เอกสารอ้างอิง

[1] กรมการขนส่งทางบก. ประกาศกรมการขนส่งทางบก เรื่องแบบและการจัดวางที่นั่งผู้โดยสารของรถที่ใช้ในการขนส่งผู้โดยสาร. กฎหมายว่าด้วยการขนส่งทางบก. เมษายน, 2537.

[2] กรมการขนส่งทางบก. คู่มือตรวจสอบน้ำหนักรวมสูงสุดและน้ำหนักลงเพลาของรถโดยสาร. กฎหมายว่าด้วยการขนส่งทางบก. มีนาคม, 2535.

[3] กรมการขนส่งทางบก. สถิติจำนวนรถใหม่ที่จดทะเบียนตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์และล้อเลื่อน. กฎหมายว่าด้วยการขนส่งทางบก. ฝ่ายสถิติการขนส่ง กองวิชาการและวางแผน. 2534-2538, 2538.

[4] Himat Mahood, F. and Bahig Fileta, B. Design of vehicle structures for crash energy management. Vehicle crashworthiness and occupant protection. American iron and steel institute, 2004.

[5] Thinvongpituk, C. The behavior of non-constant thickness conical shells under axial loading. Doctor of Philosophy Thesis: University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST). Manchester, 2002.

[6] Magee, C.L. and Thornton, P.H. Design considerations in energy absorption by structural collapse. Transaction SAE. vol. 87(2): 2401-2055, 1978.

[7] ปราโมทย์ เดชะอำไพ. ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

[8] Kindervarter, C.M. and Georgi, H. Composite strength and energy absorption as an aspect of structural crash resistance. Structural Crashworthiness and Failure. (Edited by Jones, N. and Wierzbicki, T.) Elsevier Applied Science: 189-235, 1993.

[9] Psimolophitis, S.E. An investigation of axisymmetric shells under axial loading. Doctor of Philosophy Thesis. University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST). Manchester, 1997.

[10] Thinvongpituk, C. and Chomkwah, V. Crush characteristic of conical shells with varying thickness. The 8th Asian Symposium on Visualization. Chiangmai. Thailand: No. 51 (1-6), 2005.

[11] Macaulay, M.A. Introduction to impact engineering. London: Chapman & Hall, 1987.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[12] VanEck, P.J. et al. Human impact tolerance. International Automotive Safety Conference Compendium. SAE: 712-782, 1970.

[13] Jones, N. Structural impact. U.K.: Cambridge University Press, 1997.

[14] Huh, H. et al. Crashworthiness of front side members in an auto-body considering the fabrication effect. 12th International Pacific Conference on Automotive Engineering. Bangkok. Thailand, 2003.

[15] Alexander, J.M. An approximate analysis of the collapse of thin cylindrical shells under axial loads. The Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics. vol. 13 (1): 10-15, 1960.

[16] Mamalis, A.G. et al. The crumpling of steel thin-walled tubes and frusta under axial compression at elevated strain-rates: some experimental results. International Journal of Mechanical Science. vol. 26 (11-12): 537-547, 1984.

[17] Johnson, W. et al. In extensional collapse of thin-walled tubes under axial compression. The Journal of Strain Analysis for Engineering Design. vol. 12 (4): 317-334, 1977.

[18] Kang, W.J. and Huh, H. Crash analysis of auto-body structures considering the strain-rate Hardening effect. International Journal Automotive Technology. vol. 1 (1): 35-41, 2002.

[19] White, M.D. et al. A theoretical analysis for the quasi-static axial crushing of top-hat and double-hat thin-walled sections. International Journal of Mechanical Science. vol. 41 (2): 209-233, 1999.

[20] Reid, JD. Crashworthiness of automotive steel midrails thickness and material sensitivity. Thin-Walled Structures. vol. 26 (2): 83-103, 1996.

[21] Harrigan, J.J. et al. Inertia effects in impact energy absorbing material and structures. International Journal of Impact Engineering. vol. 22 (9-10): 955-979, 1999.

[22] Reid, JD. Towards the understanding of material property influence on automotive crash structures. Thin-Walled Structures. vol. 24 (4): 285-313, 1996.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[23] Chrysanthopoulos, M.K. and Spagnols, A. The influence of radial edge constraint on the stability of stiffened conical shells in compression. Thin-Walled Structures. vol. 27 (2): 147-163, 1997.

[24] El-Sobky, H. et al. Mode of collapse and energy absorption characteristics of constrained frusta under axial impact loading. International Journal of Mechanical Science. vol. 43 (3): 743-757, 2001.

[25] Singace, A.A. and El-Sobky, H. Influence of end radial constraints on the collapse axially crushed tubes. Experimental Mechanic: 333-340, 1998.

[26] Pariatmono, N. and Chryssanthopoulos, M.K. Asymmetric elastic buckling of axially impressed conical shells with various end conditions. AIAA Journals. vol. 33 (11): 2218-2227, 1995.

[27] Thinvongpituk, C. and El-Sobky, H. The effect of end conditions on the buckling load characteristic of conical shells subjected to axial loading. The ABAQUS 2003 Users' Conference Proceedings. Munich: Germany, 2003.

[28] Thinvongpituk, C. and El-Sobky, H. Buckling load characteristic of conical shells under various end conditions. Proceedings of the 17th Annual conference of Mechanical Engineering Network Thailand. 15-17 October 2003 Prachinburi: Thailand. paper no. mm 017, 2003.

[29] Koiter, W.T. et al. Buckling of and axially compressed cylindrical shell of variable thickness. International Journal of Solid and Structures. 31 (6): 797-805, 1994.

[30] Li, Y.W. et al. Effect of the thickness variation and initial imperfection on buckling of composite cylindrical shells: asymptotic analysis and numerical results by BORSOR4 and PANDA. International Journal Solids Structures. vol. 34 (28): 3755-3767, 1997.

[31] Thinvongpituk, C. and EI-Sobky, H. Buckling of axially compressed conical shells of linearly variable thickness. The 2nd MIT Conference on Computational Fluid Dynamics and Solid Mechanics. MIT: USA, 2003.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[32] Mamalis, A.G. et al. Finite element simulation of the axial collapse of metallic thin walled tubes with octagonal cross-section. Thin-Walled Structures. vol. 41 (10): 891- 900, 2003.

[33] Yamashita, M. et al. Axial crush of hollow cylindrical structure with various polygonal cross-sections numerical simulation and experiment. Journal of Materials Processing Technology. vol. 140 (1-3): 59-64, 2003.

[34] Huh, H. et al. Crashworthiness assessment of front side members in an auto-body considering the fabrication histories. International Journal of Mechanical Sciences. vol. 45 (10):1645–1660, 2003.

[35] Kawano, T. and Urushiyama Y. Research on aluminum structures for crash energy absorption. 12th International Pacific Conference on Automotive Engineering, Bangkok: Thailand, 2003.

[36] Yong, W. et al. A study on crashworthiness of mini-car front longitude member by computer simulation. 12th International Pacific Conference on Automotive Engineering. Bangkok: Thailand, 2003.

[37] Hongyan, W. and Fan, X. Simulation of passenger's responsive motion in vehicle frontal crash. 12th International Pacific Conference on Automotive Engineering. Bangkok: Thailand, 2003.

[38] Cheol, K. and Jung Lee, J. Energy absorption capability of an aluminum/GFRP hybrid square tube under axial crush and bending collapse. 12th International Pacific Conference on Automotive Engineering. Bangkok: Thailand, 2003.

[39] Kim, T.H. and Reid, S.R. Bending collapse of thin–walled rectangular section columns. Computers and Structures. vol. 79 (20-21): 1897-1911, 2001.

[40] Lim, T.S. and Lee, D.G. Mechanically fastened composite side-door impact beams for passenger cars designed for shear-out failure modes. Composite Structures. South Korea. vol. 56 (2): 211–221, 2002.

[41] Kim, D.K. et al. Dynamic crashing and impact energy absorption of extruded aluminum square tubes. Materials and Design. South Korea. vol. 19 (4): 179-185, 1998.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[42] Kim, D.K. and Lee, S. Impact energy absorption of 6061 aluminum extruded tubes with different cross-sectional shapes. Materials and Design. South Korea. vol. 20 (1): 41-49, 1998.

[43] Mohan, D. et al. Impact modeling studies for a three-wheeled scooter taxi. Accident Analysis & Prevention Elsevier Science Ltd. vol. 29(2): 161-170, 1997.

[44] Jones, N. Structural impact. Impact injury. U.K.: Cambridge University Press. 423-427, 1997.

[45] Smith, K.M. and Cummings, P. Passenger seating position and the risk of passenger death or injury in traffic crashes. USA: Accident Analysis & Prevention Elsevier Science Ltd. vol. 36 (2): 257–260, 2004.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตัวอย่างการคำนวณจากการทดสอบ

1. ตัวอย่างการคำนวณจากตารางที่ 5.1

ตัวอย่างผลการคำนวณของโครงสร้างที่ต่อแบบขนาน (Experiments)

1.1 การทดสอบภายใต้ภาระแบบกดในแนวแกน (Axial load)

การหา Energy Absorption, E_a ข้อมูลจากการทดสอบ P_{mean} = 11.47 kN, Stroke = 60 mm, มวล = 1.67 kg ซึ่งหาได้จากสมการ

$$E_a = P_{mean}.Stroke$$

$$E_a = 11.47 \times 60$$

$$E_a = 688.2 \text{ N.m}$$

เมื่อ P_{mean} = ภาระเฉลี่ยจากการทดสอบ

$Stroke$ = ระยะยุบตัวจากการทดสอบ

การหา Specific Energy Absorption, E_s สามารถหาค่าพลังงานดูดซับจำเพาะได้จากสมการ

$$E_s = \frac{E_a}{mass}$$

$$E_s = \frac{688.2}{1.67} \text{ N.m/kg}$$

$$E_s = 142.1 \text{ N.m/kg}$$

ส่วนการคำนวณในการต่อแบบอื่น และการคำนวณจากวิธี FEA ก็มีวิธีคิดเช่นเดียวกับตัวอย่างข้างต้นตามข้อมูลในตารางที่ 5.1

1.2 การทดสอบภายใต้ภาระแบบดัด (Bending load)

การหา Energy Absorption, E_a จากข้อมูลการทดสอบ P_{mean} = 3.01 kN, (θ) = 0.17 เรเดียน, มวล = 1.67 kg, Moment = 526.75 N.m ซึ่งหาได้ดังนี้

$$\text{Moment} = P_{mean} \times r$$

เมื่อ P_{mean} = ภาระเฉลี่ยที่ใช้กระทำกับโครงสร้าง, N

r = รัศมีจากแนวแรงถึงจุดหมุนของโครงสร้าง, (175) mm

สามารถหาค่าการดูดซับพลังงานจากการดัดได้จากสมการ

$$E_a = Moment \times \theta$$

$$E_a = 526.75 \times 0.17$$

$$E_a = 89.55 \text{ N.m}$$

การหา Specific Energy Absorption, E_s สามารถหาค่าพลังงานดูดซับจำเพาะจากการดัดได้จากสมการ

$$E_s = \frac{E_a}{mass}$$

$$E_s = \frac{89.55}{1.67} \text{ N.m/kg}$$

$$E_s = 53.62 \text{ N.m/kg}$$

ส่วนการคำนวณในการต่อแบบอื่น และการคำนวณจากวิธี FEA ก็มีวิธีคิดเช่นเดียวกับตัวอย่างข้างต้นตามข้อมูลในตารางที่ 5.1

1.3 การทดสอบภายใต้ภาระแบบบิด (Twisting load)

การหา Energy Absorption, E_a จากข้อมูลการทดสอบ P_{mean} =2.13 kN, Moment = 148.92 N.m, (θ) = 0.28 เรเดียน, มวล = 1.67 kg, ซึ่งหาได้ดังนี้

$$\text{Moment} = P_{mean} \times r = 2.13 \times 70 = 148.92 \text{ kN.m}$$

เมื่อ P_{mean} = ภาระเฉลี่ยที่ใช้กระทำกับโครงสร้าง, N

r = รัศมีของพุลเล่ที่ใช้ในการบิด, (70) mm

สามารถหาค่าการดูดซับพลังงานจากการบิดได้จากสมการ

$$E_a = Moment \times \theta$$

$$E_a = 148.92 \times 0.28$$

$$E_a = 41.67 \text{ N.m}$$

การหา Specific Energy Absorption, E_s สามารถหาค่าพลังงานดูดซับจำเพาะจากการคัดได้จากสมการ

$$E_s = \frac{E_a}{mass}$$

$$E_s = \frac{41.67}{1.67} \text{ N.m/kg}$$

$$E_s = 53.62 \text{ N.m/kg}$$

ส่วนการคำนวณในการต่อแบบอื่น และการคำนวณจากวิธี FEA ก็มีวิธีคิดเช่นเดียวกับตัวอย่างข้างต้นตามข้อมูลในตารางที่ 5.1

2. ตัวอย่างการคำนวณจากตารางที่ 5.3

ตัวอย่างผลการคำนวณของแผงโครงสร้างด้านข้างที่ต่อแบบขนาน (FEA)

2.1 การทดสอบภายใต้ภาระการชนในแนวแกน (Axial load)

การหา Energy Absorption, E_a ข้อมูลจากการทดสอบ P_{mean} = 207.32 kN, Stroke = 320 mm, ซึ่งหาได้จากสมการ

$$E_a = P_{mean}.Stroke$$

$$E_a = 207.32 \times 320 = 66.34 \text{ N.m}$$

$$E_a = 66.34 \text{ N.m}$$

เมื่อ P_{mean} = ภาระเฉลี่ยจากการทดสอบ

$Stroke$ = ระยะยุบตัวจากการทดสอบ

2.2 การทดสอบการชนด้านข้างในแนวตั้งฉาก

การหา Energy Absorption, E_a จากข้อมูลการทดสอบ P_{mean} = 170.15 kN, (θ) = 0.077 เรเดียน, Moment = 709.94 N.m ซึ่งหาได้ดังนี้

$$\text{Moment} = P_{mean} \times r = 170.15 \times 4.172 = 709.94 \text{ kN.m}$$

เมื่อ P_{mean} = ภาระเฉลี่ยที่ใช้กระทำกับโครงสร้าง, N

r = รัศมีจากแนวแรงถึงปลายด้านหนึ่งของโครงสร้าง, (4.172) m

สามารถหาค่าการดูดซับพลังงานจากการดัดได้จากสมการ

$$E_a = Moment \times \theta$$

$$E_a = 709.94 \times 0.077 = 54.67 \text{ kN.m}$$

3. ตัวอย่างการคำนวณจากตารางที่ 5.4

ตัวอย่างผลการคำนวณของการทดสอบการชนของโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานด้วยภาระทั้ง 3 แบบ

3.1 การทดสอบภายใต้ภาระแบบกดในแนวแกน (Axial load)

การหา Energy Absorption, E_a ข้อมูลจากการทดสอบ P_{mean} = 255.75 kN, Stroke = 600 mm, มวล = 197.51 kg ซึ่งหาได้จากสมการ

$$E_a = P_{mean}.Stroke$$

$$E_a = 255.75 \times 600 = 153.45 \text{ kN.m}$$

ตัวอย่างการคำนวณหา Specific Energy Absorption, E_s สามารถหาค่าพลังงานดูดซับจำเพาะได้จากสมการ

$$E_s = \frac{E_a}{mass}$$

$$E_s = \frac{153.45 \times 10^3}{197.51} = 776.92 \text{ N.m/kg}$$

3.2 การทดสอบภายใต้ภาระแบบดัด (Bending load)

การหา Energy Absorption, E_a ข้อมูลจากการทดสอบ P_{mean} = 28.62 kN, (θ) = 0.2 เรเดียน, Moment = 119.42 kN.m

$$\text{Moment} = P_{mean} \times r = 28.62 \times 4.172 = 119.42 \text{ kN.m}$$

เมื่อ P_{mean} = ภาระเฉลี่ยที่ใช้กระทำกับโครงสร้าง, N

r = รัศมีจากแนวแรงถึงปลายด้านหนึ่งของโครงสร้าง, (4.172) m

$$E_a = Moment \times \theta$$

$$E_a = 119.42 \times 0.2 = 23.88 \text{ kN.m}$$

ตัวอย่างการคำนวณหา Specific Energy Absorption, E_s สามารถหาค่าพลังงานดูดซับจำเพาะได้จากสมการ

$$E_s = \frac{E_a}{mass}$$

$$E_s = \frac{120.92 \times 10^3}{197.51} = 120.92 \text{ N.m/kg}$$

3.3 การทดสอบภายใต้ภาระแบบบิด (Twisting load)

การหา Energy Absorption, E_a จากข้อมูลการทดสอบ P_{mean} =10.94 kN, Moment = 12.85 N.m, (θ) = 0.48 เรเดียน, มวล = 197.51 kg, ซึ่งหาได้ดังนี้

$$\text{Moment} = P_{mean} \times r = 10.94 \times 1.175 = 12.85 \text{ kN.m}$$

เมื่อ P_{mean} = ภาระเฉลี่ยที่ใช้กระทำกับโครงสร้าง, N

r = รัศมีของความกว้างโครงสร้างหลังคา, (1.175) m

สามารถหาค่าการดูดซับพลังงานจากการบิดได้จากสมการ

$$E_a = Moment \times \theta$$

$$E_a = 12.85 \times 0.48 = 6.17 \text{ kN.m}$$

การหา Specific Energy Absorption, E_s สามารถหาค่าพลังงานดูดซับจำเพาะจากการบิดได้จากสมการ

$$E_s = \frac{E_a}{mass}$$

$$E_s = \frac{6.17 \times 10^3}{197.51} = 31.23 \text{ N.m/kg}$$

ส่วนการคำนวณโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบเฉียงมีวิธีคำนวณเช่นเดียวกับตัวอย่างข้างต้น ตามข้อมูลในตารางที่ 5.4

4. ตัวอย่างการคำนวณจากตารางที่ 5.5

ตัวอย่างผลการคำนวณของโครงสร้างหลังคาที่ต่อโดยการเปลี่ยนหน้าตัดของเหล็กรูปทรงต่างๆ ภายใต้ภาระการชนในแนวแกน

การหา Energy Absorption, E_a โดยการใช้เหล็กหน้าตัดวงกลมเป็นตัวต่อเสริม ข้อมูลจากการทดสอบ P_{mean} = 238.65 kN, Stroke = 550 mm, มวล = 190.36 kg ซึ่งหาได้จากสมการ

$$E_a = P_{mean}.Stroke$$

$$E_a = 238.65 \times 550 = 125.85 \text{ kN.m}$$

เมื่อ P_{mean} = ภาระเฉลี่ยจากการทดสอบ

$Stroke$ = ระยะยุบตัวจากการชน

การหาค่าพลังงานดูดซับจำเพาะ (Specific Energy Absorption), E_s หาได้จากสมการ

$$E_s = \frac{E_a}{mass}$$

$$E_s = \frac{125.85}{190.36} = 689.50 \text{ N.m/kg}$$

ส่วนการคำนวณในการต่อแบบอื่นๆ จากตารางที่ 5.6 และตารางที่ 5.7 ก็มีวิธีคำนวณเช่นเดียวกับตัวอย่างตามข้อมูลดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

ภาคผนวก ข
รายการผลงานตีพิมพ์เนื่องจากงานวิจัยนี้

[1] นิรุต อ่อนสลุง, ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ และ อำไพศักดิ์ ทีบุญมา. **การศึกษาความสามารถในการดูดซับพลังงานของแบบจำลองโครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร ภายใต้การชน.** วารสารวิศวกรรม มข. ปีที่ 34 ฉบับที่ 3 ประจำเดือน พฤษภาคม-มิถุนายน 2550. หน้า 343-354.

[2] นิรุต อ่อนสลุง, ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ และ ชาคริต โพธิ์งาม. **การศึกษาความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการชนของโครงสร้างหลังคารถยนต์โดยสาร จากการต่อเสริมด้วยเหล็กที่มีหน้าตัดต่างกัน.** การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21. 17-19 ตุลาคม 2550 : ชลบุรี. โรงเรียนนายเรืออากาศ. Paper no. AMM035

[3] นิรุต อ่อนสลุง, ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ และ ชาคริต โพธิ์งาม. **การศึกษาความสามารถในการดูดซับพลังงานของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารภายใต้แรงกด แรงบิด และแรงดัด.** การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20. 18-20 ตุลาคม 2549: นครราชสีมา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. Paper no. AMM062

[4] นิรุต อ่อนสลุง, ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ และ อำไพศักดิ์ ทีบุญมา. **การศึกษาผลตอบสนองต่อการกดของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสาร.** การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19. 19-21 ตุลาคม 2548 : ภูเก็ต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. Paper no. AMM031