

การวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับคานเหล็กคอมโพสิต แบบมีช่องเปิด

Finite element analysis for Composite steel beam with open web

อนุพงษ์ นิยมไทย¹, ตูแวภูมิณี โต๊ะโห๊ะ¹, พงษ์ภา บางเหริ่ง¹, ทนงค์ดี อิ่มใจ^{1*}
มนเทียร เสรีกิจ¹ และ อุดมวิทย์ ไชยสกุลเกียรติ²

บทคัดย่อ

บทความปริทัศน์นี้เสนอรูปแบบแนวคิดและโครงการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับนวัตกรรมการใช้คานเหล็กคอมโพสิตแบบมีช่องเปิด สำหรับโครงสร้างที่มีช่วงพาดระหว่าง 6-10 ม. ซึ่งกำลังได้รับความนิยมในการก่อสร้างอาคารสำนักงาน ที่จอดรถ หรืออาคารที่ต้องการความรวดเร็วและพื้นที่ใช้สอยแนวดิ่งเพิ่มขึ้น เนื่องจากความแข็งแรง เบา และสวยงาม อย่างไรก็ตาม โครงสร้างระบบพื้นประเภทนี้ยังมีข้อจำกัดเรื่องราคา ทำให้จำกัดการใช้อยู่กับอาคารบางประเภท และยังไม่เป็นที่นิยมในการใช้กับบ้านพักอาศัย บทความวิชาการนี้นำเสนอแนวคิดการประยุกต์ใช้คานเหล็กแบบมีช่องเปิดเพื่อเป็นคานประกอบคอมโพสิตสำหรับรองรับพื้นสำเร็จรูป ซึ่งจะช่วยลดข้อจำกัดเรื่องความลึกของคานและเพิ่มพื้นที่ใช้สอยในแนวดิ่งให้มากขึ้น และได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีทางระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในระยะแรก ของโครงการศึกษาประสิทธิภาพของคานประกอบคอมโพสิตดังกล่าวในระยะต่อไป ที่กำลังดำเนินการที่มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

คำสำคัญ : คานประกอบคอมโพสิต คานเหล็กแบบมีช่องเปิด คานเหล็กประกอบ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แผ่นเหล็กม้วนชนิดบาง คานเหล็กประกอบ

¹ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

¹ E-mail: thanongsak.im@wu.ac.th

² คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

² E-mail: udomvit.k@rmutr.ac.th

* Corresponding author, e-mail: thanongsak.im@wu.ac.th

Abstract

This review article introduces the concepts of innovative construction technique that uses cellular beams in office buildings and parking structures with the span length of 6-10 m. Cellular beams are widely used due to their high strength, lightness, and aesthetic shapes. However, cellular beams are quite expensive, thus limiting their application in some buildings. This paper introduces the concepts of developing an innovative system composed of cellular beams and precast concrete members. This new composite system takes an advantage of cellular beams to reduce the clear height between the floors, making more usable space in the building. The article also shows the results from the finite element analysis and discusses the ongoing research about the composite cellular beam at Walailak University.

Keywords: Composite beam, Steel beam with open web, Composite steel beam, Finite element analysis, Hot rolled coil steel, Built-up steel beam

1. โครงสร้างเหล็กและระบบการก่อสร้างพื้นสมัยใหม่ในประเทศไทย

โครงสร้างเหล็ก (Structural steel) เป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างมานานแล้ว ตั้งแต่ช่วงกลาง ศตวรรษที่ 19 เป็นต้นมา [1] มีการใช้เหล็กเป็นโครงสร้างของอาคารขนาดใหญ่และโครงสร้างสะพานที่มี ช่วงยาว โดยมีข้อได้เปรียบกว่าวัสดุก่อสร้างชนิดอื่นหลายประการ เช่น เหล็กมีกำลังสูงทั้งทางด้านแรงอัดและ แรงดึง เนื้อวัสดุมีความสม่ำเสมอ เหนียว ยืดหยุ่นดี มีความคงทนถาวร การก่อสร้างโครงสร้างเหล็กกระทำ ได้รวดเร็ว แต่ข้อเสียก็มีอยู่บ้าง เช่น การเกิดสนิมเมื่อสัมผัสความชื้นซึ่งป้องกันได้โดยการทาสีเคลือบผิว ในงาน โครงสร้างอาคาร ต้องมีการเพิ่มประสิทธิภาพการทนไฟตามเทศบัญญัติความปลอดภัย นอกจากนี้ เหล็ก โครงสร้างมีหน้าตัดเป็นแผ่นบาง เป็นจุดอ่อนที่จะเกิดการโก่งเดาะเฉพาะจุด (Local Buckling) ได้ง่าย จึงต้องมื การคำนึงถึงความเสถียร (Stability) ขององค์อาคารเป็นหลัก [2] ในด้านราคาก่อสร้าง แม้ว่าวัสดุเหล็ก รูปพรรณจะมีราคาสูงกว่าคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่โครงสร้างเหล็กสามารถสร้างให้แล้วเสร็จได้ในเวลาที่รวดเร็ว กว่า เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายและใช้ประโยชน์อาคารได้ก่อน ดังนั้นเมื่อพิจารณาโดยรวมบางครั้งอาจจะ เป็นการลงทุนที่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับอาคารโครงสร้างคอนกรีต [3]

ในปัจจุบันโครงสร้างคานเหล็กที่น่าสนใจ เช่น คานเหล็กรูปพรรณแบบมีช่องเปิดที่เอว (Open web) โดย ลักษณะช่องเปิด มีหลายประเภทและมีชื่อเรียกตามรูปแบบช่องเปิด ตัวอย่างเช่น คานเหล็กที่มีช่องเปิดเป็นรูป วงกลมเรียงต่อกัน เรียกว่า เซลลูลาร์บีม (Cellular beam) จุดเด่นของช่องเปิดรูปแบบนี้ นอกจากทำให้คานมี

น้ำหนักเบา ยังสามารถช่วยกระจายหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบริเวณเอวของโครงสร้างคานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเทียบกับช่องเปิดแบบอื่นๆ ซึ่งการใช้คานเหล็กรูปพรรณแบบมีช่องเปิด เพื่อเป็นโครงหลังคา มักจะใช้กับอาคารที่มีช่วงพาดยาวมากๆ โดยสามารถออกแบบให้มีช่วงพาดได้ถึง 60 ถึง 80 ม. [4] โดยไม่ต้องมีเสากลาง ทำให้มีความสามารถในการจัดสรรพื้นที่ใช้สอยได้อย่างเต็มที่ ในส่วนของคานรับพื้น คานเหล็กรูปพรรณแบบมีช่องเปิดสามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนงานระบบโดยการติดตั้งงานระบบผ่านช่องเปิดของคานได้ นอกจากนี้ คานเหล็กรูปพรรณแบบมีช่องเปิดมีน้ำหนักเบา ประหยัด สามารถออกแบบขึ้นงานได้หลายรูปทรง ด้วยขั้นตอนการออกแบบและผลิตชิ้นส่วนในโรงงานทั้งหมด ทำให้สามารถควบคุมคุณภาพชิ้นงานได้อย่างเรียบร้อยและแม่นยำ ก่อนที่จะขนส่งชิ้นส่วนพร้อมติดตั้งไปที่หน้างาน โดยใช้การติดตั้งด้วยระบบสลักเกลียว (Bolted Joint) ทำให้ลดเวลาการก่อสร้างได้อย่างมาก และยังสามารถถอดประกอบได้ใหม่ในกรณีที่จำเป็นต้องย้ายสถานที่ ปัจจุบันคานเหล็กรูปพรรณแบบมีช่องเปิดเป็นที่นิยมใช้ในงานการก่อสร้างโรงงาน โกดังเก็บสินค้า โรงเก็บเครื่องบิน โครงหลังคาสนามกีฬา หลังคาคลุมลานอเนกประสงค์ โชว์รูมรถยนต์ หลังคาที่จอดรถ อาคารจอดรถ ตลาดสด และอีกหลายรูปแบบตามความต้องการ อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของโครงสร้างคานเหล็กรูปพรรณแบบมีช่องเปิดคือเรื่องราคาแพงและยังไม่นิยมนำมาใช้ทำเป็นอาคารบ้านพักอาศัยเนื่องจากเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ [1,4]

การใช้ระบบคานเหล็กมารองรับโครงสร้างพื้นแทนคานคอนกรีต ได้รับความนิยมมากขึ้นในประเทศไทย เนื่องจากราคาเหล็กที่ลดลงในปัจจุบัน และสามารถก่อสร้างได้รวดเร็ว เมื่อเทียบกับคานคอนกรีต ระบบการก่อสร้างพื้นสำเร็จวางบนคานที่รองรับประเภทต่างๆ ในการก่อสร้างอาคารอุตสาหกรรมและอาคารพาณิชย์ ในปัจจุบัน แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งในการออกแบบ ผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงมูลค่าของวัสดุและแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้าง พื้นที่ใช้สอยสูงสุด

การใช้ระบบคานเหล็กมารองรับโครงสร้างพื้นแทนคานคอนกรีตร่วมกับโครงสร้างพื้นสำเร็จรูปเป็นที่แพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากทำการติดตั้งได้อย่างรวดเร็ว สามารถออกแบบรับน้ำหนักบรรทุกทุกจรได้ตามประเภทการใช้งาน นอกจากนี้ยังสามารถใช้ร่วมกับโครงสร้างคานที่รองรับ เช่น คานคอนกรีตหล่อในที่ คานคอนกรีตหล่อสำเร็จ หรือคานเหล็ก รูปที่ 1(ก - ค) แสดงระบบคานที่รองรับแบบดั้งเดิมมีผลทำให้พื้นที่ใช้สอยในแนวดิ่งลดลง เทียบกับการใช้ระบบพื้นคานเหล็กคอมโพสิต (รูปที่ 1-ง) ที่ทำการศึกษาในโครงการวิจัยนี้ สามารถทำให้พื้นที่ใช้สอยในแนวดิ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 15 [3,5] เนื่องจากระบบคานประเภทนี้ เป็นระบบคานคอมโพสิตที่มีความลึกน้อยกว่าหรือเท่ากับความหนาของพื้น และโครงสร้างคานประกอบนี้จะแทรกอยู่ในชั้นโครงสร้างชั้นพื้นดังแสดงในรูปที่ 1-ง



(ก) ระบบพื้นบนคานเหล็กรูปพรรณ



(ข) ระบบพื้นบนคานคอนกรีต



(ค) ระบบพื้นบนคานคอนกรีตหล่อสำเร็จ



(ง) ระบบพื้นบนคานเหล็กคอมโพสิต

รูปที่ 1 ระบบการก่อสร้างพื้นสำเร็จและคานที่รองรับประเภทต่างๆ (ที่มา [5])

2. มาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กในประเทศไทย

การคำนวณออกแบบโครงสร้างเหล็ก วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท. 1020-51 [6]) ได้กำหนดมาตรฐานอาคารเหล็กรูปพรรณ โดยอิงตาม American Institute of Steel Construction (AISC) มี 2 วิธี คือ วิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ ประกาศใช้เมื่อ พ.ศ.2540 นิยมเรียกว่าวิธี ASD (Allowable Stress Design) วิธีนี้ปรับปรุงมาจากวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้เดิม วิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Stress Design, ASD) วิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นโดยทฤษฎีอิลาสติก โดยวัสดุมีพฤติกรรมยืดหยุ่น หลักในการออกแบบคือ จำกัดให้วัสดุรับน้ำหนักและแรงกระทำสูงสุดได้ไม่เกินกำลังต้านทานซึ่งถูกลดทอนด้วยอัตราส่วนปลอดภัยแล้ว ดังสมการที่ (1)

$$R_a = \frac{R_n}{\mu} \quad (1)$$

โดยที่ R_a คือกำลังที่ต้องการ (Nominal Load Effect), R_n คือกำลังต้านทานระบุของวัสดุ (Nominal Material Resistance Provided) และ μ คือตัวคูณความปลอดภัย (Factor of Safety)

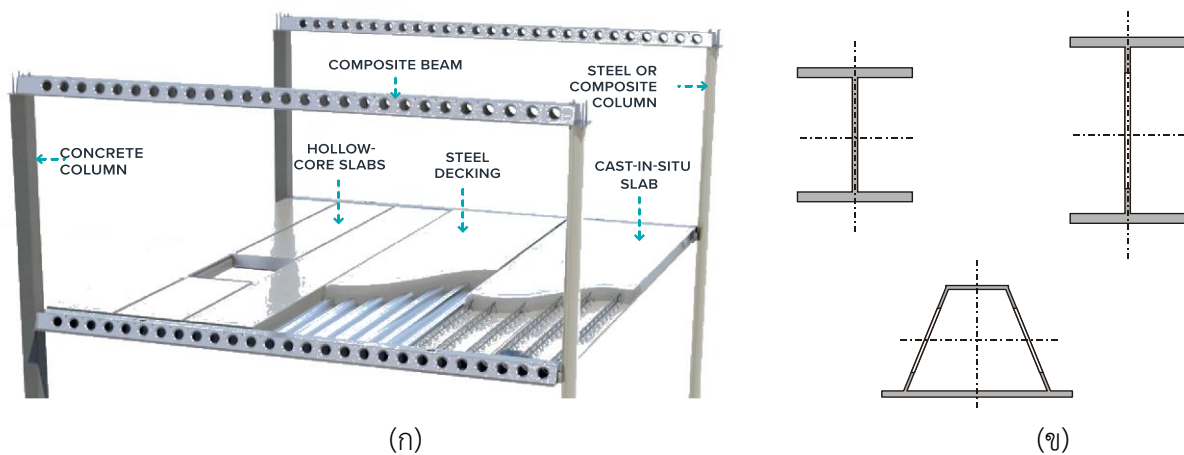
อีกวิธีหนึ่งคือวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก ประกาศใช้ พ.ศ.2546 นิยมเรียกว่าวิธี LRFD (Load and Resistance Factor Design) ออกแบบโครงสร้างโดยคำนึงถึงความปลอดภัยใน 2 ด้านคือ น้ำหนักบรรทุกและกำลังต้านทานของวัสดุ ในการคำนวณ ใช้น้ำหนักบรรทุกปรับค่า (Factored Load) ซึ่งมีตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (Load Factor) เป็นตัวคูณเพิ่มค่าน้ำหนักบรรทุกและแรงกระทำต่อโครงสร้าง ในขณะเดียวกัน มีการใช้ตัวคูณลดความต้านทาน (Resistance Factor) เพื่อลดกำลังต้านทานของวัสดุลง ดังสมการที่ (2)

$$\gamma_i Q_i \leq \phi R_n \quad (2)$$

โดยที่ Q_i คือผลต่อวัสดุของน้ำหนักบรรทุกระบุ (Nominal Load Effect), γ_i คือตัวคูณเพิ่มค่าน้ำหนัก (Load Factor), R_n คือกำลังต้านทานระบุของวัสดุ (Nominal Material Resistance Provided) และ ϕ คือตัวคูณปรับค่า (Strength Reduction Factor)

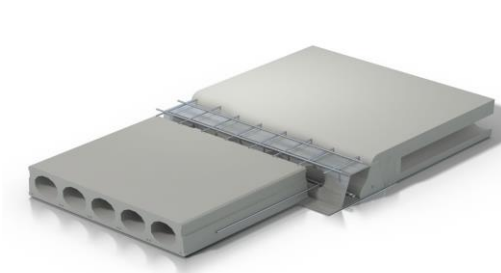
2. ระบบพื้นหล่อสำเร็จและคานเหล็กคอมโพสิตในประเทศไทย

รูปที่ 2-ก แสดงระบบการก่อสร้างพื้นคอมโพสิตและรูปแบบคานเหล็กที่รองรับแบบต่างๆ ที่ใช้ประกอบเป็นโครงสร้างสำหรับรองรับระบบพื้น เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน (Hot Rolled Structural Steel) มีหน้าตัดที่ค่อนข้างหนา เหมาะสำหรับองค์อาคารหลักของโครงสร้าง โดยสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม ได้กำหนด มอก.1227-2539 (TIS 1020-51) [7] ใช้เป็นมาตรฐานเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ (เหล็กโครงสร้างรีดร้อน) โดยอิงกับ JIS G3101 [8]

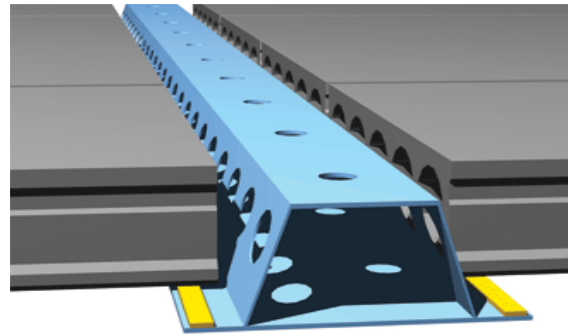


รูปที่ 2 (ก) ระบบการก่อสร้างพื้นคอมโพสิตและรูปแบบคานเหล็กที่รองรับแบบต่างๆ (ข) คานเหล็กรูปพรรณที่ใช้รองรับพื้น (ที่มา [5])

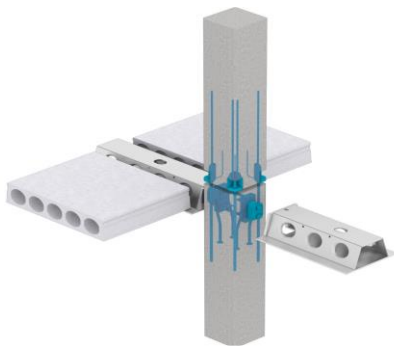
การประยุกต์ใช้คานเหล็กรูปพรรณดังแสดงในรูปที่ 2-ข ต้องออกแบบความลึกที่มีค่าโมดูลัสหน้าตัดให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกทุกเพียงพอ อันเป็นผลทำให้โครงสร้างคานมีน้ำหนักบรรทุกทุกคงที่สูงตามไปด้วย การใช้ระบบคาน Cellular นับเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดน้ำหนักเนื่องจากตัวโครงสร้างเอง อย่างไรก็ตามการใช้คานทั้ง 2 ประเภทดังกล่าวจะมีผลทำให้พื้นที่ใช้สอยในแนวดิ่งลดลงเนื่องจากความลึกของคาน ดังนั้นการพัฒนาารูปแบบคานประกอบคอมโพสิต และตัวอย่างขั้นตอนการติดตั้งระบบพื้นบนคานเหล็กคอมโพสิต ดังรูปที่ 3 นับเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในอุตสาหกรรมการก่อสร้างอาคารในประเทศไทยซึ่งสามารถเพิ่มพื้นที่ใช้สอยแนวดิ่งได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด



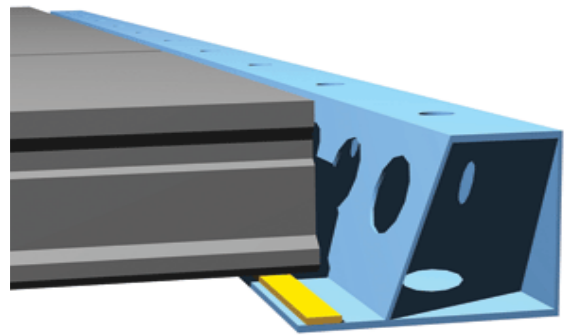
(ก) ระบบพื้นสำเร็จรูปบนคานเหล็กรูปพรรณ



(ข) การติดตั้งพื้นสำเร็จรูปวางบนปีกคาน



(ค) การติดตั้งคานบนที่รองรับบริเวณเสา



(ง) การติดตั้งพื้นสำเร็จรูปวางบนปีกคานขอบ



(จ) การติดตั้งพื้นสำเร็จรูปวางบนปีกคาน



(ฉ) ภาพภายหลังติดตั้งแล้วเสร็จ

รูปที่ 3 ขั้นตอนการติดตั้งคานเหล็กคอมโพสิตแบบมีช่องเปิด (ที่มา [3,5])

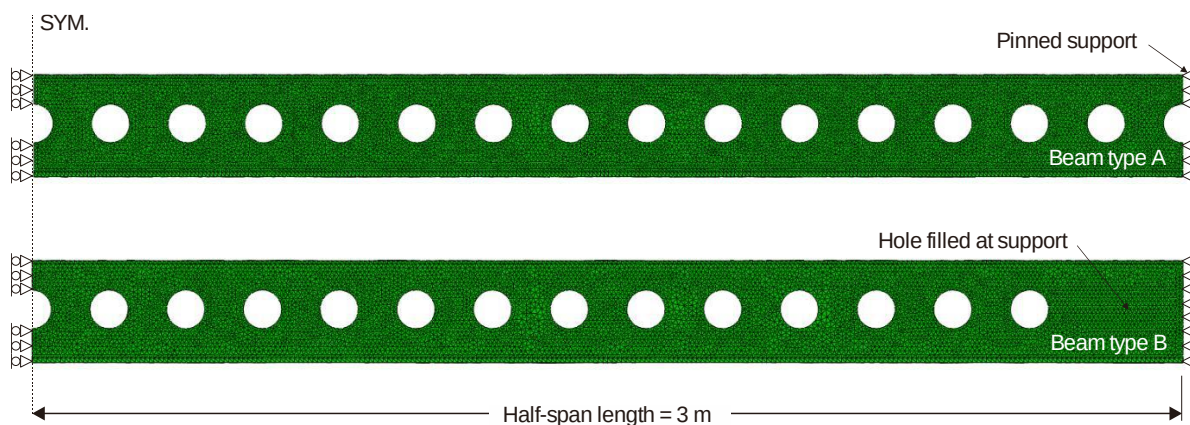
4. การวิเคราะห์หน่วยแรงของหน้าตัดโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

โครงการวิจัยประสิทธิภาพของคานเหล็กคอมโพสิตแบบมีช่องเปิดสำหรับอาคารในประเทศไทย มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาารูปแบบหน้าตัดที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) และทำการศึกษาประสิทธิภาพในด้านการรับน้ำหนักของหน้าตัดและรูปแบบการวิบัติ โครงการนี้ประกอบไปด้วยงาน 2 ระยะคือ ระยะแรกคณะวิจัยได้ทำการวิเคราะห์และออกแบบหน้าตัดที่เหมาะสมที่สุด ของโครงสร้างคานคอมโพสิตโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยโปรแกรม Abaqus version 6.14 [9] กำหนดรูปแบบชนิดของอีลิเมนต์ที่ใช้ในแบบจำลองคือ 3D stress ชนิด 10-node quadratic tetrahedron (C3D10) สำหรับโปรแกรม ABAQUS ซึ่งเป็นการ

สร้างรูปแบบอิลิเมนต์ภายในขอบเขตตามที่ผู้ใช้กำหนด (User define) ทำการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น (Linear elastic analysis) โดยในระยะแรกนี้จะไม่คำนึงถึงการครากของเหล็ก และการเสียรูปจากความคืบ

ในการวิเคราะห์ระยะแรก คณะวิจัยกำหนดช่วงพาด 6 ม. และสร้างแบบจำลองแบบครึ่งสมมาตรของหน้าตัด และกำหนดช่วงพาดครึ่งของคาน = 3 ม. และทำการศึกษาอิทธิพลของช่องเปิดต่อหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคาน จึงกำหนด ชนิดของแบบจำลองคาน ออกเป็น Type A และ Type B ดังรูปที่ 4

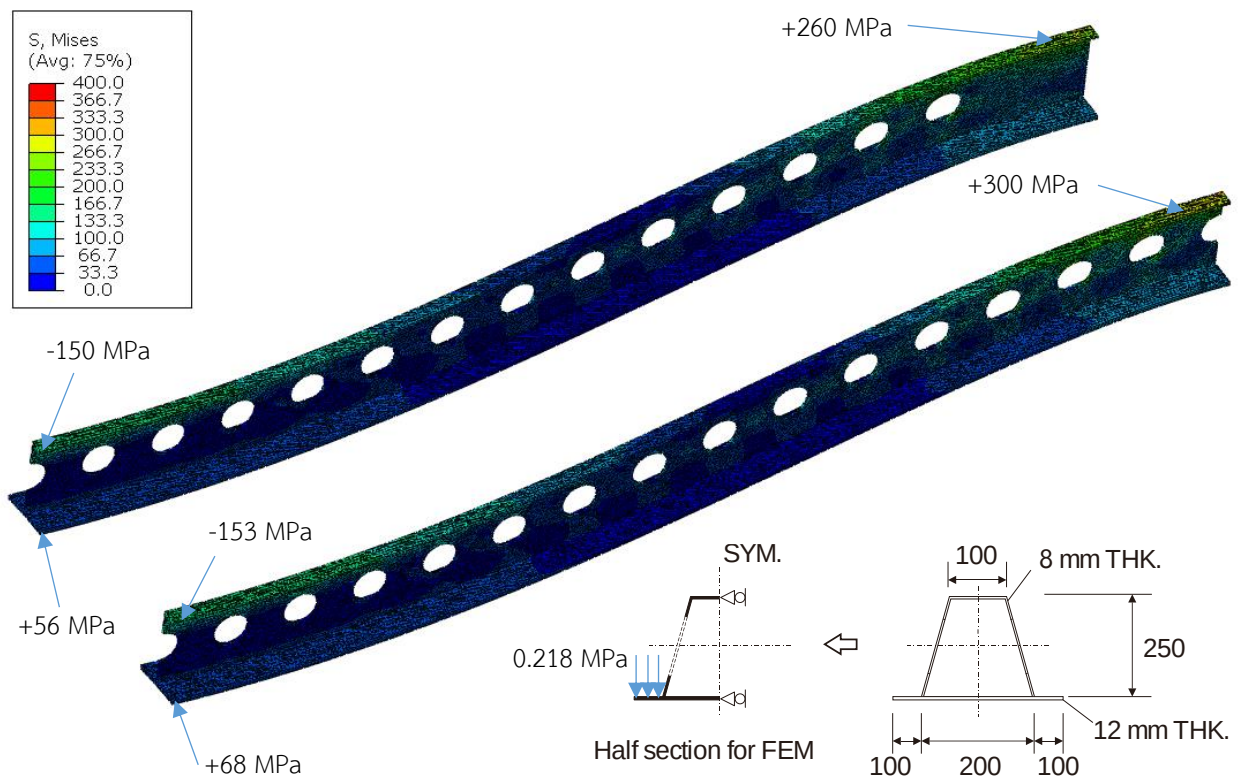
คุณสมบัติวัสดุของคานเหล็กที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ กำหนดดังนี้ Young modulus, $E = 206 \text{ GPa}$, Poisson's ratio = 0.35, Density = 78.5 kN/m^3 กำหนดน้ำหนักบรรทุกทุกจาก แผ่นพื้นสำเร็จหนา 250 มม. มีระยะพาดเท่ากับ 6 ม. ในภาวะติดตั้งแผ่นพื้น (สำหรับภาวะใช้งานจะมีน้ำหนักบรรทุกจร และแบบจำลองจะรวมคอนกรีตภายในช่องเปิดของโครงสร้างคาน) คำนวณน้ำหนักกระทำที่ปีกคาน = 0.218 MPa (คำนวณจากค่าน้ำหนักของแผ่นพื้นต่อพื้นที่แบกทานบริเวณปีกคาน)



รูปที่ 4 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สามมิติ สำหรับชนิด A และ B แสดงหน้าครึ่งสมมาตร (3 ม.)

จากรูปที่ 5 และตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์หน่วยแรงและค่าการแอ่นตัวที่บริเวณกึ่งกลางคานจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของหน้าตัดครึ่งสมมาตร จะพบว่าแบบจำลอง Type A มีค่าหน่วยแรงดึงสูงสุดที่บริเวณใกล้ที่รองรับ (300 MPa) มากกว่า Type B (260 MPa) ร้อยละ 13 และมีค่าหน่วยแรงดึงสูงสุดที่บริเวณช่วงกลางคาน (68 MPa) มากกว่า Type B (56 MPa) ร้อยละ 17 ในส่วนแรงอัดสูงสุดที่บริเวณช่วงกลางคาน พบว่าแบบจำลอง Type A เท่ากับ 153 MPa มากกว่า Type B (150 MPa) ร้อยละ 2

ผลการวิเคราะห์การแอ่นตัวสูงสุดที่บริเวณช่วงกลางคาน โดยเป็นผลจากการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น มีรูปแบบน้ำหนักกระทำแบบสถิตย์ (Static) พบว่าค่าการแอ่นตัวของแบบจำลอง Type A = 10.11 มม. มีค่ามากกว่า Type B (9.81 มม.) ร้อยละ 3



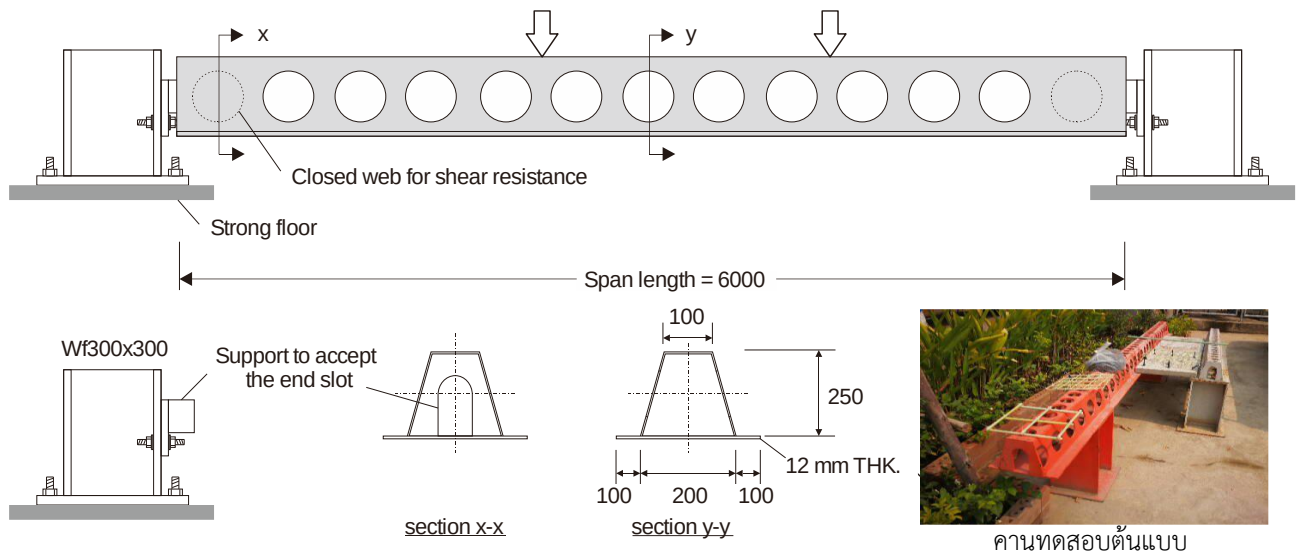
รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์หน่วยแรงจากแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของหน้าตัดครึ่งสมมาตร

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์หน่วยแรงและค่าการแอ่นตัวจากแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์

Beam specimen	Max. compressive stress at support zone (MPa)	Max. compressive stress at mid-span (MPa)	Max. tensile stress at mid-span (MPa)	Max. deflection at mid-span (mm)
Type A	300	153	68	10.11
Type B	260	150	56	9.85

5. งานวิจัยที่มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ผลการพัฒนาแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของหน้าตัดครึ่งสมมาตร แบบวิเคราะห์ผลในระยะแรก คณะวิจัยได้ออกแบบคานตันแบบ ชนิด B มีขนาดยาว 6 ม. มาทดสอบในห้องปฏิบัติการ และนำผลการศึกษา ค่าความเค้นและความเครียดที่เกิดที่ผิววัสดุและได้ทำการออกแบบแผ่นเสริมแรง (Stiffener) เพื่อรับแรงเฉือน และป้องกันการวิบัติแบบ Web buckling [10] ก่อนที่จะทำการก่อสร้างคานตันแบบ (รูปที่ 6) เพื่อศึกษา ประสิทธิภาพการรับน้ำหนักและเปรียบเทียบกับมาตรฐานการออกแบบ ในระยะที่ 2 ซึ่งจะเสนอผลการทดสอบ ในอนาคต



รูปที่ 6 รายละเอียดคานทดสอบและรูปแบบการให้น้ำหนักคานเหล็กแบบมีช่องเปิดชนิด B

6. สรุป

บทความนี้นำเสนอนวัตกรรมคานเหล็กคอมโพสิตแบบมีช่องเปิดในอุตสาหกรรมการก่อสร้างในประเทศไทย โดยระบบคานคอมโพสิตชนิดนี้พัฒนามาจากโครงสร้างคานเหล็กที่มีช่องเปิดเป็นวงกลม สามารถออกแบบรับน้ำหนักบรรทุกจรได้ตามประเภทการใช้งาน ผลการศึกษาวิจัยโดยวิธีทางไฟไนต์อีลิเมนต์ในระยะแรก ที่มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ พบว่าระบบคานคอมโพสิตช่องเปิดเป็นวงกลมเสริมแผ่นเหล็กที่บริเวณจุดรองรับ (Type B) สามารถลดหน่วยแรงที่เกิดขึ้น และลดการแอ่นตัวที่บริเวณกลางคาน เมื่อเทียบกับคานคอมโพสิตช่องเปิดเป็นวงกลมที่ไม่มีการเสริมแผ่นเหล็กที่บริเวณจุดรองรับ (Type A) ผลการวิเคราะห์ทางไฟไนต์อีลิเมนต์ในระยะแรก นำไปสู่การออกแบบคานต้นแบบในการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษารูปแบบการวิบัติ และประสิทธิภาพของสมการออกแบบในระยะต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิชาการนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการประกวด Structural Steel Improvement for Young Engineers (SSI4YE 2019) โดยบริษัทสหวิริยาสตีลอินดัสตรี จำกัด (มหาชน) คณะวิจัยขอขอบคุณ บริษัท AO Steel Co., Ltd. ที่อนุเคราะห์ตัวอย่างคานเหล็กคอมโพสิตแบบมีช่องเปิดสำหรับทดสอบ ในโครงการวิจัยนี้ คณะวิจัยขอขอบคุณ Dr. Reyes Garcia ที่ส่งผลการวิเคราะห์แบบจำลองคานเหล็กโดยโปรแกรม Abaqus version 6.14 ดำเนินการที่ The University of Warwick สำหรับโครงการวิจัยนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Lawson, R.M. 1988. Design for opening in the webs of composite beams, Steel construction institute.
- [2] Grilao, L.F., Fakurya, R.H., Silvaa, A.L.R., Veríssimo, G.S. 2018. Design procedure for the web-post buckling of steel cellular beams. Journal of Constructional Steel Research, 148, 525–541.
- [3] Ward J.K. 1990. Design of composite and non- composite cellular beams, SCI publications 100.
- [4] Redwood R.G. 1973. Design of beam with web holes. Canadian steel industry construction council, Canada,
- [5] Deltabeam Frame and Slim Floor structure. www. <https://references.peikko.com/> access on 8 April 2019.
- [6] มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก 2551. คณะอนุกรรมการสาขาโครงสร้างเหล็ก 1020-51. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.
- [7] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน มาตรฐานเลขที่ มอก. 1227 – 2539
- [8] JIS G3101 SS400 Structural Carbon Steel Plate Specification
- [9] ABAQUS. (2004). "FEA software and User's Manual version 6.14 " Hibbitt, Karlsson & Sorensen Inc., Rhode Island, USA, <http://www.abaqus.com>.
- [10] Panedpojaman, P., Thepchatri T., Limkatanyu, S. 2014. Novel design equations for shear strength of local web-post buckling in cellular beams. Thin-Walled Structures 76, 92–104.