

## การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับโครงถักเหล็กในระนาบโดยวิธีฮิวริสติก

## Optimum Design of Plane Steel Truss using Heuristic Method

สุนิสสา ทองศรี<sup>1</sup> และทักษิณ เทพชาตรี<sup>2</sup>Sunissa Thongsri<sup>1</sup> and Thaksin Thepchatr<sup>2</sup><sup>1,2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยE-mail : bee\_ce@hotmail.com<sup>1</sup> thaksin.t@chula.ac.th<sup>2</sup>

โทร 02-218-6460

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาและพัฒนารูปแบบการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด สำหรับโครงถักเหล็กในระนาบที่มีพฤติกรรมเชิงเส้นด้วยวิธีฮิวริสติก โดยคำนึงถึงผลของการโก่งเดาะเฉพาะที่และอัตราส่วนความชะลูด การออกแบบองค์อาคารเหล็ก มีทั้งวิธีกำลังที่ยอมให้ (Allowable Strength Design, ASD) และวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (Load and Resistance Factor Design, LRFD) ตามมาตรฐาน AISC 2010 [1] วัตถุประสงค์ในการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด เพื่อหาปริมาตรรวมขององค์อาคารทั้งโครงสร้างที่น้อยที่สุดและยังสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ได้อย่างปลอดภัย จากตัวอย่างที่ได้ทำการศึกษาพบว่า การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีฮิวริสติก สามารถลดปริมาตรของโครงสร้างได้ประมาณ 2.58 % เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม ที่ได้เคยศึกษามาในอดีต [7]

## Abstract

The paper presents the development of an optimum design of linear plane steel trusses using heuristic method. Overall buckling as well as local buckling of members is considered. The design criteria followed the AISC 2010 specifications [1] using both the Allowable Strength Design (ASD) and the Load and Resistance Design (LRFD) method. The proposed algorithm will select a possible minimum volume of the given plane truss and at the same time can safely carry all given loads. From the selected truss used in this study, it has

been shown that the method can reduced the truss volume by about 2.58 percent when compare to the results obtained from the optimum design using genetic algorithm studied in the past [7]

**Keywords:** Optimum Design, Heuristic Method, Genetic Algorithm

## 1. บทนำ

ปัจจุบันงานก่อสร้างอาคารโดยใช้เหล็กเป็นชิ้นส่วนองค์อาคารหลักมีจำนวนมากขึ้น เนื่องจากสามารถทำการก่อสร้างได้รวดเร็ว และมีผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมน้อย แต่เนื่องจากเหล็กมีราคาแพง และวิธีการออกแบบที่ค่อนข้างยุ่งยาก ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาการออกแบบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยให้การออกแบบทำได้เร็ว อีกทั้งได้โครงสร้างเหล็กที่แข็งแรง ปลอดภัยและประหยัด

ในการออกแบบโดยทั่วไป จะทำการสุ่มเลือกขนาดหน้าตัดของแต่ละองค์อาคารออกมาก่อน แล้วทำการวิเคราะห์โครงสร้างทั้งหมด จากนั้นจึงทำการตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของแต่ละองค์อาคาร ในการปรับเปลี่ยนขนาดหน้าตัดของแต่ละองค์อาคารจะใช้วิธีลองผิดลองถูก จนกว่าจะได้ขนาดหน้าตัดของแต่ละองค์อาคารที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกที่มากที่สุดได้ แต่ขนาดหน้าตัดที่ได้ อาจจะไม่ใช่ขนาดหน้าตัดที่น้อยที่สุด นอกจากนี้ ในการคำนวณออกแบบยังใช้เวลานานกว่าจะได้คำตอบ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของโครงสร้าง ดังนั้นเพื่อต้องการ การออกแบบให้ตรงตามจุดประสงค์ จึงได้มีการนำแนวคิดของ

การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดมาใช้ในการออกแบบโครงสร้างเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด

ในการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน [2,3,4,7,8] ซึ่งแนวคิดของการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด คือ หาจุดต่ำสุดจากสมการลากรองจ์โดยวิธีเชิงตัวเลข ซึ่งการหาจุดต่ำสุดจากสมการลากรองจ์นั้นมีความซับซ้อน และจะทำให้ได้สมการที่หาคำตอบได้ยาก ทำให้มีการนำวิธีต่างๆมาใช้ในการออกแบบอย่างเหมาะสม เช่น วิธีงานสมมุติ วิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm) วิธีอัลกอริทึมการจำลองการอบเหนียว (simulated annealing algorithm) หลักการความหนาแน่นของพลังงาน ความเครียด (strain energy density) และอื่นๆ

งานวิจัยนี้จะนำเสนอการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด ด้วยวิธีฮิลคลimbing [5,10] โดยประยุกต์ใช้หลักการของฮิลคลimbing ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาข้อมูลที่มีลักษณะคล้ายกับการปีนเขา มีกระบวนการในการทำงานที่ไม่ซับซ้อน และสามารถหาคำตอบได้โดยง่าย

## 2.การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดโดยวิธีฮิลคลimbing

การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีฮิลคลimbing [5] นั้น เป็นขบวนการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด จากฐานข้อมูลที่มีจำนวนมาก การค้นหาแบบฮิลคลimbing คือการลดจำนวนตัวเลือกของคำตอบ ก่อนที่จะไปสู่คำตอบจริงเพื่อลดจำนวนทางเลือกของการค้นหา ซึ่งแตกต่างกับการค้นหาข้อมูลแบบธรรมดาที่จะต้องทำการตรวจสอบข้อมูลที่ละตัวทุกตัวจนครบ

การแก้ปัญหาแบบฮิลคลimbingที่มักจะถูกหยิบมาเป็นตัวอย่างในการอธิบาย คือ การเดินทางของพนักงานขาย (traveling salesman) ปัญหาคือ พนักงานขายต้องการเดินทางไปให้ได้ครบทุกเมือง และกลับมายังจุดเริ่มต้น โดยให้ได้ระยะทางโดยรวมสั้นที่สุด การแก้ปัญหาด้วยวิธีการปกติ ก็คือการหาเส้นทางเดินที่เป็นไปได้ทั้งหมดแล้วนำมาเปรียบเทียบกัน และเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุด และจากรูปที่ 1 จำนวนเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด เมื่อมีเมืองทั้งหมด 7 เมืองคือ  $(7-1)!/2 = 360$  แบบ แต่การทำเช่นนี้จะทำได้ก็ต่อเมื่อเมืองต่างๆ ที่จะต้องเดินทาง มีจำนวนน้อย หาก มีเมือง 100

เมือง จะมีเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด  $4.67 \times 10^{155}$  แบบ ซึ่งเป็นเรื่องยากที่จะหาเส้นทางทั้งหมดที่เป็นไปได้ แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน เพื่อหาคำตอบ



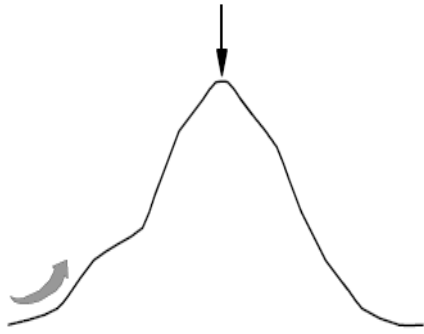
รูปที่ 1 ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

ดังนั้น ในการค้นหาแบบฮิลคลimbing มีเครื่องมือสำคัญที่ช่วยในการค้นหา คือ ฟังก์ชันฮิลคลimbingที่ทำหน้าที่ในการวัดขนาดของความเป็นไปได้ในการแก้ปัญหา เพื่อกำหนดทิศทางของกระบวนการค้นหาคำตอบ ให้อยู่ในทิศทางที่ได้ประโยชน์สูงสุด

### 2. 1 การค้นหาแบบฮิลคลimbing (Hill climbing)

เป็นวิธีการค้นหาข้อมูลที่มีลักษณะคล้ายกับการปีนเขา ตามรูปที่ 2 การที่นักปีนเขาจะเดินทางไปถึงยอดเขา นักปีนเขาจะต้องมองหาก่อนว่ายอดเขานั้นอยู่ตรงไหน แล้วจะต้องพยายามปีนขึ้นไปให้ถึงยอดเขาให้ได้ เพื่อที่จะเดินทางไปให้ถึงยอดเขาโดยเร็วที่สุด ดังนั้นจึงต้องสังเกตว่าทิศทางใดเมื่อปีนแล้วจะยิ่งใกล้ยอดเขา และหลีกเลี่ยงทิศทางที่เมื่อไป จะทำให้ตัวเองห่างจากยอดเขา และจะทำเช่นนี้เรื่อยๆ จนกระทั่งถึงยอดเขา

อย่างไรก็ดี อัลกอริทึมนี้จะมีประสิทธิภาพมากถ้าใช้ฟังก์ชัน ฮิลคลimbingที่ดีมากๆ อนึ่งในกรณีที่ฟังก์ชันฮิลคลimbingไม่ดีนัก อัลกอริทึมนี้ก็อาจหลงเส้นทางได้และอาจไม่พบคำตอบ แม้ว่าตัวอย่างที่กำลังค้นหาหาคำตอบอยู่ด้วยก็ตาม



รูปที่ 2 ลักษณะการค้นหาแบบ Hill climbing

**อัลกอริทึม**

หลักการงานของการค้นหาแบบฮิลโคลมิง คือ สร้างสถานะใหม่ขึ้นมา แล้วตรวจสอบว่าสถานะใหม่ดีกว่าสถานะปัจจุบันหรือไม่ ด้วยการอาศัยฮิวริสติกฟังก์ชัน ถ้าดีกว่าให้สถานะใหม่เป็นสถานะปัจจุบัน แล้วทำการตรวจสอบต่อไป ถ้าไม่ดีกว่าให้สร้างสถานะใหม่ขึ้นมา แล้วทำการตรวจสอบจนกว่าจะพบสถานะที่ดีกว่าสถานะปัจจุบัน เขียนเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1.สร้างสถานะเริ่มเป็นสถานะปัจจุบัน

2.ตรวจสอบสถานะปัจจุบันกับสถานะเป้าหมาย ถ้าสถานะปัจจุบันนี้คือสถานะเป้าหมาย ให้แสดงคำตอบและเลิกการทำงาน แต่ถ้าสถานะเริ่มต้นไม่ได้เป็นสถานะเป้าหมายให้ทำงานตามขั้นตอนถัดไป

3.ทำงานตามขั้นตอนด้านล่าง จนพบคำตอบ หรือจนกระทั่งไม่มีตัวดำเนินการใดๆ ที่จะใช้สร้างสถานะปัจจุบัน

3.1 เลือกตัวดำเนินการที่ยังไม่ได้ใช้สร้างสถานะปัจจุบัน เพื่อเป็นสถานะใหม่ขึ้นมา แล้วทำงานต่อในขั้นตอนถัดไป

3.2 ตรวจสอบสถานะใหม่

3.2.1 ถ้าเป็นคำตอบให้แสดงคำตอบและเลิกการทำงาน

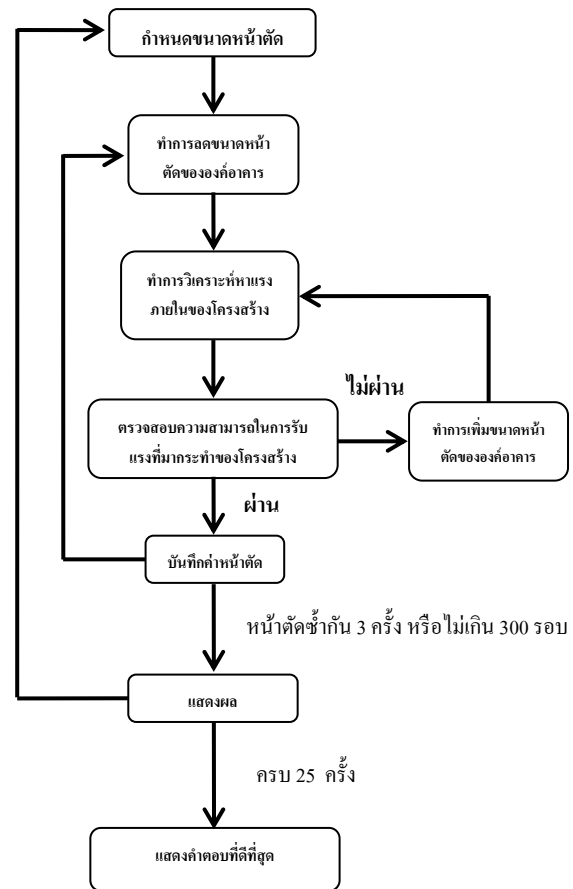
3.2.2 ถ้าไม่ใช่ แต่สถานะที่ได้ดีกว่าสถานะปัจจุบัน ให้สถานะนี้เป็นสถานะปัจจุบัน

3.2.3 ถ้าไม่ใช่ แต่สถานะที่ได้แย่กว่าสถานะปัจจุบัน ให้กลับไปทำงานตามขั้นตอน 3.1 ใหม่

4.ให้เลิกทำงานและรายการว่างงานค้นหาประสบความสำเร็จ ความล้มเหลว

**3.หลักการงานของโปรแกรมในการค้นหาคำตอบ**

ในการค้นหาคำตอบ โดยการนำวิธีฮิวริสติกมาประยุกต์ใช้ เพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดนั้น สามารถแสดงหลักการงานของโปรแกรม ได้ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

เมื่อกำหนดกลุ่มวัสดุให้กับชิ้นส่วนต่างๆ ในโครงสร้างแล้ว ในแต่ละรอบของการทำงาน จะเริ่มจากการกำหนดขนาดหน้าตัดเริ่มต้น โดยกำหนดให้หน้าตัดเริ่มต้นมีขนาดที่ใหญ่ที่สุดในแต่ละประเภทของหน้าตัด จากนั้นทำการลดขนาดของหน้าตัดวัสดุลงโดยการสุ่ม จะได้หน้าตัดออกมาหนึ่งชุด ทำการวิเคราะห์หาแรงภายในของแต่ละชิ้นส่วน และ

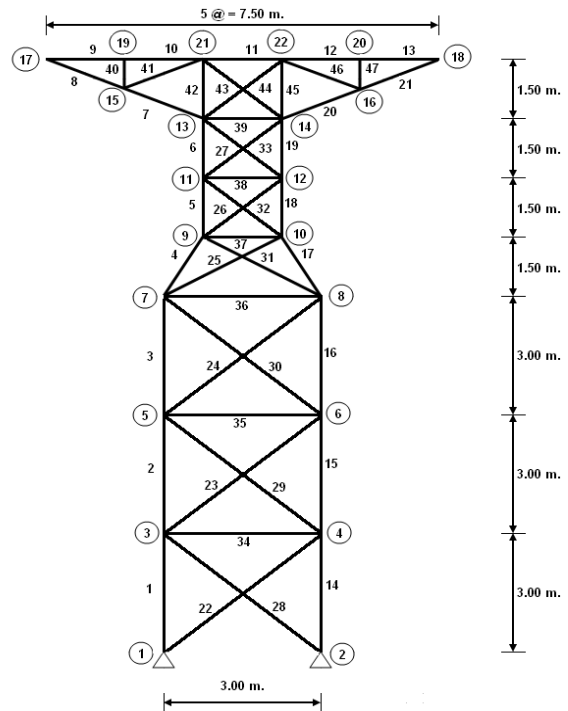
ทำการตรวจสอบความสามารถในการรับแรงของแต่ละชั้นส่วนนั้น โดยอ้างอิงข้อกำหนดตามมาตรฐาน AISC 2010 [9] หากโครงสร้างสามารถรับแรงที่กระทำได้ จะทำการบันทึกข้อมูลของขนาดหน้าตัดไว้ จากนั้นเริ่มทำการลดขนาดหน้าตัดของชั้นส่วนลงโดยการสุม จะได้ขนาดหน้าตัดชุดใหม่ตามด้วยการคำนวณตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น ในกรณีที่มิมีชั้นส่วนใดไม่สามารถรับแรงที่กระทำได้ จะทำการเพิ่มขนาดของหน้าตัดขึ้น 1 ขนาดแทน เมื่อผลลัพธ์ซึ่งเป็นปริมาตรของโครงสร้างมีค่าซ้ำกัน 3 ครั้ง หรือจากการค้นหาทั้งหมด 300 รอบ จึงจะถือว่าเป็นคำตอบของการทำงานในครั้งนั้น (ดูรูปที่ 5)

คำตอบที่ได้ในแต่ละครั้งตามวิธีการคำนวณดังกล่าวข้างต้น อาจจะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้นโปรแกรมจะทำงานต่อตามขั้นตอนข้างต้นใหม่จนครบ 25 ครั้ง และนำค่าที่น้อยที่สุดจากค่าทั้ง 25 ค่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุด [6] (ดูรูปที่ 6)

**4. ตัวอย่างการคำนวณและเปรียบเทียบผล**

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาโครงถักเสาไฟฟ้าแรงสูง มืองค์อาคารทั้งหมด 47 ชั้นส่วน ดังแสดงในรูปที่ 4 การเชื่อมต่อระหว่างชั้นส่วนทุกจุดเป็นแบบข้อหมุน มีฐานรองรับเป็นแบบที่รองรับชนิดหมุน โดยมีข้อมูลของการแบ่งกลุ่มของชั้นส่วนดังแสดงในตารางที่ 1 และข้อมูลของแรงกระทำกับโครงสร้างดังแสดงในตารางที่ 2

วรนาถ แซ่มสุวรรณ [7] ได้เคยทำการศึกษาโครงถักนี้โดยการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม



รูปที่ 4 โครงถักเสาไฟฟ้า

ตารางที่ 1 ข้อมูลแรงกระทำ (ตัน)

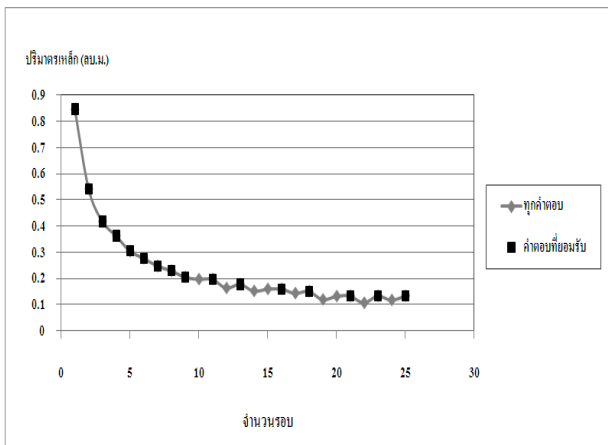
จุดต่อ	แรงในแนวราบ	แรงในแนวตั้ง
17	3	-7

ตารางที่ 2 ข้อมูลชั้นส่วน

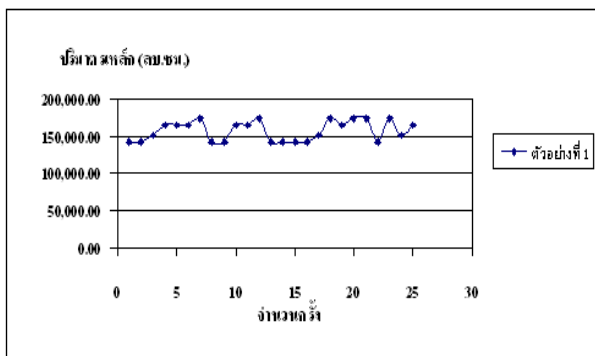
ชั้นส่วน	ชุดหน้าตัด
1, 2, 3, 14, 15, 16	1
4, 5, 6, 7, 8, 17, 18, 19, 20, 21	2
22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 41, 43, 44, 46	3
9, 10, 11, 12, 13, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 45, 47	4

**ตารางที่ 3** การเปรียบเทียบผลของขนาดหน้าตัดระหว่างงานวิจัยนี้กับงานวิจัยในอดีต [7] ตามข้อกำหนด AISC/ASD 2010

ชุดหน้าตัด	ขนาดหน้าตัด	
	งานวิจัยนี้	งานวิจัยในอดีต [7]
1	L125x75x7	L120x120x8
2	L125x75x10	L90x90x7
3	L100x75x7	L100x100x7
4	L75x75x6	L65x65x6
รวมปริมาตร (cm <sup>3</sup> )	133,013.36	136,530.71



**รูปที่ 5** ผลการคำนวณการเลือกขนาดหน้าตัดของวัสดุที่เหมาะสมในครั้งที่ 2 (มีค่าซ้ำกัน 3 ค่า)



**รูปที่ 6** ผลการคำนวณการเลือกขนาดหน้าตัดของวัสดุที่เหมาะสม (จำนวน 25 ครั้ง)

รูปที่ 5 แสดงค่าปริมาตรของโครงสร้างจากการคำนวณในครั้งที่ 2 จะพบว่ามีการคำนวณทั้งหมด 34 รอบ แต่มีเพียง 14 รอบที่หุคของหน้าตัดผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน AISC และคำตอบของรอบที่ 19 26 และ 34 ให้ค่าปริมาตรของโครงสร้างเท่ากัน ดังนั้นค่านี้จึงเป็นคำตอบของการคำนวณในครั้งที่ 2 นี้ นอกจากนี้จะพบว่าการคำนวณหาค่าตอบมีลักษณะการดูเข้าสู่คำตอบที่ดีขึ้นเรื่อยๆ

รูปที่ 6 แสดงค่าคำตอบที่ได้จากการคำนวณ 25 ครั้ง จะพบว่าคำตอบจากครั้งที่ 1 2 8 9 13 14 15 และ 16 มีค่าเท่ากันและเป็นค่าต่ำสุดดังนั้นจึงคำตอบสุดท้าย ในขณะที่คำตอบจากครั้งอื่นๆ ที่เหลือให้ค่าที่สูงกว่า ซึ่งถึงแม้ว่าคำตอบเหล่านี้จะเป็นค่าที่ให้ขนาดหน้าตัดเหล็กทั้งหมดผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน AISC แต่ก็ไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด

ผลลัพธ์ที่ได้จากการหาขนาดหน้าตัดที่เหมาะสมที่สุดได้แสดงในตารางที่ 3 จะพบว่าปริมาตรของหน้าตัดทั้งหมดของโครงสร้างที่หาด้วยวิธีวิวิธวิธีมีค่าน้อยกว่า เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลของงานวิจัยที่ผ่านมา [7]

### 5.สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาจากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่า วิธีวิวิธวิธีสามารถนำมาใช้ประยุกต์ในการออกแบบอย่างเหมาะสมสำหรับโครงหลักในระนาบได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากโครงสร้างตัวอย่างที่ศึกษาพบว่า วิธีวิวิธวิธีสามารถลดปริมาตรของโครงสร้างได้ประมาณ 2.58 % เมื่อเปรียบเทียบกับการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม [7] โดยขนาดของชิ้นส่วนโครงสร้างที่ได้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน AISC 2010

### เอกสารอ้างอิง

[1] AISC, “Specifications for Structural Steel Buildings”, Chicago, Illinois, American Institute of Steel Construction, June 2010.  
 [2] Fuat Erbatur, Oğuzhan Hasançebi, İlker Tütüncü, Hkan Kılıç, Optimal Design of Planar and Space Structures with

Genetic Algorithms, "Computer and Structures.", 75 (2000), pp. 209-224

[3] M.Kripaka, "Discrete Optimization of Truss by Simulated Annealing", Journal of the Brazilian Society of Mechanical Science and Engineering 26 (2004), pp. 170-173

[4] Noyan Turkkan, "Discrete Optimization of Structures Using a Floating Point Genetic Algorithm", Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering (2003), GCM-134-1 - GCM-134-8

[5] H.Schmidt,G.Thierauf, "A combined heuristic optimization technique", Advances in Engineering Software 36 (2005), pp. 11-19

[6] ระพีพัทธ์ โพธิ์ศรี "สถิติเพื่อการวิจัย" พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2549.

[7] วรนาถ แซ่มสุวรรณ , "การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับโครงถักในระนาบ โดยใช้วิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม" , วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548

[8] วีระพงษ์ ไชยสถิตวานิช "การคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมสำหรับโครงถักระนาบที่มีพฤติกรรมไม่เชิงเส้นโดยวิธีงานสมมุติ" วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540

[9] ทักษิณ เทพชาตรี, อัครวัชร เล่นวาริ "พฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก" ปรับปรุงครั้งที่ 3 พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553

[10] อลงกรณ์ ละม่อม "A Nodal Numbering Algorithm to Generate Hybrid Relationship Behavior." วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551

[11] รศ.ดร.บุญเจริญ ศิริเนาวกุล , "ปัญหาประดิษฐ์" , กรุงเทพมหานคร, บริษัท สำนักพิมพ์ที่อุป จำกัด , 2551