

การศึกษาการออกแบบโครงสร้างสะพานโดยใช้หลักการเรขาคณิตแฟร็กทัล

Study on Bridge Structure Design Using Fractal Geometry Principles

ธนกฤต วิจิตตันทากุล¹, นายปองพล เกียรติศรี¹

ญาณิดา แก้ววงษ์หิวั¹

¹โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาราชวิทยาลัย พิษณุโลก, ตำบลมะขามสูง, อำเภอเมือง, จังหวัดพิษณุโลก 65000, ประเทศไทย

*E-mail: pongpon.ker@pccpl.ac.th

บทคัดย่อ

การออกแบบโครงสร้างสะพานในปัจจุบันมุ่งเน้นความสมดุลระหว่างความแข็งแรงและความประหยัดวัสดุ โครงงานนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำแนวคิดเรขาคณิตแฟร็กทัลซึ่งมีคุณสมบัติในการเติมเต็มพื้นที่และความซับซ้อนในตัวเองมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบโครงสร้างสะพาน เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรับแรงและการกระจายความเค้นเมื่อเทียบกับโครงสร้างสะพานมาตรฐาน โดยมุ่งหวังให้ได้แนวทางการออกแบบที่ช่วยเพิ่มเสถียรของโครงสร้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกที่ซับซ้อน เพื่อวิเคราะห์โครงสร้าง 4 รูปแบบ ได้แก่ โครงสร้างมาตรฐานและโครงสร้างแฟร็กทัล 3 รูปแบบ คือ Sierpinski Triangle Pinnate Leaf และ Sierpinski Arrowhead โดยสรุปการนำหลักการแฟร็กทัลมาประยุกต์ใช้ช่วยเปลี่ยนพฤติกรรมการรับแรงของสะพานจากการรวมศูนย์ความเค้นเป็นการกระจายแรงแบบกระจายตัว ซึ่งช่วยเพิ่มค่าความซ้ำซ้อนของโครงสร้าง ส่งผลให้โครงสร้างมีความปลอดภัยเพิ่มขึ้นและสามารถต้านทานการวิบัติในจุดใดจุดหนึ่งได้ดีกว่าโครงสร้างแบบเดิม งานวิจัยนี้จึงเป็นพื้นฐานสำคัญในการประยุกต์ใช้เรขาคณิตขั้นสูงในงานวิศวกรรมโยธาสสมัยใหม่

คำสำคัญ: เรขาคณิตแฟร็กทัล

บทนำ

ในปัจจุบันวิศวกรรมโครงสร้างมุ่งเน้นการสร้างนวัตกรรมที่สามารถรับแรงได้มหาศาลภายใต้การใช้ทรัพยากรที่จำกัด โครงสร้างสะพานแบบทรัส (Truss Bridge) เป็นรูปแบบที่นิยม แต่ยังมีข้อจำกัดเรื่องการกระจุกตัวของความเค้น (Stress Concentration) ที่จุดต่อหลัก เรขาคณิตแฟร็กทัล (Fractal Geometry) ซึ่งมีลักษณะเด่นคือความคล้ายตนเอง (Self-similarity) และความซับซ้อนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร จึงถูกนำมาเป็นแนวคิดในการแก้ปัญหา โดยแฟร็กทัลช่วยให้โครงสร้างสามารถแบ่งย่อยภาระบรรทุกหลักให้กลายเป็นภาระบรรทุกย่อยกระจายไปตาม "กิ่งก้าน" ของโครงสร้าง งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้แฟร็กทัล 3 รูปแบบหลัก

เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงลึกว่าการออกแบบเชิงเรขาคณิตขั้นสูงสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการรับแรงได้จริงหรือไม่

วิธีการดำเนินงาน

การดำเนินงานวิจัยใช้กระบวนการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์สำหรับการออกแบบโครงสร้าง AutoCAD, Autodesk Structural Bridge Design 2026

1. การกำหนดพารามิเตอร์ฐาน

กำหนดช่วงความยาวสะพาน 30 เมตร หน้าตัดเหล็ก Composite ตามมาตรฐาน BS 5400 ที่มีค่า Section Modulus (S) เท่ากับ 0.003588 m³

2. การออกแบบโมเดลแฟร็กทัล

Sierpinski Triangle ประยุกต์ใช้การแบ่งย่อยสามเหลี่ยมซ้อนทับกันเพื่อเพิ่มจุดรองรับแรงดัด

Pinnate Leaf ออกแบบตามลักษณะเส้นใบไม้เพื่อศึกษาการกระจายแรงแบบกึ่งก้าน

Sierpinski Arrowhead ออกแบบเป็นรูปฐานลูกศรเน้นการส่งถ่ายแรงในแนวราบ

3.1 การตั้งค่าการบรรทุก

จำลองสถานการณ์จริง 6 กรณี (L1-L6) รวมถึงกรณีวิกฤตที่สุดคือ L4 (Concrete Full DL) และ L6 (30HB Live Load)

3.2 การคำนวณและประมวลผล

วิเคราะห์หาค่า Reaction Moment (M) และ Von Mises Stress (σ) จากผลลัพธ์ในไฟล์ Output ของโปรแกรม และนำมาคำนวณตรวจสอบด้วยสูตรทางกลศาสตร์ $\sigma = M/S$

ผลและอภิปรายผล

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าทางสถิติและประสิทธิภาพเชิงโครงสร้างภายใต้สภาวะวิกฤต

รูปแบบโครงสร้าง	Max Y-Moment (kN·m)	Stress (σ)	ผลกระทบ ($\Delta\sigma$)	จำนวนชิ้นส่วน (Members)
ควบคุม	55.48	15.46 MPa	-	494
Triangle	53.66	14.96 MPa	-3.2%	1,272
Pinnate	56.33	15.70 MPa	+1.5%	942
Arrow head	54.84	15.28 MPa	-1.10%	954

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าโครงสร้าง Sierpinski Triangle ที่มีจำนวนจุดต่อและชิ้นส่วนมากที่สุด สามารถกระจายแรงได้ดีที่สุด พฤติกรรมนี้อธิบายได้ด้วย "ทฤษฎีการกระจายภาระ" เมื่อจำนวนชิ้นส่วนเพิ่มขึ้น แรงภายในคานหลักจะถูกแบ่งเบาไปยังชิ้นส่วนรองทำให้หน่วยแรงรวมที่กระทำต่อหน้าตัดหลักลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

โครงสร้างรูปแบบ Pinnate Leaf ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าค่าควบคุมร้อยละ 1.5 เนื่องจากการจัดวางแบบกึ่งก้านที่เลียนแบบธรรมชาติแม้จะช่วยเรื่องการเติมเต็มพื้นที่ แต่ในการรับแรงเชิงวิศวกรรมอาจทำให้เกิดแรงบิด ณ จุดเชื่อมต่อที่ไม่มีแรงต้านในทิศทางตรงข้าม ส่งผลให้เกิดความเค้นสะสมสูงกว่าโครงสร้างควบคุม

ดูสภาพระหว่างวัสดุและความแข็งแรง

แม้ Sierpinski Triangle จะรับแรงได้ดีที่สุด แต่ต้องแลกมาด้วยจำนวนชิ้นส่วนที่เพิ่มขึ้นกว่า 2.5 เท่า ในขณะที่ Sierpinski Arrowhead สามารถลดหน่วยแรงได้ร้อยละ 1.1 โดยใช้จำนวนชิ้นส่วนน้อยกว่า Sierpinski Triangle อย่างมาก แสดงถึงศักยภาพในการเป็นโครงสร้างที่ประนีประนอมความประหยัดและการรับแรง

สรุปผล

จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำลองโครงสร้างและคำนวณตามหลักวิศวกรรมโยธาพบว่า ประสิทธิภาพด้านการรับแรง รูปแบบ Sierpinski Triangle มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยสามารถลดค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด (Mmax) ได้ 3.2% และลดความเค้นดัด (σ) ลงเหลือ 14.96 MPa เมื่อเทียบกับโครงสร้างมาตรฐาน ที่ 15.46 MPa

รูปแบบ Sierpinski Arrowhead สามารถลดความเค้นได้ดีกว่าเกณฑ์มาตรฐานเล็กน้อย แม้จะมีความซับซ้อนน้อยกว่าแบบสามเหลี่ยมทั่วไป โครงสร้างแฟร็กทัลช่วยเปลี่ยนพฤติกรรมจาก "คานเดี่ยวรับแรง" เป็น "โครงข่ายกระจายแรง" เนื่องจากมีจำนวนจุดต่อ Joints และชิ้นส่วน Members มากกว่าโครงสร้างเดิม 2-4 เท่า ทำให้แรงถูกชอยย่อยลงไปในแต่ละชิ้นส่วน ลดโอกาสการเกิดความเค้นสะสม

รูปแบบ Pinnate Leaf ไม่เหมาะสมกับการรับแรงในแนวตั้งของสะพาน เนื่องจากลักษณะกึ่งก้านที่ไม่สมมาตรและขาดจุดรองรับที่แข็งแรง ทำให้เกิดแรงบิด เพิ่มขึ้น 1.5% ส่งผลเสียต่อโครงสร้างรวม



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ญาณิดา แก้ววงษ์หิวง
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ให้ทั้งความรู้ความ
ช่วยเหลือ คำชี้แนะ รวมทั้งให้หลักการและข้อคิดเห็น
ต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อศิษย์

ขอขอบคุณ โรงเรียนจุฬาภรณราช
วิทยาลัย พิชณุโลก และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ
ทางวิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ
เอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับ
ทำการศึกษาค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้

เอกสารอ้างอิง

กรมทางหลวงชนบท. 2545.

ตัวอย่างรายการคำนวณการวิเคราะห์
หน่วยแรงที่กระทำต่อสะพาน.
กรุงเทพฯ: โยธาไทย.

สมโพธิ วิวิธเกียรติก. 2560.

หนังสือคู่มือ การออกแบบสะพาน
(**BRIDGE DESIGN Manual in Thai
version**). สืบค้นเมื่อ 25 มิถุนายน 2568
จาก หนังสือคู่มือ การออกแบบสะพาน
(**BRIDGE DESIGN Manual in Thai
version**) - Flipbook by city satnp |
[FlipHTML5](#)

Ibrahim, A. M. A., et al. 2019.

**Structural Optimization of a Thin-
Shell Bridge Structure. Journal of
Bridge Engineering.**

Mandelbrot, B. B. 1982.

**The Fractal Geometry of Nature. W. H.
Freeman and Company.**