

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

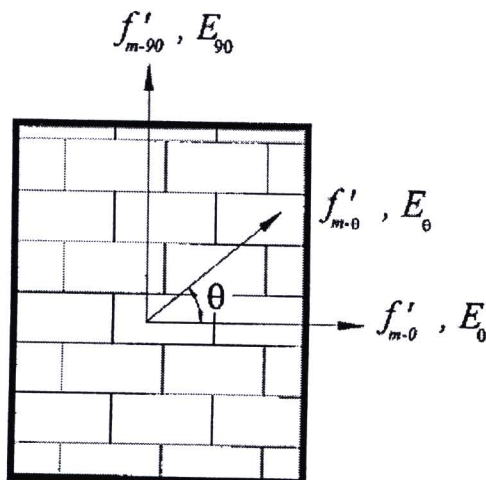
3.1 ผนังทึบ

โดยทั่วไปผนังทึบ คือ ผนังที่อยู่ภายในช่องว่างของโครงข้อแข็งไม่ว่าผนังนั้นจะเต็มช่องว่างภายในโครงข้อแข็งหรือไม่ วัสดุที่ใช้ทำผนังทึบ ประกอบด้วย ผนังทึบที่ทำจากอิฐดินเหนียว ผนังทึบที่ทำจากคอนกรีต ผนังทึบที่ทำจากอิฐบล็อกกลวง ผนังทึบที่ทำจากหิน ผนังทึบที่ทำจากกระจก จากการศึกษที่ผ่านมาพบว่าผนังทึบที่ถูกโอบรัดด้วยโครงข้อแข็งสามารถช่วยให้โครงข้อแข็งมีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ผ่านมา สำหรับคุณสมบัติของผนังทึบขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของอิฐที่นำมาก่อเป็นผนังทึบ โดย FEMA356 ได้นำเสนอคุณสมบัติของผนังทึบดังแสดงในตารางที่ 3.1 จากการศึกษาของ El-Dakhkhni et al. (2003) พบว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของผนังจะเปลี่ยนแปลงตามมุมของแรงที่กระทำกับผนังทึบ ดังแสดงในภาพที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติด้านวิศวกรรมของผนังทึบจำแนกตามสภาวะ ของผนังทึบ

คุณสมบัติด้านวิศวกรรม	สภาวะของผนังทึบ		
	ดี (กก./ชม ² .)	พอใช้ (กก./ชม ² .)	ไม่ดี (กก./ชม ² .)
หน่วยแรงอัด (f'_m)	63.28	42.18	21.09
โมดูลัสยืดหยุ่น (E_m)	$550 f'_m$	$550 f'_m$	$550 f'_m$
หน่วยแรงดึง	1.41	0.70	0
หน่วยแรงเฉือน	1.90	1.41	0.91

(FEMA, 2000)



ภาพที่ 3.1 โมดูลัสยืดหยุ่นของผนังทึบ (El-Dakhkhni et. al, 2003)

สำหรับค่าโมดูลัสยืดหยุ่นในภาพที่ 3.1 สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3.1 ดังนี้

$$E_{\theta} = \frac{1}{\frac{(\cos \theta)^4}{E_0} + \left(\frac{-2\nu_{0-90}}{E_0} + \frac{1}{G} \right) (\cos \theta)^2 (\sin \theta)^2 + \frac{(\sin \theta)^4}{E_{90}}} \quad (3.1)$$

โดยค่า ν_{0-90} คือ อัตราส่วนปัวร์ซองในแนว 90 องศาหารด้วย อัตราส่วนปัวร์ซองในแนว 0 องศา สำหรับค่า E_{90} คือ โมดูลัสยืดหยุ่นในแนวตั้งฉากกับรอยต่อระหว่างอิฐที่ก่อเป็นผนังทึบ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 850 เท่าของหน่วยแรงอัดของผนังทึบ (Chin Kong Seah, 1998) E_0 คือ โมดูลัสยืดหยุ่นในแนวนอนกับรอยต่อระหว่างอิฐที่ก่อเป็นผนังทึบ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 80% ของค่า E_{90} (Chin Kong Seah, 1998) และค่า G คือ โมดูลัสแรงเฉือนของผนังทึบ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 40% ของค่า E_{90} (Chin Kong Seah, 1998)

จากการศึกษาที่ผ่านมาทั้งการทดสอบตัวอย่างและการวิเคราะห์พฤติกรรมโดยวิธีเชิงตัวเลข พบรูปแบบของการวิบัติของผนังทึบที่โอบรัดด้วยโครงข้อแข็งจากแรงกระทำด้านข้าง ดังแสดงในภาพที่ 3.2

โดยรูปแบบการวิบัติที่แสดงในภาพที่ 3.2 แบ่งออกเป็น 5 รูปแบบ คือ

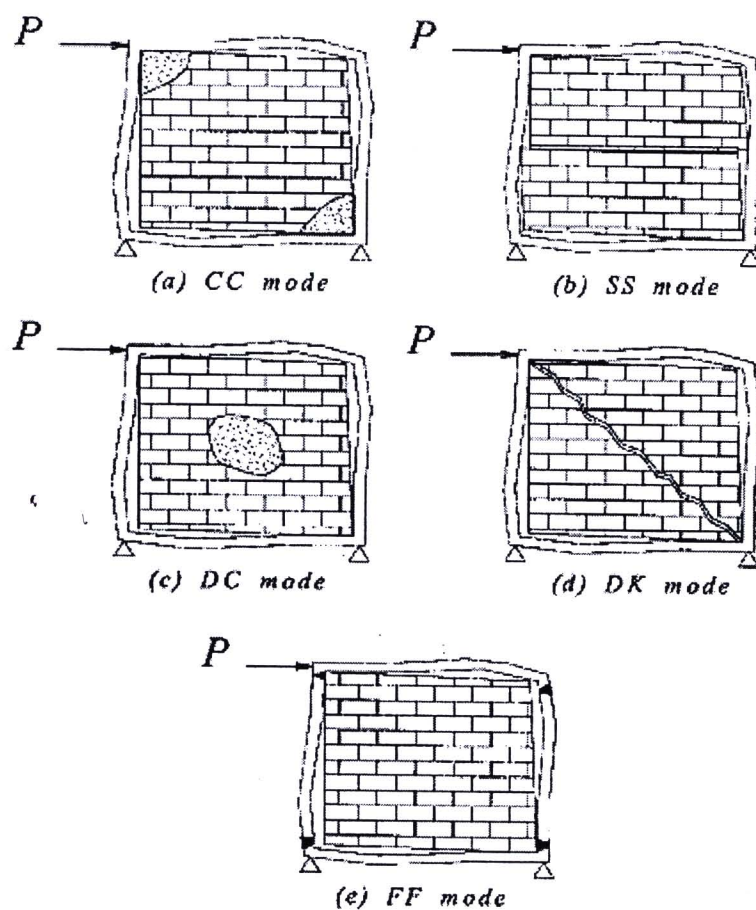
1) การบดแตกที่มุม (corner crushing: CC mode) การวิบัติในรูปแบบนี้แสดงการบดแตกของผนังทึบบริเวณมุมผนังทึบที่มีแรงมากระทำ โดยทั่วไปรูปแบบการวิบัติแบบนี้จะเกี่ยวกับการที่ผนังก่ออิฐไม่มีความแข็งแรงและโครงข้อแข็งที่ล้อมกรอบผนังก่ออิฐไม่มีความแข็งแรงที่เพียงพอ ฅรยต่อ

2) การเลื่อนตัวเนื่องจากการเฉือน (Sliding Shear: SS mode) การวิบัติในรูปแบบนี้แสดงการเลื่อนตัวในแนวราบเนื่องจากการเฉือนผ่านรอยต่อของผนังก่ออิฐ โดยทั่วไปรูปแบบการวิบัติแบบนี้จะเกี่ยวกับการที่รอยต่อของผนังทึบไม่มีความแข็งแรงเพียงพอ

3) การบดแตกที่กลางผนังทึบ (Diagonal Compression: DC mode) การวิบัติในรูปแบบนี้แสดงการบดแตกที่กลางผนังทึบ โดยทั่วไปรูปแบบการวิบัติแบบนี้จะเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างความชะลูดของผนังทึบ ผลการวิบัตินี้เกิดจากผนังทึบเกิดการโก่งเคาะ

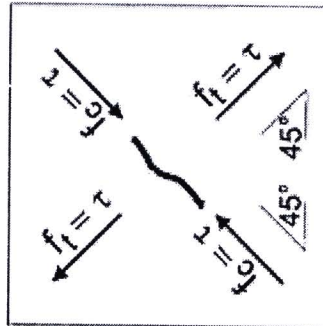
4) การเกิดรอยร้าวในแนวเส้นทแยงมุม (Diagonal Cracking: DK mode) การวิบัติในรูปแบบนี้แสดงรอยแตกร้าวตรงรอยเชื่อมต่อระหว่างแรงบริเวณมุม 2 มุม ในผนังทึบ โดยทั่วไปรูปแบบการวิบัติแบบนี้จะเกี่ยวกับการที่โครงข้อแข็งมีความแข็งแรงมากกว่าผนังทึบ ทำให้ผนังทึบเกิดการแตกร้าวในแนวทแยงขึ้น

5) การวิบัติของโครงข้อแข็ง (Frame Failure: FF mode) การวิบัติในรูปแบบนี้แสดงการเกิดจุดหมุนพลาสติก (Plastic Hinges) ในเสาหรือเกิดในรอยต่อของเสากับคาน โดยทั่วไปรูปแบบการวิบัติแบบนี้จะเกี่ยวกับการที่โครงข้อแข็งไม่มีความแข็งแรงเพียงพอหรือจุดต่อของโครงข้อแข็งมีความแข็งแรงน้อยกว่าชิ้นส่วนของผนังทึบ

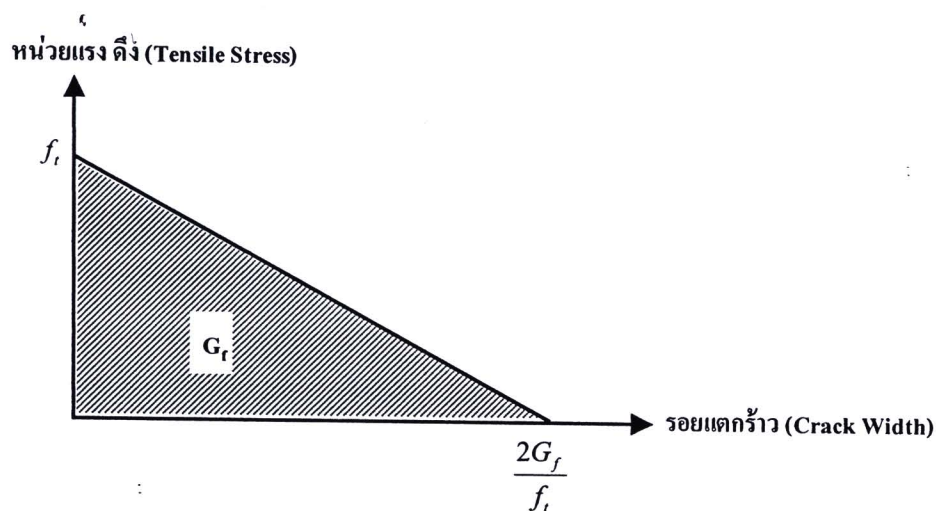


ภาพที่ 3.2 รูปแบบของการวิบัติของผนังที่โอบรัดด้วยโครงข้อแข็ง (El-Dakhkhni et. al, 2003)

จากรูปแบบการแตกร้าวที่กล่าวมานี้พบว่าในรูปแบบที่ 4 เป็นการเกิดการแตกร้าวของอิฐอันเนื่องมาจากหน่วยแรงสองรูปแบบคือ หน่วยแรงอัดและหน่วยแรงดึง ดังแสดงในภาพที่ 3.3 การแตกร้าวเนื่องจากการอัด คือการที่อิฐเกิดการบดแตกเนื่องจากหน่วยแรงอัด แต่การแตกร้าวเนื่องจากแรงดึงนั้นขึ้นอยู่กับค่าหน่วยแรงดึงและค่าพลังงานการแตกร้าว ดังแสดงในภาพที่ 3.4



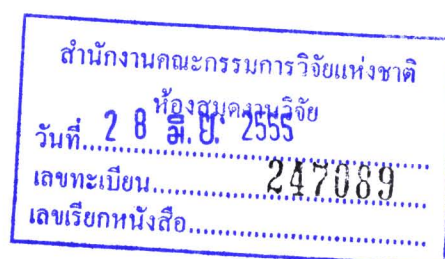
ภาพที่ 3.3 พฤติกรรมการเกิดการแตกร้าวของผนังทึบ (Gero Marzahn , 1998)



ภาพที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับพลังงานการแตกร้าว

3.2 การประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรมโครงสร้าง

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นกระบวนการวิเคราะห์ที่นิยมใช้โดยทั่วไปในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย ซึ่งอธิบายปัญหาที่มีโดยทั่วไป เช่น การเคลื่อนที่ หน่วยแรง อุณหภูมิ ความหนืดของของไหลและความดัน การประยุกต์ใช้เทคนิคนี้ในงานวิศวกรรมโครงสร้างนั้น โครงสร้างใดๆ จะถูกแบ่งเป็นโครงสร้างย่อยโดยโครงสร้างย่อยนี้จะเชื่อมต่อกัน ณ จุดต่อ (Node) หน่วยแรงและความเครียดของทุกชิ้นส่วนจะมีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของจุดต่อของชิ้นส่วน โดยความสัมพันธ์นี้สามารถเขียนในรูปสมการได้เป็น

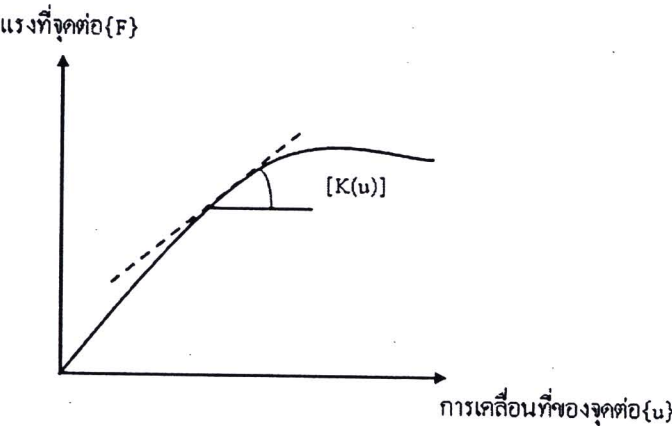


$$[K]\{u\} = \{F\}$$

(3.2)

เมื่อ	$[K]$	คือ	เมตริกซ์ความแข็งของโครงสร้าง (Stiffness matrix)
	$\{u\}$	คือ	เมตริกซ์การเคลื่อนที่ของจุดต่อ (nodal displacement matrix)
	$\{F\}$	คือ	เมตริกซ์ของแรงที่จุดต่อ (nodal force matrix)

จากสมการที่ 3.1 การหาค่าการเคลื่อนที่ของจุดต่อสามารถหาได้โดยการกำหนดแรงที่จุดต่อ แต่เนื่องจากในความเป็นจริงแล้ววัสดุอาจจะมีพฤติกรรมไม่เป็นเชิงเส้น เพราะฉะนั้นเมตริกซ์ความแข็งของโครงสร้างจึงมีค่าไม่คงที่แต่จะขึ้นอยู่กับเมตริกซ์การเคลื่อนที่ของจุดต่อ ดังแสดงในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นระหว่างแรงที่จุดต่อกับการเคลื่อนที่ของจุดต่อ (Boonpichetvong, 1997)

จากสมการที่ 3.2 และภาพที่ 3.5 โดยทั่วไป วิธีการควบคุมการหาคำตอบของสมการด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ สามารถทำได้โดยการควบคุมแรงกระทำ (Load Control) หรือควบคุมการเสียรูป (Displacement Control) โดยหลักการของวิธีการควบคุมแรงกระทำคือการเพิ่มแรงกระทำ โดยแต่ละครั้งที่เพิ่มแรงกระทำก็จะสามารถหาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ แต่เมื่อให้แรงกระทำไปจนถึงจุดวิกฤติของโครงสร้าง ณ จุดนี้ค่าดีเทอร์มิแนนท์ของความแข็งของโครงสร้างจะมีค่าเป็นศูนย์ทำให้ไม่สามารถหาค่าผกผันของเมตริกซ์ความแข็งของโครงสร้างจึงไม่สามารถหาค่าการเสียรูปได้ สำหรับวิธีการควบคุมการเสียรูปจะเพิ่มค่าการเคลื่อนที่โดยแต่ละครั้งที่เพิ่มค่าการเคลื่อนที่ที่จะ

สามารถหาแรงกระทำได้ถึงค่าการเคลื่อนที่ที่เพิ่มขึ้นจะมากกว่าค่าการเคลื่อนที่ประลัยก็สามารถคำนวณหาค่าแรงกระทำได้

วิธีการเชิงตัวเลขสำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กกับผนังที่ทำการวิเคราะห์ในช่วงไม่เป็นเชิงเส้นโดยใช้การควบคุมการเสีรูป (Displacement Control) โดยสมการสำหรับการวิเคราะห์ในช่วงไม่เป็นเชิงเส้น คือ

$$[K]\{\Delta u\} = \{\Delta F\} \tag{3.3}$$

- เมื่อ $[K]$ คือ เมตริกซ์ความแข็งแรงเกร็งของโครงสร้าง
- $\{\Delta u\}$ คือ เวกเตอร์การเสีรูปของจุดต่อที่เพิ่มขึ้น
- $\{\Delta F\}$ คือ เวกเตอร์ของแรงที่เพิ่มขึ้น ณ จุดต่อ

จากสมการที่ 3.3 สามารถเขียนในรูปเมตริกซ์ย่อยได้ดังนี้

$$\begin{pmatrix} K_{UU} & K_{UK} \\ K_{KU} & K_{KK} \end{pmatrix}_{(n+1)}^{(i)} \begin{Bmatrix} \Delta u \\ \Delta k \end{Bmatrix}_{(n+1)}^{(i)} = \begin{Bmatrix} \Delta F_U \\ \Delta F_K \end{Bmatrix}_{(n+1)}^{(i)} \tag{3.4}$$

- เมื่อ $\{\Delta k\}$ คือ การเสีรูปที่ทราบค่า
- $\{\Delta u\}$ คือ การเสีรูปที่ไม่ทราบค่า
- i คือ จำนวนครั้งที่กระทำซ้ำ
- $(n+1)$ คือ ลำดับชั้นของการคำนวณ

จากสมการที่ 3.4 สามารถหาค่าของตัวแปรที่ไม่ทราบค่า คือ $\{\Delta u\}$ ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\{\Delta u\} = [K_{KU}]^{-1}[\{\Delta F_K\} - \{K_{KK}\}\{\Delta k\}] \tag{3.5}$$

จากสมการที่ 3.4 และ 3.5 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของจุดต่อทั้งหมดสามารถปรับปรุงได้โดยสมการดังต่อไปนี้

$$\{u_T\}^i = \{u_T\}^{i-1} + \{\Delta u\}^i \tag{3.6}$$

หลังจากนั้นเมตริกซ์ความแข็งแกร่งของโครงสร้าง ณ จุดสัมผัสใดๆ [K] จะทำการคำนวณใหม่ โดยค่าความแข็งแกร่งที่ทำการคำนวณใหม่นี้จะสามารถนำไปคำนวณหาค่าความเค้นและความเครียด

สำหรับรายละเอียดในทฤษฎีนี้สามารถดูได้จาก De Borst R and L.J. Sluys (2002)