

การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีฮิวริสติก



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OPTIMAL DESIGN OF REINFORCED CONCRETE FRAMES BY HEURISTIC METHOD

Mr. Nopparuj Prapakiat



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2014
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีฮิวริสติก
โดย	นายนพรุจ ประกายเกียรติ
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วัฒนชัย สมิตาการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดิ์)
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วัฒนชัย สมิตาการ)
.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สายันต์ ศิริมนตรี)

นพรุจ ประภาเกียรติ : การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีฮิวริสติก (OPTIMAL DESIGN OF REINFORCED CONCRETE FRAMES BY HEURISTIC METHOD) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. วัฒนชัย สมิตาการ, 54 หน้า.

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ อาทิ ก่อสร้างง่ายและราคาไม่แพง โดยทั่วไปการออกแบบเพื่อให้ได้โครงสร้างที่เหมาะสมคือ ทั้งแข็งแรงและประหยัดนั้น จะอาศัยการลองผิดลองถูก ร่วมกับประสบการณ์ของวิศวกรผู้ออกแบบเป็นสำคัญ งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาและพัฒนาโปรแกรมการคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้วยวิธีฮิวริสติกแบบอัลกอริทึมลูกผสม เพื่อให้ได้โครงสร้างที่ประหยัดมากที่สุด โดยสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัยตามมาตรฐาน ACI 318M-08 โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ ราคาค่าก่อสร้าง ที่คำนวณจากปริมาตรของคอนกรีต น้ำหนักเหล็กเสริม และพื้นที่แบบหล่อ ซึ่งการคำนวณออกแบบจะใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นด้วยภาษาจาวา

ผลที่ได้จากกรณีศึกษาคาน เสา และโครงข้อแข็ง พบว่า การคำนวณหาค่าตอบที่เหมาะสมด้วยค่าระยะก้าวของเกรเดียนที่แตกต่างกัน คือแบบระยะก้าวคงที่ และแบบปรับระยะก้าวให้ละเอียดขึ้น ไม่ส่งผลต่อความเร็วหรือจำนวนรอบในการคำนวณมากนัก แต่จะช่วยให้ได้คำตอบที่ละเอียดขึ้น นั่นคือมีราคาต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อมีการปรับระยะก้าวให้ละเอียดขึ้น ทั้งนี้ สำหรับชิ้นส่วนโครงสร้างที่ต้องรับแรงดัดมากๆ ทั้งคานและเสา คำตอบที่เหมาะสมจะลู่เข้าหาชิ้นส่วนที่มีความกว้างน้อยเพื่อลดพื้นที่หน้าตัดของคอนกรีต แต่มีความลึกมากเพื่อลดพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม สำหรับโครงข้อแข็งพอร์ทัลรับเฉพาะน้ำหนักบรรทุกแผ่ในแนวตั้ง คำตอบที่เหมาะสมที่สุดจะประกอบด้วย ชิ้นส่วนเสาที่มีขนาดเล็กเนื่องจากแรงในแนวแกนและโมเมนต์ดัดมีค่าไม่มากนัก แต่ชิ้นส่วนคาน ซึ่งต้องรับโมเมนต์ดัดเป็นหลัก ก็จะมี ความกว้างน้อย แต่มีความลึกมาก เพื่อความประหยัด

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5570506621 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: OPTIMAL DESIGN, REINFORCED CONCRETE FRAMES, HEURISTIC METHOD,
HYBRID ALGORITHM

NOPPARUJ PRAPAKIAT: OPTIMAL DESIGN OF REINFORCED CONCRETE FRAMES
BY HEURISTIC METHOD. ADVISOR: ASST. PROF. WATANACHAI SMITTAKORN,
Ph.D., 54 pp.

Reinforced concrete structures have been widely used because of their several advantages, for example, easy to construct and not so expensive. In general, the design process for an appropriate structure, possessing strong and economical characteristics, requires a trial-and-error method in combination with the designer's experience. This research presents a study and a development of a computer program for the optimal design of reinforced concrete frames by a heuristic method with a hybrid algorithm technique. The aim is to seek the most economical structure whose safety measure complies with the ACI 318M-08 code. The objective function is the construction cost calculated from the volume of concrete, the area of formwork, and the weight of steel reinforcement.

Results from case studies of a beam, a column, and a portal frame have shown that optimal design with different step sizes (constant and refined ones) in the gradient process does not affect the rate of convergence or the number of randomization. However, the refined step size can yield a more accurate result, a slightly lower cost. For the design of flexural members, the optimal solution converges to the section with minimum width, reducing the cross-sectional area of concrete, and maximum depth, reducing the reinforcement. For the case of portal frame subject to gravity loads, the optimal solution comprises small-section columns, due to a small axial force and bending moment, and a beam with minimum width and maximum depth, due to bending moment, hence, to be economical.

Department: Civil Engineering

Student's Signature

Field of Study: Civil Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงต่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัฒนชัย สมิตธากร ที่ให้คำปรึกษาและแนวทางการดำเนินงานวิจัยมาโดยตลอด ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี ที่เป็นประธานกรรมการตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สายันต์ ศิริมนตรี ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ มารดา ที่ให้ความรักและกำลังใจ ข้าพเจ้าในทุกๆเรื่อง และครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้แก่ข้าพเจ้า และขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	1
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	4
บทที่ 2.....	5
2.1 สมมติฐานในการออกแบบ.....	5
2.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function).....	5
2.3 ฟังก์ชันข้อจำกัด (constraint function).....	8
2.3.1 การวิเคราะห์โครงสร้าง.....	9
2.3.2 การวิเคราะห์กำลังของหน้าตัดตามมาตรฐาน ACI 318M-08.....	12
2.4 การหาค่าเหมาะสมที่สุดทางด้านวิศวกรรม (engineering optimization).....	20
2.5 อัลกอริทึมของการหาค่าเหมาะสมที่สุด (optimization algorithms).....	22
2.6 การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดโดยวิธีฮิวริสติก.....	23
บทที่ 3.....	29

3.1 การทำงานของโปรแกรม.....	29
3.2 การพัฒนาโปรแกรม.....	31
บทที่ 4	34
4.1 คาน	34
4.2 เสา	39
4.3 โครงข้อแข็งพอร์ทัล.....	43
บทที่ 5	49
รายการอ้างอิง.....	51
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	54



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างราคากับจำนวนรอบการสู่มของหน้าตัดคาน.....	35
ตารางที่ 4.2 ตารางค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับคานตัวอย่าง.....	37
ตารางที่ 4.3 ผลการออกแบบคานและพฤติกรรมการรับแรง (กรณี $\alpha = 80$).....	38
ตารางที่ 4.4 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างราคากับจำนวนรอบการสู่มของหน้าตัดเสา.....	40
ตารางที่ 4.5 ตารางค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเสาตัวอย่าง.....	41
ตารางที่ 4.6 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างราคากับจำนวนรอบการสู่มของหน้าตัดชิ้นส่วนโครงข้อ แข็ง.....	44
ตารางที่ 4.7 ตารางค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงข้อแข็งตัวอย่าง.....	46
ตารางที่ 4.8 ผลการออกแบบและพฤติกรรมรับแรงของคานในโครงข้อแข็ง (กรณี $\alpha = 80$).....	47

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 รายละเอียดการเสริมเหล็กในคาน.....	6
รูปที่ 2.2 รายละเอียดการเสริมเหล็กในเสา.....	7
รูปที่ 2.3 แสดงด้านของชิ้นส่วนโครงสร้างที่ต้องสัมผัสกับไม้แบบ.....	7
รูปที่ 2.4 ระบบแกนพิกัด.....	10
รูปที่ 2.5 ชิ้นส่วนรับแรงในแนวแกน.....	10
รูปที่ 2.6 ชิ้นส่วนรับแรงดัดและแรงในแนวแกน.....	11
รูปที่ 2.7 แรงภายในบนหน้าตัด.....	13
รูปที่ 2.8 ไดอะแกรมของแรงเฉือน.....	16
รูปที่ 2.9 ไดอะแกรมปฏิสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดกับแรงดัด.....	18
รูปที่ 2.10 การแบ่งขอบเขตของไดอะแกรม.....	19
รูปที่ 2.11 ประเภทของการหาค่าเหมาะสมที่สุด.....	20
รูปที่ 2.12 ประเภทของอัลกอริทึม.....	21
รูปที่ 2.13 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์.....	27
รูปที่ 2.14 การกำหนดขอบเขตของข้อจำกัด.....	25
รูปที่ 2.15 ศูนย์กลางฟังก์ชันวัตถุประสงค์อยู่ในฟังก์ชันข้อจำกัด.....	25
รูปที่ 2.16 ศูนย์กลางฟังก์ชันวัตถุประสงค์อยู่นอกฟังก์ชันข้อจำกัด.....	26
รูปที่ 2.17 การลู่เข้าหาค่าตอบกรณีคำตอบที่แท้จริงอยู่นอกฟังก์ชันข้อจำกัด.....	27
รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของโปรแกรม.....	30
รูปที่ 4.1 รูปแบบคาน.....	34
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคากับจำนวนรอบการสุมของหน้าตัดคาน.....	36
รูปที่ 4.3 ภาพแสดงเหล็กเสริมตามยาวของคาน.....	37
รูปที่ 4.4 หน้าตัดตามขวางของคาน.....	38
รูปที่ 4.5 รูปแบบเสา.....	39
รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคากับจำนวนรอบการสุมของหน้าตัดเสา.....	41
รูปที่ 4.7 ไดอะแกรมปฏิสัมพันธ์ของเสา.....	42
รูปที่ 4.8 รูปแบบโครงข้อแข็งพอร์ทัล.....	43
รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคากับจำนวนรอบการสุมหน้าตัดชิ้นส่วนโครงข้อแข็ง.....	45

	หน้า
รูปที่ 4.10 ภาพแสดงเหล็กเสริมตามยาวของคานในโครงข้อแข็ง.....	46
รูปที่ 4.11 หน้าตัดตามขวางของคานในโครงข้อแข็ง.....	47
รูปที่ 4.12 ไดอะแกรมปฏิสัมพันธ์ของเสาในโครงข้อแข็ง.....	48



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก มีข้อดีหลายประการ เช่น ก่อสร้างง่าย มีความแข็งแรงทนทาน ราคาค่าก่อสร้างที่ถูกลง เป็นต้น

โดยทั่วไปการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก จะเริ่มจากการสร้างแบบจำลองของโครงสร้างที่ต้องการจะออกแบบขึ้นมา โดยมีการกำหนดระยะและหน้าตัดต่างๆที่เป็นชิ้นส่วนของโครงสร้าง และทำการใส่น้ำหนักบรรทุกเข้าสู่โครงสร้างที่เราจำลองขึ้นมา โดยอาจใช้โปรแกรมสำเร็จรูปช่วยในการคำนวณ ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณก็อาจจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าตัดไปด้วยตามความเหมาะสม เพื่อให้ประหยัดมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งในการออกแบบให้ประหยัด จะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของวิศวกรผู้ออกแบบด้วย

งานวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด ได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจากอดีตจนถึงปัจจุบัน จากแนวคิดคือการหาค่าจุดต่ำสุดของสมการในเชิงของตัวเลข ซึ่งการหาค่าจุดต่ำสุดสำหรับการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นไปได้ยากเนื่องจากสมการมีความซับซ้อนอยู่มาก อย่างไรก็ตาม มีการนำวิธีต่างๆมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบอย่างเหมาะสม เช่น วิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm) วิธีอย่างง่าย (simplex method) วิธีอาณานิคมมด (ant colony optimization) และอื่นๆ

งานวิจัยนี้จะนำเสนอการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีฮิวริสติก โดยใช้อัลกอริทึมแบบลูกผสม (hybrid algorithm) ซึ่งจะประยุกต์ใช้วิธีความลาดชัน (gradient-based method) ที่มีการเพิ่มข้อจำกัดในเรื่องของข้อจำกัด (constraint) ไว้ด้วย

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อดิพันธ์ ธีรานูพัฒนา (2542) ได้ศึกษาการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดของพื้นคอนกรีตไร้คานอัดแรงภายหลัง โดยนำวิธีซิมเพล็กซ์มาประยุกต์ใช้ โดยที่ต่อมา นายภัทรินทร์ เอี่ยมเชี่ยม (2545) ก็ได้ทำการศึกษาต่อยอดงานวิจัยโดยมีการศึกษาการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดของพื้นคอนกรีตไร้คานอัดแรงภายหลังชนิดมีแป้นรองรับหัวเสา และทั้งสองงานวิจัยได้มีการเสนอสมการ

ที่ใช้ในการคำนวณที่ผ่านขบวนการแปลงความสัมพันธ์ที่ไร้เชิงเส้น ให้เป็นเชิงเส้น ทำให้วิธีซิมเพล็กซ์สามารถแก้ปัญหาได้ เพื่อช่วยในการหาขนาดหน้าตัดที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้พื้นคอนกรีตมีความแข็งแรงสามารถรับน้ำหนักที่มากกระทำได้อย่างปลอดภัย และมีราคาประหยัด

วรรณาด แซ่มสุวรรณ (2548) ได้ศึกษาการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับโครงถักเหล็กในระนาบ โดยใช้วิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม โดยสามารถประยุกต์ใช้กับโครงสร้างได้เป็นอย่างดี ซึ่งการวิเคราะห์ทั้งแบบเชิงเส้นและแบบไม่เชิงเส้น เพื่อช่วยในการหาขนาดหน้าตัดที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้โครงถักเหล็กมีความแข็งแรงสามารถรับน้ำหนักที่มากกระทำได้อย่างปลอดภัย และมีราคาประหยัด

Perea และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาการออกแบบโครงสร้างโครงข้อแข็งสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยเป็นการคำนวณเพื่อหาค่าการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด ด้วยการใช้อัลกอริทึมทั้งหมด 4 รูปแบบ เพื่อใช้เปรียบเทียบกัน คือ Random walk (RW), Descent local search (DLS) , Simulated annealing (SA) และ Threshold accepting (TA) โดยผลที่ได้จากการออกแบบพบว่า วิธี Threshold acceptance (TA) นั้น ให้ผลของความประหยัดมากกว่าเล็กน้อย และ Descent local search (DLS) ให้ผลของการใช้เวลาที่น้อยที่สุด

Martinez และคณะ (2009) ได้ทำการศึกษาการออกแบบโครงสร้างตอม่อสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเป็นการคำนวณเพื่อหาค่าการออกแบบที่เหมาะสมที่สุดด้วยการใช้อัลกอริทึมทั้งหมด 3 รูปแบบ เพื่อใช้เปรียบเทียบกัน คือ Ant colony optimization (ACO), Genetic algorithm (GA) และ Threshold acceptance (TA) โดยผลที่ได้จากการออกแบบพบว่าวิธี Threshold acceptance (TA) algorithm ให้ผลที่ดีที่สุด ทั้งในด้านของความประหยัด และเวลาในการคำนวณ

Li และคณะ (2009) ได้ทำการศึกษาการออกแบบโครงถักแบบมีความผันแปรไม่ต่อเนื่องด้วยวิธีฮิวริสติก โดยมีการประยุกต์ใช้ด้วยกันทั้งหมด 3 วิธี คือ Heuristic particle swarm optimization (HPSO), Particle swarm optimization (PSO) และ Particle swarm optimization with passive aggregation (PSOPC) ซึ่งพบว่าวิธี HPSO ได้ผลจากการคำนวณในเรื่องค่าน้ำหนักของโครงถักที่น้อยกว่าวิธีอื่น

สุนิสสา ทองศรี (2553) ได้ศึกษาการออกแบบโครงสร้างเหล็กชนิดโครงถักและโครงข้อแข็งในระนาบ ทำการวิเคราะห์หาแรงภายในทั้งแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น โดยนำวิธีฮิวริสติกที่ประยุกต์ใช้หลักการของฮิลโคลมิง เพื่อช่วยในการหาขนาดหน้าตัดที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้โครงถักมีความแข็งแรงสามารถรับน้ำหนักที่มากกระทำได้ และมีราคาประหยัด

Pei และ Xia (2011) ได้ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อทดลองใช้ในการออกแบบโครงสร้างกำแพงกันดินอย่างเหมาะสมที่สุดและมีราคาประหยัดที่สุด ด้วยการใช้อัลกอริทึมทั้งหมด 3

รูปแบบเพื่อใช้เปรียบเทียบกัน คือ Genetic algorithm (GA), Particle swarm optimization (PSO) และ Simulated annealing (SA) ผลที่ได้พบว่าทั้ง 3 วิธีให้ผลที่ไม่แตกต่างกันในทางด้านการออกแบบ แต่ในส่วนของเวลาที่ใช้ พบว่า PSO ใช้เวลาน้อยที่สุดในการคำนวณ เพราะฉะนั้น PSO จึงเป็นวิธีที่ดีที่สุด สำหรับงานวิจัยนี้

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้ ศึกษาการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีวิฤติศาสตร์แบบลูกผสม โดยใช้วิธีการคู่ร่วมกับวิธีความลาดชัน โดยมีฟังก์ชันเป้าหมายคือราคาค่าก่อสร้างโดยรวมของวัสดุก่อสร้าง ได้แก่ คอนกรีต เหล็กเสริม และแบบหล่อ

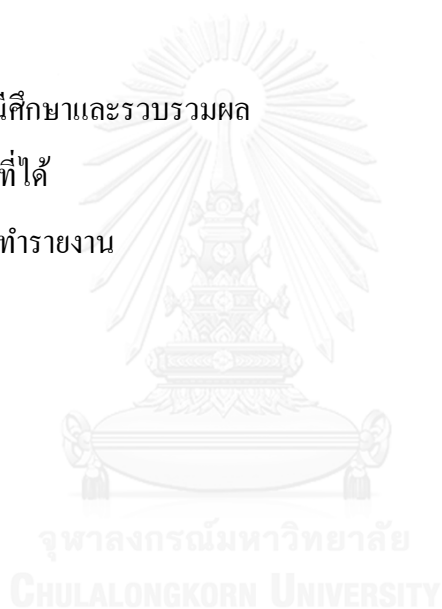
1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. พิจารณาโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบโครงข้อแข็ง (rigid frames) ใน 2 มิติ เท่านั้น
2. น้ำหนักบรรทุกที่พิจารณาประกอบด้วย น้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักบรรทุกจรในแนวดิ่ง (gravity load) เท่านั้น
3. การวิเคราะห์โครงสร้างใช้วิธีสติฟเนสโดยตรง (direct stiffness method) แบบยึดหยุ่นเชิงเส้น
4. การคำนวณออกแบบชิ้นส่วน โครงสร้างเป็นไปตามมาตรฐาน ACI 318M-08 และใช้หน่วย SI
5. สำหรับคาน พิจารณาเหล็กเสริมรับแรงดัดในช่วงของ tension failure โดยที่เหล็กเสริมรับแรงดัดมีค่าหน่วยการยืดหดตัว (strain) ไม่น้อยกว่า 0.005
6. กำหนดให้พื้นที่เหล็กเสริมรับแรงดัดและแรงอัดในเสามีค่าเท่ากัน และพิจารณาเสาเป็นเสาสั้น
7. กำหนดให้ค่า ϕ เท่ากับ 0.9 สำหรับคานรับโมเมนต์ดัด, 0.75 สำหรับคานรับแรงเฉือน และ 0.65 สำหรับเสาปลอกเดี่ยว
8. ไม่มีการออกแบบเหล็กปลอกในเสา แต่มีการออกแบบเหล็กปลอกในคาน

1.5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ มีขั้นตอนการวิจัยดังต่อไปนี้

1. ศึกษาวิธีการวิเคราะห์โครงข้อแข็งพอร์ทัลในระนาบ 2 มิติ
2. ศึกษาวิธีการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด
3. ศึกษาการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Java
4. สร้างแผนผังการทำงานของโปรแกรม
5. พัฒนาโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์
6. พัฒนาโปรแกรมออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด
7. ทดสอบกรณีศึกษาและรวบรวมผล
8. วิเคราะห์ผลที่ได้
9. สรุปผลและทำรายงาน



บทที่ 2

ทฤษฎี

งานวิจัยนี้จะทำการออกแบบ โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีอิวิริสติก โดยจะพิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ ราคาค่าก่อสร้างของชิ้นส่วน โครงสร้าง ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าวัสดุคอนกรีต เหล็กเสริม และแบบหล่อ และพิจารณาฟังก์ชันข้อจำกัด ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดว่าขนาด โครงสร้างและปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้ จะต้องสามารถรับน้ำหนักบรรทุกที่กำหนดได้อย่างปลอดภัยและเป็นไปตามมาตรฐาน ACI 318M-08 โดยรายละเอียดต่างๆจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

2.1 สมมติฐานในการออกแบบ

ในการวิเคราะห์และออกแบบ โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กได้ตั้งสมมติฐาน ดังนี้

1. พิจารณาโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กแบบพอร์ทัลใน 2 มิติ
2. คัดแรงกระทำแบบสถิต ได้แก่ น้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักบรรทุกจรในแนวตั้ง
3. ชิ้นส่วนคานและเสามีหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าและอยู่ในแนวเส้นตรง (perfectly straight)
4. การวิเคราะห์หาแรงภายใน โครงสร้างจะสมมติให้ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของวัสดุอยู่ในช่วงพฤติกรรมเป็นเส้นตรง (linear-elastic material) และจุดต่อของโครงข้อแข็งทุกจุด มีลักษณะเป็นข้อแข็ง (rigid joint)
5. การเสยรูปมีค่าน้อย และไม่คิดผลของอันดับสอง (secondary effects)
6. ปริมาณเหล็กปลอกในเสามีผลน้อยต่อการคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด

2.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function)

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับงานวิจัยนี้จะอยู่ในรูปของราคาค่าก่อสร้างชิ้นส่วน โครงสร้าง ซึ่งประกอบด้วย ราคาคอนกรีต ราคาเหล็กเสริม และราคาแบบหล่อ ดังนี้

$$\text{objective function} \quad z = C_c V_c + C_s W_s + C_f A_f \quad (1)$$

โดยที่ C_c = ราคาคอนกรีตต่อหน่วยปริมาตร (บาท / เมตร³)

C_s = ราคาเหล็กเสริมต่อหน่วยน้ำหนัก (บาท / กิโลกรัม)

C_f	=	ราคาแบบหล่อต่อพื้นที่ (บาท / ตารางเมตร)
V_c	=	ปริมาตรคอนกรีต (ลูกบาศก์เมตร)
W_s	=	น้ำหนักเหล็กเสริม (กิโลกรัม)
A_f	=	ขนาดพื้นที่แบบหล่อ (ตารางเมตร)

ตัวแปรที่จะใช้ในการคำนวณออกแบบโครงสร้าง ประกอบด้วย

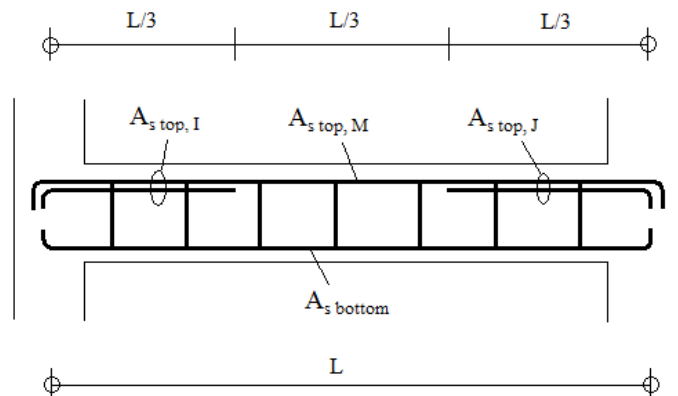
b	=	ความกว้าง (เมตร)
t	=	ความลึก (เมตร)
A_s	=	พื้นที่เหล็กเสริมรับแรงดึง (ตารางเมตร)
A'_s	=	พื้นที่เหล็กเสริมรับแรงอัด (ตารางเมตร)
L	=	ความยาวคาน (เมตร)
h	=	ความสูงเสา (เมตร)
γ_s	=	หน่วยน้ำหนักเหล็ก (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

ดังนั้น จะได้ว่า

- 1) ปริมาตรคอนกรีต $V_c = b \times t \times L$ หรือ $b \times t \times h$ (เมตร³)
- 2) น้ำหนักเหล็กเสริมจะพิจารณาเป็น 2 รูปแบบคือ คาน และเสา โดยมีรายละเอียด ดังนี้

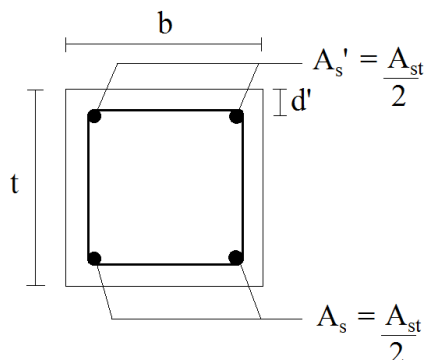
สำหรับคาน จะทำการเสริมเหล็ก ดังรูปที่ 2.1 เพราะฉะนั้น

$$W_{s,beam} = \left(A_{s,bottom} + \frac{1}{3} A_{s,top I} + \frac{1}{3} A_{s,top M} + \frac{1}{3} A_{s,top J} \right) \times L \times \gamma_s$$



รูปที่ 2.1 รายละเอียดการเสริมเหล็กในคาน

สำหรับเสา จะทำการเสริมเหล็กดังรูปที่ 2.2 เพราะฉะนั้น $W_{s,column} = A_{st} \times h \times \gamma_s$



รูปที่ 2.2 รายละเอียดการเสริมเหล็กในเสา

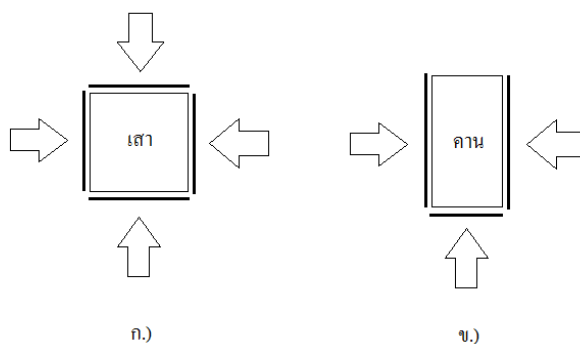
สำหรับคาน สมมติให้เหล็กเสริมล่าง ($A_{s, \text{bottom}}$) มีความยาวตลอดความยาวของคาน ส่วนเหล็กเสริมบนจะแบ่งออกเป็นสามช่วง คือเหล็กเสริมบนซ้าย ($A_{s, \text{top, L}}$) เหล็กเสริมบนกลาง ($A_{s, \text{top, M}}$) และเหล็กเสริมบนขวา ($A_{s, \text{top, R}}$) โดยแต่ละช่วงจะมีความยาวเท่ากับหนึ่งในสามของความยาวคาน ดังรูปที่ 2.1 ส่วนเหล็กปลอกจะทำการออกแบบเพิ่มภายหลังจากที่หน้าตัดผ่านการพิจารณาฟังก์ชันข้อจำกัดแล้ว

สำหรับเสา สมมติเหล็กเสริมรับแรงดึง (A_s) และเหล็กเสริมรับแรงอัด (A_s') มีค่าเท่ากันและมีความยาวตลอดความสูงของเสา ดังรูปที่ 2.2 ทั้งนี้ การคำนวณจะไม่คำนึงถึงปริมาณเหล็กปลอกในเสา โดยถือว่ามียุทธน้อยต่อการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด

3.) ขนาดพื้นที่ไม้แบบ (A_f) จะพิจารณาเป็น 2 รูปแบบคือ เสา และคาน

สำหรับ เสาจะมี 4 ด้าน ดังรูปที่ 2.3 ก. เพราะฉะนั้น $A_{f,column} = 2h(b+t)$

สำหรับ คานจะมี 3 ด้าน ดังรูปที่ 2.3 ข. เพราะฉะนั้น $A_{f,beam} = L(b+2t)$



รูปที่ 2.3 แสดงด้านของชิ้นส่วนโครงสร้างที่ต้องสัมผัสกับไม้แบบ

ก) เสา

ข) คาน

2.3 ฟังก์ชันข้อจำกัด (constraint function)

ฟังก์ชันข้อจำกัดนี้ใช้สำหรับตรวจสอบว่าคำตอบใช้ได้หรือไม่ นั่นคือ โครงสร้างจะต้องสามารถรับน้ำหนักบรรทุกที่กำหนดไว้ได้อย่างปลอดภัย และเป็นไปตามมาตรฐาน ACI 318M-08

แรงกระทำที่ถูกระบุลงในแบบจำลองของโครงสร้างหรือแรงภายนอก จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาแรงภายใน ตามวิธีการในหัวข้อ 2.3.1 ที่ได้กล่าวไป ซึ่งค่าของแรงภายในหรือแรงประลัยจะถูกเก็บเอาไว้ก่อน ไม่ว่าจะเป็นโมเมนต์, แรงตามแนวแกน เป็นต้น โดยที่ขั้นตอนต่อจากการวิเคราะห์โครงสร้างตามงานวิจัยนี้คือ จะทำการสุ่มหน้าตัดของชิ้นส่วนขึ้นมา และทำการวิเคราะห์หน้าตัดว่ามีความสามารถต้านทานแรงที่มากระทำได้หรือไม่ หากไม่ได้ก็จะทำการสุ่มใหม่ แต่ถ้าหากสามารถรับได้ก็จะทำการลดขนาดหน้าตัดลงตามกระบวนการของการคำนวณหน้าตัดที่เหมาะสมที่สุดในหัวข้อต่อไป ซึ่งในหัวข้อนี้จะเป็นการอธิบายวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการรับแรงของหน้าตัด ตามมาตรฐาน ACI 318M-08

ความต้องการขั้นพื้นฐานสำหรับค่ากำลังในการออกแบบสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\text{Design Strength} \geq \text{Required Strength}$$

$$\text{หรือ } \phi (\text{Nominal Strength}) \geq U$$

สำหรับค่ากำลังในการออกแบบ จะมีการใช้ตัวคูณประกอบเพื่อเพิ่มความปลอดภัย โดยจะคูณแรงภายนอกที่มากระทำด้วยตัวคูณประกอบน้ำหนักบรรทุก (load factor) และคูณค่ากำลังระบุด้วยตัวคูณประกอบลดค่ากำลัง (strength reduction factor)

โดยที่แรงภายนอกที่มากระทำกับโครงสร้าง จะใช้ตัวคูณประกอบน้ำหนักบรรทุกดังนี้

$$U = 1.4(D + F) \quad (\text{ACI Equation 9-1})$$

$$U = 1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) \quad (\text{ACI Equation 9-2})$$

$$U = 1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (1.0L \text{ or } 0.8W) \quad (\text{ACI Equation 9-3})$$

$$U = 1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) \quad (\text{ACI Equation 9-4})$$

$$U = 1.2D + 1.0E + 1.0L + 0.2S \quad (\text{ACI Equation 9-5})$$

$$U = 0.9D + 1.6W + 1.6H \quad (\text{ACI Equation 9-6})$$

โดยที่	U	=	น้ำหนักบรรทุกประลัย
	D	=	น้ำหนักบรรทุกคงที่
	F	=	น้ำหนักบรรทุกและแรงดันจากของเหลว
	T	=	ผลกระทบของอุณหภูมิ, การคืบ, การหดตัว และการทรุดตัวของคอนกรีต
	L	=	น้ำหนักบรรทุกจร

H	=	น้ำหนักบรรทุกและแรงดันด้านข้างจากดิน หรือแรงดันน้ำในดิน
L_r	=	น้ำหนักบรรทุกจรบนหลังคา
S	=	น้ำหนักบรรทุกจากหิมะ
R	=	น้ำหนักบรรทุกจากฝน
W	=	น้ำหนักบรรทุกจากแรงลม
E	=	น้ำหนักบรรทุกจากแผ่นดินไหว

ซึ่งในงานวิจัยนี้ จะใช้แค่สูตรที่มีน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร (ACI Equation 9-2) เท่านั้น

2.3.1 การวิเคราะห์โครงสร้าง

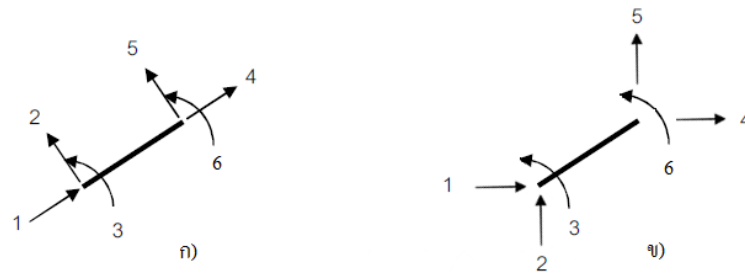
การวิเคราะห์โครงสร้าง หมายถึง การวิเคราะห์หาแรงภายในชิ้นส่วนและการเปลี่ยนตำแหน่งของจุดต่างๆของโครงสร้างภายใต้แรงกระทำ การเปลี่ยนของอุณหภูมิ การยึดรั้ง หรืออื่นๆที่กำหนดให้ และนำแรงภายในที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้าง มาใช้ในการออกแบบอย่างเหมาะสมเพื่อหาหน้าตัดขององค์อาคารที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งการวิเคราะห์จะเป็นการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น (linear analysis) สำหรับโครงข้อแข็ง โดยใช้วิธีสติฟเฟเนสโดยตรง (direct stiffness method)

วิธีสติฟเฟเนสโดยตรง (direct stiffness method) คือ การสร้างสติฟเฟเนสเมตริกซ์ของทั้งโครงสร้าง วิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมกับโครงสร้างขนาดใหญ่ที่ชิ้นส่วนในโครงสร้างบางชิ้นจะอยู่ในแนวอนบียง แนวตั้งบียง หรือบางทีก็อยู่ในแนวเอียงทำมุมต่างๆกัน ซึ่งวิธีนี้จะช่วยประหยัดเวลาในการคำนวณ เพราะเป็นการแปลงการเปลี่ยนตำแหน่งภายนอกที่ข้อต่อของโครงสร้างไปเป็นการเปลี่ยนรูปร่างภายในของส่วนโครงสร้างแต่ละชิ้น ทำให้สร้างสติฟเฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นในระบบแกนพิกัดของโครงสร้างง่ายขึ้นและมีรูปแบบเหมือนกัน ซึ่งสติฟเฟเนสเมตริกซ์ของทั้งโครงสร้างที่ต้องการ จะได้จากการนำค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆในสติฟเฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นที่มีอยู่ในโครงสร้างนั้นมารวมกันโดยอัตโนมัติ

$$\text{สมการสมดุล} \quad [F] = [K][u] \quad (2)$$

$$\text{โดยที่} \quad [K] = \sum [K_n] \quad (3)$$

$[K]$ คือ ผลรวมของเมตริกซ์ระบบแกนพิกัดของโครงสร้าง ที่หาได้จากสมการ $[K_n] = [A]^T [k_n] [A]$ เป็นการแปลงสติฟเฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วน $[k_n]$ จากระบบแกนพิกัดของชิ้นส่วนเข้าสู่ระบบแกนพิกัดของโครงสร้าง $[K_n]$ ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งอาศัยเมตริกซ์แปลงการเปลี่ยนตำแหน่ง $[A]$

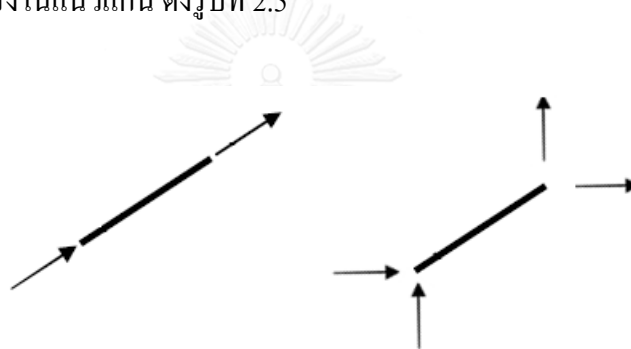


รูปที่ 2.4 ระบบแกนพิกัด

ก) พิกัดของชิ้นส่วน

ข) พิกัดของโครงสร้าง

สำหรับชิ้นส่วนรับแรงในแนวแกน ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ชิ้นส่วนรับแรงในแนวแกน

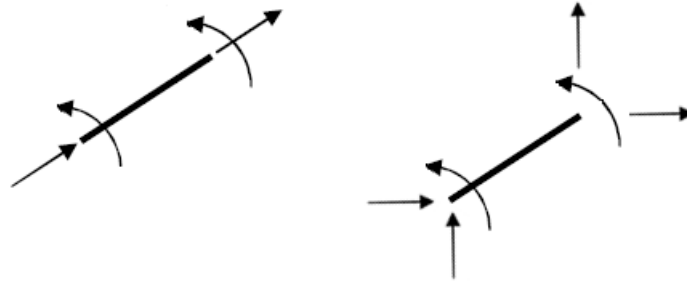
$$[k_n] = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[A] = \begin{bmatrix} c & s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & s \end{bmatrix} \quad \text{โดยที่ } c = \cos \theta \text{ และ } s = \sin \theta$$

จาก $[K_n] = [A]^T [k_n] [A]$

จะได้ $[K_n] = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} c^2 & sc & -c^2 & -sc \\ sc & s^2 & -sc & -s^2 \\ -c^2 & -sc & c^2 & sc \\ -sc & -s^2 & sc & s^2 \end{bmatrix}$

สำหรับชิ้นส่วนรับแรงคัตและแรงในแนวแกน ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ชิ้นส่วนรับแรงคัตและแรงในแนวแกน

$$[k_n] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix}$$

$$[A] = \begin{bmatrix} c & s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -s & c & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c & s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -s & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{โดยที่ } c = \cos \theta \text{ และ } s = \sin \theta$$

จาก

$$[K_n] = [A]^T [k_n] [A]$$

จะได้

$$[K_n] = \begin{bmatrix} c_1 & c_2 & -c_4 & -c_1 & -c_2 & -c_4 \\ c_2 & c_3 & c_5 & -c_2 & -c_3 & c_5 \\ -c_4 & c_5 & c_6 & c_4 & -c_5 & c_7 \\ -c_1 & -c_2 & c_4 & c_1 & c_2 & c_4 \\ -c_2 & -c_3 & -c_5 & c_2 & c_3 & -c_5 \\ -c_4 & c_5 & c_7 & c_4 & -c_5 & c_6 \end{bmatrix}$$

เมื่อ

$$c_1 = \frac{EA}{L}c^2 + \frac{12EI}{L^3}s^2 \quad c_4 = \frac{6EI}{L^2}s$$

$$c_2 = \left[\frac{EA}{L} - \frac{12EI}{L^3} \right]sc \quad c_5 = \frac{6EI}{L^2}c \quad c_7 = \frac{2EI}{L}$$

$$c_3 = \frac{EA}{L}s^2 + \frac{12EI}{L^3}c^2 \quad c_6 = \frac{4EI}{L}$$

โดยที่ $[k_n]$ = สติพเนสเมตริกซ์ในระบบแกนพิกัดของชิ้นส่วน
 $[A]$ = เมตริกซ์แปลงการเปลี่ยนตำแหน่ง
 $[K_n]$ = สติพเนสเมตริกซ์ในระบบแกนพิกัดของโครงสร้าง

2.3.2 การวิเคราะห์กำลังของหน้าตัดตามมาตรฐาน ACI 318M-08

การวิเคราะห์หน้าตัดคาน

หน้าตัดคานจะต้องสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ ทั้งแรงดัดและแรงเฉือน ดังต่อไปนี้

- การวิเคราะห์หน้าตัดคานรับแรงดัด

หน้าตัดคานรับแรงดัดอาจ มีการเสริมเหล็กใน 2 ลักษณะคือ การเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว และการเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด โดยจะมีการพิจารณาค่ากำลังโมเมนต์ดัดดังนี้

$$\text{Design Flexural Strength} \geq \text{Required Flexural Strength}$$

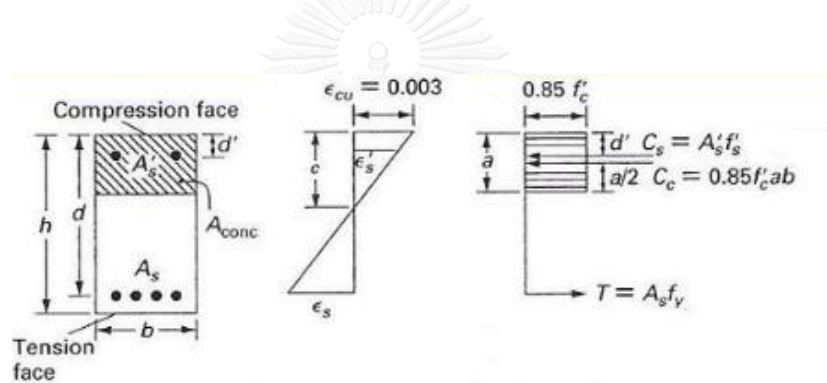
$$\phi M_n \geq M_u$$

โดยที่ M_n คือค่ากำลังต้านทาน โมเมนต์ดัดครั้น

ซึ่งจะมีการกำหนดคุณสมบัติของหน้าตัดดังนี้

- ความกว้าง (b)
- ความลึกประสิทธิภาพ (d)
- ระยะจากผิวรับแรงอัดถึงจุดศูนย์กลางเหล็กรับแรงดึง (d')
- กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (f'_c)
- กำลังที่จุดครากของเหล็กเสริม (f_y)
- พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงดึง (A_s)
- พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงอัด (A'_s)

กรณีที่เป็นหน้าตัดคานเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด



รูปที่ 2.7 แรงภายในบนหน้าตัด (แหล่งที่มา www.civilengineer.webinfolist.com/design/beamanalysisism.htm)

เนื่องจากสภาวะวิบัติมีด้วยกันทั้งหมด 2 รูปแบบ คือ การวิบัติแบบแรงดึง (tension failure) และการวิบัติแบบแรงอัด (compression failure) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณาแต่การวิบัติแบบแรงดึงเท่านั้น โดยที่การวิบัติแบบแรงดึง แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ เหล็กเสริมแรงดึงมีหน่วยแรงถึงจุดครากที่สภาวะวิบัติพร้อมกับเหล็กเสริมแรงอัด ($f'_s = f_y$) , เหล็กเสริมแรงดึงมีหน่วยแรงถึงจุดครากที่สภาวะวิบัติแต่เหล็กเสริมแรงอัดมีหน่วยแรงยังไม่ถึงจุดคราก ($f'_s < f_y$) เพราะฉะนั้นจะทำการสมมติให้เหล็กเสริมแรงดึงมีหน่วยแรงถึงจุดครากที่สภาวะวิบัติพร้อมกับเหล็กเสริมแรงอัด ($f'_s = f_y$) ก่อน แล้วจึงพิจารณาอีกครั้งว่าถูกหรือไม่ ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1) คำนวณหาค่า β_1 จากสมการ

$$\beta_1 = \begin{cases} 0.85 & f_c' \leq 28 \text{ MPa} \\ 0.85 - 0.05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) & 28 < f_c' \leq 55 \text{ MPa} \\ 0.65 & f_c' > 55 \text{ MPa} \end{cases}$$

2) สมมติให้ทั้งเหล็กเสริมรับแรงดึงและเหล็กเสริมรับแรงอัดถึงจุดคราก นั่นคือ ค่า $f_s' = f_s = f_y$ และทำการหาค่า c และ a จากสมการ

$$A_s f_y = 0.85 f_c' \beta_1 c b + A_s' f_y$$

$$c = \frac{(A_s - A_s') f_y}{0.85 f_c' \beta_1 b}$$

$$a = \beta_1 c$$

3) ทำการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบค่า ε_s , ε_s' และ ε_y จากสมการ

$$\varepsilon_s' = \left(\frac{c - d'}{c} \right) 0.003$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d - c}{c} \right) 0.003$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

หาก $\varepsilon_s' \geq \varepsilon_y$ และ $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$ แสดงว่า $f_s' = f_s = f_y$ ตามที่ได้สมมติไว้ แต่ถ้าไม่เป็นไปตามนี้ ก็ให้ข้ามไปยังขั้นตอนที่ 6)

4) หาค่า A_{s1} และ A_{s2} จากสมการ

$$A_{s2} = \frac{A_s' f_s'}{f_y}$$

$$A_{s1} = A_s - A_{s2}$$

5) หาค่ากำลังต้านทานโมเมนต์คัตจากสมการ

$$\phi M_n = \phi \left[A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_s' (d - d') \right] \quad ; \phi = 0.9$$

6) สมมติให้เหล็กเสริมรับแรงอัดยังไม่ถึงจุดครากในสภาวะวิบัติ แต่เหล็กเสริมรับแรงดึงถึงจุดครากแล้ว นั่นคือ $f_s' = \varepsilon_s' E_s$ และ $f_s = f_y$ ดังนั้น ค่า c และ a จะหาได้จาก

$$A_s f_y = 0.85 f_c' \beta_1 c b + A_s' \left[\frac{c - d'}{c} \right] (0.003) E_s$$

$$a = \beta_1 c$$

7) ตรวจสอบค่า ε_s' และ ε_s ที่แท้จริงอีกครั้ง จากสมการ

$$\varepsilon_s' = \left(\frac{c - d'}{c} \right) 0.003 \leq \varepsilon_y \quad \text{และ} \quad \varepsilon_s = \left(\frac{d - c}{c} \right) 0.003 \geq \varepsilon_y$$

$$\text{จะได้ค่า} \quad f_s' = \varepsilon_s' E_s$$

ขั้นตอนต่อไปคือ ย้อนกลับไปทำขั้นตอนที่ 4) และ 5) เพื่อให้ได้ค่ากำลังต้านทานโมเมนต์คัต

8) หากเหล็กเสริมแรงดึงยังไม่ถึงจุดครากในสภาวะวิบัติ นั้นหมายถึงการวิบัติเป็นแบบแรงอัด ซึ่งงานวิจัยนี้จะไม่พิจารณาการวิบัติแบบแรงอัด

- การวิเคราะห์หน้าตัดคานรับแรงเฉือน

เมื่อคานคอนกรีตเสริมเหล็กต้องรับแรงเฉือนมากกว่าที่หน้าตัดของคอนกรีตเองจะรับได้ ก็จำเป็นต้องมีการเสริมเหล็กทางขวางเพื่อช่วยต้านทานแรงเฉือนส่วนที่เกิน ซึ่งการพิจารณาเป็นดังนี้

$$\text{Design Shear Strength} \geq \text{Required Shear Strength}$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$\text{โดยที่} \quad \phi V_n = \phi (V_c + V_s) \quad (4)$$

1.) หาแรงเฉือนประลัยที่หน้าตัดวิกฤต (V_u) ที่ห่างจากขอบที่รองรับเท่ากับระยะความลึกประสิทธิภาพของคาน (d)

2.) หาค่ากำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีต (V_c) จากสมการ

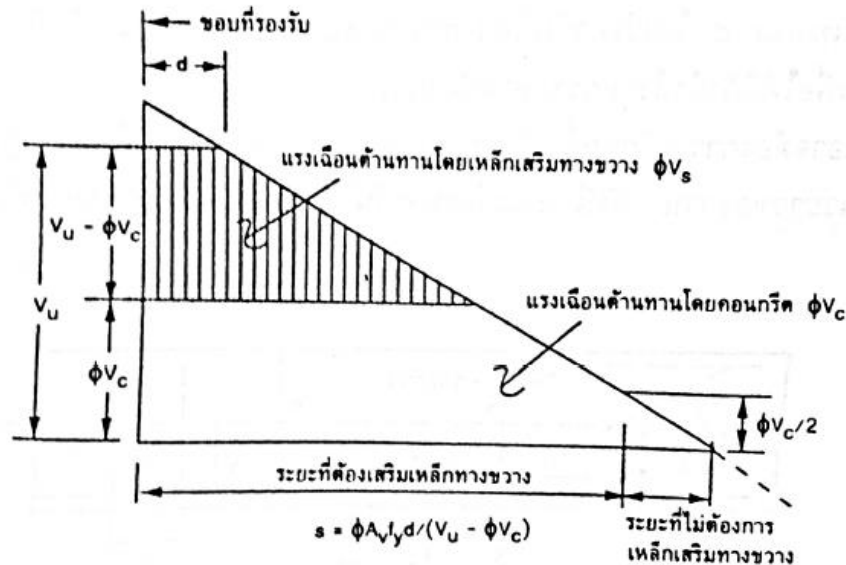
$$\phi V_c = \phi 0.17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad ; \quad \lambda = 1.0, \phi = 0.75$$

ทำให้รู้ค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของเหล็กเสริม

จาก
$$V_u - \phi V_c = \phi V_s$$

ซึ่งถ้าหากว่า $\phi V_s \geq \phi 0.66 \sqrt{f'_c} b_w d$ แล้วให้ทำการเพิ่มขนาดหน้าตัดทันที เพราะไม่สามารถเสริมเหล็กเพื่อต้านทานแรงเฉือนที่มากขนาดนี้ได้

3.) หาระยะเสริมเหล็กแนวตั้ง โดยที่ระยะเสริมเหล็กที่คำนวณต้องการจะอยู่ภายในช่วง $V_u \geq \frac{1}{2} \phi V_c$ และภายในระยะเสริมเหล็กที่คำนวณต้องการ จะมีการเสริมเหล็กที่แตกต่างกันออกไป โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่ $V_u \geq \phi V_c$ และช่วงที่ $\frac{1}{2} \phi V_c < V_u < \phi V_c$ ดังรูป 2.4.1



รูปที่ 2.8 โดอะแกรมของแรงเฉือน (วินิต ช่อวิเชียร, 2550)

4.) หาระยะเรียงของเหล็กเสริมถูกตั้ง (s , spacing) แบ่งออกเป็น 3 แบบดังนี้

ถ้า $V_u \geq \phi V_c$ จะหาระยะเรียงได้จากสมการ

$$s = \frac{\phi A_v f_y d}{(V_u - \phi V_c)} = \frac{A_v f_y d}{V_s}$$

ถ้า $\frac{1}{2} \phi V_c < V_u < \phi V_c$ จะหาระยะเรียงได้จากสมการพื้นที่หน้าตัดเหล็กรับแรงเฉือนขั้นต่ำ ($A_{v,min}$)

$$A_{v,\min} = 0.062\sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}} \geq 0.35 \frac{b_w s}{f_{yt}}$$

ถ้า $V_u \leq \frac{1}{2}\phi V_c$ ไม่ต้องทำการเสริมเหล็กรับแรงเฉือน

5.) ระยะเรียงที่คำนวณได้จากข้อ 4.) มีข้อจำกัดเพิ่มเติมคือ

$$\text{ถ้า } V_s \leq 0.33\sqrt{f'_c} b_w d \text{ ระยะเรียงต้องไม่เกิน } d/2$$

$$\text{แต่ถ้า } V_s > 0.33\sqrt{f'_c} b_w d \text{ ระยะเรียงต้องไม่เกิน } d/4$$

โดยในงานวิจัยนี้ จะทำการออกแบบเหล็กปลอกที่ระยะ d ห่างจากขอบรองรับ เพื่อให้ได้ปริมาณเหล็กปลอกและนำมาใช้ตลอดความยาวคาน ทั้งนี้ เหล็กต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่าเหล็กปลอกขั้นต่ำ ($A_{v,\min}$)

การวิเคราะห์หน้าตัดเสา

การวิเคราะห์หน้าตัดเสา จะมีการกำหนดคุณสมบัติของหน้าตัดดังนี้

- ความกว้าง (b)
- ความลึกของคาน (t)
- ความลึกประสิทธิผล (d)
- ระยะจากผิวรับแรงอัดถึงจุดศูนย์กลางเหล็กเสริมแรงอัด (d')
- กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (f'_c)
- กำลังที่จุดครากของเหล็กเสริม (f_y)
- พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมทั้งหมด (A_{st})

ในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์หน้าตัดเสาจากที่ได้สุ่มขึ้นมาและทำการคำนวณความสามารถของหน้าตัด โดยพิจารณาเพื่อหาค่าต่อไปนี้คือ $P_{n,\max}$, P_{nb} , M_{nb} และ M_{n0} เพื่อใช้ในการสร้างกราฟตามรูปที่ 2.9 และนำกราฟที่ได้ไปใช้ในการพิจารณาเป็นฟังก์ชันข้อจำกัดต่อไป

1.) หาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาโดยพิจารณาในกรณีที่เรารับเฉพาะแรงตามแนวแกน ตามสมการ

$$P_{n0} = 0.85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$$

$$P_{n,\max} = 0.80P_{n0}$$

$$\phi P_{n,\max} = 0.80\phi \left[0.85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \right] ; \phi = 0.65$$

2.) หาค่ากำลังต้านทานของเสาที่สภาวะสมดุล โดยที่ลักษณะของการวิบัติ คอนกรีตจะถูกอัดจนมีหน่วยการยืดหดตัว ถึง $\varepsilon_u = 0.003$ และเหล็กเสริมรับแรงดึง จะถูกดึงกระทั่งหน่วยการยืดหดตัวถึง ε_y ตามสมการ

$$c_b = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_u + \varepsilon_y} d = \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{E_s}} d$$

$$a_b = \beta_1 c_b$$

$$f'_s = E_s \varepsilon'_s = E_s \frac{0.003(c_b - d')}{c_b} \leq f_y$$

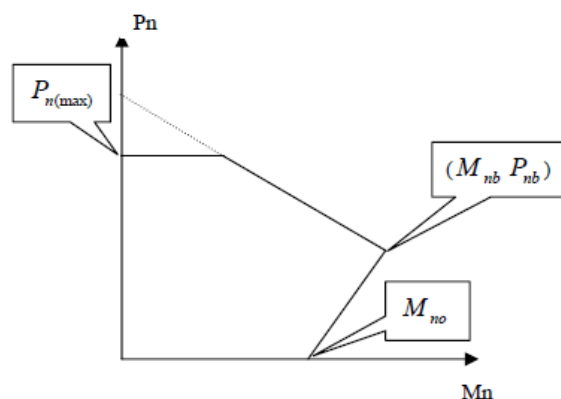
$$P_{nb} = 0.85 f'_c b a_b + A'_s f'_s - A_s f_y$$

โดยที่ $A_s = A'_s = \frac{A_{st}}{2}$

$$M_{nb} = 0.85 f'_c b a_b \left(\frac{t}{2} - \frac{a_b}{2} \right) + A'_s f'_s \left(\frac{t}{2} - d' \right) + A_s f_y \left(d - \frac{t}{2} \right)$$

3.) หาค่ากำลังต้านทานของเสากรณีหน้าตัดเสารับเฉพาะแรงดัด โดยใช้การวิเคราะห์ เหมือนกับการหาค่ากำลังต้านทานโมเมนต์ของคานเสริมเหล็กรับแรงอัดตามหัวข้อการวิเคราะห์หน้าตัดคานรับแรงดัด จะทำให้ได้ค่ากำลังต้านทานโมเมนต์ของเสาที่มีแรงในแนวแกนเป็นศูนย์ (M_{n0})

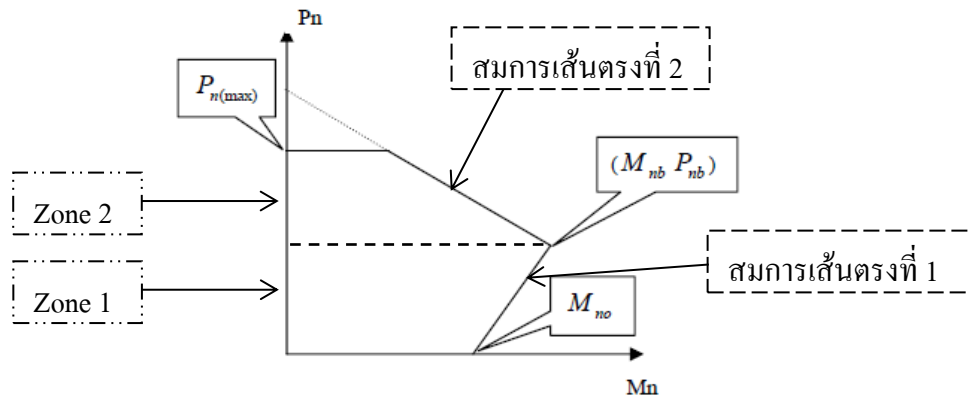
4.) นำค่า $P_{n,max}$, P_{nb} , M_{nb} , M_{n0} ทั้งหมดที่ได้มาสร้างเป็นกราฟ จะได้เส้นตรงสามช่วง ดังรูป 2.9



รูปที่ 2.9 โคออร์ดิเนตปฏิสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดกับแรงดัด

โดยที่การพิจารณาค่ากำลังต้านทานของหน้าตัดเสาต่อแรงประลัย มีหลักการดังนี้คือ

- สร้างสมการเส้นตรงทั้งสามเส้นจากกราฟและแบ่งช่วงในกราฟโดยใช้แกน y (P_n - axis) เป็นแกนหลักในการพิจารณา ตามรูปที่ 2.10

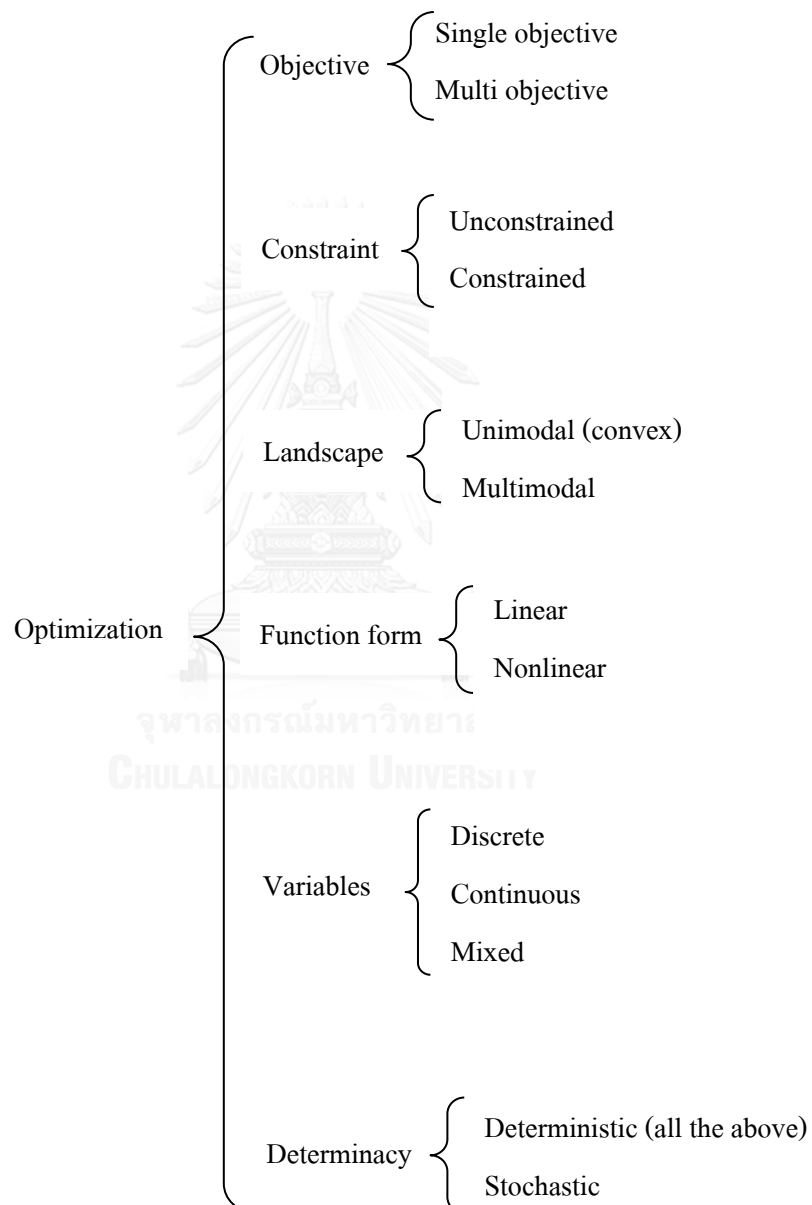


รูปที่ 2.10 การแบ่งขอบเขตของไดอะแกรม

- หากค่า $\frac{P_u}{\phi}$ ที่ได้จากแรงประลัยมีค่าน้อยกว่า P_{nb} ก็ให้พิจารณาใน zone 1 ระหว่างค่า $\frac{M_u}{\phi}$ กับสมการที่ 1 ถ้าหากค่า $\frac{M_u}{\phi}$ อยู่ภายใน zone 1 ก็ให้ทำการคำนวณในลำดับขั้นตอนต่อไปของการดูเข้าหาค่าตอบ แต่ถ้าหากว่า $\frac{M_u}{\phi}$ อยู่นอก zone 1 โปรแกรมจะทำการสุ่มหน้าตัดขึ้นมาใหม่
- หากค่า $\frac{P_u}{\phi}$ ที่ได้จากแรงประลัยมีค่าเท่ากับ P_{nb} ก็ให้พิจารณาค่า $\frac{M_u}{\phi}$ กับค่า M_{nb} ถ้าหากว่าค่า $\frac{M_u}{\phi}$ มีค่าน้อยกว่า M_{nb} ก็ให้ทำการคำนวณในลำดับขั้นตอนต่อไปของการดูเข้าหาค่าตอบ แต่ถ้าหากว่า $\frac{M_u}{\phi}$ มีค่ามากกว่า M_{nb} โปรแกรมจะทำการสุ่มหน้าตัดขึ้นมาใหม่
- หากค่า $\frac{P_u}{\phi}$ ที่ได้จากแรงประลัยมีค่ามากกว่า P_{nb} ก็ให้พิจารณาใน zone 2 ระหว่างค่า $\frac{M_u}{\phi}$ กับสมการที่ 2 ถ้าหากค่า $\frac{M_u}{\phi}$ อยู่ภายใน zone 2 ก็ให้ทำการคำนวณในลำดับขั้นตอนต่อไปของการดูเข้าหาค่าตอบ แต่ถ้าหากว่า $\frac{M_u}{\phi}$ อยู่นอก zone 2 โปรแกรมจะทำการสุ่มหน้าตัดขึ้นมาใหม่

2.4 การหาค่าเหมาะสมที่สุดทางด้านวิศวกรรม (engineering optimization)

การหาค่าเหมาะสมที่สุดมีหลากหลายชื่อเรียกและวิธีในการจำแนกประเภทของปัญหา ซึ่งความซับซ้อนของปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และฟังก์ชันข้อจำกัด ซึ่งประเภทของการหาค่าเหมาะสมที่สุดมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ประเภทของการหาค่าเหมาะสมที่สุด

จากแผนภาพจะเห็นว่า ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective) สามารถเป็นได้แค่สองประเภทคือ แบบเชิงเส้น (linear) และแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear) ถ้าสมมติให้ฟังก์ชันข้อจำกัด (constraint) เป็นเชิงเส้น จะได้ว่าปัญหามีลักษณะเป็นปัญหาข้อจำกัดเชิงเส้น (linearly constrained problem) แต่ถ้าฟังก์ชันข้อจำกัด และฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นเชิงเส้นด้วยกันทั้งหมดแล้วนั้น จะได้ว่าปัญหามีลักษณะเป็น linear programming problem ซึ่งในที่นี้คำว่า programming นั้นความหมายคือ “กระบวนการการคำนวณ” (computing programming) แต่ถ้าฟังก์ชันข้อจำกัดทั้งสองและฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นแบบไม่เชิงเส้น จะได้ว่าปัญหามีลักษณะเป็น nonlinear optimization problem

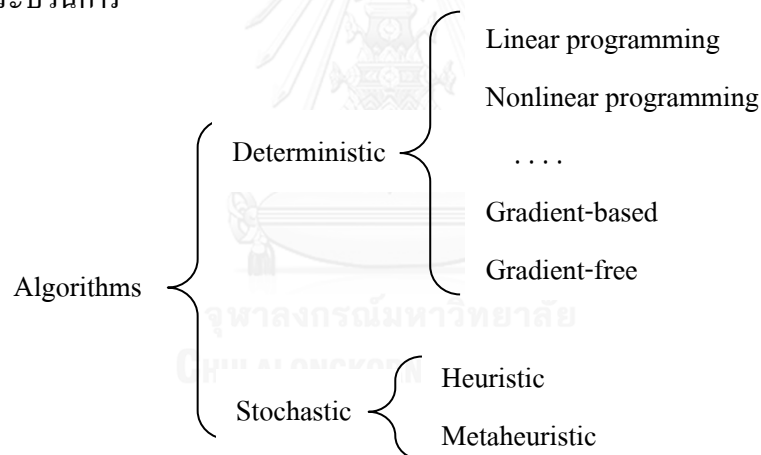
ในประเภทของภูมิทัศน์ (landscape) จะสามารถจำแนกประเภทของการหาค่าเหมาะสมที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้เป็นสองประเภทคือ รูปแบบฐานเดี่ยว (unimodal) และรูปแบบหลายฐาน (multimodal) ซึ่งรูปแบบฐานเดี่ยว (unimodal) หมายถึงฟังก์ชันของวัตถุประสงค์ที่ภูมิทัศน์มีลักษณะเป็นหลุมลงไปหรือปูดขึ้นมาเพียงจำนวนเดียวหรือเรียกได้ว่ามีค่าสูงสุด/ต่ำสุด เพียงจุดเดียวและเป็นค่าสูงสุด/ต่ำสุด ที่สุด (global optimum) และสำหรับรูปแบบหลายฐาน (multimodal) หมายถึงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ภูมิทัศน์มีลักษณะเป็นหลุมลงไปหรือปูดขึ้นมามีจำนวนหลายจำนวนหรือเรียกได้ว่ามีค่าสูงสุด/ต่ำสุด หลายค่า

ในประเภทของตัวแปร (variables) จะสามารถจำแนกประเภทออกได้เป็นสองประเภทคือ ตัวแปรไม่ต่อเนื่อง (discrete variables) และตัวแปรต่อเนื่อง (continuous variables) โดยที่ตัวแปรไม่ต่อเนื่อง (discrete variables) ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบผสม (combinatorial optimization) ซึ่งส่วนใหญ่จะเชื่อมโยงกับกราฟ หรือเส้นทาง เช่น ปัญหาการเดินทางของนักขาย (traveling salesman problem) เป็นต้น และสำหรับตัวแปรต่อเนื่อง (continuous variables) หมายถึงการออกแบบที่มีความผันแปรที่ต่อเนื่องกันในเชิงของการหาค่าเหมาะสมที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม ความผันแปรทั้งสองประเภทนี้อาจมีการรวมกันเกิดขึ้นได้ จึงเป็นที่มาของ ตัวแปรแบบผสม (mixed variables) ซึ่งก็คือการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีทั้งตัวแปรไม่ต่อเนื่องและตัวแปรต่อเนื่องผสมเข้าอยู่ด้วยกัน

สำหรับการหาค่าเหมาะสมที่สุดทั้งหมดที่ได้กล่าวมาจะถูกจำแนกอยู่ในประเภทการกำหนดบังชี้ (deterministic) ซึ่งเป็นการออกแบบการหาค่าเหมาะสมที่สุดโดยสามารถระบุฟังก์ชันวัตถุประสงค์และฟังก์ชันข้อจำกัดได้ แต่ในโลกของความเป็นจริง จะไม่สามารถระบุได้ในทุกๆตัวแปรของฟังก์ชัน ดังนั้นการหาค่าเหมาะสมที่สุดในแง่ของการออกแบบจึงต้องเป็นแบบพื้นสุ่มหรือแบบสุ่ม (stochastic) ซึ่งจะถูกล่าวในหัวข้อถัดไป (Chong, 2008)

2.5 อัลกอริทึมของการหาค่าเหมาะสมที่สุด (optimization algorithms)

โดยทั่วไปอัลกอริทึมของการหาค่าเหมาะสมที่สุดสามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภทคือ อัลกอริทึมแบบกำหนดบ่งชี้ (deterministic algorithm) และอัลกอริทึมแบบสุ่ม (stochastic algorithm) ซึ่งอัลกอริทึมแบบกำหนดบ่งชี้ (deterministic algorithm) หมายถึงอัลกอริทึมที่มีกระบวนการการคำนวณที่แม่นยำและฟังก์ชันการคำนวณมีการกระทำซ้ำเดิม โดยมีจุดเริ่มต้น (starting point) ของการคำนวณเริ่มที่จุดเดิม และเส้นทางเดินของการคำนวณแบบเดิมไม่ว่าจะดำเนินขั้นตอนเมื่อไรก็ตาม และในส่วนของอัลกอริทึมแบบสุ่ม (stochastic algorithm) หมายถึงอัลกอริทึมที่ใช้การสุ่มจุดเริ่มต้นของการคำนวณเสมอ ซึ่งหากมีการดำเนินขั้นตอนครั้งต่อไปก็จะมี การซ้ำเดิมอย่างแน่นอน และนอกจากนี้ยังมีอัลกอริทึมแบบที่สามคืออัลกอริทึมลูกผสม (hybrid algorithm) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ผสมกันระหว่างอัลกอริทึมแบบกำหนดบ่งชี้ (deterministic algorithm) และอัลกอริทึมแบบสุ่ม (stochastic algorithm) โดยที่แผนการพื้นฐานคือจะใช้อัลกอริทึมแบบกำหนดบ่งชี้ (deterministic algorithm) แต่มีจุดเริ่มต้นของการคำนวณที่แตกต่างกันในแต่ละ ครั้งของกระบวนการ



รูปที่ 2.12 ประเภทของอัลกอริทึม

สำหรับ gradient-based อัลกอริทึม จะมีการอนุพันธ์ (derivatives) ซึ่งสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดีสำหรับปัญหาที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีความเรียบและเป็นรูปแบบฐานเดี่ยว (unimodal) แต่สำหรับ gradient-free อัลกอริทึม จะไม่มีการอนุพันธ์ (derivatives) และในประเภทของอัลกอริทึมแบบสุ่ม (stochastic algorithm) มีอยู่สองประเภทคือ ฮิวริสติก และเมตะฮิวริสติกจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อยจนแทบจะเหมือนกัน ซึ่งฮิวริสติกจะมีความหมายในลักษณะของการหาหรือการค้นพบด้วยวิธีลองผิดลองถูก (trial and error) มีความแม่นยำของคำตอบขึ้นอยู่กับจำนวนของการดำเนินกระบวนการเพื่อให้ได้คำตอบ แต่ไม่รับประกันว่าคำตอบนั้นจะเป็นคำตอบที่แท้จริง

ของปัญหา เพราะเป็นเพียงแค่การเข้าใกล้คำตอบมากที่สุดและเป็นวิธีง่ายที่สุดในการเข้าถึงคำตอบที่แท้จริงของปัญหา และในส่วนของเมตธีวิธีวิฤติค เมตธี แปลว่า ที่เหนือกว่าหรือระดับสูง (high level) คือการพัฒนาต่อยอดวิธีวิฤติคขึ้นไปอีก และแน่นอนว่ามีคุณภาพที่ดีกว่าวิธีวิฤติคแบบปกติ

2.6 การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดโดยวิธีวิฤติค

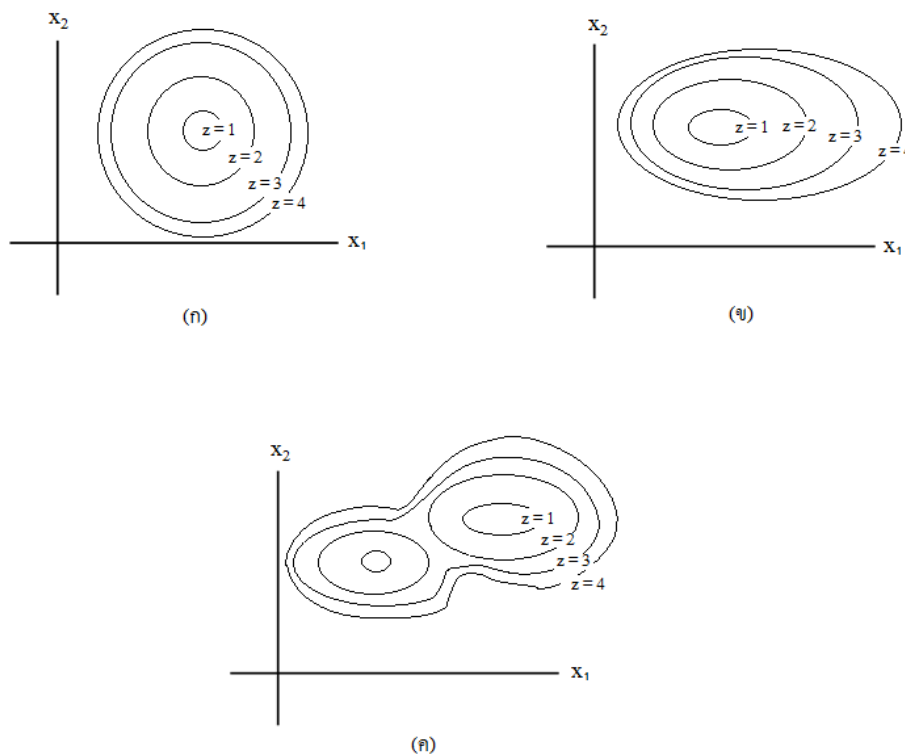
การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีวิฤติค เป็นขบวนการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดจากฐานข้อมูลที่มีจำนวนมาก โดยที่แนวทางในการค้นหาคำตอบแบบวิฤติค คือการลดจำนวนคำตอบที่มีอยู่มากให้น้อยลง ซึ่งเป็นคำตอบที่มีทั้งคำตอบที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมรวมอยู่ด้วยกัน โดยไม่ต้องทำการคำนวณข้อมูลที่ละตัวในทุกๆข้อมูลที่มีอยู่จนครบ เพราะจะเป็นการสิ้นเปลืองเวลาเป็นอย่างมาก วิธีวิฤติคจึงเป็นวิธีที่นิยมอย่างมากสำหรับปัญหาที่ใช้เวลาในการคำนวณค่อนข้างมาก

วิธีวิฤติคเป็นแนวทางเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ ได้หลากหลายเพื่อใช้ในการลดระยะเวลาในการทำงาน และปัญหาที่นิยมใช้สำหรับวิธีนี้ก็มักจะเป็นปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (traveling salesperson problem) ปัญหาคือ พนักงานขายต้องการเดินทางไปให้ครบทุกเมือง และกลับมายังจุดเริ่มต้น โดยให้ได้ระยะทางโดยรวมที่สั้นที่สุด โดยปกติแล้ว การแก้ปัญหาลักษณะนี้จะทำโดยการหาเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดก่อน แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน และเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดมา ซึ่งวิธีแบบนี้จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อมีเส้นทางและจุดหมายที่มีจำนวนน้อย แต่ถ้าหากมีปัญหาที่มีเส้นทางและจุดหมายที่ค่อนข้างเยอะ อย่างเช่น มีเมือง 100 เมืองที่ต้องเดินทางเพื่อทำการสำรวจแล้วนั้น วิธีแบบนี้จะใช้การไม่ได้เลย เนื่องจากมีจำนวนเมืองที่เยอะเกินไป การที่จะหาเส้นทางทั้งหมดนั้นเป็นไปได้ยาก จึงต้องมีวิธีวิฤติคนี้เป็นตัวช่วยในการคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด

ในการค้นหาคำตอบแบบวิฤติค มีเครื่องมือสำคัญในการช่วยค้นหา คือ อัลกอริทึมต่างๆ ที่นักคณิตศาสตร์ได้คิดค้นเอาไว้ จึงได้มีการนำเครื่องมือเหล่านั้นมาใช้ในการคำนวณและค้นหาคำตอบโดยกำหนดข้อจำกัด หรือเงื่อนไขต่างๆ ให้เป็นไปตามที่ผู้ศึกษาต้องการในเชิงของทางวิศวกรรมและในแต่ละศาสตร์ที่เราได้ทำการศึกษาอยู่ โดยที่อัลกอริทึมต่างๆ นั้นก็มีอยู่เป็นจำนวนมากให้เลือกใช้ ไม่ว่าจะเป็นอัลกอริทึมในกลุ่มของแบบกำหนดข้อจำกัด (constrained), ไม่กำหนดข้อจำกัด (unconstrained), แบบเชิงเส้น (linear Programming) และแบบไร้เชิงเส้น (nonlinear programming) เป็นต้น

งานวิจัยนี้มีการนำเสนอวิธีการค้นหาคำตอบวิธีหนึ่งขึ้นมา โดยวิธีการค้นหาคำตอบนี้จะอยู่ภายใต้เงื่อนไขไร้เชิงเส้นที่มีการกำหนดข้อจำกัด (non-linear constraint) ซึ่งจะรองรับการค้นหาคำตอบในรูปของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ไม่เป็นเส้นตรงต่างๆ และมีฟังก์ชันข้อจำกัดเพื่อใช้ในการกำหนดข้อจำกัดของปัญหา

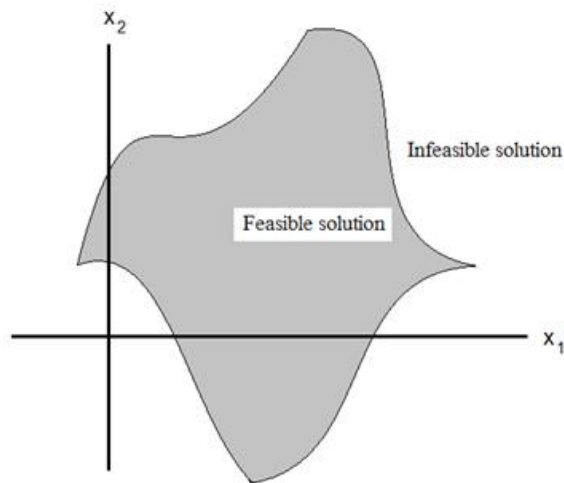
โดยหลักการของการค้นหาคำตอบจากงานวิจัยนี้ ขั้นตอนแรกคือ กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ขึ้นมา ก่อน ถึงแม้ว่าฟังก์ชันอาจจะมีหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นแบบตรงศูนย์, แบบเอียงศูนย์ และแบบหลายศูนย์ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ก) แบบตรงศูนย์ ข) แบบเอียงศูนย์ ค) แบบหลายศูนย์

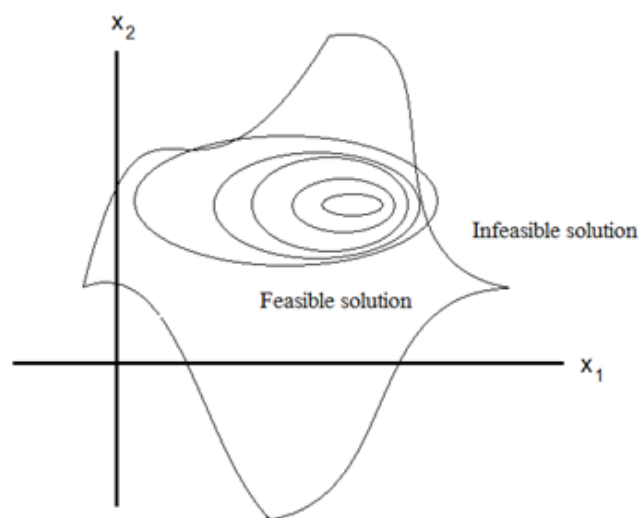
ต่อมาคือ การกำหนดฟังก์ชันข้อจำกัด (constraint) ขึ้นมา เพื่อแบ่งแยกวิธีการที่เป็นไปได้ (feasible solution) และเป็นไปไม่ได้ (infeasible solution) ออกจากกันอย่างชัดเจนเสียก่อน ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การกำหนดขอบเขตของข้อจำกัด

นั่นหมายความว่า จากจุดเริ่มต้นที่ได้จากการสุ่ม และตลอดตามเส้นทางการคำนวณเพื่อค้นหาคำตอบในแต่ละก้าว จะถูกบันทึกข้อมูลคำตอบไว้ก็ต่อเมื่อค่าของตัวแปรที่สนใจ อยู่ในขอบเขตของข้อจำกัดที่กำหนดไว้เท่านั้น แต่ถ้าไม่อยู่ในขอบเขตของข้อจำกัด ก็จะทำการสุ่มและคำนวณใหม่ในรอบการคำนวณต่อไป ซึ่งการกำหนดขอบเขตของข้อจำกัดเมื่อพิจารณาพร้อมกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์แล้วพบว่า เป็นไปได้ทั้งหมด 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 ศูนย์กลางฟังก์ชันวัตถุประสงค์อยู่ในฟังก์ชันข้อจำกัด



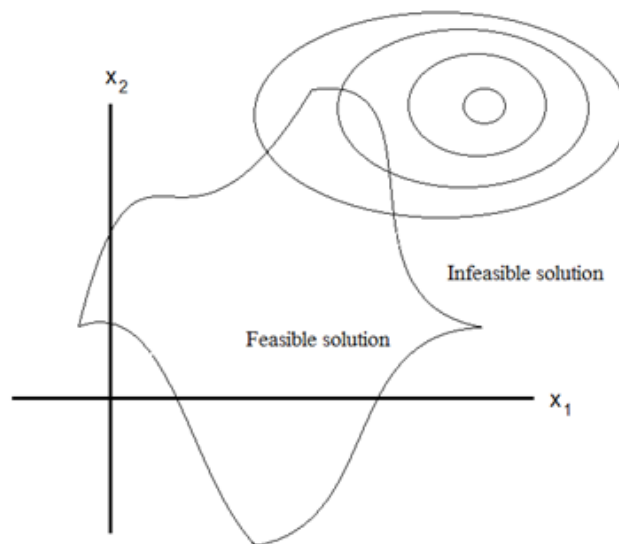
รูปที่ 2.15 ศูนย์กลางฟังก์ชันวัตถุประสงค์อยู่ในฟังก์ชันข้อจำกัด

กรณีนี้จะได้คำตอบจากการค้นหาคำตอบที่เข้าใกล้ค่าที่แท้จริงได้มากที่สุด เพราะศูนย์กลางฟังก์ชันวัตถุประสงค์อยู่ภายในฟังก์ชันข้อจำกัด จึงเป็นการง่ายที่การค้นหาจะลู่ออกเข้าหาคำตอบได้อย่างตรงไปตรงมา โดยที่ความแม่นยำของคำตอบที่ได้ จะขึ้นอยู่กับค่าขนาดก้าว (step size) ของการคำนวณ ขนาดก้าวที่เล็กจะให้คำตอบที่แม่นยำมาก

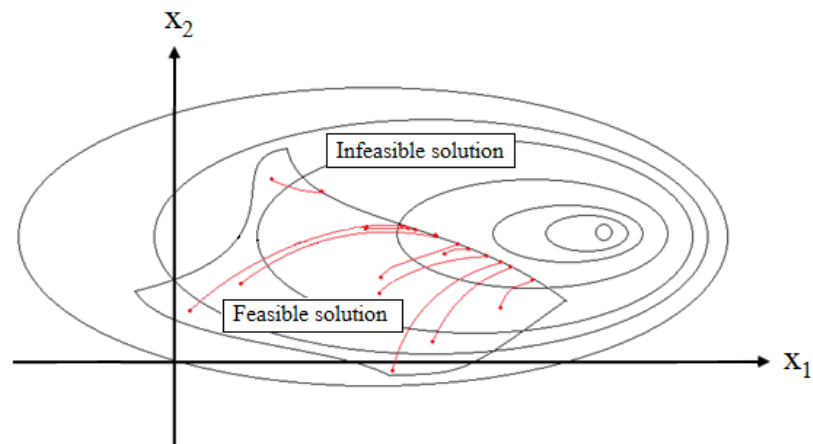
กรณีที่ 2 ศูนย์กลางฟังก์ชันวัตถุประสงค์อยู่นอกฟังก์ชันข้อจำกัด

กรณีนี้จะเป็นการค้นหาคำตอบที่จะได้เพียงแค่ว่าใกล้เคียงเท่าที่ฟังก์ชันข้อจำกัดสามารถเข้าใกล้คำตอบที่สุดเท่าที่จะใกล้ได้เท่านั้น ซึ่งคำตอบที่ได้จากการค้นหา จะอยู่ตามขอบของฟังก์ชันข้อจำกัดที่อยู่ใกล้คำตอบมากที่สุด

ความแม่นยำของคำตอบที่ได้ จะขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของการคำนวณหรือจำนวนเส้นทางที่คำนวณ ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ศูนย์กลางฟังก์ชันวัตถุประสงค์อยู่นอกฟังก์ชันข้อจำกัด



รูปที่ 2.17 การลู่เข้าหาคำตอบกรณีคำตอบที่แท้จริงอยู่นอกฟังก์ชันข้อจำกัด

จากรูปที่ 2.17 จะเห็นว่ามีการลู่เข้าของคำตอบได้หลายเส้นทาง เนื่องจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ มีค่าคำตอบที่อยู่นอกฟังก์ชันข้อจำกัด เพราะฉะนั้นคำตอบที่ได้ จะอยู่ตามขอบของฟังก์ชันข้อจำกัด และแน่นอนว่าต้องมีคำตอบที่มีค่าน้อยที่สุดเพียงค่าเดียวเท่านั้น

ในแต่ละเส้นทางการคำนวณขั้นตอนในการลดขนาดของค่าคำตอบ (gradient) ในแต่ละครั้งที่เคลื่อนไปตามเส้นทางตามความลาดชัน ดังรูปที่ 2.17 คือการลดปริมาณของค่าตัวแปรที่จะทำการคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด ซึ่งตัวแปรที่สนใจในงานวิจัยนี้คือ b , t , A_s และ A_s' จากการคำนวณตามสมการ

$$new\ x_i = x_i - \alpha \frac{\partial z}{\partial x_i} \quad (5)$$

โดยที่ $new\ x_i$ คือ ตัวแปรหลังทำการเกรเดียน

x_i คือ ตัวแปรก่อนทำการเกรเดียน

α คือ ค่าขนาดก้าว (step size)

$\frac{\partial z}{\partial x_i}$ คือ ค่าความลาดชัน

ซึ่งค่าความลาดชันในแต่ละประเภทของชิ้นส่วน โครงสร้าง จะมีลักษณะที่ไม่เหมือนกัน
ดังนั้น

- ค่าความลาดชันของคาน

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของคาน

$$z = C_c(bt)l + C_s \left(A_s + \frac{1}{3}A_{s,top I} + \frac{1}{3}A_{s,top M} + \frac{1}{3}A_{s,top J} \right) l + C_f(b + 2t)l \quad (6)$$

จะได้	ค่าความลาดชันของ b คือ	$\frac{\partial z}{\partial b}$	=	$(C_c \cdot t \cdot l) + (C_f \cdot l)$
	ค่าความลาดชันของ t คือ	$\frac{\partial z}{\partial t}$	=	$(C_c \cdot b \cdot l) + (C_f \cdot l \cdot 2)$
	ค่าความลาดชันของ A_s คือ	$\frac{\partial z}{\partial A_s}$	=	$C_s \cdot l$
	ค่าความลาดชันของ A_s' คือ	$\frac{\partial z}{\partial A_s'}$	=	$C_s \cdot l/3$

- ค่าความลาดชันของเสา

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของเสา

$$z = C_c(bt)h + C_s(A_s + A_s')h + C_f(2b + 2t)h \quad (7)$$

จะได้	ค่าความลาดชันของ b คือ	$\frac{\partial z}{\partial b}$	=	$(C_c \cdot t \cdot h) + (C_f \cdot h \cdot 2)$
	ค่าความลาดชันของ t คือ	$\frac{\partial z}{\partial t}$	=	$(C_c \cdot b \cdot h) + (C_f \cdot h \cdot 2)$
	ค่าความลาดชันของ A_s คือ	$\frac{\partial z}{\partial A_s}$	=	$C_s \cdot h$
	ค่าความลาดชันของ A_s' คือ	$\frac{\partial z}{\partial A_s'}$	=	$C_s \cdot h$

เมื่อนำค่าตัวแปรก่อนทำการเกรเดียน, ค่าขนาดก้าว และค่าความลาดชัน มาแทนลงในสมการที่ (5) จะได้ค่าตัวแปรหลังทำการเกรเดียน ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีปริมาณลดลงจากเดิม ก็ให้ค่าตัวแปรใหม่เป็นค่าตัวแปรเริ่มต้นของการเกรเดียนครั้งต่อไป

บทที่ 3

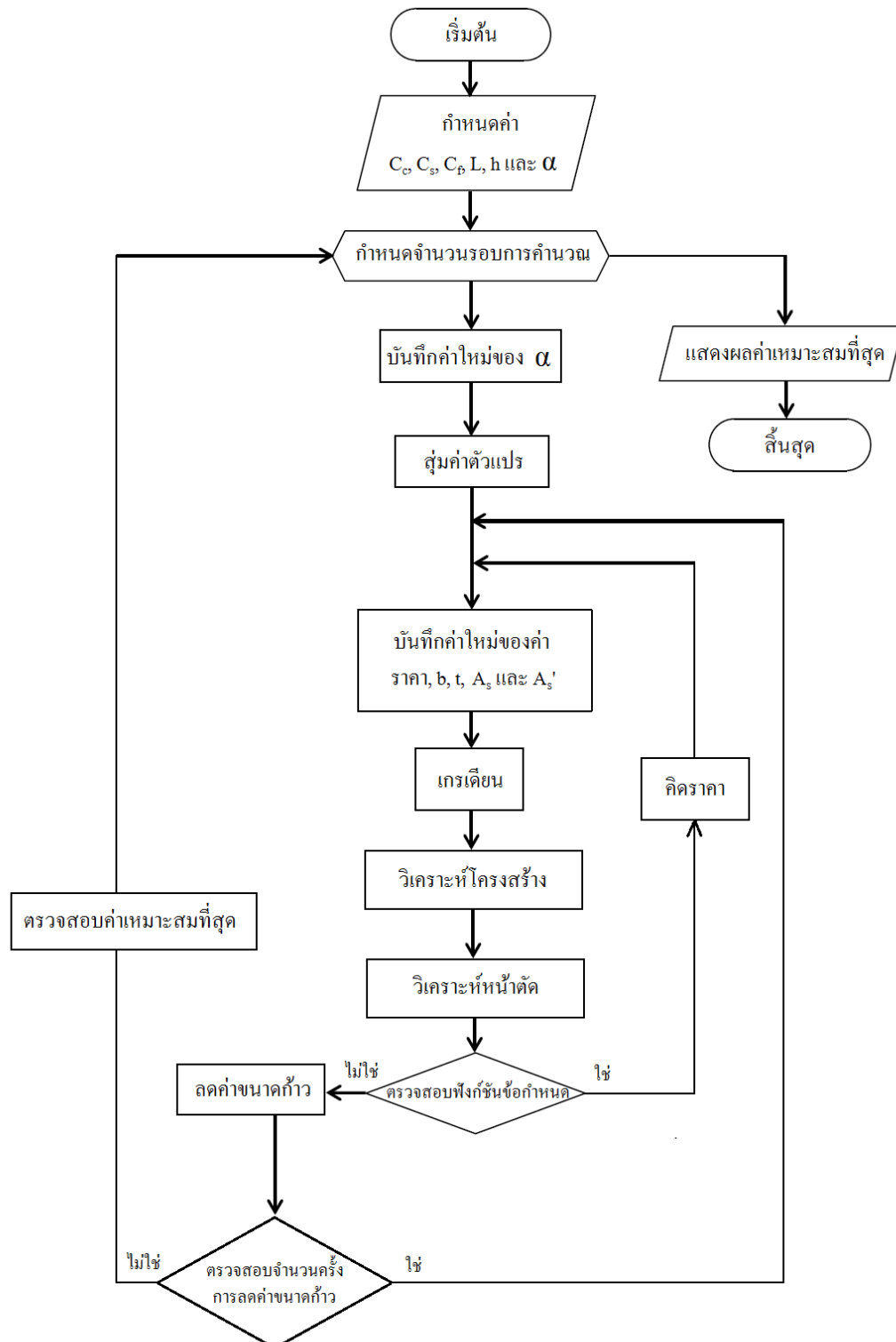
ขั้นตอนการออกแบบ

จากทฤษฎีและหลักการในบทที่ 2 เกี่ยวกับการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก จึงได้นำทฤษฎีแนวคิดมาใช้วางแผนการคำนวณออกแบบเป็นขั้นตอนได้ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึง ค่าเริ่มต้นที่ต้องกำหนดขึ้นโดยผู้ออกแบบ ได้แก่ ค่าราคาต่อหน่วยของคอนกรีต ค่าราคาต่อหน่วยของเหล็กเสริม ค่าราคาต่อหน่วยของพื้นที่แบบหล่อ ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม ค่าคุณสมบัติต่างๆของคอนกรีตและเหล็กเสริม และค่าขนาดก้าว (step size, α)

ในที่นี้จะไม่ใช่วิธีการออกแบบโครงสร้างโดยตรง แต่จะใช้วิธีการสุ่มคำตอบแล้วตรวจสอบกับเงื่อนไขข้อจำกัด ซึ่งถ้าหากว่าคำตอบยังอยู่ภายในข้อจำกัด ก็จะทำให้คำตอบนั้นเป็นคำตอบที่เป็นไปได้ แล้วจึงคิดราคาและทำการลดปริมาณที่สนใจ จนกระทั่งคำตอบที่ได้อยู่นอกข้อจำกัดแล้ว ก็ให้คำตอบก่อนหน้านี้อยู่ในข้อจำกัด เป็นคำตอบของเส้นทางที่ 1 จากนั้นจึงทำการสุ่มจุดเริ่มต้นขึ้นมาใหม่เพื่อสร้างเส้นทางที่ 2 ถ้าหากว่าเส้นทางใดให้คำตอบของราคาที่น้อยกว่าก็ให้เก็บค่าราคาของเส้นทางนั้นไว้ และเพิ่มจำนวนเส้นทางใหม่ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งคำตอบของราคาที่ได้อันไม่ลดลงไปกว่านี้อีกแล้ว ก็จะได้คำตอบที่ดีที่สุด

3.1 การทำงานของโปรแกรม

ในการหาคำตอบโดยนำวิธีฮิวริสติกมาประยุกต์ใช้ เพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด มีขั้นตอนการทำงานเป็นไปตามแผนผัง ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งในงานวิจัยนี้ ตัวแปรที่ผู้ใช้ต้องทำการป้อนค่าคือค่าตัวแปรคงที่ เช่น C_c , C_s , C_f , L , h และ α ส่วนตัวแปรที่ต้องการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดคือ b , t , A_s และ A_s'



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของโปรแกรม

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มต้นด้วยการกำหนดค่าตัวแปรเริ่มต้น ได้แก่ ค่าราคาต่อหน่วยของคอนกรีต, ราคาต่อหน่วยของเหล็กเสริม, ราคาต่อหน่วยของไม้แบบ, α และรูปเรขาคณิตของโครงสร้าง รวมทั้งน้ำหนักบรรทุก

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างคำสั่งทำซ้ำพร้อมกำหนดจำนวนครั้งของการทำซ้ำ ซึ่งจำนวนครั้งของการทำซ้ำนี้ คือจำนวนหน้าตัดที่โปรแกรมจะทำการสุ่ม โดยจะทำการสุ่มค่าตัวแปรที่สนใจ ได้แก่ ความกว้าง, ความลึก และพื้นที่เหล็กเสริม

ขั้นตอนที่ 3 การเข้าสู่วงรอบสองวงรอบซ้อนกัน วงรอบข้างนอก คือการปรับแก้ค่า α ให้มีค่าน้อยลง ทำให้เข้าใกล้ข้อจำกัดของการคำนวณมากยิ่งขึ้น ส่วนวงรอบข้างใน คือการเกรเดียนเพื่อลดขนาดปริมาตรที่สนใจ เมื่อเข้ามาถึงวงรอบข้างใน จะเริ่มต้นโดยการตรวจสอบค่าปริมาตรที่ทำการสุ่มขึ้นมาว่า เมื่อคิดค่าราคาแล้ว มีค่าน้อยกว่า 1×10^{19} บาท หรือไม่ หากมากกว่าก็ให้ข้ามขั้นตอนี้ไป (เพื่อให้รอบแรกของการสุ่มนั้นผ่านขั้นตอนี้ไป ไม่ต้องเกรเดียน) แต่ถ้าหากน้อยกว่าก็ให้ทำการเกรเดียนเพื่อลดขนาดปริมาตรที่สนใจ ดังสมการที่ (4)

ขั้นตอนที่ 4 การหาค่าแรงประลัยต่างๆ เช่น M_u , P_u , V_u และกำลังที่ใช้ออกแบบ เช่น M_n , P_n , V_n พร้อมทั้งทำการตรวจสอบว่า ยังอยู่ภายในฟังก์ชันข้อจำกัดหรือไม่ หากยังอยู่ก็ให้ทำซ้ำเพื่อลดขนาดด้วยวิธีเกรเดียนต่อไป หากออกนอกข้อจำกัดแล้ว ก็ให้ทำการปรับค่า α ให้เล็กลง

ขั้นตอนที่ 5 การตรวจสอบเงื่อนไขค่า α ว่าต้องการให้ลดลงกี่ครั้ง และลดลงเท่าไร (เช่น ลดลงครึ่งหนึ่ง เป็นจำนวน 5 ครั้ง) เมื่อยังไม่ครบจำนวนครั้งที่ลด ก็ให้ทำซ้ำจนกว่าจะครบตามรอบที่กำหนด หากครบรอบแล้วให้บันทึกค่าราคาและปริมาตรต่างๆที่สนใจ เมื่อพบว่าค่าราคาที่ได้นั้นมีค่าน้อยกว่าค่าราคาที่ถูกบันทึกไว้ในก่อนหน้า ก็ให้บันทึกค่าราคาที่ได้นั้นลงในค่าราคาที่ถูกบันทึกไว้ก่อนหน้า และทำการทำซ้ำให้ครบรอบของจำนวนการสุ่มที่กำหนดไว้

3.2 การพัฒนาโปรแกรม

ในงานวิจัยนี้จะทำการพัฒนาโปรแกรมเนื่องจากโปรแกรม JSM(Smittakorn, 2551) โดยใช้ภาษาจาวา ซึ่งโปรแกรม JSM นั้น เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ชิ้นส่วนและโครงสร้างลักษณะต่างๆ เช่น คาน เสา โครงถัก โครงข้อแข็ง เป็นต้น

โดยที่โครงสร้างของโปรแกรม JSM จะประกอบไปด้วย class หลัก คือ Node, Element, Structure, Material, Section เป็นต้น โดยการพัฒนาโปรแกรมในงานวิจัยนี้คือการแก้ไขเพิ่มเติม method และ class เข้าไปในโปรแกรม JSM โดยแต่ละ method และ class จะมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. method BeamSectionAnalysis

เมธอดนี้จะมีการรับค่าพารามิเตอร์ทั้งหมด 8 ตัวแปร คือ ความกว้าง, ความหนา, ระยะคอนกรีตป้องกันเหล็กเสริม, พื้นที่เหล็กเสริมรับแรงดึง, พื้นที่เหล็กเสริมรับแรงอัด, f_c' และ f_y โดยที่เมธอดนี้จะทำการคำนวณค่ากำลังความต้านทานโมเมนต์ค้ำคระ (ϕM_n) โดยในขั้นตอนการคำนวณจะมีการพิจารณาถึงค่า ϕ ไว้แล้ว เพราะฉะนั้นเมธอดนี้จะทำการคืนค่าออกมาเป็นค่ากำลังความต้านทานโมเมนต์ค้ำคระที่มีการคูณค่าลดกำลังลงแล้ว โดยจะคืนค่าออกมาเป็นตัวเลข เพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้ขั้นตอนอื่นๆต่อไป

2. method Random

เมธอดนี้เป็นเมธอดที่ใช้ในการสุ่มค่าตัวเลขโดยอยู่ภายในขอบเขตตามที่กำหนด ซึ่งในเมธอดนี้จะรับค่าพารามิเตอร์ 2 ค่า คือ ค่าขอบเขตต่ำสุดของการสุ่ม (min) และค่าขอบเขตต่ำสุดของการสุ่ม (max) แล้วเมธอดนี้จะคืนค่าตัวเลขเป็นแบบสุ่มออกมา โดยที่ลักษณะการสุ่มนั้น จะเป็นการสุ่มแบบมีน้ำหนักความสำคัญเท่ากันทั้งหมด หรือเรียกว่าการสุ่มแบบมอนติคาร์โล (monte carlo)

3. class OptimizeBeam

คลาสนี้เป็นคลาสที่ใช้ในการออกแบบคานอย่างเหมาะสมที่สุด โดยจะเริ่มต้นด้วยการกำหนดค่าตั้งต้นต่างๆ เช่น ความยาวคาน จำนวนรอบของเส้นทางสุ่มในการคำนวณ ค่าขนาดการลดปริมาณที่สนใจ ค่าราคาต่อหน่วยต่างๆ ค่าขอบเขตสูงสุดและต่ำสุดของตัวแปรสุ่มที่สนใจ เป็นต้น และสามารถกำหนดน้ำหนักบรรทุกลงบนคานได้ ทั้งน้ำหนักบรรทุกต่อเนื่อง และน้ำหนักบรรทุกแบบจุด

โดยคำตอบที่ได้จากการคำนวณออกแบบในคลาสนี้ จะให้ผลออกมาเป็นค่าราคาที่ดีที่สุดที่สามารถคำนวณได้ตามจำนวนรอบเส้นทางสุ่มที่กำหนด ค่าของตัวแปรที่สนใจต่างๆ เช่น ความกว้าง ความหนา พื้นที่เหล็กเสริม เป็นต้น ซึ่งค่าผลลัพธ์ที่ได้ จะถูกนำไปวิเคราะห์ตามที่จะได้กล่าวในบทต่อไป

4. class OptimizeColumn

คลาสนี้เป็นคลาสที่ใช้ในการออกแบบเสาอย่างเหมาะสมที่สุด โดยจะเริ่มต้นด้วยการกำหนดค่าตั้งต้นต่างๆ เช่น ความสูงเสา จำนวนรอบของเส้นทางสุ่มในการคำนวณ ค่าขนาดการลดปริมาณที่สนใจ ค่าราคาต่อหน่วยต่างๆ ค่าขอบเขตสูงสุดและต่ำสุดของตัวแปรสุ่มที่สนใจ เป็นต้น พร้อมทั้งสามารถกำหนดน้ำหนักบรรทุก (P_u) และขนาดของโมเมนต์ (M_u) ที่มากระทำที่หัวเสาออกไป เพื่อใช้ในการคำนวณหน้าตัดเสาที่เหมาะสมที่สุดได้ในขั้นตอนต่อไป

โดยคำตอบที่ได้จากการคำนวณออกแบบในคลาสนี้ จะให้ผลออกมาเป็นค่าราคาที่ดีที่สุดที่สามารถคำนวณได้ตามจำนวนรอบเส้นทางสุ่มที่กำหนด ค่าของตัวแปรที่สนใจต่างๆ เช่น ความ

กว้างเสา ความหนาเสา พื้นที่เหล็กเสริม เป็นต้น ซึ่งค่าผลลัพธ์ที่ได้ จะถูกนำไปวิเคราะห์ตามที่จะได้กล่าวในบทต่อไป

5. class OptimizeFrame

คลาสนี้เป็นคลาสที่ใช้ในการออกแบบโครงข้อแข็งอย่างเหมาะสมที่สุด โดยจะเริ่มต้นด้วยการกำหนดค่าตั้งต้นต่างๆ เช่น ความยาวคาน ความสูงเสา จำนวนชั้นของโครงข้อแข็ง จำนวนรอบของเส้นทางลุ่มในการคำนวณ ค่าขนาดการลดปริมาณที่สนใจ ค่าราคาต่อหน่วยต่างๆ ค่าขอบเขตสูงสุดและต่ำสุดของตัวแปรลุ่มที่สนใจ เป็นต้น พร้อมทั้งสามารถกำหนดน้ำหนักบรรทุกลงบนคานได้ ซึ่งโปรแกรมจะทำการคำนวณแรงภายในของโครงสร้าง พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับความสามารถในการต้านทานต่างๆของแต่ละชิ้นส่วน ว่าชิ้นส่วนมีความสามารถในการต้านทานมากกว่าค่าแรงภายในที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างหรือไม่

โดยคำตอบที่ได้จากการคำนวณออกแบบในคลาสนี้ จะให้ผลออกมาเป็นค่าราคาที่ต่ำที่สุดที่สามารถคำนวณได้ตามจำนวนรอบเส้นทางลุ่มที่กำหนด ค่าของตัวแปรที่สนใจต่างๆ เช่น ความกว้างของคานและเสา ความหนาของคานและเสา พื้นที่เหล็กเสริมของคานและเสา เป็นต้น ซึ่งค่าผลลัพธ์ที่ได้ จะถูกนำไปวิเคราะห์ตามที่จะได้กล่าวในบทต่อไป

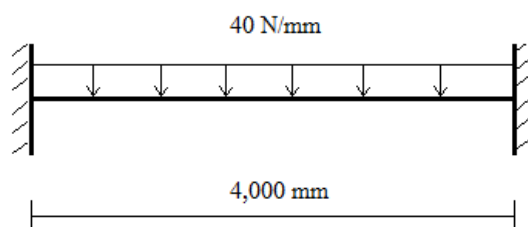
บทที่ 4

ตัวอย่างการออกแบบ

ในบทนี้จะแสดงตัวอย่างจากการคำนวณออกแบบ โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหมาะสมที่สุด โดยตัวอย่างของกรณีศึกษาจะเริ่มจากคาน เสา และ โครงข้อแข็ง และกรณีศึกษาของงานวิจัยนี้ จะใช้ค่าราคาต่อหน่วยดังนี้ ราคาต่อหน่วยของคอนกรีตเท่ากับ 1,400 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ราคาต่อหน่วยของเหล็กเสริมเท่ากับ 20 บาทต่อกิโลกรัม ราคาต่อหน่วยของพื้นที่แบบหล่อเท่ากับ 150 บาทต่อตารางเมตร และค่าคุณสมบัติต่างๆดังนี้ $f'_c = 28$ MPa โดยที่ทุกตัวอย่างจะมีค่าระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมเท่ากันคือ 65 mm

4.1 คาน

คานคอนกรีตเสริมเหล็กมีความยาว 4,000 mm จุติรองรับทั้งสองข้างเป็นแบบยึดแน่น รับน้ำหนักบรรทุกจร 40 N/mm $f_{yt} = 240$ MPa $A_v = 56.6$ mm² และ $f_y = 420$ MPa

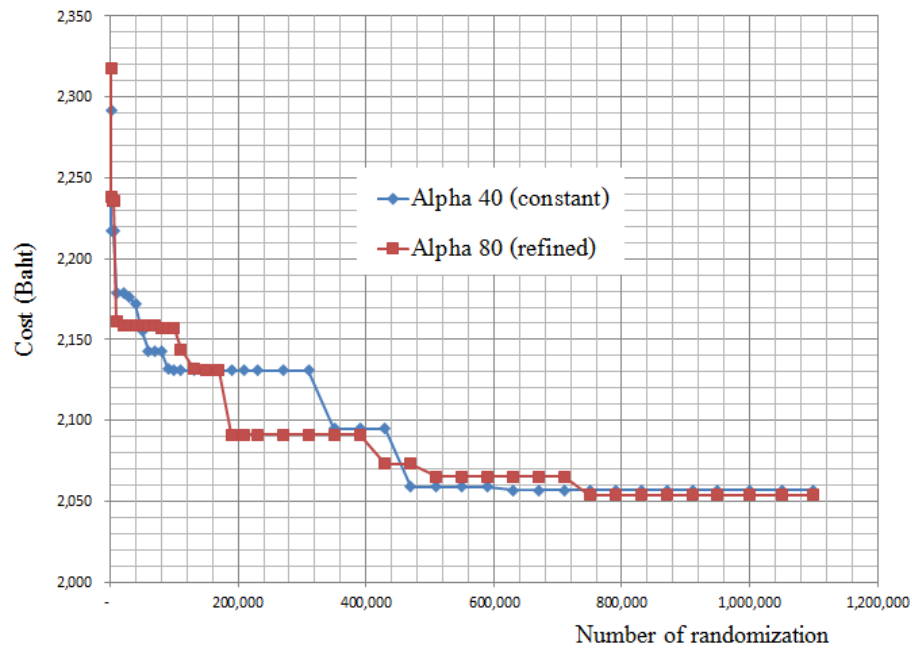


รูปที่ 4.1 รูปแบบคาน

กำหนดขอบเขตความกว้าง (b) อยู่ในช่วง [150, 500] mm และความลึก (t) อยู่ในช่วง [200, 500] mm ขอบเขตพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมล่าง ($A_{s, \text{bottom}}$) อยู่ในช่วง [226, 4000] mm² พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมบนซ้าย ($A_{s, \text{top, I}}$) อยู่ในช่วง [226, 4000] mm² พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมบนกลาง ($A_{s, \text{top, M}}$) อยู่ในช่วง $[226, 0.5 \times (A_{s, \text{top, I}} + A_{s, \text{top, J}})]$ mm² พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมบนขวา ($A_{s, \text{top, J}}$) อยู่ในช่วง [226, 4000] mm² ผลของราคาและจำนวนรอบการสู่วิ่งที่ได้จากโปรแกรม แสดงดังตารางที่ 4.1 ซึ่งสามารถนำมาพล็อตเป็นกราฟได้ ดังกราฟรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างราคากับจำนวนรอบการสุ่มของหน้าตัดคาน

Frame	alpha = 40 (-- not adjust --)	alpha = 80 (-- adjust 4 times --)
NO. of randomization	Cost (Baht)	Cost (Baht)
1,000	2292	2318
2,000	2217	2238
4,000	2217	2236
6,000	2217	2236
10,000	2179	2161
20,000	2179	2159
30,000	2176	2159
40,000	2172	2159
50,000	2155	2159
60,000	2143	2159
70,000	2143	2159
80,000	2143	2157
90,000	2132	2157
100,000	2131	2157
110,000	2131	2144
130,000	2131	2132
150,000	2131	2131
170,000	2131	2131
190,000	2131	2091
210,000	2131	2091
230,000	2131	2091
270,000	2131	2091
310,000	2131	2091
350,000	2095	2091
390,000	2095	2091
430,000	2095	2073
470,000	2059	2073
510,000	2059	2065
550,000	2059	2065
590,000	2059	2065
630,000	2057	2065
670,000	2057	2065
710,000	2057	2065
750,000	2057	2054
790,000	2057	2054
830,000	2057	2054
870,000	2057	2054
910,000	2057	2054
950,000	2057	2054
1,000,000	2057	2054
1,050,000	2057	2054
1,100,000	2057	2054
1,150,000	2057	2054
1,200,000	2057	2054



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคากับจำนวนรอบการสุ่มของหน้าตัดคาน

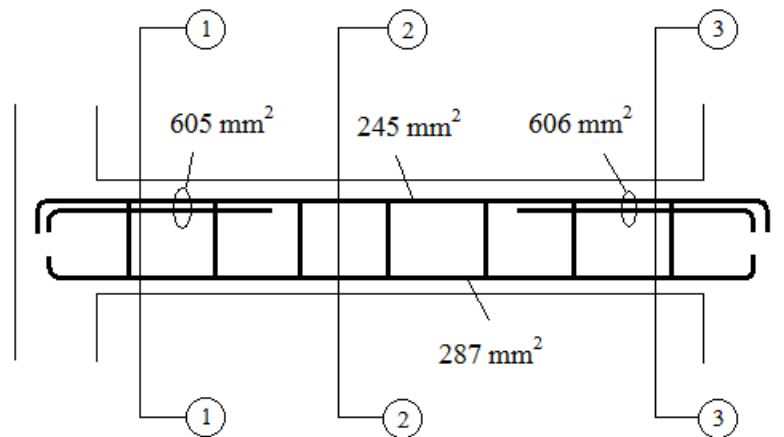
สำหรับคานตัวอย่างนี้ จะทำการสุ่มค่าตัวแปร ความกว้าง (b), ความลึก (t), พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมล่าง ($A_{s, \text{bottom}}$) พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมบนซ้าย ($A_{s, \text{top, l}}$) พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมบนกลาง ($A_{s, \text{top, M}}$) และพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมบนขวา ($A_{s, \text{top, r}}$) ส่วนเหล็กปลอกจะคำนวณหาค่าระยะห่าง (spacing) จากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับคาน และในการคำนวณเหล็กเสริมทั้งหมด ได้มีการพิจารณาถึงค่า $A_{s, \text{min}}$ แล้วด้วย

ในตัวอย่างนี้จะมีการสุ่มสองแบบ แบบที่หนึ่ง กำหนดค่า α เท่ากับ 40 และไม่มีการปรับลดค่า α แบบที่สองกำหนดค่า α เท่ากับ 80 และมีการปรับลดค่า α ลงครึ่งหนึ่งเป็นจำนวน 4 ครั้ง เมื่อจำนวนรอบของการสุ่มมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น จะพบว่าค่าราคาและขนาดของหน้าตัดมีการคู่เข้าหาค่าหนึ่ง เมื่อจำนวนรอบของการสุ่มเริ่มเข้าใกล้ 800,000 รอบ และเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับคานตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 4.2

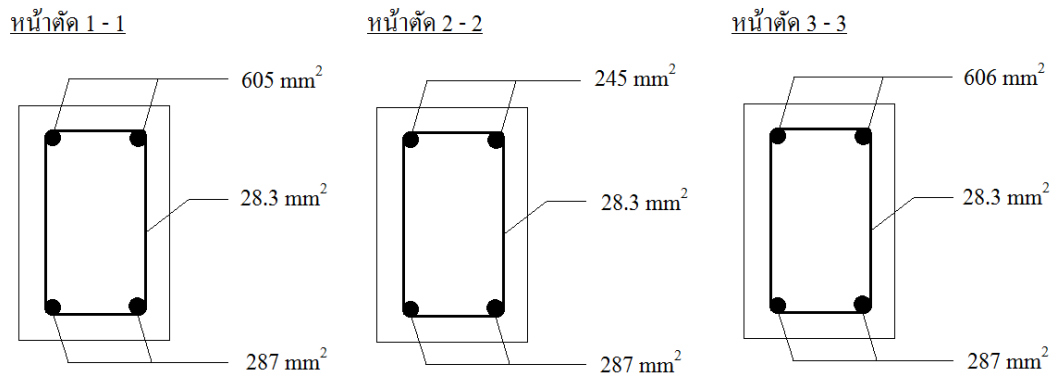
ตารางที่ 4.2 ตารางค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับคานตัวอย่าง

ค่าที่เหมาะสมที่สุด	$\alpha = 40$	$\alpha = 80$ (ลดลงครั้งหนึ่งจำนวน 4 ครั้ง)
ราคา (บาท)	2,057	2,054
ความกว้าง (mm)	155	154
ความลึก (mm)	492	491
พื้นที่เหล็กเสริมล่าง (mm^2)	284	287
พื้นที่เหล็กเสริมบนซ้าย (mm^2)	598	605
พื้นที่เหล็กเสริมบนกลาง (mm^2)	238	245
พื้นที่เหล็กเสริมบนขวา (mm^2)	616	606

จากตารางที่ 4.2 ผลการคำนวณในแบบที่สอง ($\alpha = 80$) จะสามารถสรุปเป็นภาพแสดงเหล็กเสริมตามยาว และหน้าตัดตามขวางของคานได้ ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ภาพแสดงเหล็กเสริมตามยาวของคาน



รูปที่ 4.4 หน้าตัดตามขวางของคาน

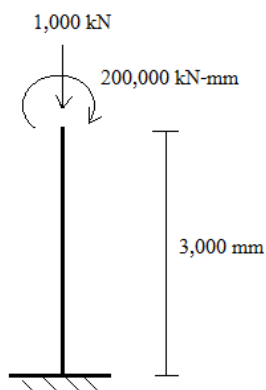
ผลการออกแบบคานอย่างเหมาะสมที่สุดในแบบที่สอง ($\alpha = 80$) และพฤติกรรมการรับแรงของหน้าตัดแสดงไว้ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการออกแบบคานและพฤติกรรมการรับแรง (กรณี $\alpha = 80$)

หน้าตัด	1 - 1	2 - 2	3 - 3
b (mm)	154		
t (mm)	491		
d (mm)	426		
A_s (mm ²)	605	287	606
A_s' (mm ²)	287	245	287
c (mm)	67.06	46.17	67.13
M_u (kN-mm)	-88,200	44,100	-88,200
ϕM_n (kN-mm)	-89,500	45,700	-89,700
ϵ_s	0.0161	0.0247	0.0160
ϵ_s'	0.0001	-0.0012	0.0001
ϵ_y	0.0020	0.0020	0.0020
ϕ	0.90	0.90	0.90

4.2 เสา

เสาคอนกรีตเสริมเหล็กมีความสูง 3,000 mm รับน้ำหนักประลัยในแนวแกน $P_u = 1,000$ kN และโมเมนต์ประลัย $M_u = 200,000$ kN-mm และ $f_y = 400$ MPa

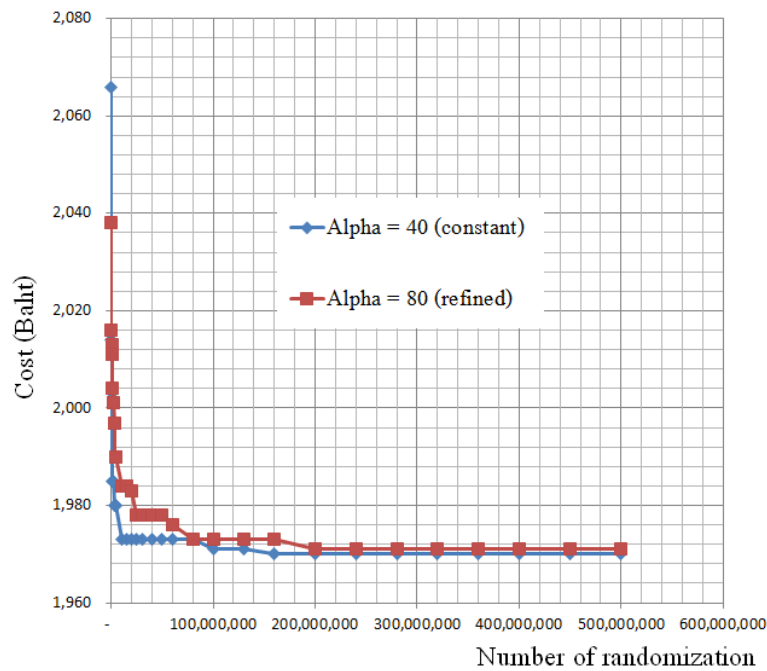


รูปที่ 4.5 รูปแบบเสา

กำหนดขอบเขตความกว้าง (b) อยู่ในช่วง [150, 500] mm และความลึก (t) อยู่ในช่วง [150, 500] mm ขอบเขตพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม (A_{st}) มีค่าเท่ากับร้อยละ 1 ถึง 8 ของพื้นที่หน้าตัดเสา โดยจะแบ่งออกเป็นพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึง (A_{st}) ครึ่งหนึ่ง และพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงอัด (A_{st}') ครึ่งหนึ่ง ผลของราคาและจำนวนรอบการสุมที่ได้จากโปรแกรมแสดงดังตารางที่ 4.4 ซึ่งสามารถนำมาพล็อตเป็นกราฟได้ ดังกราฟรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.4 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างราคากับจำนวนรอบการสุ่มของหน้าตัดเสา

Column	alpha = 40 (-- not adjust --)	alpha = 80 (-- adjust 4 times --)
NO. of randomization	Cost (Baht)	Cost (Baht)
100,000	2066	2038
200,000	2014	2016
400,000	2012	2013
600,000	2003	2011
1,000,000	1985	2004
2,000,000	1985	2001
3,000,000	1980	1997
4,000,000	1980	1990
5,000,000	1980	1990
10,000,000	1973	1984
15,000,000	1973	1984
20,000,000	1973	1983
25,000,000	1973	1978
30,000,000	1973	1978
40,000,000	1973	1978
50,000,000	1973	1978
60,000,000	1973	1976
80,000,000	1973	1973
100,000,000	1971	1973
130,000,000	1971	1973
160,000,000	1970	1973
200,000,000	1970	1971
240,000,000	1970	1971
280,000,000	1970	1971
320,000,000	1970	1971
360,000,000	1970	1971
400,000,000	1970	1971
450,000,000	1970	1971
500,000,000	1970	1971



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคากับจำนวนรอบการสุ่มของหน้าตัดเสา

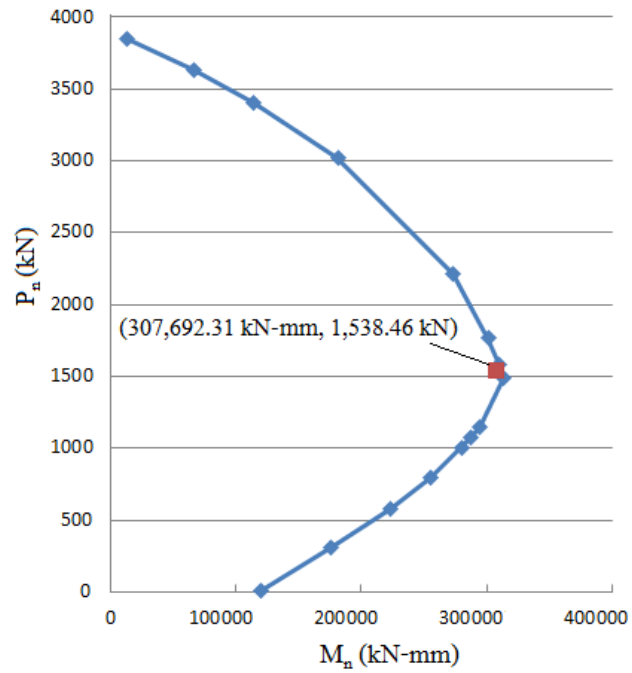
สำหรับเสาตัวอย่างนี้ จะทำการสุ่มค่าตัวแปร ความกว้าง (b), ความลึก (t), พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมโดยรวม (A_s) โดยให้พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึง (A_s) และพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงอัด (A_s') มีค่าเท่ากันและมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของเหล็กเสริมโดยรวม

ในตัวอย่างนี้จะมีการสุ่มสองแบบ แบบที่หนึ่ง กำหนดค่า α เท่ากับ 40 และไม่มีการปรับลดค่า α แบบที่สองกำหนดค่า α เท่ากับ 80 และมีการปรับลดค่า α ลงครึ่งหนึ่งเป็นจำนวน 4 ครั้ง เมื่อจำนวนรอบของการสุ่มมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น จะพบว่าค่าราคาและขนาดของหน้าตัดมีการคู่เข้าหาค่าหนึ่ง เมื่อจำนวนรอบของการสุ่มเริ่มเข้าใกล้ 250,000,000 รอบ และเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเสาตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ตารางค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเสาตัวอย่าง

ค่าที่เหมาะสมที่สุด	$\alpha = 40$	$\alpha = 80$ (ลดลงครึ่งหนึ่งจำนวน 4 ครั้ง)
ราคา (บาท)	1,970	1,971
ความกว้าง (mm)	283	284
ความลึก (mm)	499	499
พื้นที่เหล็กเสริมรวม (mm^2)	1,422	1,423

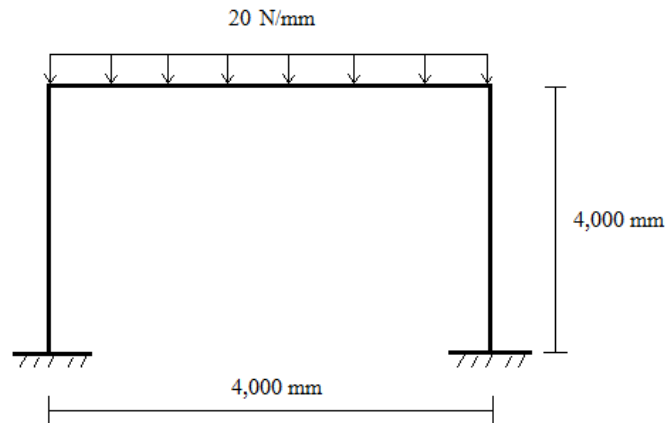
ผลการออกแบบเสาอย่างเหมาะสมที่สุด จะสามารถพล็อตจุด $(\frac{M_u}{\phi}, \frac{P_u}{\phi}) = (307,692.31 \text{ kN-mm}, 1,538.46 \text{ kN})$ ลงบนไดอะแกรมปฏิสัมพันธ์ของเสาที่เหมาะสมที่สุดได้ ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ไดอะแกรมปฏิสัมพันธ์ของเสา

4.3 โครงข้อแข็งพอร์ทัล

โครงข้อแข็งพอร์ทัลคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่มีคาน 1 คาน และเสา 2 เสา คานมีความยาว 4,000 mm เสามีความสูง 4,000 mm $f_{yt} = 240$ MPa $A_v = 56.6$ mm² $f_y = 400$ MPa รับน้ำหนักบรรทุกจร 20 N/mm และน้ำหนักบรรทุกคงที่ 9.6 N/mm จากแผ่นพื้น (ยังไม่รวมน้ำหนักคาน)

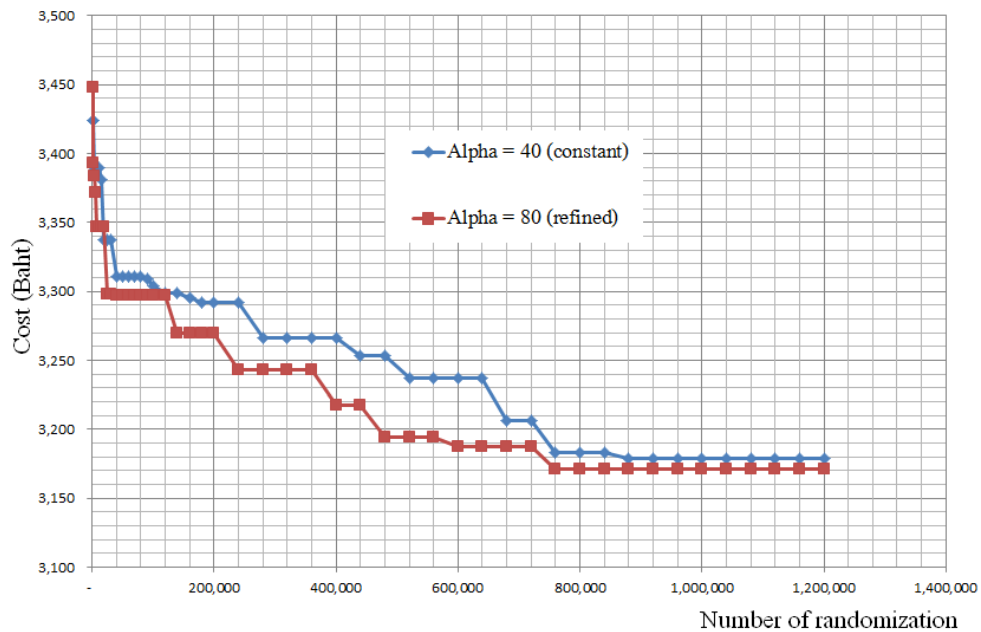


รูปที่ 4.8 รูปแบบโครงข้อแข็งพอร์ทัล

กำหนดขอบเขตความกว้างคานในช่วง [150, 500] mm ความลึกคานในช่วง [200, 500] mm และความกว้างเสาในช่วง [150, 500] mm ความลึกเสาในช่วง [150, 500] mm ขอบเขตพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมล่างของคาน ($A_{s, \text{bottom}}$) อยู่ในช่วง [226, 4000] mm² พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมบนซ้ายของคาน ($A_{s, \text{top, L}}$) อยู่ในช่วง [226, 4000] mm² พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมบนกลางของคาน ($A_{s, \text{top, M}}$) อยู่ในช่วง [226, 0.5 x ($A_{s, \text{top, L}}$ + $A_{s, \text{top, R}}$)] mm² พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมบนขวาของคาน ($A_{s, \text{top, R}}$) อยู่ในช่วง [226, 4000] mm² ขอบเขตพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมของเสา ($A_{s, \text{st, column}}$) อยู่ในช่วง ร้อยละ 1 ถึง 8 ของพื้นที่หน้าตัด โดยจะแบ่งออกเป็นพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึง (A_s) ครั้งหนึ่ง และพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงอัด (A_s') ครั้งหนึ่ง ผลของราคาและจำนวนรอบการสูมที่ได้จากโปรแกรมแสดงดังตารางที่ 4.6 ซึ่งสามารถนำมาพล็อตเป็นกราฟได้ ดังกราฟรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.6 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างราคากับจำนวนรอบการสุ่มของหน้าตัดชิ้นส่วน โครงข้อแฉิ่ง

Portal frame	alpha = 40 (-- not adjust --)	alpha = 80 (-- adjust 4 times --)
NO. of randomization	Cost (Baht)	Cost (Baht)
1,000	8687	10046
2,000	8687	8426
4,000	7963	8426
6,000	7721	8426
10,000	7500	8426
20,000	7500	8024
30,000	7500	7600
40,000	7500	7600
50,000	7500	7418
100,000	7468	7418
200,000	6389	7167
300,000	6389	6731
400,000	6389	6731
500,000	6389	6731
600,000	6389	6731
700,000	6282	6650
800,000	5877	6014
900,000	5877	5925
1,000,000	5877	5925
1,100,000	5877	5925
1,300,000	5745	5452
1,500,000	5745	5452
1,700,000	5745	5232
1,900,000	5173	5232
2,100,000	5173	5232
2,300,000	5173	5232
2,500,000	5173	5160
2,700,000	5173	5160
2,900,000	5173	5160
3,200,000	5173	5160
3,500,000	5173	5160



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคากับจำนวนรอบการสุ่มหน้าตัดชิ้นส่วนโครงข้อแข็ง

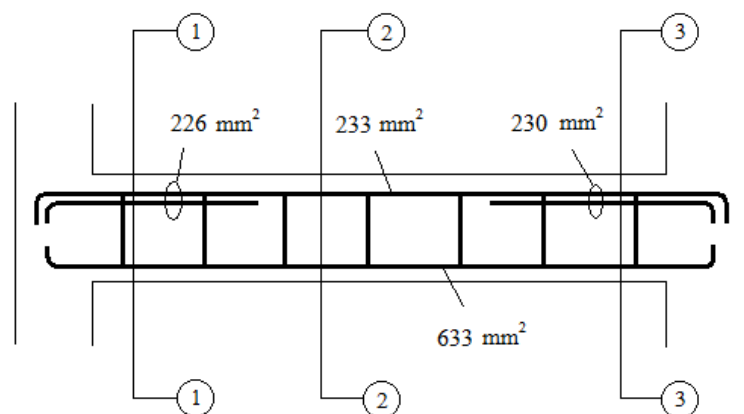
สำหรับโครงข้อแข็งตัวอย่างนี้ จะทำการสุ่มค่าตัวแปร ความกว้าง (b) ความลึก (t) พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมล่างของคาน ($A_{s, \text{bottom}}$) พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมบนซ้าย ($A_{s, \text{top, l}}$) พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมบนกลาง ($A_{s, \text{top, M}}$) พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมบนขวา ($A_{s, \text{top, r}}$) และพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมโดยรวมของเสา (A_{st}) โดยให้พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึง (A_s) และพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงอัด (A_s) มีค่าเท่ากันและมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของเหล็กเสริมโดยรวม ส่วนเหล็กปลอกสำหรับคานจะคำนวณหาค่าระยะห่าง (spacing) จากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับคาน และในการคำนวณเหล็กเสริมทั้งหมด ได้มีการพิจารณาถึงค่า $A_{s, \text{min}}$ แล้วด้วย

ในตัวอย่างนี้จะมีการสุ่มสองแบบ แบบที่หนึ่ง กำหนดค่า α เท่ากับ 40 และไม่มีการปรับลดค่า α แบบที่สองกำหนดค่า α เท่ากับ 80 และมีการปรับลดค่า α ลงครึ่งหนึ่งเป็นจำนวน 4 ครั้ง เมื่อจำนวนรอบของการสุ่มมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น จะพบว่าค่าราคาและขนาดของหน้าตัดมีการถ่วงน้ำหนักเข้าหาค่าหนึ่ง เมื่อจำนวนรอบของการสุ่มเริ่มเข้าใกล้ 1,000,000 รอบ และเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงข้อแข็งตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 4.7

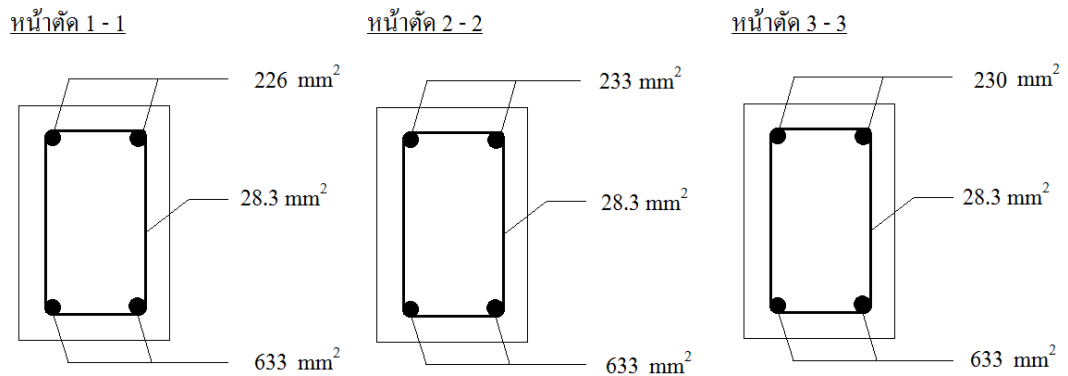
ตารางที่ 4.7 ตารางค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงข้อแข็งตัวอย่าง

ค่าที่เหมาะสมที่สุด	$\alpha = 40$	$\alpha = 80$ (ลดลงครึ่งหนึ่งจำนวน 4 ครั้ง)
ราคา (บาท)	3,179	3,171
ความกว้างคาน (mm)	153	152
ความลึกคาน (mm)	477	486
พื้นที่เหล็กเสริมล่าง (mm^2)	648	633
พื้นที่เหล็กเสริมบนซ้าย (mm^2)	231	226
พื้นที่เหล็กเสริมบนกลาง (mm^2)	258	233
พื้นที่เหล็กเสริมบนขวา (mm^2)	228	230
ความกว้างเสา (mm)	150	152
ความลึกเสา (mm)	155	152
พื้นที่เหล็กเสริมรวม (mm^2)	234	237

สำหรับคาน จากตารางที่ 4.7 ผลการคำนวณในแบบที่สอง ($\alpha = 80$) จะสามารถสรุปเป็นภาพแสดงเหล็กเสริมตามยาวของคาน และหน้าตัดตามขวางของคานได้ ดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 ภาพแสดงเหล็กเสริมตามยาวของคานใน โครงข้อแข็ง



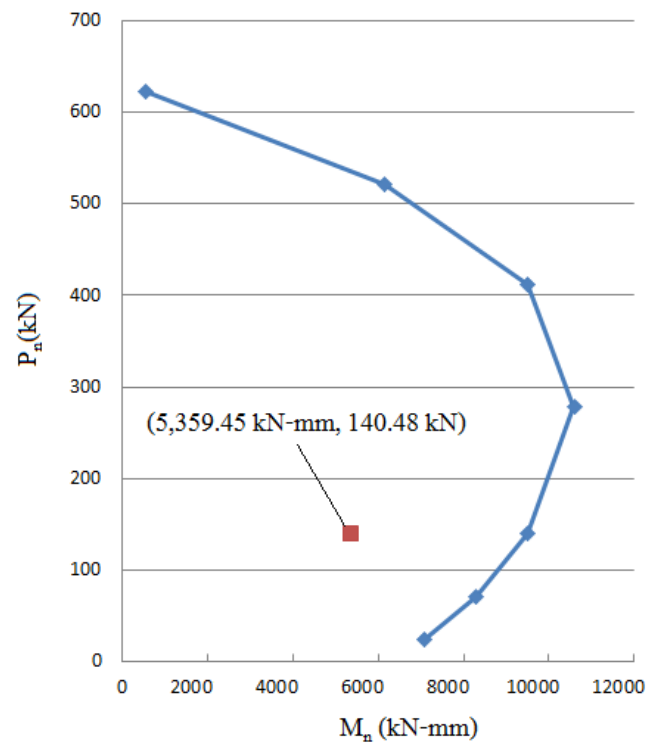
รูปที่ 4.11 หน้าตัดตามขวางของคานในโครงข้อแข็ง

ผลการออกแบบคานอย่างเหมาะสมที่สุด ในแบบที่สอง ($\alpha = 80$) และพฤติกรรมรับแรงของหน้าตัดแสดงไว้ ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการออกแบบและพฤติกรรมรับแรงของคานในโครงข้อแข็ง (กรณี $\alpha = 80$)

หน้าตัด	1 - 1	2 - 2	3 - 3
b (mm)	152		
t (mm)	486		
d (mm)	421		
A_s (mm ²)	226	633	230
A_s' (mm ²)	633	233	633
c (mm)	54.12	75.71	54.26
M_u (kN-mm)	-3,484	87,822	-3,484
ϕM_n (kN-mm)	-35,311	88,013	-35,807
ϵ_s	0.0203	0.0137	0.0203
ϵ_s'	-0.0006	0.0004	-0.0006
ϵ_y	0.0020	0.0020	0.0020
ϕ	0.90	0.90	0.90

สำหรับเสา ผลการออกแบบเสาอย่างเหมาะสมที่สุด จะสามารถพลี้อัตจุด ($\frac{M_u}{\phi}, \frac{P_u}{\phi}$) = (5,359.45 kN-mm, 140.48 kN) ลงบนไดอะแกรมปฏิสัมพันธ์ของเสาในโครงข้อแข็งที่เหมาะสมที่สุดได้ ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ไดอะแกรมปฏิสัมพันธ์ของเสานในโครงข้อแข็ง

บทที่ 5

สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางการออกแบบโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยใช้วิธีวิวิริสติคแบบผสม (hybrid algorithm) โดยทำการสุ่มตัวแปรและทำการเกรเดียนเพื่อลดขนาดของปริมาณที่สนใจ โดยมีราคาค่าก่อสร้างของชิ้นส่วนโครงสร้างเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ทั้งนี้ จะต้องตรวจสอบฟังก์ชันข้อจำกัดว่าโครงสร้างสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามมาตรฐาน ACI 318M-08 โดยการคำนวณออกแบบจะใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นด้วยภาษาจาวา

จากกรณีศึกษาการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดจากบทก่อนหน้านี้ จากที่ต้องมีค่าระยะก้ำวแตกต่างกัน 2 ค่า ทำเพื่อต้องการศึกษาถึงความละเอียดในการลู่เข้าสู่ค่าที่เหมาะสมที่สุด และเปรียบเทียบจำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งจากผลที่ได้พบว่า ความละเอียดของการลู่เข้าสู่ค่าที่เหมาะสมที่สุด มีความละเอียดของผลด้านค่าราคาที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยการใช้ค่าระยะก้ำวในแบบที่สอง ให้ราคาต่ำกว่าเล็กน้อย และเมื่อเปรียบเทียบจำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณแล้ว พบว่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยจะได้ผลการคำนวณออกแบบดังนี้

1. กานคอนกรีตเสริมเหล็ก ให้ราคาสำหรับระยะก้ำวแบบที่หนึ่งเท่ากับ 2,057 บาท และราคาสำหรับระยะก้ำวแบบที่สองเท่ากับ 2,054 บาท จำนวนรอบที่ใช้ในการลู่เท่ากับ 1,200,000 รอบ ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่าค่าของราคาในช่วงที่มีจำนวนรอบในการลู่ 200,000 รอบแรกยังมีความผันผวนค่อนข้างมาก และหลังจากนั้นค่าราคาก็จะค่อยๆลดลงมา จนราคาเริ่มนิ่งตั้งแต่ช่วงที่มีจำนวนรอบที่ใช้ในการลู่เท่ากับ 800,000 รอบ อาจกล่าวได้ว่า สำหรับการคำนวณออกแบบกานคอนกรีตเสริมเหล็กตามวิธีของงานวิจัยนี้ ควรมีจำนวนรอบที่ใช้ในการลู่อย่างน้อยอยู่ที่ 800,000 รอบ เพราะค่าราคาของการลู่จากการคำนวณของโปรแกรมไม่พบว่ามีค่าราคาที่ต่ำกว่านี้ และจากผลที่ได้จะสามารถสรุปได้ว่า โปรแกรมพยายามที่จะลดขนาดความหนา (b) ของกานให้เล็กที่สุดเพื่อลดน้ำหนักของกาน และพยายามเพิ่มความลึกของกาน (t) ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อเพิ่มระยะ d ซึ่งจะช่วยให้มีการเสริมเหล็กที่น้อยลง จุดประสงค์เพื่อประหยัดค่าราคาของกาน จะเห็นได้ว่าโปรแกรมพยายามที่จะทำการคำนวณเหล็กเสริม เพื่อให้เพียงพอต่อโมเมนต์ดัดที่มากกระทำต่อกานเท่านั้น จึงทำให้ได้ค่าปริมาณเหล็กเสริมที่เหมาะสมที่สุด

2. เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ให้ราคาสำหรับระยะก้ำวแบบที่หนึ่งเท่ากับ 1,970 บาท และราคาสำหรับระยะก้ำวแบบที่สองเท่ากับ 1,971 บาท จำนวนรอบที่ใช้ในการลู่เท่ากับ 500,000,000 รอบ ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่าค่าของราคาในช่วงที่มีจำนวนรอบในการลู่ 100,000,000 รอบแรกยังมี

ความผันผวนค่อนข้างมาก และหลังจากนั้นค่าราคาก็จะค่อยๆลดลงมา จนราคาเริ่มนิ่งตั้งแต่ช่วงที่มีจำนวนรอบที่ใช้ในการสุ่มเท่ากับ 250,000,000 รอบ อาจกล่าวได้ว่า สำหรับการคำนวณออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กตามวิธีของงานวิจัยนี้ ควรมีจำนวนรอบที่ใช้ในการสุ่มอย่างน้อยอยู่ที่ 250,000,000 รอบ เพราะค่าราคาของการสุ่มจากการคำนวณของโปรแกรมไม่พบว่ามีค่าราคาที่ต่ำกว่านี้ และจากผลที่ได้จะสามารถสรุปได้ว่า โปรแกรมจะลดขนาดความหนา (b) ของเสาให้เล็กลงแค่เพียงพอต่อการรับน้ำหนักในแนวแกนเพื่อลดขนาดหน้าตัดของเสา และพยายามเพิ่มความลึกของคาน (t) ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อเพิ่มระยะ d ซึ่งจะช่วยให้มีการเสริมเหล็กที่น้อยลงจุดประสงค์เพื่อประหยัดค่าราคาของเสา

3. โครงข้อแข็งพอร์ทัลคอนกรีตเสริมเหล็ก ให้ราคาสำหรับระยะก้าวแบบที่หนึ่งเท่ากับ 3,179 บาท และราคาสำหรับระยะก้าวแบบที่สองเท่ากับ 3,171 บาท จำนวนรอบที่ใช้ในการสุ่มเท่ากับ 1,200,000 รอบ ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่าค่าของราคาในช่วงที่มีจำนวนรอบในการสุ่ม 200,000 รอบแรกยังมีความผันผวนค่อนข้างมาก และหลังจากนั้นค่าราคาก็จะค่อยๆลดลงมา จนราคาเริ่มนิ่งตั้งแต่ช่วงที่มีจำนวนรอบที่ใช้ในการสุ่มเท่ากับ 1,000,000 รอบ อาจกล่าวได้ว่า สำหรับการคำนวณออกแบบโครงข้อแข็งพอร์ทัลคอนกรีตเสริมเหล็ก ตามวิธีของงานวิจัยนี้ ควรมีจำนวนรอบที่ใช้ในการสุ่มอย่างน้อยอยู่ที่ 1,000,000 รอบ เพราะค่าราคาของการสุ่มจากการคำนวณของโปรแกรมไม่พบว่ามีค่าราคาที่ต่ำกว่านี้ และจากผลที่ได้จะสามารถสรุปได้ว่า โปรแกรมพยายามที่จะลดขนาดความหนา (b) และความลึก (t) ของเสา ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อเพียงพอแค่สามารถรับแรงในแนวแกนได้ และเมื่อหน้าตัดเสามีขนาดเล็ก จึงทำให้โมเมนต์ที่หัวเสามีค่าน้อย ค่าโมเมนต์ที่คานต้องแบกรับจึงไปตกอยู่ที่กึ่งกลางคานเสียส่วนใหญ่ ทำให้คานมีการเสริมเหล็กล่างปริมาณมาก

งานวิจัยนี้สามารถใช้ได้กับปัญหาที่มีจุดต่ำสุดหลายจุดได้ เพราะมีการสุ่มจุดเริ่มต้นตามทฤษฎีที่มีการกระจายตัวสม่ำเสมอในช่วงขอบเขตที่กำหนด และวิธีตามงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบโดยพิจารณาค่าตัวแปรแบบต่อเนื่อง (continuous variables) คือเป็นการพิจารณาถึงค่าปริมาณที่แท้จริงของขนาดชิ้นส่วนที่ได้ทำการคำนวณออกแบบ ซึ่งค่าที่ได้อาจยังนำไปใช้เลยไม่ได้ ต้องมีการปิดเลขตัวเลขเพื่อให้เข้ากับการทำงานจริงเสียก่อน

ประสิทธิภาพสำหรับงานวิจัยนี้ ยังไม่ค่อยเป็นที่น่าพอใจเท่าไรนัก เนื่องจากการสุ่มของงานวิจัยนี้เป็นการสุ่มแบบปุปพรอม (Monte Carlo) และการสุ่มในแต่ละครั้ง จะเป็นการสุ่มจุดเริ่มต้นใหม่ทุกครั้งในทุกๆเส้นทางคำนวณเสมอ ไม่มีการนำค่าที่คำนวณไปแล้วก่อนหน้านี้นี้ที่มาใช้ เพื่อช่วยในการพิจารณาต่อการคำนวณในรอบถัดๆไป ซึ่งจะช่วยให้สิ้นเปลืองเวลาในการคำนวณที่ไม่เกิดผลดีต่อการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

รายการอ้างอิง

- ACI Committee 318. 2008. Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318M-08) and Commentary.
- Perea, C., Alcalá, J., Yepes, V., Vidoso, F. G., and Hospitaler, A. (2007). Design of reinforced concrete bridge frames by heuristic optimization. School of Civil Engineering, Construction Engineering Department, Technical University of Valencia, Campus de Vera, 46022 Valencia, Spain.
- Dorigo, M., et al. 2004. Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence.
- Chong, E. K. P., and Zak, S. H. 2008. An introduction to Optimization. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Matinez, F. J., Vidoso, F. G., Hospitaler, A., and Yepes, V. 2009. Heuristic optimization of RC bridge piers with rectangular hollow sections. Construction Engineering Department, Campus de Vera, 46022 Valencia, Spain.
- Li, L. J., Huang, Z. B., and Liu, F. 2009. A heuristic particle swarm optimization method for truss structures with discrete variables. Faculty of Construction Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China.
- Smittakorn, W. 2551. JSM as a Toolbox for Structural Analysis and Design Applications. Department of Civil Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand.
- Pei, Y., and Xia, Y. 2012. Design of Reinforced Cantilever Retaining Walls using Heuristic Optimization Algorithms School of Civil and Engineering. Wuhan University of Technology, Wuhan, 430070, China.

ภาษาไทย

- ภัทรินทร์ เอี่ยมเชี่ยม. 2545. การคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับพื้นคอนกรีตไร้คานอัดแรงภายหลังชนิดมีแป้นรองรับหัวเสาด้วยวิธีซิมเพล็กซ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- วรรณถ แซ่มสุวรรณ. 2548. การคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับโครงถักเหล็กในระนาบโดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุนิสสา ทองศรี. 2553. การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับโครงสร้างเหล็กในระนาบโดยวิธีอิวิริสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อดิษฐ์ ธีรานุพัฒนา. 2542. การคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับพื้นคอนกรีตไร้คานอัดแรงภายหลังด้วยวิธีซิมเพล็กซ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วินิต ช่อวิเชียร และ วรนิติ ช่อวิเชียร. 2550. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลัง. กรุงเทพฯ.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนพรุจ ประภาเกียรติ เกิดเมื่อวันที่ 4 กรกฎาคม พ.ศ. 2532 ที่จังหวัดพิษณุโลก สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554 และเข้ารับการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2555





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY