



การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังอย่างเหมาะสมด้วยอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง

วิทยานิพนธ์
ของ
กิตติศักดิ์ บรรณสาร

พหุ ประจันโต สีวะ

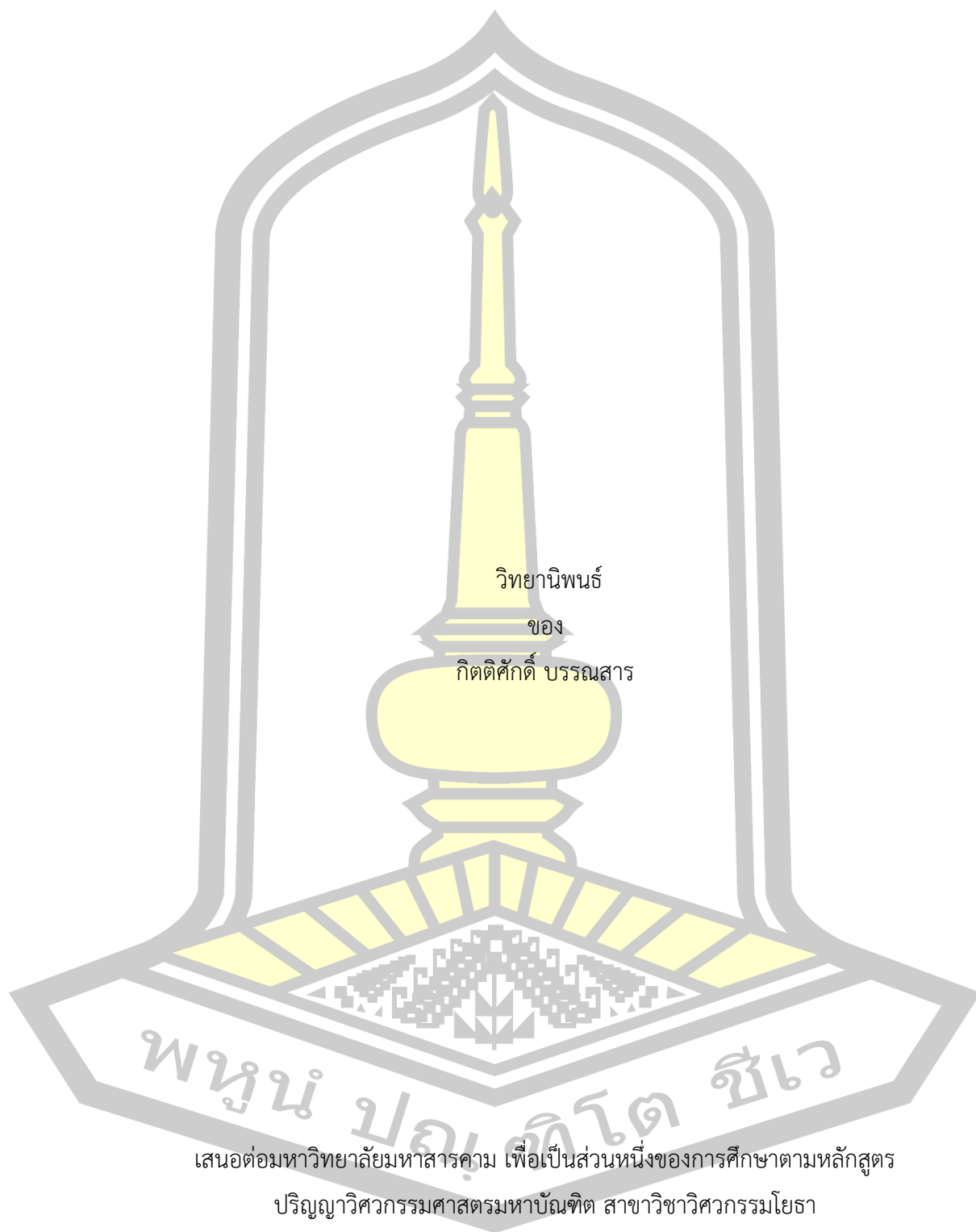
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ธันวาคม 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังอย่างเหมาะสมด้วยอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง



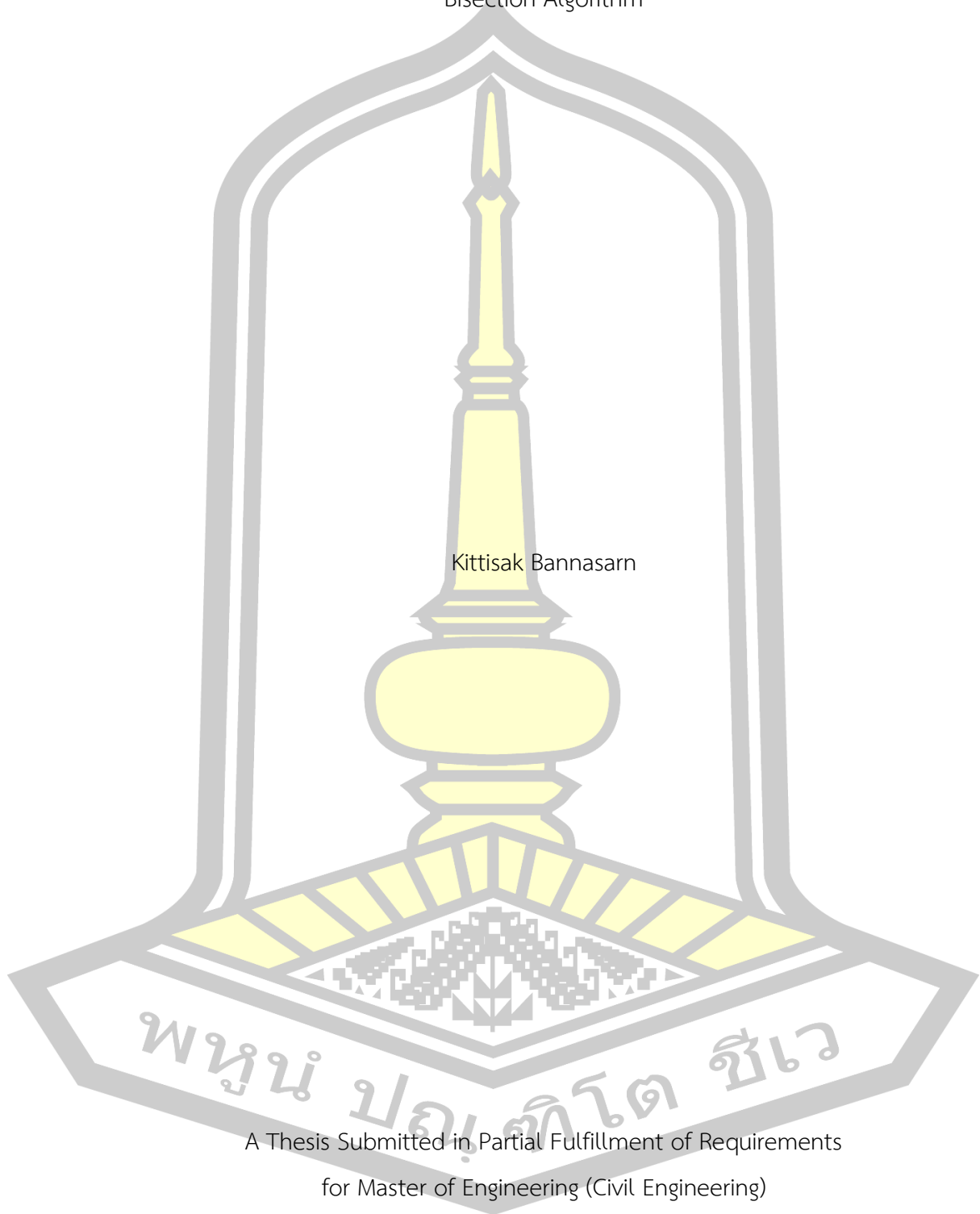
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ธันวาคม 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Optimum Design of Reinforced Concrete Stair Cantilever From the wall using
Bisection Algorithm



Kittisak Bannasarn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Civil Engineering)

December 2024

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายกิตติศักดิ์ บรรณสาร แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ศ. ดร. วันชัย สะตะ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ. ดร. อลงกรณ์ ละม่อม)

กรรมการ

(ผศ. ดร. ชัยชาญ โชติถนอม)

กรรมการ

(ผศ. ดร. นพปฎล เสงี่ยมศักดิ์)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(รศ. ดร. จักรมาส เลหาวิช)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังอย่างเหมาะสมด้วย อัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง		
ผู้วิจัย	กิตติศักดิ์ บรรณสาร		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อลงกรณ์ ละม่อม		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง โดยใช้ อัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วงตามมาตรฐานการออกแบบวิธีหน่วยแรงใช้งานของวิศวกรรมสถานแห่ง ประเทศไทย (วสท. 011007-19) การออกแบบไม่เพียงแต่เน้นในเรื่องความแข็งแรงและความปลอดภัย แต่ยังพิจารณาถึงการประเมินราคารวมทั้งอ้างอิงตามราคาวัสดุก่อสร้างและค่าแรงงาน ด้วย การศึกษานี้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วงกับฮิลโคลมิงอัลกอริทึม โดยทำการทดสอบจากตัวอย่าง 5 ชุด ผลการศึกษาพบว่า แม้ทั้งสองอัลกอริทึมสามารถหาคำตอบอย่างเหมาะสมได้คล้ายคลึงกัน แต่ในด้านจำนวนรอบการทำงานพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วงมีแนวโน้มลู่เข้าสู่คำตอบอย่างเหมาะสมได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากกว่า สามารถลดจำนวนรอบการทำงานได้ถึงร้อยละ 45.40 53.87 52.70 56.48 และ 53.79 ตามลำดับ ทั้งนี้ จากการทดสอบซ้ำ 30 ครั้ง พบว่าอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วงมีรอบการทำงานเฉลี่ยที่เร็วกว่าฮิลโคลมิงอัลกอริทึม คิดเป็นร้อยละ 17.08 23.05 20.59 18.37 และ 17.46 ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า อัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงและเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง

คำสำคัญ : การออกแบบอย่างเหมาะสม, วิธีหน่วยแรงใช้งาน, อัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง, บันไดคอนกรีตแบบยื่นจากผนัง

TITLE Optimum Design of Reinforced Concrete Stair Cantilever From the wall using Bisection Algorithm

AUTHOR Kittisak Bannasarn

ADVISORS Assistant Professor Alongkorn Lamom , Ph.D.

DEGREE Master of Engineering **MAJOR** Civil Engineering

UNIVERSITY Mahasarakham **YEAR** 2024
University

ABSTRACT

This research presents the design of a cantilevered reinforced concrete staircase, using the bisection algorithm in accordance with the Allowable Stress Design Standard of the Engineering Institute of Thailand (EIT 011007-19). The design focuses not only on strength and safety but also considers the total cost, which includes current construction material prices and labor costs. This study compares the efficient of the bisection algorithm with the hill-climbing algorithm through tests using five sample sets. The results show that while both algorithms provide similar optimal solutions, there is a significant difference in the number of iterations required. The bisection algorithm tends to converge to the optimal solution more efficiently, reducing the number of iterations by 45.40, 53.87, 52.70, 56.48 and 53.79%, respectively. Additionally, after 30 repeated tests, the average number of iterations for the bisection algorithm was faster than the hill-climbing algorithm by 17.08, 23.05, 20.59, 18.37 and 17.46%, respectively. The findings indicate that the bisection algorithm is a highly efficient and suitable method for designing cantilevered reinforced concrete staircases.

Keyword : Optimum design, Working stress method, Bisection algorithm, Concrete Cantilever Stair

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สามารถดำเนินการจนสำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อลงกรณ์ ละม่อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ช่วยแนะนำให้ คำชี้แนะข้อมูลในการทำงานวิจัย ช่วยให้ข้อคิดข้อเสนอแนะในการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และให้ความดูแลเอาใจใส่ในการศึกษางานวิจัยนี้

ในการสอบวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. วันชัย สະตะ ภาควิชา วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยชาญ โชติ ถนอม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพภูท เสี่ยมศักดิ์ คณะกรรมการสอบที่ให้ความกรุณาเวลา และให้เกียรติร่วมเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ยิ่ง ซึ่ง ผู้วิจัยรู้สึกเป็นเกียรติอย่างยิ่ง

ผู้วิจัยขอขอบคุณ Artificial Intelligence ที่ช่วยในการสืบค้นข้อมูล แปลภาษา ประมวลผล ตรวจสอบและจัดทำเอกสารเบื้องต้น รวมถึงขอขอบพระคุณห้องวิจัยคอนกรีตและคอมพิวเตอร์ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ซึ่งสนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์สำหรับการจัดทำ วิทยานิพนธ์ตามความเหมาะสม และเปิดโอกาสให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินงานอย่างสะดวกจนสำเร็จลุล่วง ไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของผู้จัดทำ ที่ได้ช่วยส่งเสริม สนับสนุน คอยเอาใจใส่ดูแล ให้กำลังใจในการจัดทำวิทยานิพนธ์ ด้วยดีตลอดมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งใน ความกรุณา และความปรารถนาดีของท่านเป็นอย่างดี จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

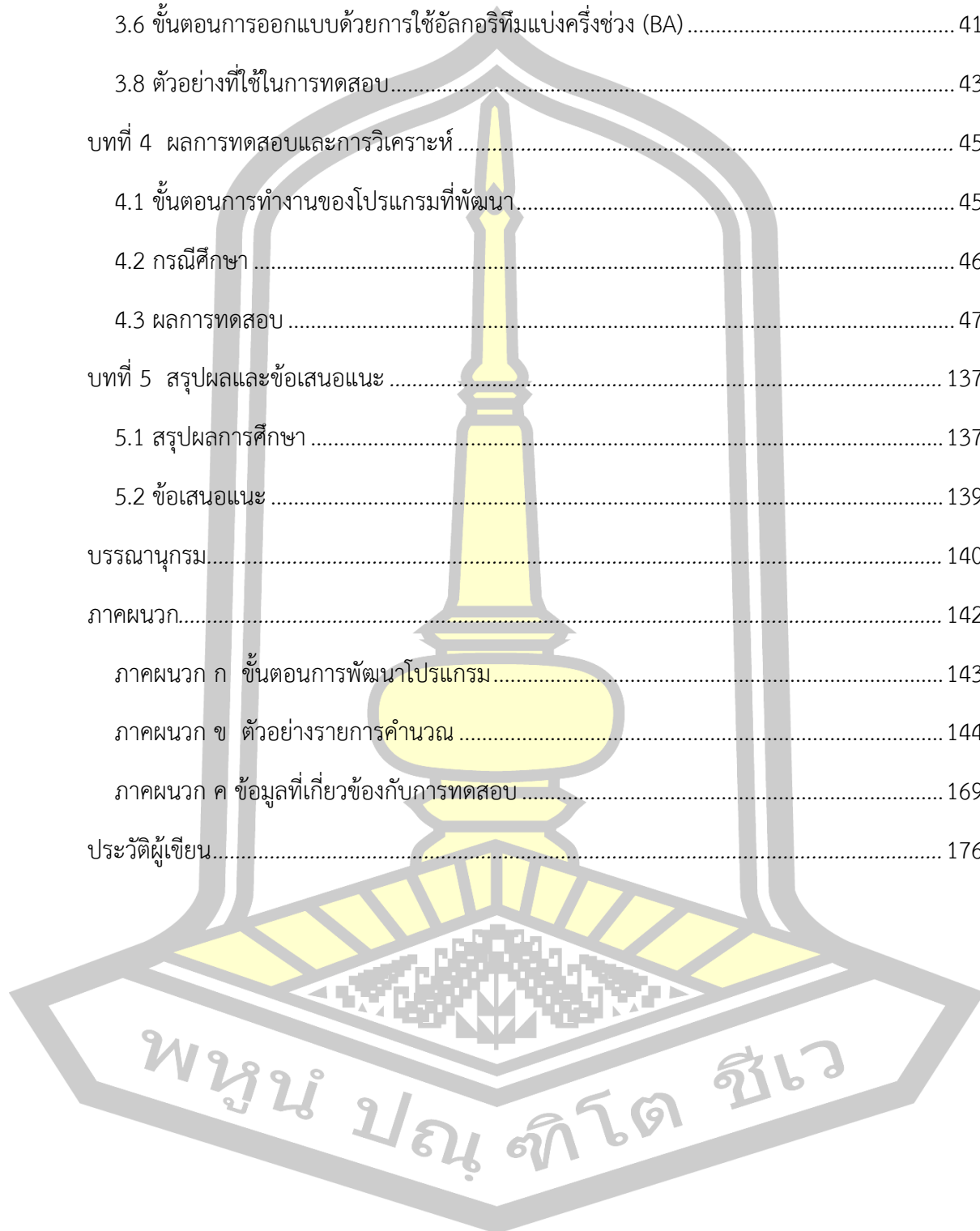
กิตติศักดิ์ บรรณสาร

พูน ปณ ทิโต ชีเว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพประกอบ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎีการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	4
2.2 ฮีลโคลมิงอัลกอริทึม.....	22
2.3 อัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง.....	26
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา.....	35
3.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการวิจัย.....	35
3.2 ฟังก์ชันข้อจำกัด.....	35
3.3 สมการเป้าหมาย.....	36
3.4 ราคาวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย.....	37

3.5 ขั้นตอนการออกแบบด้วยการใช้ฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (HCA)	39
3.6 ขั้นตอนการออกแบบด้วยการใช้อัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (BA)	41
3.8 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ.....	43
บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์	45
4.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนา	45
4.2 กรณีศึกษา	46
4.3 ผลการทดสอบ	47
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	137
5.1 สรุปผลการศึกษา	137
5.2 ข้อเสนอแนะ	139
บรรณานุกรม.....	140
ภาคผนวก.....	142
ภาคผนวก ก ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรม.....	143
ภาคผนวก ข ตัวอย่างรายการคำนวณ	144
ภาคผนวก ค ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ	169
ประวัติผู้เขียน.....	176

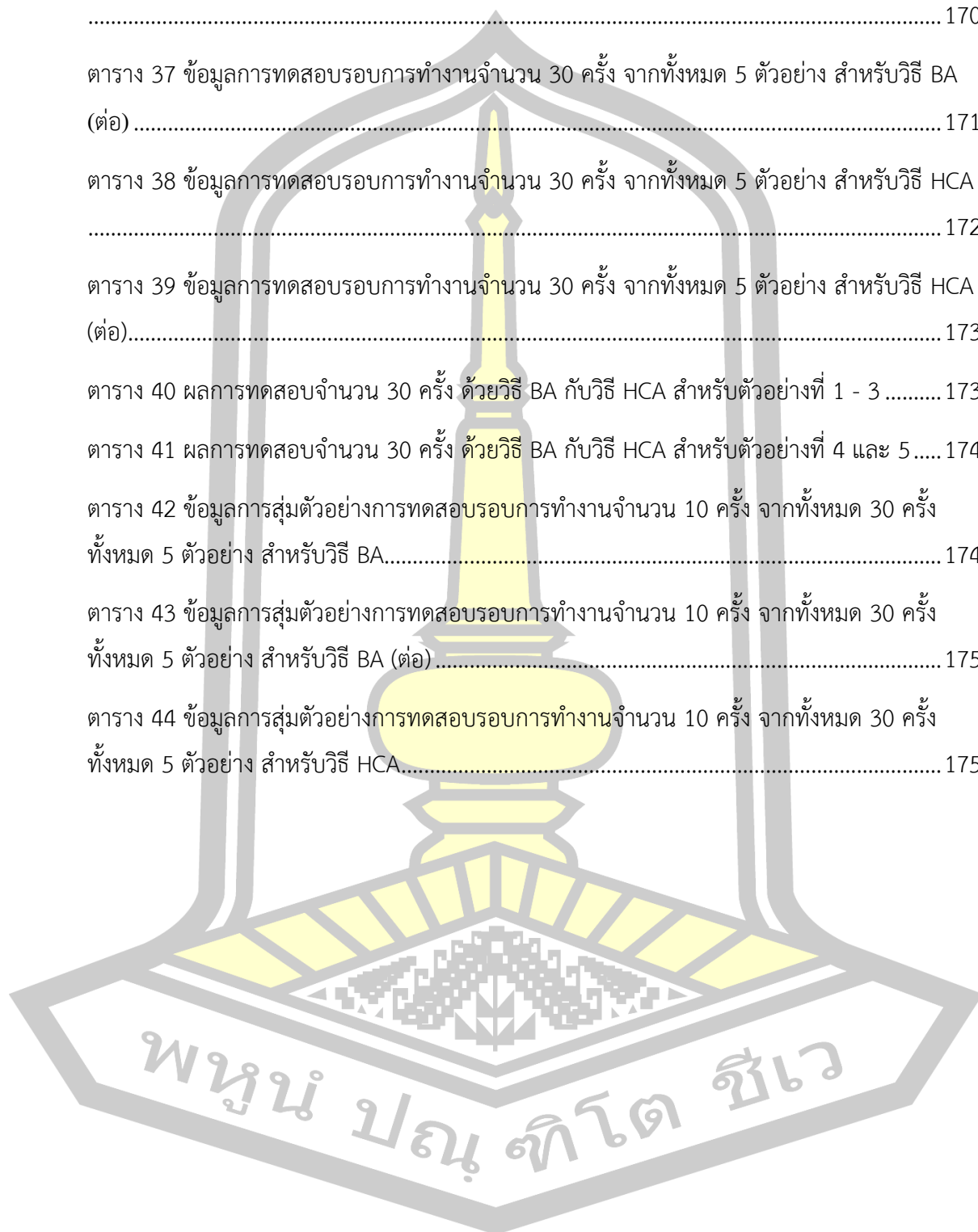


สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 การกำหนดสัดส่วนของบันได.....	5
ตาราง 2 ความลึกต่ำสุดที่กำหนดให้(กรณีไม่คำนวณหาระยะแอ่น) [6].....	17
ตาราง 3 ราคาคอนกรีตผสมเสร็จรวมค่าแรงงาน.....	38
ตาราง 4 ราคาเหล็กเสริมคอนกรีตรวมค่าแรงงาน.....	38
ตาราง 5 ราคาแบบหล่อคอนกรีตรวมค่าแรงงาน.....	38
ตาราง 6 ตัวอย่างทดสอบการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังอย่างเหมาะสม ...	44
ตาราง 7 การเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยวิธี HCA กับวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 1.....	48
ตาราง 8 การเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยวิธี HCA กับวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 2.....	51
ตาราง 9 การเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยวิธี HCA กับวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 3.....	54
ตาราง 10 การเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยวิธี HCA กับวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 4.....	58
ตาราง 11 การเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยวิธี HCA กับวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 5.....	62
ตาราง 12 สรุปผลการออกแบบด้วยวิธี HCA กับวิธี CM กรณีเหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้น คุณภาพ SD30 สำหรับทั้ง 5 ตัวอย่าง.....	65
ตาราง 13 สรุปผลการออกแบบด้วยวิธี HCA กับวิธี CM กรณีเหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้น คุณภาพ SD30 สำหรับทั้ง 5 ตัวอย่าง (ต่อ).....	66
ตาราง 14 สรุปผลการออกแบบด้วยวิธี HCA กับวิธี CM กรณีเหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้น คุณภาพ SD40 สำหรับทั้ง 5 ตัวอย่าง.....	66
ตาราง 15 สรุปผลการออกแบบด้วยวิธี HCA กับวิธี CM กรณีเหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้น คุณภาพ SD40 สำหรับทั้ง 5 ตัวอย่าง (ต่อ).....	67
ตาราง 16 การเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยวิธี BA กับวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 1.....	70
ตาราง 17 ผลการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง ด้วยวิธี BA กับวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 1.....	72
ตาราง 18 การเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยวิธี BA กับวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 2.....	74

ตาราง 19 ผลการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง ด้วยวิธี BA กับวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 2.....	76
ตาราง 20 การเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยวิธี BA กับวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 3	77
ตาราง 21 ผลการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง ด้วยวิธี BA กับวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 3.....	79
ตาราง 22 การเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยวิธี BA กับวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 4	80
ตาราง 23 ผลการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง ด้วยวิธี BA กับวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 4.....	82
ตาราง 24 การเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยวิธี BA กับวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 5	83
ตาราง 25 ผลการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง ด้วยวิธี BA กับวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 5.....	85
ตาราง 26 สรุปผลการออกแบบอย่างเหมาะสม ด้วยวิธี BA กับวิธี HCA ของทั้ง 5 ตัวอย่าง	86
ตาราง 27 ผลการทดสอบทางสถิติรอบการทำงานเฉลี่ย วิธี BA และ วิธี HCA เมื่อสุ่มตัวอย่างทดสอบ จำนวน 10 ครั้ง จากทั้งหมด 30 ครั้ง.....	87
ตาราง 28 ผลการทดสอบทางสถิติรอบการทำงานเฉลี่ย วิธี BA และ วิธี HCA เมื่อสุ่มตัวอย่างทดสอบ จำนวน 10 ครั้ง จากทั้งหมด 30 ครั้ง (ต่อ).....	88
ตาราง 29 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA เปรียบเทียบเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD30 กับ SD40 สำหรับ ตัวอย่างที่ 1.....	89
ตาราง 30 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA เปรียบเทียบเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD30 กับ SD40 สำหรับ ตัวอย่างที่ 2.....	92
ตาราง 31 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA เปรียบเทียบเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD30 กับ SD40 สำหรับ ตัวอย่างที่ 3.....	94
ตาราง 32 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA เปรียบเทียบเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD30 กับ SD40 สำหรับ ตัวอย่างที่ 4.....	97
ตาราง 33 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA เปรียบเทียบเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD30 กับ SD40 สำหรับ ตัวอย่างที่ 5.....	101
ตาราง 34 ผลการทดสอบด้วยวิธี BA เปรียบเทียบเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD30 กับ SD40 สำหรับ ตัวอย่างที่ 1 - 5.....	103
ตาราง 35 ผลการทดสอบด้วยวิธี BA เปรียบเทียบเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD30 กับ SD40 สำหรับ ตัวอย่างที่ 1 - 5 (ต่อ)	103

ตาราง 36 ข้อมูลการทดสอบรอบการทำงานจำนวน 30 ครั้ง จากทั้งหมด 5 ตัวอย่าง สำหรับวิธี BA	170
ตาราง 37 ข้อมูลการทดสอบรอบการทำงานจำนวน 30 ครั้ง จากทั้งหมด 5 ตัวอย่าง สำหรับวิธี BA (ต่อ)	171
ตาราง 38 ข้อมูลการทดสอบรอบการทำงานจำนวน 30 ครั้ง จากทั้งหมด 5 ตัวอย่าง สำหรับวิธี HCA	172
ตาราง 39 ข้อมูลการทดสอบรอบการทำงานจำนวน 30 ครั้ง จากทั้งหมด 5 ตัวอย่าง สำหรับวิธี HCA (ต่อ)	173
ตาราง 40 ผลการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง ด้วยวิธี BA กับวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 1 - 3	173
ตาราง 41 ผลการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง ด้วยวิธี BA กับวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 4 และ 5	174
ตาราง 42 ข้อมูลการสุ่มตัวอย่างการทดสอบรอบการทำงานจำนวน 10 ครั้ง จากทั้งหมด 30 ครั้ง ทั้งหมด 5 ตัวอย่าง สำหรับวิธี BA	174
ตาราง 43 ข้อมูลการสุ่มตัวอย่างการทดสอบรอบการทำงานจำนวน 10 ครั้ง จากทั้งหมด 30 ครั้ง ทั้งหมด 5 ตัวอย่าง สำหรับวิธี BA (ต่อ)	175
ตาราง 44 ข้อมูลการสุ่มตัวอย่างการทดสอบรอบการทำงานจำนวน 10 ครั้ง จากทั้งหมด 30 ครั้ง ทั้งหมด 5 ตัวอย่าง สำหรับวิธี HCA	175



สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 บันไดแบบพาดทางช่วงกว้าง.....	6
ภาพประกอบ 2 บันไดแบบพาดทางช่วงยาว.....	6
ภาพประกอบ 3 บันไดแบบยื่นจากผนัง.....	7
ภาพประกอบ 4 บันไดเวียน.....	8
ภาพประกอบ 5 การกระจายของหน่วยการยึดหดตัวและหน่วยแรงภายในหน้าตัด.....	11
ภาพประกอบ 6 รูปแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง.....	13
ภาพประกอบ 7 ช่วงบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังที่พิจารณา.....	13
ภาพประกอบ 8 การคาน้ำหนักบรรทุก.....	14
ภาพประกอบ 9 รูปแบบการเสริมเหล็กบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง.....	15
ภาพประกอบ 10 พื้นที่การคานน้ำหนักของขั้นบันได.....	17
ภาพประกอบ 11 น้ำหนักบรรทุกกระทำต่อบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง.....	18
ภาพประกอบ 12 พื้นที่คานน้ำหนักโมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดทั้งหมด.....	20
ภาพประกอบ 13 แบบจำลองการป็นเขา.....	22
ภาพประกอบ 14 การค้นหาค่าตอบของฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (HCA).....	22
ภาพประกอบ 15 การสร้างโหนดสำหรับค้นหาค่าตอบ.....	23
ภาพประกอบ 16 การทำงานโดยทั่วไปของฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (HCA).....	25
ภาพประกอบ 17 วิธีแบ่งครึ่งช่วงเพื่อใช้หารากของสมการ.....	26
ภาพประกอบ 18 ความเป็นไปได้ของสมการ.....	27
ภาพประกอบ 19 การทำงานโดยทั่วไปของอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (BA).....	29
ภาพประกอบ 20 ขั้นตอนการออกแบบด้วยการใช้ฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (HCA).....	40
ภาพประกอบ 21 ขั้นตอนการออกแบบด้วยการใช้อัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (BA).....	42

ภาพประกอบ 22	บันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง สำหรับตัวอย่างทดสอบ	43
ภาพประกอบ 23	น้ำหนักบรรทุกจรกระทำต่อบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง	44
ภาพประกอบ 24	หน้าจอประมวลผลของโปรแกรมที่พัฒนา.....	46
ภาพประกอบ 25	ตัวอย่างที่ 1.....	47
ภาพประกอบ 26	การหาคำตอบอย่างเหมาะสมด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 1.....	48
ภาพประกอบ 27	ผลการออกแบบด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 1 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD30 และ SD40.....	49
ภาพประกอบ 28	ผลการออกแบบด้วยวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 1 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD30 และ SD40.....	49
ภาพประกอบ 29	ตัวอย่างที่ 2.....	50
ภาพประกอบ 30	การหาคำตอบอย่างเหมาะสมด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 2.....	51
ภาพประกอบ 31	ผลการออกแบบด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 2 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD30 และ SD40.....	52
ภาพประกอบ 32	ผลการออกแบบด้วยวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 2 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD30 และ SD40.....	52
ภาพประกอบ 33	ตัวอย่างที่ 3.....	53
ภาพประกอบ 34	การหาคำตอบอย่างเหมาะสมด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 3.....	54
ภาพประกอบ 35	ผลการออกแบบด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 3 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD30	55
ภาพประกอบ 36	ผลการออกแบบด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 3 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD40	55
ภาพประกอบ 37	ผลการออกแบบด้วยวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 3 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD30	56
ภาพประกอบ 38	ผลการออกแบบด้วยวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 3 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD40	56
ภาพประกอบ 39	ตัวอย่างที่ 4.....	57

ภาพประกอบ 40 การหาคำตอบอย่างเหมาะสมด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 4.....	59
ภาพประกอบ 41 ผลการออกแบบด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 4 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD30	59
ภาพประกอบ 42 ผลการออกแบบด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 4 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD40	60
ภาพประกอบ 43 ผลการออกแบบด้วยวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 4 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD30	60
ภาพประกอบ 44 ผลการออกแบบด้วยวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 4 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD40	61
ภาพประกอบ 45 ตัวอย่างที่ 5.....	61
ภาพประกอบ 46 การหาคำตอบอย่างเหมาะสมด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 5.....	63
ภาพประกอบ 47 ผลการออกแบบด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 5 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD30	63
ภาพประกอบ 48 ผลการออกแบบด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 5 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD40	64
ภาพประกอบ 49 ผลการออกแบบด้วยวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 5 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD30	64
ภาพประกอบ 50 ผลการออกแบบด้วยวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 5 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD40	65
ภาพประกอบ 51 การเพิ่มขึ้นของราคารวมเมื่อเพิ่มระยะยื่นจากผนัง	67
ภาพประกอบ 52 แนวโน้มการลดลงของร้อยละความแตกต่างราคา กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD30 และ SD40 เมื่อเพิ่มระยะยื่นจากผนัง.....	68
ภาพประกอบ 53 ตัวอย่างที่ 1.....	69
ภาพประกอบ 54 การหาคำตอบอย่างเหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 1.....	71
ภาพประกอบ 55 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่ใช้ในการทำงานกับการทดสอบแต่ละครั้ง	71
ภาพประกอบ 56 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA และ HCA สำหรับตัวอย่างที่ 1	72

ภาพประกอบ 57 ตัวอย่างที่ 2.....	73
ภาพประกอบ 58 การหาคำตอบอย่างเหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 2	74
ภาพประกอบ 59 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่ใช้ในการทำงานกับการทดสอบแต่ละครั้ง	75
ภาพประกอบ 60 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA และ HCA สำหรับตัวอย่างที่ 2.....	75
ภาพประกอบ 61 ตัวอย่างที่ 3.....	76
ภาพประกอบ 62 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA และ HCA สำหรับตัวอย่างที่ 3.....	78
ภาพประกอบ 63 การหาคำตอบอย่างเหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 3	78
ภาพประกอบ 64 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่ใช้ในการทำงานกับการทดสอบแต่ละครั้ง	79
ภาพประกอบ 65 ตัวอย่างที่ 4.....	80
ภาพประกอบ 66 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA และ HCA สำหรับตัวอย่างที่ 4.....	81
ภาพประกอบ 67 การหาคำตอบอย่างเหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 4	81
ภาพประกอบ 68 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่ใช้ในการทำงานกับการทดสอบแต่ละครั้ง	82
ภาพประกอบ 69 ตัวอย่างที่ 5.....	83
ภาพประกอบ 70 การหาคำตอบอย่างเหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 5	84
ภาพประกอบ 71 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่ใช้ในการทำงานกับการทดสอบแต่ละครั้ง	84
ภาพประกอบ 72 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA และ HCA สำหรับตัวอย่างที่ 5.....	85
ภาพประกอบ 73 ตัวอย่างที่ 1.....	89
ภาพประกอบ 74 การหาคำตอบอย่างเหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 1	90
ภาพประกอบ 75 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA สำหรับตัวอย่างที่ 1 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD30 และ SD40.....	90
ภาพประกอบ 76 ตัวอย่างที่ 2.....	91
ภาพประกอบ 77 การหาคำตอบอย่างเหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 2	93
ภาพประกอบ 78 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA สำหรับตัวอย่างที่ 2 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD30 และ SD40.....	93

ภาพประกอบ 79 ตัวอย่างที่ 3.....	94
ภาพประกอบ 80 การหาคำตอบที่เหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 3.....	95
ภาพประกอบ 81 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA สำหรับตัวอย่างที่ 3 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD30	96
ภาพประกอบ 82 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA สำหรับตัวอย่างที่ 3 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD40	96
ภาพประกอบ 83 ตัวอย่างที่ 4.....	97
ภาพประกอบ 84 การหาคำตอบที่เหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 4.....	98
ภาพประกอบ 85 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA สำหรับตัวอย่างที่ 4 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD30	99
ภาพประกอบ 86 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA สำหรับตัวอย่างที่ 4 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD40	99
ภาพประกอบ 87 ตัวอย่างที่ 5.....	100
ภาพประกอบ 88 การหาคำตอบอย่างเหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 5	101
ภาพประกอบ 89 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA สำหรับตัวอย่างที่ 5 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD30	102
ภาพประกอบ 90 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA สำหรับตัวอย่างที่ 5 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้น คุณภาพ SD40	102
ภาพประกอบ 91 ความหนาชั้นบันไดเมื่อเพิ่มระยะยื่นจากผนัง.....	104
ภาพประกอบ 92 ปริมาณเหล็กเสริมหลักเมื่อเพิ่มระยะยื่นจากผนัง.....	104
ภาพประกอบ 93 การแอนตัวของบันไดเมื่อเพิ่มระยะยื่นจากผนัง	105
ภาพประกอบ 94 ราคารวมเมื่อเพิ่มระยะยื่นจากผนัง.....	105
ภาพประกอบ 95 สร้าง Project ใหม่แบบ Standard EXE.....	144
ภาพประกอบ 96 เปลี่ยนชื่อ Project ตามต้องการ	145
ภาพประกอบ 97 สร้าง Frame สำหรับใส่รายละเอียด	145

ภาพประกอบ 98 การเปลี่ยนชื่อ Frame.....	146
ภาพประกอบ 99 การเพิ่มข้อความ	146
ภาพประกอบ 100 หน้าจอแสดงผลเมื่อเพิ่มและเปลี่ยนชื่อข้อความ	147
ภาพประกอบ 101 ข้อความสำหรับ Input.....	147
ภาพประกอบ 102 การสร้าง Textbox.....	148
ภาพประกอบ 103 รายละเอียดสำหรับ Input ที่ต้องการ.....	148
ภาพประกอบ 104 รายละเอียดสำหรับ Input และ Output ที่ต้องการ	149
ภาพประกอบ 105 การสร้าง PictureBox เพื่อแสดงผลของกราฟ	149
ภาพประกอบ 106 การสร้าง Listbox เพื่อแสดงผลของข้อมูลการคำนวณต่างๆ	150
ภาพประกอบ 107 การสร้าง Commandbutton ปุ่มเพื่อใช้สำหรับการคำนวณ	150
ภาพประกอบ 108 การเปลี่ยนชื่อปุ่ม	151
ภาพประกอบ 109 การสร้างปุ่มเพื่อการคำนวณทั้งสองอัลกอริทึม	151
ภาพประกอบ 110 การสร้าง Code สำหรับการคำนวณหาค่าที่เหมาะสม.....	152
ภาพประกอบ 111 หน้าต่างแสดงพื้นที่สำหรับการเขียน Code.....	152
ภาพประกอบ 112 การเลือกเพิ่ม Module	153
ภาพประกอบ 113 การเพิ่มตัวแปรลงใน Module.....	153
ภาพประกอบ 114 หน้าจอก่อนการประมวลผลสำหรับงานวิจัย	154
ภาพประกอบ 115 หน้าจอหลังการประมวลผลสำหรับงานวิจัย	154
ภาพประกอบ 116 หน้าจอก่อนการประมวลผล	155
ภาพประกอบ 117 หน้าจอหลังการประมวลผล.....	155
ภาพประกอบ 118 ตัวอย่างที่ 1	157
ภาพประกอบ 119 รูปแบบบัณฑิตที่พิจารณาออกแบบ	159
ภาพประกอบ 120 การประมาณความหนาชั้นบัณฑิต	160
ภาพประกอบ 121 หน้าตัดบัณฑิตที่ใช้คำนวณออกแบบ	161

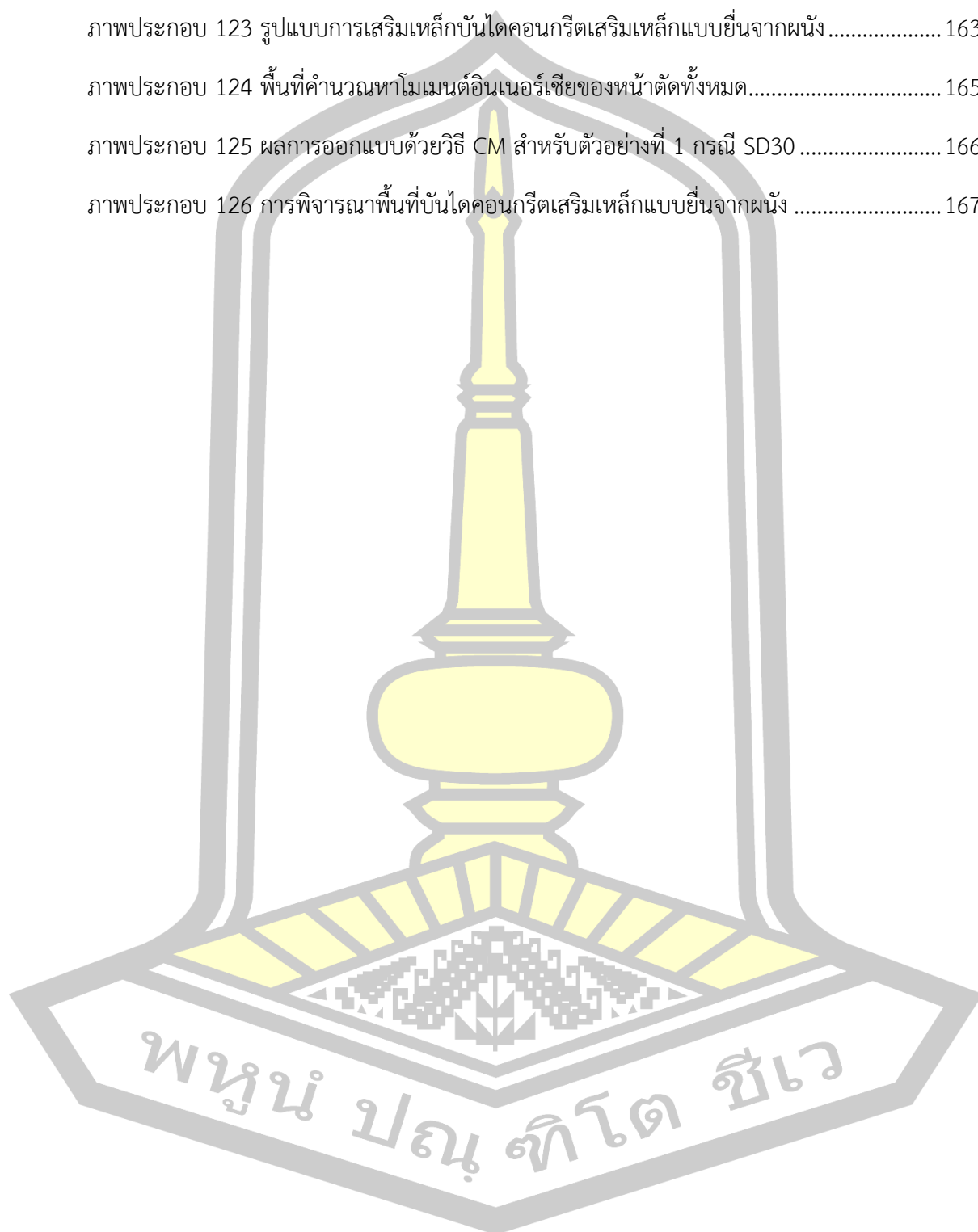
ภาพประกอบ 122 ใช้น้ำหนักบรรทุกจรกระทำต่อบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง 161

ภาพประกอบ 123 รูปแบบการเสริมเหล็กบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง 163

ภาพประกอบ 124 พื้นที่คำนวณหาโมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดทั้งหมด..... 165

ภาพประกอบ 125 ผลการออกแบบด้วยวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 1 กรณี SD30 166

ภาพประกอบ 126 การพิจารณาพื้นที่บันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง 167



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

บันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่น (Cantilevered Stairs) เป็นองค์ประกอบสำคัญของอาคาร ทั้งในด้านสถาปัตยกรรมและวิศวกรรมโครงสร้าง ซึ่งมีบทบาทในการเน้นความสวยงามและความสามารถในการรับน้ำหนักได้อย่างมีประสิทธิภาพ การออกแบบบันไดยื่นมีความท้าทายเนื่องจากโครงสร้างของบันไดไม่ได้รับการสนับสนุนจากเสาหรือโครงสร้างด้านล่าง การคำนวณทางวิศวกรรมจึงต้องมีความแม่นยำสูง เพื่อให้บันไดสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัยและมีความรู้สึกเบาและลอยตัว ซึ่งสอดคล้องกับการออกแบบสถาปัตยกรรมที่ต้องการประหยัดพื้นที่ภายในอาคาร

โครงสร้างบันไดยื่นประกอบไปด้วยขั้นบันไดที่ทำหน้าที่เป็นคานยื่นออกมาจากผนังหรือคานหลักซึ่งฝังอยู่ในผนัง เหล็กเสริมที่ใช้ในขั้นบันไดโดยเฉพาะในแนวการยื่นออก ทำหน้าที่รองรับแรงดัดและแรงเฉือนที่เกิดขึ้น [1] ความซับซ้อนของการออกแบบบันไดยื่นอยู่ที่การคำนวณโมเมนต์ดัดและการกระจายน้ำหนักที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นบันได ซึ่งต้องมีการพิจารณาอย่างละเอียดในการออกแบบโครงสร้างนี้

Mao and Jaiyong [2] ได้ทำการวิเคราะห์การตอบสนองของบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นภายใต้แรงสั่นสะเทือนจากการเดินโดยใช้ MATLAB และได้เสนอการเสริมเหล็กเพิ่มเติมเพื่อลดผลกระทบจากแรงสั่นสะเทือน ข้อมูลการเร่งความเร็วจากการเดินขึ้นและลงบันไดถูกนำมาใช้ในการประเมินการสั่นสะเทือน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการพิจารณาประสบการณ์ของผู้ใช้งานในกระบวนการออกแบบบันได

บันไดยื่นไม่ได้เป็นเพียงองค์ประกอบเชิงฟังก์ชันเท่านั้น แต่ยังมีบทบาทสำคัญในการสร้างภาพลักษณ์และเอกลักษณ์ให้กับอาคาร ผู้ที่เกี่ยวข้องในการออกแบบและเจ้าของโครงการมักเลือกใช้บันไดยื่นเพื่อตอบสนองความต้องการด้านสุนทรียะและความประหยัดพื้นที่ การศึกษาและพิจารณาคุณภาพ ประสิทธิภาพ ความประหยัด และรูปลักษณะที่เหมาะสมของบันไดยื่นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

การออกแบบบันไดยื่นมีความซับซ้อน ซึ่งการใช้วิธีการคำนวณแบบลองผิดลองถูกอาจส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดและขาดประสิทธิภาพ การนำเทคโนโลยีการประมวลผลและอัลกอริทึมการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization Algorithm) เข้ามาช่วยในกระบวนการออกแบบ จึงเป็นทางเลือกที่ช่วยให้การออกแบบเป็นไปอย่างรวดเร็ว มีความแม่นยำ และลดต้นทุนในการก่อสร้าง

การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมในการออกแบบโครงสร้างมีงานวิจัยมากมาย เช่น Govindaraj and Ramasamy [3] ที่นำเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm, GA) มาใช้ในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือ Cheng [4] ที่ใช้เจเนติกอัลกอริทึมแบบลูกผสม (Hybrid Genetic Algorithm, GA) ในการออกแบบสะพานโครงสร้างเหล็ก แม้ว่าจะมีการนำอัลกอริทึมมาใช้ในการออกแบบโครงสร้างมากมาย แต่ยังไม่มีการนำอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (Bisection Algorithm, BA) มาใช้ในการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง

ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (BA) และฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (Hill Climbing Algorithm, HCA) ในการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งานมาตรฐาน วสท. 011007-19 [5] โปรแกรมออกแบบที่พัฒนาด้วย ไมโครซอฟต์วิซวลเบสิก เวอร์ชัน 6.0 จะถูกนำมาใช้เพื่อค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจะช่วยให้กระบวนการออกแบบมีความรวดเร็วและแม่นยำมากขึ้น และทำให้อาคารที่ใช้บันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นมีทั้งความแข็งแรงและประหยัดเวลาในการก่อสร้าง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังให้มีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.2.2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (Hill Climbing Algorithm) กับการคำนวณแบบทั่วไป (Conventional Calculation Method) สำหรับการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง

1.2.3 เพื่อศึกษาความแตกต่างด้านประสิทธิภาพระหว่างอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (Bisection Algorithm) กับฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (Hill Climbing Algorithm) สำหรับเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตการศึกษาสำหรับงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

1.3.1 ออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

1.3.2 ออกแบบบันไดแบบยื่นจากผนังเฉพาะชั้นบันได ไม่รวมคานรองรับและชานพักบันได

1.3.3 กำลังอัดประลัยของคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน 240 กก./ซม.²

1.3.4 เหล็กเสริมหลักที่ใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ขนาด 12 16 20 25 และ 28 มม.

1.3.5 เหล็กเสริมยึดชั้นบันไดใช้เป็นเหล็กเส้นกลม ขนาด 6 9 12 และ 15 มม.

1.3.6 ไม่พิจารณาเหล็กเสริมล่างยึดมุมชั้นบันได

1.3.7 กำลังครากของเหล็กข้ออ้อย 3,000 และ 4,000 กก./ชม.² และ เหล็กเส้นกลม 2,400 กก./ชม.²

1.3.8 ความสูงของลูกตั้งบันได 16.67 ซม.

1.3.9 ความกว้างของลูกนอนบันได 25 ซม.

1.3.10 การแอ่นตัวของบันไดสูงสุดไม่เกินระยะยื่นจากผนังต่อ 360

1.3.11 ระยะยื่นจากผนังสูงสุดในตัวอย่างที่จะทดสอบไม่เกิน 3.00 ม.

1.3.12 น้ำหนักบรรทุกจร 400 กก./ม.²

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.4.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาจะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถคำนวณและออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ได้อย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้องตามหลักวิศวกรรม

1.4.2 การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างฮิลไคลมิงอัลกอริทึม (Hill Climbing Algorithm) กับการคำนวณแบบทั่วไป (Conventional Calculation Method) จะช่วยให้เข้าใจถึงความแตกต่างในด้านความเร็ว ความแม่นยำ และประสิทธิภาพในการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการเลือกใช้วิธีการที่เหมาะสมและทันสมัยสำหรับการออกแบบโครงสร้าง

1.4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (Bisection Algorithm) กับฮิลไคลมิงอัลกอริทึม (Hill Climbing Algorithm) จะช่วยให้ทราบว่าอัลกอริทึมใดสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ดีกว่า และนำไปสู่การพัฒนาแนวทางการออกแบบที่เหมาะสมกับสภาพงานที่หลากหลาย

1.4.4 การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นและอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพ จะช่วยลดเวลาและทรัพยากรในการออกแบบโครงสร้าง ทำให้งานเสร็จสิ้นเร็วขึ้นโดยยังคงคุณภาพและความปลอดภัยของโครงสร้าง

พหุ ประถมศึกษา ชีวะ

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

บันได (Stair) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญและจำเป็นในการเชื่อมต่อระหว่างชั้นของอาคาร โดยมีหลายรูปแบบที่ตอบสนองต่อการใช้งานและการออกแบบทางสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม โครงสร้าง หนึ่งในรูปแบบที่พบได้บ่อยคือ บันไดแบบพาดทางช่วงกว้าง ซึ่งมีคานรองรับทั้งสองข้าง ชั้นบันไดทำหน้าที่เป็นคานเล็กที่วางอยู่บนคานรองรับ โดยมีเหล็กเสริมทางขวางเป็นเหล็กเสริมหลัก ลักษณะนี้เป็นที่นิยมเพราะออกแบบและก่อสร้างได้ง่าย อีกแบบที่มักใช้คือ บันไดแบบพาดทางช่วงยาว ซึ่งชั้นบันไดทำหน้าที่เป็นคานแบนที่วางลงบนคานทั้งสองปลาย โดยเหล็กเสริมหลักจะขนานไปกับความยาวของบันได สำหรับ บันไดแบบยื่นจากผนัง ตัวบันไดจะยื่นออกจากคานหรือผนัง โดยใช้เหล็กเสริมตามแนวยื่นของบันไดเป็นเหล็กเสริมหลัก ในกรณีที่บันไดเกาะกับผนังบริเวณชานพัก จะต้องใส่เหล็กเสริมในทั้งสองทิศทางเพื่อความมั่นคงและปลอดภัย บันไดอีกประเภทที่ซับซ้อนและใช้พื้นที่มากคือ บันไดเวียน ซึ่งมีทั้งแรงเฉือน โมเมนต์ดัด และโมเมนต์บิด ต้องการเหล็กเสริมจำนวนมาก และมักใช้ในบริเวณโถงของอาคารเพื่อความสวยงาม ส่วน บันไดชานพักลอย นั้นโดดเด่นที่ไม่มีคานหรือเสารองรับน้ำหนักในบริเวณชานพัก ช่วยสร้างความโปร่งโล่งให้กับพื้นที่ การเลือกใช้บันไดแต่ละประเภทขึ้นอยู่กับการออกแบบทางสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม รวมถึงความต้องการในการใช้งานที่แตกต่างกันไปของแต่ละอาคาร

2.1.1 การกำหนดสัดส่วนของบันได

การออกแบบบันไดไม่ได้มุ่งเน้นเพียงแค่ความสวยงามและความมั่นคงแข็งแรงเท่านั้น แต่ยังต้องคำนึงถึงข้อกำหนดด้านกฎหมายควบคุมอาคาร ซึ่งมีการระบุสัดส่วนต่าง ๆ ของบันไดอย่างละเอียดเพื่อความปลอดภัยทั้งในชีวิตและทรัพย์สินของผู้ใช้งาน การกำหนดสัดส่วนที่เหมาะสมเหล่านี้เป็นข้อบังคับตามกฎหมายกระทรวงฉบับที่ 55 ซึ่งออกตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 โดยมีรายละเอียดในตาราง 1 ข้อกำหนดนี้มีความสำคัญในการป้องกันอุบัติเหตุและเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานบันไดในทุกอาคาร

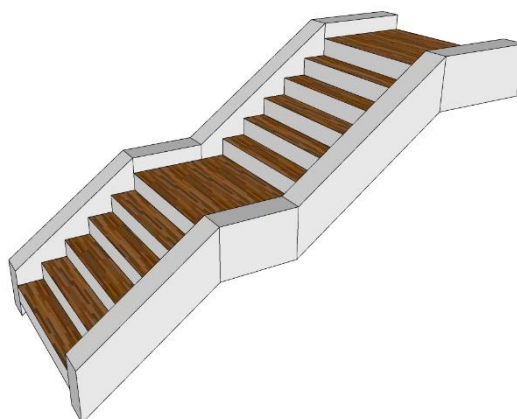
ตาราง 1 การกำหนดสัดส่วนของบันได

ลำดับ ที่	รายการ	อาคารพัก อาศัย	อาคาร พาณิชย์ ไม่เกิน 300 ม. ²	อาคารอยู่ อาศัยรวม ไม่เกิน 300 ม. ²	โรงแรม
1	ความกว้างบันได (ชม.)	≥ 80	≥ 120	≥ 120	≥ 150
2	ชันพักบันได (ชม.)	$>$ ความกว้าง	$>$ ความกว้าง	$>$ ความกว้าง	≥ 150
3	ขนาดลูกตั้ง (ชม.)	≤ 20	≤ 18	≤ 18	≤ 19
4	ขนาดลูกนอน (ชม.)	≥ 22	≥ 25	≥ 25	≥ 30
5	ความสูงบันได 1 ช่วง (ม.)	≤ 3	≤ 4	≤ 4	≤ 4
6	ระยะในแนวตั้ง (ม.)	≥ 1.90	≥ 2.10	≥ 2.10	-

2.1.2 ประเภทของบันได

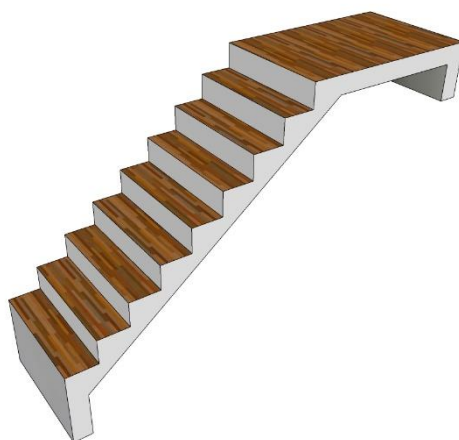
การแบ่งประเภทของบันไดสามารถแบ่งได้หลายลักษณะด้วยกัน แต่หากแบ่งประเภทของบันไดตามลักษณะของแรงที่เกิดขึ้น สามารถแบ่งออกได้ 2 ลักษณะ คือ บันไดที่เกิดเฉพาะโมเมนต์ดัด (Bending Moment) และแรงเฉือน (Shear) เช่น บันไดแบบพาดทางช่วงกว้าง บันไดแบบพาดทางช่วงยาว บันไดแบบยื่นจากผนัง และ บันไดที่เกิดโมเมนต์ดัด แรงเฉือน และโมเมนต์บิด (Torsion) เช่น บันไดเวียน บันไดแบบชานพักลอย

2.1.2.1 บันไดแบบพาดทางช่วงกว้าง บันไดประเภทนี้จะมีคานที่รองรับทั้งสองข้าง ซึ่งมีลักษณะเป็นพื้นทางเดียวที่มีช่วงยาวเท่ากับความกว้างของบันได บันไดประเภทนี้จึงมีความหนาแน่นกว่าบันไดประเภทอื่น เนื่องจากความยาวช่วงที่สั้นกว่า คือ ระยะห่างระหว่างคานรองรับทั้งสองข้าง น้ำหนักของแผ่นพื้นบันไดถ่ายลงสู่คานที่รองรับทั้งสองข้าง แผ่นพื้นอาจมีลักษณะเป็นแบบท้องเรียบหรือเป็นแบบพับผ้า เหล็กเสริมหลักในบันไดประเภทนี้วางตามแนวขวาง ส่วนเหล็กเสริมด้านการยึดหดวางตามแนวยาว มีลักษณะของบันได ดังแสดงในภาพประกอบ 1



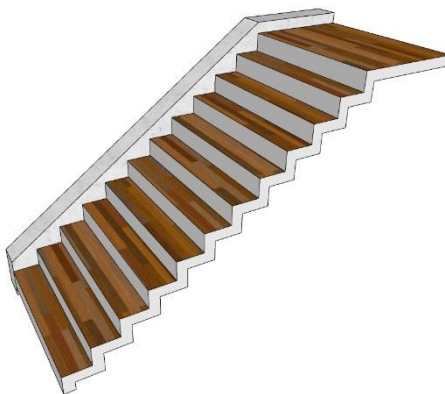
ภาพประกอบ 1 บันไดแบบพาดทางช่วงกว้าง

2.1.2.2 บันไดแบบพาดทางช่วงยาว บันไดประเภทนี้เป็นพื้นทางเดียวพาดยาวระหว่างคานที่ตำแหน่งพื้นอาคารและคานชานพัก การออกแบบอาจเป็นพื้นท้องเรียบหรือพื้นพับผ้า โดยช่วงความยาวที่นำมาคำนวณโมเมนต์ดัด ใช้ระยะในแนวนาบระหว่างคานที่ตำแหน่งพื้นและคานชานพัก การคติน้ำหนักบรรทุกทุกคงที่คิดจากน้ำหนักของชั้นบันไดต่อความยาวในแนวนาบหนึ่งเมตร การเสริมเหล็กจะทำในลักษณะเดียวกันกับพื้นทางเดียว โดยให้เหล็กเสริมหลักในแนวยาวอยู่ด้านล่างและยื่นเข้าไปในคานรองรับทั้งสองให้มีระยะฝังที่เพียงพอ มีลักษณะของบันได ดังแสดงในภาพประกอบ 2



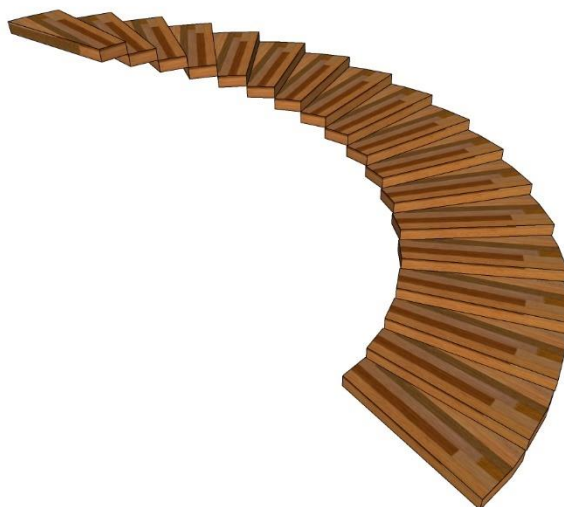
ภาพประกอบ 2 บันไดแบบพาดทางช่วงยาว

2.1.2.3 บันไดแบบยื่นจากผนัง บันไดประเภทนี้จะยื่นออกจากคานหรือผนังที่รองรับบันไดเพียงด้านเดียว โดยคานรองรับบันไดมักฝังอยู่ในผนังและพาดเอียงระหว่างเสาสองต้น สามารถออกแบบเป็นบันไดห้องเรียบหรือพับผ้า การออกแบบเป็นบันไดพับผ้าจะมีน้ำหนักเบากว่าห้องเรียบ ช่วยลดน้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์บิดที่จะเกิดขึ้นกับคานหรือผนังที่รองรับบันไดให้น้อยลง จึงเป็นที่นิยมมากกว่า มีลักษณะของบันไดดังแสดงในภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 บันไดแบบยื่นจากผนัง

2.1.2.4 บันไดเวียน บันไดประเภทนี้อาจมีเพียงแผ่นพื้นเพียงแผ่นเดียวที่มีความหนาค่อนข้างมาก หมุนบิดตัวโดยเริ่มจากระดับพื้นชั้นล่างไปจนถึงระดับพื้นชั้นบน อาจมีได้ทั้งเป็นแผ่นพื้นแบบห้องเรียบและแผ่นพื้นแบบพับผ้า เนื่องจากแผ่นพื้นบันไดจะหมุนบิดวนรอบแกนตั้งฉากกับแนวระนาบซึ่งมีลักษณะคล้ายขดลวด จึงทำให้การวิเคราะห์และออกแบบบันไดลักษณะนี้ค่อนข้างยุ่งยากกว่าบันไดประเภทอื่น อีกทั้งการก่อสร้างต้องใช้เทคนิคและงบประมาณที่มีมูลค่าสูงจึงทำให้ไม่เป็นที่นิยม มีลักษณะของบันไดดังแสดงในภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 บันไดเวียน

2.1.3 การคำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Design)

การคำนวณออกแบบโดยวิธีนี้ใช้กันมาตั้งแต่ศตวรรษที่ 19 โดยอาศัยหลักของทฤษฎีเส้นตรง (Straight Line Theory) ซึ่งเดิมมาตรฐาน ACI หรือ วสท. เรียกว่า ทฤษฎีอีลาสติก แต่ในปัจจุบันมาตรฐาน วสท. เรียกว่าวิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Design, WSD) วิธีนี้พิจารณาว่าหน้าตัดของส่วนโครงสร้างประกอบด้วยวัสดุ 2 ชนิด คือ คอนกรีตกับเหล็กเสริม และอาศัยหลักความสมดุลของแรงภายในของหน้าตัดหากำลังต้านทานของส่วนโครงสร้าง

สมมุติฐานการคำนวณออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

การคำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (WSD) อาศัยข้อสมมุติฐานที่คำนึงถึงพฤติกรรมยืดหยุ่นของส่วนโครงสร้าง คสล.ในขณะที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน [5] ดังต่อไปนี้

- 1) ระยะเวลาของหน้าตัดก่อนการตัดยังคงเป็นระยะหลังการตัด โดยความเครียดที่เกิดขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะจากแกนสะเทิน
- 2) ขณะที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน หน่วยแรงที่เกิดขึ้นมีค่าไม่เกินหน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้ โดยความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรง และความเครียดของคอนกรีตให้ถือว่าเป็นเส้นตรง กล่าวคือ หน่วยแรงแปรผันโดยตรงกับระยะจากแกนสะเทิน

- 3) ให้เหล็กเสริมรับแรงดึงทั้งหมดที่เกิดจากการดัด
- 4) ในการคำนวณออกแบบ ให้แทนที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงดึงด้วยหน้าตัดคอนกรีต ซึ่งมีเนื้อที่ n เท่าของหน้าตัดเหล็กเสริมนั้น
- 5) ความเครียดสูงสุดที่ขอบนอกสุดด้านรับแรงอัดของคอนกรีต มีค่าเท่ากับ $\epsilon_u = 0.003$ หน่วยแรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมต้องไม่เกินกำลังคราก, f_y คือหน่วยแรงดึง

$$f_s = E_s \epsilon_s \quad (2.1)$$

$$\text{เมื่อ } \epsilon_s < \epsilon_y$$

$$f_s = f_y \quad (2.2)$$

$$\text{เมื่อ } \epsilon_s \geq \epsilon_y$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s \quad (2.3)$$

- 6) บันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังจะออกแบบคล้ายกับคานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยน้ำหนักของบันไดจะถ่ายลงสู่โครงสร้างที่รองรับต่อไป การออกแบบจึงจำเป็นต้องทราบค่าตัวแปรต่าง ๆ ในการออกแบบ ดังต่อไปนี้

6.1) โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (E_c)

โมดูลัสยืดหยุ่นเป็นตัวบ่งบอกหรือแสดงถึงความต้านทานต่อการเสียรูป (Deformation) ของวัสดุ เมื่อรับน้ำหนักบรรทุก [5] กำหนดสูตรสำหรับหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต โดยขึ้นกับกำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดและหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ดังนี้

$$E_c = 4,270 W_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \quad (2.4)$$

เมื่อ

E_c คือ โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต หน่วยเป็น กก./ซม.²

W_c คือ หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต หน่วยเป็น ตัน/ม.³

f'_c คือ กำลังอัดประลัยคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน เมื่ออายุ 28 วัน หน่วยเป็น กก./ซม.²

สำหรับคอนกรีตน้ำหนักธรรมชาติใช้หน่วยน้ำหนักเท่ากับ 2.323 ตัน/ม.^3 ดังนั้น จะได้ค่า
โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

$$E_c = 15,100 \sqrt{f'_c} \quad (2.5)$$

6.2) โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก (E_s)

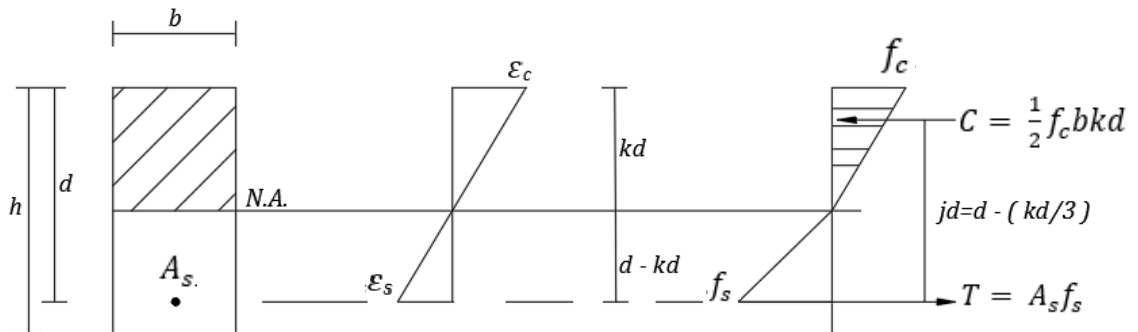
สำหรับเหล็กเสริมทุกชั้นคุณภาพจะมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่น E_s เท่ากับ $2.04 \times 10^6 \text{ กก./ซม.}^2$

6.3) อัตราส่วนโมดูลัส

$$n = E_s / E_c \quad (2.6)$$

อาจใช้เป็นเลขจำนวนเต็มทีใกล้เคียงที่สุดแต่ต้องไม่ต่ำกว่า 6

สำหรับการคำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง จะมีวิธีการ
ออกแบบเหมือนการออกแบบคานยื่นคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการคำนวณจะเหมือน
การคำนวณออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เสริมเหล็กรับแรงดึงอย่าง
เดียว [6] เมื่อคานรับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน โดยการสมมุติว่าโมเมนต์ดัดทำให้หลังคานถูกอัดและท้อง
คานถูกดึง ดังนั้น จากสมมุติฐานข้อที่หนึ่ง จะได้รูปกระจายของหน่วยการยึดและหดตัวตรงหน้าตัด
คานซึ่งรับโมเมนต์ดัดมากที่สุด ดังแสดงในภาพประกอบ 5(ก) โดยมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ
ระยะห่างจากแนวแกนสะเทิน ในที่นี้ให้ ϵ_c เป็นหน่วยการหดตัวสูงสุดของคอนกรีตที่หลังคาน และให้
 ϵ_s เป็นหน่วยการยึดตัวที่ตำแหน่งของเหล็กเสริม โดยที่ kd เป็นระยะที่วัดจากผิวบนของคานถึง
แนวแกนสะเทิน สมมุติว่าคอนกรีตร้าวจากผิวล่างจนถึงแนวแกนสะเทิน ดังนั้น หน้าตัดคานจะ
ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของหน้าตัดคอนกรีต (bkd) ที่อยู่เหนือแนวแกนสะเทินเพื่อทำหน้าที่รับ
แรงอัดและส่วนของหน้าตัดเหล็กเสริม (A_s) ที่อยู่ใต้แนวแกนสะเทินซึ่งทำหน้าที่รับแรงดึงทั้งหมดที่เกิด
จากโมเมนต์ดัด ส่วนการกระจายของหน่วยแรงอัดในคอนกรีตจะเป็นรูปสามเหลี่ยมมีค่าเป็นสัดส่วน
โดยตรงกับหน่วยการหดตัวกับสมมุติฐานข้อที่สอง (กฎของฮุก) ดังแสดงในภาพประกอบ 5(ข) ให้
หน่วยแรงอัดที่ผิวบนของคานมีค่าเท่ากับ $f_c = E_c \epsilon_c \text{ กก./ซม.}^2$ และหน่วยแรงดึงที่ตำแหน่งศูนย์กลาง
ของเหล็กเสริมมีค่าเท่ากับ $f_s = E_s \epsilon_s \text{ กก./ซม.}^2$ ทั้งนี้ ในสภาวะที่คานรับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน หน่วย
แรงทั้งสองที่เกิดขึ้นต้องมีค่าไม่เกินกว่าหน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้ตามมาตรฐานกำหนด



ก) รูปตัดคาน

ข) การกระจายของหน่วยการยืดหดตัว

ค) การกระจายของหน่วยแรงและแรงภายในหน้าตัด

ภาพประกอบ 5 การกระจายของหน่วยการยืดหดตัวและหน่วยแรงภายในหน้าตัด

จากการกระจายของหน่วยแรงในภาพประกอบ 5(ค) จะเห็นว่ามีแรงคู่ขนานภายในคู่หนึ่งที่ทำให้ตั้งฉากกับระนาบของหน้าตัดเพื่อดำเนินงานโมเมนต์ดัดที่กระทำ ซึ่งประกอบด้วยแรงอัดในคอนกรีต (C) ที่ได้จากการกระจายหน่วยแรงอัดรูปสามเหลี่ยม และแรงดึงในเหล็กเสริม (T)

แรงอัดภายในทั้งหมดในคอนกรีต $C = \frac{1}{2} f_c b k d$ กก.

ซึ่งมีตำแหน่งของแรงลัพธ์กระทำที่ระยะ $kd / 3$ เมื่อวัดจากผิวบนของคาน

แรงดึงภายในทั้งหมดในเหล็กเสริม : $T = A_s f_s$ หรือเท่ากับ $p b d f_s$ กก.

เมื่อให้ p = อัตราส่วนระหว่างเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงดึง (A_s) ต่อเนื้อที่หน้าตัดประสิทธิภาพของคอนกรีต (bd) นั่นคือ $p = A_s / bd$ ซึ่งอาจเรียกว่า อัตราส่วนของเหล็กเสริมรับแรงดึง (Reinforcement Ratio หรือ Steel Ratio) หรือเรียกว่าเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริม

จากสมมูลของแรงภายในบนหน้าตัดคาน จะได้

แรงอัดทั้งหมดของคอนกรีต (C) = แรงดึงทั้งหมดในเหล็กเสริม (T)

หากให้ระยะห่างระหว่างแรงคู่ขนาน (แรงอัด C กับแรงดึง T) มีค่าเท่ากับ jd ซึ่งถือเป็นระยะช่วงแขนของโมเมนต์ นั่นคือ

$$\text{ระยะ } jd = d - (kd/3) \text{ หรือ ค่า } j = 1 - (k/3)$$

ดังนั้น กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดปลอดภัย (M) ของคานที่รับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน จะหาได้จากการคูณค่าแรงดึงภายในเหล็กเสริม (T) หรือค่าแรงอัดภายในคอนกรีต (C) ด้วยระยะช่วงแขนของโมเมนต์ (jd)

ถ้าคำนวณจากแรงอัดภายในคอนกรีต : จะได้โมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต

$$M_c = \frac{1}{2} f_c k j b d^2 \text{ กก. - ม.} \quad (2.7)$$

ถ้าคำนวณจากแรงดึงภายในเหล็กเสริม : จะได้โมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริม

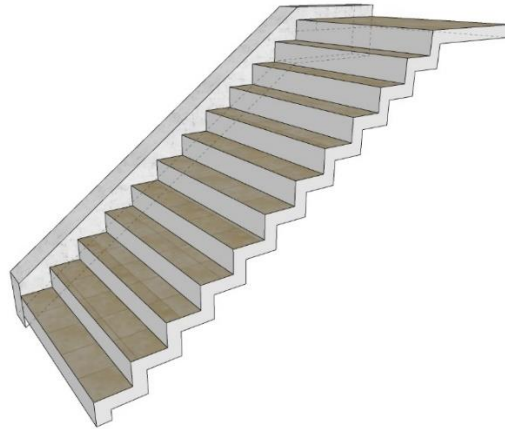
$$M_s = A_s f_s j d = \rho f_s j b d^2 \text{ กก. - ม.} \quad (2.8)$$

ในที่นี้ f_c และ f_s คือ ค่าของหน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้ของคอนกรีตและเหล็กเสริมตามมาตรฐานกำหนด ซึ่งมีหน่วยเป็น กก./ซม.²

จากสมการ (2.7) และ (2.8) เป็นกำลังต้านทานโมเมนต์ดัดปลอดภัยของคานรูปตัดที่กำหนดให้

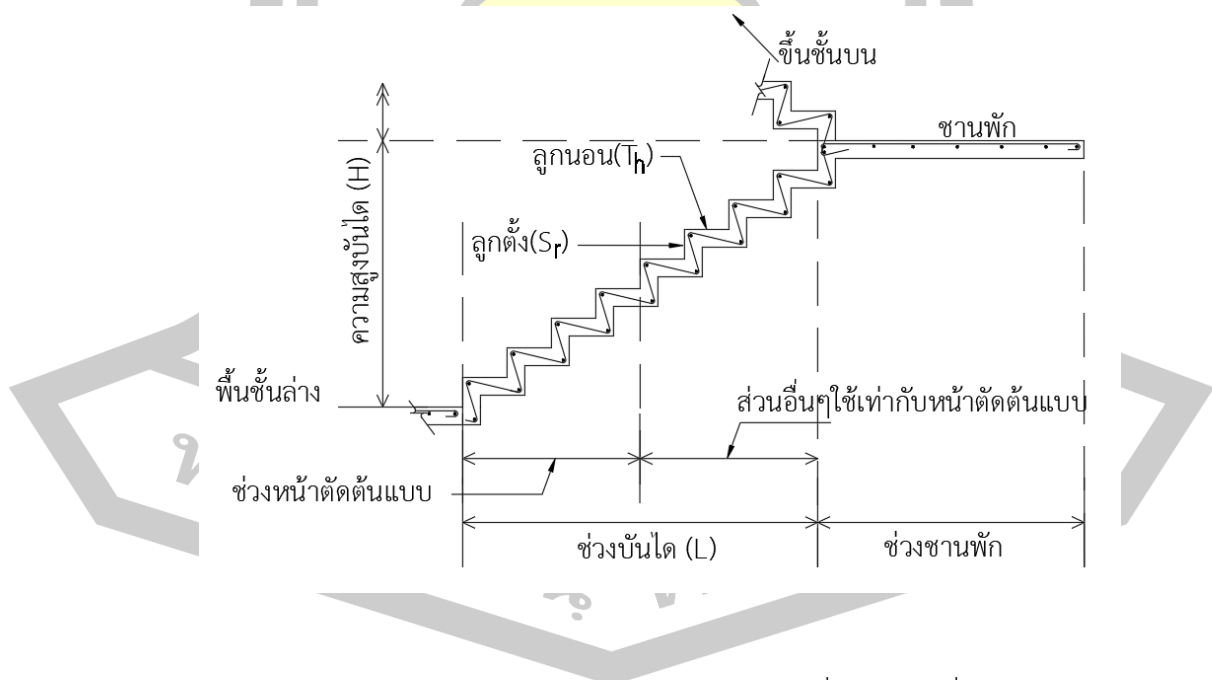
รูปแบบของบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง

บันไดประเภทนี้ยื่นออกจากคานหรือผนังที่รองรับบันไดเพียงด้านเดียว อาจเป็นบันไดห้องเรียบหรือพับผ้า แต่บันไดแบบพับผ้านิยมมากกว่าเพราะมีน้ำหนักเบาช่วยลดโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นต่อบันไดและโครงสร้างที่รองรับ ดังแสดงในภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 รูปแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง

สำหรับการออกแบบหน้าตัดโดยอัลกอริทึมจะออกแบบเฉพาะช่วงที่เป็นหน้าตัดต้นแบบเท่านั้น ซึ่งมีความกว้างประมาณ 1 เมตร ส่วนอื่น ๆ จะใช้เท่ากับหน้าตัดต้นแบบ เป็นการซ้ำ ดังนั้นราคารวมที่ได้จากการคำนวณของอัลกอริทึมจะคิดตามหน้าตัดต้นแบบที่มีความยาวเท่ากับระยะที่ยื่นของบันไดเท่านั้น ตามภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 ช่วงบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังที่พิจารณา

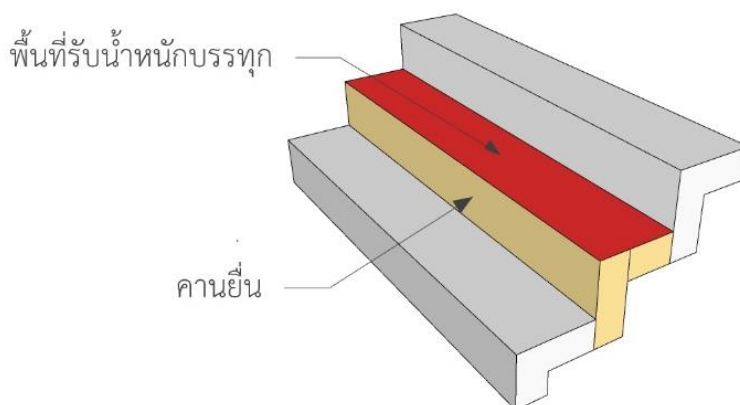
เมื่อ

H คือ ความสูงบันไดระหว่างพื้นชั้นล่างถึงชานพักบันได หน่วยเป็น ม.

L คือ ระยะราบจากบันไดขั้นแรกถึงชานพักบันได หน่วยเป็น ม.

S_r คือ ขนาดลูกตั้งบันได หน่วยเป็น ม.

T_h คือ ขนาดลูกนอนบันได หน่วยเป็น ม.

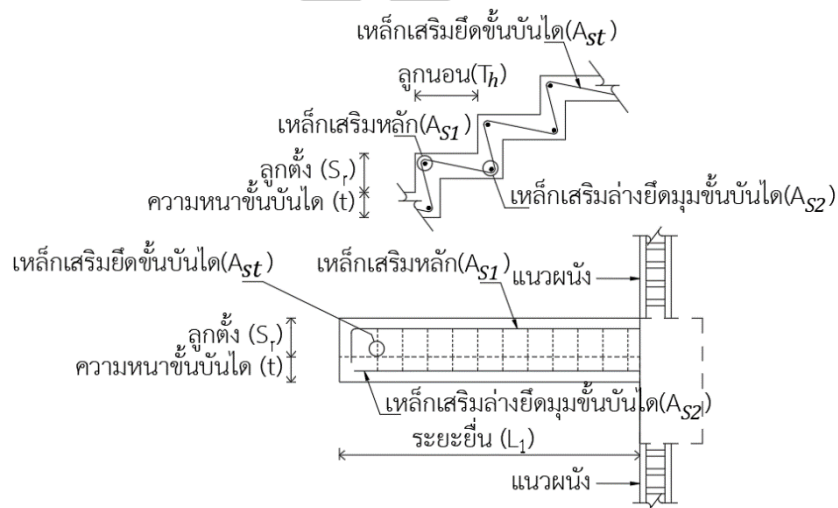


ภาพประกอบ 8 การคาน้ำหนักบรรทุก

การออกแบบบันไดประเภทนี้มีลักษณะคล้ายกรณีคานยื่น คือ โมเมนต์ดัดเป็นลบที่ส่วนบนของแกนสะเทินจึงใช้เหล็กเสริมบนเป็นเหล็กเสริมหลัก การคาน้ำหนักจะใช้คาน้ำหนักบรรทุกเพียงชั้นเดียวนำมาออกแบบเป็นคานยื่น โดยเหล็กเสริมหลักเป็นเหล็กบนรับโมเมนต์ลบ ปลายเหล็กเสริมต้องยื่นเข้าไปในคานหรือผนังที่รองรับเพื่อให้มีระยะฝังที่เพียงพอ ดังนั้นจะมีโมเมนต์บิดถ่ายลงสู่คานรองรับบันไดหรือผนังที่รองรับซึ่งจะต้องได้รับการออกแบบเพื่อต้านทานโมเมนต์บิด ในการออกแบบเหล็กเสริมจะออกแบบเป็นคานยื่นโดยมีพื้นที่ลูกนอนของแต่ละชั้นเป็นพื้นที่รับน้ำหนักบรรทุก น้ำหนักของคานแต่ละชั้นจะคิดจากหน้าตัดรูปตัวแอล ดังภาพประกอบ 8

ในการคำนวณออกแบบจะคาน้ำหนักดัดรูปสี่เหลี่ยมกว้างเท่ากับความหนาชั้นบันได (t) และมีความสูงเท่ากับระยะลูกตั้ง (T_h) รวมความหนาชั้นบันได (t) โดยเหล็กเสริมคอนกรีตบันไดประกอบด้วยเหล็กเสริมหลัก (A_{S1}) จะเป็นเหล็กบนอยู่ในทิศทางขนานกับช่วงการรับน้ำหนักตามระยะยื่นจากผนัง (L_f) และเหล็กเสริมล่างยึดมุมชั้นบันได (A_{S2}) เป็นเหล็กล่าง ส่วนเหล็กเสริมยึด

ชั้นบันได (A_{st}) จะตัดกลับไปตามเหล็กบนและเหล็กล่าง เพื่อป้องกันการแตกร้าวและช่วยยึดเหล็กเสริมหลักให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ ดังในภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 9 รูปแบบการเสริมเหล็กบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง

เมื่อ

A_{s1} คือ เหล็กเสริมหลัก

A_{s2} คือ เหล็กเสริมล่างยึดมุมชั้นบันได

A_{st} คือ เหล็กเสริมยึดชั้นบันได

t คือ ความหนาชั้นบันได หน่วยเป็น ม.

L_1 คือ ระยะยื่นจากผนัง หน่วยเป็น ม.

หมายเหตุ สำหรับ A_{s2} ไม่พิจารณาออกแบบเนื่องจากการออกแบบ A_{s1} เพียงพอต่อการต้านทานน้ำหนักบรรทุกทุกที่กระทำต่อบันไดแล้ว ดังนั้น ใช้เหล็กเสริมล่างยึดมุมชั้นบันได A_{s2} เท่ากับ 1-DB12 มม. สำหรับทุกขนาดหน้าตัด

ขั้นตอนการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง

1) กำหนดค่า f'_c และ f'_y เพื่อคำนวณหา f_c และ f_s

$$f_c = 0.375f'_c \leq 65 \text{ กก./ซม.}^2 \quad (2.9)$$

โดย f'_c คือ กำลังอัดประลัยคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน ที่อายุ 28 วัน ซึ่งมีหน่วยเป็น กก./ซม.²

สำหรับเหล็กเส้นกลมผิวเรียบ ชั้นคุณภาพ SR24

$$f_s = 0.5f_y \text{ ไม่เกิน } 1,200 \text{ กก./ชม.}^2$$

สำหรับเหล็กข้ออ้อย ซึ่งมีกำลังครากน้อยกว่า 4,000 กก./ชม.²

$$f_s = 0.5f_y \text{ ไม่เกิน } 1,500 \text{ กก./ชม.}^2$$

สำหรับเหล็กข้ออ้อย ซึ่งมีกำลังครากไม่น้อยกว่า 4,000 กก./ชม.²

$$f_s = 0.5f_y \text{ ไม่เกิน } 2,000 \text{ กก./ชม.}^2$$

โดย f_y คือ หน่วยแรงดึงครากของเหล็กเสริม หน่วยเป็น กก./ชม.²

f_s คือ หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม หน่วยเป็น กก./ชม.²

2) หาขนาดชั้นบันไดและความหนาของพื้นบันได

การประมาณจำนวนของลูกตั้งบันได สามารถประมาณจากการกำหนดความสูงลูกตั้งบันไดตามข้อกำหนดของกฎหมายควบคุมอาคารซึ่งสอดคล้องกับขอบเขตของงานวิจัยที่กำหนดให้ความสูงลูกตั้งไม่เกิน 0.20 ม. จึงสามารถคำนวณหาจำนวนของลูกตั้งบันได ดังนี้

เมื่อ

N_r คือ จำนวนลูกตั้งบันได หน่วยเป็น ชั้น

N_t คือ จำนวนลูกนอนบันได หน่วยเป็น ชั้น

ดังนั้น

$$N_r = (H / 0.2) + 1 \quad (2.10)$$

$$S_r = H / N_r \quad (2.11)$$

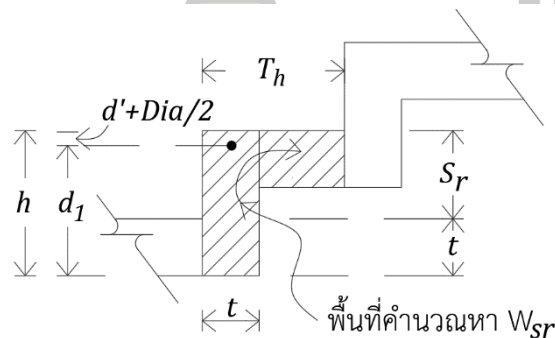
$$N_t = N_r - 1 \quad (2.12)$$

$$T_h = L / N_t \quad (2.13)$$

ตาราง 2 ความลึกต่ำสุดที่กำหนดให้(กรณีไม่คำนวณหาระยะแอน) [6]

องค์อาคาร	ความลึกต่ำสุดที่กำหนดให้(กรณีไม่คำนวณหาระยะแอน)			
	ช่วงเดียว	ปลายต่อเนื่องด้านเดียว	ปลายต่อเนื่องสองด้าน	ปลายยื่น
คาน	$L/16$	$L/18.5$	$L/21$	$L_1/8$

หมายเหตุ ค่าที่กำหนดข้างต้นใช้กับคานที่เหล็กเสริมมีกำลังจุดคราก $f_y \geq 4,000$ กก./ชม.² ดังนั้น เมื่อใช้กำลังจุดครากของเหล็กเสริมต่างไปจากที่กำหนด ให้ปรับแก้โดยคูณค่าข้างต้นด้วยตัวคูณ $(0.40 + f_y / 7,000)$ โดยที่ f_y มีหน่วยเป็น กก./ชม.²



ภาพประกอบ 10 พื้นที่การคำนวณหน้าหน้กของชั้นบันได

เมื่อ

h คือ ความสูงลูกตั้งรวมความหนาชั้นบันได หน่วยเป็น ม.

d_1 คือ ความลึกต่ำสุดคำนวณจากราย 2 หน่วยเป็น ม.

d' คือ ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก หน่วยเป็น ม.

$Dia.$ คือ ขนาดของเหล็กเสริมหลัก หน่วยเป็น มม.

จากภาพประกอบ 10 สามารถประมาณค่าความหนาอย่างน้อยของชั้นบันไดจากการกำหนดค่า d_1 ความลึกต่ำสุดคำนวณจากราย 2 เป็นความลึกประสิทธิผล เพื่อกำหนดเป็นความลึกประสิทธิผลออกแบบ d โดยสามารถคำนวณหาได้ ดังนี้

กรณีใช้ $f_y < 4,000$ กก./ชม.²

$$d_1 = (0.40 + f_y / 7,000) (L_1 / 8) \quad (2.14)$$

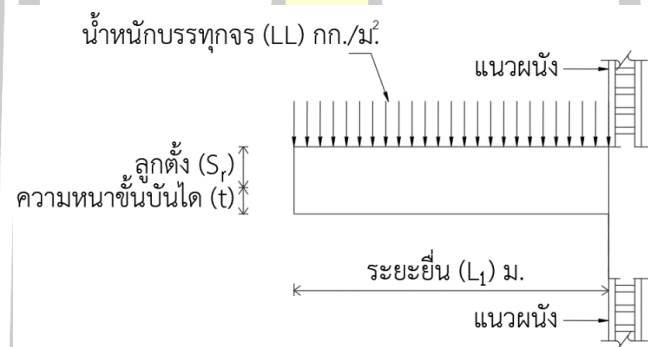
กรณีใช้ $f_y \geq 4,000$ กก./ชม.² (2.15)

$$d_1 = (L_1 / 8) \quad (2.16)$$

$$h = d_1 + d' + Dia. / 2 \quad (2.17)$$

$$t = h - S_r \quad (2.18)$$

3) หาน้ำหนักบรรทุกทุกในทางราบ



ภาพประกอบ 11 น้ำหนักบรรทุกทุกกระทำต่อบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง

$$W_t = W_{sr} + W_{ll} \quad (2.19)$$

$$W_{sr} = (t(t + S_r) + t(T_h - t)) \times 2,400 \quad (2.20)$$

$$W_{ll} = T_h \times \text{น้ำหนักบรรทุกทุกจร (LL)} \quad (2.21)$$

เมื่อ

W_t คือ น้ำหนักรวมของบันได หน่วยเป็น กก./ม.²

W_{sr} คือ น้ำหนักของชั้นบันได หน่วยเป็น กก./ม.²

W_{II} คือ น้ำหนักบรรทุกจรบนบันได หน่วยเป็น กก./ม.²

4) ตรวจสอบความหนาของชั้นบันได

$$M = \frac{W_{II} L_1^2}{2} \quad ; \text{ กก.-ม.} \quad (2.22)$$

เมื่อ L_1 คือ ระยะยื่นจากผนัง หน่วยเป็น ม.

M คือ โมเมนต์ดัดที่กระทำ หน่วยเป็น กก.-ม.

คำนวณหาจากสมการ

$$j = 1 - \frac{k}{3} \quad (2.23)$$

$$k = 1 / \left(1 + \frac{f_s}{n f_c} \right) \quad (2.24)$$

$$R = \frac{1}{2} f_c j k \quad (2.25)$$

คำนวณหาความลึกประสิทธิภาพที่ต้องการ

$$d = \sqrt{\frac{M}{Rb}} \quad (2.26)$$

เมื่อ d คือ ความลึกประสิทธิภาพที่ต้องการ หน่วยเป็น ซม.

กรณี 1 ความลึกประสิทธิภาพ d จากการออกแบบ มากกว่าความลึกประสิทธิภาพที่ต้องการ d จากสมการ (2.26) แสดงว่าหน้าตัดที่ออกแบบสามารถต้านทานโมเมนต์ดัดได้โดยปลอดภัย

กรณี 2 ความลึกประสิทธิภาพ d จากการออกแบบ น้อยกว่าความลึกประสิทธิภาพที่ต้องการ d จากสมการ (2.26) ต้องเพิ่มขนาดความหนาชั้นบันได แล้วตรวจสอบจนผ่านเงื่อนไขตามกรณี 1

5) ตรวจสอบแรงเฉือน

แรงเฉือน ณ หน้าตัดวิกฤติ $V = W_t L_1$; กก. (2.27)

แรงเฉือนที่พื้นคอนกรีตรับได้ $V_c = 0.29 \sqrt{f'_c} t d$; กก. (2.28)

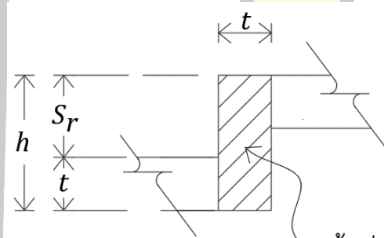
6) หาปริมาณเหล็กเสริม

$$A_s = M (100) / (f_s j d) \quad (2.29)$$

เมื่อ A_s คือ ปริมาณของเหล็กเสริมหน่วยเป็น ซม.² / ชั้น

7) ตรวจสอบการแอ่นตัว [6]

มาตรฐาน วสท. กำหนดให้พิจารณาหาการแอ่นตัวทันทีสำหรับโครงสร้างที่เสริมเหล็กทางเดียวและรับน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน ดังนี้



พื้นที่คำนวณหาโมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดทั้งหมด

ภาพประกอบ 12 พื้นที่คำนวณหาโมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดทั้งหมด

$$\Delta_i = \frac{W_t L_1^4}{8EI} \quad (2.30)$$

$$E = 15,100 \sqrt{f'_c} \quad (2.31)$$

$$k = \sqrt{2\rho n + (\rho n)^2 - \rho n} \quad (2.32)$$

$$I_g = t(S_r + t)^3 / 12 \quad (2.33)$$

$$I_{cr} = b(kd)^3 / 3 + nA_s(d - kd)^2 \quad (2.34)$$

$$I = I_g \text{ เมื่อ } \rho f_y \leq 35 \text{ กก./ซม.}^2 \quad (2.35)$$

$$I = I_{cr} \text{ เมื่อ } \rho f_y > 35 \text{ กก./ซม.}^2 \quad (2.36)$$

$$\rho = A_s / td \quad (2.37)$$

$$y_I = \frac{L_1}{360} \text{ ; ซม.} \quad (2.38)$$

เมื่อ

y_I คือ ค่าการแอ่นตัวที่ยอมรับได้ หน่วยเป็น ซม.

Δ_i คือ ค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นทันที หน่วยเป็น ซม.

λ คือ ตัวคูณประกอบเนื่องจากการล้าและหดตัวของคอนกรีต

L_1 คือ ระยะยื่นของบันได หน่วยเป็น ซม.

E คือ โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต หน่วยเป็น กก./ซม.²

I คือ โมเมนต์อินเนอร์เชียร์ประสิทธิผลของหน้าตัด หน่วยเป็น ซม.⁴

I_g คือ โมเมนต์อินเนอร์เชียร์ของหน้าตัดทั้งหมด หน่วยเป็น ซม.⁴

I_{cr} คือ โมเมนต์อินเนอร์เชียร์ของหน้าตัดแปลงร้าว หน่วยเป็น ซม.⁴

ρ คือ อัตราส่วนของเหล็กเสริมรับแรงดึงต่อเนื้อที่ประสิทธิผล

8) กำหนดหาปริมาณของเหล็กกันยึดหด (A_{st})

$$\text{กรณีใช้เหล็กเส้นกลม (SR24) } A_{st} = 0.0025bt \quad (2.39)$$

$$\text{หรือ กรณีใช้เหล็กเส้นข้ออ้อย (SD30) } A_{st} = 0.0020bt \quad (2.40)$$

$$\text{หรือ กรณีใช้เหล็กเส้นข้ออ้อย (SD40) } A_{st} = 0.0018bt \quad (2.41)$$

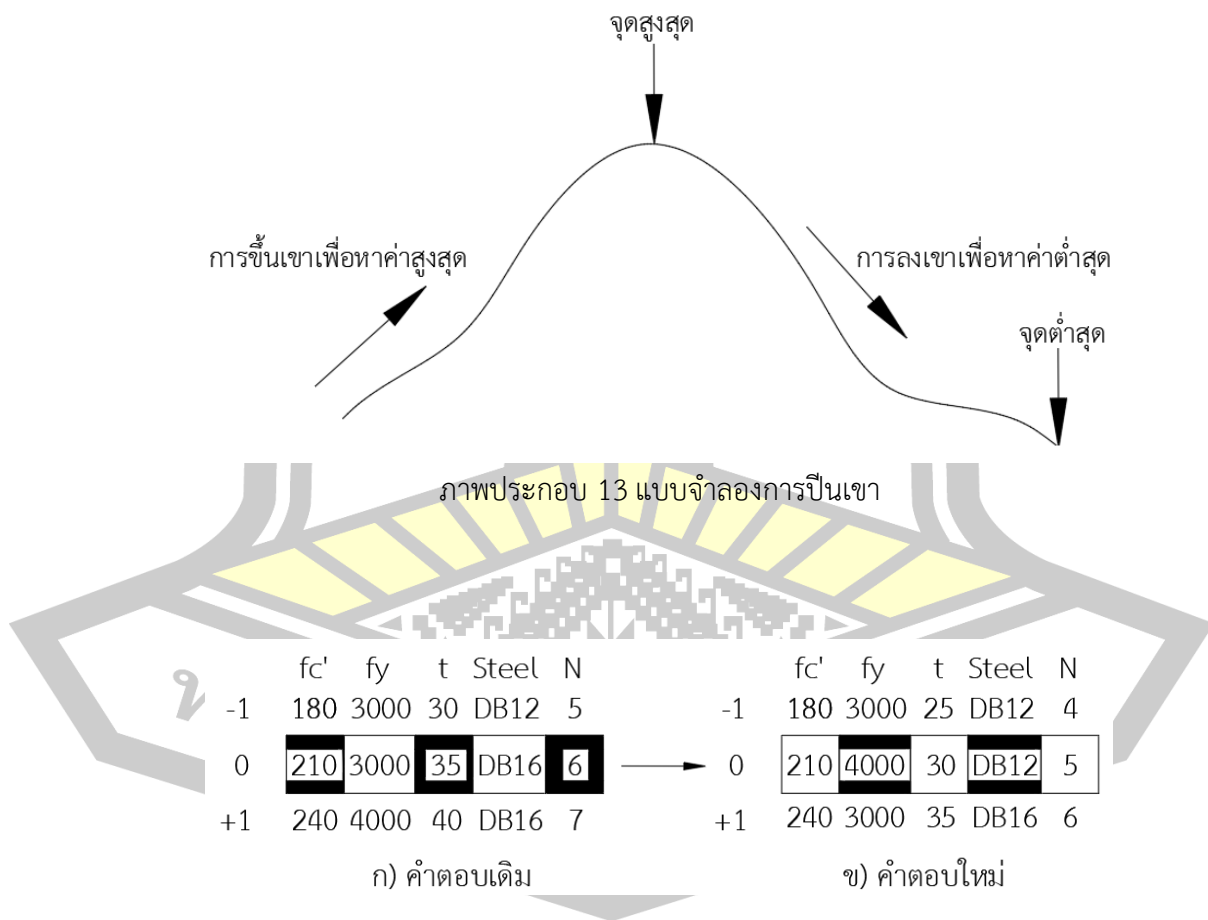
เมื่อ A_{st} คือ เหล็กเสริมยึดชั้นบันได หน่วยเป็น ซม.²

b คือ ความกว้างของบันไดที่ 100 ซม. หน่วยเป็น ซม.

2.2 ฮิลไคลมิงอัลกอริทึม

ฮิลไคลมิงอัลกอริทึม (Hill Climbing Algorithm, HCA) เป็นขั้นตอนวิธีการค้นหาคำตอบวิธีหนึ่งของระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ทางระบบคอมพิวเตอร์เพื่อค้นหาเป้าหมายหรือสถานะที่ดีที่สุด ได้มีการนำเสนอเป็นครั้งแรกโดย [7] ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาข้อมูลที่มีลักษณะเหมือนการปีนเขาของนักปีนเขาเพื่อค้นหาเส้นทางไปถึงยอดเขาโดยเร็วที่สุด ด้วยการกำหนดเป้าหมายแล้วค้นหาเส้นทางที่ชันที่สุด เพื่อเดินทางไปยังเป้าหมายโดยใช้เวลาน้อยที่สุด อัลกอริทึมนี้เป็นวิธีการหาสถานะเป้าหมายหรือสถานะที่ดีที่สุด ที่หาคำตอบเชิงฮิวริสติก (Heuristic Search) จึงเป็นที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหาในด้านความเหมาะสมหลายปัญหา

HCA เป็นการหาคำตอบเชิงกราฟ (Graph Search Algorithm) มีลักษณะคล้ายการปีนเขา ซึ่งจะต้องมีการขึ้นเขาหรือลงเขาไปในแนวดิ่งตลอดแนวลำดับกับการไต่ไปบนภูเขาดังภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 14 การค้นหาคำตอบของฮิลไคลมิงอัลกอริทึม (HCA)

จากภาพประกอบ 14 เป็นการค้นหาคำตอบของฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (HCA) ซึ่งการขึ้นเขาหรือลงเขานั้นจะขึ้นอยู่กับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และการสุ่มค่าที่อยู่ในช่วงที่กำหนด โดยในแต่ละขั้นตอนมีลักษณะการทำงาน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างสถานะเริ่มต้น เป็นการสร้างสถานะคำตอบแรกขึ้นด้วยการสุ่มตัวแปรออกแบบของปัญหาที่กำหนดไว้ เพื่อสร้างเป็นคำตอบชุดแรกก่อนเข้าสู่กระบวนการหาคำตอบที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างสถานะใหม่ เป็นการสร้างคำตอบใหม่ด้วยการปรับเปลี่ยนจากคำตอบเดิมเพียงเล็กน้อย โดยสุ่มขึ้นหนึ่งขั้น หรือสุ่มลดหนึ่งขั้นในบางตำแหน่ง ซึ่งคำตอบใหม่ที่ได้สามารถเป็นไปได้ทั้งคำตอบที่ดีขึ้นหรือแย่ลงกว่าคำตอบเดิม

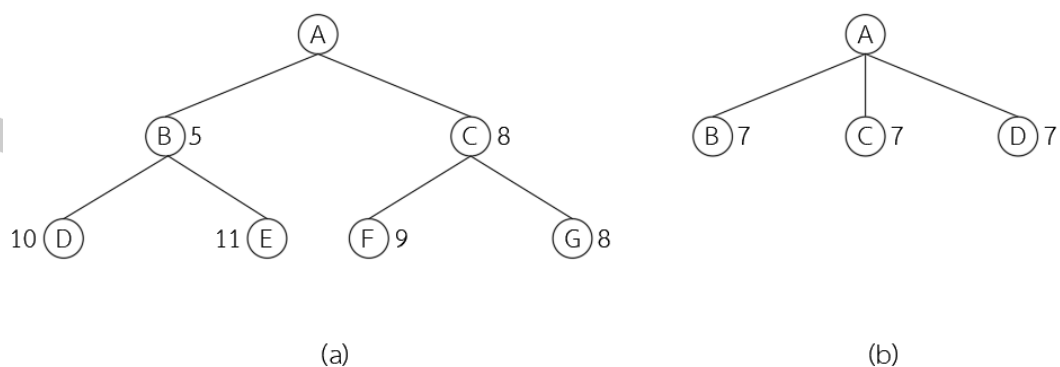
ขั้นตอนที่ 3 การตรวจสอบสถานะ เป็นการตรวจสอบคำตอบหลังจากการสร้างสถานะเพื่อตรวจสอบและแสดงสถานะของคำตอบที่สร้างขึ้น

ขั้นตอนที่ 4 สถานะเป้าหมาย เป็นสถานะที่ถูกกำหนดขึ้นตามที่ต้องการ หรือสถานะสุดท้ายที่มีลักษณะของคำตอบเป็นไปตามสมการเป้าหมาย

2.2.1 ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในการค้นหาคำตอบด้วยฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (HCA)

การแก้ปัญหาด้วย HCA นั้น แม้จะมีข้อดีเด่นหลายอย่าง แต่ในตัวของมันเองยังมีปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ คือ

1) **โลคอลแมกซ์ิมัม (Local Maximum)** เป็นส่วนที่บอกสถานะที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับสถานะข้างเคียงเท่านั้น แต่ถ้าเทียบกับสถานะอื่น ๆ ที่อยู่ห่างออกไป หรือการตรวจสอบขั้นต่อไปแล้วไม่แน่ว่าจะได้ผลออกมาดีที่สุด



ภาพประกอบ 15 การสร้างโหนดสำหรับค้นหาคำตอบ

จากภาพประกอบ 15(a) จะเห็นได้ว่าที่โหนดในระดับที่ 1 โหนด B และ C ค่าของ B น้อยกว่า C แต่ว่าลูกของ B กลับมีค่ามากกว่าลูกของ C ดังนั้น ในการเลือกโหนดที่ดีที่สุดในระดับที่ 1 คือ C จะมีผลให้โหนด E ซึ่งควรจะเป็นโหนดที่ดีที่สุด ไม่ได้รับการพิจารณา เพราะในระดับบน หรือ ระดับที่ 1 โหนด B ไม่ได้รับการเลือก

2) เพลทู (Plateau) ในกรณีที่มีปัญหาอยู่บนระดับเดียวกัน และผลของการหาค่า จากอีลริสติกฟังก์ชันที่ได้เท่ากันหมดจะไม่สามารถตัดสินใจได้ว่า จะเลือกเส้นทางเส้นไหน จากภาพประกอบ 15(b) จะเห็นว่าโหนดลูกทั้ง 3 ของ A มีค่าเท่ากันหมด ทำให้ไม่สามารถเลือกโหนด ที่ดีที่สุดได้ซึ่งเรื่องนี้สามารถแก้ได้ด้วยก๊าวกระโดด

3) ริตจ์ (Ridge) เป็นกรณีที่การค้นหาได้เดินไปในทางที่ดีที่สุดตลอดเวลา เมื่อ เปรียบเทียบกับโหนดข้างเคียง แต่เมื่อเทียบกับโหนดที่ดีที่สุดแล้วจะแยกกว่า ซึ่งจะมีลักษณะ เช่นเดียวกับการเดินบนสันเขาเล็ก ๆ ที่ดูเหมือนว่าจะพาไปสู่ยอดเขาได้ แต่ยิ่งเดินยิ่งต่ำลง

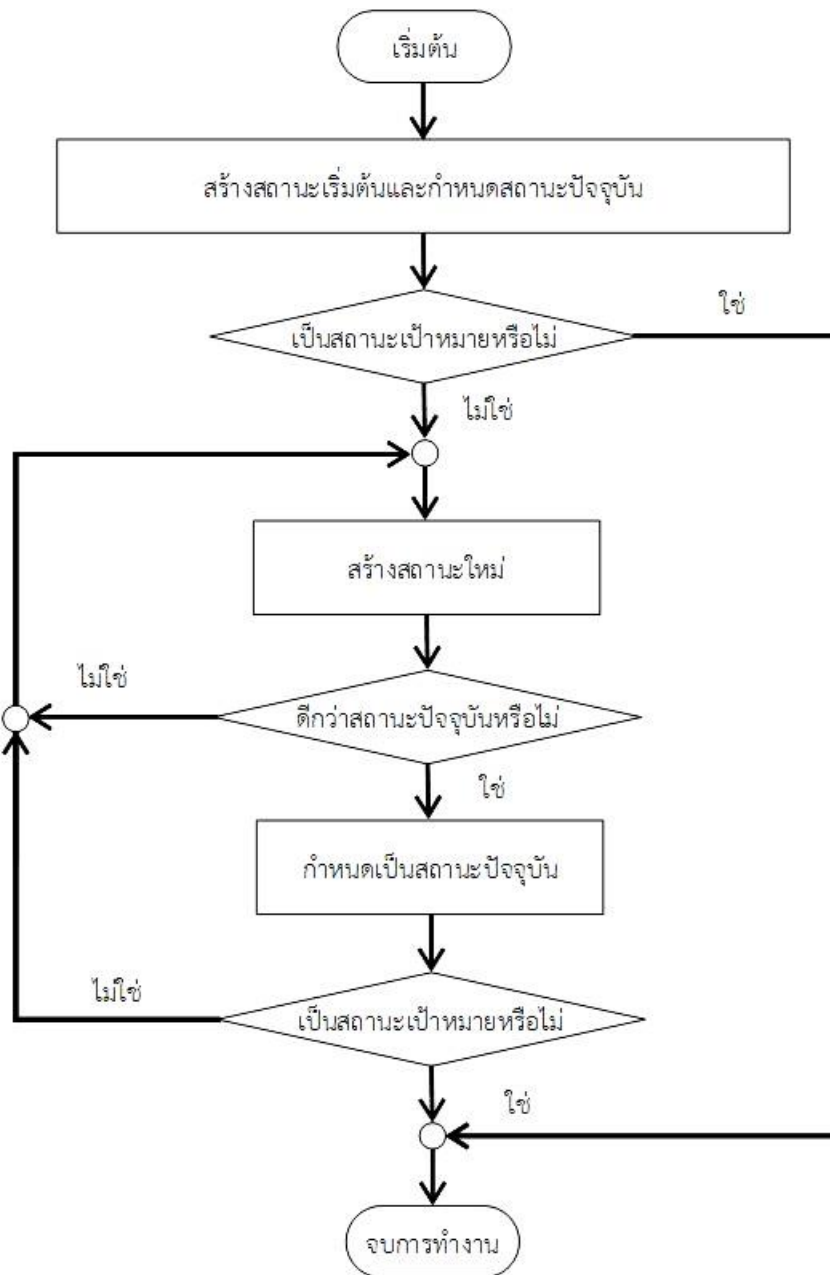
2.2.2 การทำงานโดยทั่วไปของฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (HCA)

การทำงานโดยทั่วไปของ HCA ที่มีประสิทธิภาพและมีความรวดเร็วในการค้นหาคำตอบที่ เหมาะสม สำหรับค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุดอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังแสดงในภาพประกอบ 16 สามารถสรุป เป็นขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ตรวจสอบสถานะเริ่มต้น ถ้าสถานะเริ่มต้นคือสถานะเป้าหมายให้แสดง คำตอบและหยุดการทำงาน แต่ถ้าสถานะเริ่มต้นไม่ได้เป็นสถานะเป้าหมาย ให้เปลี่ยนสถานะนี้เป็น สถานะปัจจุบัน (Current State) แล้วทำตามขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 ทำตามกระบวนการ ให้ทำตามกระบวนการข้างล่างนี้จนกว่าจะพบ คำตอบ หรือจนกระทั่งไม่มีตัวดำเนินการใด ๆ ที่จะใช้กับสถานะปัจจุบัน เพื่อสร้างสถานะใหม่

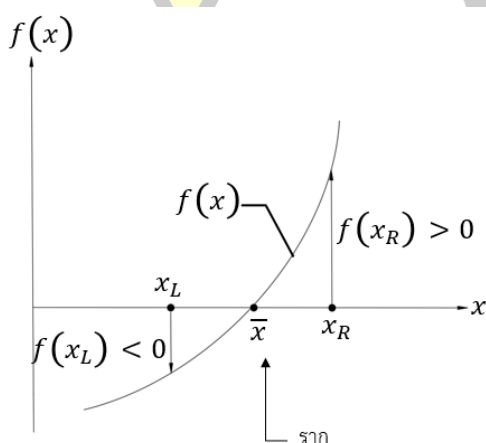
- 1) เลือกตัวดำเนินการที่ยังไม่ได้นำมาใช้กับสถานะปัจจุบันเพื่อสร้าง สถานะใหม่
- 2) ทำการตรวจสอบสถานะดังนี้
 - ก. ถ้าเป็นคำตอบให้หยุดการทำงาน
 - ข. ถ้าไม่ใช่คำตอบและสถานะใหม่ดีกว่าสถานะปัจจุบัน ให้กำหนดสถานะ ใหม่เป็นสถานะปัจจุบัน
 - ค. ถ้าไม่ใช่และสถานะใหม่แยกว่าสถานะปัจจุบันให้กลับไปทำตาม 1)



ภาพประกอบ 16 การทำงานโดยทั่วไปของฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (HCA)

2.3 อัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง

อัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (Bisection Algorithm, BA) เป็นวิธีการหารากของสมการ โดยวิธีการแบ่งครึ่งช่วง (Bisection Method) ตั้งอยู่บนหลักความจริงที่ว่า ฟังก์ชัน $f(x)$ จะมีเครื่องหมายตรงกันข้าม ในขณะที่ x ที่มีค่าน้อยกว่าและมากกว่าค่าของราก x ที่แท้จริง [8]



ภาพประกอบ 17 วิธีแบ่งครึ่งช่วงเพื่อหารากของสมการ

ภาพประกอบ 17 แสดงการหารากของสมการ $f(x) = 0$ การเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน $f(x)$ จากการที่มีค่าเป็นลบที่ $x = x_L$ ซึ่งอยู่ทางด้านซ้าย (Left) ของราก \bar{x} ไปเป็นค่าบวกที่ $x = x_R$ ทางด้านขวา (Right) ของราก \bar{x} นั่นคือ สามารถสรุปได้ว่า หากราก \bar{x} นั้นอยู่ระหว่าง x_L และ x_R ที่กำหนดให้แล้วถ้าฟังก์ชัน $f(x_L)$ และ $f(x_R)$ จะมีเครื่องหมายตรงกันข้าม

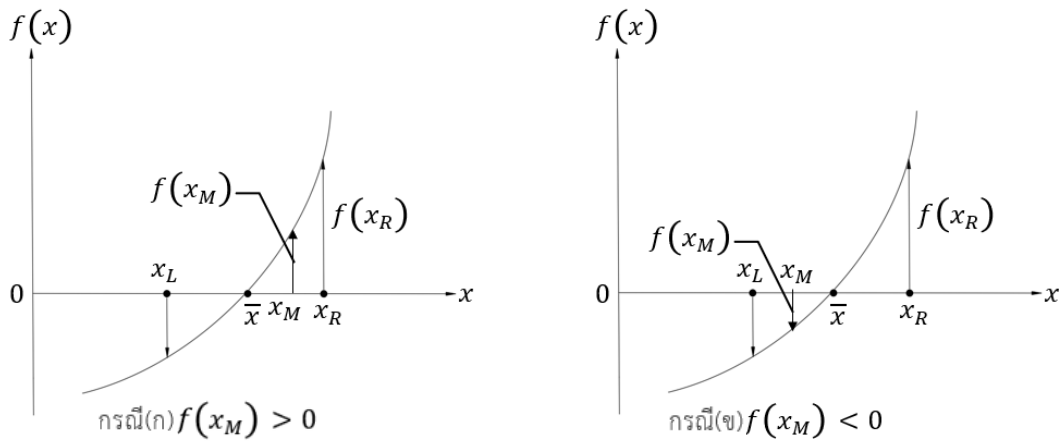
การคำนวณหาราก \bar{x} ด้วยวิธีการแบ่งครึ่งช่วงประกอบด้วย

1. การบีบช่วงระหว่าง x_L และ x_R ให้แคบลงเรื่อย ๆ ด้วยการแบ่งครึ่งช่วงทีละครั้ง
2. ตรวจสอบว่าราก \bar{x} นั้นยังคงอยู่ในช่วงระหว่าง x_L และ x_R เสมอ
3. การหาค่าฟังก์ชันที่ $f(x_L)$ และ $f(x_R)$ ที่จำเป็นต้องมีเครื่องหมายตรงกันข้าม

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าเฉลี่ย (Mean Value) x_M จากค่า x_L และ x_R ที่กำหนดให้ต่อไปนี้

$$x_M = (x_L + x_R) / 2 \quad (2.42)$$

แล้วจึงคำนวณฟังก์ชันดังกล่าวกำหนดที่ตำแหน่ง x_M นี้ ค่าของ $f(x_M)$ ที่คำนวณได้มีความเป็นไปได้ 2 กรณี คือ มีค่าเป็นบวก (กรณี(ก)) และมีค่าเป็นลบ (กรณี(ข)) ดังแสดงในภาพประกอบ 18 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า x_L และ x_R ที่กำหนดให้



ภาพประกอบ 18 ความเป็นไปได้ของสมการ

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณผลคูณระหว่าง $f(x_M)$ และ $f(x_R)$

หาก $f(x_M) \cdot f(x_R) > 0$ หมายถึง ผลที่เกิดขึ้นเป็นกรณี (ก)

ดังนั้น รากจึงอยู่ในช่วง $x_L < \bar{x} < x_M$

หาก $f(x_M) \cdot f(x_R) < 0$ หมายถึง ผลที่เกิดขึ้นเป็นกรณี (ข)

ดังนั้น รากจึงอยู่ในช่วง $x_M < \bar{x} < x_R$

ขั้นตอนที่ 3 ปรับค่า x_L หรือ x_R ใหม่เพื่อบีบช่วงดังกล่าวให้แคบลง

หากผลที่เกิดขึ้นเป็นกรณี (ก) x_R ใหม่ให้เท่ากับ x_M

หากผลที่เกิดขึ้นเป็นกรณี (ข) x_L ใหม่ให้เท่ากับ x_M

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบว่าผลลัพธ์นั้นได้ลู่ถึงเกณฑ์ (Convergence Criterion) ที่กำหนดไว้แล้วหรือยัง เกณฑ์ดังกล่าวอาจอยู่ในรูปแบบ เช่น

$$|f(x_M)| < \varepsilon \quad (2.43)$$

โดย ε เป็นค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (Tolerance) หรืออาจใช้

$$\left| \frac{x_M^{new} - x_M^{old}}{x_M^{new}} \right| \times 100 < \varepsilon_s \quad (2.44)$$

โดย ε แทนค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เพื่อหยุดการคำนวณ (Stopping Tolerance) เช่น 0.05% ซึ่งนิยมใช้กันในปัญหาทั่วไป หากผลลัพธ์ที่ได้มีถึงเกณฑ์การลู่เข้าที่กำหนดดังเช่นแสดงในสมการ (2.43) หรือ (2.44) ให้หยุดการคำนวณ แต่หากยังไม่ถึงเกณฑ์การลู่เข้าที่กำหนดไว้ให้ย้อนกลับไปยังขั้นตอนที่ 1 แล้วทำซ้ำอีก

2.3.1 การทำงานโดยทั่วไปของอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (BA)

การทำงานของอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (BA) เป็นการค้นหาค่าตอบด้วยวิธีการแบ่งครึ่งช่วงข้อมูล ซึ่งเป็นการทำงานที่มีความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง ดังแสดงในภาพประกอบ 19 ประกอบไปด้วยขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างสถานะเริ่มต้น เป็นการสร้างสถานะด้วยการกำหนดค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด ของปัญหาที่สนใจ

ขั้นตอนที่ 2 สร้างสถานะค่าตอบแรก เป็นการสร้างสถานะด้วยการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของค่าที่กำหนดเป็นค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด แล้วเข้าสู่กระบวนการหาค่าตอบที่เหมาะสม

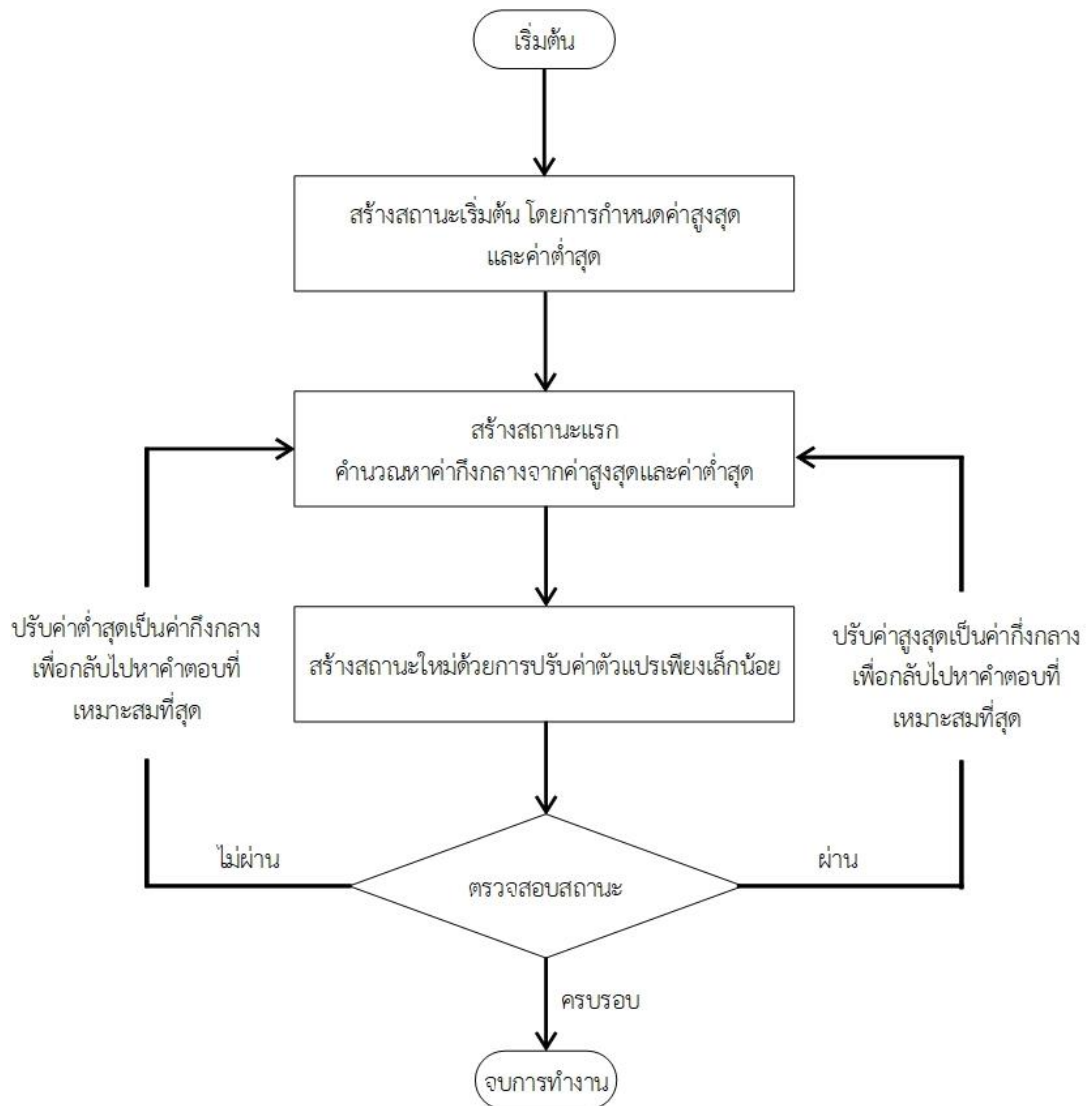
$$\text{โดยกำหนด } V_{mid} = \left[\frac{V_{max} + V_{min}}{2} \right]$$

เมื่อ V_{mid} คือ ค่ากึ่งกลาง

V_{max} คือ ค่าสูงสุด

V_{min} คือ ค่าต่ำสุด

ขั้นตอนที่ 3 สร้างสถานะใหม่ เป็นการสร้างสถานะใหม่ด้วยการปรับเปลี่ยนจากค่าตอบเดิมเพียงเล็กน้อย โดยการสุ่มขึ้นหนึ่งขั้นหรือสุ่มลงหนึ่งขั้น ซึ่งค่าตอบที่ได้สามารถเป็นไปได้ทั้งค่าตอบที่ดีขึ้นหรือเป็นค่าตอบที่แย่ลงกว่าเดิม



ภาพประกอบ 19 การทำงานโดยทั่วไปของอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (BA)

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบสถานะ เป็นการตรวจสอบคำตอบที่ได้จากการสุ่มสร้างสถานะใหม่เพื่อตรวจสอบสถานะว่าเป็นที่พอใจหรือไม่

ขั้นตอนที่ 5 หยุดการทำงาน เมื่อครบรอบตามที่กำหนดไว้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้นำเสนอการใช้วิธีการต่าง ๆ ในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและโครงสร้างอื่น ๆ เพื่อให้เห็นถึงแนวทางและประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่แตกต่างกัน รวมถึงข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละวิธีในการประยุกต์ใช้ในการออกแบบทางวิศวกรรม

Govindaraj and Ramasamy [3] ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้เจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm, GA) สำหรับการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบต่อเนื่องตามข้อกำหนดมาตรฐานของอินเดีย โดยมุ่งเน้นการหาขนาดของเหล็กเสริมและขนาดหน้าตัดของคานให้เกิดความแข็งแรง ความทนทาน และความสามารถในการรับน้ำหนักที่ดีเยี่ยม วิธีนี้ช่วยลดความซับซ้อน มีการคำนวณ และการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการออกแบบโครงสร้าง อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังไม่ได้พิจารณาถึงประเด็นด้านประสิทธิภาพในการทำงาน เช่น จำนวนรอบการทำงานที่ใช้ระหว่างการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการประเมินต้นทุนและความเร็วในการทำงานค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

Cheng [4] นำเสนอการใช้เจเนติกอัลกอริทึมแบบลูกผสม (Hybrid Genetic Algorithm, GA) ในการออกแบบสะพานโครงสร้างเหล็กแบบโค้ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดน้ำหนักของโครงสร้างภายใต้ข้อจำกัดด้านความแข็งแรงและการโก่งตัว งานวิจัยนี้เสนอวิธีการที่มีความแม่นยำและแข็งแกร่ง โดยผสมแนวคิดของเจเนติกอัลกอริทึมเข้ากับวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อคำนวณค่าที่เหมาะสมที่สุดของการออกแบบสะพาน ขั้นตอนของเจเนติกอัลกอริทึมรวมถึงการคัดเลือก การรวมข้อจำกัด และการกลายพันธุ์แบบไม่สม่ำเสมอ ผลการวิจัยได้แสดงตัวอย่างเชิงตัวเลขที่เกี่ยวข้องกับสะพานช่วงยาว 552 เมตร เพื่อยืนยันประสิทธิภาพและข้อดีของวิธีการนี้ ซึ่งเน้นการออกแบบที่แม่นยำ คำนึงถึงความแข็งแรงและความสามารถในการใช้งานของสะพาน อย่างไรก็ตาม ยังมีช่องว่างที่ควรพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความน่าสนใจของงานวิจัย เช่น การปรับปรุงประสิทธิภาพด้านความเร็วในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้คำตอบที่เร็วขึ้นรวมถึงการประเมินต้นทุนและการขยายขอบเขตการใช้งาน

Patchochai, et al. [9] ได้ศึกษาการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงตามแนวแกนอย่างเหมาะสมด้วยอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (Bisection Algorithm, BA) ด้วยการทดสอบบนซอฟต์แวร์ไมโครซอฟต์วิซวลเบสิก เวอร์ชัน 6.0 ออกแบบตามมาตรฐาน วสท.1007-34 วิธีหน่วยแรงใช้งาน ในการทดสอบอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง เลือกใช้ตัวอย่างทดสอบที่มีแรงตามแนวแกนและระยะหุ้มคอนกรีตแตกต่างกันจำนวน 3 ตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบผลการออกแบบระหว่างอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วงกับฮิลโคลมิงอัลกอริทึม จากผลการศึกษาพบว่าอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วงมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าฮิลโคลมิงอัลกอริทึมประมาณร้อยละ 21 และยังคงมีความง่ายต่อการพัฒนา อย่างไรก็ตาม

ช่วงกลางและช่วงปลายของการทำงานทั้งสองอัลกอริทึมมีพฤติกรรมคล้ายกัน ดังนั้น การนำทั้งสองอัลกอริทึมออกแบบโครงสร้างวิศวกรรมอื่นๆ อาจทราบถึงประสิทธิภาพทั้งสองอัลกอริทึมชัดเจนยิ่งขึ้น

Tapown, et al. [10] ใช้ฮิลล์ไคลมิงอัลกอริทึม (Hillclimbing Algorithm, HCA) ซิมูเลเต็ดแอนนีลลิ่งอัลกอริทึม (Simulated Annealing Algorithm, SA) และเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm, GA) ออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมสำหรับการออกแบบที่เหมาะสมของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ารับแรงตามแนวแกนร่วมกับโมเมนต์ดัดสองทาง ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมสำหรับออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กจากความสามารถในการทำงานได้ จำนวนรอบและราคาค่าก่อสร้างรวมซึ่งประกอบด้วยราคาคอนกรีตผสมเสร็จ ราคาเหล็กเสริม ราคาไม้แบบและค่าแรงงาน โดยทุกอัลกอริทึมได้รับการพัฒนาโดยใช้ซอฟต์แวร์ไมโครซอฟต์วิซวลเบสิก เวอร์ชัน 6.0 และออกแบบหน้าตัดเสาตามมาตรฐานการออกแบบของ ว.ส.ท. 1008-38 โดยวิธีกำลัง ในส่วนของการทดสอบแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 กำหนดระยะหุ้มของคอนกรีต แรงตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดสองทาง รูปแบบที่ 2 กำหนดขนาดหน้าตัดเสา ระยะหุ้มของคอนกรีต แรงตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดสองทาง รูปแบบที่ 3 กำหนดคุณสมบัติวัสดุ ระยะหุ้มของคอนกรีต แรงตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดสองทาง โดยทดสอบรูปแบบละ 4 ตัวอย่าง จากผลการศึกษาพบว่าฮิลล์ไคลมิงอัลกอริทึมมีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงตามแนวแกนร่วมกับโมเมนต์ดัดสองทางเนื่องจากเป็นอัลกอริทึมที่ใช้งานง่าย มีขั้นตอนการทำงานที่ไม่ซับซ้อนและมีความรวดเร็วมากที่สุด โดยที่ผลการออกแบบมีความใกล้เคียงกับซิมูเลเต็ดแอนนีลลิ่งอัลกอริทึมและเจเนติกอัลกอริทึม อย่างไรก็ตาม ถึงแม้งานวิจัยนี้พบว่าฮิลล์ไคลมิงอัลกอริทึมมีขั้นตอนการทำงานที่ไม่ซับซ้อนและมีความรวดเร็วมากที่สุด แต่ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ เพื่อดูว่าวิธีใดสามารถประมวลผลได้รวดเร็วที่สุดในกรณีการออกแบบจริง หรือในกรณีข้อมูลที่มีขนาดใหญ่หรือซับซ้อนมากขึ้น

Juisuwannathat and Smittakorn [11] ได้นำอัลกอริทึมการจำลองการอบเหนียวมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก งานวิจัยนี้ได้นำอัลกอริทึมการจำลองการอบเหนียวมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กอย่างเหมาะสมตามมาตรฐาน ACI 318M-11 ร่วมกับภาษาจาวา เพื่อหาค่าวัสดุก่อสร้างรวมต่ำสุด กรณีศึกษาที่ใช้ คือ คาน เสา และโครงข้อแข็งพอร์ทัล รับน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรในแนวตั้ง ค่าวัสดุก่อสร้างรวมของโครงสร้างคำนวณจากปริมาตรคอนกรีต พื้นที่แบบหล่อ และน้ำหนักเหล็กเสริม ผลการคำนวณออกแบบกรณีศึกษาในที่นี้พบว่า โครงสร้างที่มีค่าวัสดุก่อสร้างรวมต่ำสุดประกอบไปด้วยชิ้นส่วนคานและเสาที่มีความกว้างต่ำ แต่มีความลึกมาก ส่วนปริมาณเหล็กเสริมจะขึ้นอยู่กับกำลังที่ต้องใช้แบกรับน้ำหนักบรรทุกและราคาต่อหน่วยเมื่อเทียบกับคอนกรีต ดังนั้น หากราคาต่อหน่วย

ของวัสดุเปลี่ยนแปลงไป คำตอบที่ได้ก็จะเปลี่ยนไปด้วย นอกจากนี้ ในกรณีศึกษาการวางแผนพื้นที่สำเร็จรูป พบว่าการวางแผนพื้นที่ในทิศทางเดียวกัน มีค่านที่ไม่ต้องรับน้ำหนักบรรทุกจากพื้นที่ซึ่งสามารถใช้หน้าตัดขนาดเล็กได้ จึงทำให้ได้ราคาวัสดุก่อสร้างรวมต่ำที่สุด อย่างไรก็ตาม แม้อัลกอริทึมการจำลองการอบเหนียวจะสามารถค้นหาคำตอบได้ดี แต่ระยะเวลาที่ใช้คำนวณยังคงค่อนข้างมาก โดยเฉพาะปัญหาที่มีตัวแปรจำนวนมาก ทั้งนี้ การนำอัลกอริทึมที่สามารถค้นหาคำตอบอย่างเหมาะสมที่มีความรวดเร็วมาประยุกต์ใช้อาจทำให้การค้นหาคำตอบจากปัญหาตัวแปรจำนวนมากมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

Techaratanaprasert and Smittakorn [12] นำวิธีฮาร์โมนีเสิร์ช (Harmony Search, HS) ซึ่งเป็นการค้นหาคำตอบแบบเมตะฮิวริสติก ที่ได้รับแรงบันดาลใจมาจากระบวนการของนักดนตรีในการค้นหาสภาวะที่ดีที่สุดของเสียงประสานมาออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อให้ได้โครงสร้างที่มีราคาวัสดุก่อสร้างต่ำที่สุด ใช้โปรแกรมภาษาจาวาในการพัฒนาการออกแบบตามมาตรฐาน ACI 318M-11 และกำหนดตัวแปรเป็นแบบตัวแปรไม่ต่อเนื่อง ผลการคำนวณออกแบบโครงสร้างกรณีศึกษาพบว่า หน้าตัดคานและเสาที่รับโมเมนต์ดัดจะมีค่าความกว้างน้อย ค่าความลึกมาก และจำนวนเหล็กเสริมเพิ่มเติมเท่าที่จำเป็น โดยวิธีฮาร์โมนีเสิร์ชจะมีอัตราการลู่เข้าของคำตอบค่อนข้างเร็ว เนื่องจากวิธีฮาร์โมนีเสิร์ชมีวิธีการค้นหาคำตอบที่หลากหลายและเก็บคำตอบมากกว่า 1 ชุด ทั้งนี้การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหาจะช่วยให้การค้นหาคำตอบด้วยวิธีฮาร์โมนีเสิร์ชมีประสิทธิภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตาม แม้ว่างานวิจัยนี้พบว่าวิธีฮาร์โมนีเสิร์ชจะมีอัตราการลู่เข้าของคำตอบค่อนข้างเร็ว แต่ควรศึกษาเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ เพื่อประเมินว่าวิธีใดสามารถประมวลผลได้รวดเร็วที่สุดภายใต้สถานการณ์การออกแบบจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเจอกับกรณีข้อมูลที่มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น

Prakobkit and Smittakorn [13] นำอัลกอริทึมหิ่งห้อย (Firefly algorithm, FA) ซึ่งเป็นวิธีการหาคำตอบอย่างเหมาะสมแบบฮิวริสติก ที่ได้รับแรงบันดาลใจมาจากการใช้แสงในการหาคู่และหาอาหารของหิ่งห้อย ออกแบบอย่างเหมาะสมสำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อให้ได้โครงสร้างที่ประหยัด และมีความแข็งแรงปลอดภัย วิธีอัลกอริทึมหิ่งห้อยนี้มีข้อดีคือ สามารถหาคำตอบเหมาะสมเฉพาะที่ได้ทั้งหมด เพื่อยืนยันการค้นพบคำตอบที่เหมาะสมที่แท้จริง กรณีศึกษาที่พิจารณา ได้แก่ โครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็กจตุรรูปร่างรับแบบง่าย คานคอนกรีตเสริมเหล็กปลายทั้งสองข้างยึดแน่น เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กแบบพอร์ทัล และโครงสร้างกริด ผลการคำนวณออกแบบกรณีศึกษาพบว่า อัลกอริทึมหิ่งห้อย สามารถออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กอย่างเหมาะสมได้เป็นอย่างดี เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยในอดีต ด้วยวิธีจำลองการอบเหนียวและวิธีฮาร์โมนีเสิร์ช การเลือกจำนวนหิ่งห้อยจะต้องมากพอและเพิ่มขึ้นตามจำนวนตัวแปรของปัญหา เพื่อความครอบคลุมในการค้นหาคำตอบ หากจำนวนหิ่งห้อยน้อยเกินไป

อาจทำให้คำตอบที่ได้เป็นคำตอบเหมาะสมเฉพาะไม่ใช่คำตอบเหมาะสมที่แท้จริง นอกจากนี้ยังต้องเลือกสัมประสิทธิ์การกรองแสงและพารามิเตอร์การสูม ให้เหมาะสมกับตัวแปรต่าง ๆ ของปัญหาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อให้การค้นหาคำตอบมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังมีช่องว่างในการทดสอบและวิเคราะห์ความเร็วของอัลกอริทึม โดยเฉพาะในกรณีข้อมูลที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

Chomchuen and Lamom [14] ประยุกต์ใช้อัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วงสำหรับออกแบบหน้าตัดคานสะพานคอนกรีตอัดแรงที่เหมาะสม เพื่อหาตัวแปรออกแบบตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย วสท.1009-34 วิธีกำลัง สำหรับน้ำหนักของรถบรรทุกทุกแบบ HS20 – 44 ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD 1992 อัลกอริทึมถูกพัฒนาและเปรียบเทียบกับฮิลโคลมิง อัลกอริทึมด้วยซอฟต์แวร์ไมโครซอฟต์วิซวลเบสิก เวอร์ชัน 6.0 และทดสอบกับตัวอย่างที่ใช้บ่อย 5 ตัวอย่าง เป็นคานช่วงเดียวมีฐานรองรับแบบง่ายที่แตกต่างกันที่ช่วงความยาวพาด ซึ่งมีฟังก์ชันเป้าหมาย คือ หาค่าต่ำสุดตัวแปรออกแบบประกอบด้วย กำลังของคอนกรีต (f') จุดครากของเหล็กเสริม (f) กำลังดึงประลัยของลวดเกลียวอัดแรง (f_u) ขนาดและปริมาณเหล็กเสริม ลวดเกลียวอัดแรง และขนาดของหน้าตัดคาน จากผลการศึกษาพบว่า รอบเฉลี่ยร้อยละ 19.41 ของอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วงมีการประมวลผลผลลัพธ์ที่รวดเร็วกว่าฮิลโคลมิงอัลกอริทึม อย่างไรก็ตาม เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วงให้ชัดเจนยิ่งขึ้น ควรมีการประยุกต์ใช้กับงานออกแบบด้านวิศวกรรมอื่นๆ

Tapown and Cheerarot [15] นำการค้นหาแบบแมลงหวี่ (Fruit Fly Optimization, FOA) มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบที่เหมาะสมของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ การออกแบบฐานรากที่ประหยัดที่สุดตามมาตรฐานการออกแบบของ ว.ส.ท.1008-38 วิธีกำลัง ขั้นตอนการออกแบบที่เหมาะสมถูกสร้างขึ้นโดยใช้ภาษาวิซวลเบสิก ส่วนประสิทธิภาพการทำงานของวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่จะถูกทดสอบจากตัวอย่างของฐานรากจำนวน 3 ตัวอย่าง ซึ่งรับน้ำหนักกระทำแตกต่างกัน จากผลการศึกษาพบว่า วิธีค้นหาแบบแมลงหวี่สามารถใช้สำหรับออกแบบที่เหมาะสมของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กได้ นอกจากนี้การใช้จำนวนรอบเท่ากับ 300 รอบ และจำนวนแมลงหวี่เท่ากับ 200 ตัว ได้รับความเร็วในการทดสอบทางสถิติดีที่สุด ยิ่งกว่านั้นผลการออกแบบที่เหมาะสมมีความประหยัดมากกว่าวิธีทั่วไปเฉลี่ยร้อยละ 23 อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังไม่ได้พิจารณาถึงประเด็นประสิทธิภาพในด้านจำนวนรอบ ความเร็วในการทำงานที่ใช้ระหว่างการค้นหาที่เหมาะสมที่สุด

Azizi, et al. [16] ได้นำวิธีฮาร์โมนีเสิร์ช (Tribe-Harmony Search, Tribe - HS) มาออกแบบที่เหมาะสมที่สุดของโครงสร้างอาคารสูงและอาคารต่ำ พัฒนาขึ้นจากกระบวนการทางดนตรีในการค้นหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดเพื่อสร้างแนวทางการค้นหาที่เหมาะสม เพื่อวัตถุประสงค์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบ นอกจากนี้อัลกอริทึมยังถูกเสนอเป็นครั้งแรกในบทความนี้เพื่อ

ปรับปรุงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมฮาร์โมนีเสิร์ช ซึ่งแบ่งขั้นตอนการค้นหาออกเป็นสามขั้นตอนที่แตกต่างกัน ด้วยการนำอัลกอริทึมหลักในการจัดลำดับความสำคัญของการค้นหาแบบกว้างในช่วงแรกๆ แก่ไขการค้นหาให้แคบลงด้วยการทำซ้ำ โครงสร้างอาคารสามหลังถูกใช้เป็นตัวอย่งการออกแบบเพื่อแสดงความสามารถของวิธีการที่แนะนำในการแก้ปัญหาการปรับให้เหมาะสมที่ท้าทาย ประสิทธิภาพโดยรวมของวิธีการที่แนะนำนั้นเปรียบเทียบกับฮาร์โมนีทั่วไป อัลกอริทึมการค้นหาและอัลกอริทึมเมตะฮิวริสติก ทางเลือก 10 แบบ โดยใช้การทำงานอิสระทั้งหมด 30 ครั้ง ในแต่ละอินสแตนซ์ด้วยเหตุผลทางสถิติ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่แนะนำมีประสิทธิภาพดีกว่าเมตะฮิวริสติกอื่นๆ อย่างชัดเจน ทั้งนี้ การพิจารณาถึงประสิทธิภาพการทำงานด้านความเร็วสำหรับค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเป็นสิ่งสำคัญแต่งานวิจัยนี้ยังไม่ได้พิจารณาประเด็นดังกล่าว

Cui, et al. [17] ได้ศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพวางแผนเสาเข็มสำหรับท่าเทียบเรือ โดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm, GA) การวางแผนเสาเข็มด้วยตนเองมักใช้เวลาหลายวัน เมื่อพิจารณาถึงลำดับความสำคัญของการปรับความลาดเอียงของเสาเข็ม มุมการหมุน และการหลีกเลี่ยงจุดตัดของเสาเข็ม ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพได้รับการออกแบบ และการวางแผนเสาเข็มได้รับการปรับให้เหมาะสมและปรับด้วยอัลกอริทึมทางพันธุกรรม มีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอัลกอริทึม ซึ่งได้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจของการวางแผนเสาเข็มในเวลาไม่กี่นาที ดังนั้นวิธีการที่เสนอจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพแรงงานอย่างมาก อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังมีช่องว่างในการทดสอบและวิเคราะห์ความเร็วของอัลกอริทึม โดยเฉพาะในกรณีที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น



บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา

การวิจัยนี้ได้นำเสนออัลกอริทึมสำหรับการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังอย่างเหมาะสมและคำนวณราคาของบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง การออกแบบจะคำนวณหาขนาดลูกตั้ง ลูกนอน ความหนาชั้นบันได ปริมาณเหล็กเสริมที่เหมาะสม คำนวณราคารวมของบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง จากราคาค่าวัสดุก่อสร้างรวมค่าแรงงาน ซึ่งขั้นตอนการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังอย่างเหมาะสมถูกพัฒนาโดยใช้ซอฟต์แวร์ไมโครซอฟต์วิซวลเบสิก เวอร์ชัน 6.0 พัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณตามมาตรฐาน [5] วิธีหน่วยแรงใช้งาน (WSD) เพื่อทราบถึงประสิทธิภาพของฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (HCA) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณแบบทั่วไป (CM) และทราบถึงความแตกต่างของประสิทธิภาพระหว่างอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (BA) กับ ฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (HCA) สำหรับการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังอย่างเหมาะสม

3.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เครื่องมือในการดำเนินงานวิจัย คือ คอมพิวเตอร์ และซอฟต์แวร์ที่ใช้พัฒนากระบวนการหาคำตอบ โดยมีคุณสมบัติของเครื่องคอมพิวเตอร์ดังนี้

1. ระบบปฏิบัติการ (Microsoft windows 10 core i7)
2. หน่วยประมวลผลกลาง Intel(R) Core(TM) i7-7700HQ CPU @ 2.80GHz 2.81 GHz
3. หน่วยความจำแรม 12.0 GB (11.9 GB usable)
4. ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนากระบวนการหาคำตอบ คือ ไมโครซอฟต์วิซวลเบสิก เวอร์ชัน 6.0

3.2 ฟังก์ชันข้อจำกัด

สำหรับการคำนวณความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนของหน้าตัด ตามมาตรฐาน วสท. 011007-19 [5] ซึ่งประกอบด้วย

- (1) ตรวจสอบความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดบันได โดยพิจารณา

$$M_c \geq M_{max}$$

(3.1)

(2) ตรวจสอบปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึง โดยพิจารณา

$$M_s \geq M_{max} \quad (3.2)$$

(3) ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงเฉือนของหน้าตัดบันได โดยพิจารณา

$$V_c \geq V_{max} \quad (3.3)$$

(4) ตรวจสอบการแอ่นตัวสูงสุดเกิดขึ้นที่ปลายของบันไดยื่นจากผนัง [6] โดยพิจารณา

$$y_l \geq \Delta_T \quad (3.4)$$

เมื่อ

M_c คือ โมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต หน่วยเป็น กก.-ม.

M_s คือ โมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริม หน่วยเป็น กก.-ม.

M_{max} คือ โมเมนต์สูงสุดของบันได หน่วยเป็น กก.-ม.

V_c คือ แรงเฉือนต้านทานโดยคอนกรีต หน่วยเป็น กก.

V_{max} คือ แรงเฉือน ณ หน้าตัดวิกฤติ หน่วยเป็น กก.

y_l คือ การแอ่นตัวที่ยอมรับได้ หน่วยเป็น ซม.

Δ_T คือ การแอ่นตัวสูงสุดที่เกิดขึ้น หน่วยเป็น ซม.

3.3 สมการเป้าหมาย

สมการเป้าหมายของการศึกษานี้คือ สมการที่ให้ผลรวมราคาของบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ซึ่งได้แก่ ค่าคอนกรีตรวมค่าแรงงานผสมและเทคอนกรีต เหล็กเสริมคอนกรีตรวมค่าแรงงานตัด ดัดและผูกเหล็กเสริม ปริมาณแบบหล่อคอนกรีตรวมค่าแรงงานประกอบและติดตั้ง ทั้งหมดรวมกันแล้วต้องมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งมีค่าเป็นไปตามสมการที่ (3.5)

$$f(x) = \min \sum (V_c C_c + W_s C_s + A_F C_F) \quad (3.5)$$

- เมื่อ $f(x)$ คือ ราคารวมของบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก หน่วยเป็น บาท
 V_c คือ ปริมาตรของคอนกรีต หน่วยเป็น ม.³
 C_c คือ ราคาของคอนกรีตรวมค่าแรงงาน หน่วยเป็น บาท/ม.³
 W_s คือ น้ำหนักรวมของเหล็กเสริมคอนกรีต หน่วยเป็น กก.
 C_s คือ ราคาของเหล็กเสริมคอนกรีตรวมค่าแรงงาน หน่วยเป็น บาท/กก.
 A_F คือ ปริมาณแบบหล่อคอนกรีต หน่วยเป็น ม.²
 C_F คือ ราคาของแบบหล่อคอนกรีตรวมค่าแรงงาน หน่วยเป็น บาท/ม.²

3.4 ราคาวัสดุที่ใช้งานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดใช้ราคาวัสดุก่อสร้างเฉพาะพื้นที่ โดยในแต่ละรายการนั้นสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมของแต่ละพื้นที่ สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ราคาวัสดุก่อสร้างไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม จากสำนักงานพาณิชย์จังหวัดมหาสารคาม ประจำเดือนสิงหาคม ปี พ.ศ. 2565 (เว็บไซต์ www.price.moc.go.th) และค่าแรงงาน ตามบัญชีค่าแรงงาน/ดำเนินการสำหรับการถอดแบบคำนวณราคากลางงานก่อสร้างออกตามประกาศคณะกรรมการราคากลางและขึ้นทะเบียนผู้ประกอบการ เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการกำหนดราคากลางงานก่อสร้าง ณ วันที่ 19 ตุลาคม 2560

3.4.1 ราคาคอนกรีตรวมค่าแรงงาน

ราคาคอนกรีตที่ใช้เป็นราคาคอนกรีตผสมเสร็จไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม สำหรับค่าแรงงานเป็นค่าแรงงานสำหรับโครงสร้างและส่วนประกอบอาคารชั้นเดียว ดังแสดงในตาราง 3

3.4.2 ราคาเหล็กเสริมคอนกรีตรวมค่าแรงงาน

ราคาเหล็กเสริมคอนกรีตเป็นราคาเฉลี่ยจากเหล็กแต่ละขนาดตามชนิดของเหล็กเสริมคอนกรีตแยกตามกำลังครากของเหล็กเสริมคอนกรีต คือ 2,400 3,000 และ 4,000 กก./ชม.² สำหรับค่าแรงงานเป็นราคาค่าแรงงานในการตัด ดัด และผูกเหล็กเสริมคอนกรีต ดังแสดงในตาราง 4

3.4.3 ราคาแบบหล่อคอนกรีตรวมค่าแรงงาน

ราคาแบบหล่อคอนกรีตเป็นราคาไม้แบบหล่อคอนกรีตเฉลี่ยใช้งาน 80 % สำหรับค่าแรงงานเป็นค่าประกอบติดตั้งแบบหล่อคอนกรีต ดังแสดงในตาราง 5

ตาราง 3 ราคาคอนกรีตผสมเสร็จรวมค่าแรงงาน

คอนกรีตผสมเสร็จ (ทรงกระบอกมาตรฐาน)			
กำลังอัดประลัยคอนกรีตรูปทรงกระบอก มาตรฐาน (กก./ซม. ²)	ราคา (บาท/ม. ³)	ค่าแรงงาน (บาท/ม. ³)	รวม (บาท/ม. ³)
180	1,960	391	2,351
210	2,000	391	2,391
240	2,040	391	2,431
280	2,120	391	2,511
300	2,160	391	2,551
320	2,200	391	2,591

ตาราง 4 ราคาเหล็กเสริมคอนกรีตรวมค่าแรงงาน

ราคาเหล็กเสริมคอนกรีตรวมค่าแรงงาน			
ชั้นคุณภาพ	ราคา (บาท/กก.)	ค่าแรงงาน (บาท/กก.)	รวม (บาท/กก.)
เหล็กเส้นกลม SR24	29.15	4.10	33.33
เหล็กข้ออ้อย SD30	27.83	3.30	31.19
เหล็กข้ออ้อย SD40	26.03	3.30	29.33

ตาราง 5 ราคาแบบหล่อคอนกรีตรวมค่าแรงงาน

ที่	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคา	รวม
1	ไม้กระบอกขนาด 1" x 6"- 8" ยาว 2.50 - 6.00 เมตร	0.80	ลบ.ฟ.	590	472
2	ไม้ยางขนาด 1.1/2" x 3" ยาว 2.50 - 6.00 เมตร	0.24	ลบ.ฟ.	650	156
3	ตะปู	0.20	กก	45	9
4	ค่าแรงงาน	1.00	ตร.ม.	133	133
รวมไม้แบบหล่อคอนกรีตเฉลี่ยใช้งาน 80 % (บาท/ม. ²)					770

3.5 ขั้นตอนการออกแบบด้วยการใช้ฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (HCA)

กระบวนการหาคำตอบของฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (HCA) เป็นการสร้างคำตอบแรกและกระบวนการทำซ้ำเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมด้วยการปรับเปลี่ยนตัวแปรออกแบบเพิ่มขึ้นหรือลดลงเพียงหนึ่งระดับ ซึ่งการปรับเปลี่ยนตัวแปรนั้นมีส่วนสำคัญต่อการลู่เข้าหาคำตอบที่เหมาะสม หลังจากนั้นจึงจะมีการคำนวณกำลังรับน้ำหนัก ตรวจสอบเงื่อนไขการออกแบบ ดังภาพประกอบ 20 มีรายละเอียดการทำงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดคำตอบเริ่มต้น การกำหนดค่าเริ่มต้นด้วยการกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับใช้ในการออกแบบ เช่น ความสูงและช่วงบันได ระยะยื่น หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ของเหล็กเสริม กำลังอัดประลัยของคอนกรีต น้ำหนักบรรทุกจร ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก จำนวนรอบ ความหนาชั้นบันได

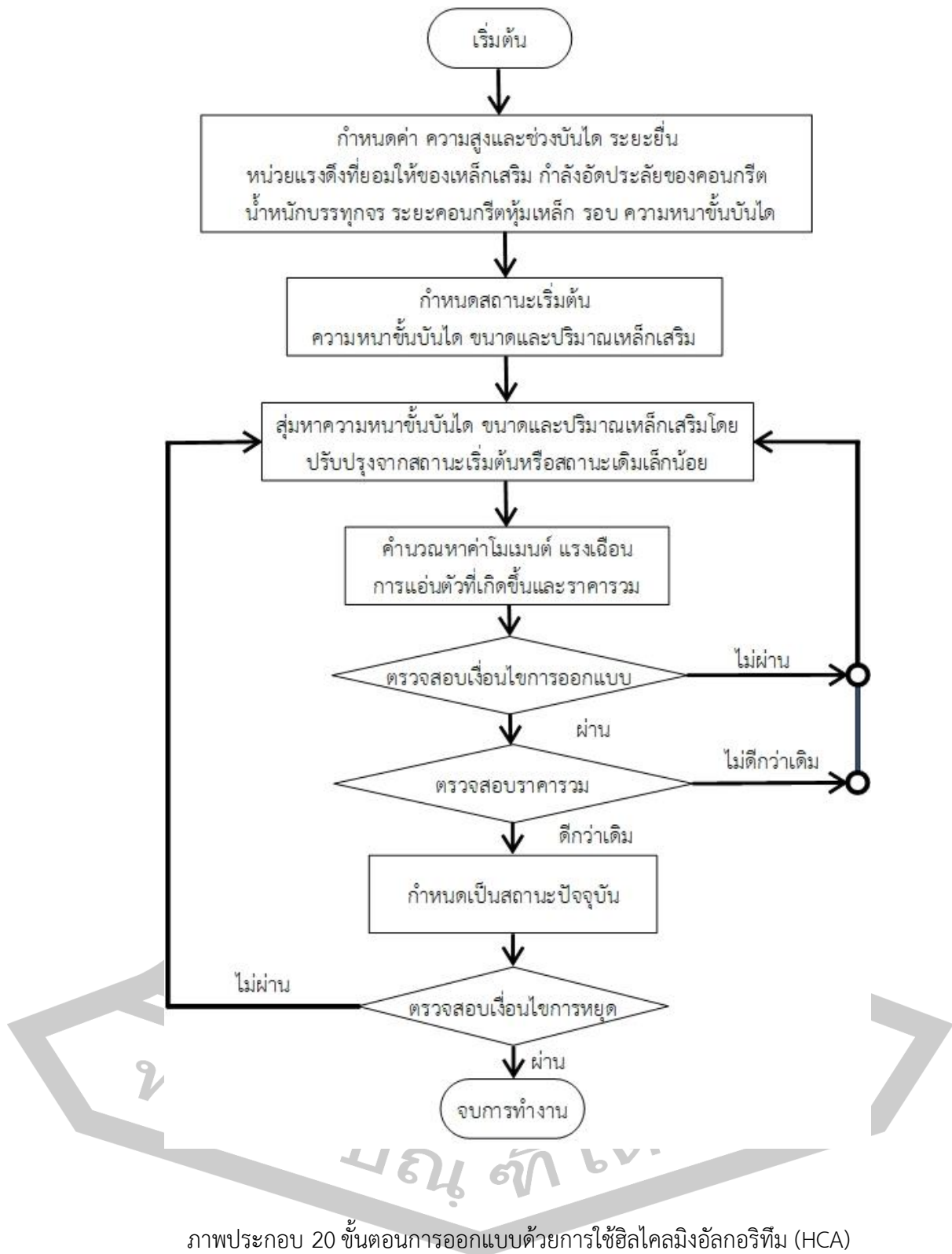
ขั้นตอนที่ 2 กำหนดสถานะเริ่มต้น การกำหนดสถานะเริ่มต้น เช่น ความหนาชั้นบันได ขนาดและปริมาณเหล็กเสริม

ขั้นตอนที่ 3 สร้างสถานะใหม่ การสร้างสถานะใหม่ด้วยการปรับเปลี่ยนจากคำตอบเดิมเพียงเล็กน้อย ซึ่งปัญหานี้ คือ ความหนาชั้นบันได ขนาดและปริมาณเหล็กเสริม โดยสร้างคำตอบใหม่ด้วยการปรับค่าตัวแปรเพิ่มขึ้นหรือลดลงเพียงหนึ่งระดับ แต่ทำการกำหนดรอบสูงสุดในการทำงานไม่เกินจำนวนรอบที่กำหนดไว้ในข้อ 1

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบสถานะใหม่ การตรวจสอบสถานะใหม่ดีกว่าสถานะเดิมหรือไม่ ถ้าหากไม่ใช่ สถานะใหม่จะถูกปฏิเสธแล้วให้วนกลับไปทำใน ขั้นตอนที่ 3 หากใช่ กำหนดสถานะใหม่เป็นสถานะปัจจุบัน

ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด ถ้าเข้าเงื่อนไขการหยุดที่กำหนดไว้ การทำงานเมื่อครบรอบ ตามที่กำหนดไว้ ซึ่งในการทดลองนี้กำหนดไว้ที่ 500 รอบ หากไม่ใช่ ให้กลับไปทำตามขั้นตอนที่ 3

พูนุ ปณ ทิโต ชีเว



ภาพประกอบ 20 ขั้นตอนการออกแบบด้วยการใช้ฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (HCA)

3.6 ขั้นตอนการออกแบบด้วยการใช้อัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (BA)

ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (BA) ซึ่งเป็นกระบวนการเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสม ที่มีสามารถค้นหาคำตอบได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง ดังแสดงในภาพประกอบ 21 มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

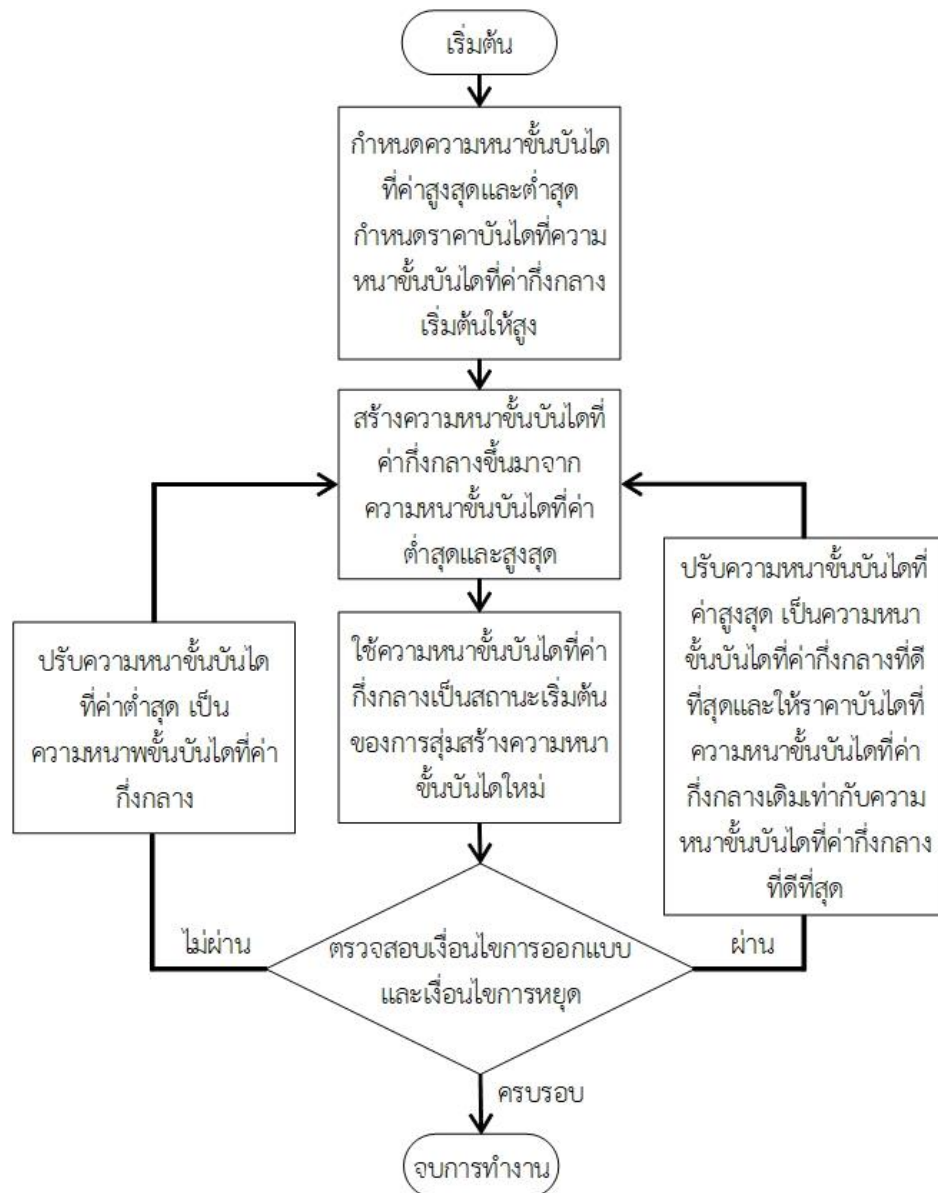
ขั้นตอนที่ 1 สร้างสถานะเริ่มต้น กำหนดขนาดความหนาแน่นขั้นบันไดที่ค่าสูงสุด และขนาดความหนาแน่นขั้นบันไดที่ค่าต่ำสุด และสมมุติราคาขั้นบันไดที่ขนาดความหนาแน่นขั้นบันไดที่ค่ากึ่งกลางที่สูงมาก เพื่อเริ่มการทำงาน รวมถึงตั้งให้ขนาดความหนาแน่นขั้นบันไดที่ดีที่สุดครั้งแรกเท่ากับขนาดความหนาแน่นขั้นบันไดที่ค่าสูงสุด

ขั้นตอนที่ 2 สร้างสถานะคำตอบแรก คำนวณขนาดความหนาแน่นขั้นบันได โดยการแบ่งครึ่งขนาดความหนาแน่นขั้นบันไดระหว่างขนาดความหนาแน่นขั้นบันไดที่ค่าต่ำสุดและขนาดความหนาแน่นขั้นบันไดที่ค่าสูงสุดซึ่งสามารถนำไปหาขนาดความหนาแน่นขั้นบันไดที่ค่ากึ่งกลางได้

ขั้นตอนที่ 3 สร้างสถานะใหม่ ทำการสุ่มขนาดความหนาแน่นขั้นบันไดที่ใกล้เคียงกับขนาดความหนาแน่นขั้นบันได ที่ค่ากึ่งกลางที่คำนวณได้ เพื่อสร้างขนาดความหนาแน่นขั้นบันไดและรูปแบบการเสริมเหล็กใหม่ จากนั้นตรวจสอบขนาดความหนาแน่นขั้นบันไดที่สร้างขึ้นว่าสามารถรับน้ำหนักบรรทุกทุกได้ปลอดภัยและประหยัดกว่าขนาดความหนาแน่นขั้นบันไดที่ดีที่สุดหรือไม่ หากดีกว่าให้บันทึกขนาดความหนาแน่นขั้นบันไดที่ดีที่สุดไว้

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบสถานะ เปรียบเทียบราคาของบันไดที่ขนาดความหนาแน่นขั้นบันไดที่ค่ากึ่งกลางเดิมกับราคาของบันไดที่ขนาดความหนาแน่นขั้นบันไดที่ดีที่สุดที่ได้จากการหาในขั้นตอนที่ 3 หากขนาดความหนาแน่นขั้นบันไดที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 มีราคาถูกกว่า กำหนดให้ ขนาดความหนาแน่นขั้นบันไดที่ค่าสูงสุดเท่ากับขนาดความหนาแน่นขั้นบันไดที่ดีที่สุดที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 และกำหนดราคาบันไดที่ขนาดความหนาแน่นขั้นบันไดที่ค่ากึ่งกลางให้เท่ากับราคาของบันไดที่ขนาดความหนาแน่นขั้นบันไดที่ดีที่สุดที่หาได้จากขั้นตอนที่ 3 หากไม่ใช่ให้ทำการกำหนดค่าขนาดความหนาแน่นขั้นบันไดที่ค่าต่ำสุดเท่ากับขนาดความหนาแน่นขั้นบันไดที่ดีที่สุดที่หาได้จากขั้นตอนที่ 3 แทน แล้วกลับไปทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 5 หยุดการทำงาน เมื่อครบรอบตามที่กำหนดไว้ สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ได้กำหนดจำนวนรอบในการทำงานที่เหมาะสมกับการทดสอบนี้ไว้ที่ 500 รอบ

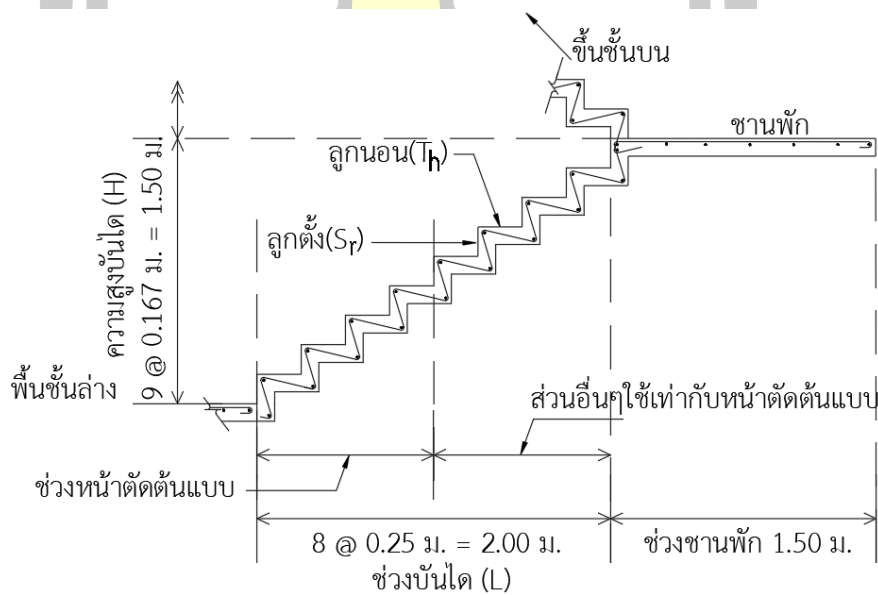


ภาพประกอบ 21 ขั้นตอนการออกแบบด้วยการใช้อัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (BA)

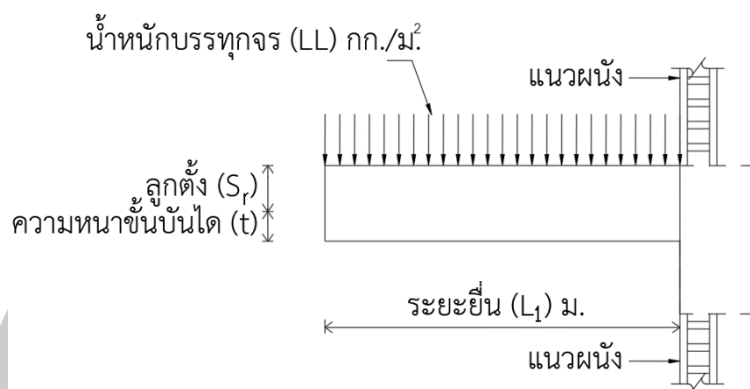


3.8 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

ตัวอย่างที่นำมาทดสอบในงานวิจัยนี้ เป็นการทดสอบด้วยการระบุค่าน้ำหนักบรรทุกจร ระยะยื่นจากผนัง ทั้งหมด 5 ตัวอย่าง โดยคำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ที่มีช่วงบันไดยาว 2.00 ม. ความสูงบันได 1.50 ม. ตามภาพประกอบ 22 เหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD30 และ SD40 กำลังครากของเหล็กข้ออ้อย 3,000 และ 4,000 กก./ชม.² ตามลำดับ เหล็กเสริมยึดชั้นบันไดใช้เหล็กเส้นกลม ชั้นคุณภาพ SR 24 กำลังครากของเหล็กเส้นกลม 2,400 กก./ชม.² กำลังอัดประลัยคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน 240 กก./ชม.² ระยะหุ้มคอนกรีต 2.00 ซม. และ น้ำหนักบรรทุกจรเป็นค่าคงที่ สำหรับระยะยื่นจากผนัง กำหนดแตกต่างกัน โดยให้โปรแกรมที่พัฒนาคำนวณหาความหนาชั้นบันได ปริมาณเหล็กเสริมที่เหมาะสม และราคารวมของ บันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง โดยโครงสร้างสามารถรับแรงแบกทานได้อย่างปลอดภัย เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (HCA) และอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (BA) ใน ตัวอย่างที่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้จึงศึกษาตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ ดังแสดงในตาราง 6



ภาพประกอบ 22 บันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง สำหรับตัวอย่างทดสอบ



ภาพประกอบ 23 น้ำหนักบรรทุกทุกจรกระทำต่อบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง
ตาราง 6 ตัวอย่างทดสอบการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังอย่างเหมาะสม

ตัวอย่าง	น้ำหนักบรรทุกทุกจร (กก./ม. ²)	ระยะยื่นจากผนัง (ม.)
1	400	1.00
2	400	1.50
3	400	2.00
4	400	2.50
5	400	3.00

ผลการทดสอบที่ได้จากกระบวนการหาค่าตอบของฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (HCA) จะนำมาเปรียบเทียบกับหาคำนวณแบบทั่วไป (CM) และผลการทดสอบของอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (BA) จะนำผลของคำตอบที่ได้จากการคำนวณ จำนวนรอบในการหาค่าตอบทั้งหมดที่ใช้ในการหาค่าตอบมาเปรียบเทียบกับหาคำนวณออกแบบด้วยฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (HCA) เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพ ข้อดี ข้อด้อย และความเหมาะสมของอัลกอริทึมในการประยุกต์ใช้สำหรับการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง

บทที่ 4

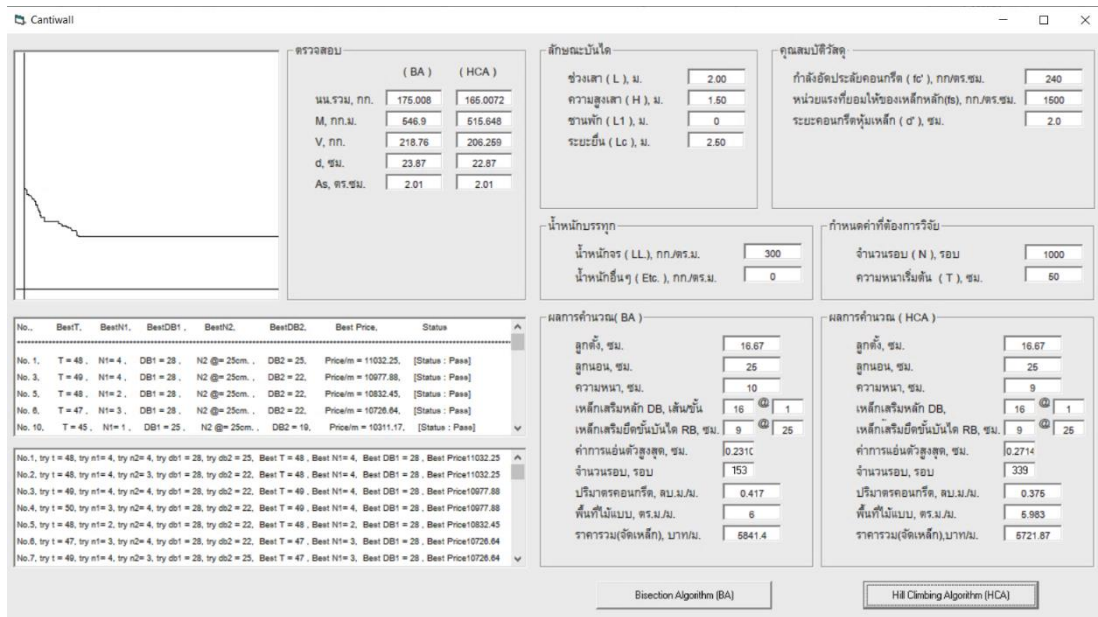
ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

การวิจัยนี้ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (HCA) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณแบบทั่วไป (CM) และการศึกษาให้เห็นถึงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (BA) เมื่อเปรียบเทียบกับฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (HCA) เพื่อเป็นการง่ายต่อความเข้าใจ จากนี้จะใช้คำว่า “อัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (BA)” เป็น “วิธี BA” และ “ฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (HCA)” เป็น “วิธี HCA” และ “วิธีการคำนวณแบบทั่วไป” เป็น “วิธี CM” ด้วยการพัฒนาอัลกอริทึมจากซอฟต์แวร์ไมโครซอฟต์ วิวอลเบสิก เวอร์ชัน 6.0 เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง โดยการทดสอบกับตัวอย่างการออกแบบอย่างเหมาะสมที่มีน้ำหนักบรรทุกและระยะยื่นที่แตกต่างกัน ทั้งหมด 5 ตัวอย่าง ดังแสดงในตาราง 6 ของบทที่ผ่านมา

4.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนา

ผู้วิจัยใช้ซอฟต์แวร์ไมโครซอฟต์วิวอลเบสิก เวอร์ชัน 6.0 เป็นเครื่องมือในการพัฒนาอัลกอริทึมการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังอย่างเหมาะสม ซึ่งโปรแกรมที่ผู้วิจัยใช้พัฒนาอัลกอริทึมนี้สามารถใช้งานได้ง่าย และประหยัดเวลาในการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังได้อย่างเหมาะสม สำหรับการใช้งานเริ่มจากการกำหนดค่าพื้นฐานที่ใช้ออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง แล้วจึงเลือกคำนวณได้ทั้งวิธี HCA และวิธี BA ซึ่งในแต่ละอัลกอริทึมจะมีการแสดงผลในรูปแบบของกราฟ และค่าประกอบต่างๆที่ต้องการทราบจากการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ดังแสดงในภาพประกอบ 24

สำหรับขอบเขตของการพัฒนาโปรแกรมเพื่องานวิจัยนี้ เป็นการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน เป็นการออกแบบเฉพาะชั้นบันได กำลังอัดประลัยคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน 240 กก./ cm^2 เหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD30 และ SD40 กำลังครากของเหล็กข้ออ้อย 3,000 และ 4,000 กก./ cm^2 ตามลำดับ ขนาด 12 16 20 25 และ 28 มม. เหล็กเสริมยึดชั้นบันไดใช้เหล็กเส้นกลม ชั้นคุณภาพ SR24 กำลังครากของเหล็กเส้นกลม 2,400 กก./ cm^2 ขนาด 6 9 12 15 และ 19 มม. ไม่พิจารณาเหล็กเสริมล่างยึดมุมชั้นบันได ความสูงลูกตั้ง 16.67 ซม. ความกว้างลูกนอน 25 ซม. การแอนตัวของบันไดสูงสุดไม่เกินระยะยื่นจากผนังต่อ 360 ระยะยื่นจากผนังไม่เกิน 3 ม. และน้ำหนักบรรทุกจร 400 กก./ m^2



ภาพประกอบ 24 หน้าจอบรรยายผลของโปรแกรมที่พัฒนา

4.2 กรณีศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของ วิธี HCA เปรียบเทียบกับ วิธี CM และ วิธี BA เปรียบเทียบกับ วิธี HCA เพื่อทราบถึงประสิทธิภาพของอัลกอริทึม จึงแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 กรณีศึกษา ประกอบด้วย

กรณีศึกษา 1 : วิธี HCA เปรียบเทียบกับ วิธี CM

กรณีศึกษา 2 : วิธี BA เปรียบเทียบกับ วิธี HCA

กรณีศึกษา 3 : วิธี BA เปรียบเทียบเหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 กับ SD40

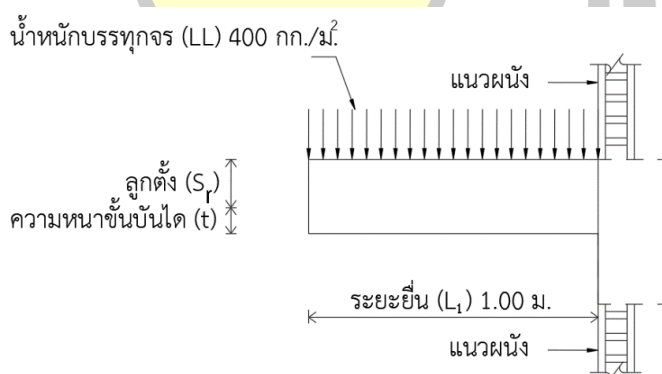
สำหรับทั้ง 3 กรณีศึกษา จำนวน 5 ตัวอย่างที่เลือกมาศึกษาในการวิจัยนี้ เลือกใช้น้ำหนักบรรทุก 400 กก./ม.² ซึ่งเป็นน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมกับการทดสอบออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังที่สภาวะใช้งานของหลายประเภทอาคาร สำหรับระยะยื่นจากผนังมีตั้งแต่ 1.00 ม. ถึง 3.00 ม. ซึ่งเป็นช่วงที่มีระยะยื่นจากผนังที่ครอบคลุมการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังในหลายสถานการณ์ที่อาจเกิดในงานก่อสร้างจริง โดยมีผลการทดสอบ ดังนี้

4.3 ผลการทดสอบ

4.3.1 กรณีศึกษา 1 : วิธี HCA เปรียบเทียบกับ วิธี CM

ในงานออกแบบชั้นบันไดสำหรับวิศวกรรมโยธา มีการใช้วิธีการคำนวณแบบทั่วไปหรือเทคนิคที่ใช้ในการคำนวณด้วยมือ (Conventional Calculation Method, CM) และฮิลล์ไคลมิงอัลกอริทึม (Hill Climbing Algorithm, HCA) ซึ่งทั้งสองวิธีมุ่งเน้นไปที่การสร้างโครงสร้างที่ปลอดภัย มั่นคง และยั่งยืน อย่างไรก็ตาม วิธี CM ให้ความสำคัญกับความหนาและความปลอดภัยสูงสุด โดยมีการเผื่อความหนาโครงสร้างตามมาตรฐานวิศวกรรม ขณะที่วิธี HCA เน้นเพิ่มประสิทธิภาพการใช้วัสดุ ลดต้นทุน และรักษาความปลอดภัยเชิงโครงสร้าง ซึ่งเหมาะสมกับการก่อสร้างยุคใหม่ที่ต้องการความคุ้มค่าและความยั่งยืน สำหรับผลการทดสอบการออกแบบด้วย วิธี HCA เมื่อเปรียบเทียบกับ วิธี CM เพื่อหาขนาดหน้าตัดและปริมาณเหล็กเสริมที่เหมาะสม โดยมีผลการทดสอบแต่ละตัวอย่าง ดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ที่มีช่วงบันไดยาว 2.00 ม. ความสูงบันได 1.50 ม. เหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD30 และ SD40 เหล็กเสริมยึดชั้นบันไดใช้เป็นเหล็กเส้นกลม ชั้นคุณภาพ SR24 กำลังอัดประลัยคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน 240 กก./ cm^2 ระยะหุ้มคอนกรีต 2.00 ซม. น้ำหนักบรรทุกจร 400 กก./ m^2 และระยะยื่นจากผนัง 1.00 ม. รอบการทดสอบจำนวน 500 รอบ



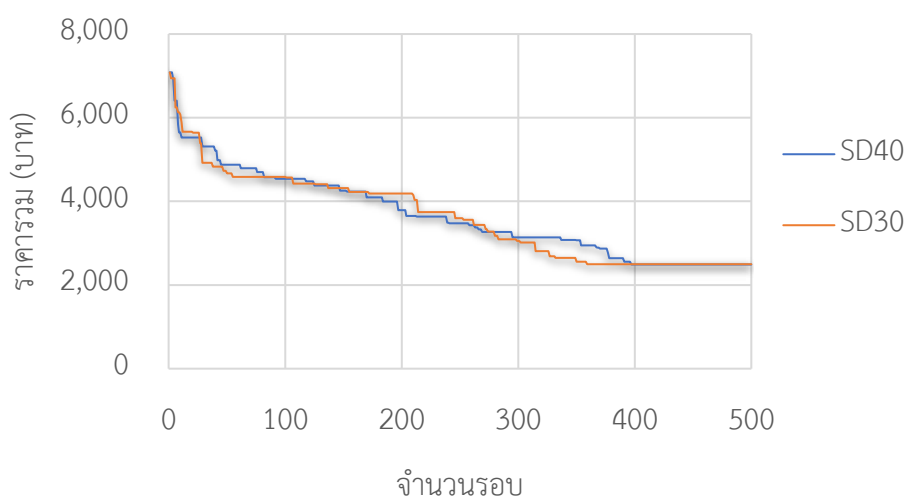
ภาพประกอบ 25 ตัวอย่างที่ 1

จากตารางที่ 7 เป็นการเปรียบเทียบผลการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังสำหรับตัวอย่างที่ 1 ด้วยวิธี HCA กับวิธี CM จากผลการศึกษาพบว่า การออกแบบด้วยวิธี HCA สามารถลดต้นทุนได้มากกว่าวิธี CM โดยเฉพาะกรณีของการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ

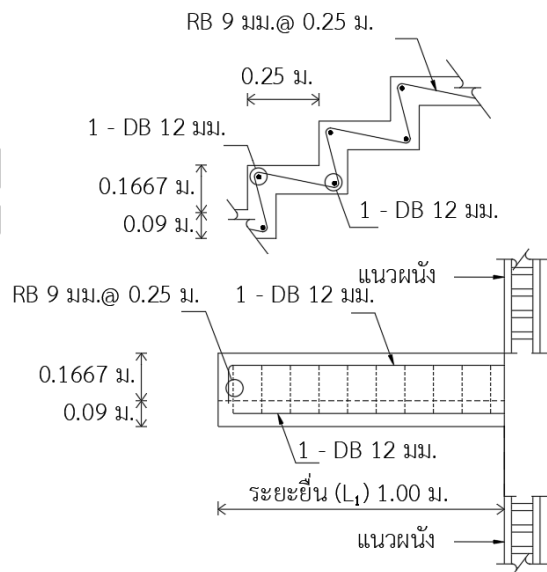
SD30 มีความแตกต่างของราคาร้อยละ 3.51 ขณะที่เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD40 สามารถประหยัดได้ร้อยละ 3.52 นอกจากนี้วิธี HCA ยังใช้ขนาดของหน้าตัดน้อยกว่าวิธี CM ซึ่งเป็นการลดปริมาณคอนกรีตรวมถึงน้ำหนักของโครงสร้าง โดยผ่านเงื่อนไขการตรวจสอบตามข้อกำหนดของมาตรฐาน วสท. 011007-19

ตาราง 7 การเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยวิธี HCA กับวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 1

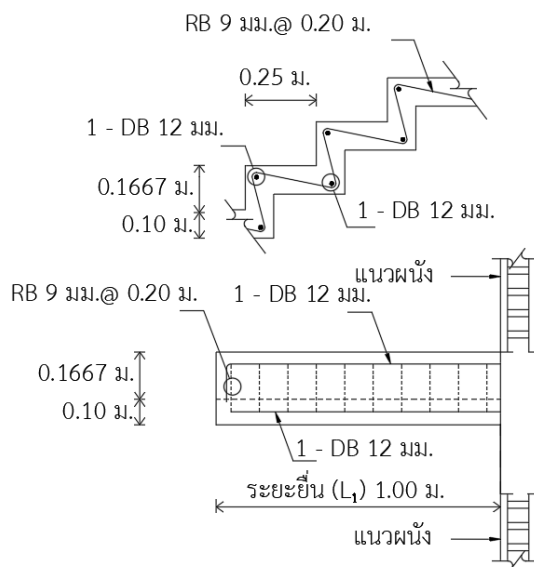
รายการ	SD30		SD40	
	HCA	CM	HCA	CM
ระยะยื่น (ม.)	1.00	1.00	1.00	1.00
ชั้นบันไดหนา (ซม.)	9.00	10.00	9.00	10.00
ขนาดลูกตั้ง (ซม.)	16.67	16.67	16.67	16.67
ขนาดลูกนอน (ซม.)	25.00	25.00	25.00	25.00
เหล็กเสริมหลัก	1DB12	1DB12	1DB12	1DB12
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได	RB9 @0.25ม.	RB9 @0.20ม.	RB9 @0.25ม.	RB9 @0.20ม.
การแอ่นตัว (ซม.)	0.008	0.007	0.008	0.007
ราคารวม (บาท)	2,524.46	2,616.31	2,517.86	2,609.71
ร้อยละความแตกต่างราคา	3.51		3.52	



ภาพประกอบ 26 การหาคำตอบอย่างเหมาะสมด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 1



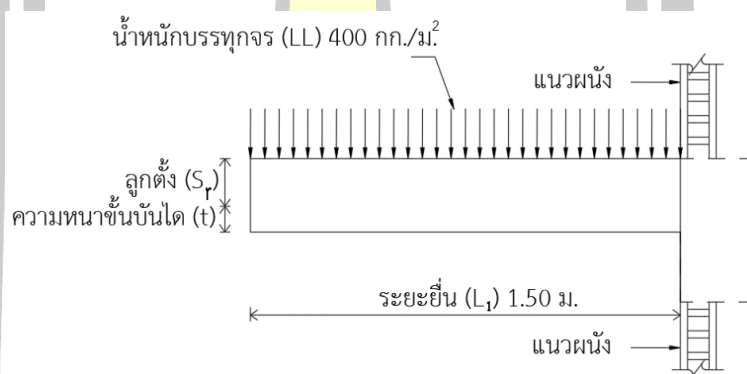
ภาพประกอบ 27 ผลการออกแบบด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 1 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD30 และ SD40



ภาพประกอบ 28 ผลการออกแบบด้วยวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 1 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD30 และ SD40

จากภาพประกอบ 26 การหาค่าตอบอย่างเหมาะสมด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 1 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 ใช้จำนวนการทำงานในการค้นหาค่าตอบ 359 รอบ ขณะที่เลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD40 ใช้จำนวน 397 รอบ ข้อมูลจากกราฟแสดงให้เห็นว่าราคารวมลดลงอย่างสม่ำเสมอในทุกช่วงการทำงานของวิธี HCA การลดลงนี้บ่งชี้ถึงความสำเร็จในการออกแบบที่มีความปลอดภัยและคุ้มค่าอย่างต่อเนื่อง เส้นกราฟที่กลายเป็นเส้นตรงในช่วงท้ายแสดงให้เห็นว่าวิธี HCA สามารถค้นพบหน้าตัดที่ดีที่สุดแล้ว ทำให้กระบวนการออกแบบมีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการค้นหาค่าก่อสร้างที่ประหยัดที่สุดและสามารถรับแรงแบกทานได้อย่างปลอดภัย

ตัวอย่างที่ 2 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ที่มีช่วงบันไดยาว 2.00 ม. ความสูงบันได 1.50 ม. เหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD30 และ SD40 เหล็กเสริมยึดชั้นบันไดใช้เป็นเหล็กเส้นกลม ชั้นคุณภาพ SR24 กำลังอัดประลัยคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน 240 กก./ซม.² ระยะหุ้มคอนกรีต 2.00 ซม. น้ำหนักบรรทุกจร 400 กก./ม.² และระยะยื่นจากผนัง 1.50 ม. รอบการทดสอบจำนวน 500 รอบ



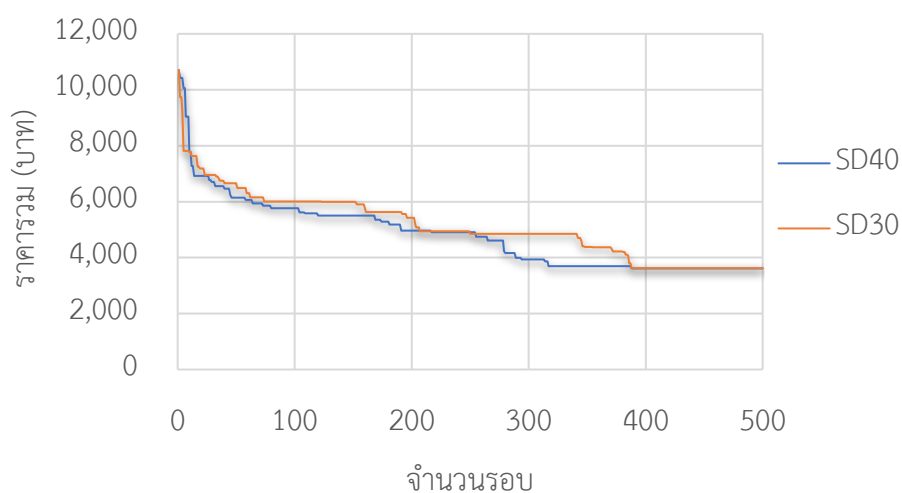
ภาพประกอบ 29 ตัวอย่างที่ 2

จากตารางที่ 8 เป็นการเปรียบเทียบผลการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง สำหรับตัวอย่างที่ 2 ด้วยวิธี HCA กับวิธี CM จากผลการศึกษาพบว่า วิธีการออกแบบ HCA สามารถประหยัดต้นทุนได้มากกว่าวิธี CM ทั้งในกรณีของการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 และ SD40 โดยกรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 ความหนาของแผ่นพื้นลดลงจาก 10 ซม. เหลือ 9 ซม. สามารถลดต้นทุนได้มากถึงร้อยละ 3.08 สำหรับกรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD40 ก็มีความประหยัดร้อยละ 3.09 ในขณะที่ความหนาของพื้นลดลงจาก 10 ซม. เป็น 9 ซม. การใช้เหล็กเสริมหลักมีปริมาณเท่ากันและเหล็กเสริมยึดชั้นบันไดมีความแตกต่างในแง่ของ

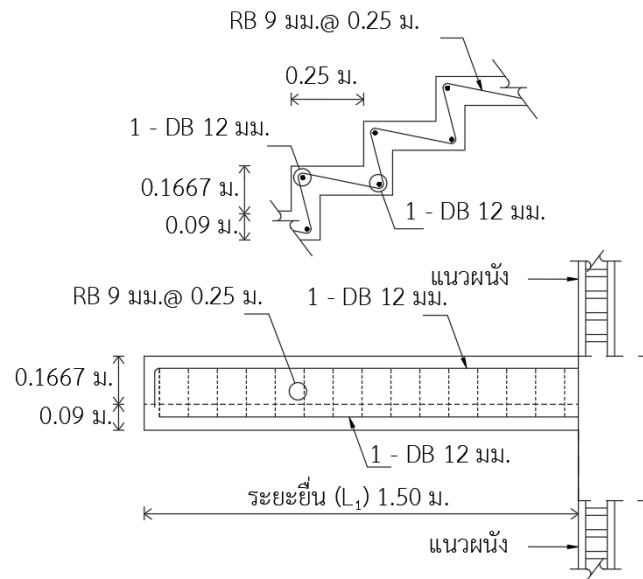
ปริมาณ ทำให้วิธี HCA เป็นตัวเลือกที่คุ้มค่าในการออกแบบโครงสร้างที่เน้นประสิทธิภาพและประหยัดงบประมาณ

ตาราง 8 การเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยวิธี HCA กับวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 2

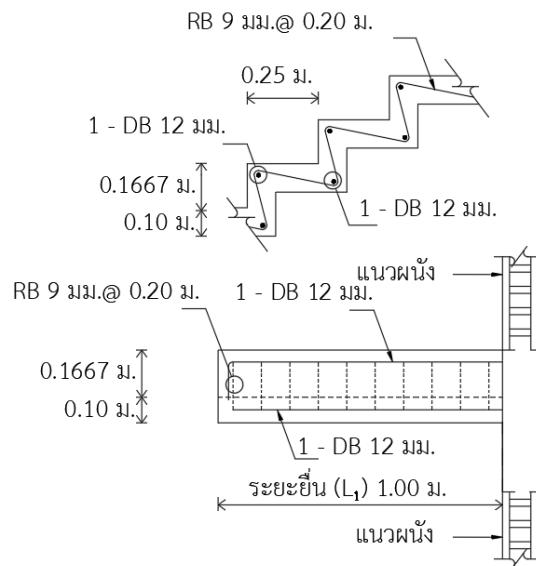
รายการ	SD30		SD40	
	HCA	CM	HCA	CM
ระยะยื่น (ม.)	1.50	1.50	1.50	1.50
ชั้นบันไดหนา (ซม.)	9.00	10.00	9.00	10.00
ขนาดลูกตั้ง (ซม.)	16.67	16.67	16.67	16.67
ขนาดลูกนอน (ซม.)	25.00	25.00	25.00	25.00
เหล็กเสริมหลัก	1DB12	1DB12	1DB12	1DB12
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได	RB9	RB9	RB9	RB9
	@0.25ม.	@0.20ม.	@0.25ม.	@0.20ม.
การแอ่นตัว (ซม.)	0.04	0.03	0.04	0.03
ราคารวม (บาท)	3,650.86	3,766.90	3,640.96	3,757.00
ร้อยละความแตกต่างราคา	3.08		3.09	



ภาพประกอบ 30 การหาค่าตอบอย่างเหมาะสมด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 2



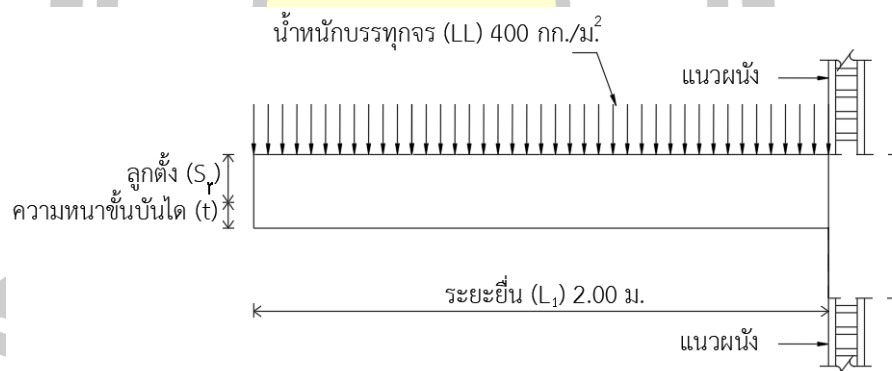
ภาพประกอบ 31 ผลการออกแบบด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 2 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD30 และ SD40



ภาพประกอบ 32 ผลการออกแบบด้วยวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 2 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD30 และ SD40

จากภาพประกอบ 30 การหาคำตอบอย่างเหมาะสมด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 2 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD40 ใช้จำนวนการทำงานค้นหาคำตอบ 388 รอบ ขณะที่กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 ใช้มากถึง 389 รอบ ซึ่งแสดงถึงความพยายามในการหาผลลัพธ์ที่แม่นยำ กราฟแสดงแนวโน้มราคาที่เปลี่ยนแปลงตามจำนวนรอบการคำนวณ ซึ่งช่วยในการตัดสินใจเลือกวิธีที่ประหยัดที่สุด ที่ผ่านเงื่อนไขตามมาตรฐาน วสท. 011007-19 กราฟแสดงให้เห็นว่าราคาที่เริ่มต้นสูงจะลดลงอย่างรวดเร็วในรอบแรกๆ และค่อยๆ ลดลงจนถึงระดับคงที่ แสดงให้เห็นว่าวิธี HCA สามารถลดต้นทุนการก่อสร้างอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ได้หน้าตัดที่ปลอดภัยและประหยัดในทุกๆ รอบการคำนวณ ในช่วงท้ายของกราฟ ราคามีแนวโน้มคงที่หลังจากการลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ซึ่งแสดงว่าวิธี HCA มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดต้นทุนหลังจากผ่านไประยะหนึ่ง

ตัวอย่างที่ 3 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ที่มีช่วงบันไดยาว 2.00 ม. ความสูงบันได 1.50 ม. เหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD30 และ SD40 เหล็กเสริมยึดชั้นบันไดใช้เป็นเหล็กเส้นกลม ชั้นคุณภาพ SR24 กำลังอัดประลัยคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน 240 กก./ซม.² ระยะหุ้มคอนกรีต 2.00 ซม. น้ำหนักบรรทุกจร 400 กก./ม.² และระยะยื่นจากผนัง 2.00 ม. รอบการทดสอบจำนวน 500 รอบ



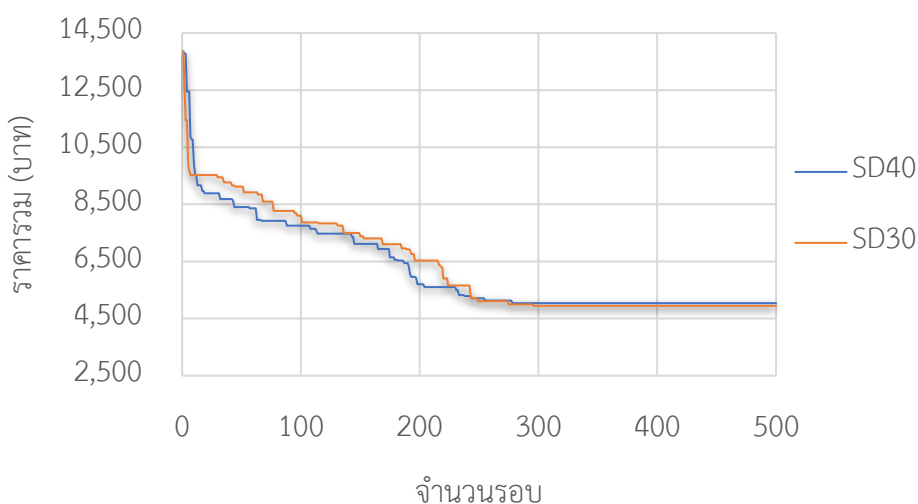
ภาพประกอบ 33 ตัวอย่างที่ 3

จากตารางที่ 9 เป็นการเปรียบเทียบผลการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังสำหรับตัวอย่างที่ 3 ด้วยวิธี HCA กับวิธี CM จากผลการศึกษาพบว่าวิธี HCA ยังคงแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการประหยัดต้นทุนได้อย่างโดดเด่น โดยวิธี HCA กรณีการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 สามารถลดต้นทุนได้มากถึงร้อยละ 3.07 ใช้ความหนาของพื้นเพียง 9 ซม. ในขณะที่

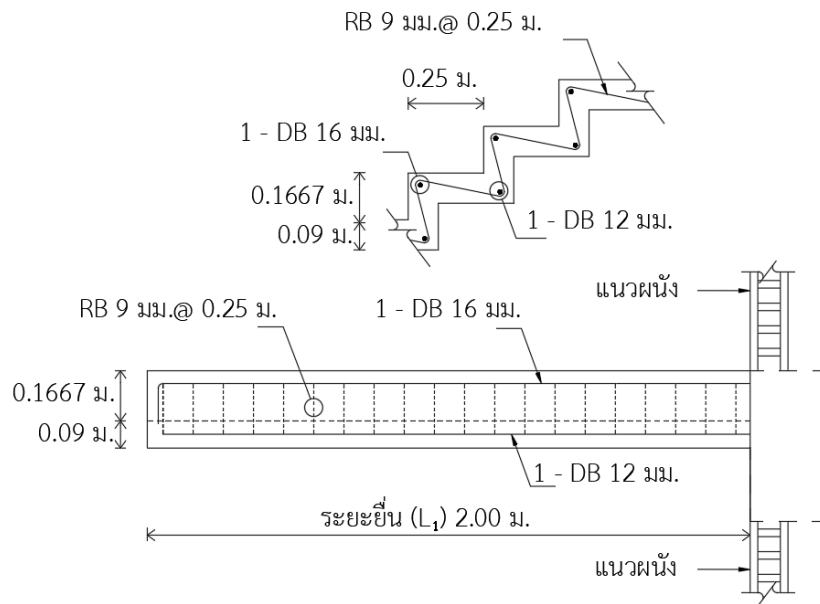
ที่วิธี CM ใช้ความหนาของพื้น 10 ซม. ส่วนในกรณีของการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
 ชั้นคุณภาพ SD40 ก็สามารลดต้นทุนได้ร้อยละ 1.75 โดยมีความหนาพื้นลดลงจาก 12 ซม. เหลือ
 เพียง 11 ซม. ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการลดขนาดหน้าตัดของโครงสร้าง แต่ยังคงประสิทธิภาพในการ
 ออกแบบโครงสร้างผ่านเงื่อนไขตามมาตรฐาน วสท. 011007-19 ไว้เป็นอย่างดีเยี่ยม

ตาราง 9 การเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยวิธี HCA กับวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 3

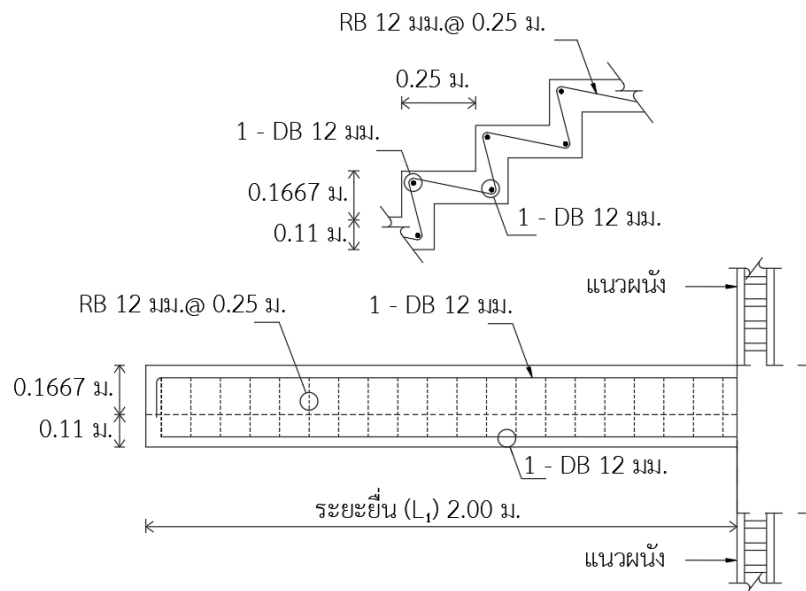
รายการ	SD30		SD40	
	HCA	CM	HCA	CM
ระยะยื่น (ม.)	2.00	2.00	2.00	2.00
ชั้นบันไดหนา (ซม.)	9.00	10.00	11.00	12.00
ขนาดลูกตั้ง (ซม.)	16.67	16.67	16.67	16.67
ขนาดลูกนอน (ซม.)	25.00	25.00	25.00	25.00
เหล็กเสริมหลัก	1DB16	2DB12	1DB12	1DB12
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได	RB9 @0.25ม.	RB9 @0.20ม.	RB12 @0.25ม.	RB9 @0.20ม.
การแอ่นตัว (ซม.)	0.13	0.11	0.09	0.08
ราคารวม (บาท)	4,973.95	5,131.23	5,088.49	5,097.86
ร้อยละความแตกต่างราคา	3.07		1.75	



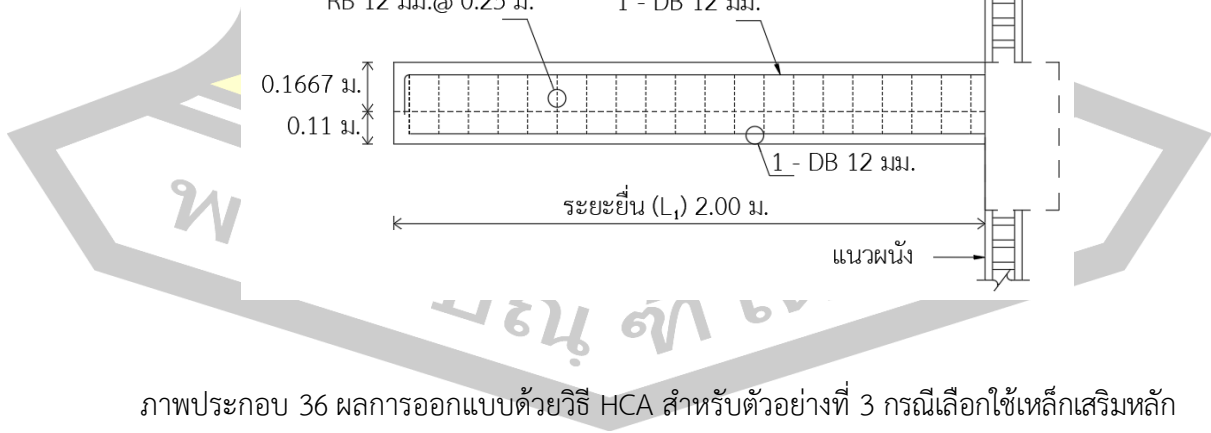
ภาพประกอบ 34 การหาคำตอบอย่างเหมาะสมด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 3

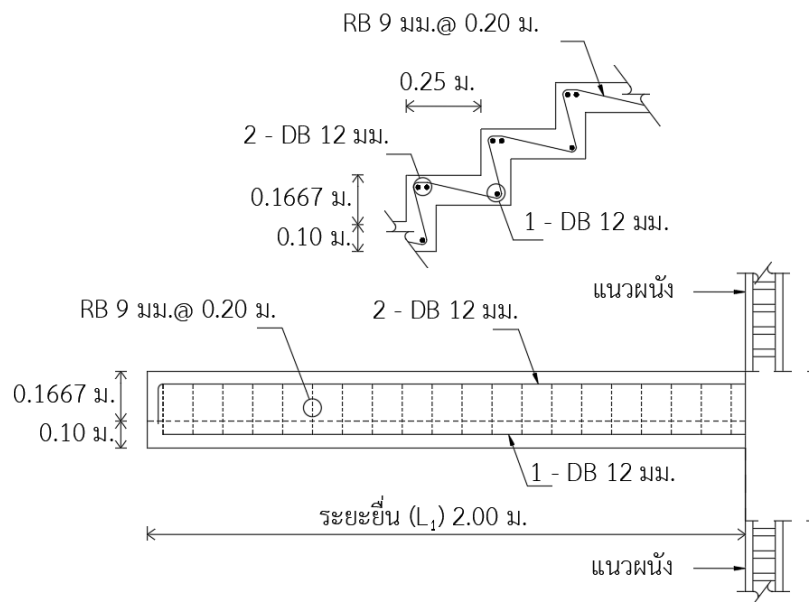


ภาพประกอบ 35 ผลการออกแบบด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 3 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD30

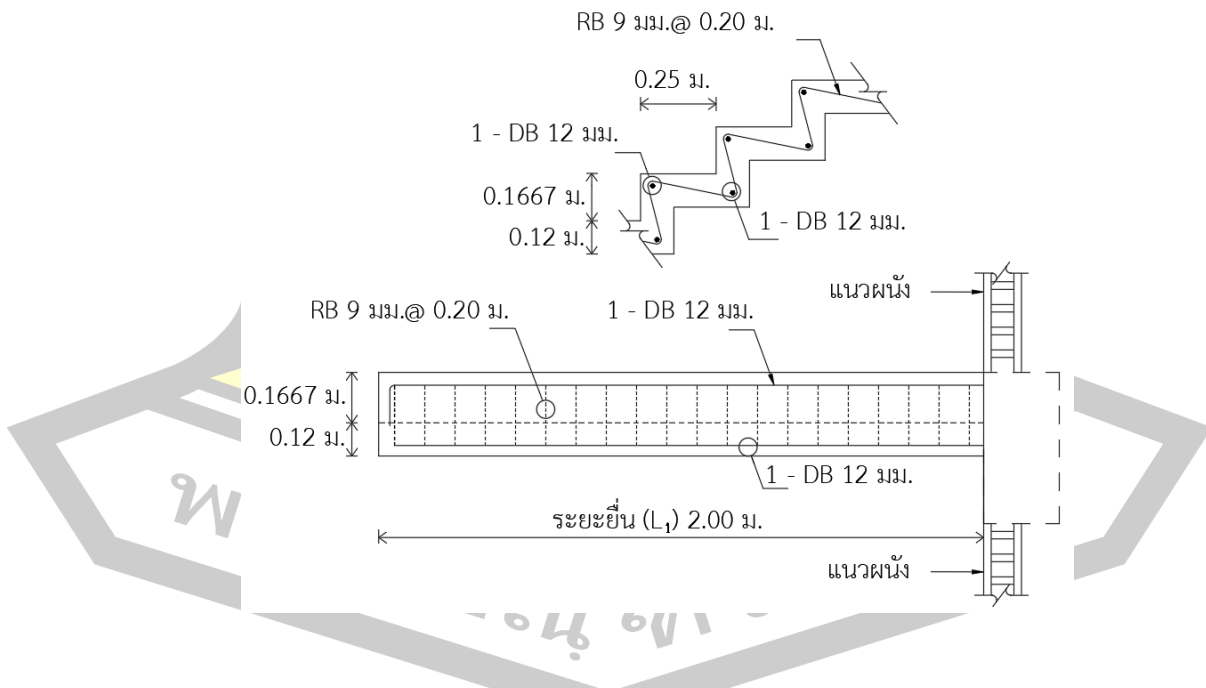


ภาพประกอบ 36 ผลการออกแบบด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 3 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD40





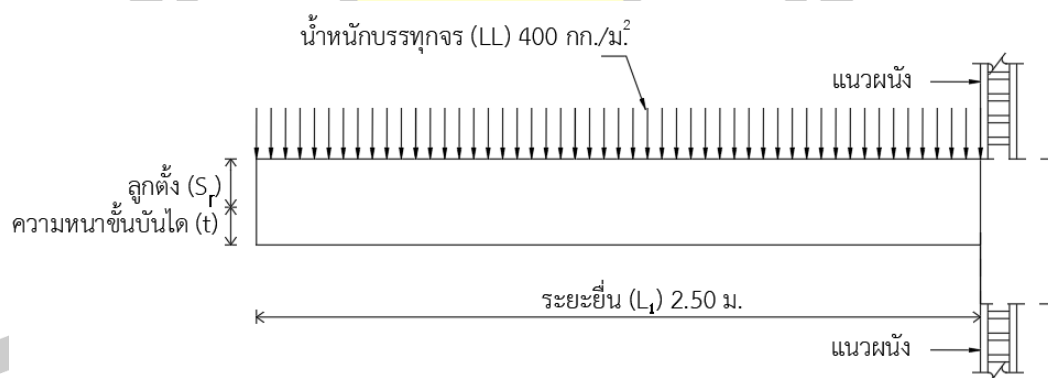
ภาพประกอบ 37 ผลการออกแบบด้วยวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 3 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD30



ภาพประกอบ 38 ผลการออกแบบด้วยวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 3 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD40

จากภาพประกอบ 34 การหาคำตอบอย่างเหมาะสมด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 3 กรณีการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 ใช้จำนวนการทำงานในการค้นหาคำตอบจำนวน 296 รอบ และกรณีการเลือกใช้เหล็กเสริมหลักชั้นคุณภาพ SD40 ใช้จำนวนการค้นหาคำตอบ 278 รอบ หากพิจารณาจากเส้นกราฟระหว่างราคารวมและจำนวนการทำงาน ซึ่งเป็นผลของการออกแบบที่ผ่านเงื่อนไขสำหรับการออกแบบตามมาตรฐาน วสท. 011007-19 ซึ่งจะเห็นว่าเส้นของกราฟมีแนวโน้มลดลงในทุกกรอบของการทำงาน แสดงให้เห็นว่าในทุกกรอบของการออกแบบจะได้หน้าตัดที่มีความปลอดภัยและมีความประหยัด มีการค้นหาคำตอบที่มีความปลอดภัยและประหยัดในทุกกรอบของการทำงาน จนกว่าจะไม่พบหน้าตัดที่ต้องการซึ่งจะเห็นว่าเส้นกราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงในช่วงท้ายของการทำงานก่อนที่จะมีการหยุดการทำงานในที่สุด

ตัวอย่างที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ที่มีช่วงบันไดยาว 2.00 ม. ความสูงบันได 1.50 ม. เหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD30 และ SD40 เหล็กเสริมยึดชั้นบันไดใช้เป็นเหล็กเส้นกลม ชั้นคุณภาพ SR24 กำลังอัดประลัยคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน 240 กก./ cm^2 ระยะหุ้มคอนกรีต 2.00 ซม. น้ำหนักบรรทุกจร 400 กก./ m^2 และระยะยื่นจากผนัง 2.50 ม. รอบการทดสอบจำนวน 500 รอบ



ภาพประกอบ 39 ตัวอย่างที่ 4

จากตารางที่ 10 เป็นการเปรียบเทียบผลการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังสำหรับตัวอย่างที่ 4 ด้วยวิธี HCA กับวิธี CM จากผลการศึกษาพบว่า การออกแบบด้วยวิธี HCA ช่วยลดขนาดพื้นที่หน้าตัดและปริมาณวัสดุของโครงสร้างได้ดีกว่าวิธี CM โดยการออกแบบด้วยวิธี HCA กรณีการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 ใช้ความหนาพื้น 14 ซม. ซึ่งน้อยกว่าวิธี CM ที่ใช้ 13 ซม. ใช้เหล็กเสริมยึดชั้นบันได RB12 ระยะห่าง 0.25 ม. ในขณะที่วิธี CM ใช้ RB9

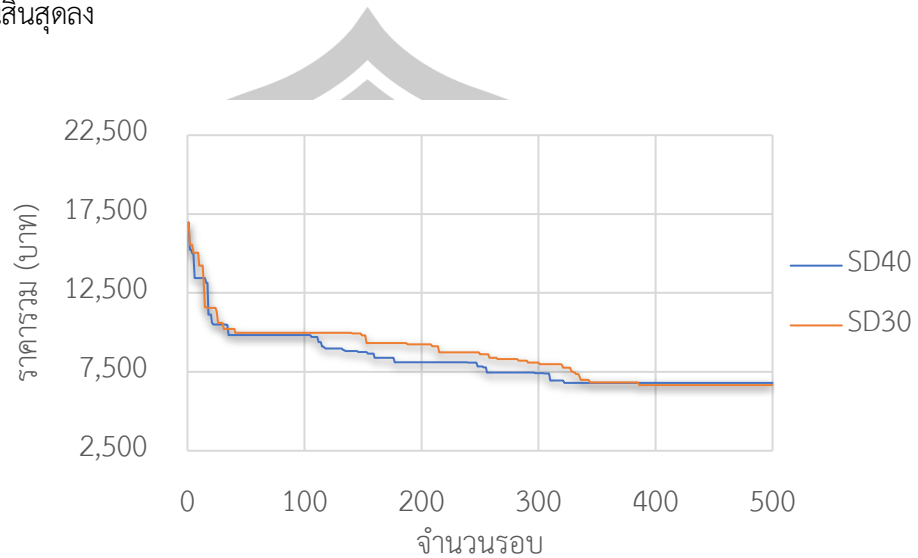
ระยะห่าง 0.15 ม. ในขณะที่วิธี HCA ใช้เหล็กเสริมหลัก 1DB16 ขณะที่วิธี CM ใช้ 2DB12 ส่งผลให้การออกแบบบันไดด้วยวิธี HCA มีราคารวมต่ำกว่าบันไดที่ออกแบบด้วยวิธี CM คิดเป็นร้อยละ 2.20 สำหรับกรณีการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD40 วิธี HCA ใช้ความหนาพื้น 14 ซม. ซึ่งน้อยกว่าวิธี CM ที่ใช้ 15 ซม. ในขณะที่เหล็กเสริมหลักใช้เท่ากัน วิธี HCA ใช้เหล็กเสริมยึดชั้นบันได RB12 ระยะห่าง 0.25 ม. ในขณะที่วิธี CM ใช้ RB9 ระยะห่าง 0.15 ม. จากการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD40 ส่งผลให้การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังด้วยวิธี HCA มีราคารวมต่ำกว่าบันไดที่ออกแบบด้วยวิธี CM คิดเป็นร้อยละ 1.53

ตาราง 10 การเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยวิธี HCA กับวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 4

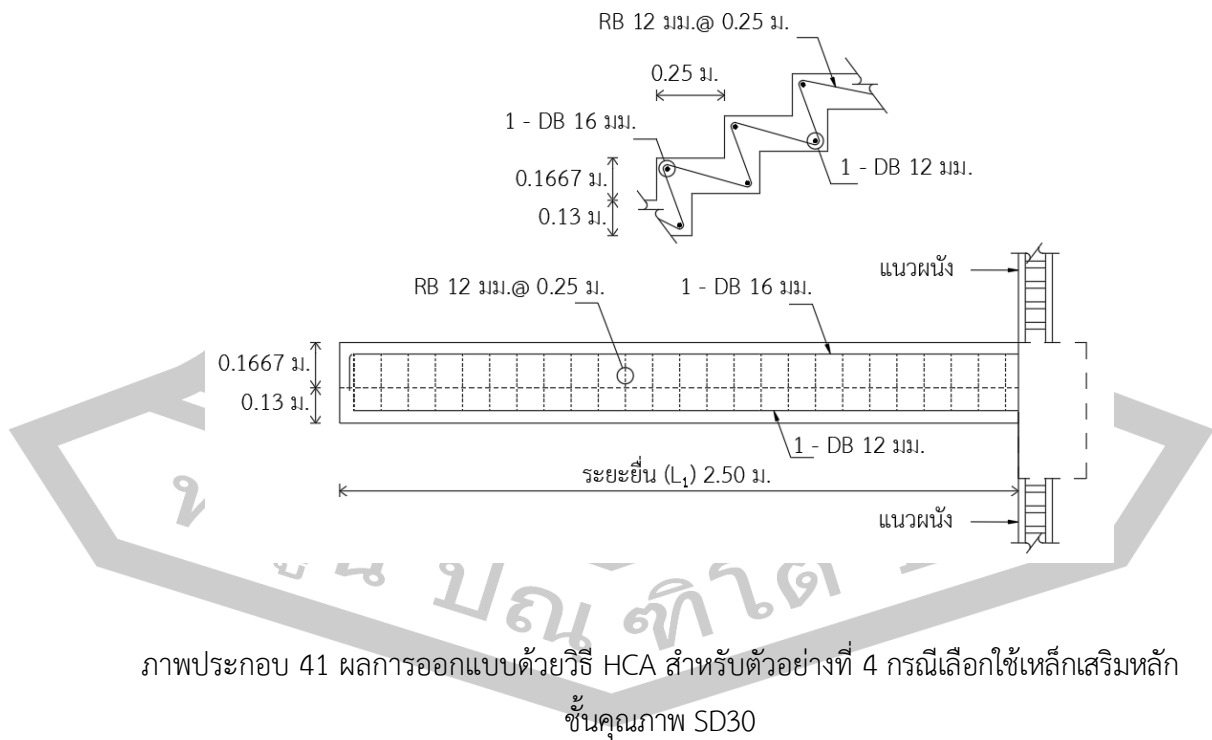
รายการ	SD30		SD40	
	HCA	CM	HCA	CM
ระยะยื่น (ม.)	2.50	2.50	2.50	2.50
ชั้นบันไดหนา (ซม.)	13.00	14.00	14.00	15.00
ขนาดลูกตั้ง (ซม.)	16.67	16.67	16.67	16.67
ขนาดลูกนอน (ซม.)	25.00	25.00	25.00	25.00
เหล็กเสริมหลัก	1DB16	2DB12	2DB12	2DB12
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได	RB12 @0.25ม.	RB9 @0.15ม.	RB12 @0.25ม.	RB9 @0.15ม.
การแอ่นตัว (ซม.)	0.17	0.15	0.15	0.13
ราคารวม (บาท)	6,709.75	6,860.50	6,850.60	6,956.76
ร้อยละความแตกต่างราคา	2.20		1.53	

จากภาพประกอบ 40 การหาค่าตอบอย่างเหมาะสมด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 4 กรณีการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 ใช้จำนวนรอบในการค้นหาคำตอบทั้งสิ้น 386 รอบ และกรณีการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD40 ใช้จำนวน 322 รอบ เมื่อพิจารณาเส้นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคารวมและจำนวนรอบการทำงาน ซึ่งจะเห็นว่าเส้นของกราฟมีแนวโน้มลดลงในทุกๆ รอบของการทำงาน ซึ่งเป็นผลจากการออกแบบที่ผ่านเงื่อนไขสำหรับการออกแบบตามมาตรฐาน วสท. 011007-19 เส้นกราฟแสดงให้เห็นว่า ในทุกรอบของการออกแบบสามารถสร้างความประหยัดและปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น โดยมีการค้นหาคำตอบที่ให้ผลลัพธ์ทั้งความปลอดภัยและประหยัดที่เหมาะสม

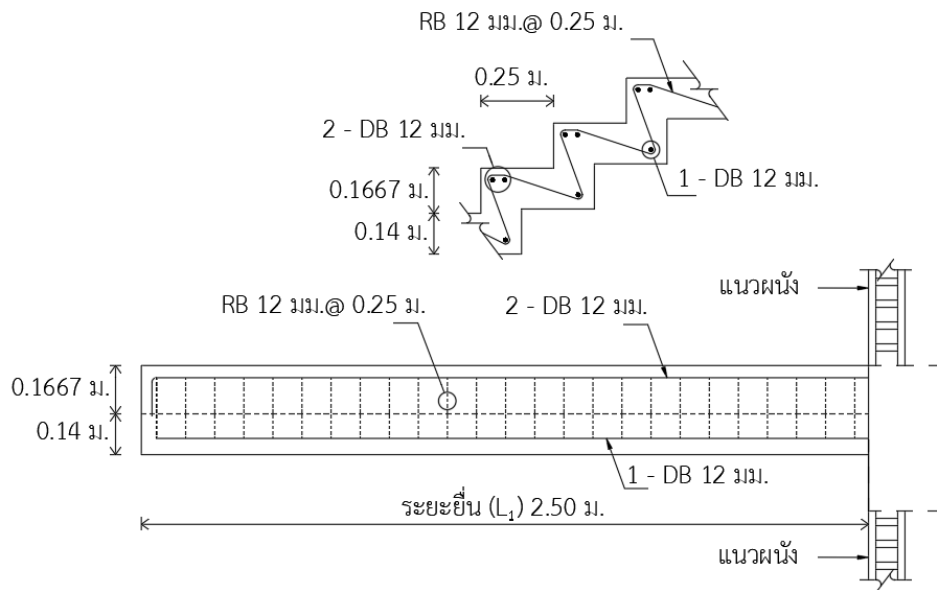
จนกระทั่งเส้นกราฟเริ่มคงที่ในช่วงท้าย บ่งบอกว่าไม่สามารถค้นหาคำตอบที่เหมาะสมเพิ่มเติมได้อีกส่งผลให้การทำงานสิ้นสุดลง



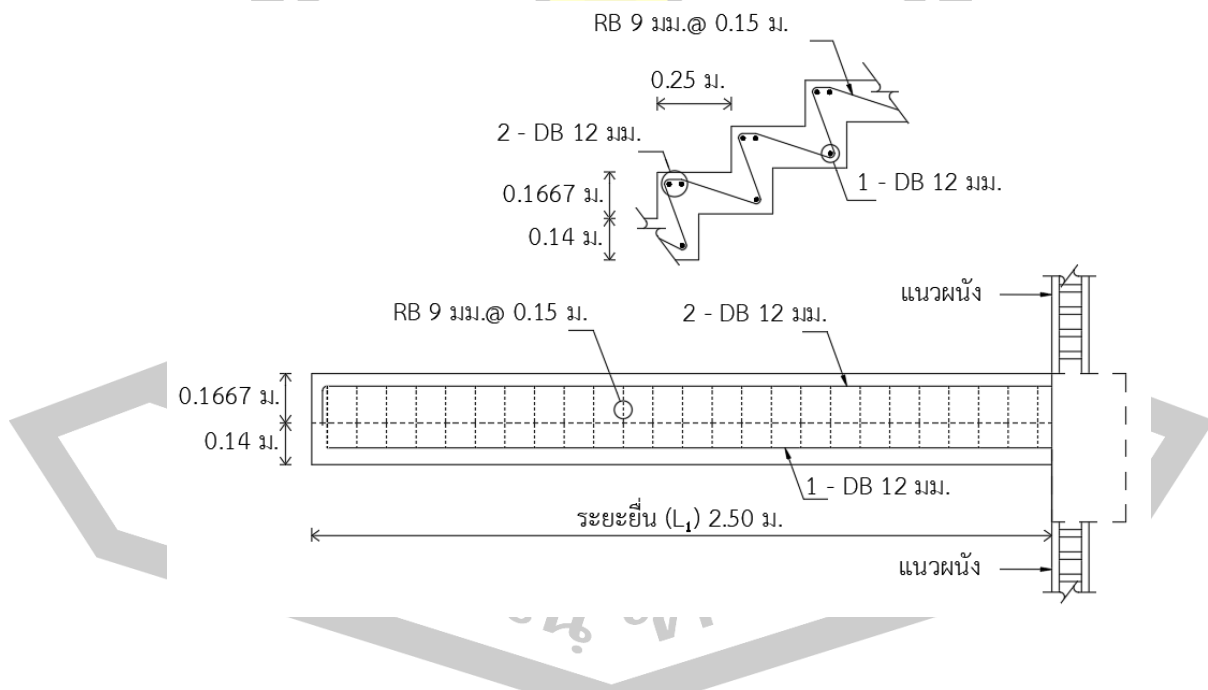
ภาพประกอบ 40 การหาคำตอบอย่างเหมาะสมด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 4



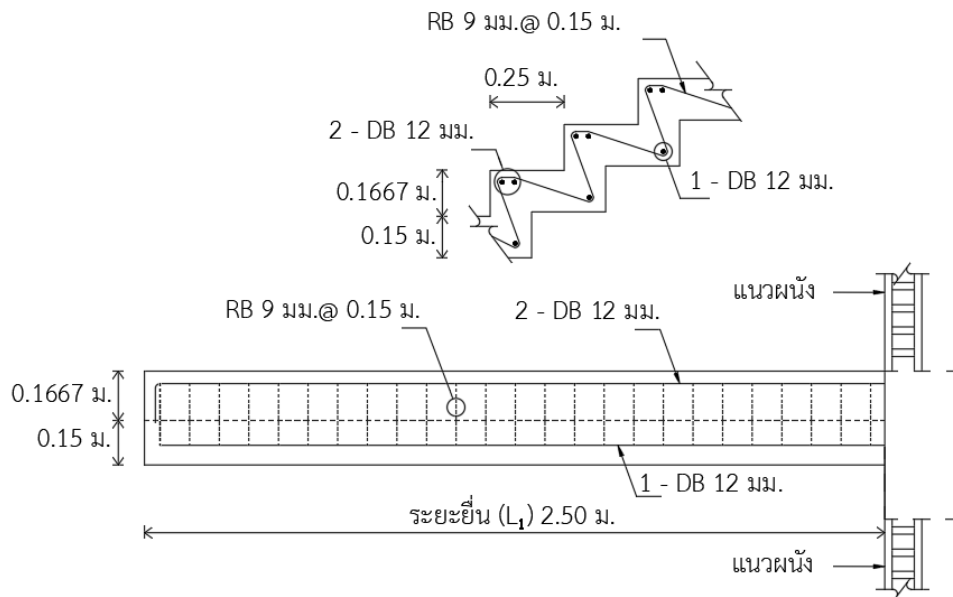
ภาพประกอบ 41 ผลการออกแบบด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 4 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD30



ภาพประกอบ 42 ผลการออกแบบด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 4 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD40

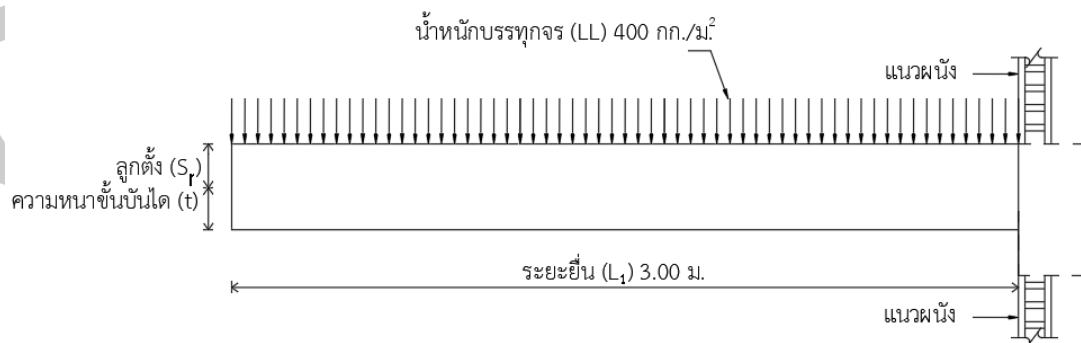


ภาพประกอบ 43 ผลการออกแบบด้วยวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 4 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD30



ภาพประกอบ 44 ผลการออกแบบด้วยวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 4 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD40

ตัวอย่างที่ 5 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ที่มีช่วงบันไดยาว 2.00 ม. ความสูงบันได 1.50 ม. เหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD30 และ SD40 เหล็กเสริมยึดชั้นบันไดใช้เป็นเหล็กเส้นกลม ชั้นคุณภาพ SR24 กำลังอัดประลัยคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน 240 กก./ cm^2 ระยะหุ้มคอนกรีต 2.00 ซม. น้ำหนักบรรทุกจร 400 กก./ m^2 และระยะยื่นจากผนัง 3.00 ม. รอบการทดสอบจำนวน 50 รอบ



ภาพประกอบ 45 ตัวอย่างที่ 5

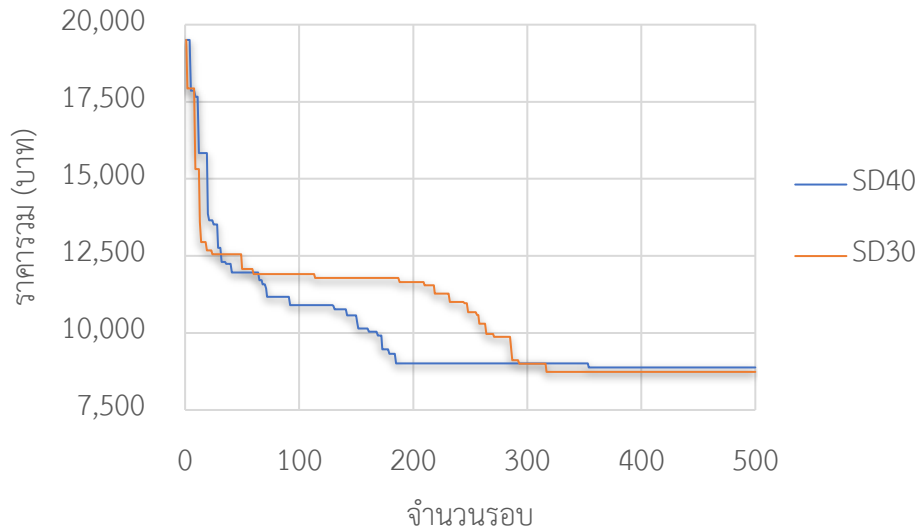
จากตารางที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบผลการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่น จากผนังสำหรับตัวอย่างที่ 5 ระหว่างวิธี HCA กับวิธี CM จากผลการศึกษาพบว่าวิธี HCA กรณีการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 ใช้ความหนาของพื้นเพียง 16 ซม. ซึ่งน้อยกว่าวิธี CM ที่ใช้ 17 ซม. ในขณะที่เหล็กเสริมหลัก วิธี HCA ใช้ 3DB12 ขณะที่วิธี CM ใช้ 2DB12 สำหรับเหล็กเสริมยึดชั้นบันได วิธี HCA ใช้ RB12 ระยะห่าง 0.25 ม. ซึ่งวิธี CM ที่ใช้ RB9 ระยะห่าง 0.125 ม. สำหรับกรณีการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD40 วิธี HCA ใช้ความหนาพื้น 19 ซม. ซึ่งยังมีความหนาน้อยกว่าวิธี CM ที่ใช้ 20 ซม. อย่างไรก็ตามกรณีการเลือกใช้เหล็กเสริมยึดชั้นบันไดวิธี HCA ใช้ปริมาณที่น้อยกว่าวิธี CM จากการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 และ SD40 ส่งผลให้วิธี HCA มีต้นทุนที่ต่ำกว่าวิธี CM คิดเป็นร้อยละ 1.50 และ 0.56 ตามลำดับ

ตาราง 11 การเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยวิธี HCA กับวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 5

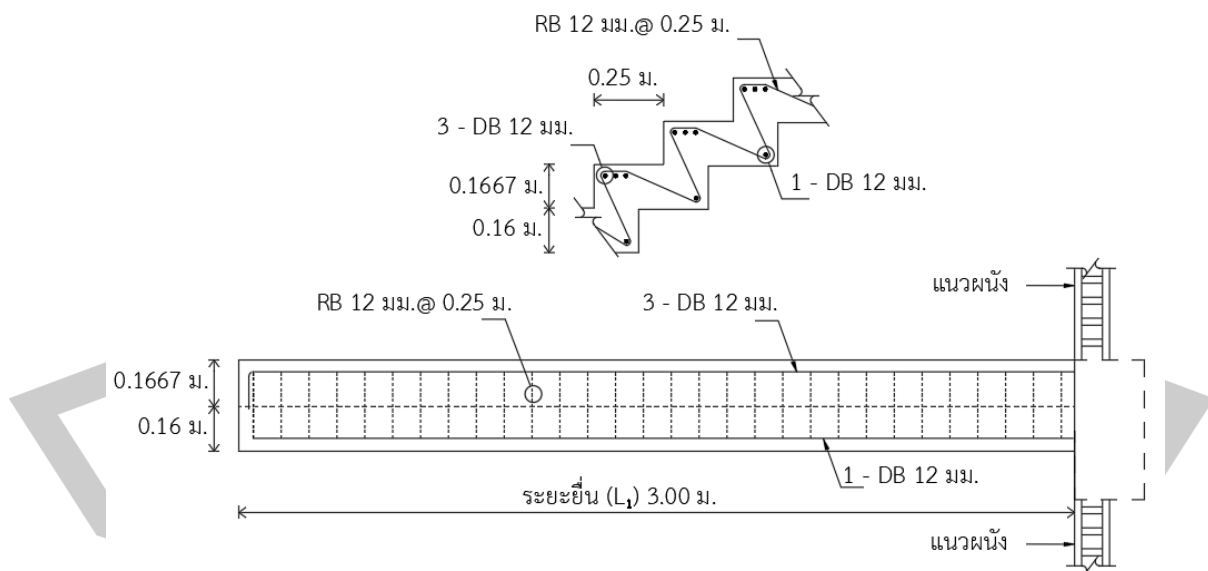
รายการ	SD30		SD40	
	HCA	CM	HCA	CM
ระยะยื่น (ม.)	3.00	3.00	3.00	3.00
ชั้นบันไดหนา (ซม.)	16.00	17.00	19.00	20.00
ขนาดลูกตั้ง (ซม.)	16.67	16.67	16.67	16.67
ขนาดลูกนอน (ซม.)	25.00	25.00	25.00	25.00
เหล็กเสริมหลัก	3DB12	2DB12	2DB12	2DB12
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได	RB12 @0.25ม.	RB9 @0.125ม.	RB15 @0.25ม.	RB9 @0.10ม.
การแอ่นตัว (ซม.)	0.24	0.22	0.17	0.16
ราคารวม (บาท)	8,785.10	8,919.15	8,956.18	9,006.51
ร้อยละความแตกต่างราคา		1.50		0.56

จากภาพประกอบ 46 การหาค่าตอบอย่างเหมาะสมด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 5 กรณีการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 ใช้จำนวนรอบในการค้นหาคำตอบทั้งสิ้น 317 รอบ สำหรับกรณีการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD40 ใช้จำนวนการทำงาน 354 รอบ เมื่อพิจารณาเส้นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคารวมและจำนวนรอบการทำงาน ซึ่งจะเห็นว่าเส้นของกราฟมีแนวโน้มลดลงในทุกกรอบของการทำงาน ซึ่งเป็นผลจากการออกแบบที่ผ่านเงื่อนไขสำหรับการออกแบบตามมาตรฐาน วสท. 011007-19 เส้นกราฟแสดงให้เห็นว่า ในทุกกรอบของการออกแบบสามารถสร้างความประหยัดและปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น โดยมีการค้นหาคำตอบที่ให้ผลลัพธ์ทั้งความปลอดภัยและ

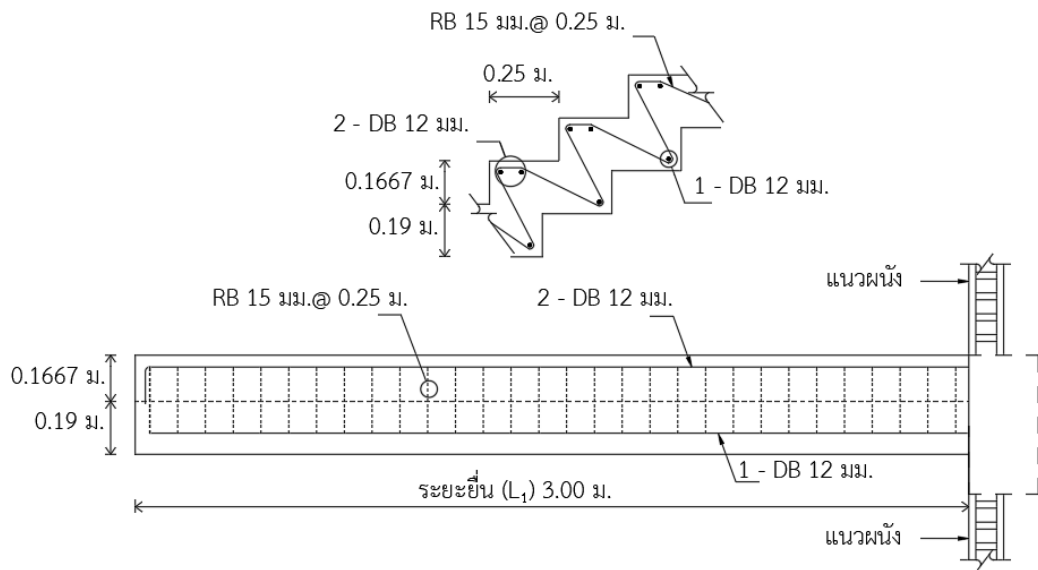
ประหยัดที่เหมาะสม จนกระทั่งเส้นกราฟเริ่มคงที่ในช่วงท้าย บ่งบอกว่าไม่สามารถค้นหาคำตอบที่เหมาะสมเพิ่มเติมได้อีกส่งผลให้การทำงานสิ้นสุดลง



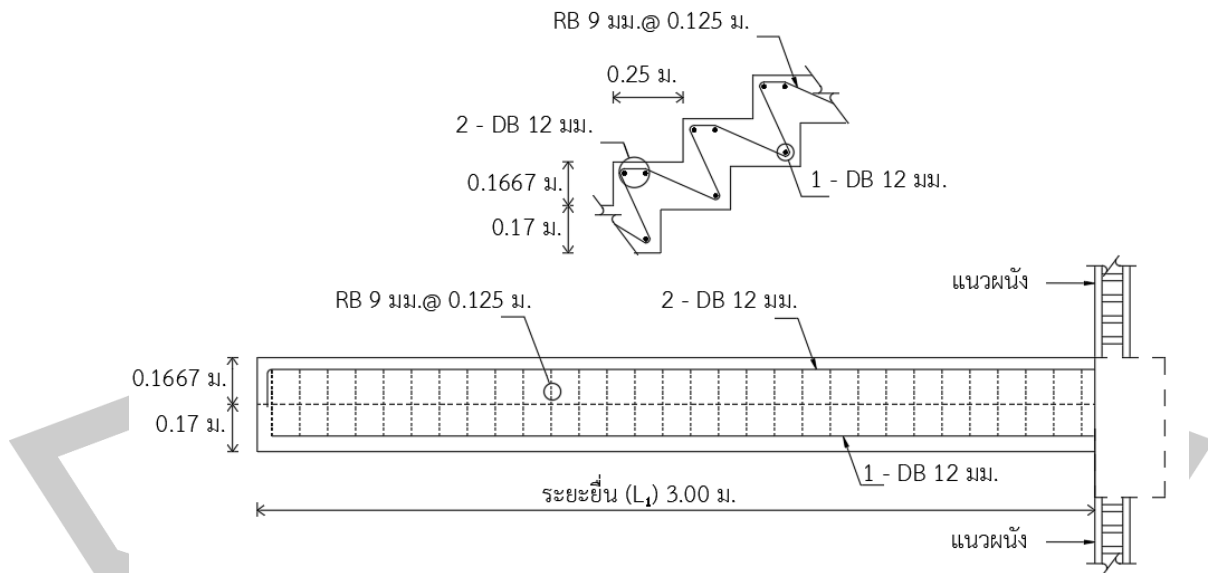
ภาพประกอบ 46 การหาคำตอบอย่างเหมาะสมด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 5



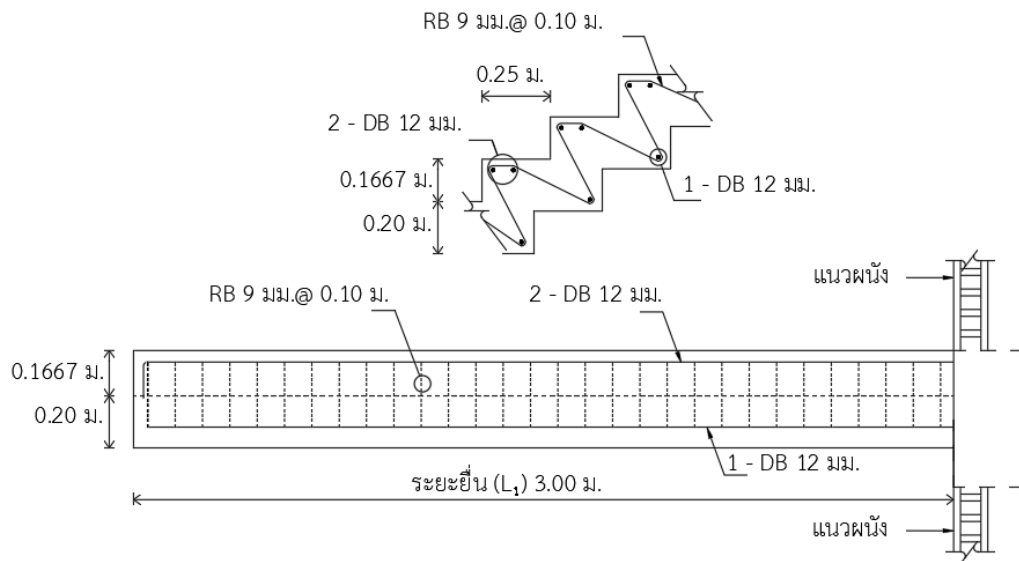
ภาพประกอบ 47 ผลการออกแบบด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 5 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD30



ภาพประกอบ 48 ผลการออกแบบด้วยวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 5 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD40



ภาพประกอบ 49 ผลการออกแบบด้วยวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 5 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD30



ภาพประกอบ 50 ผลการออกแบบด้วยวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 5 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD40

ตาราง 12 สรุปผลการออกแบบด้วยวิธี HCA กับวิธี CM กรณีเหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย
ชั้นคุณภาพ SD30 สำหรับทั้ง 5 ตัวอย่าง

รายการ	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2		ตัวอย่างที่ 3	
	HCA	CM	HCA	CM	HCA	CM
ระยะยี่น (ม.)	1.00	1.00	1.50	1.50	2.00	2.00
ชั้นบันไดหนา (ซม.)	9.00	10.00	9.00	10.00	9.00	10.00
ขนาดลูกตั้ง (ซม.)	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67
ขนาดลูกนอน (ซม.)	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
เหล็กเสริมหลัก	1DB12	1DB12	1DB12	1DB12	1DB16	2DB12
เหล็กเสริมยึด	RB9	RB9	RB9	RB9	RB9	RB9
ชั้นบันได	@0.25ม.	@0.20ม.	@0.25ม.	@0.20ม.	@0.25ม.	@0.20ม.
การแอ่นตัว (ซม.)	0.008	0.007	0.04	0.03	0.13	0.11
ราคารวม (บาท)	2,524.46	2,616.31	3,650.86	3,766.90	4,973.95	5,131.23
ร้อยละความแตกต่าง		3.51		3.08		3.07
ราคา						

ตาราง 13 สรุปผลการออกแบบด้วยวิธี HCA กับวิธี CM กรณีเหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย
ชั้นคุณภาพ SD30 สำหรับทั้ง 5 ตัวอย่าง (ต่อ)

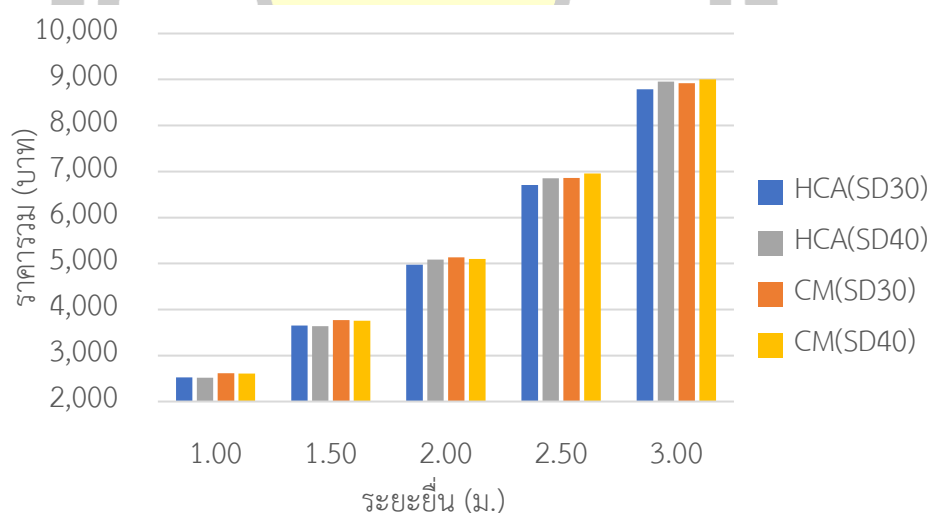
รายการ	ตัวอย่างที่ 4		ตัวอย่างที่ 5	
	HCA	CM	HCA	CM
ระยะยื่น (ม.)	2.50	2.50	3.00	3.00
ชั้นบันไดหนา (ซม.)	13.00	14.00	16.00	17.00
ขนาดลูกตั้ง (ซม.)	16.67	16.67	16.67	16.67
ขนาดลูกนอน (ซม.)	25.00	25.00	25.00	25.00
เหล็กเสริมหลัก	1DB16	2DB12	3DB12	2DB12
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได	RB12 @0.25ม.	RB9 @0.15ม.	RB12 @0.25ม.	RB9 @0.125ม.
การแอ่นตัว (ซม.)	0.17	0.15	0.24	0.22
ราคารวม (บาท)	6,709.75	6,860.50	8,785.10	8,919.15
ร้อยละความแตกต่างราคา	2.20		1.50	

ตาราง 14 สรุปผลการออกแบบด้วยวิธี HCA กับวิธี CM กรณีเหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย
ชั้นคุณภาพ SD40 สำหรับทั้ง 5 ตัวอย่าง

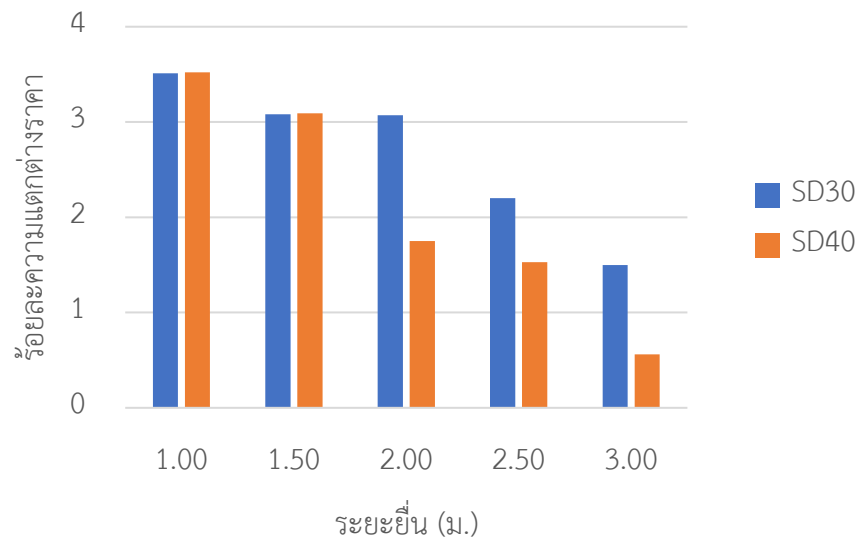
รายการ	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2		ตัวอย่างที่ 3	
	HCA	CM	HCA	CM	HCA	CM
ระยะยื่น (ม.)	1.00	1.00	1.50	1.50	2.00	2.00
ชั้นบันไดหนา (ซม.)	9.00	10.00	9.00	10.00	11.00	12.00
ขนาดลูกตั้ง (ซม.)	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67
ขนาดลูกนอน (ซม.)	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
เหล็กเสริมหลัก	1DB12	1DB12	1DB12	1DB12	1DB12	1DB12
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได	RB9 @0.25ม.	RB9 @0.20ม.	RB9 @0.25ม.	RB9 @0.20ม.	RB12 @0.25ม.	RB9 @0.20ม.
การแอ่นตัว (ซม.)	0.008	0.007	0.04	0.03	0.09	0.08
ราคารวม (บาท)	2,517.86	2,609.71	3,640.96	3,757.00	5,088.49	5,097.86
ร้อยละความแตกต่าง ราคา	3.52		3.09		1.75	

ตาราง 15 สรุปผลการออกแบบด้วยวิธี HCA กับวิธี CM กรณีเหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย
ชั้นคุณภาพ SD40 สำหรับทั้ง 5 ตัวอย่าง (ต่อ)

รายการ	ตัวอย่างที่ 4		ตัวอย่างที่ 5	
	HCA	CM	HCA	CM
ระยะยื่น (ม.)	2.50	2.50	3.00	3.00
ชั้นบันไดหนา (ซม.)	14.00	15.00	19.00	20.00
ขนาดลูกตั้ง (ซม.)	16.67	16.67	16.67	16.67
ขนาดลูกนอน (ซม.)	25.00	25.00	25.00	25.00
เหล็กเสริมหลัก	2DB12	2DB12	2DB12	2DB12
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได	RB12 @0.25ม.	RB9 @0.15ม.	RB15 @0.25ม.	RB9 @0.10ม.
การแอ่นตัว (ซม.)	0.15	0.13	0.17	0.16
ราคารวม (บาท)	6,850.60	6,956.76	8,956.18	9,006.51
ร้อยละความแตกต่างราคา	1.53		0.56	



ภาพประกอบ 51 การเพิ่มขึ้นของราคารวมเมื่อเพิ่มระยะยื่นจากผนัง



ภาพประกอบ 52 แนวโน้มการลดลงของร้อยละความแตกต่างราคา กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD30 และ SD40 เมื่อเพิ่มระยะยื่นจากผนัง

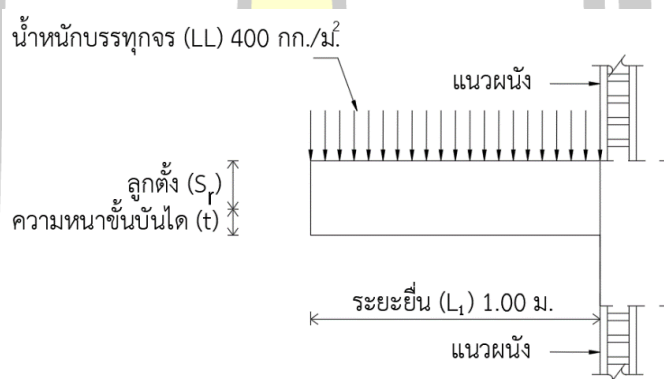
การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังโดยเลือกใช้เหล็กชั้นคุณภาพ SD40 ด้วยวิธี HCA แสดงถึงการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงวัสดุและการลดต้นทุนได้ดีกว่าวิธี CM เนื่องจากสมรรถนะของเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD40 ที่มีกำลังรับแรงดึงสูง ช่วยลดปริมาณวัสดุ ขณะที่วิธี CM มีการเผื่อปัจจัยความปลอดภัยสูง ส่งผลให้ใช้วัสดุในปริมาณมากขึ้น ทั้งนี้สอดคล้องกับทฤษฎีด้านวิศวกรรมที่มุ่งเน้นความสมดุลระหว่างความแข็งแรงและความคุ้มค่า ตามภาพประกอบ 51 โดยเฉพาะตัวอย่างทดสอบระยะยื่น 1.00 ม. ถึง 2.00 ม. การใช้เหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD40 ช่วยลดความแตกต่างต้นทุนระหว่างสองวิธีเนื่องจากสมรรถนะการรับแรงดึงที่สูงกว่า อย่างไรก็ตาม สำหรับตัวอย่างทดสอบระยะยื่น 2.50 ม. ถึง 3.00 ม. ทั้งสองวิธีต้องเพิ่มวัสดุเพื่อคงความปลอดภัยของโครงสร้างตามหลักวิศวกรรมโครงสร้าง ดังภาพประกอบ 52

พหุบัน ปณุ ทิโต ชีเว

กรณีศึกษา 2 : วิธี BA เปรียบเทียบกับ วิธี HCA

ผลการทดสอบการหาคำตอบอย่างเหมาะสมด้วยวิธี BA เมื่อเปรียบเทียบกับ วิธี HCA ด้วยการกำหนดกำลังอัดประลัยต่ำสุดของคอนกรีต ขนาดและกำลังครากของเหล็กเสริมคอนกรีต ความสูงและช่วงความยาวของบันได ความหนาชั้นบันไดเริ่มต้น ระยะยื่นจากผนัง น้ำหนักบรรทุกจร รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่อื่นๆ เพื่อหาขนาดหน้าตัดและปริมาณเหล็กเสริมอย่างเหมาะสมแต่ตัวอย่าง ได้ผลการทดสอบ ดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ที่มีช่วงบันได ยาว 2.00 ม. ความสูงบันได 1.50 ม. เหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD30 เหล็กเสริมยึดชั้นบันไดใช้เป็นเหล็กเส้นกลม ชั้นคุณภาพ SR24 กำลังอัดประลัยคอนกรีตรูปทรงระบอก มาตรฐาน 240 กก./ cm^2 ระยะหุ้มคอนกรีต 2.00 ซม. น้ำหนักบรรทุกจร 400 กก./ m^2 และระยะยื่น จากผนัง 1.00 ม. รอบการทดสอบจำนวน 500 รอบ



ภาพประกอบ 53 ตัวอย่างที่ 1

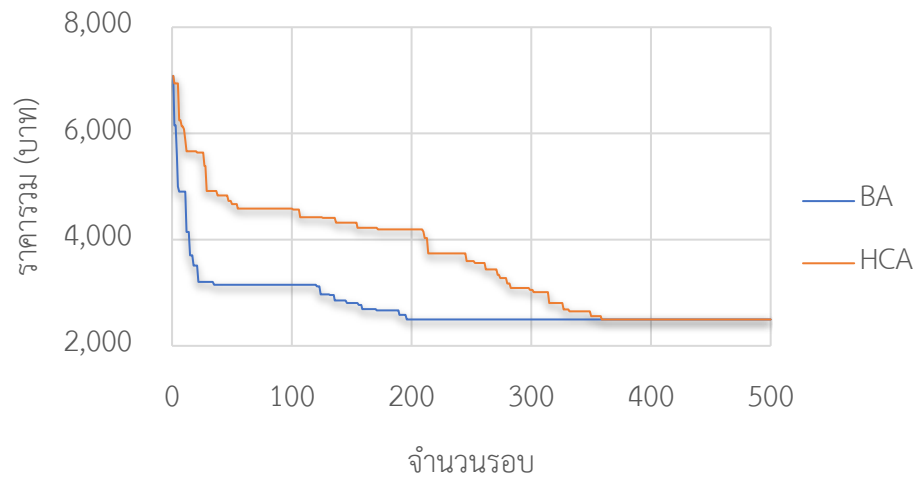
จากตารางที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบผลการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่น จากผนังของตัวอย่างที่ 1 ระหว่างวิธี BA และ HCA ผลการศึกษาพบว่าวิธี BA สามารถหาคำตอบที่ เหมาะสมได้อย่างรวดเร็วกว่า โดยใช้เพียง 196 รอบคำตอบ ขณะที่วิธี HCA ต้องใช้ถึง 359 รอบ คิดเป็นความแตกต่างของจำนวนรอบที่สูงถึงร้อยละ 45.40

จากภาพประกอบ 54 การหาคำตอบอย่างเหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 1 เมื่อพิจารณาเส้นกราฟระหว่างราคารวมและจำนวนรอบ จะพบว่าวิธี BA มีการลดลงของเส้นกราฟอย่างรวดเร็ว เนื่องจากใช้วิธีการสุ่มขนาดหน้าตัดแบบแบ่งครึ่งช่วง ทำให้สามารถค้นหาคำตอบได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่วิธี HCA มีเส้นกราฟที่ลดลงในทุกๆ รอบ แต่เป็นการลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไป เนื่องจากการสุ่มขนาดหน้าตัดเพียงเล็กน้อย เมื่อนำทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบกัน จะเห็นได้ชัดว่าเส้นกราฟของวิธี BA แสดงให้เห็นถึงความเร็วในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่มากกว่าวิธี HCA

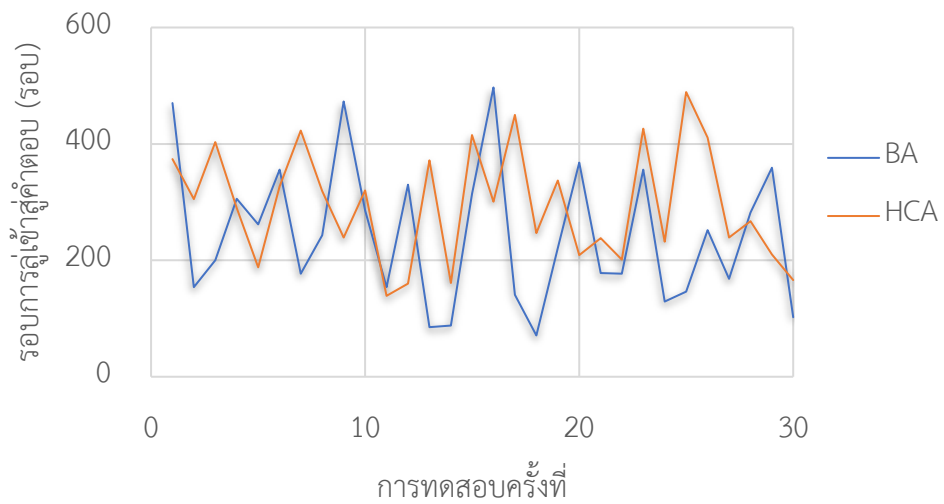
จากภาพประกอบ 55 ผลการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง ของทั้งสองอัลกอริทึมสำหรับตัวอย่างที่ 1 พบว่าวิธี BA สามารถค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้เร็วกว่าวิธี HCA มากถึง 19 ครั้ง โดยมีจำนวนรอบการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมเฉลี่ยเท่ากับ 244.83 รอบ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 119.17 การลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมเฉลี่ยทั้งสองอัลกอริทึมแตกต่างกันถึงร้อยละ 17.08 ดังแสดงในตาราง 17

ตาราง 16 การเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยวิธี BA กับวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 1

รายการ	ตัวอย่างที่ 1	
	BA	HCA
ระยะยื่น (ม.)	1.00	1.00
ชั้นบันไดหนา (ซม.)	9.00	9.00
ขนาดลูกตั้ง (ซม.)	16.67	16.67
ขนาดลูกนอน (ซม.)	25.00	25.00
เหล็กเสริมหลัก (ต่อ 1 ชั้น)	1-DB12	1-DB12
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได	RB9 @0.25ม.	RB9 @0.25ม.
ค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้น (ซม.)	0.008	0.008
ราคารวม (บาท)	2,524.46	2,524.46
รอบคำตอบ (รอบ)	196	359
ร้อยละความแตกต่างรอบ	45.40	

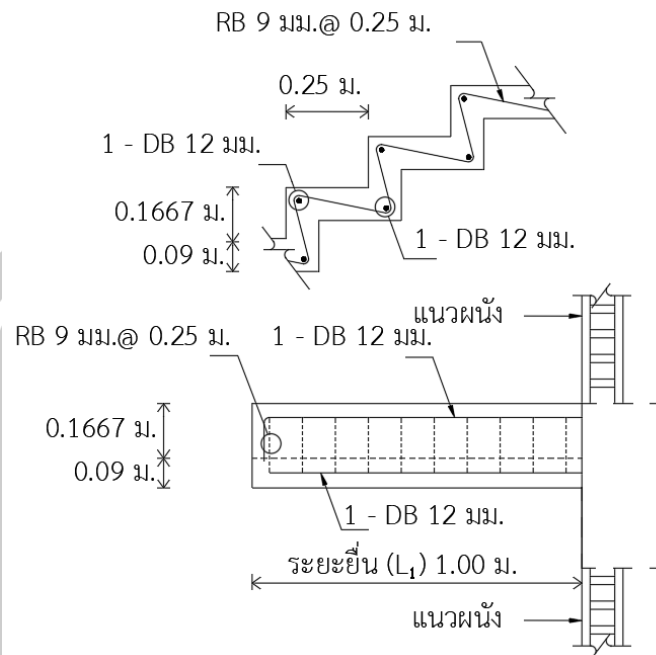


ภาพประกอบ 54 การหาค่าตอบที่เหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 1



ภาพประกอบ 55 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่ใช้ในการทำงานกับการทดสอบแต่ละครั้ง สำหรับตัวอย่างที่ 1



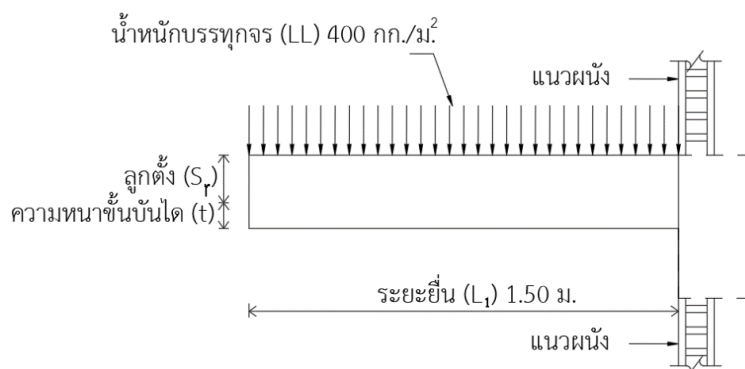


ภาพประกอบ 56 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA และ HCA สำหรับตัวอย่างที่ 1

ตาราง 17 ผลการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง ด้วยวิธี BA กับวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 1

อัลกอริทึม	BA	HCA
จำนวนรอบเฉลี่ย (รอบ)	244.83	295.27
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	119.17	98.21
ร้อยละความต่างรอบเฉลี่ย	17.08	

ตัวอย่างที่ 2 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ที่มีช่วงบันไดยาว 2.00 ม. ความสูงบันได 1.50 ม. เหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD30 เหล็กเสริมยึดชั้นบันไดใช้เป็นเหล็กเส้นกลม ชั้นคุณภาพ SR24 กำลังอัดประลัยคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน 240 กก./ซม.² ระยะหุ้มคอนกรีต 2.00 ซม. น้ำหนักบรรทุกจร 400 กก./ม.² และระยะยื่นจากผนัง 1.50 ม. รอบการทดสอบจำนวน 500 รอบ



ภาพประกอบ 57 ตัวอย่างที่ 2

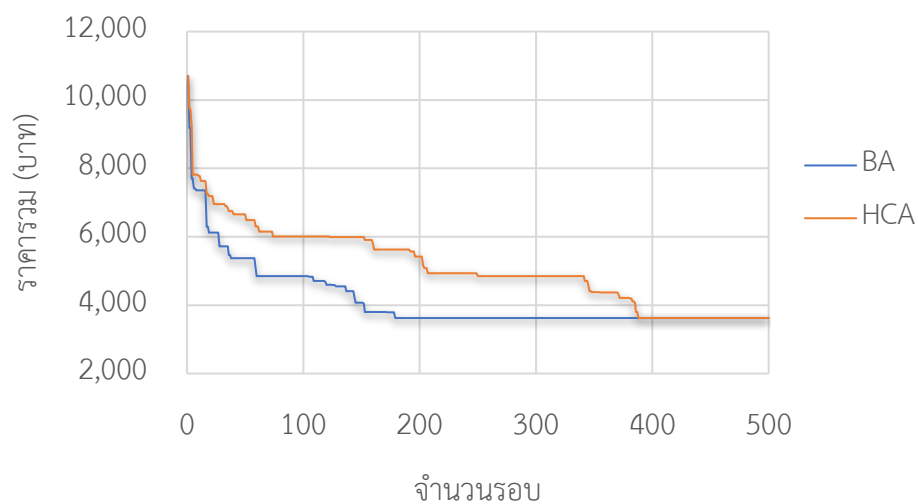
ตาราง 18 แสดงการเปรียบเทียบผลการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง สำหรับตัวอย่างที่ 2 โดยใช้วิธี BA และวิธี HCA จากผลการศึกษา พบว่าวิธี BA สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมได้อย่างรวดเร็วกว่า โดยใช้รอบการค้นหาเพียง 179 รอบ ในขณะที่วิธี HCA ต้องใช้มากถึง 388 รอบ คิดเป็นความแตกต่างร้อยละ 53.87 ในรอบคำตอบ การเปรียบเทียบนี้ชี้ให้เห็นถึงความสามารถของวิธี BA ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธี HCA

จากภาพประกอบ 58 การหาคำตอบอย่างเหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 2 เมื่อพิจารณาจากกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคารวมและจำนวนรอบของการทำงาน พบว่าวิธี BA นั้นสามารถลดราคารวมลงได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นการแบ่งขนาดหน้าตัดแบบแบ่งครึ่งช่วง ทำให้สามารถค้นหาคำตอบได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่วิธี HCA มีแนวโน้มจะลดราคารวมลงในทุกๆ รอบของการทำงาน แม้จะใช้การสุ่มขนาดหน้าตัดเพียงเล็กน้อยก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบทั้งสองวิธี จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ากราฟของวิธี BA แสดงถึงความรวดเร็วในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้ดีกว่าวิธี HCA อย่างมีนัยสำคัญ

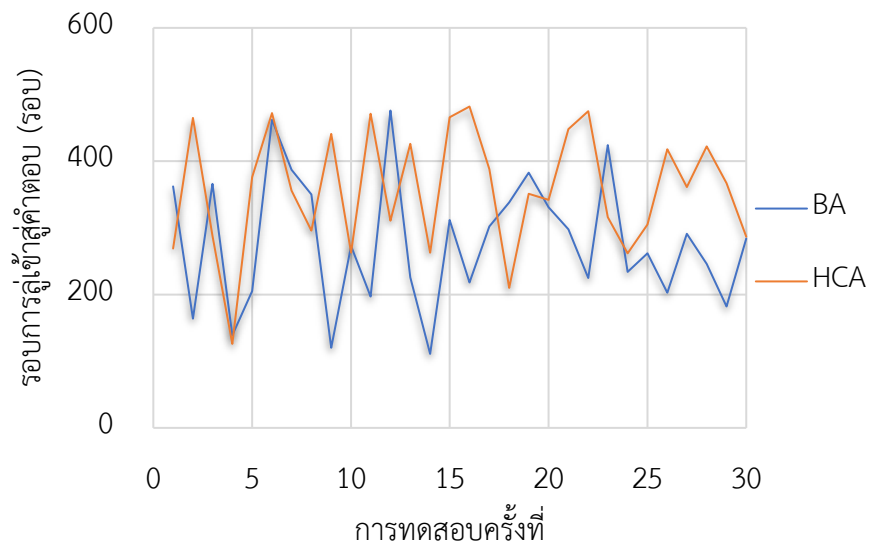
จากภาพประกอบ 59 แสดงผลการทดสอบจำนวน 30 ครั้งสำหรับตัวอย่างที่ 2 พบว่าวิธี BA สามารถค้นหาคำตอบอย่างเหมาะสมได้รวดเร็วกว่าวิธี HCA จำนวนมากถึง 20 ครั้ง โดยใช้รอบเฉลี่ยในการหาคำตอบที่เหมาะสมเพียง 275.03 รอบ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 95.28 นอกจากนี้ ความแตกต่างของรอบเฉลี่ยในการหาคำตอบที่เหมาะสมเฉลี่ยระหว่างทั้งสองวิธีแตกต่างกันถึงร้อยละ 23.05 ดังแสดงในตาราง 19 แสดงให้เห็นถึงความสามารถและความสม่ำเสมอของวิธี BA ที่เหนือกว่าวิธี HCA

ตาราง 18 การเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยวิธี BA กับวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 2

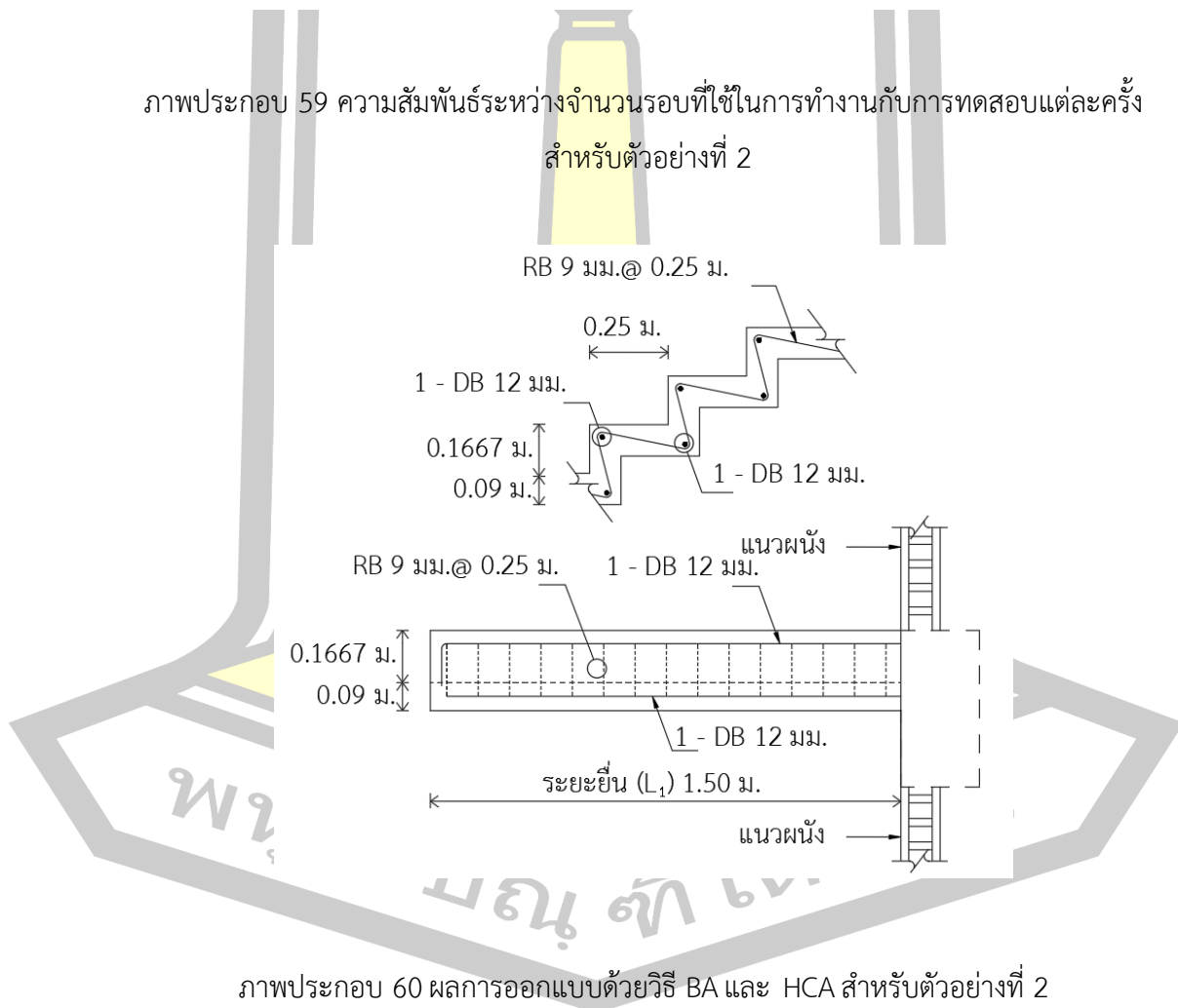
รายการ	ตัวอย่างที่ 2	
	BA	HCA
ระยะยื่น (ม.)	1.50	1.50
ชั้นบันไดหนา (ซม.)	9.00	9.00
ขนาดลูกตั้ง (ซม.)	16.67	16.67
ขนาดลูกนอน (ซม.)	25.00	25.00
เหล็กเสริมหลัก (ต่อ 1 ชั้น)	1-DB12	1-DB12
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได	RB9 @0.25ม.	RB9 @0.25ม.
ค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้น (ซม.)	0.04	0.04
ราคารวม (บาท)	3,650.86	3,650.86
รอบคำตอบ (รอบ)	179	388
ร้อยละความแตกต่างรอบ		53.87



ภาพประกอบ 58 การหาคำตอบอย่างเหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 2



ภาพประกอบ 59 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่ใช้ในการทำงานกับการทดสอบแต่ละครั้ง สำหรับตัวอย่างที่ 2



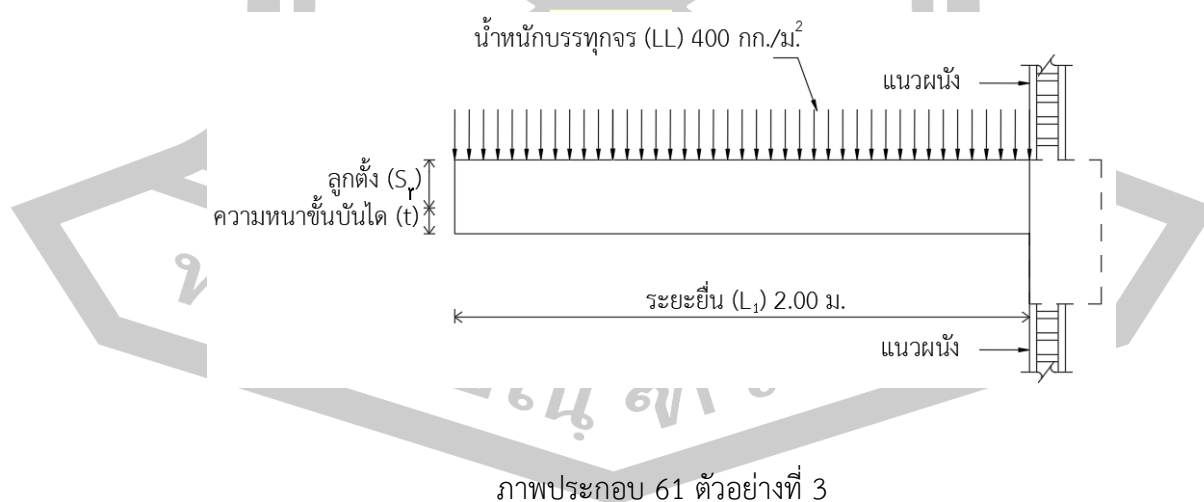
ภาพประกอบ 60 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA และ HCA สำหรับตัวอย่างที่ 2

ตาราง 19 ผลการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง ด้วยวิธี BA กับวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 2

อัลกอริทึม	BA	HCA
จำนวนรอบเฉลี่ย(รอบ)	275.03	357.43
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95.28	90.61
ร้อยละความต่างรอบเฉลี่ย	23.05	

ตัวอย่างที่ 3 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ที่มีช่วงบันไดยาว 2.00 ม. ความสูงบันได 1.50 ม. เหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD30 เหล็กเสริมยึดชั้นบันไดใช้เป็นเหล็กเส้นกลม ชั้นคุณภาพ SR24 กำลังอัดประลัยคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน 240 กก./ซม.² ระยะหุ้มคอนกรีต 2.00 ซม. น้ำหนักบรรทุกจร 400 กก./ม.² และระยะยื่นจากผนัง 2.00 ม. รอบการทดสอบจำนวน 500 รอบ

ตาราง 20 แสดงการเปรียบเทียบผลการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังสำหรับตัวอย่างที่ 3 โดยใช้วิธี BA และวิธี HCA ผลการศึกษาเผยให้เห็นว่าวิธี BA สามารถเข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมได้เร็วกว่าวิธี HCA อย่างชัดเจน โดยใช้รอบการค้นหาเพียง 140 รอบ ในขณะที่วิธี HCA ต้องใช้ถึง 296 รอบ ความแตกต่างในการเข้าสู่คำตอบคิดเป็นร้อยละ 52.70 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่เหนือกว่าของวิธี BA ในการหาคำตอบที่เหมาะสมได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธี HCA

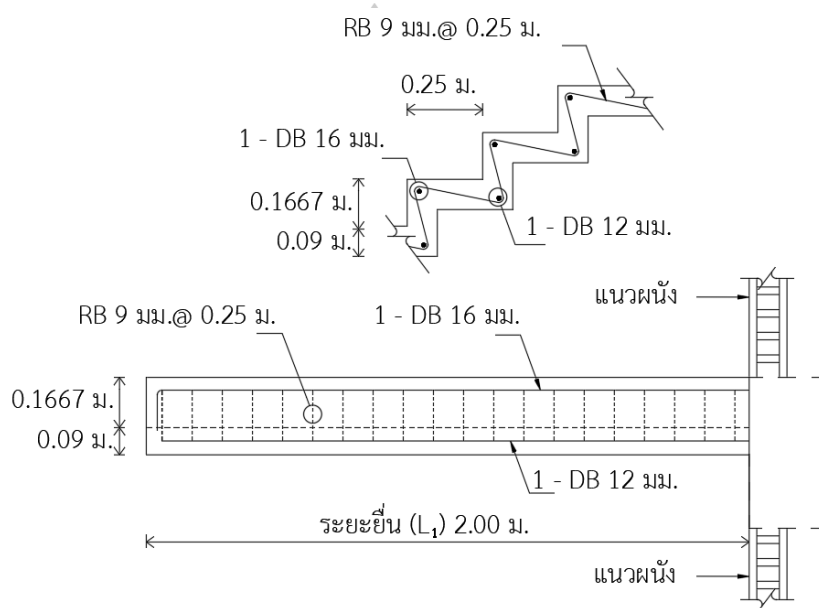


ตาราง 20 การเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยวิธี BA กับวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 3

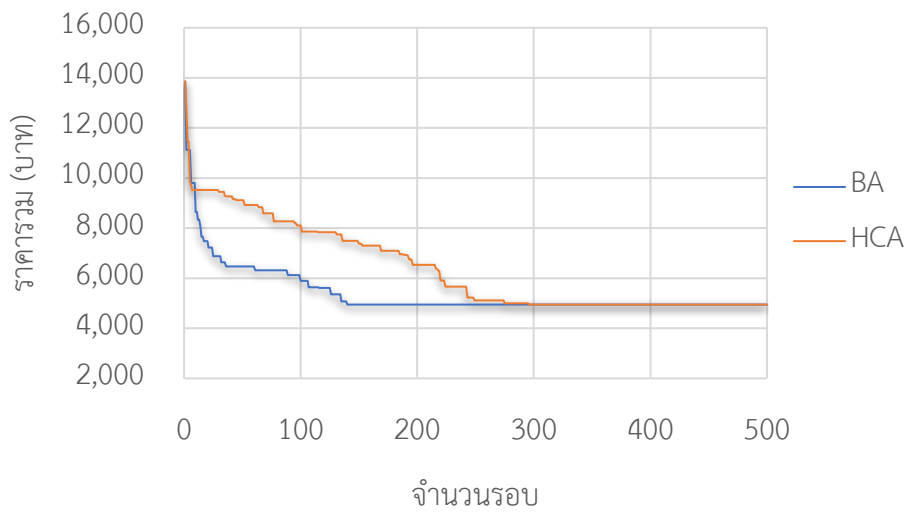
รายการ	ตัวอย่างที่ 3	
	BA	HCA
ระยะยื่น (ม.)	2.00	2.00
ชั้นบันไดหนา (ซม.)	9.00	9.00
ขนาดลูกตั้ง (ซม.)	16.67	16.67
ขนาดลูกนอน (ซม.)	25.00	25.00
เหล็กเสริมหลัก (ต่อ 1 ชั้น)	1-DB16	1-DB16
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได	RB9 @0.25ม.	RB9 @0.25ม.
ค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้น (ซม.)	0.13	0.13
ราคารวม (บาท)	4,973.95	4,973.95
รอบค่าตอบ (รอบ)	140	296
ร้อยละความแตกต่างรอบ	52.70	

ภาพประกอบ 63 การหาค่าตอบอย่างเหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 3 โดยการวิเคราะห์เส้นกราฟระหว่างราคารวมและจำนวนรอบ พบว่าวิธี BA ทำให้เส้นกราฟลดลงอย่างรวดเร็ว ด้วยการสุมขนาดหน้าตัดแบบแบ่งครึ่งช่วง ทำให้ค้นหาค่าตอบได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ส่วนวิธี HCA แม้จะมีแนวโน้มลดลงในทุกๆ รอบของการทำงาน แต่การสุมขนาดหน้าตัดเพียงเล็กน้อยทำให้การหาค่าตอบช้าลง เมื่อเปรียบเทียบกราฟของทั้งสองวิธี จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าวิธี BA สามารถค้นหาค่าตอบอย่างเหมาะสมได้เร็วกว่า HCA อย่างมีนัยสำคัญ

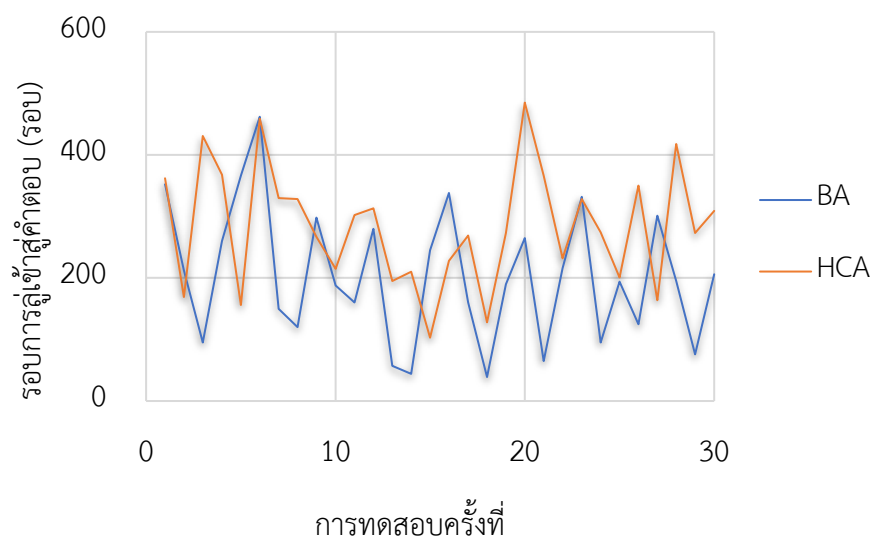
ภาพประกอบ 64 แสดงผลการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง ของทั้งสองวิธีสำหรับตัวอย่างที่ 3 พบว่าวิธี BA มีความโดดเด่นในการค้นหาค่าตอบอย่างเหมาะสม โดยสามารถทำได้เร็วกว่าวิธี HCA จำนวน 22 ครั้ง โดยมีจำนวนรอบเฉลี่ยในการเข้าสู่ค่าตอบอย่างเหมาะสมเท่ากับ 230.53 รอบ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 100.75 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสองวิธีคิดเป็นร้อยละ 20.59 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่เหนือกว่าของวิธี BA อย่างชัดเจน ดังแสดงในตาราง 22



ภาพประกอบ 62 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA และ HCA สำหรับตัวอย่างที่ 3



ภาพประกอบ 63 การหาค่าตอบอย่างเหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 3

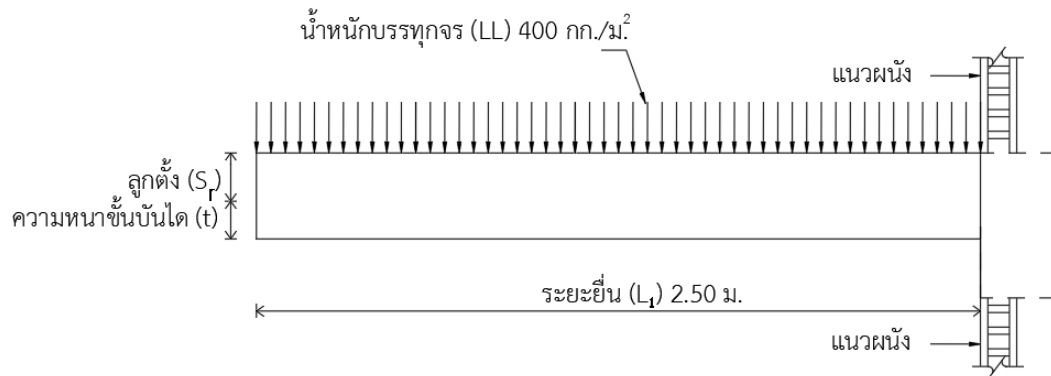


ภาพประกอบ 64 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่ใช้ในการทำงานกับการทดสอบแต่ละครั้ง
สำหรับตัวอย่างที่ 3

ตาราง 21 ผลการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง ด้วยวิธี BA กับวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 3

อัลกอริทึม	BA	HCA
จำนวนรอบเฉลี่ย(รอบ)	230.53	290.30
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	100.75	103.62
ร้อยละความต่างรอบเฉลี่ย	20.59	

ตัวอย่างที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ที่มีช่วงบันไดยาว 2.00 ม. ความสูงบันได 1.50 ม. เหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD30 เหล็กเสริมยึดชั้นบันไดใช้เป็นเหล็กเส้นกลม ชั้นคุณภาพ SR24 กำลังอัดประลัยคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน 240 กก./ซม.² ระยะหุ้มคอนกรีต 2.00 ซม. น้ำหนักบรรทุกจร 400 กก./ม.² และระยะยื่นจากผนัง 2.50 ม. รอบการทดสอบจำนวน 500 รอบ



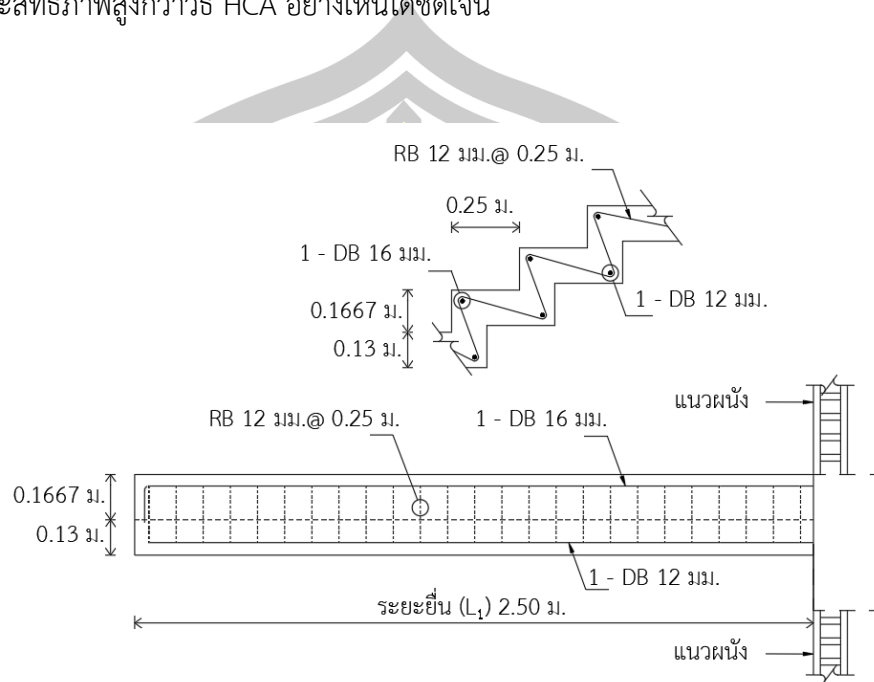
ภาพประกอบ 65 ตัวอย่างที่ 4

ตาราง 22 การเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยวิธี BA กับวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 4

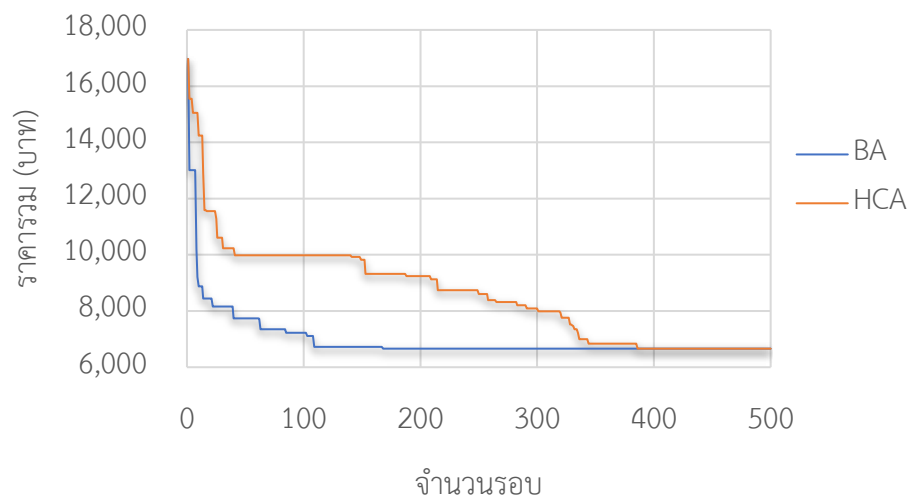
รายการ	ตัวอย่างที่ 4	
	BA	HCA
ระยะยื่น (ม.)	2.50	2.50
ชั้นบันไดหนา (ซม.)	13.00	13.00
ขนาดลูกตั้ง (ซม.)	16.67	16.67
ขนาดลูกนอน (ซม.)	25.00	25.00
เหล็กเสริมหลัก (ต่อ 1 ชั้น)	1-DB16	1-DB16
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได	RB12 @0.25ม.	RB12 @0.25ม.
ค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้น (ซม.)	0.17	0.17
ราคารวม (บาท)	6,709.75	6,709.75
รอบค้ำตอบ (รอบ)	168	386
ร้อยละความแตกต่างรอบ		56.48

ตาราง 22 แสดงการเปรียบเทียบผลการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง สำหรับตัวอย่างที่ 4 โดยใช้วิธี BA และวิธี HCA ผลการศึกษาเผยให้เห็นอย่างชัดเจนว่าวิธี BA สามารถลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมได้เร็วกว่าวิธี HCA อย่างมีนัยสำคัญ โดยใช้รอบการค้นหาเพียง 168 รอบ ในขณะที่วิธี HCA ต้องใช้มากถึง 386 รอบ ความแตกต่างในการลู่เข้าสู่คำตอบสูงถึงร้อยละ

56.48 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความโดดเด่นของวิธี BA ที่สามารถค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธี HCA อย่างเห็นได้ชัดเจน



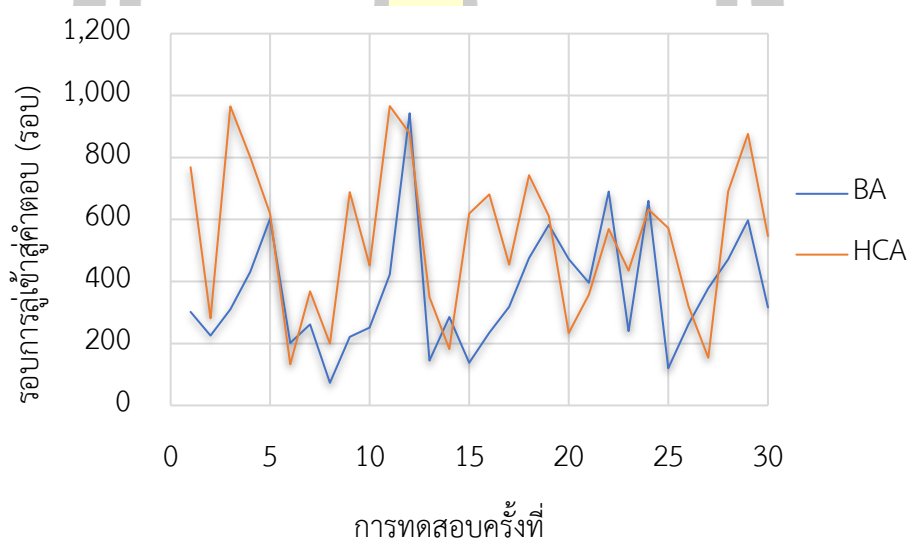
ภาพประกอบ 66 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA และ HCA สำหรับตัวอย่างที่ 4



ภาพประกอบ 67 การหาคำตอบที่เหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 4

ภาพประกอบ 67 การหาคำตอบอย่างเหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 4 โดยการวิเคราะห์เส้นกราฟระหว่างราคารวมและจำนวนรอบของการทำงาน พบว่าวิธี BA ทำให้เส้นกราฟลดลงอย่างรวดเร็ว ด้วยการสุ่มขนาดหน้าตัดแบบแบ่งครึ่งช่วง ซึ่งช่วยให้การค้นหาคำตอบมีความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ส่วนวิธี HCA แม้จะมีแนวโน้มลดลงในทุกๆ รอบของการทำงาน แต่การสุ่มขนาดหน้าตัดเพียงเล็กน้อยทำให้การหาคำตอบช้าลง เมื่อเปรียบเทียบกราฟของทั้งสองวิธี จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าวิธี BA มีความสามารถในการค้นหาคำตอบอย่างเหมาะสมได้เร็วกว่า HCA อย่างมีนัยสำคัญ

ภาพประกอบ 68 แสดงผลการทดสอบของทั้งสองวิธี จำนวน 30 ครั้ง สำหรับตัวอย่างที่ 4 ซึ่งพบว่าวิธี BA มีความโดดเด่นในการค้นหาคำตอบอย่างเหมาะสม โดยสามารถทำได้เร็วกว่าวิธี HCA มากถึงจำนวน 20 ครั้ง โดยมีจำนวนรอบเฉลี่ยในการเข้าสู่คำตอบอย่างเหมาะสมเท่ากับ 285.37 รอบ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 128.99 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสองวิธีคิดเป็นร้อยละ 18.37 ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงประสิทธิภาพที่เหนือกว่าของวิธี BA ดังแสดงในตาราง 23

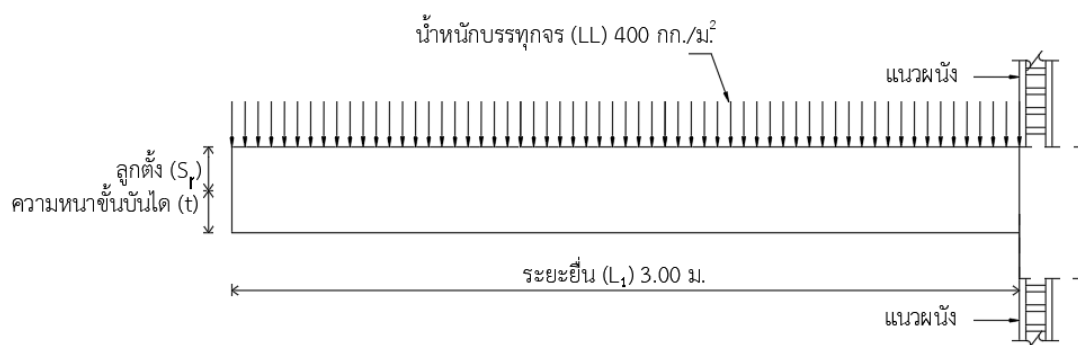


ภาพประกอบ 68 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่ใช้ในการทำงานกับการทดสอบแต่ละครั้ง สำหรับตัวอย่างที่ 4

ตาราง 23 ผลการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง ด้วยวิธี BA กับวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 4

อัลกอริทึม	BA	HCA
จำนวนรอบเฉลี่ย(รอบ)	285.37	349.60
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	128.99	104.77
ร้อยละความต่างรอบเฉลี่ย	18.37	

ตัวอย่างที่ 5 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ที่มีช่วงเสายาว 2.00 ม. ความสูงเสา 1.50 ม. ความหนาคาน 0.15 ม. เหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD30 เหล็กเสริมยึดชั้นบันไดใช้เป็นเหล็กเส้นกลม ชั้นคุณภาพ SR24 กำลังอัดประลัยคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน 240 กก./ cm^2 ระยะหุ้มคอนกรีต 2.00 ซม. น้ำหนักบรรทุกจร 450 กก./ m^2 และระยะยื่นจากผนัง 4.50 ม. รอบการทดสอบจำนวน 500 รอบ

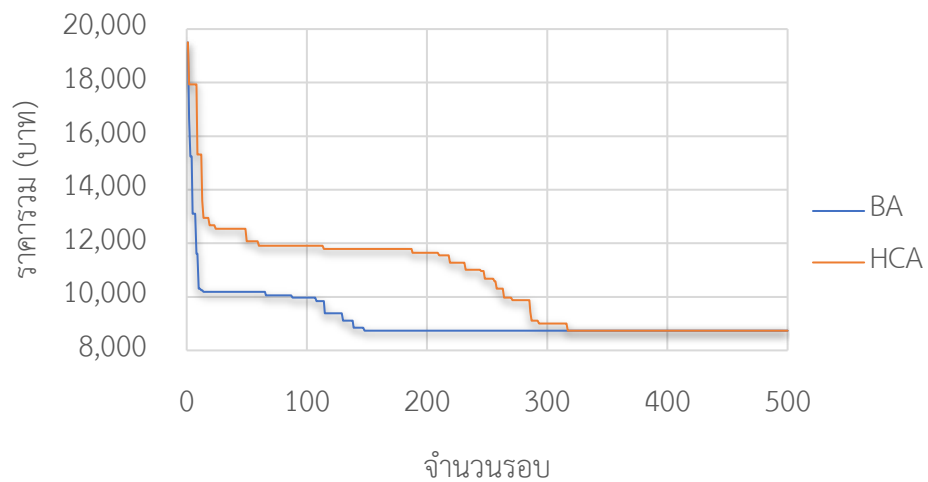


ภาพประกอบ 69 ตัวอย่างที่ 5

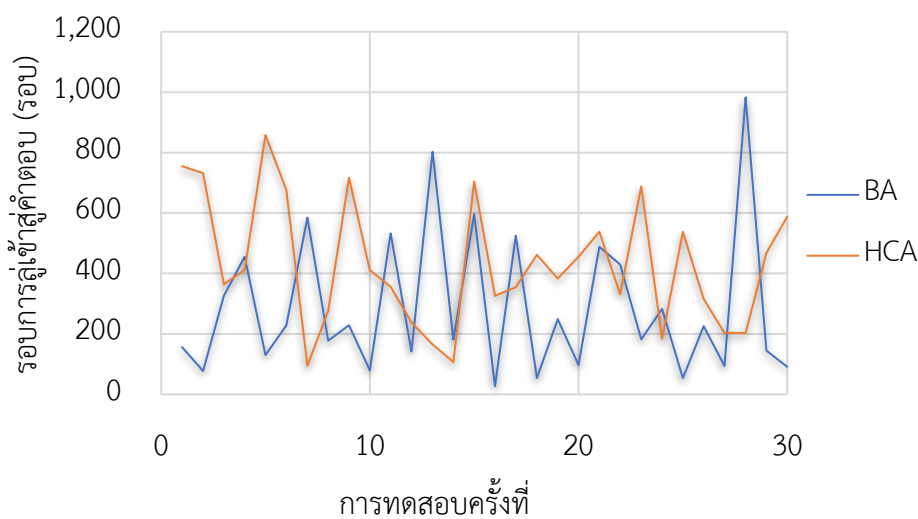
ตาราง 24 การเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยวิธี BA กับวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 5

รายการ	ตัวอย่างที่ 5	
	BA	HCA
ระยะยื่น (ม.)	3.00	3.00
ชั้นบันไดหนา (ซม.)	16.00	16.00
ขนาดลูกตั้ง (ซม.)	16.67	16.67
ขนาดลูกนอน (ซม.)	25.00	25.00
เหล็กเสริมหลัก (ต่อ 1 ชั้น)	3-DB12	3-DB12
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได	RB12 @0.25ม.	RB12 @0.25ม.
ค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้น (ซม.)	0.24	0.24
ราคารวม (บาท)	8,785.10	8,785.10
รอบคำตอบ (รอบ)	189	409
ร้อยละความแตกต่างรอบ		53.79

ตาราง 24 แสดงการเปรียบเทียบผลการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง สำหรับตัวอย่างที่ 5 โดยใช้วิธี BA และวิธี HCA ผลการศึกษาเผยให้เห็นอย่างชัดเจนว่าวิธี BA มีประสิทธิภาพการลู่เข้าสู่ค่าตอบอย่างเหมาะสมได้รวดเร็วกว่าวิธี HCA อย่างมาก โดยใช้รอบการค้นหาเพียง 189 รอบ ในขณะที่วิธี HCA ต้องใช้มากถึง 409 รอบ ความแตกต่างในการลู่เข้าสู่ค่าตอบคิดเป็นร้อยละ 53.79 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่เหนือกว่าของวิธี BA ในการหาค่าตอบอย่างเหมาะสมได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธี HCA



ภาพประกอบ 70 การหาค่าตอบอย่างเหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 5



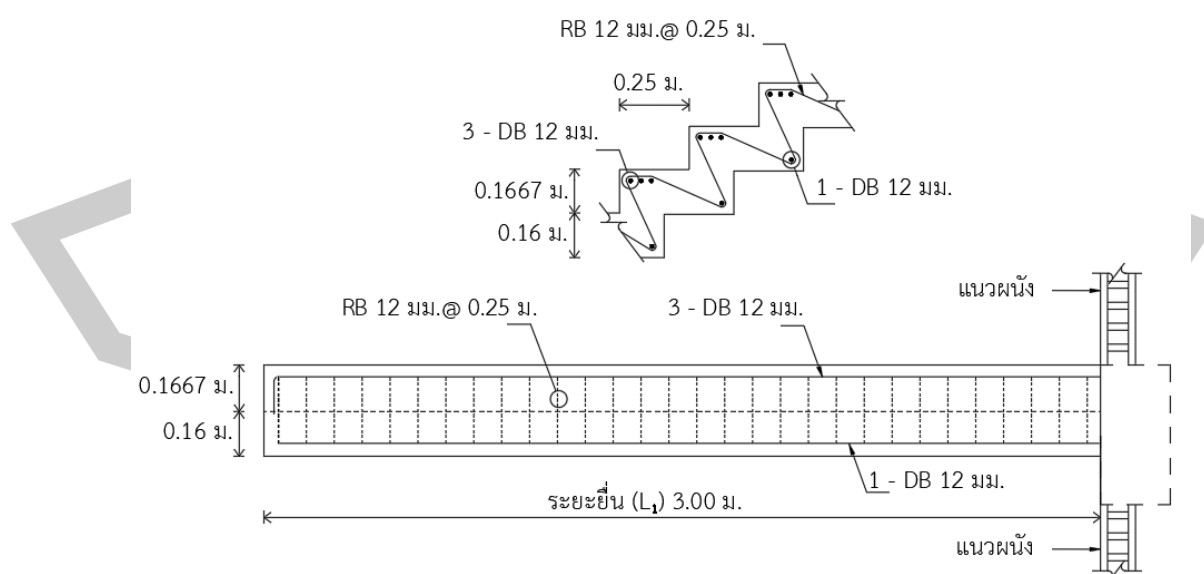
ภาพประกอบ 71 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่ใช้ในการทำงานกับการทดสอบแต่ละครั้ง สำหรับตัวอย่างที่ 5

ภาพประกอบ 70 การหาคำตอบอย่างเหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 5 โดยการวิเคราะห์เส้นกราฟระหว่างราคารวมและจำนวนรอบ พบว่าวิธี BA ทำให้เส้นกราฟลดลงอย่างรวดเร็ว ด้วยการสุ่มขนาดหน้าตัดแบบแบ่งครึ่งช่วง ช่วยให้หาคำตอบได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ขณะที่วิธี HCA แม้จะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่การสุ่มขนาดหน้าตัดเพียงที่น้อยลงส่งผลให้การเข้าสู่คำตอบช้ากว่าวิธี BA เมื่อเปรียบเทียบกราฟของทั้งสองวิธี จะเห็นชัดเจนว่าวิธี BA มีความสามารถหาคำตอบอย่างเหมาะสมได้รวดเร็วกว่าวิธี HCA อย่างมีนัยสำคัญ

ภาพประกอบ 71 แสดงผลการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง ของทั้งสองวิธีสำหรับตัวอย่างที่ 5 ซึ่งพบว่าวิธี BA โดดเด่นอย่างชัดเจนในการหาคำตอบอย่างเหมาะสม โดยสามารถทำได้เร็วกว่าวิธี HCA จำนวนมากถึง 21 ครั้ง โดยมีจำนวนรอบเฉลี่ยในการเข้าสู่คำตอบอย่างเหมาะสมเพียง 228.80 รอบ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 142.14 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสองวิธีมากถึงร้อยละ 17.46 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่เหนือกว่าของวิธี BA อย่างชัดเจน ดังแสดงในตาราง 25

ตาราง 25 ผลการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง ด้วยวิธี BA กับวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 5

อัลกอริทึม	BA	HCA
จำนวนรอบเฉลี่ย(รอบ)	228.80	277.20
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	142.14	129.89
ร้อยละความต่างรอบเฉลี่ย	17.46	



ภาพประกอบ 72 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA และ HCA สำหรับตัวอย่างที่ 5

ตาราง 26 สรุปผลการออกแบบอย่างเหมาะสม ด้วยวิธี BA กับวิธี HCA ของทั้ง 5 ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	น้ำหนัก บรรทุกจร (กก./ม. ²)	ระยะยื่น จากผนัง (ม.)	ความหนา ชั้นบันได (ซม.)	เหล็ก เสริม หลัก (1ชั้น)	เหล็กเสริมยึด ชั้นบันได	ราคารวม (บาท)
1	400	1.00	9	1-DB12	RB9 @0.25ม.	2,524.46
2	400	1.50	9	1-DB12	RB9 @0.25ม.	3,650.86
3	400	2.00	9	1-DB16	RB9 @0.25ม.	4,973.95
4	400	2.50	13	1-DB16	RB12 @0.25ม.	6,709.75
5	400	3.00	16	3-DB12	RB12 @0.25ม.	8,785.10

ตาราง 26 แสดงผลการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ด้วยวิธี BA และ HCA โดยมีระยะยื่นตั้งแต่ 1.00 ม. ถึง 3.00 ม. ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างระยะยื่นจากผนัง ความหนาชั้นบันได ปริมาณเหล็กเสริม และราคารวมที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะยื่นมากขึ้น การปรับเพิ่มความหนาชั้นบันไดจาก 9 ซม. ในระยะยื่นที่สั้น ไปเป็น 16 ซม. ในระยะยื่นที่ยาวขึ้น สะท้อนถึงการเสริมความแข็งแรงของโครงสร้าง ส่วนการเปลี่ยนขนาดเหล็กเสริมจาก 1-DB12 เป็น 3-DB12 แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มความหนาแน่นเพื่อรองรับการใช้งานที่เพิ่มขึ้น ราคาวัสดุรวมที่สูงขึ้นตามระยะยื่นที่ยาวขึ้นแสดงถึงความจำเป็นในการใช้วัสดุที่มากขึ้นเพื่อความมั่นคงของโครงสร้าง ข้อมูลนี้มีความสำคัญในการตัดสินใจเลือกการออกแบบที่มีประสิทธิภาพและคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์และความปลอดภัยของโครงสร้าง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติระหว่างวิธี BA กับ วิธี HCA

สมมุติฐานการวิจัย ผลการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังอย่างเหมาะสมด้วยวิธี HCA ใช้จำนวนรอบเฉลี่ยในการคำนวณที่น้อยกว่าวิธี BA มีสมมุติฐานทางสถิติ

สมมุติฐานหลัก คือ $H_0 : \mu_1 \geq \mu_2$

สมมุติฐานรอง คือ $H_1 : \mu_1 < \mu_2$

μ_1 คือ ค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบในการลู่เข้าสู่ค่าตอบการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังอย่างเหมาะสมด้วยวิธี BA

μ_2 คือ ค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบในการลู่เข้าสู่ค่าตอบการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังอย่างเหมาะสมด้วยวิธี HCA

ตาราง 27 และ 28 แสดงผลการทดสอบทางสถิติระหว่างวิธี BA และ HCA ในตัวอย่างทั้ง 5 ครั้ง แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่า t-test ในแต่ละตัวอย่างอยู่ในช่วง 2.50 ถึง 2.99 ซึ่งทำให้ปฏิเสธสมมุติฐาน H_0 ได้ทั้งหมด นั่นหมายความว่าค่าเฉลี่ยของทั้งสองวิธีนี้แตกต่างกันอย่างชัดเจน การปฏิเสธ H_0 ในทุกตัวอย่าง และยอมรับสมมุติฐานของ H_1 ในทั้ง 5 ตัวอย่างที่แสดงว่ารอบการลู่เข้าสู่ค่าที่เหมาะสม กลุ่มตัวอย่างวิธี BA มีค่าน้อยกว่าวิธี HCA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตาราง 27 ผลการทดสอบทางสถิติรอบการทำงานเฉลี่ย วิธี BA และ วิธี HCA เมื่อสุ่มตัวอย่างทดสอบจำนวน 10 ครั้ง จากทั้งหมด 30 ครั้ง

ผลการทดสอบทางสถิติ	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2		ตัวอย่างที่ 3	
	BA	HCA	BA	HCA	BA	HCA
ค่าเฉลี่ย	220	333	200	309	171	276
ค่าต่ำสุด	85	489	111	126	44	156
ค่าสูงสุด	330	188	312	482	366	459
ค่าเบี่ยงเบน	88.05	106.40	67.09	98.35	114.49	94.50
ค่าวิกฤติ	2.26		2.26		2.26	
t-test	2.57		2.75		2.50	
ผลทางสถิติ	ปฏิเสธ H_0		ปฏิเสธ H_0		ปฏิเสธ H_0	

ตาราง 28 ผลการทดสอบทางสถิติรอบการทำงานเฉลี่ย วิธี BA และ วิธี HCA เมื่อสุ่มตัวอย่างทดสอบจำนวน 10 ครั้ง จากทั้งหมด 30 ครั้ง (ต่อ)

ผลการทดสอบทางสถิติ	ตัวอย่างที่ 4		ตัวอย่างที่ 5	
	BA	HCA	BA	HCA
ค่าเฉลี่ย	196	311	192	289
ค่าต่ำสุด	87	163	27	107
ค่าสูงสุด	302	482	430	455
ค่าเบี่ยงเบน	73.73	99.81	174.34	118.20
ค่าวิกฤติ	2.26		2.26	
t-test	2.99		2.92	
ผลทางสถิติ	ปฏิเสธ H_0		ปฏิเสธ H_0	

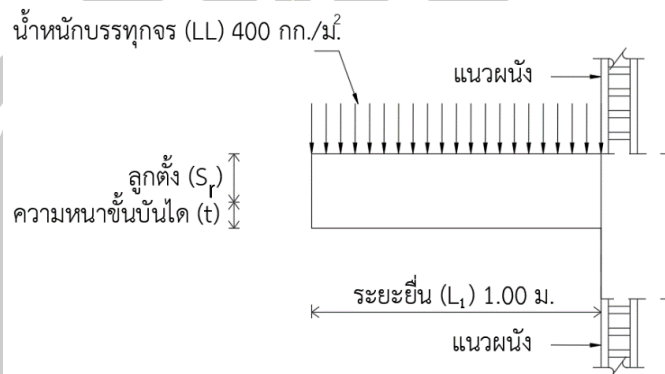
กรณีศึกษา 3 : วิธี BA เปรียบเทียบเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD30 กับ SD40

ผลการทดสอบการหาค่าตอบอย่างเหมาะสมด้วยวิธี BA เปรียบเทียบเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD30 กับ SD40 ด้วยการกำหนดกำลังอัดประลัยคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน ขนาดและกำลังครากของเหล็กเสริมคอนกรีต ขนาดความสูงและช่วงความยาวของบันได ความหนาชั้นบันไดเริ่มต้นระยะยื่นจากผนัง และน้ำหนักบรรทุกจร เพื่อหาขนาดหน้าตัด ปริมาณเหล็กเสริมที่เหมาะสมและราคารวมแต่ละตัวอย่างได้ผลการทดสอบ ดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ที่มีช่วงบันไดยาว 2.00 ม. ความสูงบันได 1.50 ม. เหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD30 และ SD40 เหล็กเสริมยึดชั้นบันไดใช้เป็นเหล็กเส้นกลม ชั้นคุณภาพ SR24 กำลังอัดประลัยคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน 240 กก./ cm^2 ระยะหุ้มคอนกรีต 2.00 ซม. น้ำหนักบรรทุกจร 400 กก./ m^2 และระยะยื่นจากผนัง 1.00 ม. รอบการทดสอบจำนวน 500 รอบ

ตาราง 29 แสดงผลการผลการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง สำหรับตัวอย่างที่ 1 โดยใช้วิธี BA เปรียบเทียบการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 กับ SD40 พบว่าทั้งสองแบบมีความหนาชั้นบันได ขนาดลูกตั้งและลูกนอน ตลอดจนจนค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นที่เท่ากัน แต่ราคาวัสดุรวมของ SD40 ต่ำกว่า SD30 เล็กน้อยที่ร้อยละ 0.26 ทั้งนี้ การเลือกใช้เหล็กเสริมหลักชั้นคุณภาพ SD40 จึงแสดงถึงความคุ้มค่าทางด้านการลดต้นทุนที่ดีกว่าเล็กน้อย โดยไม่

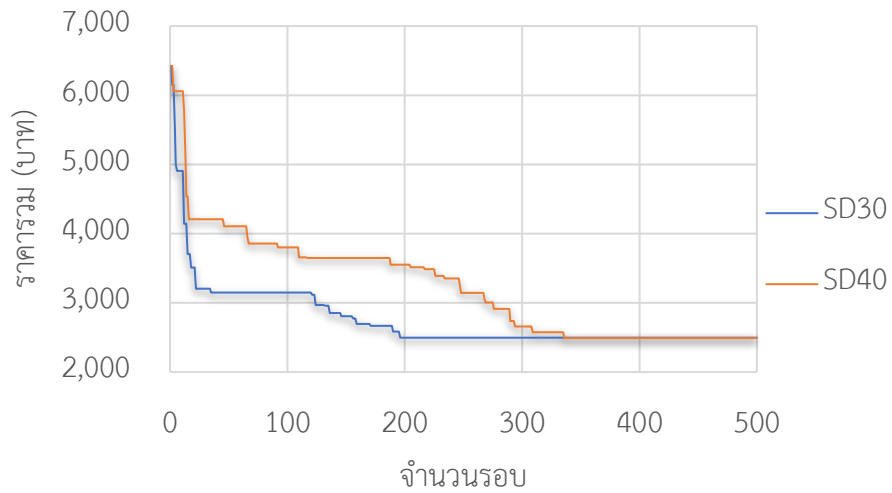
ลดทอนประสิทธิภาพทางโครงสร้าง การวิเคราะห์นี้มีความสำคัญในการเลือกใช้วัสดุที่มีความคุ้มค่า และสามารถรักษาความแข็งแรงของโครงสร้างได้



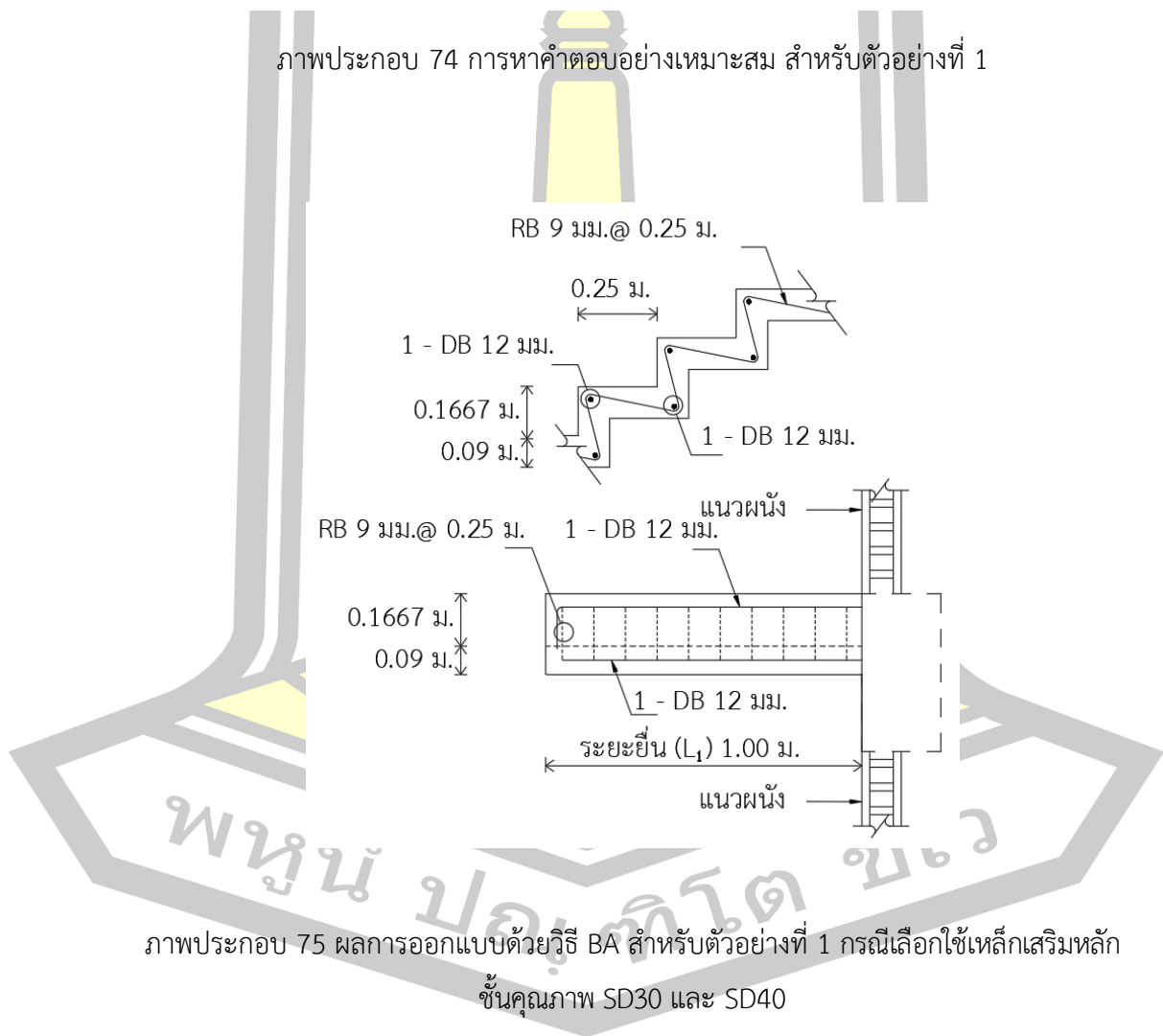
ภาพประกอบ 73 ตัวอย่างที่ 1

ตาราง 29 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA เปรียบเทียบเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD30 กับ SD40 สำหรับ ตัวอย่างที่ 1

รายการ	ตัวอย่างที่ 1	
	SD30	SD40
ระยะยื่น (ม.)	1.00	1.00
ชั้นบันไดหนา (ซม.)	9.00	9.00
ขนาดลูกตั้ง (ซม.)	16.67	16.67
ขนาดลูกนอน (ซม.)	25.00	25.00
เหล็กเสริมหลัก (ต่อ 1 ชั้น)	1-DB12	1-DB12
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได	RB9 @0.25ม.	RB9 @0.25ม.
ค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้น (ซม.)	0.008	0.008
ราคารวม (บาท)	2,524.46	2,517.86
ร้อยละความแตกต่างราคา		0.26



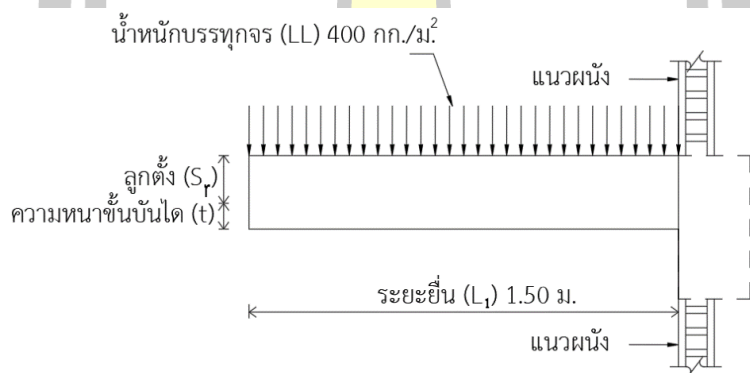
ภาพประกอบ 74 การหาค่าตอบอย่างเหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 1



ภาพประกอบ 75 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA สำหรับตัวอย่างที่ 1 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD30 และ SD40

ภาพประกอบ 74 การหาคำตอบอย่างเหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 1 โดยการวิเคราะห์เส้นกราฟระหว่างราคารวมและจำนวนรอบ พบว่าการทดสอบนี้แสดงถึงพฤติกรรมของวัสดุทั้งสองชนิดในการรองรับน้ำหนัก ซึ่งในช่วงแรก SD40 มีแนวโน้มที่จะแข็งแรงกว่าเล็กน้อยเนื่องจากค่าที่สูงกว่าในบางรอบ อย่างไรก็ตาม เมื่อรอบการทดสอบเพิ่มขึ้น SD30 และ SD40 กลับเข้าสู่ค่าคงที่ใกล้เคียงกัน สิ่งนี้สะท้อนให้เห็นว่าแม้ว่า SD40 จะมีคุณภาพสูงกว่าในเชิงเทคนิค แต่ในสภาวะที่สมดุลแล้ว ความแตกต่างในด้านประสิทธิภาพระหว่าง SD30 และ SD40 ในการรับแรงอาจไม่ต่างกันมาก จึงอาจส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมตามข้อกำหนดและงบประมาณ

ตัวอย่างที่ 2 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ที่มีช่วงเสายาว 2.00 ม. ความสูงเสายา 1.50 ม. ความหนาคาน 0.15 ม. เหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD30 และ SD40 เหล็กเสริมยึดชั้นบันไดใช้เป็นเหล็กเส้นกลม ชั้นคุณภาพ SR24 กำลังอัดประลัย คอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน 240 กก./ชม.² ระยะหุ้มคอนกรีต 2.00 ซม. น้ำหนักบรรทุกจร 300 กก./ม.² และระยะยื่นจากผนัง 3.00 ม. รอบการทดสอบจำนวน 500 รอบ



ภาพประกอบ 76 ตัวอย่างที่ 2

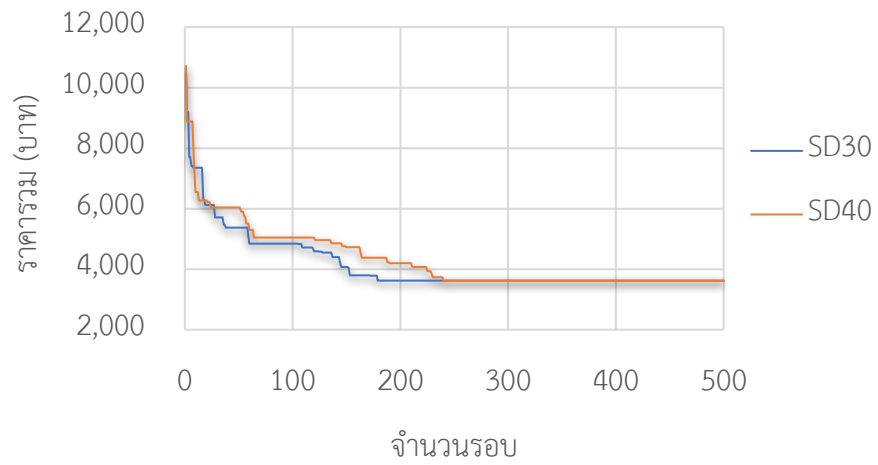
ตารางที่ 30 แสดงผลการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังสำหรับตัวอย่างที่ 2 โดยใช้วิธี BA เพื่อเปรียบเทียบการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 และ SD40 ผลการศึกษาพบว่า ทั้งสองแบบมีความหนาชั้นบันได ขนาดลูกตั้งและลูกนอน และค่าการแอนตัวที่เกิดขึ้นเท่ากัน การใช้เหล็กเสริมหลักและเหล็กเสริมยึดชั้นบันไดก็เหมือนกัน ราคารวมสำหรับ SD30 เท่ากับ 3,650.86 บาท และสำหรับ SD40 เท่ากับ 3,640.96 บาท ทำให้ SD40 มีราคาต่ำกว่า SD30 เล็กน้อยที่ร้อยละ 0.27 การวิเคราะห์นี้แสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ

SD40 มีความคุ้มค่าทางการลดต้นทุนมากกว่าการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 เล็กน้อย โดยยังคงคุณสมบัติทางโครงสร้างที่เทียบเท่ากัน

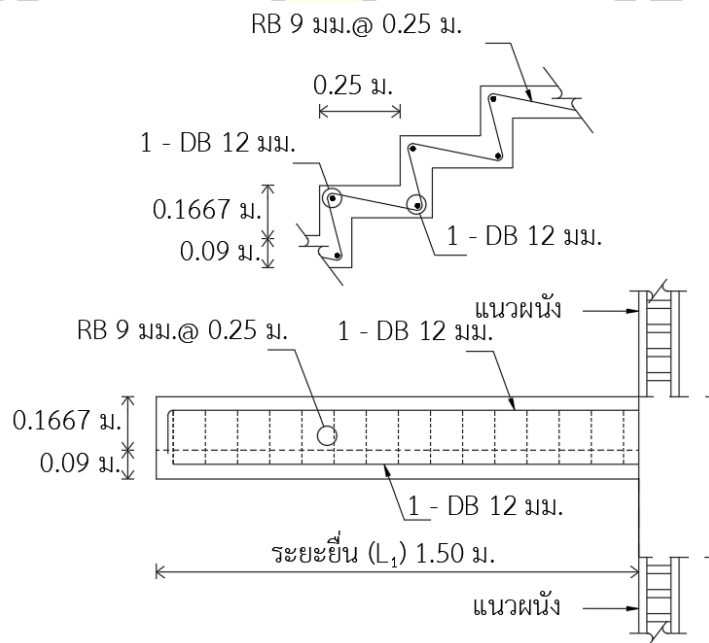
ตาราง 30 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA เปรียบเทียบเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD30 กับ SD40 สำหรับ ตัวอย่างที่ 2

รายการ	ตัวอย่างที่ 2	
	SD30	SD40
ระยะยื่น (ม.)	1.50	1.50
ชั้นบันไดหนา (ซม.)	9.00	9.00
ขนาดลูกตั้ง (ซม.)	16.67	16.67
ขนาดลูกนอน (ซม.)	25.00	25.00
เหล็กเสริมหลัก (ต่อ 1 ชั้น)	1-DB12	1-DB12
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได	RB9 @0.25ม.	RB9 @0.25ม.
ค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้น (ซม.)	0.04	0.04
ราคารวม (บาท)	3,650.86	3,640.96
ร้อยละความแตกต่างราคา		0.27

ภาพประกอบ 77 การหาค่าตอบอย่างเหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 2 เส้นกราฟระหว่างราคารวมและจำนวนรอบในตัวอย่างที่ 2 ซึ่งแสดงถึงการลดลงของราคารวม ตามจำนวนรอบการคำนวณ โดยเส้นกราฟของทั้ง SD30 และ SD40 มีลักษณะใกล้เคียงกันในช่วงเริ่มต้น แต่ SD40 แสดงการลดลงของค่าใช้จ่ายรวมที่เร็วกว่าหรือมีประสิทธิภาพมากกว่าเล็กน้อยในบางช่วง อย่างไรก็ตาม ทั้งสองกรณีเข้าสู่ค่าคงที่ที่ใกล้เคียงกันเมื่อจำนวนรอบการคำนวณเพิ่มขึ้นใกล้เคียง 200 รอบ ข้อมูลนี้บ่งชี้ว่า SD40 อาจมีความคุ้มค่าทางการลดต้นทุนที่สูงกว่าเล็กน้อยโดยไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการออกแบบด้านวิศวกรรมโครงสร้าง

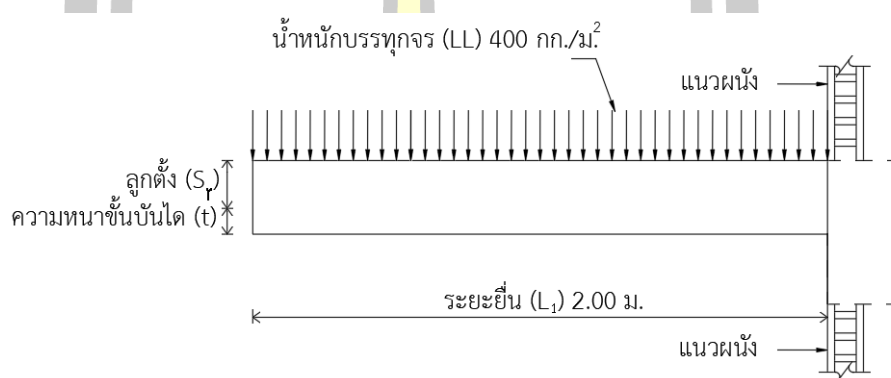


ภาพประกอบ 77 การหาค่าตอบอย่างเหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 2



ภาพประกอบ 78 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA สำหรับตัวอย่างที่ 2 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD30 และ SD40

ตัวอย่างที่ 3 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ที่มีช่วงบันไดยาว 2.00 ม. ความสูงบันได 1.50 ม. เหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD30 และ SD40 เหล็กเสริมยึดชั้นบันไดใช้เป็นเหล็กเส้นกลม ชั้นคุณภาพ SR24 กำลังอัดประลัยคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน 240 กก./ cm^2 ระยะหุ้มคอนกรีต 2.00 ซม. น้ำหนักบรรทุกจร 400 กก./ m^2 และระยะยื่นจากผนัง 2.00 ม. รอบการทดสอบจำนวน 500 รอบ

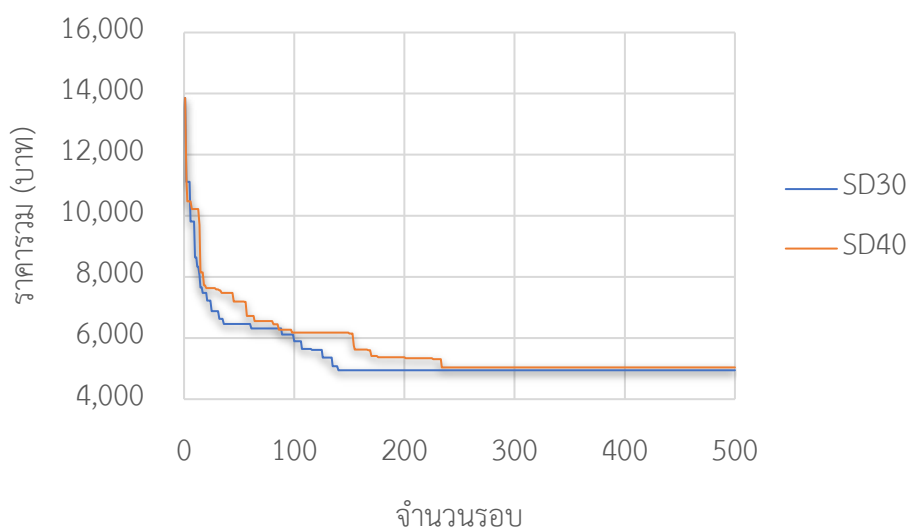


ภาพประกอบ 79 ตัวอย่างที่ 3

ตาราง 31 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA เปรียบเทียบเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD30 กับ SD40 สำหรับตัวอย่างที่ 3

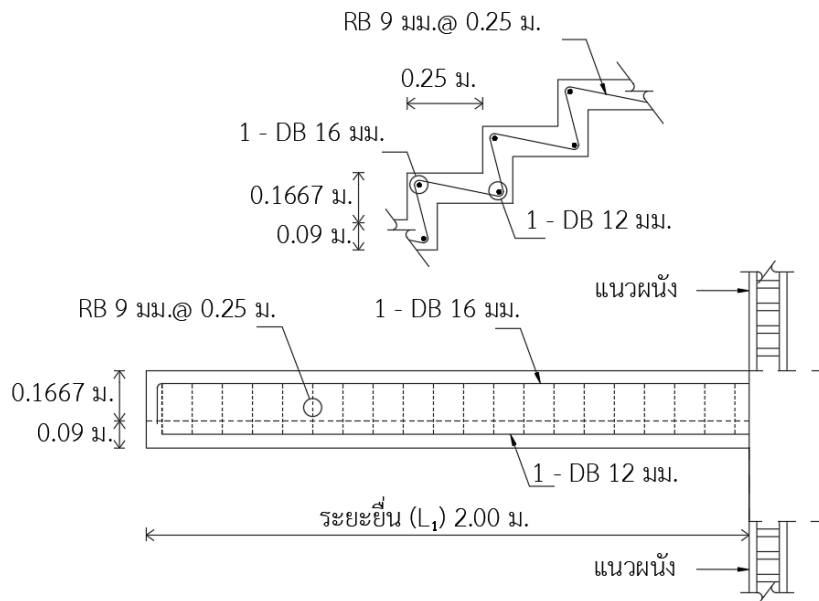
รายการ	ตัวอย่างที่ 3	
	SD30	SD40
ระยะยื่น (ม.)	2.00	2.00
ชั้นบันไดหนา (ซม.)	9.00	11.00
ขนาดลูกตั้ง (ซม.)	16.67	16.67
ขนาดลูกนอน (ซม.)	25.00	25.00
เหล็กเสริมหลัก (ต่อ 1 ชั้น)	1-DB16	1-DB12
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได	RB9 @0.25ม.	RB12 @0.25ม.
ค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้น (ซม.)	0.13	0.09
ราคารวม (บาท)	4,973.95	5,088.40
ร้อยละความแตกต่างราคา		2.25

ตาราง 31 แสดงการเปรียบเทียบผลการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง สำหรับตัวอย่างที่ 3 โดยใช้วิธี BA โดยเปรียบเทียบการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 กับ SD 40 จากข้อมูลในตารางพบว่าการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD40 ออกแบบโครงสร้าง ชั้นบันไดหนา 11 ซม. ซึ่งมากกว่าการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 ที่ออกแบบความหนาของชั้นบันได 9 ซม. ส่งผลให้ความแข็งแรงเชิงโครงสร้างของ SD40 มีศักยภาพมากกว่า โดย SD40 เลือกใช้เหล็กเสริมหลัก 1-DB12 ในขณะที่ SD30 เลือกใช้เหล็กเสริมหลัก 1-DB16 และ SD40 เลือกใช้เหล็กเสริมยึดชั้นบันไดขนาด RB19 ที่ระยะห่าง 0.25 ม. ขณะที่ SD30 เลือกใช้ RB12 ระยะห่าง 0.25 ม. แต่ SD40 มีค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นต่ำกว่า SD30 ซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงที่ดีกว่า ราคารวมของ SD40 เท่ากับ 5,088.40 บาท ซึ่งสูงกว่า SD30 เพียงร้อยละ 2.25

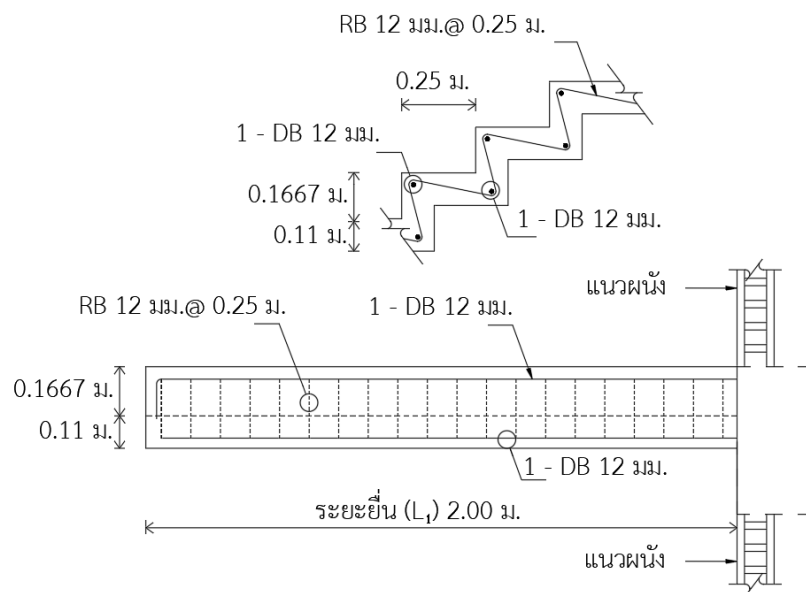


ภาพประกอบ 80 การหาคำตอบที่เหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 3

ภาพประกอบ 80 การหาคำตอบอย่างเหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคารวมและจำนวนรอบของการหาคำตอบแสดงให้เห็นแนวโน้มการเข้าสู่คำตอบที่เหมาะสม โดยในช่วงแรก ราคารวมของการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD40 สูงกว่าการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 เล็กน้อย แต่การใช้เหล็กเสริมหลักที่มีคุณภาพสูงกว่า ส่งผลให้โครงสร้างมีความแข็งแรงมากขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อจำนวนรอบของการทำงานเพิ่มขึ้น ราคารวมของทั้ง SD30 และ SD40 ลดลง และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของราคามีความแตกต่างกันน้อยลง จนคงที่ในช่วงท้ายของการทำงาน

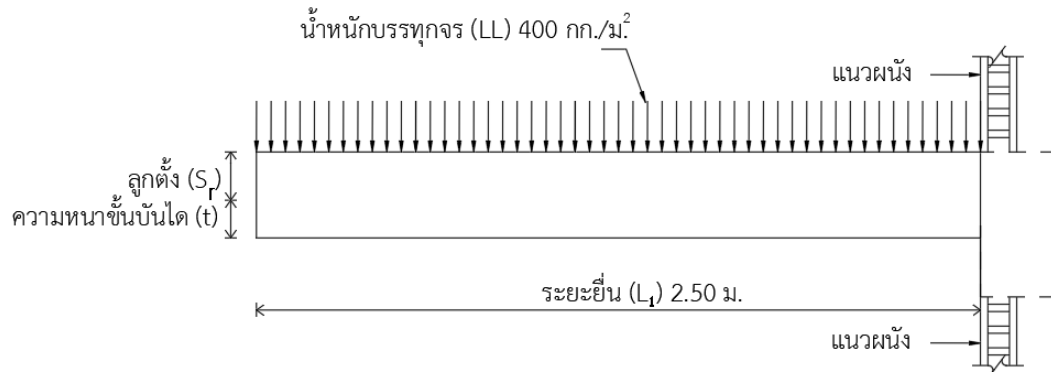


ภาพประกอบ 81 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA สำหรับตัวอย่างที่ 3 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD30



ภาพประกอบ 82 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA สำหรับตัวอย่างที่ 3 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD40

ตัวอย่างที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ที่มีช่วงบันไดยาว 2.00 ม. ความสูงบันได 1.50 ม. เหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD30 และ SD40 เหล็กเสริมยึดชั้นบันไดใช้เป็นเหล็กเส้นกลม ชั้นคุณภาพ SR24 กำลังอัดประลัยคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน 240 กก./ cm^2 ระยะหุ้มคอนกรีต 2.00 ซม. น้ำหนักบรรทุกจร 400 กก./ m^2 และระยะยื่นจากผนัง 2.50 ม. รอบการทดสอบจำนวน 500 รอบ



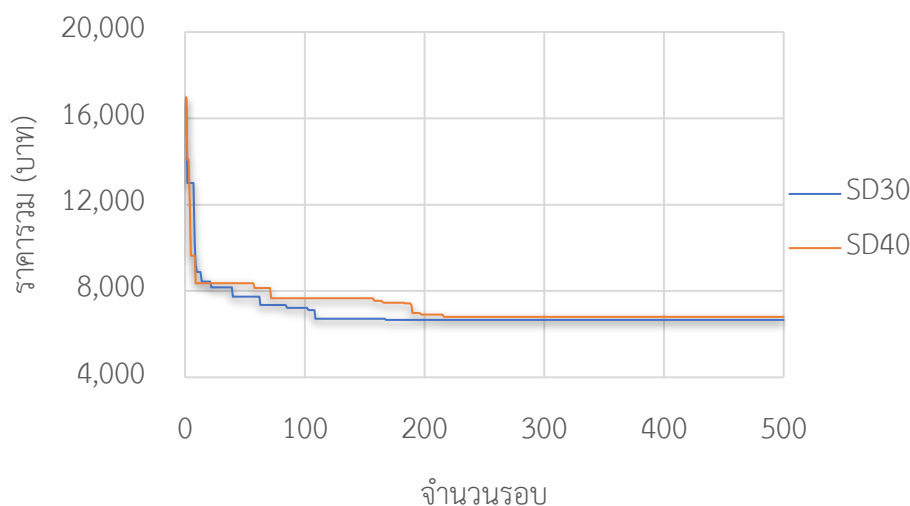
ภาพประกอบ 83 ตัวอย่างที่ 4

ตาราง 32 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA เปรียบเทียบเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD30 กับ SD40 สำหรับตัวอย่างที่ 4

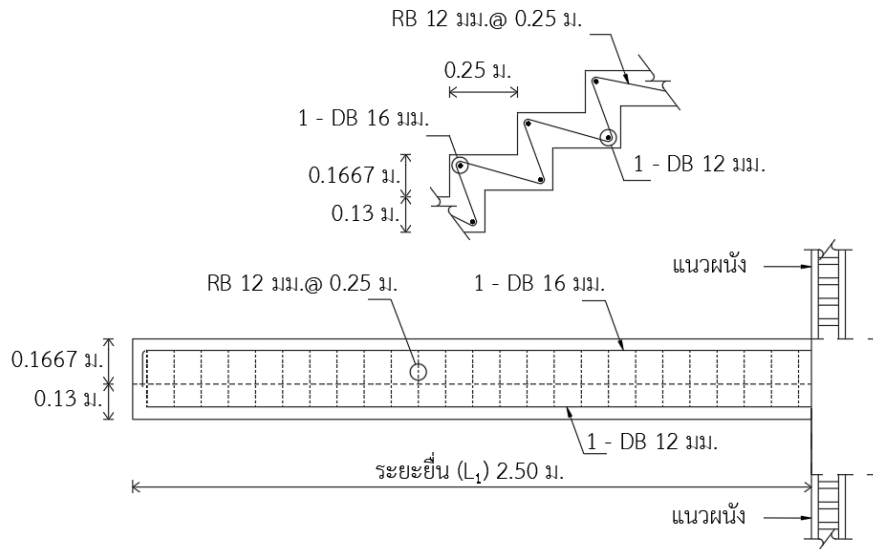
รายการ	ตัวอย่างที่ 4	
	SD30	SD40
ระยะยื่น (ม.)	2.50	2.50
ชั้นบันไดหนา (ซม.)	13.00	14.00
ขนาดลูกตั้ง (ซม.)	16.67	16.67
ขนาดลูกนอน (ซม.)	25.00	25.00
เหล็กเสริมหลัก (ต่อ 1 ชั้น)	1-DB16	2-DB12
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได	RB12 @0.25ม.	RB12 @0.25ม.
ค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้น (ซม.)	0.17	0.15
ราคารวม (บาท)	6,709.75	6,850.60
ร้อยละความแตกต่างราคา		2.06

ตาราง 32 การเปรียบเทียบระหว่างการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 กับ SD40 สำหรับตัวอย่างที่ 4 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างในเชิงวิศวกรรมโครงสร้างที่น่าสนใจ โดยการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD40 ออกแบบชั้นบันไดหนา 14 ซม. ขณะที่การเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 มีความหนาชั้นบันไดเท่ากับ 13 ซม. การที่ SD40 มีความหนาชั้นบันไดมากกว่า SD30 ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้าง นอกจากนี้ การแอ่นตัวที่เกิดขึ้นของ SD40 เท่ากับ 0.15 ซม. ซึ่งน้อยกว่า SD30 ที่มีค่าการแอ่นตัวมากถึง 0.17 ซม. แสดงถึงความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกที่ดีกว่า อย่างไรก็ตาม ราคารวมของ SD40 สูงกว่า SD30 ร้อยละ 2.06 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างด้านต้นทุนเพียงเล็กน้อย แต่คุ้มค่าเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นในแง่ของความแข็งแรงของโครงสร้าง

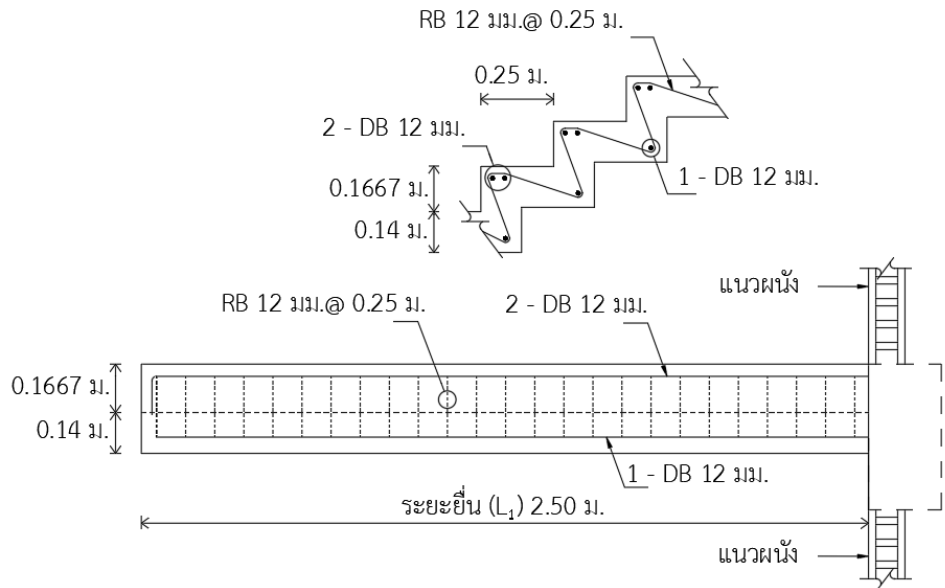
ภาพประกอบ 84 การหาค่าตอบอย่างเหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 4 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคารวมและจำนวนรอบของการค้นหาคำตอบให้เห็นแนวโน้มการหาค่าตอบที่เหมาะสม โดยในช่วงแรก ราคารวมของการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD40 สูงกว่าการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 เล็กน้อย เนื่องจาก SD40 ใช้เหล็กเสริมหลักที่มีคุณภาพสูงกว่า ซึ่งเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างได้ดีกว่า SD30 อย่างไรก็ตาม เมื่อจำนวนรอบของการทำงานเพิ่มขึ้น ราคารวมของทั้ง SD30 และ SD40 ค่อย ๆ ลดลงตามรอบที่มากขึ้น แนวโน้มของทั้งสองกราฟเริ่มเข้าใกล้กัน และความแตกต่างด้านราคาลดลงเรื่อย ๆ จนในช่วงสุดท้ายของการทำงาน ราคารวมมีความคงที่ใกล้เคียงกัน



ภาพประกอบ 84 การหาค่าตอบที่เหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 4

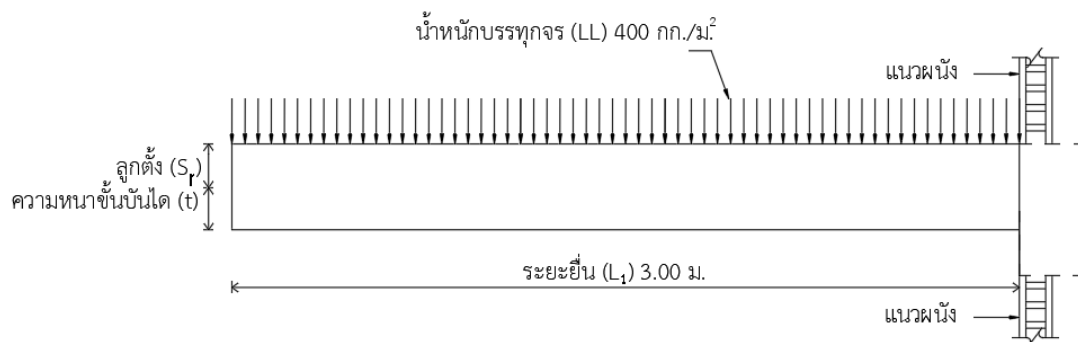


ภาพประกอบ 85 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA สำหรับตัวอย่างที่ 4 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD30



ภาพประกอบ 86 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA สำหรับตัวอย่างที่ 4 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD40

ตัวอย่างที่ 5 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ที่มีช่วงบันไดยาว 2.00 ม. ความสูงบันได 1.50 ม. เหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD30 และ SD40 เหล็กเสริมยึดชั้นบันไดใช้เป็นเหล็กเส้นกลม ชั้นคุณภาพ SR24 กำลังอัดประลัยคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน 240 กก./ cm^2 ระยะหุ้มคอนกรีต 2.00 ซม. น้ำหนักบรรทุกจร 400 กก./ m^2 และระยะยื่นจากผนัง 3.00 ม. รอบการทดสอบจำนวน 500 รอบ



ภาพประกอบ 87 ตัวอย่างที่ 5

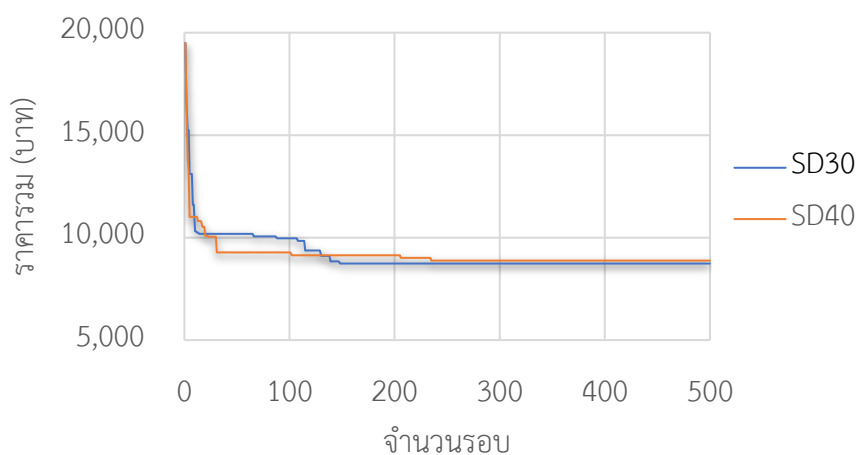
ตาราง 33 การเปรียบเทียบระหว่างการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 กับ SD40 สำหรับตัวอย่างที่ 5 ซึ่งพบว่าความหนาชั้นบันไดของการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 เท่ากับ 16 ซม. ในขณะที่การเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD40 มีความหนาชั้นบันไดเพิ่มขึ้นเป็น 19 ซม. สำหรับ SD30 ใช้เหล็กเสริมหลัก 3-DB12 ขณะที่ SD40 ใช้เหล็กเสริมหลัก 2-DB12 ส่วนเหล็กเสริมยึดชั้นบันไดใช้ RB12 สำหรับ SD30 และ RB15 สำหรับ SD40 และการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นลดลงจาก 0.24 ซม. สำหรับ SD30 เป็น 0.17 ซม. สำหรับ SD40 ราคารวมของ SD40 เท่ากับ 8,956.18 บาท สูงกว่า SD30 ซึ่งเท่ากับ 8,785.10 บาท โดยมีความแตกต่างของราคาร้อยละ 19.10 การวิเคราะห์นี้แสดงถึงการเพิ่มประสิทธิภาพด้านโครงสร้างของ SD40 โดยมีต้นทุนสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย

ภาพประกอบ 88 การหาค่าตอบอย่างเหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 5 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคารวมและจำนวนรอบของการค้นหาค่าตอบเผยให้เห็นแนวโน้มของการหาค่าตอบอย่างเหมาะสม ซึ่งแสดงให้เห็นการลดลงของราคารวม ตามจำนวนรอบการคำนวณ เส้นกราฟของการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 และการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD40 มีแนวโน้มการลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงรอบแรก ๆ ก่อนที่จะเริ่มมีการลดลงอย่างช้า ๆ และเข้าสู่ค่าคงที่ที่ใกล้เคียงกันในช่วงท้าย เมื่อจำนวนรอบการคำนวณมากกว่า 100 รอบ ความแตกต่างระหว่างกราฟทั้งสองอยู่ในระดับเล็กน้อย แต่ SD40 แสดงการเข้าสู่จุดคงที่ได้รวดเร็วกว่าบ้างในช่วง

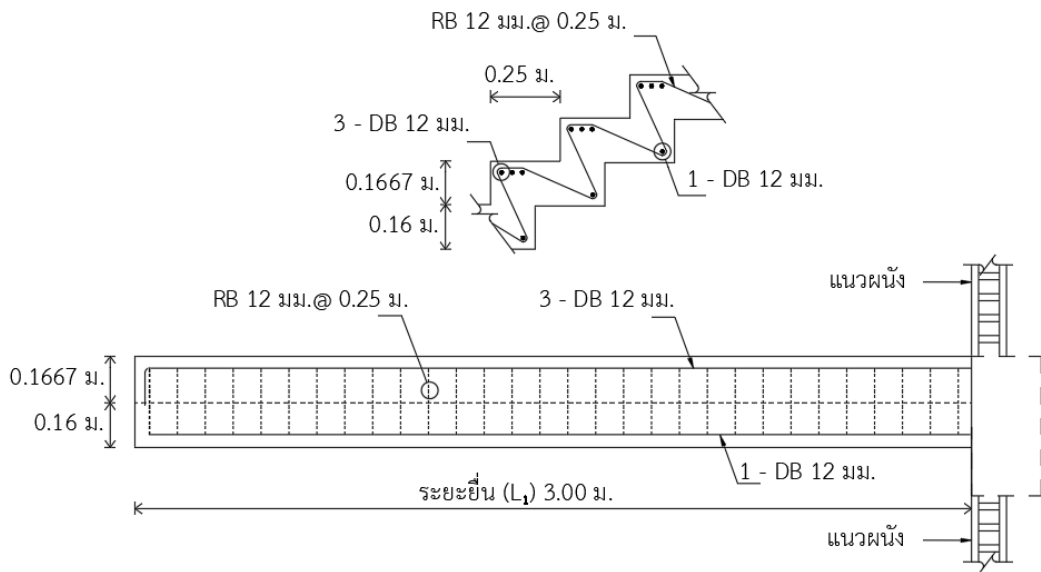
เริ่มต้น ข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่า SD40 อาจมีความคุ้มค่าด้านวิศวกรรมที่ดีขึ้นเล็กน้อยในบางแง่มุม แม้ว่าราคาจะสูงกว่า SD30

ตาราง 33 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA เปรียบเทียบเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD30 กับ SD40 สำหรับ ตัวอย่างที่ 5

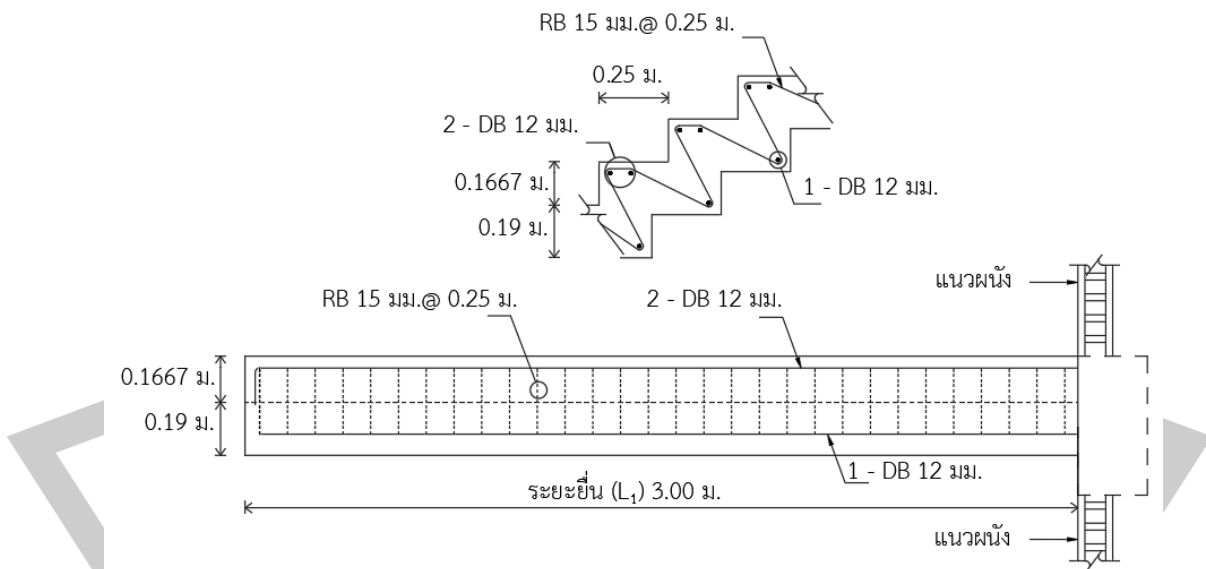
รายการ	ตัวอย่างที่ 5	
	SD30	SD40
ระยะยื่น (ม.)	3.00	3.00
ชั้นบันไดหนา (ซม.)	16.00	19.00
ขนาดลูกตั้ง (ซม.)	16.67	16.67
ขนาดลูกนอน (ซม.)	25.00	25.00
เหล็กเสริมหลัก (ต่อ 1 ชั้น)	3-DB12	2-DB12
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได	RB12 @0.25ม.	RB15 @0.25ม.
ค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้น (ซม.)	0.24	0.17
ราคารวม (บาท)	8,785.10	8,956.18
ร้อยละความแตกต่างราคา		1.91



ภาพประกอบ 88 การหาค่าตอบอย่างเหมาะสม สำหรับตัวอย่างที่ 5



ภาพประกอบ 89 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA สำหรับตัวอย่างที่ 5 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD30



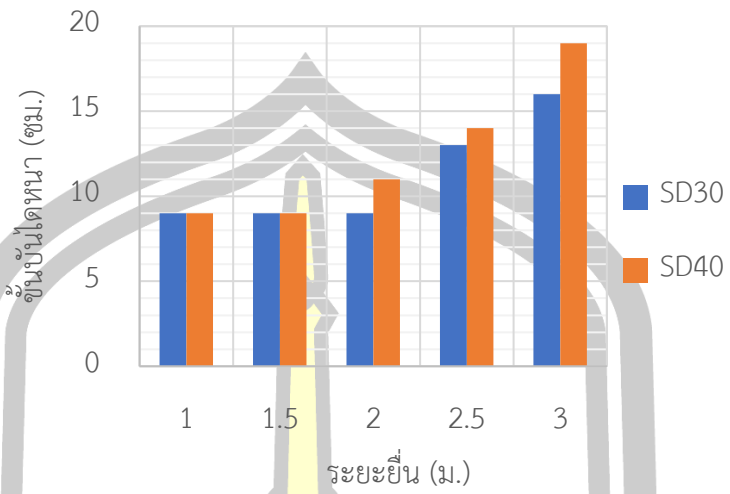
ภาพประกอบ 90 ผลการออกแบบด้วยวิธี BA สำหรับตัวอย่างที่ 5 กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก
ชั้นคุณภาพ SD40

ตาราง 34 ผลการทดสอบด้วยวิธี BA เปรียบเทียบเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD30 กับ SD40 สำหรับ
ตัวอย่างที่ 1 - 5

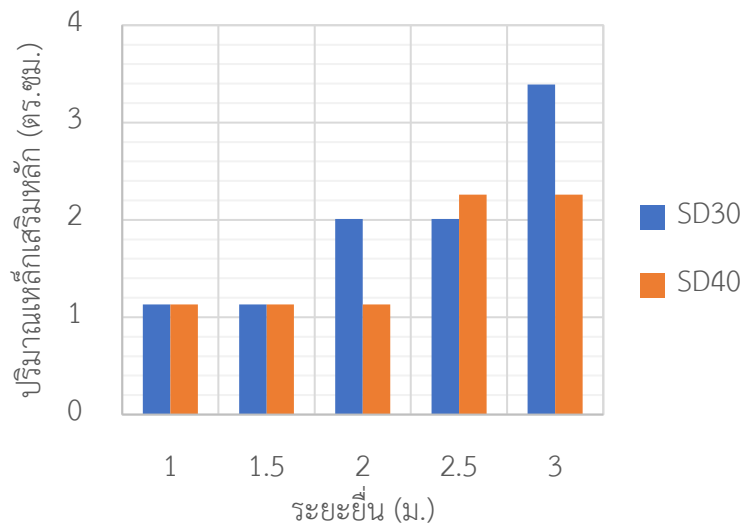
รายการ	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2		ตัวอย่างที่ 3	
	SD30	SD40	SD30	SD40	SD30	SD40
ระยะยื่น (ม.)	1.00	1.00	1.50	1.50	2.00	2.00
ชั้นบันไดหนา (ซม.)	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	11.00
เหล็กเสริมหลัก (ต่อ 1 ชั้น)	1-DB12	1-DB12	1-DB12	1-DB12	1-DB16	1-DB12
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได	RB9 @0.25ม.	RB9 @0.25ม.	RB9 @0.25ม.	RB9 @0.25ม.	RB9 @0.25ม.	RB12 @0.25ม.
ค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้น (ซม.)	0.008	0.008	0.04	0.04	0.13	0.09
ราคารวม (บาท)	2,524.46	2,517.86	3,650.86	3,640.96	4,973.95	5,088.40
ร้อยละความแตกต่าง ราคา		0.26		0.27		2.25

ตาราง 35 ผลการทดสอบด้วยวิธี BA เปรียบเทียบเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD30 กับ SD40 สำหรับ
ตัวอย่างที่ 1 - 5 (ต่อ)

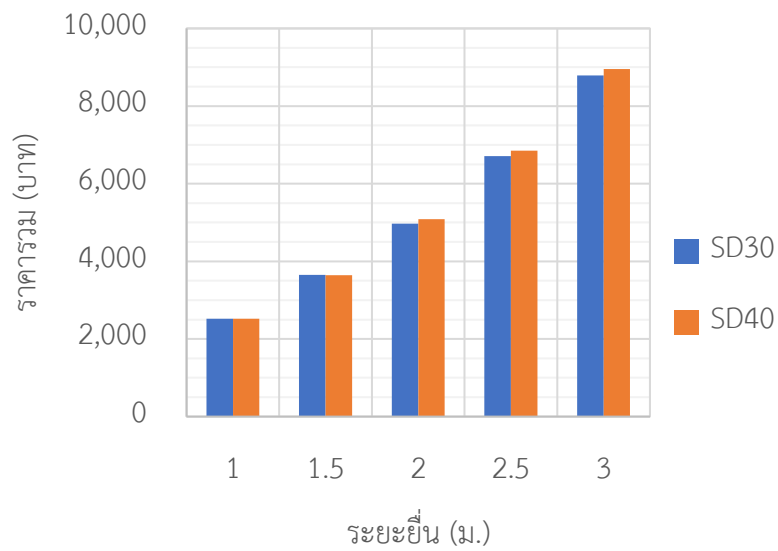
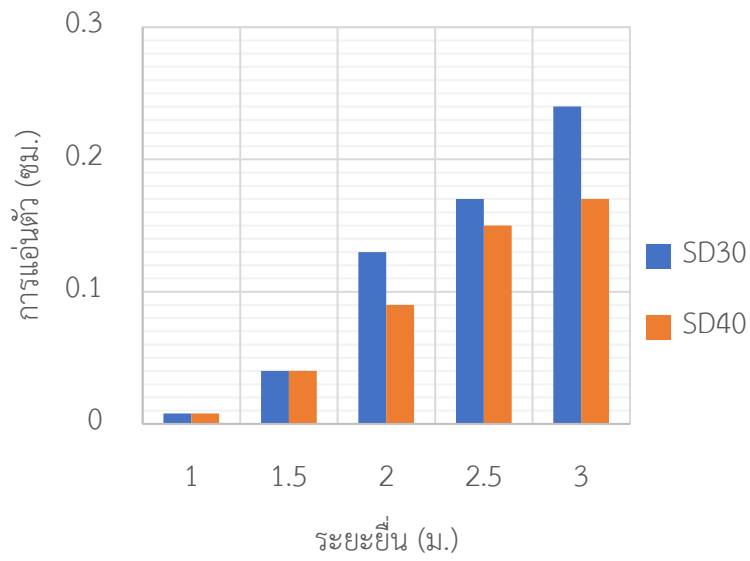
รายการ	ตัวอย่างที่ 4		ตัวอย่างที่ 5	
	SD30	SD40	SD30	SD40
ระยะยื่น (ม.)	2.50	2.50	3.00	3.00
ชั้นบันไดหนา (ซม.)	13.00	14.00	16.00	19.00
เหล็กเสริมหลัก (ต่อ 1 ชั้น)	1-DB16	2-DB12	3-DB12	2-DB12
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได	RB12 @0.25ม.	RB12 @0.25ม.	RB12 @0.25ม.	RB15 @0.25ม.
ค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้น (ซม.)	0.17	0.15	0.24	0.17
ราคารวม (บาท)	6,709.75	6,850.60	8,785.10	8,956.18
ร้อยละความแตกต่างราคา		2.06		1.91



ภาพประกอบ 91 ความหนาชั้นบ้นได้เมื่อเพิ่มระยะยื่นจากผนัง



ภาพประกอบ 92 ปริมาณเหล็กเสริมหลักเมื่อเพิ่มระยะยื่นจากผนัง



ภาพประกอบ 94 ราคารวมเมื่อเพิ่มระยะยื่นจากผนัง

ตารางที่ 34 และ 35 จากผลการทดสอบออกแบบด้วยวิธี BA เปรียบเทียบการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 กับการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD 40 สำหรับการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังอย่างเหมาะสม ผลการทดสอบเผยให้เห็นว่าการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 ส่งผลให้ส่วนของชั้นบันไดคอนกรีตมีความหนาที่น้อยกว่าการเลือกใช้เหล็กเสริมหลักชั้นคุณภาพ SD40 ในระยะยื่นตั้งแต่ 2.00 ม. ถึง 3.00 ม. ขณะที่ระยะยื่นตั้งแต่ 1.00 ม. ถึง 2.00 ม. เลือกใช้ความหนาที่เท่ากัน ตามภาพประกอบ 91 อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงปริมาณของเหล็กเสริมหลัก พบว่า กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD40 มีปริมาณที่น้อยกว่ากรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 ในระยะยื่น 2.00 ม. และ 3.00 ม. ในระยะยื่น 2.50 ม. สำหรับ SD40 มีปริมาณเหล็กเสริมหลักที่มากกว่า SD30 ขณะที่ระยะยื่น 1.00 ม. และ 1.50 ม. มีปริมาณเหล็กเสริมหลักเท่ากัน ตามภาพประกอบ 92 เมื่อพิจารณาถึงค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นพบว่า กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD40 มีค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นน้อยกว่ากรณีการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 ในระยะยื่น 2.00 ม. ถึง 3.00 ม. และมีค่าการแอ่นตัวที่เท่ากันในระยะยื่น 1.00 ม. และ 1.50 ม. ตามภาพประกอบ 93 การเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 ได้ราคารวมที่ต่ำกว่าการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD40 ในระยะยื่น 2.00 ม. ถึง 3.00 ม. และมีราคารวมเท่ากันที่ระยะยื่น 1.00 ม. ถึง 1.50 ม. ตามภาพประกอบ 94 ถึงแม้ว่า การเลือกใช้เหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD40 จะมีราคารวมที่มากกว่าการเลือกใช้เหล็กชั้นคุณภาพ SD30 อยู่เพียงเล็กน้อย แต่หากพิจารณาเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD40 จะมีโครงสร้างที่มั่นคงแข็งแรงมากกว่าการเลือกใช้เหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD30 อย่างเห็นได้ชัดเจน อย่างไรก็ตาม จากข้อมูลในการทดสอบออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังอย่างเหมาะสม พบว่าระยะยื่นที่มากขึ้นมีแนวโน้มทำให้ราคารวมที่ออกแบบด้วยการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 มีราคารวมถูกกว่าเมื่อเทียบกับการออกแบบด้วยการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD40

พูน ปรณ ทิโต ชีเว

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (BA) เมื่อเปรียบเทียบกับฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (HCA) ด้วยการพัฒนาอัลกอริทึมจากซอฟต์แวร์ไมโครซอฟต์แวร์วิซวลเบสิก เวอร์ชัน 6.0 เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ด้วยการกำหนดกำลังอัดประลัยคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน ขนาดและกำลังครากของเหล็กเสริมคอนกรีต ขนาดความสูงและความยาวของบันได ความหนาชั้นบันไดเริ่มต้น ระยะยื่นจากผนัง และน้ำหนักบรรทุกจร เพื่อหาขนาดหน้าตัด ปริมาณเหล็กเสริมอย่างเหมาะสมและราคารวมแต่ละตัวอย่างโดยการทดสอบกับตัวอย่างการออกแบบอย่างเหมาะสมที่มีระยะยื่นแตกต่างกัน ทั้งหมด 5 ตัวอย่าง

5.1 สรุปผลการศึกษา

กรณีศึกษา 1 การทดสอบใช้วิธี HCA สำหรับการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่เหนือกว่าเมื่อเทียบกับวิธี CM ผลการทดลองพบว่าวิธี HCA สามารถออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังได้อย่างเหมาะสม โดยผลการออกแบบได้ขนาดหน้าตัดบันไดที่เล็กกว่าและใช้ปริมาณเหล็กเสริมน้อยกว่า ซึ่งนำไปสู่การลดต้นทุนรวมลงในทั้ง 5 ตัวอย่างโดยคิดเป็นร้อยละความแตกต่างราคาเท่ากับ 3.51 3.08 3.07 2.20 และ 1.50 ตามลำดับ สำหรับกรณีการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 และคิดเป็นร้อยละความแตกต่างราคาเท่ากับ 3.52 3.09 1.75 1.53 และ 0.56 ตามลำดับ สำหรับกรณีการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD40 นอกจากนี้ผลการออกแบบด้วยวิธี HCA ยังประหยัดเวลามากกว่าวิธี CM ทำให้กระบวนการออกแบบรวดเร็วและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ดังนั้น วิธี HCA จึงเป็นทางเลือกที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี CM สำหรับการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ช่วยให้ได้ผลลัพธ์ที่คุ้มค่าและประหยัดต้นทุนอย่างชัดเจน

กรณีศึกษา 2 การทดสอบออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังด้วยวิธี BA และวิธี HCA โดยกำหนดเงื่อนไขการออกแบบตามมาตรฐาน วสท.011007-19 เพื่อให้บันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังมีราคารวมต่ำสุดแต่ยังคงมีความมั่นคงแข็งแรงและปลอดภัยต่อการใช้งาน เมื่อเปรียบเทียบการคำนวณออกแบบในทั้ง 5 ตัวอย่าง พบว่า ทั้งสองอัลกอริทึมสามารถค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้เหมือนกัน แตกต่างกันเพียงจำนวนรอบของการทำงาน โดยบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นที่ถูกออกแบบด้วยวิธี BA มีแนวโน้มการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมได้

รวดเร็วกว่าวิธี HCA ในทั้ง 5 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 45.40 53.87 52.70 56.48 และ 53.79 ตามลำดับ เมื่อทดสอบซ้ำจำนวน 30 ครั้ง พบว่ารอบการทำงานเฉลี่ยของประชากรวิธี BA มีรอบการทำงานที่เร็วกว่าวิธี HCA ร้อยละ 17.08 23.05 20.59 18.37 และ 17.46 ตามลำดับ นอกจากนี้ ผลการทดสอบทางสถิติ t-test ยังแสดงให้เห็นว่า วิธี BA มีรอบการทำงานเฉลี่ยที่น้อยกว่าวิธี HCA อย่างมีนัยสำคัญ ทั้ง 5 ตัวอย่าง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

อย่างไรก็ตาม ทั้ง BA และ HCA มีข้อจำกัดในการใช้งานกับปัญหาที่มีจุดเหมาะสมเฉพาะที่ (Local Optimum) หลายจุด เนื่องจากอัลกอริทึมทั้งสองมีแนวโน้มที่จะหยุดการค้นหาเมื่อพบจุดดังกล่าว แทนที่จะหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Global Optimum) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นวิธีการเหล่านี้จึงเหมาะสมสำหรับปัญหาที่มีจำนวนจุดเหมาะสมเฉพาะที่น้อย หรือในกรณีที่สามารถยอมรับคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ ตัวอย่างเช่น งานออกแบบโครงสร้างบางประเภท หรืองานที่มีลักษณะคล้ายกันกับงานวิจัยนี้

กรณีศึกษา 3 ผลการทดสอบออกแบบด้วยวิธี BA ที่เปรียบเทียบการใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 กับ SD40 สำหรับบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง พบว่า การออกแบบด้วยการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 ชั้นบันไดคอนกรีตมีความหนาที่ต่ำกว่า ในขณะที่การออกแบบด้วยการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD40 มีการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นน้อยกว่าและใช้ปริมาณเหล็กเสริมหลักน้อยกว่า นอกจากนี้ ค่าใช้จ่ายรวมของการออกแบบด้วยการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 ต่ำกว่าเล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาความแข็งแรงทางโครงสร้าง การออกแบบด้วยการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD40 ให้ความมั่นคงแข็งแรงมากกว่าชัดเจน อย่างไรก็ตาม จากข้อมูลในการทดสอบออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังอย่างเหมาะสม พบว่าระยะยื่นที่มากขึ้นมีแนวโน้มทำให้ราคารวมที่ออกแบบด้วยการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30 มีราคารวมสูงกว่า เมื่อเทียบกับการออกแบบด้วยการเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD40

ผลการวิจัยใช้วิธี HCA สำหรับการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ได้แสดงถึงประสิทธิภาพที่เหนือกว่าวิธี CM ในหลายด้าน โดยเฉพาะในเรื่องของการประหยัดต้นทุน และการลดขนาดหน้าตัดบันไดให้เล็กลง รวมถึงการใช้ปริมาณเหล็กเสริมน้อยกว่าอย่างชัดเจน นอกจากนี้ วิธี HCA ยังใช้เวลาออกแบบน้อยกว่าวิธี CM ทำให้กระบวนการออกแบบมีความรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สรุปว่าวิธี HCA เป็นตัวเลือกที่ดีในการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี CM ที่ไม่เพียงช่วยลดต้นทุนการก่อสร้าง แต่ยังให้ผลลัพธ์ที่คุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์

ผลการวิจัยใช้วิธี BA สำหรับการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง เปรียบเทียบกับวิธี HCA แสดงถึงความแตกต่างที่สำคัญระหว่างวิธี BA และวิธี HCA จากการกำหนดค่าเริ่มต้นที่เหมือนกัน โดยวิธี HCA ใช้การสุ่มค่าและสร้างคำตอบใหม่ที่ใกล้เคียงคำตอบเดิม จึงมีคำตอบที่ถูกสร้างมากทำให้ผลลัพธ์แปรปรวนสูง สะท้อนจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงในการทดสอบ 30 ครั้ง ตรงกันข้ามวิธี BA ใช้การสุ่มค่าแล้วแบ่งครึ่งขอบเขตการค้นหา เพื่อลดพื้นที่การค้นหาและระบุช่วงที่มีคำตอบที่รวดเร็วกว่า มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำกว่า สรุปว่าวิธี BA มีประสิทธิภาพและความสม่ำเสมอในการหาคำตอบที่เหมาะสมกว่าวิธี HCA ในแง่ของการค้นหาคำตอบที่มีความรวดเร็ว

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองใช้วิธี BA ในการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังเพื่อเปรียบเทียบกับวิธี HCA พบว่าวิธี BA มีประสิทธิภาพดีกว่า แต่ด้วยข้อจำกัดของงานมีจุดสูงสุดเฉพาะจุดหลายจุด ซึ่งอาจไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นผลให้ความแม่นยำในการค้นหาคำตอบแต่ละรอบยังควรได้รับการปรับปรุง เห็นได้จากการศึกษานี้ กำหนดขนาดความหนาของชั้นบันไดที่หนามาก และกำหนดช่วงขอบเขตของการค้นหาที่มีความกว้าง จึงทำให้ในบางรอบการค้นหาไม่สามารถค้นพบคำตอบที่ดีที่สุด สำหรับแนวทางการพัฒนางานวิจัยต่อไปอาจทำได้ ดังนี้

5.2.1 กำหนดขนาดความหนาชั้นบันไดให้มีขนาดเหมาะสม และกำหนดช่วงขอบเขตของการค้นหาที่มีความแคบลง เพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

5.2.2 กำหนดช่วงขอบเขตการค้นหาที่แคบ จำนวน 1 ครั้ง เพื่อดูแนวโน้มของคำตอบที่ได้จากแต่ละตัวแปร จากนั้นปรับลดช่วงขอบเขตการค้นหาให้แคบลง ทำให้สามารถลดระยะเวลาการค้นหาคำตอบและเพิ่มโอกาสในการได้รับคำตอบที่ดีที่สุดอย่างแท้จริง

เพื่อประเมินประสิทธิภาพเพิ่มเติมและเพิ่มความมั่นใจในความปลอดภัยและประหยัดค่าใช้จ่าย จึงขอแนะนำให้ประยุกต์ใช้วิธี BA ไปออกแบบโครงสร้างด้านวิศวกรรม เช่น คาน เสา ฐานราก หรือโครงสร้างอื่นๆ ที่ต้องการออกแบบโดยใช้เวลาและต้นทุนต่ำแต่ยังคงประสิทธิภาพสูง

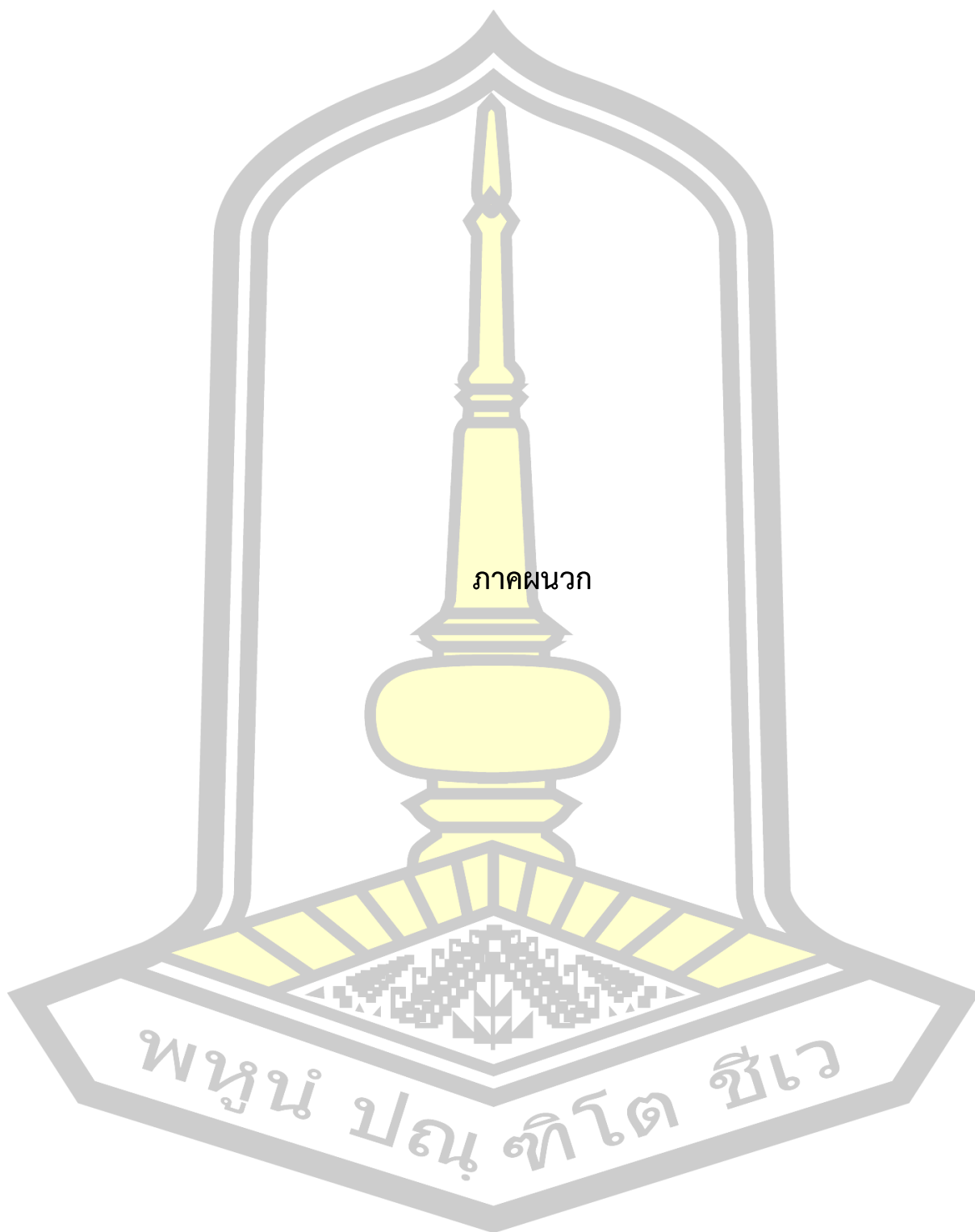
พูน ปณ ทิโต ชีเว

บรรณานุกรม

- [1] M.Y.H.BANGASH and T.BANGASH, *Stair_Structural_Analysis and Design Cases*. 1999.
- [2] L. Mao and S. S. A. Jaiyong, "<A Study of the Reinforcement of Steel Plates into RC Cantilever Stairs.pdf>," *The 25th National Convention on Civil Engineering*, July 15 - 17, 2020 2020.
- [3] V. Govindaraj and J. V. Ramasamy, "Optimum detailed design of reinforced concrete continuous beams using Genetic Algorithms," *Computers & Structures*, vol. 84, no. 1-2, pp. 34-48, 2005, doi: 10.1016/j.compstruc.2005.09.001.
- [4] J. Cheng, "Optimum design of steel truss arch bridges using a hybrid genetic algorithm," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 66, no. 8-9, pp. 1011-1017, 2010, doi: 10.1016/j.jcsr.2010.03.007.
- [5] EIT, *Building Code Requirements for Reinforced Concrete Working Stress Design Method (EIT Standard 011007-19)*, 2nd Revision ed. Chulalongkorn University Press, Bangkok, 2019.
- [6] วินิต ซ่อวิเชียร, การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน. 1030/8-12 ถนนนครไชยศรี ดุสิต กทม. 10300: ห้างหุ้นส่วนจำกัด ป. สัมพันธ์พาณิชย์, 2542.
- [7] J. Pearl, *HEURISTICS Intelligent Search Strategies for Computer Problem Solving*. ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY, 1984.
- [8] ปราโมทย์ เตชะอำไพ และ นิพนธ์ วรรณโสภาคย์, วิธีเชิงตัวเลขทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2560, pp. 26-28.
- [9] S. Patchochai, N. Gittrapinate, and A. Lamom, "Optimum Design of Axial Loaded Reinforced Concrete Column using Bisection Algorithm," *Ladkrabang Engineering Journal*, vol. Vol. 28, No. 3, September 2011 2011.
- [10] A. Tapown, A. Lamom, and R. Cheerarot, "Optimal Design of Biaxial Reinforced Concrete Rectangular Column by Heuristic Algorithm," Master Degree of Engineer, Maharakham University, 2012.

- [11] S. Juisuwannathat and W. Smittakorn, "Optimal Design of Reinforced Concrete Buildings by Simulated annealing Algorithm," Master of Engineering, Chulalongkorn University, 2014.
- [12] A. Techaratanaprasert and W. Smittakorn, "Optimum Design of Reinforced Concrete Buildings by Harmony Search Algorithm," Master of Engineering, Chulalongkorn University, 2014.
- [13] E. Prakobkit and W. Smittakorn, "Apprication of Firefly Algorithm to Optimal Design of Reinforced Concrete Structures," Master of Engineering, Chulalongkorn University, 2015.
- [14] S. Chomchuen and A. Lamom, "Optimum Design of Prestressed Concrete Plank Girder Using Bisection Algorithm," Master of Engineering Mahasarakham University, 2020.
- [15] A. Tapown and R. Cheerarot, "Optimum Design of Reinforced Concerte Foundtions by Fruit Fly Optimization Algorithm," *The journal of KMUTNB.*, vol. 31, pp. 16-24, No.1, jan.- mar. 2021 2021.
- [16] M. Azizi, S. Talatahari, M. Basiri, and M. Baghalzadeh Shishehgarkhaneh, "Optimal design of low- and high-rise building structures by Tribe-Harmony Search algorithm," *Decision Analytics Journal*, vol. 3, 2022, doi: 10.1016/j.dajour.2022.100067.
- [17] G.-C. Cui, T. Liang, G.-F. Han, and J. Ji, "An Optimization and Adjustment Method of Pile Orientation for a Pile-Supported Wharf Based on a Genetic Algorithm," *Advances in Civil Engineering*, vol. 2022, pp. 1-13, 2022, doi: 10.1155/2022/1604169.

พหุ ประถมศึกษา



ภาคผนวก

พหุณํ ปณฺ ทิโต ชีเว



ภาคผนวก ก
ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรม

พหุ ประทีป ชัยเว

ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรม

ผู้วิจัยใช้ซอฟต์แวร์ไมโครซอฟต์วิซวลเบสิก เวอร์ชัน 6.0 เป็นเครื่องมือในการพัฒนา อัลกอริทึมการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กอย่างเหมาะสม โดยมีขั้นตอนการพัฒนา ดังนี้

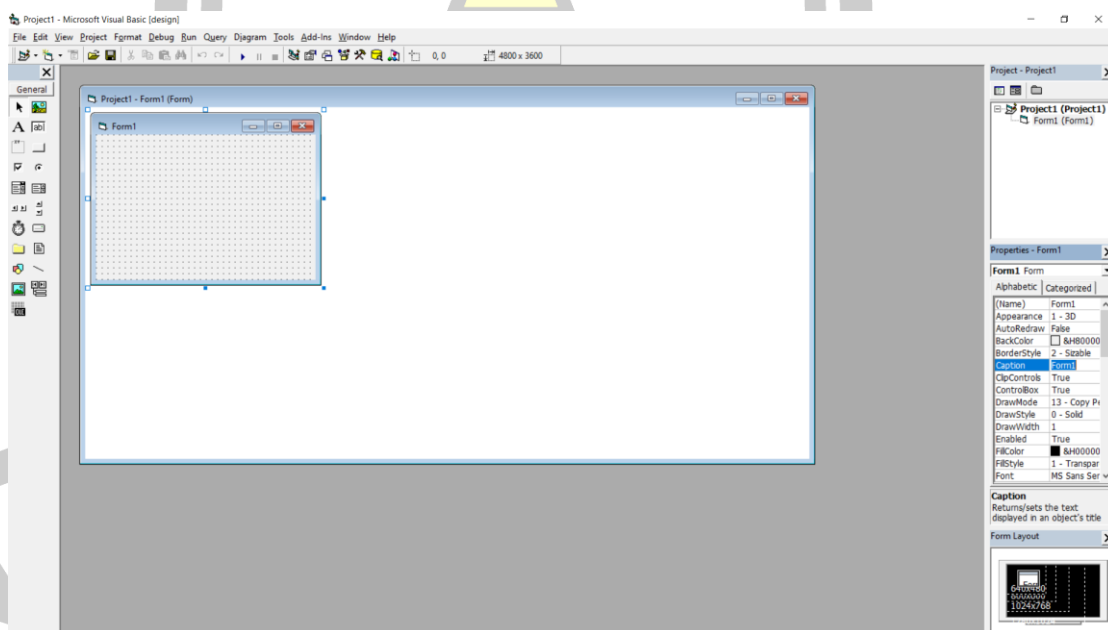
ขั้นตอนที่ 1 การสร้างฟอร์มสำหรับข้อมูล Input และ Output พร้อมการกำหนดชื่อตัวแปรต่างๆ

การวางหลักแนวคิด

- กำหนดให้โปรแกรมใช้งานง่าย
- ฟอร์มสำหรับการป้อนข้อมูล และการแสดงผลในหน้าเดียวกันเพื่อให้ผู้ใช้งานง่ายต่อการใช้งาน

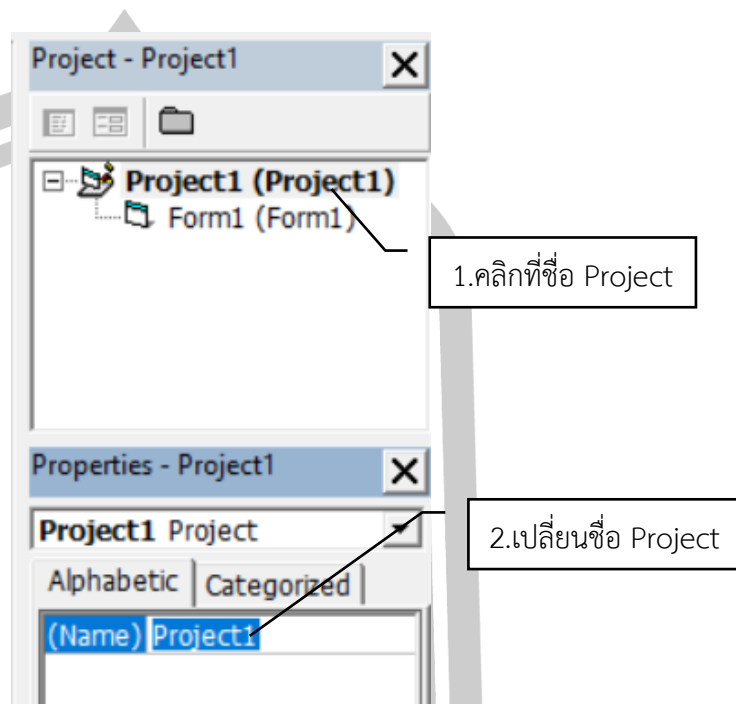
การโปรแกรม

1. เมื่อเปิดซอฟต์แวร์ไมโครซอฟต์วิซวลเบสิก เวอร์ชัน 6.0 แล้วสร้าง Project ใหม่ด้วยการเลือก Standard EXE หน้าจอจะแสดงผล ดังภาพประกอบ 95



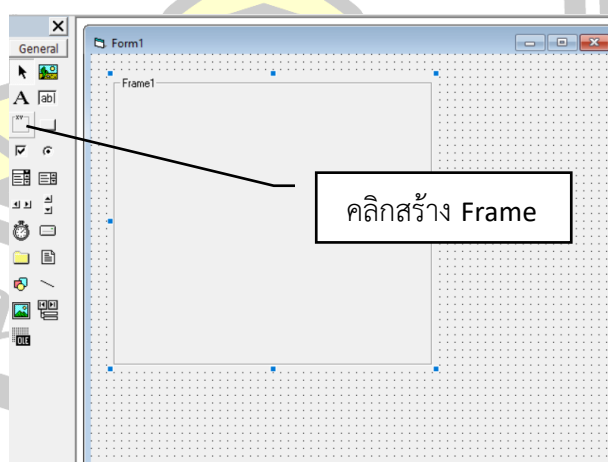
ภาพประกอบ 95 สร้าง Project ใหม่แบบ Standard EXE

2. เปลี่ยนชื่อ Project ตามต้องการ ดังภาพประกอบ 96



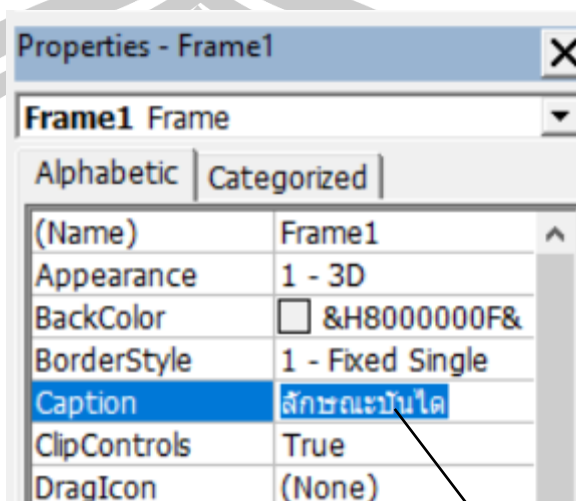
ภาพประกอบ 96 เปลี่ยนชื่อ Project ตามต้องการ

3. สร้าง Frame สำหรับใส่รายละเอียด Input ดังภาพประกอบ 97



ภาพประกอบ 97 สร้าง Frame สำหรับใส่รายละเอียด

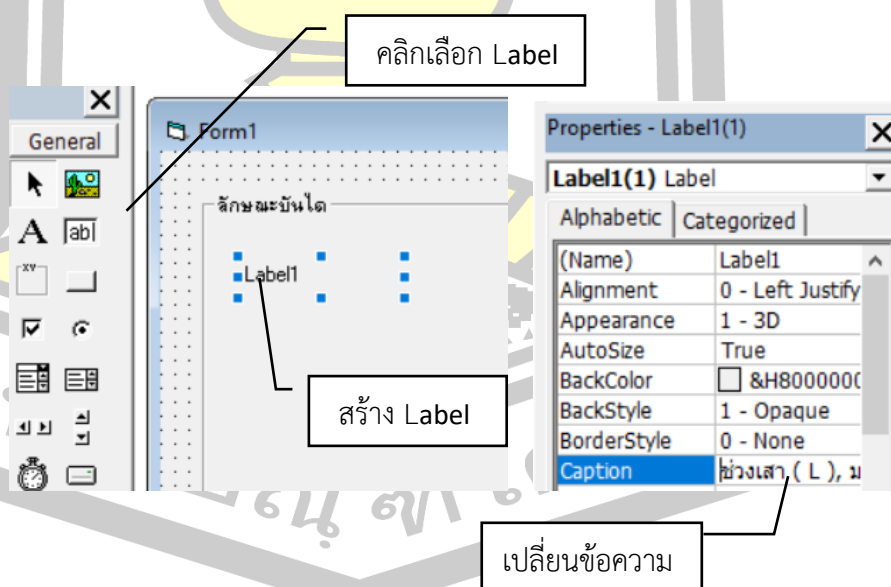
4. เปลี่ยนชื่อ Frame เป็นชื่อตามต้องการ ตามโปรแกรมนี้ตั้งเป็น “ลักษณะบันได”
ดังภาพประกอบ 98



เปลี่ยนชื่อ

ภาพประกอบ 98 การเปลี่ยนชื่อ Frame

5. เพิ่มข้อความลงใน Frame ดังภาพประกอบ 99



ภาพประกอบ 99 การเพิ่มข้อความ

6. เมื่อเพิ่มและเปลี่ยนชื่อข้อความแล้วหน้าจอจะแสดงผล ดังภาพประกอบ 100

The screenshot shows a window titled "Form1" with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). The main area of the window contains a form with a dotted grid background. At the top of the form is the text "ลักษณะบันได". Below it is a larger text area containing "ช่วงเสา (L), ม.".

ภาพประกอบ 100 หน้าจอแสดงผลเมื่อเพิ่มและเปลี่ยนชื่อข้อความ

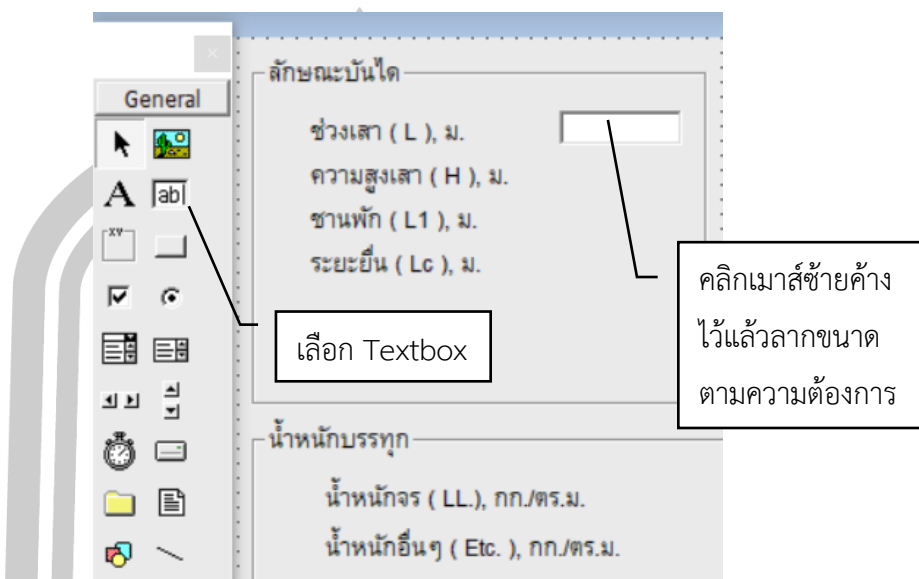
7. ทำตามขั้นตอนที่ 5 และ 6 โดยเพิ่มข้อความตามต้องการ ดังภาพประกอบ 101

The screenshot shows a window with a form divided into four sections, each with a dotted grid background. The sections are:

- ลักษณะบันได:**
 - ช่วงเสา (L), ม.
 - ความสูงเสา (H), ม.
 - ชานพัก (L1), ม.
 - ระยะยื่น (Lc), ม.
- คุณสมบัติวัสดุ:**
 - กำลังอัดประลัยคอนกรีต (f_c'), กก./ตร.ซม.
 - หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กหลัก (f_s), กก./ตร.ซม.
 - ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก (c'), ซม.
- น้ำหนักบรรทุก:**
 - น้ำหนักจร (LL), กก./ตร.ม.
 - น้ำหนักอื่นๆ (Etc.), กก./ตร.ม.
- กำหนดค่าที่ต้องการวิจัย:**
 - จำนวนรอบ (N), รอบ
 - ความหนาเริ่มต้น (T), ซม.

ภาพประกอบ 101 ข้อความสำหรับ Input

8. การสร้าง Textbox สำหรับให้ผู้ใช้งานป้อนข้อมูล ดังภาพประกอบ 102



ภาพประกอบ 102 การสร้าง Textbox

9. ทำตามขั้นตอนที่ 8 โดยเพิ่ม Textbox ให้ครบตามต้องการ ดังภาพประกอบ 103

ลักษณะบันได		คุณสมบัติวัสดุ	
ช่วงเสา (L), ม.	2.00	กำลังอัดประลัยคอนกรีต (f_c'), กก/ตร.ซม.	240
ความสูงเสา (H), ม.	1.50	หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กหลัก (f_s), กก./ตร.ซม.	1500
ชานพัก (L1), ม.	0	ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก (d'), ซม.	2.0
ระยะยื่น (Lc), ม.	2.50		
น้ำหนักบรรทุก		กำหนดค่าที่ต้องการวิจัย	
น้ำหนักจร (LL), กก./ตร.ม.	300	จำนวนรอบ (N), รอบ	1000
น้ำหนักอื่นๆ (Etc.), กก./ตร.ม.	0	ความหนาเริ่มต้น (T), ซม.	50

ภาพประกอบ 103 รายละเอียดสำหรับ Input ที่ต้องการ

10. สร้าง Frame สำหรับใส่รายละเอียด Output โดยทำตามขั้นตอนที่ 3 – 9 จะได้หน้าจอแสดงผล ดังภาพประกอบ 104

ตรวจสอบ

	(BA)	(HCA)
นม.รวม, กก.	<input type="text"/>	<input type="text"/>
M, กก.ม.	<input type="text"/>	<input type="text"/>
V, กก.	<input type="text"/>	<input type="text"/>
d, ซม.	<input type="text"/>	<input type="text"/>
As, ตร.ซม.	<input type="text"/>	<input type="text"/>

ลักษณะบันได

ช่วงเสา (L), ม.	<input type="text" value="2.00"/>
ความสูงเสา (H), ม.	<input type="text" value="1.50"/>
ขานพัก (L1), ม.	<input type="text" value="0"/>
ระยะยื่น (Lc), ม.	<input type="text" value="2.50"/>

คุณสมบัติวัสดุ

กำลังอัดประลัยคอนกรีต (fc'), กก/ตร.ซม.	<input type="text" value="240"/>
หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กหลัก (fs), กก/ตร.ซม.	<input type="text" value="1500"/>
ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก (d'), ซม.	<input type="text" value="2.0"/>

น้ำหนักบรรทุก

น้ำหนักจร (LL), กก/ตร.ม.	<input type="text" value="300"/>
น้ำหนักอื่น ๆ (Etc.), กก/ตร.ม.	<input type="text" value="0"/>

กำหนดค่าที่ต้องการวิจัย

จำนวนรอบ (N), รอบ	<input type="text" value="1000"/>
ความหนาเริ่มต้น (T), ซม.	<input type="text" value="50"/>

ผลการคำนวณ (BA)

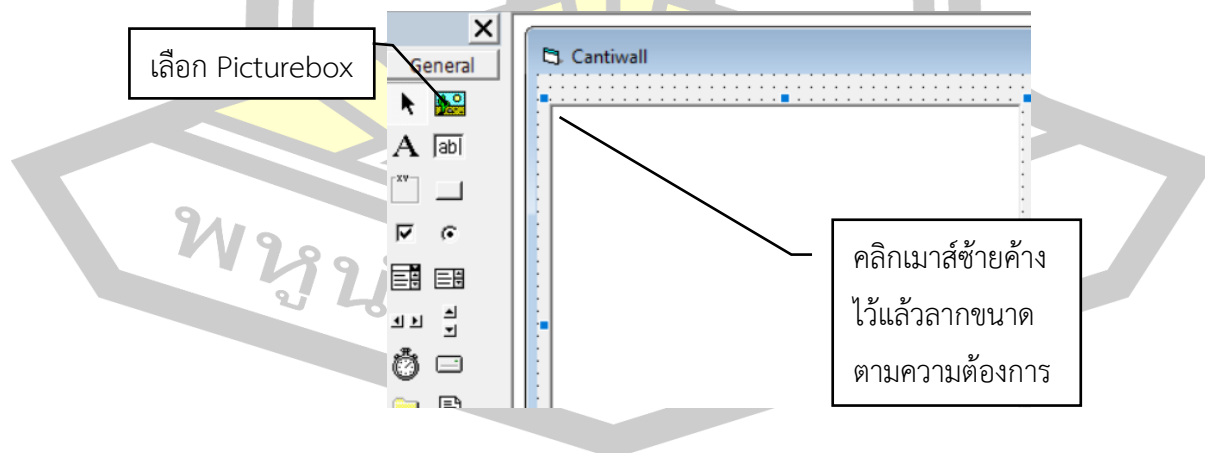
ลูกตั้ง, ซม.	<input type="text"/>
ลูกนอน, ซม.	<input type="text"/>
ความหนา, ซม.	<input type="text"/>
เหล็กเสริมหลัก DB, เส้นชั้น	<input type="text" value="3"/> @ <input type="text"/>
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได RB, ซม.	<input type="text" value="3"/> @ <input type="text"/>
ค่าการแอ่นตัวสูงสุด, ซม.	<input type="text"/>
จำนวนรอบ, รอบ	<input type="text"/>
ปริมาตรคอนกรีต, ลบ.ม./ม.	<input type="text"/>
พื้นที่ไม้แบบ, ตร.ม./ม.	<input type="text"/>
ราคารวม(จัดเหล็ก), บาท/ม.	<input type="text"/>

ผลการคำนวณ (HCA)

ลูกตั้ง, ซม.	<input type="text"/>
ลูกนอน, ซม.	<input type="text"/>
ความหนา, ซม.	<input type="text"/>
เหล็กเสริมหลัก DB, เส้นชั้น	<input type="text" value="3"/> @ <input type="text"/>
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได RB, ซม.	<input type="text" value="3"/> @ <input type="text"/>
ค่าการแอ่นตัวสูงสุด, ซม.	<input type="text"/>
จำนวนรอบ, รอบ	<input type="text"/>
ปริมาตรคอนกรีต, ลบ.ม./ม.	<input type="text"/>
พื้นที่ไม้แบบ, ตร.ม./ม.	<input type="text"/>
ราคารวม(จัดเหล็ก),บาท/ม.	<input type="text"/>

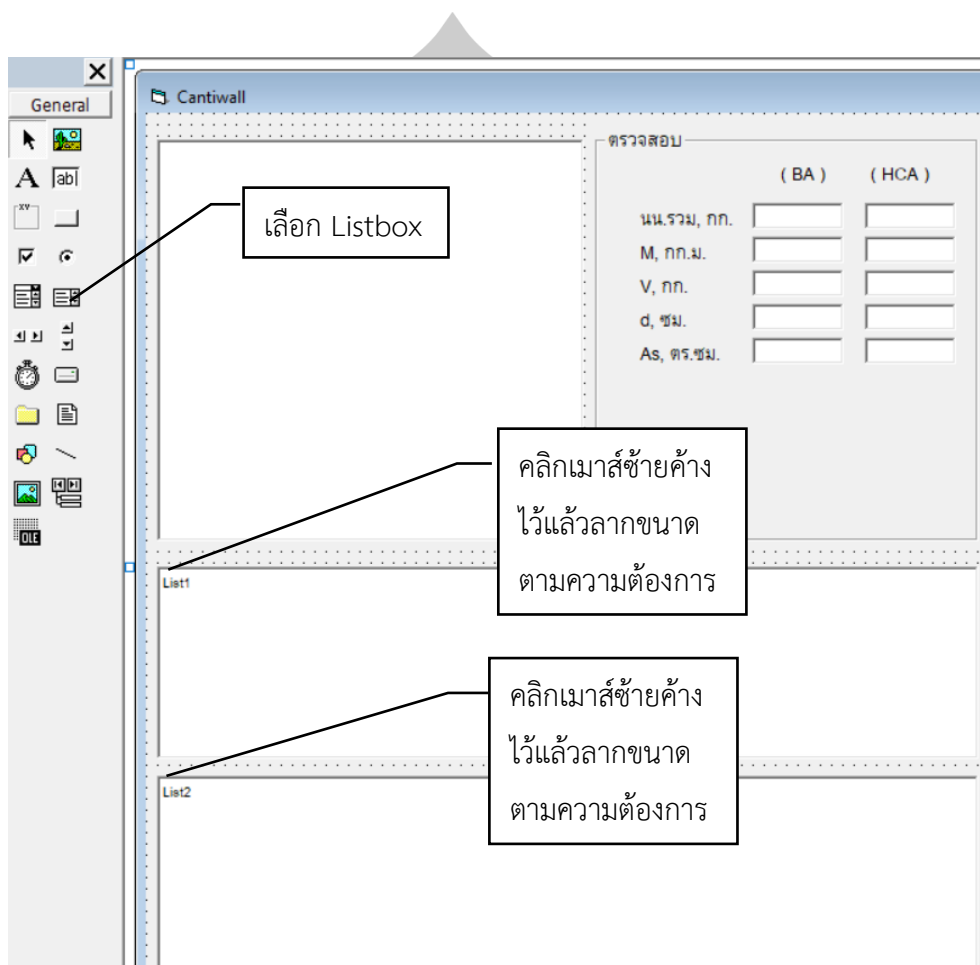
ภาพประกอบ 104 รายละเอียดสำหรับ Input และ Output ที่ต้องการ

11. สร้างหน้าจอแสดงผลของกราฟด้วย PictureBox ดังภาพประกอบ 105



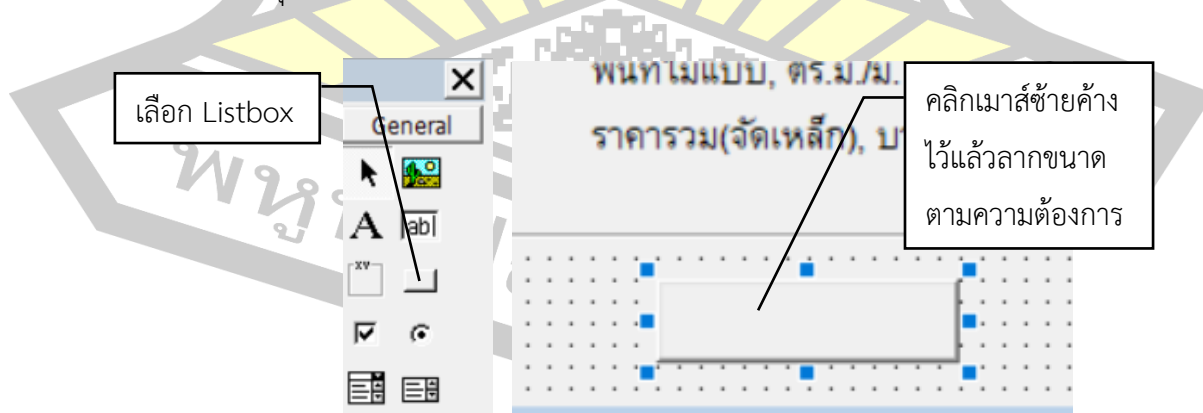
ภาพประกอบ 105 การสร้าง PictureBox เพื่อแสดงผลของกราฟ

12. สร้างหน้าจอแสดงผลของข้อมูลการคำนวณต่างๆ ด้วย Listbox ดังภาพประกอบ 106



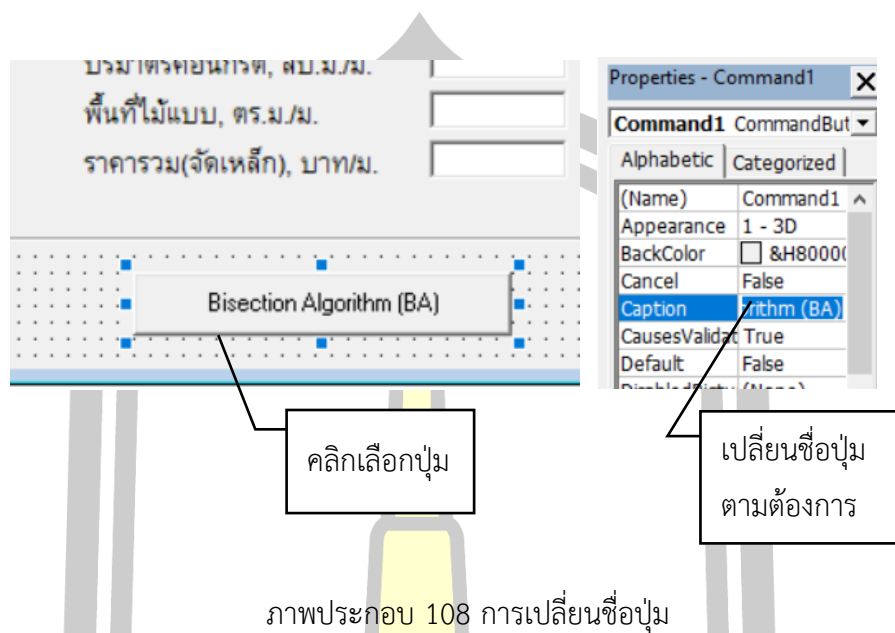
ภาพประกอบ 106 การสร้าง Listbox เพื่อแสดงผลของข้อมูลการคำนวณต่างๆ

13. สร้างปุ่มเพื่อคำนวณตามต้องการ ด้วย Commandbutton ดังภาพประกอบ 107

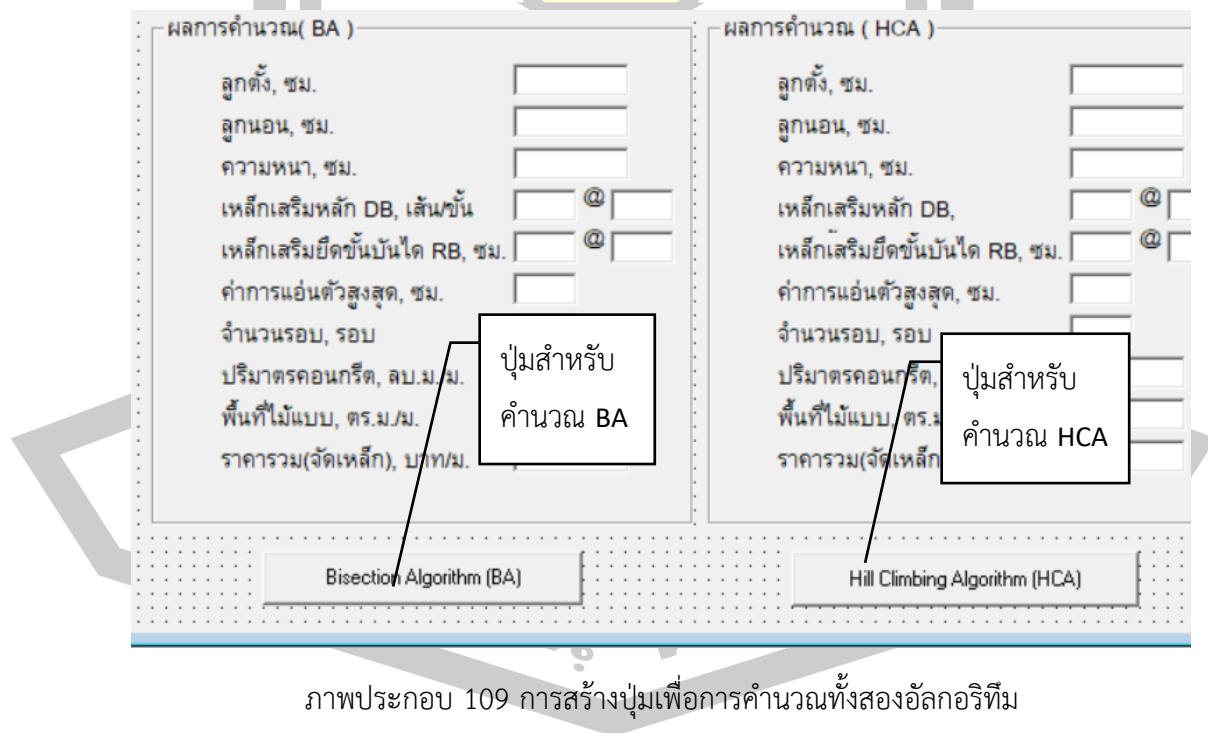


ภาพประกอบ 107 การสร้าง Commandbutton ปุ่มเพื่อใช้สำหรับการคำนวณ

14. การเปลี่ยนชื่อปุ่มเพื่อคำนวณตามต้องการ ดังภาพประกอบ 108

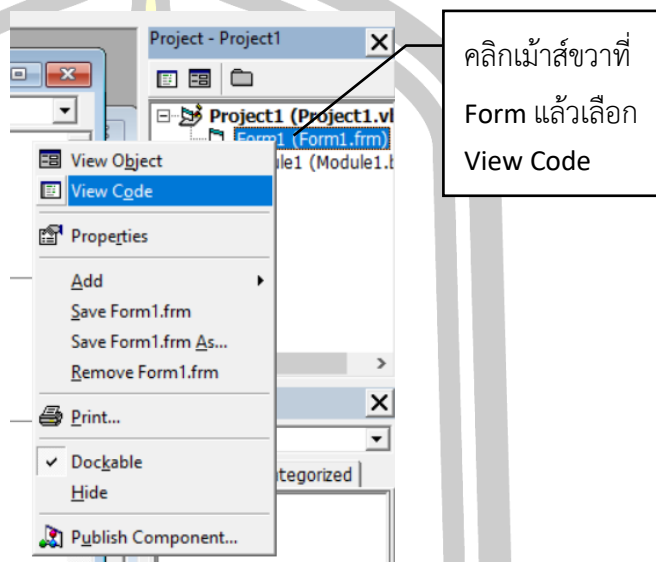


15. สร้างปุ่มเพื่อการคำนวณทั้งสองอัลกอริทึม ด้วย Commandbutton ดังภาพประกอบ 109



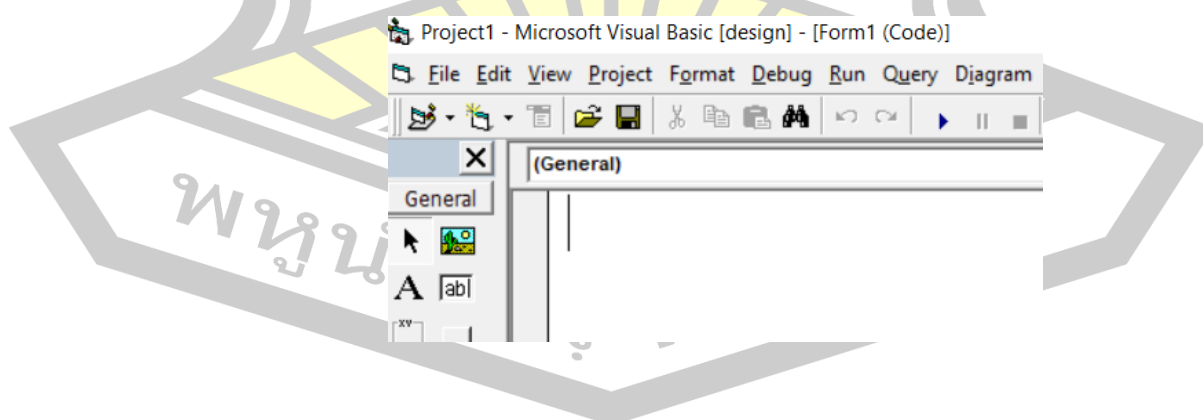
ขั้นตอนที่ 2 การสร้าง Code สำหรับการคำนวณ

1. การเขียน Code เพื่อคำนวณหาค่าที่เหมาะสม ดังภาพประกอบ 110



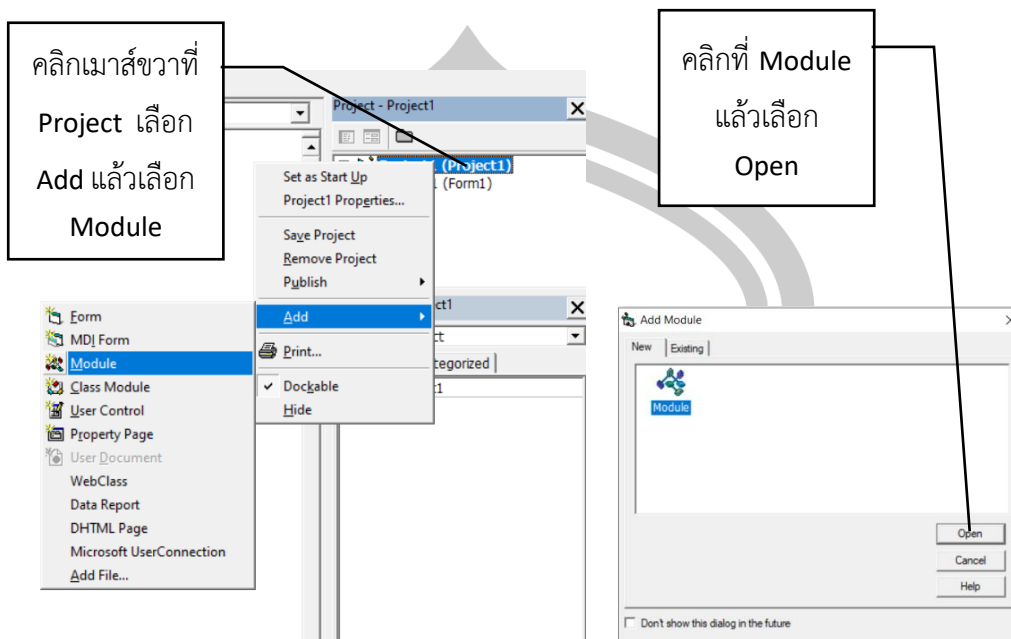
ภาพประกอบ 110 การสร้าง Code สำหรับการคำนวณหาค่าที่เหมาะสม

จากนั้นหน้าต่างจะขึ้นมาแสดงพื้นที่สำหรับการเขียน Code สำหรับการคำนวณค่าต่างๆ ดังภาพประกอบ 111



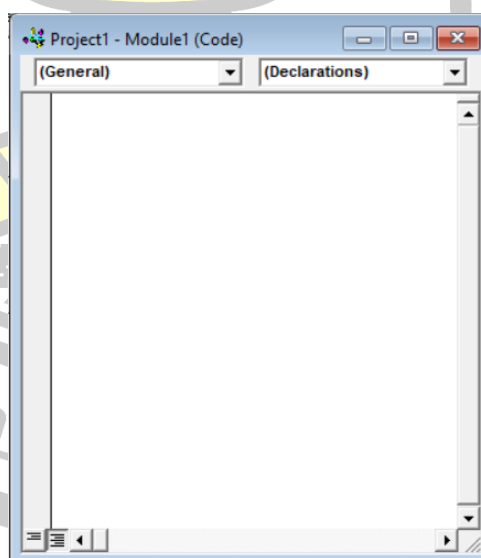
ภาพประกอบ 111 หน้าต่างแสดงพื้นที่สำหรับการเขียน Code

2. การเพิ่มตัวแปรลงใน Module ดังภาพประกอบ 112



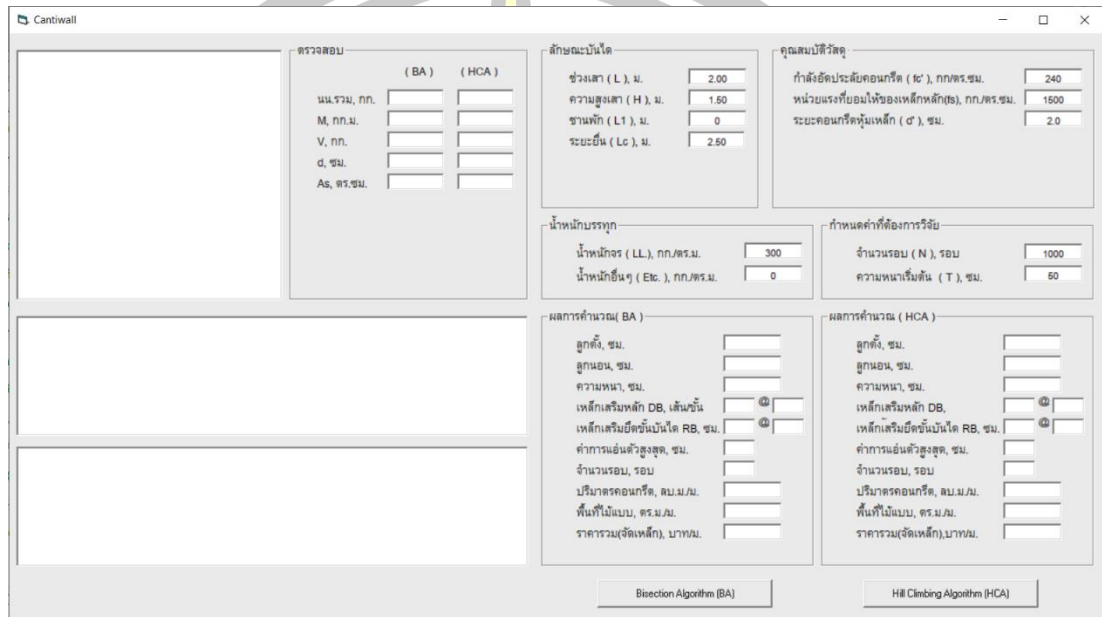
ภาพประกอบ 112 การเลือกเพิ่ม Module

3. เพิ่มตัวแปรลงใน Module เพื่อการคำนวณหาค่าที่เหมาะสม ดังภาพประกอบ 113

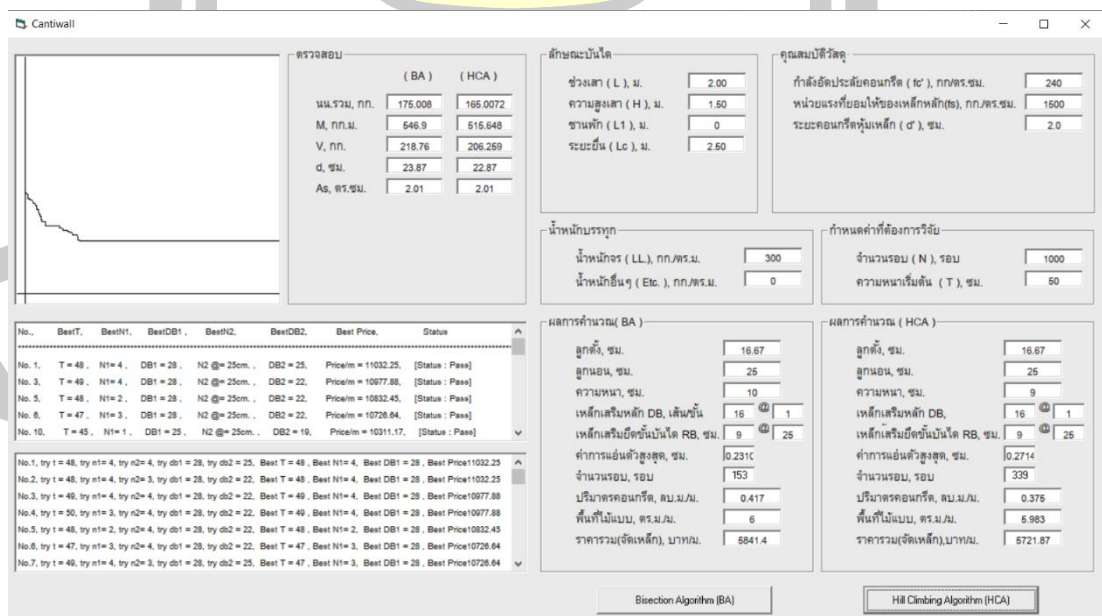


ภาพประกอบ 113 การเพิ่มตัวแปรลงใน Module

ขั้นตอนที่ 3 การประมวลผลด้วยโปรแกรมที่พัฒนาสำหรับการวิจัยการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กอย่างเหมาะสมด้วยอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง ด้วยการนำเข้าข้อมูล Input ตามตัวอย่างที่กำหนด เพื่อให้โปรแกรมการประมวลผลและแสดงผลการทดสอบพร้อมส่งออกข้อมูล Output

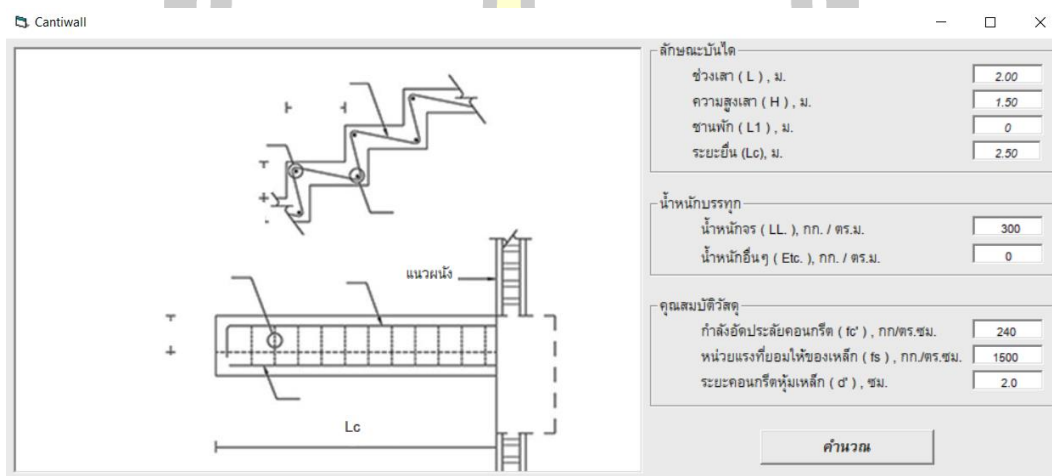


ภาพประกอบ 114 หน้าจอก่อนการประมวลผลสำหรับงานวิจัย

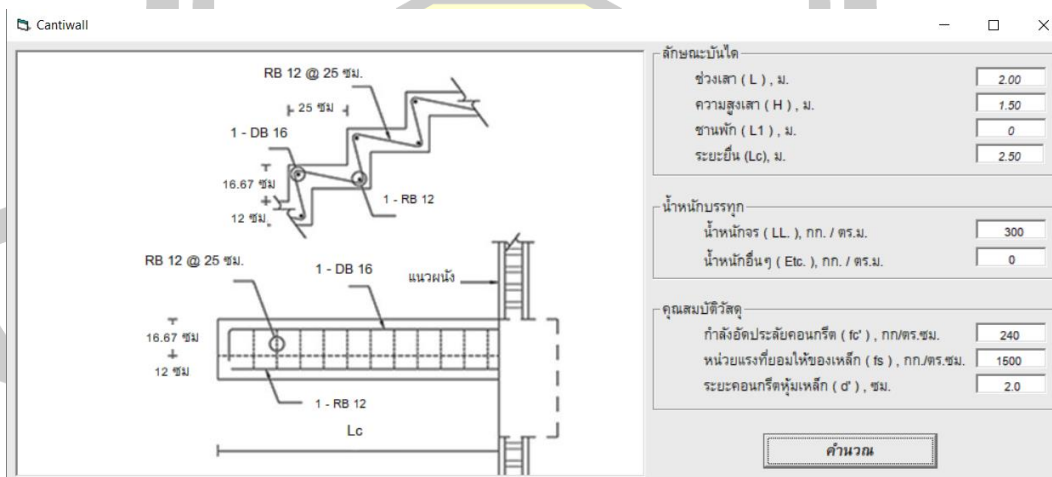


ภาพประกอบ 115 หน้าจอหลังการประมวลผลสำหรับงานวิจัย

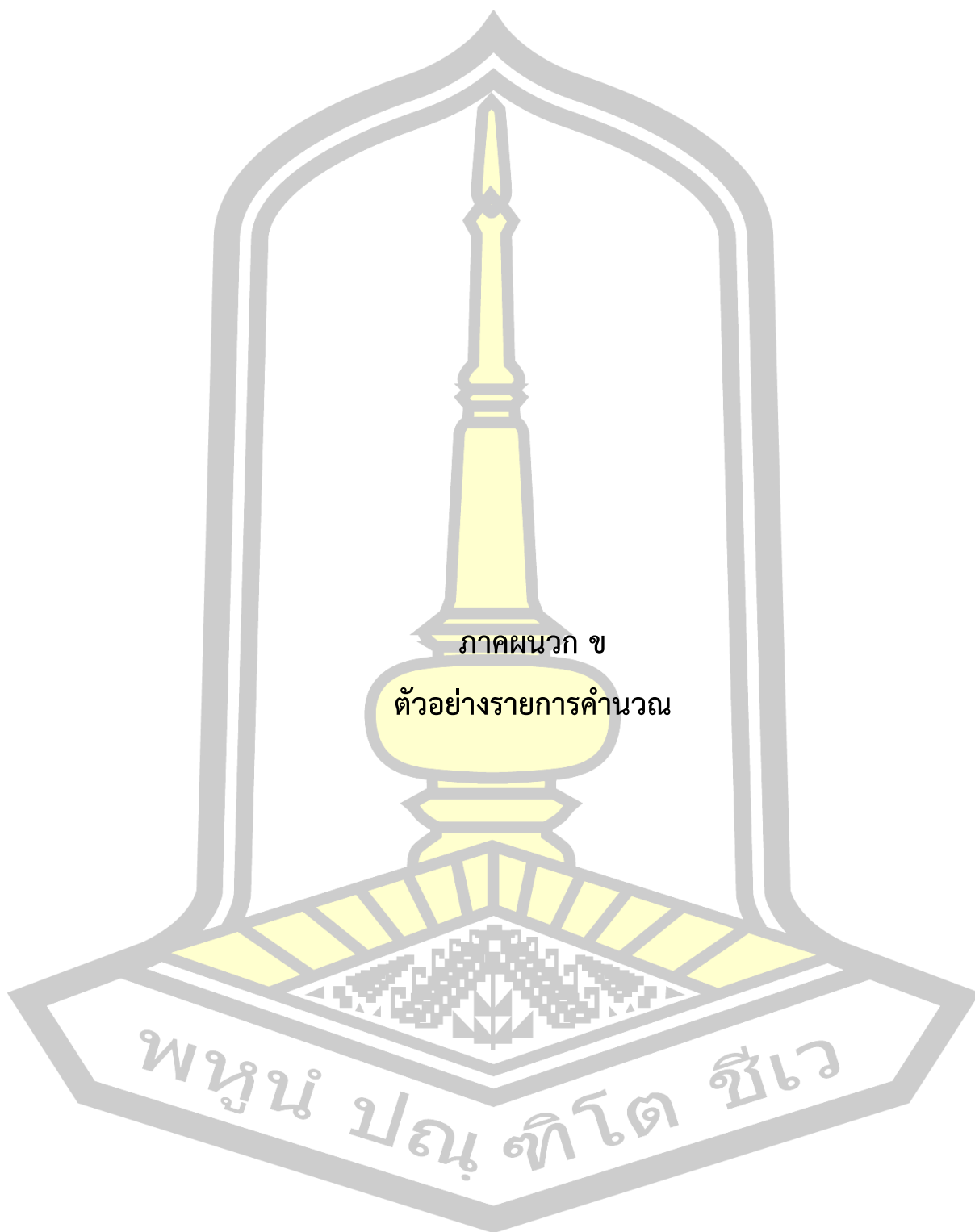
ผู้วิจัยได้ปรับแต่งหน้าจอของโปรแกรมเพื่อให้ผู้ใช้งานสะดวกต่อการใช้สำหรับการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กอย่างเหมาะสม โดยข้อมูลที่นำเข้า Input มีเพียงข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการออกแบบและคำนวณ และข้อมูล Output เป็นผลการคำนวณออกแบบที่แสดงขนาดหน้าตัด ขนาดและปริมาณของเหล็กเสริมคอนกรีต โดยผู้ใช้งานสามารถนำไปใช้งานได้โดยสะดวก ประหยัด และมีความปลอดภัยตามมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย วสท. 011007-19



ภาพประกอบ 116 หน้าจอก่อนการประมวลผล



ภาพประกอบ 117 หน้าจอหลังการประมวลผล



ภาคผนวก ข

ตัวอย่างรายการคำนวณ

พหุบัน ปณุ ทิโต ชีเว

ตัวอย่างการคำนวณแบบทั่วไป (Conventional Calculation Method)

ก. การคำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง กรณี เหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD30

ตัวอย่างที่ 1 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ที่มีช่วงบันไดยาว 2.00 ม. ความสูงบันได 1.50 ม. เหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD30 เหล็กเสริมยึดชั้นบันไดใช้เป็นเหล็กเส้นกลม ชั้นคุณภาพ SR24 กำลังอัดประลัยคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน 240 กก./ซม.² ระยะหุ้มคอนกรีต 2.00 ซม. น้ำหนักบรรทุกจร 400 กก./ม.² และระยะยื่นจากผนัง 1.00 ม.

น้ำหนักบรรทุกจร (LL) 400 กก./ม.²

ลูกตั้ง (S_r)
ความหนาชั้นบันได (t)

ระยะยื่น (L_1) 1.00 ม.

ภาพประกอบ 118 ตัวอย่างที่ 1

1. กำหนดค่าที่ใช้สำหรับการออกแบบ

$$f'_c = 240 \text{ กก./ซม.}^2$$

ตัวคูณค่าความปลอดภัยของคอนกรีต = 0.375

$$f_c = 0.375 \times 240 = 90 \text{ กก./ซม.}^2 > 65 \text{ ใช้ } 65 \text{ กก./ซม.}^2$$

สำหรับเหล็กเส้นกลมผิวเรียบ ชั้นคุณภาพ SR24

$$f_y = 2,400 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$f_s = 0.5f_y = 0.5 \times 2,400 = 1,200 \text{ กก./ซม.}^2$$

สำหรับเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD30

$$f_y = 3,000 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$f_s = 0.5f_y = 0.5 \times 3,000 = 1,500 \text{ กก./ซม.}^2$$

คำนวณหาคุณสมบัติของหน้าตัด

$$E_c = 15,100\sqrt{f_c} = 15,100 \times \sqrt{240} = 233,928 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$E_s = 2.04 \times 10^6 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$n = E_s/E_c = 2.04 \times 10^6 / 2.33 \times 10^5 = 8.72 \text{ ใช้จำนวนเต็ม} = 9$$

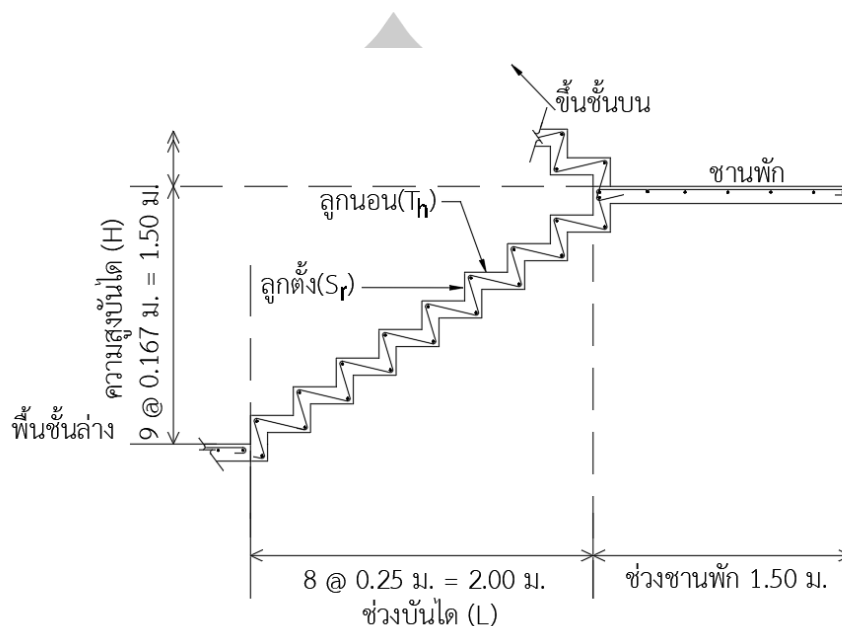
$$k = 1 / \left(1 + \frac{f_s}{nf_c} \right) = 1 / \left(1 + \frac{1500}{9 \times 240} \right) = 0.28$$

$$j = 1 - \frac{k}{3} = 1 - \frac{0.257}{3} = 0.906$$

$$R = \frac{1}{2} f_c j k = \frac{1}{2} \times 240 \times 0.906 \times 0.28 = 8.245$$

พหุคูณ ปณ จี ไตร ชิว

2. หาขนาดขั้นบันไดและความหนาของพื้นบันได



ภาพประกอบ 119 รูปแบบบันไดที่พิจารณาออกแบบ

เมื่อ

H คือ ความสูงบันไดระหว่างพื้นที่ชั้นล่างถึงชานพักบันได หน่วยเป็น ม.

L คือ ระยะจากบันไดขั้นแรกถึงชานพักบันได หน่วยเป็น ม.

S_r คือ ขนาดลูกตั้งบันได หน่วยเป็น ม.

T_h คือ ขนาดลูกนอนบันได หน่วยเป็น ม.

การประมาณจำนวนของลูกตั้งบันได สามารถประมาณจากการกำหนดขนาดลูกตั้งบันไดตามข้อกำหนดของกฎหมายควบคุมอาคารซึ่งสอดคล้องกับขอบเขตของงานวิจัยที่กำหนดให้ขนาดลูกตั้งไม่เกิน 0.20 ม. จึงสามารถคำนวณหาจำนวนของลูกตั้งบันไดได้ ดังนี้

เมื่อ

N_r คือ จำนวนลูกตั้งบันได หน่วยเป็น ชั้น

N_t คือ จำนวนลูกนอนบันได หน่วยเป็น ชั้น

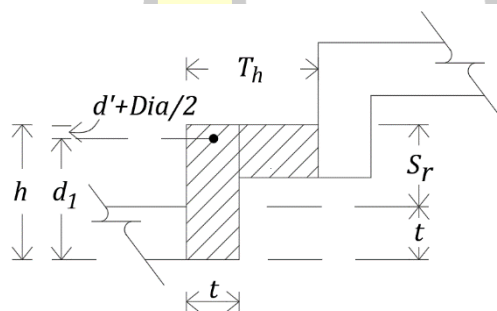
$$N_r = (H / 0.2) + 1 = 1.50 / 0.2 + 1 = 8.5$$

ปัดจำนวนลูกตั้งบันไดขึ้นให้เป็นจำนวนเต็ม ดังนั้น ใช้จำนวนลูกตั้ง $N_r = 9$ ชั้น

ขนาดลูกตั้งบันได $S_r = H / N_r = 1.50 / 9 = 0.1667$ ม.

จำนวนของลูกนอน $N_t = N_r - 1 = 9 - 1 = 8$ ชั้น

ขนาดลูกนอนบันได $T_h = L / N_t = 2 / 8 = 0.25$ ม.



ภาพประกอบ 120 การประมาณความหนาขั้นบันได

เมื่อ

h คือ ความสูงลูกตั้งรวมความหนาขั้นบันได หน่วยเป็น ม.

d_1 คือ ความลึกต่ำสุดคำนวณจากตาราง 2 หน่วยเป็น ม.

d' คือ ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก หน่วยเป็น ม.

$Dia.$ คือ ขนาดของเหล็กเสริมหลัก หน่วยเป็น มม.

t คือ ความหนาขั้นบันได หน่วยเป็น ม.

จากภาพประกอบ 120 สามารถประมาณค่าความหนาน้อยที่สุดของพื้นและขั้นบันได t ได้จาก

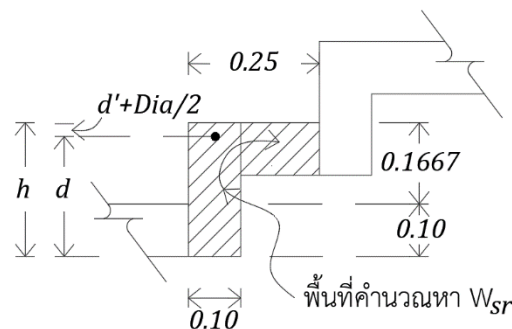
$$d_1 = (0.40 + f_y / 7,000) = (0.40 + 3,000 / 7,000) (1.00 / 8) \\ = 0.104 \text{ ม.}$$

คำนวณหาขนาดลูกตั้งบันไดรวมความหนาชั้นบันได h ที่ต้องการอย่างน้อยได้จาก การกำหนดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก 2.00 ซม. และเลือกใช้เหล็กเสริมหลักขนาด 12 มม. จะได้

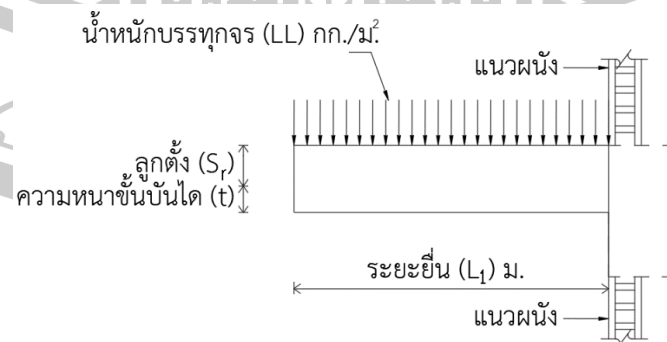
$$h = d_1 + (d' + Dia./2) = 0.104 + 0.02 + 0.0012/2 = 0.13 \text{ ม.}$$

จากภาพประกอบ 120 พิจารณาความหนาชั้นบันได t อย่างน้อย ได้โดยการ นำขนาดลูกตั้งบันไดรวมความหนาชั้นบันได h เปรียบเทียบกับขนาดลูกตั้งบันได S_r กรณีตัวอย่างที่ 1 ขนาดลูกตั้งบันไดรวมความหนาชั้นบันได h มีค่ามากกว่าขนาดลูกตั้งบันได S_r แสดงว่าขนาดลูกตั้ง บันได S_r สามารถรับน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำต่อบันไดได้โดยปลอดภัย แต่เพื่อให้ชั้นบันไดมีระยะความ หนาที่สามารถคำนวณออกแบบได้ จึงกำหนดความหนาชั้นบันไดเท่ากับ 10 ซม. ซึ่งเป็นความหนา ชั้นบันไดอย่างน้อยที่เหมาะสมแก่การลดข้อผิดพลาดของผู้ปฏิบัติงานก่อสร้างในสถานการณ์จริง

ดังนั้น กำหนดความหนาชั้นบันได $t = 0.10$ ม. จะได้ขนาดหน้าตัด ดังนี้



ภาพประกอบ 121 หน้าตัดบันไดที่ใช้คำนวณออกแบบ



ภาพประกอบ 122 น้ำหนักบรรทุกจรกระทำต่อบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง

เมื่อ

W_t คือ น้ำหนักรวมของบันได หน่วยเป็น กก./ม.²

W_{sr} คือ น้ำหนักของชั้นบันได หน่วยเป็น กก./ม.²

W_{II} คือ น้ำหนักบรรทุกจรบนบันได หน่วยเป็น กก./ม.²

3. คำนวณหาน้ำหนักบรรทุกแฉวยราบ W_t

$$\text{น้ำหนักชั้นบันได } W_{sr} = t(t + S_r)2,400 + t(T_h - t)2,400$$

$$= 0.10(0.10 + 0.1667)2,400 + 0.10(0.25 - 0.10)2,400$$

$$= 100 \text{ กก./ม.}$$

$$W_{II} = 400 \times 0.25 = 100 \text{ กก./ม.}$$

$$W_t = W_{sr} + W_{II} = 100 + 100 = 200 \text{ กก./ม.}$$

4. ตรวจสอบความหนาพื้นบันได

คำนวณหาโมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต

$$M = \frac{W_t L^2}{2} = (200 \times 1.00^2) / 2 = 100 \text{ กก. - ม.}$$

คำนวณหาโมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต จากการคำนวณหาค่าความหนาประสิทธิภาพ d ที่ต้องการ

$$d = \sqrt{\frac{M}{Rb}} = \sqrt{\frac{100 \times 100}{8.245 \times 10}} = 11 \text{ ซม.}$$

คำนวณหาความลึก d ของความหนาออกแบบ จากระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก 2 ซม. และขนาดเหล็กเสริมหลัก 12 มม. จะได้เท่ากับ $(10+16.67) - 2 - 1.2/2 = 24.07$ ซม. มีค่ามากกว่า d ที่ต้องการเท่ากับ 11 ซม. แสดงว่าหน้าตัดที่ออกแบบสามารถต้านทานโมเมนต์ดัดได้โดยปลอดภัย

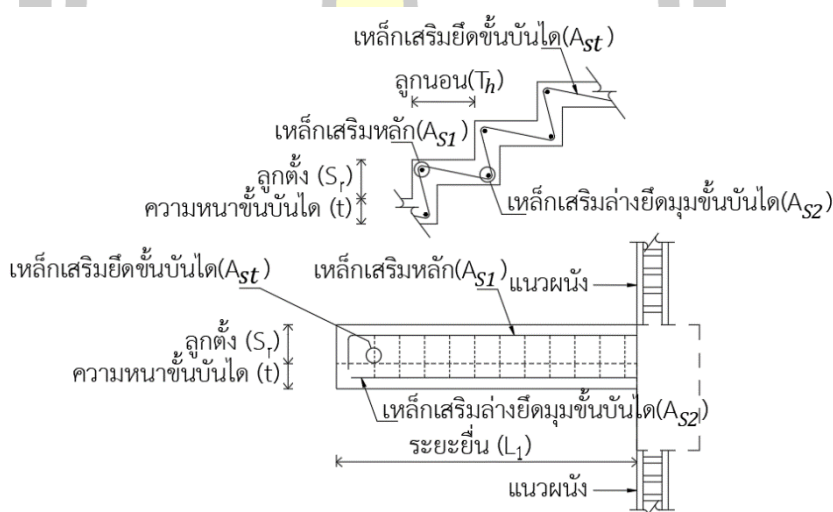
5. ตรวจสอบแรงเฉือน

แรงเฉือน ณ หน้าตัดวิกฤติ $V = W_L L_1 = 200 \times 1.00 = 200$ กก.

$$\begin{aligned} \text{แรงเฉือนที่พื้นคอนกรีตรับได้ } V_c &= 0.29 \sqrt{f'_c} t d = 0.29 \sqrt{240} \times 10 \times 24.07 \\ &= 1,081 \text{ กก.} > 200 \text{ กก.} \end{aligned}$$

แสดงว่าหน้าตัดที่ออกแบบสามารถรับแรงเฉือนได้โดยปลอดภัย

6. คำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมหลัก



ภาพประกอบ 123 รูปแบบการเสริมเหล็กบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง

เมื่อ

A_{s1} คือ ปริมาณเหล็กเสริมหลัก

A_{s2} คือ ปริมาณเหล็กเสริมล่างยึดมุมชั้นบน

A_{st} คือ ปริมาณเหล็กเสริมยึดชั้นบน

L_1 คือ ระยะยื่นจากผนัง หน่วยเป็น ม.

หมายเหตุ สำหรับ A_{s2} ไม่พิจารณาออกแบบเนื่องจากการออกแบบ A_{s1} เพียงพอต่อการต้านทานน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อบันไดแล้ว ดังนั้น ใช้เหล็กเสริมล่างยึดมุมชั้นบน A_{s2} เท่ากับ 1-DB12 มม. สำหรับทุกขนาดหน้าตัด

ดังนั้น

$$A_{SI} = M(100) / (f_s j d)$$

$$= (100 \times 100) / (1,500 \times 0.906 \times 24.07)$$

$$= 0.31 \text{ ซม.}^2$$

ใช้เหล็กเสริมหลัก 1 - DB 12 มม. ($A_{SI} = 1.13 \text{ ซม.}^2$)

7. คำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมยึดชั้นบันได

กรณีใช้เหล็กเส้นกลม (SR24) $A_{st} = 0.0025bt$

$$= 0.0025 \times 100 \times 10$$

$$= 2.50 \text{ ซม.}^2$$

ใช้เหล็กเสริมยึดชั้นบันได RB 9 มม. @ 0.20 ม. ($A_{st} = 3.18 \text{ ซม.}^2$)

8. คำนวณหาค่าการแอ่นตัว

ตรวจสอบเงื่อนไขการใช้โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพของหน้าตัดจากการ

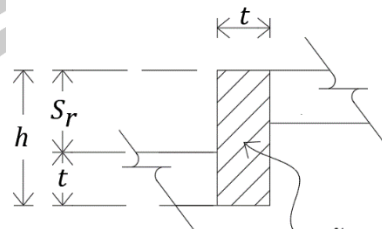
คำนวณหาค่า pf_y

$$\text{คำนวณหาค่า } p = A_s / td = 1.13 / (10 \times 24.07) = 0.0047$$

$$\text{คำนวณหาค่า } pf_y = 0.0047 \times 3,000 = 14.1 < 35 \text{ กก./ซม.}^2$$

เมื่อ $\rho f_y < 35$ กก./ชม.² แสดงว่าต้องใช้โมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดทั้งหมด I_g สำหรับการคำนวณค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้น

คำนวณหาค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดทั้งหมด I_g ได้ดังนี้



พื้นที่คำนวณหาโมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดทั้งหมด

ภาพประกอบ 124 พื้นที่คำนวณหาโมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดทั้งหมด

$$I_g = th^3 / 12 = 10 \times (10 + 16.67)^3 / 12 = 15,808.4 \text{ ซม.}^4$$

คำนวณหาค่าการแอ่นตัวทันทีสำหรับบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ดังนี้

$$\Delta_i = 1/8 (W_t L_l^4) / EI$$

เมื่อ $W_t = 200$ กก./ม.²

$$L_l = 1.00 \text{ ม.}$$

$$E = 233,928 \text{ กก./ชม.}^2$$

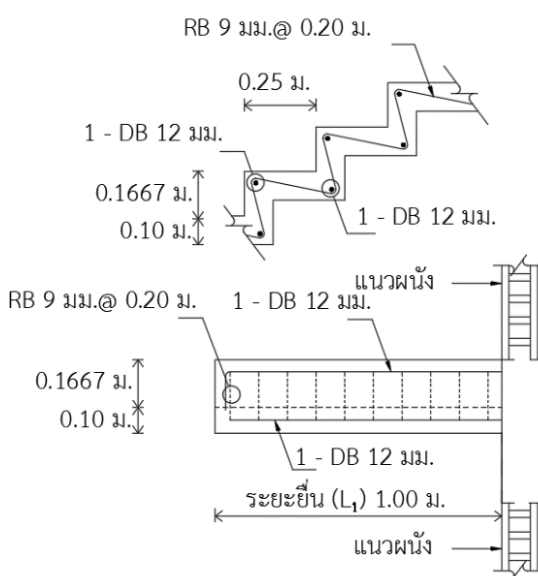
$$I = 15,808.4 \text{ ซม.}^4$$

ดังนั้น $\Delta_i = 1/8 (200 \times 1.0^4) \times (10^6) / (233,928 \times 15,808.4) = 0.007 \text{ ซม.}$

ตรวจสอบเงื่อนไขการแอ่นตัวที่ยอมให้ตามมาตรฐาน วสท. 011007-19

$$L_l / 360 = 100 / 360 = 0.278 \text{ ซม.} > 0.007 \text{ ซม.}$$

เมื่อการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นไม่เกินการแอ่นตัวที่ยอมให้ตามมาตรฐาน วสท. 011007-19 แสดงว่าหน้าตัดที่ออกแบบสามารถต้านทานการแอ่นตัวได้โดยปลอดภัย



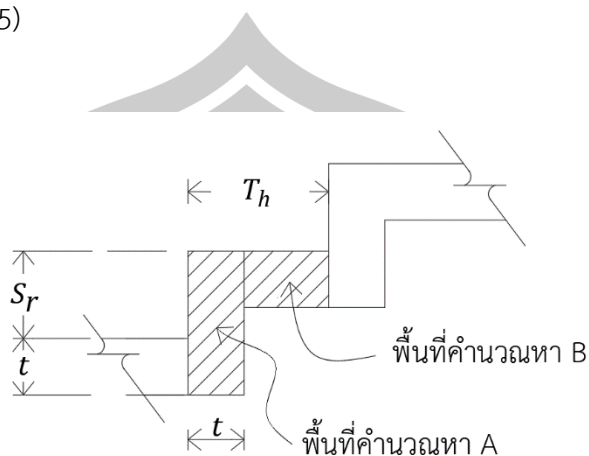
ภาพประกอบ 125 ผลการออกแบบด้วยวิธี CM สำหรับตัวอย่างที่ 1 กรณี SD30

ข. การคำนวณหาราคารวมบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง กรณีเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก ชั้นคุณภาพ SD30

ตัวอย่างที่ 1 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง ที่มีช่วงบันไดยาว 2.00 ม. ความสูงบันได 1.50 ม. เหล็กเสริมหลักใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD30 เหล็กเสริมยึดชั้นบันไดใช้เป็นเหล็กเส้นกลม ชั้นคุณภาพ SR24 กำลังอัดประลัยคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน 240 กก./ซม.² ระยะหุ้มคอนกรีต 2.00 ซม. น้ำหนักบรรทุกจร 400 กก./ม.² และระยะยื่นจากผนัง 1.00 ม.

จากรายการคำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังที่แสดงใน ก. การคำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง สำหรับตัวอย่างที่ 1 ได้ผลการคำนวณออกแบบดังภาพประกอบ 125 ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาราคารวมของบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง โดยการคำนวณหาปริมาตรคอนกรีตและปริมาณแบบหล่อคอนกรีตของบันไดจากภาพประกอบ 126 การคำนวณหาพื้นที่ A เป็นพื้นที่ของลูกตั้งบันได และพื้นที่ B ซึ่งเป็นพื้นที่ของลูกนอนบันได ราคาคอนกรีตผสมเสร็จและค่าแรงงานตามตาราง 3 ราคาเหล็กเสริมคอนกรีตและ

ค่าแรงงานตามตาราง 4 ราคาแบบหล่อคอนกรีตและค่าแรงงานตามตาราง 5 และสมการเป้าหมาย
เป็นไปตามสมการที่ (3.5)



ภาพประกอบ 126 การพิจารณาพื้นที่ชั้นใดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง

เมื่อ

S_r คือ ขนาดลูกตั้งบันได หน่วยเป็น ม.

T_h คือ ขนาดลูกนอนบันได หน่วยเป็น ม.

t คือ ความหนาชั้นบันได หน่วยเป็น ม.

1. คำนวณหาปริมาตรคอนกรีตของบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนัง

$$\text{พื้นที่ A} = 0.10 \times (0.1667 + 0.10) = 0.02667 \text{ ม.}^2$$

$$\text{พื้นที่ B} = 0.10 \times (0.25 - 0.10) = 0.015 \text{ ม.}^2$$

$$\text{ปริมาตรของชั้นบันได} = ((\text{พื้นที่ A} + \text{พื้นที่ B}) \times \text{จำนวนชั้น} \times \text{ระยะยื่น})$$

$$= ((0.02667 + 0.015) \times 4 \times 1.00)$$

$$= 0.17 \text{ ม.}^3$$

2. คำนวณหาปริมาณแบบหล่อคอนกรีต

$$\text{พื้นที่ปิดด้านข้างบันได} = ((\text{พื้นที่ A} + \text{พื้นที่ B}) \times \text{จำนวนชั้น})$$

$$= ((0.02667 + 0.015) \times 4)$$

$$= 0.17 \text{ ม.}^2$$

พื้นที่ด้านหน้ารวมด้านล่างบันได = จำนวนชั้น (2 × ความสูงลูกตั้ง + ความกว้าง
ลูกนอน) × ระยะยื่น

$$= 4 \times (2 \times 0.1667 + 0.25) \times 1.00$$

$$= 2.33 \text{ ม.}^2$$

$$\text{ปริมาณแบบหล่อคอนกรีต} = 0.17 + 2.33 = 2.50 \text{ ม.}^2$$

3. คำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมคอนกรีต

สามารถคำนวณจากการกำหนดให้น้ำหนักเหล็กเส้นกลมขนาด 9 มม. เท่ากับ 0.888 กก./ม. และน้ำหนักของเหล็กข้ออ้อยขนาด 12 มม. เท่ากับ 0.502 กก./ม. โดยคำนวณจากช่วง
ออกแบบ 1 เมตร ซึ่งจะมีชั้นบันไดทั้งหมด 4 ชั้น ดังนี้

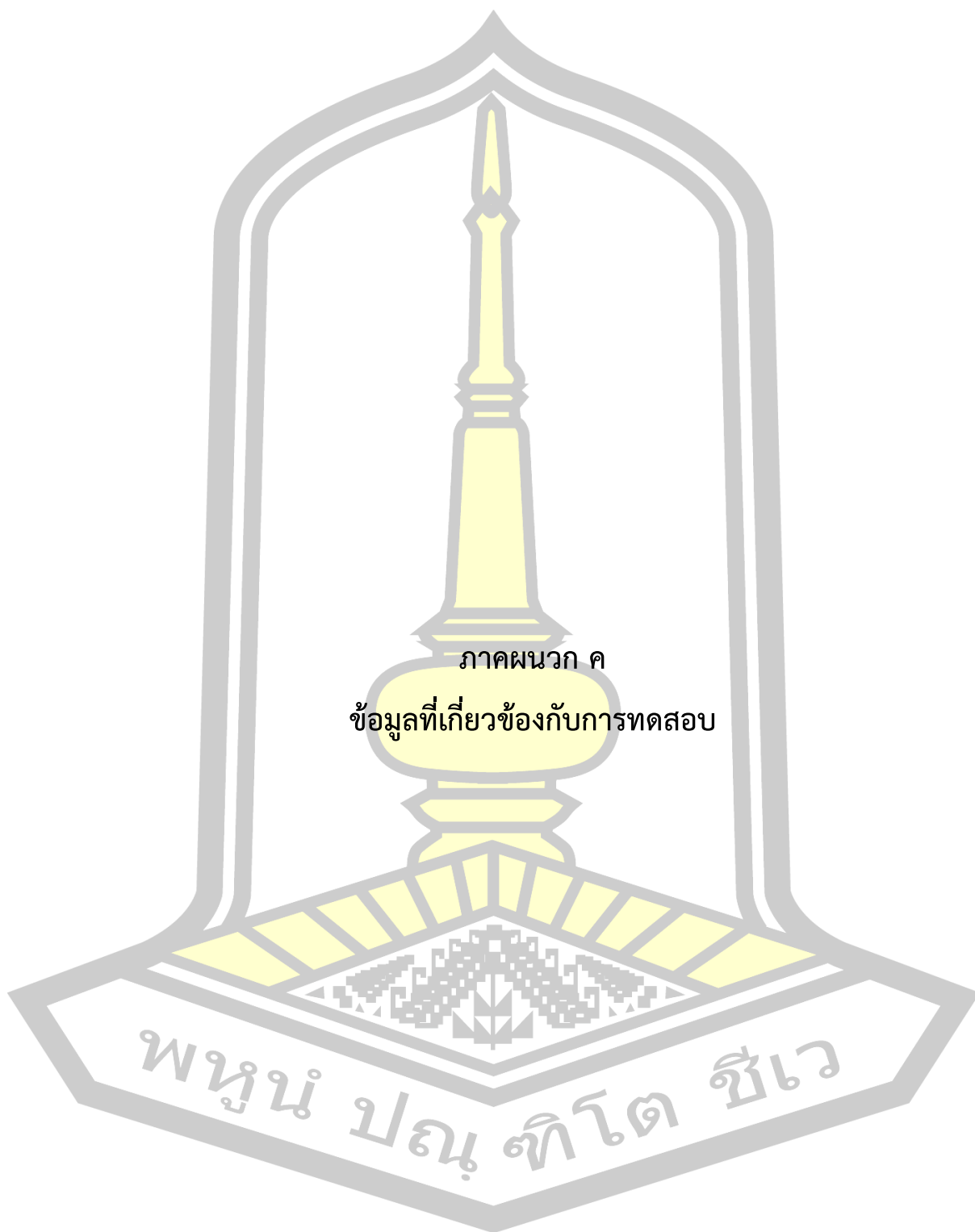
$$\text{ปริมาณเหล็กเสริมหลัก 1 - DB 12 มม.} = 0.888 \times 1 \times 4 = 3.55 \text{ กก.}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณเหล็กเสริมยึดชั้นบันได RB 9 มม. @ 0.20 ม.} &= 0.502 \times (1 / 0.20 + 1) \times \\ &(0.1667 + 0.25) \times 4 \\ &= 5.02 \text{ กก.} \end{aligned}$$

4. คำนวณหาราคารวมตามสมการที่ (3.5)

$$\begin{aligned} \text{ราคารวม} &= (0.17 \times 2,431.00) + (2.5 \times 770.00) + ((3.55 \times 31.19) \\ &+ (5.02 \times 33.33)) \\ &= 2,616.31 \text{ บาท} \end{aligned}$$

ดังนั้น ราคารวมบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นจากผนังสำหรับตัวอย่างที่ 1 รวมทั้งหมด
คิดเป็นเงินจำนวน 2,616.31 บาท



ภาคผนวก ค

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ

พหุ ประทีป ชีวะ

ก. ข้อมูลการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง สำหรับวิธี BA และ วิธี HCA

การทำสอบสำหรับงานวิจัยนี้ เป็นการทดสอบทั้งหมด 5 ตัวอย่าง โดยแต่ละตัวอย่างจะกำหนดค่าระยะยื่นจากผนังที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 1.00 ม. ถึง 3.00 ม. และค่าน้ำหนักบรรทุกเท่ากันในทุกตัวอย่าง เท่ากับ 400 กก./ม.² เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นถึงประสิทธิภาพของทั้งสองอัลกอริทึมจะทดสอบจำนวน 30 ครั้ง สำหรับทั้งสองวิธีการทดสอบ ดังแสดงในตาราง 36 – 39 ผลการทดสอบรอบการทำงานจำนวน 30 ครั้ง สำหรับทั้งหมด 5 ตัวอย่าง ดังแสดงในตาราง 40 - 41

ตาราง 36 ข้อมูลการทดสอบรอบการทำงานจำนวน 30 ครั้ง จากทั้งหมด 5 ตัวอย่าง สำหรับวิธี BA

No.	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4	ตัวอย่างที่ 5
1	470	362	352	302	157
2	154	164	212	225	266
3	200	246	95	310	102
4	306	139	260	431	455
5	262	205	213	197	130
6	356	462	462	202	228
7	177	387	150	262	485
8	243	350	120	362	178
9	473	120	298	112	229
10	286	273	188	251	79
11	154	197	160	423	433
12	330	476	280	162	142
13	85	226	368	145	306

ตาราง 37 ข้อมูลการทดสอบรอบการทำงานจำนวน 30 ครั้ง จากทั้งหมด 5 ตัวอย่าง สำหรับวิธี BA (ต่อ)

No.	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4	ตัวอย่างที่ 5
14	88	111	186	268	181
15	314	312	245	138	326
16	497	218	338	498	27
17	141	302	160	318	260
18	71	338	469	475	54
19	221	383	190	339	249
20	368	331	265	472	97
21	178	298	165	396	488
22	177	225	216	102	430
23	356	424	332	240	182
24	129	234	95	98	283
25	146	262	194	168	54
26	252	203	125	262	225
27	168	291	301	496	94
28	282	246	195	107	488
29	359	182	76	334	145
30	102	284	206	466	91

ตาราง 38 ข้อมูลการทดสอบรอบการทำงานจำนวน 30 ครั้ง จากทั้งหมด 5 ตัวอย่าง สำหรับวิธี HCA

No.	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4	ตัวอย่างที่ 5
1	374	269	362	462	399
2	305	465	169	281	165
3	403	288	431	426	189
4	290	126	368	388	412
5	188	376	156	422	467
6	327	471	459	398	395
7	423	356	330	368	95
8	319	296	328	461	276
9	239	441	267	489	106
10	320	263	215	452	160
11	139	471	302	355	206
12	160	311	313	392	238
13	372	426	195	349	165
14	161	263	210	182	107
15	415	466	103	233	106
16	301	482	228	168	326
17	450	388	269	455	355
18	247	210	128	369	462
19	337	351	273	128	383
20	209	342	485	234	455

ตาราง 39 ข้อมูลการทดสอบรอบการทำงานจำนวน 30 ครั้ง จากทั้งหมด 5 ตัวอย่าง สำหรับวิธี HCA (ต่อ)

No.	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4	ตัวอย่างที่ 5
21	238	448	366	453	362
22	201	475	232	446	331
23	426	316	328	435	168
24	232	262	477	297	184
25	489	305	201	368	488
26	411	418	350	320	316
27	239	361	164	154	203
28	267	422	418	482	203
29	210	367	273	167	468
30	166	287	309	354	126

ตาราง 40 ผลการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง ด้วยวิธี BA กับวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 1 - 3

รายการ	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2		ตัวอย่างที่ 3	
	BA	HCA	BA	HCA	BA	HCA
ผลรวมรอบ	7,345	8,858	8,521	10,722	6,916	8,709
รอบเฉลี่ย	244.83	295.27	275.03	357.40	230.53	290.30
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	119.17	98.21	95.28	90.61	100.75	103.62
ร้อยละความต่างรอบเฉลี่ย	17.08		23.05		20.59	

ตาราง 41 ผลการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง ด้วยวิธี BA กับวิธี HCA สำหรับตัวอย่างที่ 4 และ 5

รายการ	ตัวอย่างที่ 4		ตัวอย่างที่ 5	
	BA	HCA	BA	HCA
ผลรวมรอบ	8,561	10,488	6,864	8,316
รอบเฉลี่ย	285.37	349.60	228.80	277.20
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	128.99	104.77	142.14	129.89
ร้อยละความต่างรอบเฉลี่ย	18.37		17.46	

ข. ข้อมูลการสุ่มตัวอย่างการทดสอบรอบการทำงาน

การทดสอบสำหรับงานวิจัยนี้ เป็นการทดสอบทั้งหมด 5 ตัวอย่าง ทดสอบจำนวน 30 ครั้ง สำหรับทั้งสองวิธีการทดสอบ จากนั้นสุ่มตัวอย่างการทดสอบรอบการทำงานจำนวน 10 ครั้ง จากทั้งหมด 30 ครั้ง ดังแสดงในตาราง 42 - 44 เพื่อคำนวณผลการทดสอบทางสถิติ โดยจะคำนวณค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเบี่ยงเบน ค่าวิกฤติ ค่า t-test และสรุปผลทางสถิติ ดังแสดงในตาราง 27 - 28 ผลการทดสอบทางสถิติรอบการทำงานเฉลี่ย วิธี BA และ วิธี HCA เมื่อสุ่มตัวอย่างทดสอบจำนวน 10 ครั้ง จากทั้งหมด 30 ครั้ง

ตาราง 42 ข้อมูลการสุ่มตัวอย่างการทดสอบรอบการทำงานจำนวน 10 ครั้ง จากทั้งหมด 30 ครั้ง ทั้งหมด 5 ตัวอย่าง สำหรับวิธี BA

No.	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4	ตัวอย่างที่ 5
1	262	164	298	207	27
2	85	182	65	302	178
3	146	120	125	107	430
4	330	246	95	139	182

ตาราง 43 ข้อมูลการสุ่มตัวอย่างการทดสอบรอบการทำงานจำนวน 10 ครั้ง จากทั้งหมด 30 ครั้ง
ทั้งหมด 5 ตัวอย่าง สำหรับวิธี BA (ต่อ)

No.	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4	ตัวอย่างที่ 5
5	314	197	366	205	249
6	282	312	160	258	262
7	102	111	301	194	225
8	282	164	188	87	91
9	178	291	65	295	94
10	221	218	44	168	181

ตาราง 44 ข้อมูลการสุ่มตัวอย่างการทดสอบรอบการทำงานจำนวน 10 ครั้ง จากทั้งหมด 30 ครั้ง
ทั้งหมด 5 ตัวอย่าง สำหรับวิธี HCA

No.	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4	ตัวอย่างที่ 5
1	337	367	273	418	206
2	374	263	362	168	411
3	403	287	228	313	356
4	423	311	156	277	203
5	239	482	459	320	238
6	489	305	156	482	455
7	237	367	210	163	383
8	210	126	273	330	168
9	426	210	330	368	107
10	188	376	309	269	362

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายกิตติศักดิ์ บรรณสาร
วันเกิด	20 มกราคม 2525
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลกาฬสินธุ์
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	266 หมู่ 7 ตำบลโพหนอง อำเภอมือกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ 46000
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	องค์การบริหารส่วนจังหวัดกาฬสินธุ์ 3/47 ถ.เลี้ยวเมืองทุ่งมน ตำบลกาฬสินธุ์ อำเภอมือกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2543 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาวิชาช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคกาฬสินธุ์ พ.ศ. 2545 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาวิชาช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคกาฬสินธุ์ พ.ศ. 2548 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. 2564 ปริญญานิติศาสตรบัณฑิต (นบ.) สาขาวิชานิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
ผลงานวิจัย	กิตติศักดิ์ บรรณสาร และ อลงกรณ์ ละม่อม, "การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กอย่างเหมาะสมด้วยฮิลโคลมิงอัลกอริทึม", วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 40, ฉบับที่ 1, หน้า 139 - 152, มีนาคม 2566

พูน ปณ ทิโต ชีเว