บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.ทฤษฎี

ในการศึกษาการหาค่าการดูดซับพลังงานของโครงสร้างเปือก (Shell Structures) นั้น สามารถแบ่งวิธีการหาได้ 3 วิธี ที่สำคัญ ได้แก่ วิธีทางการทดลอง ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอเลเมนต์ และวิธีสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งวิธีทางการทดลองและระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอเลเมนต์ เป็นวิธีการที่ให้ความสะดวกและรวดเร็ว แต่ค่าใช้จ่ายสูง ส่วนวิธีสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เป็นวิธีที่ใช้ค่าใช้จ่ายต่ำและรวดเร็ว แต่วิธีการค่อนข้างยาก เพราะวิธีการจำลองการเสียหายต้องให้ใกล้ความจริงมากที่สุด โดยใช้หลักการทางเรขาคณิต เพื่อสมมติเส้นการพับแบบต่างๆ ขึ้น โดยความสัมพันธ์ของเส้นการพับ

แบบต่างๆ สามารถหาได้โดยใช้หลักการทางเรขาคณิต สำหรับเส้นการพับ หมายถึงตำแหน่ง หรือเส้นของเนื้อโลหะ ที่เกิดการพับหรือบิด ซึ่งก่อให้เกิดการเสียรูปของการสร้าง โดยพลังงานที่เกิดจากการกดหรือกระแทกบนโครงสร้างจะกระจายอยู่บนเส้นการพับเหล่านี้

ขั้นตอนการวิเคราะห์ในทางทฤษฎี มีดังนี้

2.1.1อัตราการดูดซับพลังงาน

เมื่อโครงสร้างถูกภาวะกระทำให้เกิดการเสียรูปนั้น พลังงานที่กระทำลงไปในโครงสร้างจะกระจายไปในส่วนต่างๆ ของโครงสร้าง โดยพลังงาน เหล่านี้ ได้แก่

2.1.1.1.อัตราพลังงานภายนอกที่มากระทำ

$$W_{ext} = W_{bending} + Wmembrane \tag{2.1}$$

2.1.1.2.พลังงานเนื่องจากการดัดอย่างถาวร

$$W_{bending} = \Sigma M_O \theta \tag{2.2}$$

M_θ คือ โมเมนต์ดัดอย่างถาวรต่อหนึ่งหน่วยความยาว $= \dfrac{\sigma_o t^2}{4}$

θ คือ อัตราการหมุนสัมพัทธ์ ของเส้นการพับ

t คือ ความหนาของท่อ

โดยพลังงานต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมานี้จะเป็นเครื่องมือ ในการสร้างแบบจำลองกลไกการเสียหายอย่างถาวรของโครงสร้างต่อไป

2.2.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

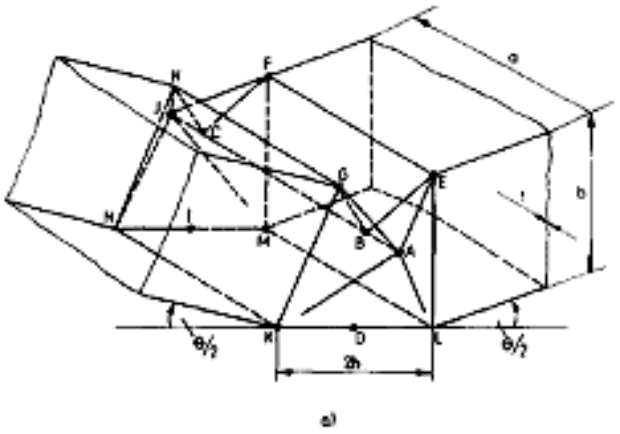
การออกแบบชิ้นส่วนของโครงสร้าง เพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้มนุษย์ จากอุบัติเหตุที่เกิดจากการชนของยานพาหนะ ได้แก่ รถยนต์ เรือ เครื่องบิน เป็นต้น นักวิจัยหลายๆ ท่าน ได้พัฒนาชิ้นส่วนที่ให้ความดูดซับพลังงานได้ดีที่สุด ค่าความสามารถในการดูดซับพลังงาน ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการเสียรูปของชิ้นส่วนแต่ละชนิด ได้แก่ ชิ้นส่วนผนังบาง (Thin wall member) และเปลือก (Shell) เป็นต้น ชิ้นส่วนที่รูปร่างต่างชนิดกัน จะให้พฤติกรรมการเสียรูปแตกต่างกัน รูปร่างชิ้นส่วนที่ใช้ในการวิจัยโดยทั่วไป เช่น ท่อกลม ท่อสี่เหลี่ยม กรวยโครงสร้างแบบรังผึ้ง แผ่น-ประกบ (Sandwich plates) และ ชิ้นส่วนประกอบ (Composite member) เป็นต้น

โครงงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยให้ความสนใจ ท่อทรงกระบอกภายใต้ภาระดัด ฉะนั้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จะเน้นปัญหาของท่อทรงกระบอกกลม ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้

2.2.1 การชนแบบดัด

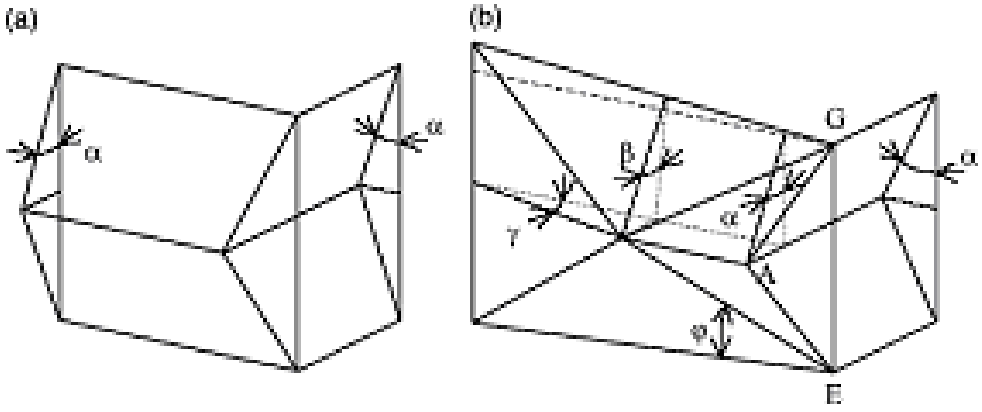
การศึกษากลไกการเสียหายของโครงสร้างการชนแบบดัด ซึ่งพบมากในโครงสร้างด้านข้างของยานพาหนะต่างๆ โดยลักษณะการเสียหายจากการชนแบบดัดนั้น โครงสร้างจะมีการยุบตัวพับงอในด้านที่ถูกชน ในกรณีนี้ได้มีการศึกษาและสร้างแบบจำลองกลไกการพับตัวในแบบต่างๆ ไว้พอสมควร

โดย Kecman D. [6] ได้สร้างแบบจำลองการเสียหายของท่อรูปทรงสี่เหลี่ยมที่ถูกกดความเค้นดัด โดยเทคนิคการสร้างรอยพับต่างๆ และใช้ทฤษฎี Plastic hinge theory โดยได้สร้างแบบจำลอง ดังรูป 2.1



รูปที่ 2.1 แบบจำลองของ Kecman D. [6]

Wierzbicki T. and Abramowicz W. [15] ได้ปรับปรุงแบบจำลองและการวิเคราะห์ของ Kecman D. หลังจากพบว่าแบบจำลองของ Kecman D. [6] ไม่เป็นไปตามหลักจนพลศาสตร์ (Kinematic) และได้วิเคราะห์หาความสามารถในการดูดซับพลังงานของท่อสี่เหลี่ยมผนังบาง เมื่อถูกแรงกระทบแนวแกนแต่ลักษณะการเสียรูปเป็นแบบกดและแบบดัด ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงกลไกการพับลงเนื่องจากแรงกดในแนวแกน

Wierzbickii T. and Simmao MV. [18] ได้ศึกษาแบบจำลองอย่างง่ายๆ ของท่อทรงกระบอกภายใต้การดัด เมื่อท่อถูกดัดหน้าตัดของท่อมีลักษณะเป็นรูปวงรี ซึ่งสามารถแบ่งเส้นการพับของหน้าตัดได้ สี่เส้นดังรูปที่ 2.3 ผลการวิเคราะห์ของแบบจำลองอยู่ในรูปของโมเมนต์และมุมบิด แสดงดังสมการ

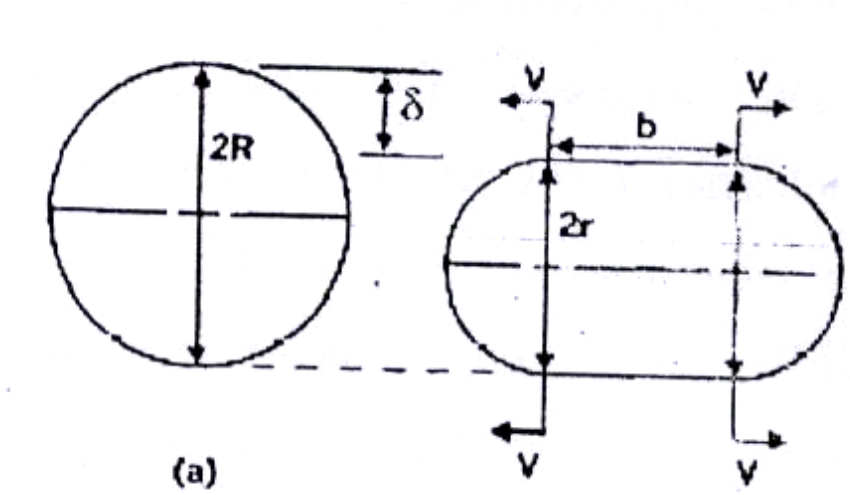
$$P_{ave} = 6\sigma_o t\sqrt{Dt} \qquad (2.3)$$

P_{ave} คือภาระเฉลี่ย ที่กระทำกับชิ้นงาน

σ_o คือความเค้นจุดครากของวัสดุ

D คือเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ

t คือ ความหนาของท่อ



รูปที่ 2.3 แสดงกลไกการพับตัวของหน้าตัดของท่อภายใต้การดัด

$$\frac{M}{M_p} = (1 - 0.533R^2K/t)(1.011 + 0.644R^2K/t) \qquad (2.4)$$

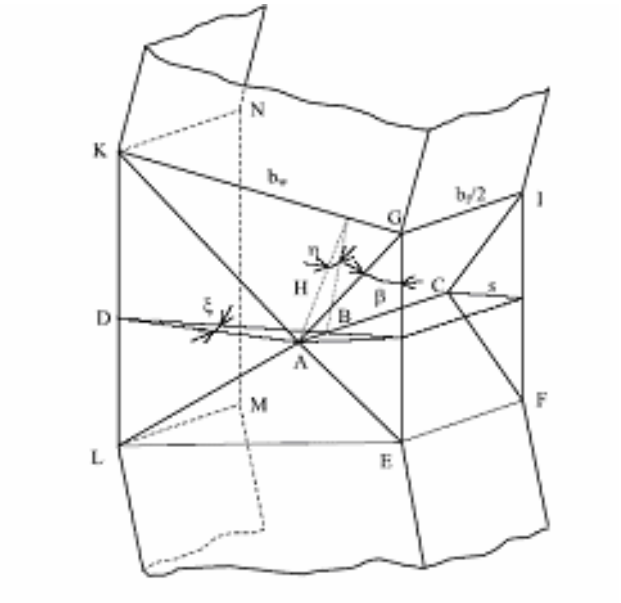
K คือความโค้งในแนวตามยาวของท่อ

t คือ ความหนาของท่อ

R คือ รัศมีเฉลี่ยของท่อ

M_p คือโมเมนต์เนื่องจากการดัดแบบพลาสติกของหน้าตัดของท่อ

T.H.Kim and S.R. Reid, [7] ได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาของท่อสี่เหลี่ยมภายใต้ภาระแบบดัด โดยได้พัฒนาแบบจำลองของ Wiezbicki T. และคณะ [15] ผู้ศึกษาได้ปรับปรุงแบบจำลองใหม่ของ Wiezbicki T. ภายใต้ภาระแบบดัดอย่างเดียว ดังรูปที่ 9 แล้วคำนวณหาตัวไม่ทราบค่าคือ ความยาวเส้นการพับ (H) และรัศมีการหมุน (r) ผลการวิเคราะห์แสดงเป็นโมเมนต์ดัดกับมุมดัด แล้วเปรียบเทียบกับการทดลอง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการข้อมูลการทดลอง



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ทางเรขาคณิต

M.Eichalakani, และคณะ [20] ได้ทำการวิเคราะห์กลไกการเสียหายของท่อทรงกระบอกกลมภายในการดัดอย่างเดียว โดยการปรับปรุงแบบจำลองของ Mamalis และคณะ [8] ซึ่งประกอบด้วย ผลการยุบตัวเป็นรูปไข่ (Ovalisation effect) บนหน้าตัดตามความยาวของท่อ โดยมีข้อสมมุติว่าความยาวเส้นรอบวง ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเกิดการยุบตัว ให้พฤติกรรมของวัสดุเสียหายอย่างถาวรแบบแข็งเกร็ง (Rigid plastic material) เส้นการพับตัวให้กระจายเป็นเส้นตรงตามความยาวของท่อ และไม่คำนึงถึงงานที่เกิดจากทอรอดัล (Toroidal region) กับงานที่เกิดจากเส้นการพับเนื่องจากการกลิ้ง (Rolling hings) ผลการสรุปจากการวิเคราะห์ได้แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดกับมุมดัดของท่อ ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการทดลองได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะกลไกรูปดาว (Star shape mechanism)

2.2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการชนชนิดอื่น

ในหัวข้อนี้จะแสดงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ชนิดอื่น ที่ไม่ใช่ท่อทรงกระบอกกลม แต่ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการวิเคราะห์แบบเดียวกัน โดยต้องศึกษาพฤติกรรมการเสียหายของชิ้นส่วนนั้น แล้วหาความสัมพันธ์กับสมการการดูดซับพลังงาน สามารถแสดงพอสังเขปดังนี้

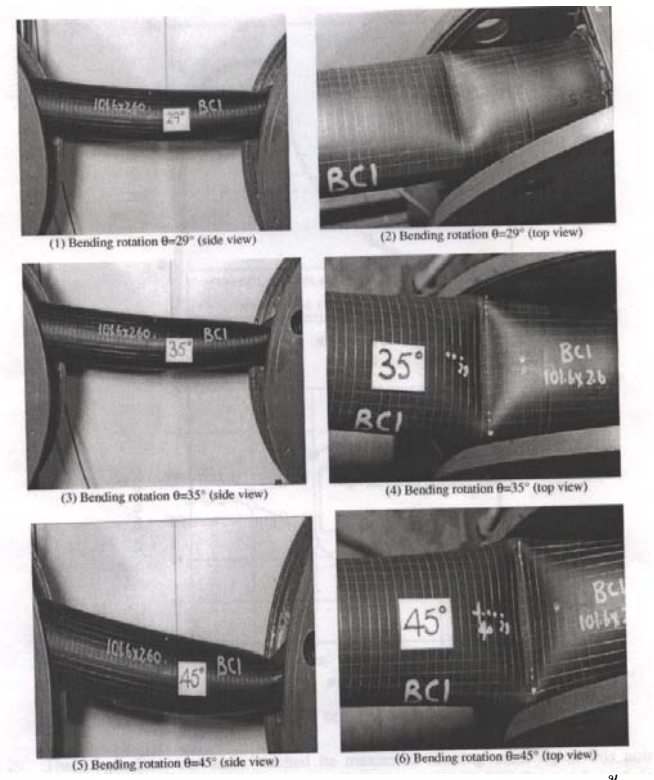
T.Yella Reddy and S.Reid [12] ได้ทำการศึกษาปัญหาของท่อกลมที่โหลดเริ่มกระทำด้านข้าง มีทิศทางแนวรัศมีวงกลม โดยทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการเสียหายท่อเดียว และระบบท่อที่วางซ้อนกันหลายชั้น ซึ่งภาระกระทำเป็นภาระกึ่งสถิตย์ (Quasi static load) และภาระแบบไดนามิกส์ (Dynamic load) ผลลัพธ์แสดงเป็นแรงกับการขจัดทางทฤษฎี เปรียบเทียบกับการทดลองได้เป็นอย่างดี

A.G.Mamalis, และคณะ [8] ได้วิเคราะห์ทางทฤษฎีและการจำลองกลไกความเสียหายของท่อไฟเบอร์กลาสส์ (Fibreglass composite tubs) ภายใต้แรงกดในแนวแกนผลที่ได้อยู่ในรูปของแรงเฉลี่ย และพลังงานการดูดซับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลอง

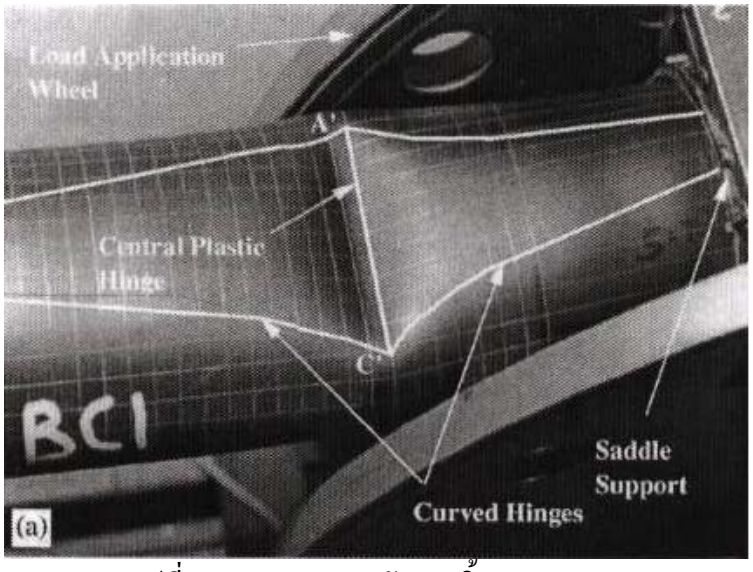
A.G.Mamalis และคณะ [9] ได้วิเคราะห์กลไกความเสียหายของการกรวยผนังบางไฟเบอร์กลาสส์ (Thin wall fiberglass composite conical shell) ภายใต้การชนในแนวแกนของกรวย สำหรับการคำนวณแรงและการดูดซับพลังงาน เปรียบเทียบกับการทดลองได้ผลเป็นอย่างดี

P.Xue, T.X.Yu and X.M.Tao. [19] ได้สร้างแบบจำลองของเปลือกรูปกรวยหัวปิด (Flat topped conical shell) ภายใต้การกดในแนวแกน และได้กลไกความเสียหายสำหรับการคำนวณหาแรงและความสามารถในการดูดซับพลังงาน โดยประกอบด้วยพลังงานเนื่องจากการดัด ตามเส้นการพับและพลังงานเนื่องจากการยืดของผนังบางระหว่างเส้นการพับผลการคำนวณเชิงตัวเลข (Numerical result) สอดคล้องกับการทดลองได้เป็นอย่างดี

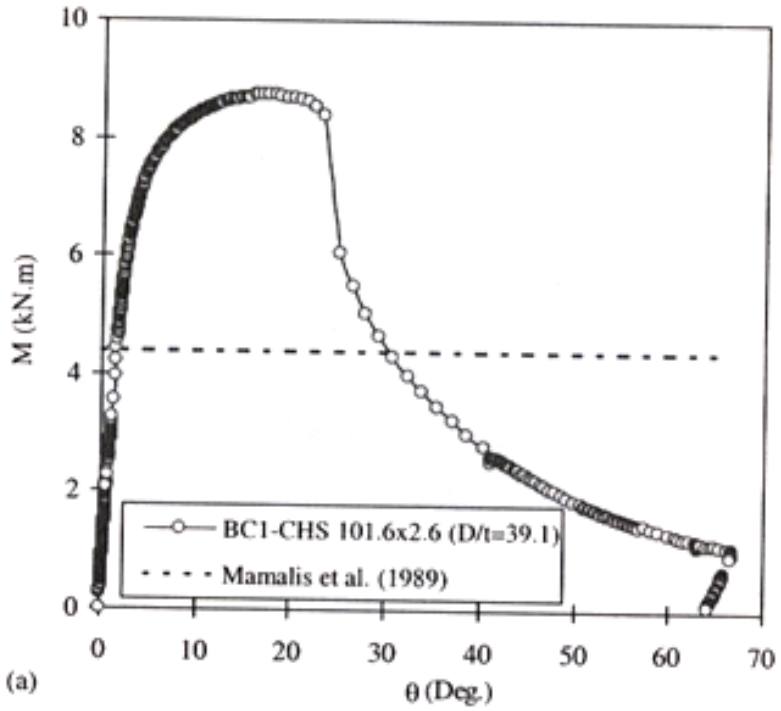
นอกจากนี้ยังมีการทดลองของ M.Elchalakani, X.L. Zhao, R.H.Grzebieta [20] ซึ่งได้วิจัยการหาค่าการดูดซับพลังงานของท่อกลมผนังบาง โดยที่เขาได้ทำการทดลองโดยใช้ลักษณะของการหมุนของแผ่นกลม เพื่อมาบิดเพื่อให้ชิ้นงานเกิดการเสียหายดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงการยุบตัวของท่อเหล็กโดยอาศัยการหมุนดัดชิ้นทดลอง



รูปที่ 2.6 แสดงรอยยุบตัวของชิ้นงานทดลอง



รูปที่2.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับมุมการทดลองของ M.Elchalakani, X.L. Zhao, R.H.Grzebieta [20]