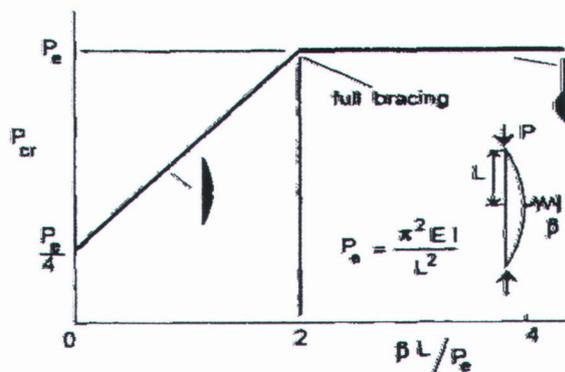


บทที่ 2 ปรีทัศน์วรรณกรรม

เนื้อหาบทนี้กล่าวถึงงานวิจัยในอดีต โดยจำแนกออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับค้ำยัน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์การค้ำยัน

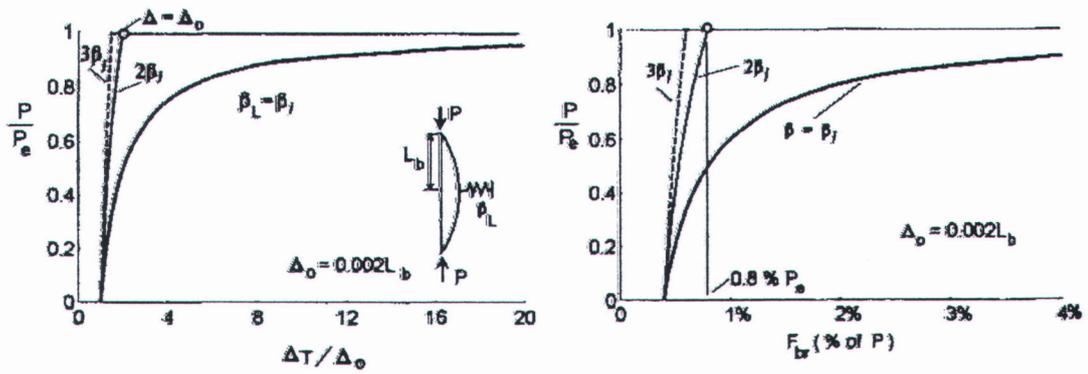
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับค้ำยัน

Winter G. [1] ศึกษาหาค่าสติฟเนสของค้ำยันที่สภาวะค้ำยันเต็มที่ (Full bracing) คือ สภาวะที่ทำให้เสาเกิดการโก่งเดาะระหว่างช่วงค้ำยันและเกิดค่าแรงอัดวิกฤตสูงสุด พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดวิกฤตกับค่าสติฟเนสค้ำยันในช่วงก่อนเกิดพฤติกรรมแบบค้ำยันเต็มที่จะมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น และค่าสติฟเนสของค้ำยันที่ทำให้เกิดสภาวะค้ำยันเต็มที่พิจารณาจากเสาสมบูรณ์ คือ $2Pe/L$ ดังรูปที่ 2.1



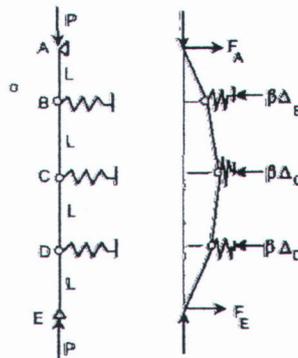
รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดวิกฤตกับค่าสติฟเนสของค้ำยัน [1]

ต่อมาเขาทำการทดลองวัดแรงในค้ำยันทางด้านข้างเพื่อเปรียบเทียบกับผลทางทฤษฎี พบว่าค่าสติฟเนสที่ทำให้เกิดสภาวะค้ำยันเต็มที่ตามทฤษฎีนั้น ไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดสภาวะค้ำยันเต็มที่ในความเป็นจริง เนื่องจากเสามีความไม่สมบูรณ์ตั้งต้น (Initial imperfection) เกิดอยู่ เขาจึงพัฒนาสมการขึ้นใหม่โดยพิจารณาผลของความไม่สมบูรณ์ตั้งต้น พบว่าค่าสติฟเนสของค้ำยันที่เพียงพอจะทำให้เสาเกิดการโก่งเดาะระหว่างค้ำยันนั้นควรมีค่าไม่น้อยกว่า 2 เท่าของกรณีเสาสมบูรณ์ และให้ค่าแรงในค้ำยันมากที่สุดเท่ากับ 0.8% ของแรงอัดวิกฤต ดังรูปที่ 2.2

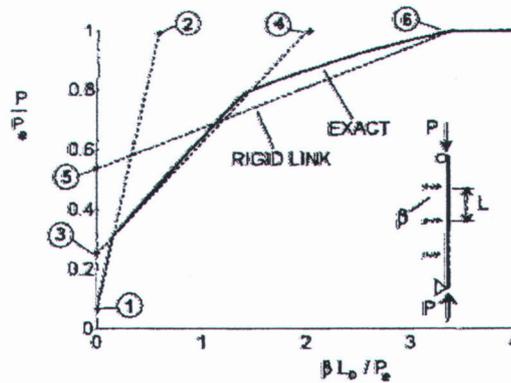


รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดวิกฤตกับค่าการเสียรูปและแรงในค้ำยัน [1]

Yura J.A. [2] ศึกษาพฤติกรรมของค้ำยันก่อนถึงสภาวะค้ำยันเต็มที่ โดยใช้แบบจำลองของวินเตอร์ในการทำนาย กรณีศึกษาเป็นเสาที่ถูกค้ำยัน 3 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เสาที่ถูกค้ำยัน 3 ตำแหน่ง [2]

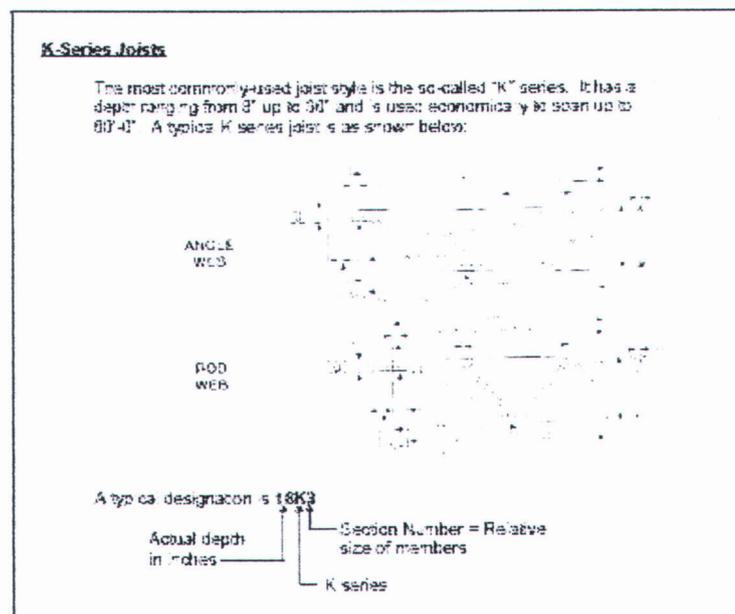


รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการของวินเตอร์กับค่าผลเฉลยแม่นยำตรง [2]

รูปที่ 2.4 เส้นประคือเส้นจากแบบจำลองวินเตอร์ โดยการหาความสัมพันธ์ของแรงอัดวิกฤตกับสติเฟนสของค้ำยันทางด้านข้างที่ละโหมด แล้วลากเส้นของแต่ละคำตอบเชื่อมกันจะสามารถประมาณพฤติกรรมก่อนค้ำยันเต็มที่ได้ เส้นปะจากจุดที่ 1 ถึงจุดที่ 2 คือความสัมพันธ์ของ

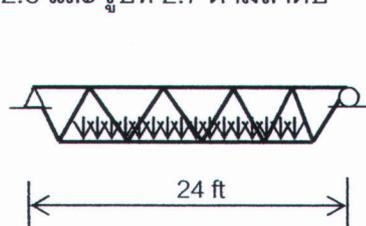
แรงอัดวิกฤตกับสลิปเฟนซ์ของค้ำยันทางด้านข้างในโหมดที่ 1 เส้นปะจากจุดที่ 3 ถึงจุดที่ 4 และเส้นปะจากจุดที่ 5 ถึงจุดที่ 6 คือความสัมพันธ์ของโหมดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ในขณะที่เส้นทึบคือเส้นจากผลเฉลยแม่นยำ (Exact solution) เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์พบว่าให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน

พรรณนา เทราบัตย์ และ ประกิจ เปรมธรรมกร [3] ศึกษาพฤติกรรมการโก่งเดาะทางด้านข้างของคานเหล็กสำเร็จรูปแบบเอนเปิด (Open web steel joist) โดยคานเหล็กสำเร็จรูปแบบเอนเปิดที่ใช้ในการทดลอง คือ ชนิด 12K1 (เป็นรหัสที่ใช้บอกชนิดของคานสำเร็จรูปที่มีการผลิตกันในปัจจุบัน ดูรายละเอียดตามรูปที่ 2.5)



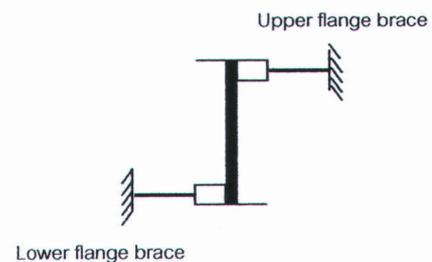
รูปที่ 2.5 รหัสที่ใช้บอกชนิดของคานสำเร็จรูปที่มีการผลิต

แบบจำลองการทดสอบเป็นฐานรองรับแบบยึดหมุนอย่างง่าย (Simple support) ที่ปลายทั้งสองด้าน ซึ่งมีแรงกระทำกระจายตลอดปีกล่าง และถูกค้ำยันที่กึ่งกลางคานทั้งปีกบนและปีกล่าง ดังรูปที่ 2.6 และ รูปที่ 2.7 ตามลำดับ



Side view

รูปที่ 2.6 แบบจำลองการทดสอบด้านข้าง [3]

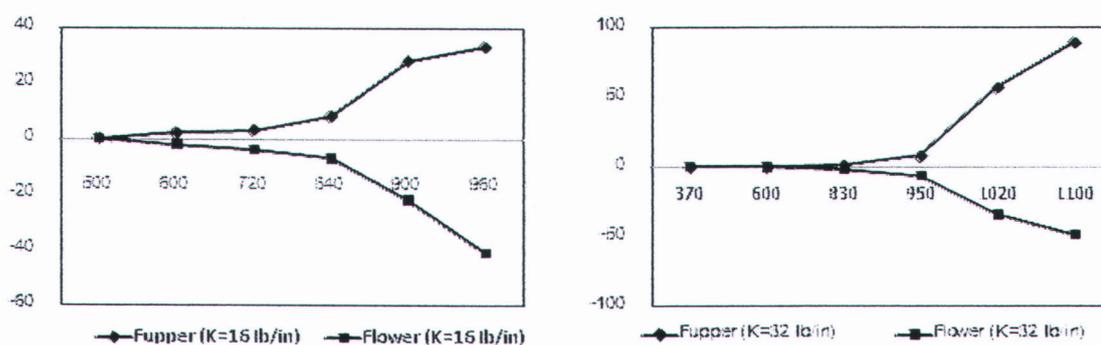


รูปที่ 2.7 การติดตั้งค้ำยัน [3]

กรณีศึกษาแบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ กรณีที่ไม่มีค้ำยัน กรณีที่ค้ำยันมีค่าความแข็งแรง (Stiffness) เท่ากับ 16 lb/in, 32 lb/in ตามลำดับ โดยทำการวัดแรง 2 ชนิด คือ แรงอัดวิกฤต และ แรงในค้ำยัน ดังตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 ค่าแรงอัดวิกฤตที่วัดจากการทดลอง

Critical Load (Uniform load ,lb/ft)				
First Mode	Test1(Unbraced)	Test2(k=16lb/in)	Test3(k=32lb/in)	Second Mode
600	500	820	950	1810

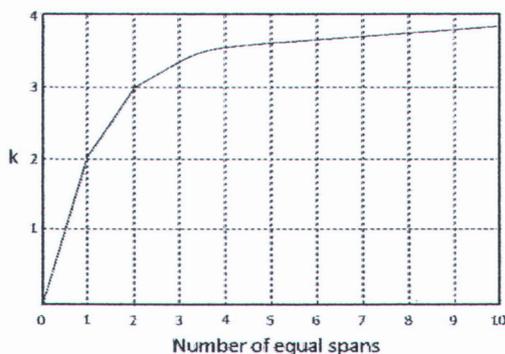


รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดวิกฤตกับแรงในค้ำยันที่สตีฟเนส 16 lb/in, 32 lb/in [3]

จากตารางที่ 2.1 พบว่า คานเหล็กสำเร็จรูปกรณีไม่มีค้ำยัน ค่าแรงอัดวิกฤตที่วัดได้มีค่าน้อยกว่าแรงอัดวิกฤตตามทฤษฎีแบบการโก่งเดาะในโหมดที่ 1 (โก่งเดาะรูปครึ่งลูกคลื่น) ส่วนการทดลองที่ 2 และ 3 ค่าแรงอัดวิกฤตที่วัดได้มีค่าระหว่างช่วงการโก่งเดาะในโหมดที่ 1 และ 2 แสดงว่าค่าความแข็งแรงของค้ำยันนั้นน้อยกว่าค่าความแข็งแรงในอุดมคติตามทฤษฎีของวินเตอร์ ส่วนแรงภายในค้ำยันที่วัดจากการทดลองจะมีค่าต่ำกว่าวินเตอร์ ที่สภาวะ $P \leq P_{cr}$ แต่หากพิจารณาที่สภาวะหลังการโก่งเดาะของโครงสร้างจะมีค่ามากกว่าทฤษฎีของวินเตอร์ ดังรูปที่ 2.8 ดังนั้นหากต้องการออกแบบแรงในค้ำยันให้ครอบคลุมถึงพฤติกรรมหลังการโก่งเดาะแล้วควรให้แรงในค้ำยัน เท่ากับ 2 เท่าของทฤษฎีวินเตอร์

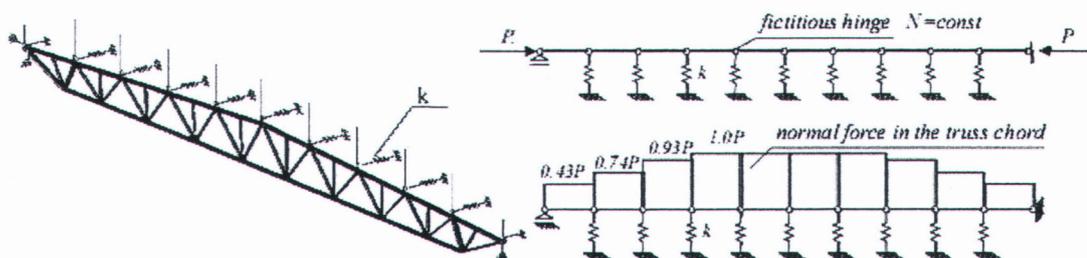
AISC [4] คือมาตรฐานที่กำหนดการหาค่าแรงในค้ำยัน ว่ามีค่าเท่ากับ 1% แรงอัดตามแนวแกน เริ่มจากศึกษาหาค่าสตีฟเนสของค้ำยันในอุดมคติ (Ideal stiffness) ที่มากที่สุด โดยหลักการพื้นฐานของวินเตอร์ พบว่า เมื่อทำการเพิ่มจำนวนค้ำยันขึ้นเรื่อยๆ ค่าความแข็งแรงของ

ค้ำยันในอุดมคติ จะมีค่าสูงเข้า $4P_{cr}/L$ ดังรูปที่ 2.9 ค่าดังกล่าวสามารถนำมาคำนวณหาแรงในค้ำยันได้โดยสมการ $F = 2K_i \times D$ เมื่อ K_i คือ ค่าความแข็งแกร่งในอุดมคติของค้ำยัน และ D คือค่าการเสี้ยวรูปที่มากที่สุด ณ จุดค้ำยัน ซึ่งค่าการเสี้ยวรูปดังกล่าวจะมีค่ามากที่สุดไม่เกิน $L/500$ หากออกแบบค้ำยันให้มีค่าสติเฟนมากกว่าหรือเท่ากับ $2K_i$ [4] ด้วยเหตุนี้ค่าแรงที่มากที่สุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในค้ำยันจึงมีค่าไม่เกิน 1.6% ของแรงอัดตามแนวแกน

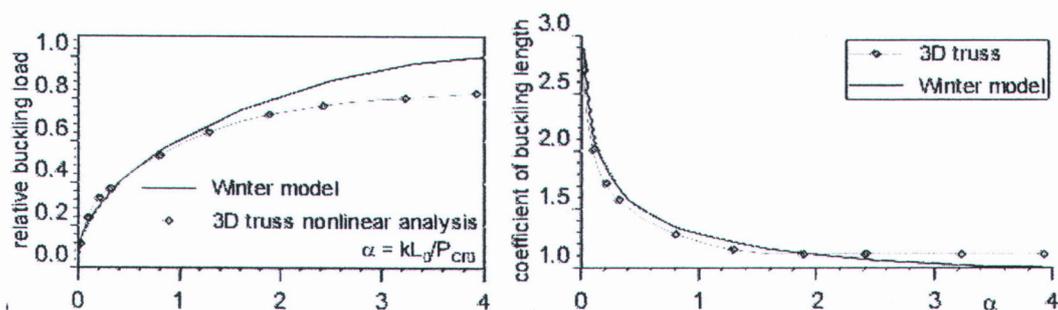


รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนค้ำยันกับค่าความแข็งแกร่งในอุดมคติของค้ำยัน

Iwicki P. [5] งานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบเสถียรภาพคอร์คอบนของโครงถักที่ถูกค้ำยันทางข้างระหว่างแบบจำลองของวินเตอร์ กับ การวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้นสามมิติ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แบบจำลองการวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้นสามมิติ และ แบบจำลองของวินเตอร์ [5]



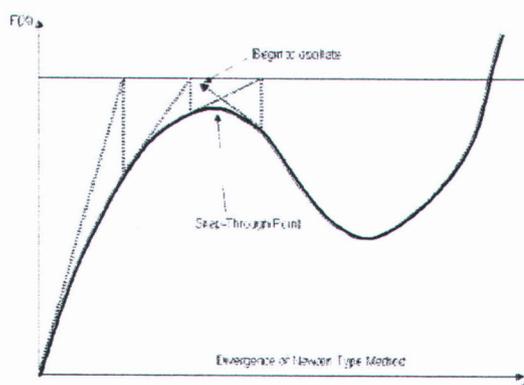
รูปที่ 2.11 ผลการวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้นสามมิติกับแบบจำลองของวินเตอร์ [5]

ผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกวิกฤตกับค่าสติฟเนสของค้ำยัน พบว่า การวิเคราะห์ทั้งสองแบบให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันเมื่อค่าสติฟเนสสูงขึ้น การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองของวินเตอร์จะให้ค่าหน่วยแรงอัดวิกฤติในคอร์ดับนของโครงถักสูงกว่าการวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้นสามมิติ เนื่องจากการโก่งเดาะบางชิ้นส่วนของโครงถักหลัก ส่วนที่ 2 กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า effective length กับค่าสติฟเนสของค้ำยัน พบว่า ค่าสติฟเนสเท่ากับ $4P_{cr}/L_0$ ไม่สามารถทำให้การวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้นสามมิติเกิดการโก่งเดาะระหว่างช่วงค้ำยัน ดังรูปที่ 2.11

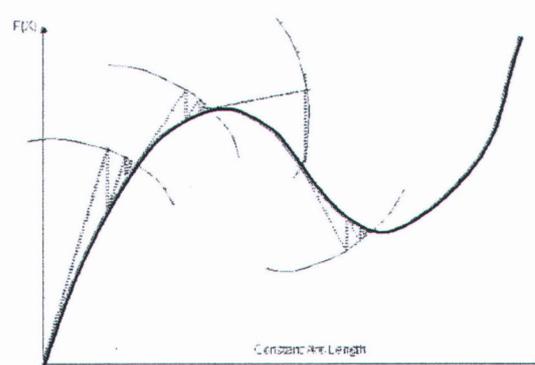
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์การคำนวณ

ยศ มีอนันต์ และคณะ [6] งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนสามมิติแบบไร้เชิงเส้นทางเรขาคณิตด้วยภาษาฟอร์แทรน (Fortran) โดยใช้วิธีการของนิวตัน-ราฟสันในการคำนวณหาการลู่เข้าของคำตอบ ผลลัพธ์ที่ได้เปรียบเทียบกับ การวิเคราะห์ด้วยวิธีพลังงาน (Energy Method)

Ahmed B. [7] กล่าวถึงการเปรียบเทียบระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical method) ที่ใช้วิเคราะห์ปัญหาแบบไร้เชิงเส้น ระหว่าง วิธีนิวตัน-ราฟสัน กับ วิธี arc-length ดังรูปที่ 2.12 และ 2.13 ตามลำดับ วิธีนิวตัน-ราฟสัน เหมาะแก่การนำมาใช้หากการลู่เข้าของคำตอบเพราะมีความง่ายในการคำนวณมากกว่า แต่มีข้อจำกัดคือ หากคำตอบของระบบสมการ อยู่ใกล้กับจุดวิกฤต (Critical point) หรือมีค่ามากกว่าจุดวิกฤต การหาคำตอบจะเป็นไปได้ยาก เช่น การวิเคราะห์พฤติกรรมหลังการโก่งเดาะ (Post buckling) ของโครงสร้าง เป็นต้น จะต้องใช้ระเบียบวิธี Arc-length แทน ดังรูปที่ 2.12 และ 2.13 ตามลำดับ

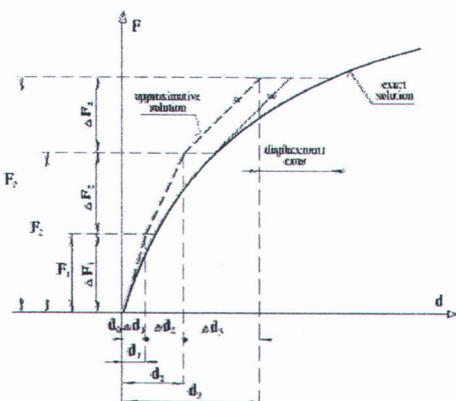


รูปที่ 2.12 วิธีการ นิวตัน-ราฟสัน [7]

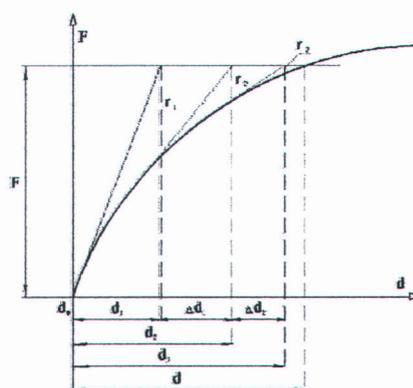


รูปที่ 2.13 วิธีการ arc-length method [7]

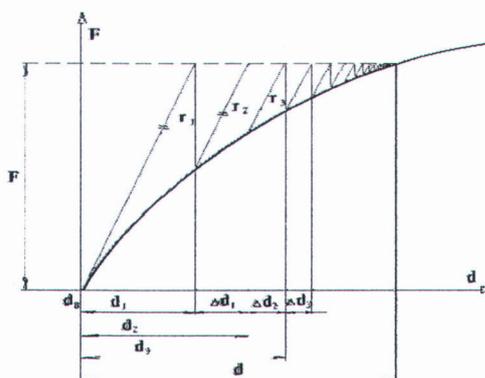
Ivanco V. [8] ทบทวนระเบียบวิธีเชิงตัวเลขสำหรับแก้ระบบสมการแบบไร้เชิงเส้น 3 วิธี คือ 1. วิธีเพิ่มทีละชั้น วิธีนี้จะแบ่งน้ำหนักบรรทุกภายนอกออกเป็นช่วงย่อย แล้วใช้สมการเชิงเส้นแก้หาคำตอบในแต่ละช่วง ซึ่งคำนวณง่ายแต่เสียเวลามากกว่าวิธีอื่น เนื่องจากต้องแบ่งช่วงน้ำหนักบรรทุกภายนอกให้เล็กลงเพื่อให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนสะสมน้อยที่สุด 2. วิธีนิวตัน-ราฟสันแบบทั่วไป จะใช้สตีเฟนส์สัมผัสกระทำซ้ำในแต่ละช่วงการคำนวณ เป็นวิธีที่นิยมมากเนื่องจากใช้จำนวนรอบกระทำซ้ำน้อย สุดท้ายคือ วิธีนิวตัน-ราฟสันแบบดัดแปลง วิธีนี้มีขั้นตอนในการหาคำตอบคล้ายกับวิธีนิวตัน-ราฟสันแบบทั่วไป ต่างกันตรงค่าสตีเฟนส์สัมผัสที่ใช้คำนวณจะกำหนดเป็นค่าคงที่ ซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาในการคำนวณ แต่จำนวนรอบกระทำซ้ำ (Iteration) จะมากกว่า แสดงดังรูปที่ 2.14, 2.15, 2.16 ตามลำดับ



รูปที่ 2.14 วิธี Incremental method [8]



รูปที่ 2.15 วิธี Standard Newton-Raphson [8]



รูปที่ 2.16 วิธี Modified Newton-Raphson method [8]

Smittakorn W. [9] งานวิจัยนี้ได้เสนอซอฟต์แวร์สำหรับวิเคราะห์โครงสร้างที่พัฒนาขึ้นเอง ด้วยภาษาจาวาและหลักการไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ออกแบบหรือผู้พัฒนาโปรแกรม เช่น นักวิจัย นักศึกษาหรือวิศวกร เป็นต้น โดยโปรแกรมหดงกล่าวถูกพัฒนาเพื่อแก้ปัญหาการวิเคราะห์โครงสร้างข้อหมุนและโครงสร้างแข็งสองมิติแบบเชิงเส้นสถิตย์