



บทที่ 2

### การสำรวจงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย เกี่ยวกับบันไดยี่นอิสระแบบแผ่นพื้นตันที่ผ่านมาจำกัดอยู่ เฉพาะบันไดยี่นอิสระแบบแผ่นพื้นตันซึ่งมีภาพถ่ายของพื้นบันไดบนและพื้นบันไดล่างขนานกันบนระนาบของชานพัก ซึ่งในบทนี้จะเรียกว่า "บันไดยี่นอิสระแบบแผ่นพื้นตัน" เพื่อสะดวกในการอ้างอิง โดยมีรายละเอียดดังนี้ คือ

Fuchsteiner<sup>(1)</sup> (1954, 1955) เป็นบุคคลแรกที่เสนอวิธีวิเคราะห์โดยประมาณสำหรับบันไดยี่นอิสระแบบแผ่นพื้นตัน โดยการจำลองบันไดเป็นโครงข้อแข็งในสามมิติที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนโครงสร้างตรง (linear bar element) ตามแนวแกนที่ผ่านจุดศูนย์กลางของพื้นบันไดบน และพื้นบันไดล่าง เชื่อมต่อกันโดยคานโค้งในระนาบของชานพัก ตามที่แสดงในรูปที่ 2.1 (ก)

Fuchsteiner<sup>(1)</sup> ได้อาศัยหลักการทฤษฎีของงานน้อยที่สุด (theorem of least work) ในการวิเคราะห์ และเนื่องจากบันไดยี่นอิสระแบบแผ่นพื้นตัน เป็นโครงสร้างที่มีสมมาตรในแนวแกนที่ผ่านจุดกึ่งกลางชานพักและขนานกับภาพถ่ายของพื้นบันไดบนระนาบของชานพัก ดังนั้น เมื่อพื้นบันไดทั้งสองรับน้ำหนักกดลงตามแนวตั้ง แบบปฏิสมมาตรทำให้สามารถลดจำนวนตัวไม่รู้ค่า (redundant) ในการวิเคราะห์จากหกตัว เหลือเพียงสองตัว แต่เนื่องจากโครงสร้างดีเทอร์มิเนตที่เลือกนั้น เป็นคานยื่นตามที่แสดงในรูปที่ 2.1 (ข) ดังนั้นจึงไม่อาจนำผลงานของเขาไปใช้กับกรณีที่มีร่องรับที่ปลายพื้นบันได เป็นแบบยึดหมุนได้

Sauter<sup>(2)</sup> (1964) เสนอวิธีวิเคราะห์โครงข้อแข็งในสามมิติแบบเดียวกับที่เสนอโดย Fuchsteiner<sup>(1)</sup> แต่เลือกใช้โครงสร้างดีเทอร์มิเนตต่างกัน เพื่อให้สามารถใช้ผลการวิจัยกับบันไดยี่นอิสระแบบแผ่นพื้นตันที่มีร่องรับเป็นแบบยึดหมุนได้ด้วย โดยใช้โครงสร้างดีเทอร์มิเนตที่มีร่องรับเป็นแบบยึดหมุนแทนตามที่แสดงในรูปที่ 2.2

Gould<sup>(7)</sup> (1963) จำลองบันไดยี่นอิสระแบบแผ่นพื้นตัน เป็นโครงข้อแข็งที่ประกอบขึ้นจากพื้นบันไดบนและพื้นบันไดล่าง โดยกำหนดให้การถ่ายโมเมนต์ระหว่างพื้นบันไดบนและพื้น-

บันไดล่างผ่านชานพัก อยู่ในรูปกำลังต้านทานโมเมนต์บิดของแผ่นพื้นชานพัก เท่านั้น

Cusen และ Kuang<sup>(8)</sup> (1965) เสนอวิธีวิเคราะห์โดยประมาณสำหรับบันไดยื่นอิสระแบบแผ่นพื้นตัน โดยการจำลองบันไดเป็นโครงข้อแข็งในสามมิติและใช้กฎของสมมาตรและทฤษฎีของงานน้อยที่สุดในการลดจำนวนและหาค่าตัวไม่รู้ค่า เช่นเดียวกับ Fuchsteiner<sup>(1)</sup> และ Sauter<sup>(2)</sup> แต่ใช้โครงสร้างจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ต่างกัน ตามที่แสดงในรูปที่ 2.3

Liebenberg<sup>(3)</sup> (1960) เป็นบุคคลแรกที่เสนอวิธีวิเคราะห์โดยประมาณสำหรับบันไดยื่นอิสระแบบแผ่นพื้นตันในรูปของการพิจารณาการเคลื่อนที่ซึ่ง เป็นพฤติกรรมร่วมระหว่างแผ่นพื้นแต่ละแผ่นที่ประกอบขึ้นเป็นบันได (plate interaction) โดยมีลักษณะการวิเคราะห์คล้ายกับการวิเคราะห์แผ่นพื้นพับ (folded plate) เขาได้แยกกลไกการรับน้ำหนักของบันไดยื่นอิสระแบบแผ่นพื้นตันให้ประกอบด้วย โครงสร้างรอง (secondary structure) และโครงสร้างหลัก (primary structure) โดยกำหนดให้โครงสร้างรองประกอบด้วยพื้นบันไดแต่ละข้าง และชานพักรับน้ำหนักบรรทุกภายนอกในรูปของแผ่นพื้นที่วางต่อเนื่องระหว่างที่รองรับที่มีอยู่จริงที่ปลายพื้นบันไดแต่ละข้าง และมีที่รองรับจินตภาพ (imaginary support) ที่ตรงรอยต่อระหว่างพื้นบันไดกับชานพักตามที่แสดงในรูปที่ 2.4(ก) ที่รองรับจินตภาพเป็นผลจากการที่โครงสร้างหลักซึ่งประกอบด้วยพื้นบันไดบนและพื้นบันไดล่าง เชื่อมต่อกันในลักษณะคล้ายโครงข้อหมุนที่ต่อกันที่ชานพัก ดังแสดงในรูปที่ 2.4(ข) และมีสติฟเนสในการยึดหดตัว (axial stiffness) สูง ทำให้สามารถทำหน้าที่เป็นที่รองรับจินตภาพแก่โครงสร้างรอง

การวิเคราะห์ที่เสนอโดย Liebenberg<sup>(3)</sup> เป็นการวิเคราะห์โดยประมาณซึ่งไม่พิจารณาถึงความสอดคล้อง (compatibility) ของการเคลื่อนที่และความเครียดของพื้นบันไดบน พื้นบันไดล่างและชานพัก และแรงภายในพื้นบันไดบนและพื้นบันไดล่างในรูปโมเมนต์บิดเป็นศูนย์

เนื่องจากการวิเคราะห์โดยการพิจารณาพฤติกรรมการเคลื่อนที่ร่วมกันของแผ่นพื้นมีลักษณะการวิเคราะห์คล้ายกับการวิเคราะห์แผ่นพื้นพับ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะเรียกการวิเคราะห์วิธีนี้ว่า "การวิเคราะห์แบบแผ่นพื้นพับ" แทน

Siev<sup>(9)</sup> (1962) เสนอวิธีวิเคราะห์โดยประมาณในแนวทางเดียวกันกับที่เสนอโดย Liebenberg<sup>(3)</sup> แต่ได้พิจารณาความสอดคล้องของการเคลื่อนที่ระหว่างพื้นบันไดบน พื้นบันไดล่างและชานพัก เพื่อหาค่าโมเมนต์บิดในพื้นบันไดและ เสนอแนะว่าโมเมนต์บิดที่คำนวณได้มีค่าน้อยและไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบ

Simon และ Chetty<sup>(10)</sup> (1975) ได้ดัดแปลงโครงสร้างจำลองที่เสนอโดย Fuchsteiner<sup>(1)</sup> Cusen และ Kuang<sup>(8)</sup> และวิธีวิเคราะห์แบบแผ่นพื้นทับที่เสนอโดย Siev<sup>(9)</sup> เพื่อนำมาวิเคราะห์บันไดยื่นอิสระแบบแผ่นพื้นตันที่ดัดแปลงเพิ่มพื้นบันไดลงในชานพัก และเรียกบันไดยื่นอิสระแบบแผ่นพื้นตันที่ดัดแปลงนี้ว่า "บันไดยื่นอิสระแบบสามช่วงบันได" (three-flight free standing staircase) ซึ่งรูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของบันไดชนิดนี้พร้อมโครงสร้างจำลองในรูปโครงข้อแข็งในสามมิติ

งานวิจัยที่กล่าวถึงข้างต้น เป็นผลงานที่เสนอแนะวิธีวิเคราะห์โดยประมาณสำหรับบันไดยื่นอิสระแบบแผ่นพื้นตันเท่านั้น งานวิจัยที่ทดลองศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกจากการทดลองจากบันไดทดสอบขนาดเท่าของจริงและย่อส่วน มีดังนี้

Liebenberg<sup>(4)</sup> (1956) ได้เสนอผลการทดลองบันไดยื่นอิสระแบบแผ่นพื้นตันทำด้วยคอนกรีต เสริมเหล็กขนาดเท่าของจริง นอกจากนั้นยังได้เสนอผลการทดลอง<sup>(11)</sup> แบบจำลองย่อส่วนทำด้วยสารอีพ็อกซี (epoxy resin) เพื่อหาการกระจายของแรงภายในโดยการทดลองวิธีโฟโต้อีลาสติก (photoelastic method) และได้เสนอแนะว่า โมเมนต์บิดในพื้นบันไดที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณหาค่าได้โดยวิธีของ Siev<sup>(9)</sup> ซึ่งให้ค่าโมเมนต์บิดมากกว่าที่เกิดขึ้นจริง นอกจากนั้นบริเวณจุดต่อระหว่างพื้นบันไดบน พื้นบันไดล่างและชานพักจะเกิดการรวมตัวของหน่วยแรง (stress concentration) ซึ่งควรนำมาพิจารณาในการออกแบบ และการใช้ส่วนปลอดภัย (safety factor) เป็นสองในบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นการเพียงพอ

Cusen และ Kuang<sup>(5)</sup> (1966) เสนอผลการทดลองบันไดยื่นอิสระแบบแผ่นพื้นตันทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กย่อส่วนหนึ่งต่อสอง เพื่อเปรียบเทียบค่าแรงภายในจากการทดลองและจากการวิเคราะห์โดยประมาณ และเสนอแนะว่าการวิเคราะห์แบบแผ่นพื้นทับที่เสนอโดย Siev<sup>(9)</sup> และโครงสร้างจำลองในรูปโครงข้อแข็งในสามมิติที่ทั้งสองเสนอ<sup>(8)</sup> สามารถใช้

ออกแบบบันไดยื่นอิสระแบบแผ่นพื้นต้น และในการออกแบบควรคำนึงถึงการเคลื่อนที่ในแนวราบของ  
 ขานพักบันไดด้วย โดยอัตราส่วนของการเคลื่อนที่ในแนวราบที่เกิดขึ้นต่อผลรวมของความยาว  
 พื้นบันไดและระยะห่างระหว่างพื้นบันไดบนและพื้นบันไดล่างไม่ควรเกิน  $\frac{1}{5000}$

Chandrashekhara และ Srinivasn<sup>(12)</sup> (1972) ศึกษาพฤติกรรมของบันได  
 ยื่นอิสระแบบแผ่นพื้นต้นจากแบบจำลองย่อส่วนทำด้วยสารอีพ็อกซี (epoxy) โดยวิธีไฟโต้-  
 อีลาสติค เพื่อเปรียบเทียบผลกับการวิเคราะห์โดยประมาณที่เสนอโดย Siev<sup>(9)</sup> Cusen และ  
 Kuang<sup>(8)</sup> และ Gould<sup>(7)</sup> และเสนอแนะว่าหน่วยแรงที่คำนวณได้จากทั้งสามวิธีมีค่าใกล้เคียงกับ  
 หน่วยแรงที่วัดได้จากการคำนวณโดยมีค่ามากกว่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริง นอกจากนั้นจะเกิดการรวม  
 ตัวของหน่วยแรงบริเวณจุดต่อระหว่างพื้นบันไดบน พื้นบันไดล่าง ซึ่งไม่สามารถคำนวณได้จากการ  
 วิเคราะห์โดยประมาณทั้งสามวิธี

Simon และ Chetty<sup>(10)</sup> 1975 ทดลองศึกษาพฤติกรรมของบันไดยื่นอิสระแบบ  
 แผ่นพื้นต้นที่มีสามช่วงบันไดจากแบบจำลองย่อส่วนทำด้วยเหล็กแผ่น เชื่อมขึ้นรูป เป็นบันได เพื่อ เปรียบ  
 เทียบผลกับการวิเคราะห์โดยประมาณที่ทั้งสองเสนอ และได้เสนอแนะว่า วิธีวิเคราะห์แบบแผ่นพื้น  
 พับเป็นวิธีวิเคราะห์ที่ให้ค่าหน่วยแรงภายในโครงสร้างใกล้เคียงกับที่วัดได้จากการทดลอง โดยมี  
 ค่าค่อนข้างมากกว่า จึงน่าจะเป็นวิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสม สำหรับบันไดยื่นอิสระแบบแผ่นพื้นต้น  
 ที่มีสามช่วงบันได ขณะที่การวิเคราะห์แบบโครงข้อแข็งในสามมิติให้ค่าหน่วยแรงภายในโครงสร้าง  
 ต่างจากที่วัดได้จากการทดลองค่อนข้างน้อยกว่า นอกจากนั้นบริเวณจุดต่อระหว่างพื้นบันไดบน  
 พื้นบันไดล่างและขานพัก จะเกิดการรวมตัวของหน่วยแรงซึ่งควรจะนำมาพิจารณาในการออกแบบ

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพอจะสรุปได้ว่า การวิเคราะห์โดยประมาณทั้งสองวิธีคือ การ  
 วิเคราะห์แบบโครงข้อแข็งในสามมิติ และการวิเคราะห์แบบแผ่นพื้นพับสามารถใช้ในการออกแบบ  
 บันไดยื่นอิสระที่มีภาพฉายของพื้นบันไดบนและพื้นบันไดล่างขนานกันบนระนาบของขานพัก และให้  
 ผลเป็นที่น่าเชื่อถือได้ นอกจากนั้นการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีมีหลักการทั่ว ๆ ไป ไม่จำกัดอยู่เฉพาะ  
 บันไดรูปทรงนี้เท่านั้น จึงน่าสนใจที่จะศึกษาความเป็นไปได้ และประยุกต์วิธีวิเคราะห์ทั้งสองแบบ  
 สำหรับบันไดยื่นอิสระแบบแผ่นพื้นต้นซึ่งมีพื้นบันไดตั้งฉากกันและมีขานพักอยู่ตรงกลาง พร้อมทั้ง  
 ทดลอง เปรียบ เทียบพฤติกรรมการรับน้ำหนักกับผลการวิเคราะห์โดยประมาณทั้งสองแบบ