



บทที่ 3

การหารูปแบบ และการหาแบบตัดที่เหมาะสมที่สุดของโครงสร้างเปลือกบาง

3.1 คำนำ

ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 การหารูปแบบโครงสร้างเปลือกบางอาศัยการเปรียบเทียบจากผิวพองสบู่ที่มีหน่วยแรงดึงสม่ำเสมอ โดยพิจารณาให้หน่วยแรงดึงเป็นค่าคงที่ซึ่งสามารถแยกออกจากสมการได้ วิธีการหารูปแบบประกอบด้วย วิธีกริด (grid method) (Siev และ Eidelman, 1964) และวิธีปรับพิภักอ้างอิง (the updated reference strategy) (Bletzinger และ Ramm, 1999) เมื่อได้พื้นผิวของโครงสร้างเปลือกบางที่มีหน่วยแรงดึงเป้าหมาย ขั้นตอนถัดไปเป็นการหาแบบตัดซึ่งเมื่อนำมาประกอบขึ้นรูปแล้วต้องได้โครงสร้างที่มีเรขาคณิตและค่าหน่วยแรงดึงตามที่ออกแบบ การหาแบบตัดอาศัยการนำพื้นผิวโครงสร้างที่ต้องการในสามมิติมาลดค่าหน่วยแรงให้เข้าใกล้ศูนย์และปรับลดรูปลงในระนาบสองมิติ แบบตัดที่ได้จึงมีค่าพิภัก X_3 เท่ากับศูนย์ การหาแบบตัดในงานวิจัยนี้เริ่มด้วยการปรับพื้นผิวในสามมิติลดรูปลงในระนาบสองมิติ โดยค่าพิภักสองมิติที่ได้จากการลดรูปนี้ถูกใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวณพิภักที่เหมาะสมที่สุดซึ่งส่งผลให้เกิดค่าหน่วยแรงเป้าหมาย วิธีการคำนวณพิภักที่เหมาะสมในสองมิติอาศัยการปรับเปลี่ยนพิภักของแบบตัดเพื่อให้เกิดค่าหน่วยแรงเป้าหมายในพื้นที่สามมิติด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

3.2 การหารูปแบบโครงสร้างเปลือกบาง

การหารูปแบบพื้นผิวโครงสร้างเปลือกบางประกอบด้วยสองขั้นตอนได้แก่ การขึ้นรูปพื้นผิวและการปรับค่าหน่วยแรงในพื้นที่ผิว การขึ้นรูปพื้นผิวอาศัยวิธีกริด และการปรับค่าหน่วยแรงในพื้นที่ผิวอาศัยการกำหนดค่าหน่วยแรงเป้าหมายเป็นค่าหน่วยแรงเริ่มต้นและทำการคำนวณซ้ำจนค่าหน่วยแรงเริ่มต้นเท่ากับค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ผิว วิธีการดังกล่าวเรียกว่าวิธีปรับพิภักอ้างอิง

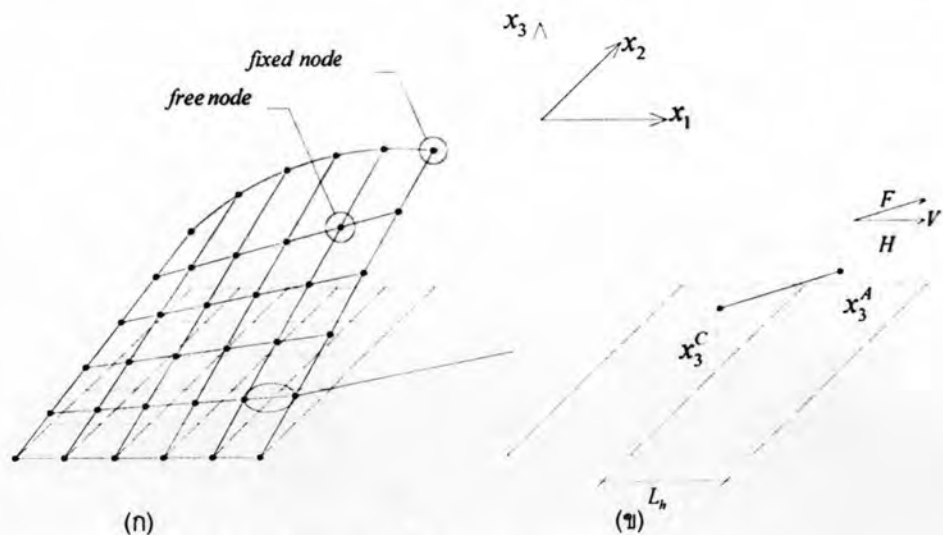
3.2.1 วิธีกริด

วิธีกริดอาศัยสมการสมดุลของจุดต่อในการคำนวณค่าพิกัดแฉวตั้งของจุดต่อ โดยแบ่งพื้นผิวออกเป็กริดดังรูปที่ 3.1(ก) และพิจารณาให้จุดต่อภายในของกริดสามารถเคลื่อนที่ได้อิสระ ในขณะที่จุดต่อภายนอกบริเวณขอบถูกยึดแน่น เมื่อพิจารณาสมดุลของกริดในแนวราบสามารถเขียนสมการสมดุลของกริดในแนวตั้งจากมุมเงยที่จุดต่อดังรูปที่ 3.1(ข) ได้ดังนี้ (Siev และ Eidelman, 1964)

$$V = \frac{H}{L_h} (Z_A - Z_C) \quad (3.1)$$

โดยที่ V แทนค่าแรงกระทำในแนวตั้ง; H แทนค่าแรงกระทำในแนวราบ; Z_A แทนพิกัดแนวตั้งของจุดต่อ A ; Z_C แทนพิกัดแนวตั้งของจุดต่อ C ; และ L_h แทนความยาวของเส้นกริดระหว่างจุดต่อ A และ C ที่วัดในแนวราบ

งานวิจัยนี้อาศัยหลักการดังกล่าวในการคำนวณพิกัดของจุดต่ออิสระของโครงสร้างเปลือกบาง (จุดต่อภายใน) ซึ่งเป็นผลจากการกำหนดพิกัดจุดต่อภายนอกหรือพิกัดบริเวณขอบของโครงสร้าง โดยเมื่อพิจารณาสมการที่ (2.135) จะเห็นว่าในการคำนวณพิกัดขึ้นรูปของโครงสร้างพิจารณาเฉพาะ $'K_{nn}$ ซึ่งคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงเชิงเรขาคณิตของระบบโครงสร้างแต่ไม่พิจารณา $'K_{\tau}$ ซึ่งคำนวณจากคุณสมบัติวัสดุ (สมมติ C มีค่าน้อย) กล่าวคือแรงกระทำที่จุดต่อคำนวณจากเรขาคณิตของระบบโครงสร้างเท่านั้น



รูปที่ 3.1 การคำนวณพิกัดพื้นผิวโครงสร้างเปลือกบางโดยวิธีกริด

3.2.2 วิธีปรับพิกัดอ้างอิง

ภายหลังการขึ้นรูปโครงสร้างเปลือกบางโดยวิธีกริดต้องทำการปรับค่าหน่วยแรงในพื้นที่ผิวให้มีค่าสม่ำเสมอ โดยการสมมติค่าหน่วยแรงไฟโปลาเคอร์ซอพลำดับที่สอง σ (หน่วยแรงเริ่มต้น) ให้มีค่าเท่ากับหน่วยแรงโคชี σ (ค่าหน่วยแรงเป้าหมาย) จากนั้นแก้ปัญหасวมการที่ (2.135) เพื่อคำนวณพิกัดสุดท้าย x หากค่าหน่วยแรงโคชีที่คำนวณได้ยังไม่เท่ากับค่าหน่วยแรงเป้าหมาย ให้ทำการคำนวณซ้ำโดยการแทนพิกัดสุดท้าย x เป็นพิกัดอ้างอิง X (พิกัดเริ่มต้น) และแทนค่าหน่วยแรงเริ่มต้นด้วยค่าหน่วยแรงเป้าหมาย ทั้งนี้เพื่อป้องกันการบกพร่องค่าลำดับชั้น (rank deficiency) ของเมตริกซ์สติเฟนส์เชิงอาศัยวิธีเรกูลาร์ไรเซชันโดยพิจารณาค่าคงที่ λ ในการแยกสมการที่ (2.113) ออกเป็นสองพจน์ดังสมการ (Bletzinger และ Ramm, 1999)

$$\delta W = \lambda b \int_A (\mathbf{F} \cdot \mathbf{S}) : \delta \mathbf{F} dA + (1 - \lambda) b \int_A (\mathbf{F} \cdot \mathbf{S}) : \delta \mathbf{F} dA = 0 \quad (3.2)$$

แทน \mathbf{S} จากสมการที่ (2.57) ลงในพจน์แรกของสมการที่ (3.2)

$$\delta W = \lambda b \int_A \det \mathbf{F} (\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{F}^{-T}) : \delta \mathbf{F} dA + (1 - \lambda) b \int_A (\mathbf{F} \cdot \mathbf{S}) : \delta \mathbf{F} dA = 0 \quad (3.3)$$

สำหรับพื้นที่ผิวที่ต้องการคือพื้นที่ผิวที่มีลักษณะผิวพองสบู่ซึ่งมีค่าหน่วยแรงสม่ำเสมอกล่าวคือค่าหน่วยแรงไฟโปลาเคอร์ซอพลำดับที่สองเท่ากับหน่วยแรงโคชีดังสมการ

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{S} = \boldsymbol{\sigma} \mathbf{I} \quad (3.4)$$

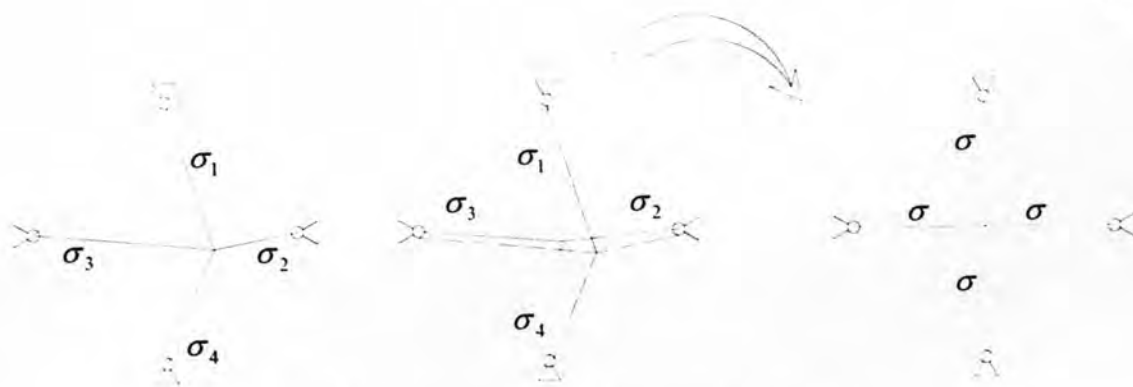
สมการที่ (3.3) สามารถเขียนใหม่สำหรับกรณีที่มีค่าหน่วยแรงสม่ำเสมอได้ในรูป

$$\delta W = sb \int_A (\lambda (\det \mathbf{F}) \mathbf{F}^{-T} + (1 - \lambda) \mathbf{F}) : \delta \mathbf{F} dA = 0 \quad (3.5)$$

โดยที่ $0 \leq \lambda < 1$

การเปลี่ยนแปลงค่า λ ส่งผลให้การเข้าสู่ค่าตอแตกต่างกัน (Bletzinger และ Ramm, 1999) โดยเมื่อพิจารณาจากเกรเดียนต์การเสียรูปเมื่อหน่วยแรงในพื้นที่ผิวมีค่าสม่ำเสมอจะไม่เกิดความเครียดขึ้นในพื้นที่ผิวดังนั้นเกรเดียนต์การเสียรูปสามารถเขียนในรูปเมตริกซ์เอกลักษณะ

งานวิจัยนี้ต้องการคำนวณค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงจากการเสียรูปของแบบตัดสองมิติเพื่อสร้างเรขาคณิตของพื้นผิวในสามมิติตามที่ต้องการ (หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงไม่จำเป็นต้องมีค่าสม่ำเสมอ) โดยในการหารูปแบบพื้นผิวอาศัยวิธีปรับพิกัดอ้างอิงและเลือกใช้ค่า $\lambda = 0$ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.2 เริ่มจากค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงแตกต่างกันในแต่ละชั้นส่วนย่อย จากนั้นทำการ

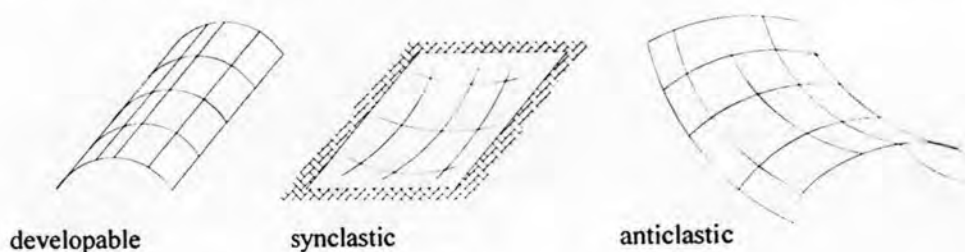


รูปที่ 3.2 การหารูปแบบโครงสร้างโดยวิธีปรับพิภักดอ้างอิง

ปรับพิภักดอ้างอิงของชิ้นส่วนย่อยจนกระทั่งไม่เกิดความเครียดขึ้นในโครงสร้างหรือหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงเท่ากันทุกชิ้นส่วนย่อย สังเกตว่าชิ้นส่วนย่อยมีหน่วยแรงที่เท่ากันทั้งหมดก็ต่อเมื่อผลรวมความยาวของชิ้นส่วนย่อยน้อยที่สุด

3.3 เทคนิคการลดรูปสู่ระนาบ

รูปแบบพื้นผิวโครงสร้างเปลือกบางแบ่งออกได้ 2 ประเภทได้แก่ พื้นผิวที่เกิดความเครียดภายหลังการลดรูปสู่ระนาบ และพื้นผิวที่ไม่เกิดความเครียดภายหลังการลดรูปสู่ระนาบ (developable surface) พื้นผิวประเภทแรกสามารถแบ่งออกได้อีก 2 ประเภทได้แก่ พื้นผิวที่มีความโค้งเกาส์เซียนบวกเรียกว่าพื้นผิวรูปโค้งลง (synclastic) ซึ่งสภาวะสมดุลของพื้นผิวต้องอาศัยแรงกระทำภายนอก และพื้นผิวที่มีความโค้งเกาส์เซียนลบเรียกว่าพื้นผิวโค้งรูปประทุน (anticlastic) ซึ่งอยู่ภายใต้สภาวะสมดุลของพื้นผิวเอง รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างรูปแบบพื้นผิวโครงสร้างประเภทต่างๆ โดยทั่วไปพื้นผิวโครงสร้างเปลือกบางเป็นพื้นผิวโค้งรูปประทุนซึ่งเกิดความเครียดเมื่อลดรูปสู่ระนาบ การลดค่าความเครียดที่เกิดขึ้นนี้สามารถทำได้โดยการตัดแถบพื้นผิวบริเวณที่เกิดความเครียด



รูปที่ 3.3 ประเภทของพื้นผิวโครงสร้าง

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติรูปแบบของแผ่นพื้นผิวถูกกำหนดด้วยขนาดความกว้างของวัสดุ (เช่นผ้าใบ เป็นต้น) ในกระบวนการผลิต ดังนั้นหากกำหนดเส้นตัดผ้าใบไม่เหมาะสมย่อมส่งผลให้สิ้นเปลืองวัสดุ และเพิ่มภาระในการทำงาน

การลดรูปสู่ระนาบของพื้นผิวโครงสร้างนั้นไม่ต้องการให้เกิดความเครียดขึ้น ดังนั้นค่าความแตกต่างระหว่างความยาวของชิ้นส่วนย่อยในพื้นที่สามมิติและพื้นผิวสองมิติควรมีค่าน้อยที่สุด ฟังก์ชันเป้าหมายในการคำนวณพื้นผิวสองมิติจึงสามารถเขียนในรูปกำลังสองน้อยที่สุดของผลต่างระหว่างความยาวของชิ้นส่วนย่อยในพื้นที่สองมิติและสามมิติ ตามสมการ

$$f(\Delta) = \frac{1}{2} \Delta^T \Delta \quad (3.6)$$

โดยที่ Δ แทนเวกเตอร์ของผลต่างระหว่างความยาวของชิ้นส่วนย่อยในพื้นที่สองมิติและสามมิติดังสมการ

$$\Delta_i = \sqrt{(x_{1,i}^1 - x_{1,i}^2)^2 + (x_{2,i}^1 - x_{2,i}^2)^2} - L_i \quad (3.7)$$

โดยที่ $x_{1,i}^j$ และ $x_{2,i}^j$ แทนพิกัด x_1 และ x_2 ของชิ้นส่วนย่อย i ที่จุดต่อ j ในระนาบสองมิติ เมื่อ $j=1$ และ $j=2$ แทนจุดต่อเริ่มต้นและจุดต่อปลายของชิ้นส่วนย่อยตามลำดับ; i แทนลำดับที่ของชิ้นส่วนย่อย; และ L_i แทนความยาวของชิ้นส่วนย่อย i ในพื้นผิวสามมิติซึ่งคำนวณตามสมการ

$$L_i = \sqrt{(X_{1,i}^1 - X_{1,i}^2)^2 + (X_{2,i}^1 - X_{2,i}^2)^2 + (X_{3,i}^1 - X_{3,i}^2)^2} \quad (3.8)$$

โดยที่ $X_{1,i}^j$, $X_{2,i}^j$ และ $X_{3,i}^j$ แทนพิกัด X_1 , X_2 และ X_3 ของชิ้นส่วนย่อย i ที่จุดต่อ j ในปริภูมิสามมิติ

3.4 การหาแบบตัดที่ทำให้เกิดหน่วยแรงเป้าหมาย

หลังจากการลดรูปพื้นผิวโครงสร้างลงสู่ระนาบสองมิติ ขั้นตอนถัดไปเป็นการหาแบบตัดของพื้นผิวในระนาบซึ่งเมื่อเกิดการเสียรูปจะได้เรขาคณิตและหน่วยแรงตรงกับพื้นผิวที่คำนวณไว้ในปริภูมิสามมิติ ดังนั้นจึงกำหนดหน่วยแรงโคชี (หน่วยแรงปัจจุบัน) ภายหลังจากการเสียรูปเป็นตัวแปรในสมการเป้าหมาย และกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและพิกัดบริเวณขอบของโครงสร้างตรงกับรูปแบบพื้นผิวในปริภูมิสามมิติ ฟังก์ชันเป้าหมายสามารถเขียนในรูปสมการ

$$f(\sigma) = \frac{1}{2} (\sigma - \sigma_0)^T (\sigma - \sigma_0) \quad (3.9)$$

โดยที่ σ แทนเวกเตอร์หน่วยแรงโคชี และ σ_0 แทนเวกเตอร์หน่วยแรงเป้าหมาย ซึ่งนิยามตามสมการ

$$\sigma = \begin{Bmatrix} \sigma_{11}^I \\ \sigma_{22}^I \\ \sigma_{12}^I \\ \vdots \\ \sigma_{11}^I \\ \sigma_{22}^I \\ \sigma_{12}^I \end{Bmatrix} \quad \text{และ} \quad \sigma_0 = \begin{Bmatrix} \sigma_0 \\ \sigma_0 \\ 0 \\ \vdots \\ \sigma_0 \\ \sigma_0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.10)$$

เมื่อ I แทนจำนวนชิ้นส่วนย่อย

3.5 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

การหาค่าตอบที่เหมาะสมที่สุดของสมการที่ (3.6) และสมการที่ (3.9) อาศัยวิธีเกรเดียนต์ และขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Mark, 2005)

3.5.1 วิธีเกรเดียนต์

วิธีเกรเดียนต์ (fminunc ใน Matlab) อาศัยวิธีควาไซ-นิวตัน (quasi-Newton method) และวิธีค้นหาเชิงเส้น (line search) ซึ่งถูกพัฒนาจากวิธีนิวตันโดยการสร้างฟังก์ชันพหุนามกำลังสองที่มีค่าอนุพันธ์อันดับหนึ่งและอันดับสองที่จุดสัมผัสเท่ากับฟังก์ชันเป้าหมาย และใช้ฟังก์ชันพหุนามกำลังสองดังกล่าวในการประมาณค่าต่ำสุดแทนฟังก์ชันเป้าหมาย การประมาณค่าฟังก์ชันพหุนามกำลังสองอาศัยอนุกรมเทเลอร์รอบพิกัดปัจจุบัน $\mathbf{x}^{(k)}$ และไม่คิดพจน์อันดับสูง (Edwin และ Stanislaw, 2001)

$$f(\mathbf{x}) \approx f(\mathbf{x}^{(k)}) + (\mathbf{x} - \mathbf{x}^{(k)})^T \mathbf{g}^{(k)} + \frac{1}{2} (\mathbf{x} - \mathbf{x}^{(k)})^T \mathbf{H}^{(k)} (\mathbf{x} - \mathbf{x}^{(k)}) \quad (3.11)$$

โดยที่ \mathbf{x} แทนเวกเตอร์ของพิกัด x_1 และ x_2 ของจุดต่อทั้งหมดสำหรับสมการที่ (3.6) และจุดต่อบริเวณขอบสำหรับสมการที่ (3.9) เมื่อ $\mathbf{g}^{(k)} = \nabla f(\mathbf{x}^{(k)})$ แทนเกรเดียนต์ของฟังก์ชันเป้าหมายในรอบพิกัดปัจจุบัน และ $\mathbf{H}^{(k)} = \nabla^2 f(\mathbf{x}^{(k)})$ แทนเมตริกซ์เฮสเซียนในรอบพิกัดปัจจุบัน การคำนวณอนุพันธ์อันดับหนึ่งสำหรับเงื่อนไขจำเป็น (first-order necessary condition) ในสมการที่ (3.11) แสดงได้ดังสมการ

$$\mathbf{g}^{(k)} + \mathbf{H}^{(k)} (\mathbf{x} - \mathbf{x}^{(k)}) = \mathbf{0} \quad (3.12)$$

พิจารณาให้ $\mathbf{H}^{(k)}$ มีคุณสมบัติเป็นบวกแน่นอน (positive definite) สมการที่ (3.11) ให้ค่าน้อยที่สุดเมื่อ

$$\mathbf{x}^{(k+1)} = \mathbf{x}^{(k)} - (\mathbf{H}^{(k)})^{-1} \mathbf{g}^{(k)} \quad (3.13)$$

วิธีควอไซ-นิวตันอาศัยการปรับปรุงสมการที่ (3.13) ดังนี้

$$\mathbf{x}^{(k+1)} = \mathbf{x}^{(k)} + \alpha^{(k)} \mathbf{d}^{(k)} \quad (3.14)$$

โดยที่ $\alpha^{(k)}$ แทนค่าพารามิเตอร์ความยาวขั้นซึ่งมีระยะทางสั้นที่สุดในรอบพิกัดปัจจุบัน และ $\mathbf{d}^{(k)}$ แทนค่าทิศทางที่เหมาะสมสำหรับรอบพิกัดปัจจุบันซึ่งคำนวณตามสมการ

$$\mathbf{d}^{(k)} = -(\mathbf{H}^{(k)})^{-1} \mathbf{g}^{(k)} \quad (3.15)$$

โดยที่เมตริกซ์เฮสเซียน $\mathbf{H}^{(k)}$ มีคุณสมบัติสมมาตรและบวกแน่นอนสามารถคำนวณโดยวิธี BFGS (Broyden, Fletcher, Goldfarb และ Shanno, 1970) ตามสมการ

$$\mathbf{H}^{(k+1)} = \mathbf{H}^{(k)} + \frac{\Delta \mathbf{g}^{(k)} (\Delta \mathbf{g}^{(k)})^T}{(\Delta \mathbf{g}^{(k)})^T \Delta \mathbf{x}^{(k)}} - \frac{(\mathbf{H}^{(k)})^T (\Delta \mathbf{x}^{(k)})^T \Delta \mathbf{x}^{(k)} \mathbf{H}^{(k)}}{(\Delta \mathbf{x}^{(k)})^T \mathbf{H}^{(k)} \Delta \mathbf{x}^{(k)}} \quad (3.16)$$

โดยที่ $\Delta \mathbf{x}^{(k)} = \mathbf{x}^{(k+1)} - \mathbf{x}^{(k)}$ และ $\Delta \mathbf{g}^{(k)} = \mathbf{g}^{(k+1)} - \mathbf{g}^{(k)}$

การคำนวณค่าเกรเดียนต์สำหรับฟังก์ชันเป้าหมาย $\mathbf{g}^{(k)}$ อาศัยวิธีเชิงตัวเลขโดยใช้วิธีผลต่างอันตะ (finite differences) และการคำนวณค่าพารามิเตอร์ความยาว $\alpha^{(k)}$ อาศัยวิธีพหุนามกำลังสามหรือกำลังสองผสม (mixed cubic/quadratic polynomial method)

3.5.2 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีการแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุดบนพื้นฐานการคัดเลือกเพื่อวิวัฒนาการโดยธรรมชาติ สายพันธุ์คำตอบในรุ่นถัดไปเกิดจากการพัฒนาสายพันธุ์คำตอบที่มีอยู่ในรุ่นปัจจุบันโดยพิจารณาวิวัฒนาการของสายพันธุ์ในทางเหมาะสมที่สุด การแก้ปัญหาโดยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถประยุกต์ใช้สำหรับสมการเป้าหมายแบบไม่ต่อเนื่องที่ไม่สามารถหาค่าอนุพันธ์ได้ สมการเป้าหมายแบบเฟ้นสุ่ม (stochastic) หรือแม้แต่สมการเป้าหมายที่มีความไม่เชิงเส้นสูง

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเริ่มต้นโดยการสุ่มสายพันธุ์เริ่มต้น จากนั้นทำการสร้างสายพันธุ์รุ่นถัดไปจากสายพันธุ์ปัจจุบันดังรูปที่ 3.4 ตามขั้นตอนดังนี้

1. ทำการบันทึกค่าความแข็งแรงของแต่ละสายพันธุ์ (individual)
2. คำนวณมาตราส่วนของค่าความแข็งแรงแต่ละสายพันธุ์ในรูปของค่าพิสัย
3. เลือกสายพันธุ์ที่มีค่าความแข็งแรงดี (elite) ให้ดำรงอยู่ในรุ่นถัดไป

4. สายพันธุ์สืบสกุล (children) ถูกสืบสายพันธุ์จากสายพันธุ์ที่ถูกเลือก (parents) ทั้งจากการไขว้สายพันธุ์ (crossover) ซึ่งเกิดจากการผสมกันของสายพันธุ์ของสายพันธุ์ที่ถูกเลือกเป็นคู่ และการกลายพันธุ์ (mutation) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสายพันธุ์ของสายพันธุ์ที่ถูกเลือก
5. สายพันธุ์ในรุ่นถัดไปมาจากการแทนที่โดยสายพันธุ์สืบสกุลและสายพันธุ์ที่มีความแข็งแรงที่ดี งานวิจัยนี้เลือกใช้ค่าเริ่มต้นสำหรับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมดังนี้
 - ข้อมูลในสายพันธุกรรมบันทึกแบบเวกเตอร์ที่มีความเที่ยงสองเท่า (double vector)
 - ข้อมูลที่บันทึกในสายพันธุกรรมเป็นตัวเลขที่มีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 0.98 ถึง 1.20 ค่าพิสัยของสายพันธุกรรมคือผลคูณของพิสัยเริ่มต้นและตัวเลขดังกล่าว โดยในตอนเริ่มต้นจะกำหนดให้สายพันธุกรรมเส้นหนึ่งเป็นตัวเลข 1.0 ทั้งเส้นเพื่อส่งเสริมให้การค้นหาคำตอบของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมในตอนเริ่มต้นกระทำในบริเวณรอบๆพิสัยเริ่มต้น
 - จำนวนสายพันธุกรรมใน 1 รุ่นเท่ากับ 100 สาย
 - วิธีการให้ค่าพิสัยเป็นแบบใช้ค่าลำดับชั้น (rank) ซึ่งจัดลำดับจากค่าความแข็งแรง
 - วิธีการเลือกใช้วิธีการเฟ้นสุ่มแบบสม่ำเสมอ (stochastic uniform) โดยฝั่งของกลุ่มสายพันธุ์มีลักษณะเป็นเส้นตรงซึ่งมีสัดส่วนความยาวตามค่าความแข็งแรง
 - จำนวนสายพันธุ์ที่มีค่าความแข็งแรงมากที่สุด 2 สายพันธุ์ได้รับการสืบสกุลโดยอัตโนมัติ (elitism)
 - จำนวนสายพันธุ์ที่ใช้สำหรับการไขว้สายพันธุ์เท่ากับ 78 สายพันธุ์ (crossover fraction = 0.8)
 - จำนวนสายพันธุ์ที่ใช้สำหรับการกลายพันธุ์เท่ากับ 20 สายพันธุ์ โดยใช้ฟังก์ชันในการกลายพันธุ์แบบเกาส์เซียน (Gaussian) ซึ่งมีค่าสเกล (scale) เท่ากับ 0.5 และค่าการหดตัว (shrink) เท่ากับ 0.75 โดยสามารถเขียนความแปรปรวน (var) ได้ดังนี้

$$\text{var}^{(0)} = \text{scale} * (v_2 - v_1) \quad (3.17)$$

$$\text{var}^{(k)} = \text{var}^{(k-1)} * \left(1 - \text{shrink} \cdot \frac{k}{\text{generations}} \right) \quad (3.18)$$
 โดยที่ v_1 และ v_2 แทนค่าพิสัยของสายพันธุ์ซึ่งในงานวิจัยนี้เท่ากับ 0.98 และ 1.20 ตามลำดับ; k แทนรอบปัจจุบัน และ generations แทนรุ่นปัจจุบัน
- การไขว้สายพันธุ์เป็นแบบสุ่มกระจาย (scattered) โดยให้สายพันธุ์ของกลุ่มที่ถูกเลือกกลุ่มที่หนึ่งมีค่าเป็น 1 และสายพันธุ์ของกลุ่มที่ถูกเลือกกลุ่มที่สองมีค่าเป็น 0 ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.4

$$\mathbf{p}_1^T = [a \ b \ c \ d \ e \ f \ g \ h] \text{ และ } \mathbf{p}_2^T = [1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8]$$

$$\text{การสุ่มเวกเตอร์ข้ามสายพันธุ์} = [1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]$$

$$\text{สายพันธุ์สืบสกุล} = [a \ b \ 3 \ 4 \ e \ 6 \ 7 \ 8]$$

รูปที่ 3.4 การไขว้สายพันธุ์แบบสุ่มกระจาย

- การสิ้นสุดรุ่นของสายพันธุ์กำหนดไว้ที่ 1000 รุ่น หรือเมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงใน 200 รุ่น ดังแสดงในรูปที่ 3.5 เมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงตั้งแต่รุ่นที่ 300 เป็นต้นไปจึงทำการหยุดการคำนวณในรุ่นที่ 500

ตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมของสมการที่ (3.6) เมื่อกำหนดจำนวนสายพันธุ์และจำนวนรุ่นมีค่าแตกต่างกัน สังเกตว่าเมื่อจำนวนสายพันธุ์หรือจำนวนรุ่นเพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้นแต่ต้องใช้เวลาในการคำนวณมากขึ้น การกำหนดจำนวนสายพันธุ์และจำนวนรุ่นในการวิจัยนี้ไม่ได้พิจารณาถึงจำนวนสายพันธุ์หรือจำนวนรุ่นที่ดีที่สุดสำหรับปัญหา

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเมื่อจำนวนรุ่นเท่ากับ 1000 รุ่น

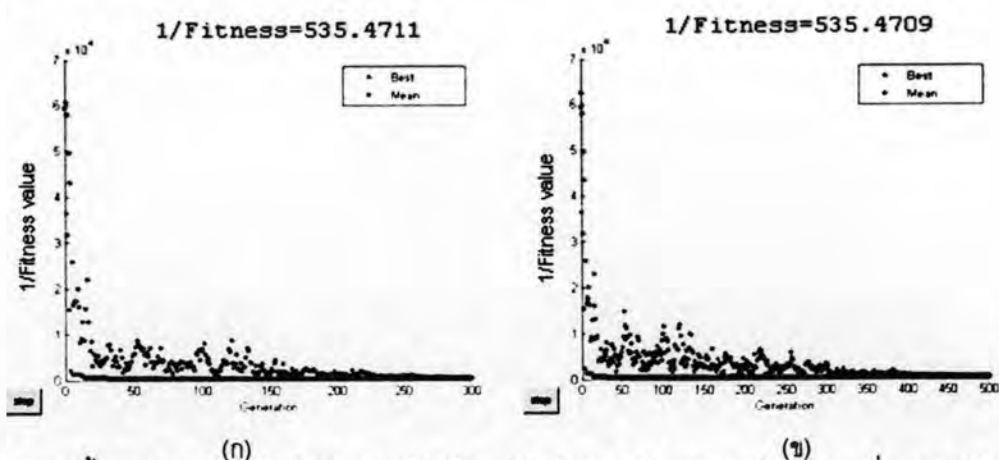
จำนวนสายพันธุ์	ค่าความแข็งแรง	เวลาการคำนวณ (วินาที)
20	0.001051	297
40	0.001376	533
60	0.001595	777
80	0.001874	1024
100	0.002087	1262
120	0.002299	1504
140	0.002337	1770
160	0.002387	1992

ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเมื่อจำนวนสายพันธุ์เท่ากับ 20 สายพันธุ์

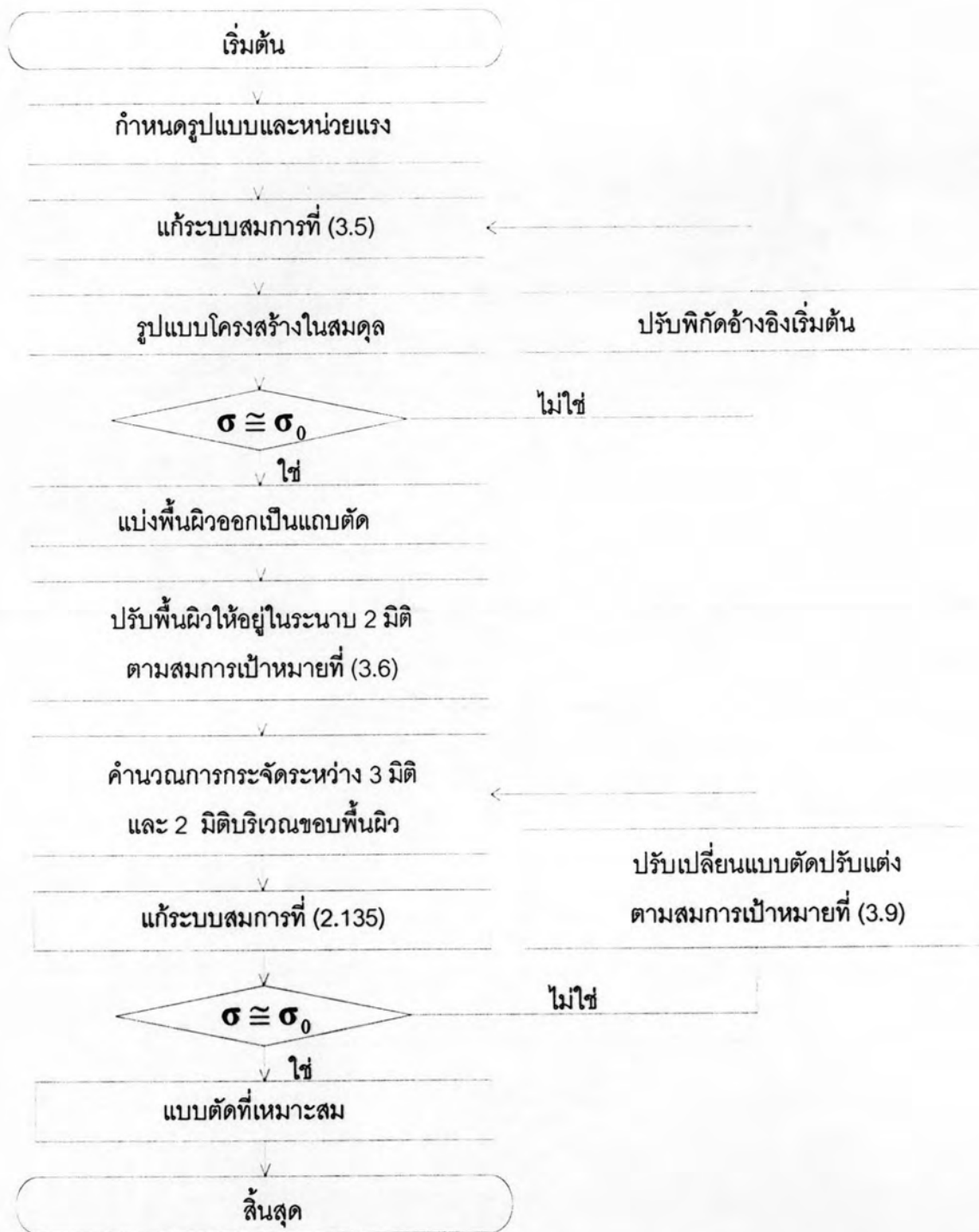
จำนวนรุ่น	ค่าความแข็งแรง	เวลาการคำนวณ(วินาที)
1000	0.001051	292
2000	0.001495	599
3000	0.001560	918
4000	0.001696	1255
5000	0.001874	1616

3.6 กระบวนการการหาแบบดัดที่เหมาะสมที่สุด

งานวิจัยนี้อาศัยขั้นตอนและวิธีการต่างๆดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้นซึ่งสามารถสรุปเป็นแผนภูมิสายงานแสดงขั้นตอนการหาแบบดัดที่เหมาะสมที่สุดดังรูปที่ 3.6 โดยเริ่มจากการกำหนดรูปแบบหรือขอบเขตของโครงสร้างและกำหนดหน่วยแรงเป้าหมาย σ_0 เมื่อโครงสร้างอยู่ในสภาวะสมดุลเพื่อทำการหารูปแบบ (form finding) ของโครงสร้างโดยอาศัยวิธีปรับพิกัดอ้างอิง จากนั้นทำการแบ่งพื้นผิวสามมิติที่อยู่ในสมดุลออกเป็นแถบย่อยและทำการลดรูปให้อยู่ในระนาบสองมิติซึ่งในขั้นตอนนี้อาศัยวิธีเกรเดียนต์สำหรับแก้ปัญหาสมการเป้าหมายที่ (3.6) จากนั้นแก้ปัญหาสมการเป้าหมายที่ (3.9) เพื่อหาแบบดัดที่เหมาะสมที่สุดจากแถบย่อยที่อยู่ในระนาบสองมิติโดยอาศัยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและเมื่อได้พิกัดจากขั้นตอนดังกล่าวแล้วทำการคำนวณซ้ำอีกครั้งโดยให้พิกัดที่ได้จากขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นค่าเริ่มต้นและคำนวณสมการเป้าหมายที่ (3.9) ด้วยวิธีเกรเดียนต์เรียกว่า ฟังก์ชันผสม (hybrid function)



รูปที่ 3.5 การสิ้นสุดรุ่นของสายพันธุ์ (ก) การเข้าสู่ค่าตอบในช่วงรุ่น 0 ถึง 300 (ข) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรง (มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก) ตั้งแต่นาที 300



รูปที่ 3.6 แผนภูมิสายงานขั้นตอนการหาแบบตัดที่เหมาะสมที่สุด