}{50EI}$$

$$t_{\frac{C}{A}} = - \left[ \frac{M}{EI} \times L \right] \times L$$

$$= -\frac{ML^2}{2EI}$$

$$\Delta = \frac{\frac{3L}{5} + \frac{2L}{5}}{\frac{3L}{5}}$$

$$= \frac{5}{3}$$

$$\Delta_{c2} = t_{\frac{C}{A}} - \Delta t_{\frac{B}{A}}$$

$$= -\frac{ML^2}{2EI} - \left( \frac{5}{3} \right) \left[ -\frac{9ML^2}{50EI} \right]$$

$$= -\frac{ML^2}{5EI} \downarrow (down)$$

*Superposion*

$$\Delta_c = \Delta_{c1} + \Delta_{c2}$$

$$= -\frac{3WL^4}{500EI} + \left( -\frac{ML^2}{5EI} \right) \downarrow (down)$$

$$= \frac{3 \times 2.15 \times 400^4}{500 \times 284366 \times 2421.26} - \frac{3848.45 \times 400^2}{5 \times 284366 \times 2421.26}$$

$$= -0.48 - 0.179$$

$$= -0.659 \text{ cm.}$$

$$= 6.59 \text{ mm.} \downarrow (down)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้