การออกแบบโครงสร้างยานยนต์สมัยใหม่ (Modern Vehicle Structural Design)

ดร.กิตติ์ชนน เรืองจิรกิตติ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

โครงสร้างยานยนต์ (Vehicle Structure) นับเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญของยานยนต์ทุกประเภทเนื่องจากชิ้นส่วนและระบบต่างๆ เช่น เครื่องยนต์ ระบบส่งกำลัง ระบบบังคับเลี้ยว ระบบช่วงล่าง ฯลฯ จะต้องถูกติดตั้งบนโครงสร้าง ดังนั้นโครงสร้างยานยนต์จะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับภาระโหลดที่เกิดจากน้ำหนักและการทำงานของชิ้นส่วนต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น นอกจากนี้ โครงสร้างยานยนต์จะต้องรับภาระโหลดที่เกิดขึ้นจากสภาวะการใช้งานในรูปแบบต่างๆ เช่น การเร่งหรือการเบรก การเลี้ยวโค้ง การใช้งานบนพื้นถนนที่ขรุขระ ฯลฯ อีกสิ่งหนึ่งที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบโครงสร้างยานยนต์ด้วยคือความปลอดภัย ซึ่งหมายถึงการออกแบบโครงสร้างบริเวณด้านหน้าและด้านท้ายของยานยนต์ให้มีความสามารถในการเสียรูปได้เพื่อสามารถดูดซับพลังงานบางส่วนจากการชน ทำให้ผู้โดยสารได้รับแรงปะทะน้อยลง ในขณะที่โครงสร้างตอนกลางบริเวณห้องโดยสารจะต้องถูกออกแบบให้สามารถคงรูปอยู่ได้มากที่สุดเมื่อเกิดอุบัติเหตุ นอกจากความสามารถในการรับภาระโหลดและความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการชนของโครงสร้าง น้ำหนักของโครงสร้างเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญและจะต้องคำนึงถึง เนื่องจากยานยนต์ที่มีน้ำหนักเบาจะส่งผลให้มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงหรือพลังงานต่ำลงด้วย โดยน้ำหนักของยานยนต์ที่ลดลงร้อยละ 10 จะช่วยให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดลงร้อยละ 6-8 [1] ดังนั้นผู้ผลิตยานยนต์ในปัจจุบันจึงมุ่งเน้นที่จะออกแบบโครงสร้างยานยนต์ให้มีน้ำหนักเบาลงโดยการออกแบบให้โครงสร้างมีปริมาตรน้อยที่สุดในขณะที่ยังคงความแข็งแรงของโครงสร้างไว้ได้ ดังจะเห็นได้จากการนำโลหะแผ่นมาใช้ในกระบวนการปั๊มขึ้นรูปและนำไปเชื่อมด้วยวิธีต่างๆ จนได้องค์ประกอบต่างๆ ของโครงสร้างยานยนต์ และการใช้วัสดุน้ำหนักเบา เช่น เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง อลูมิเนียม และวัสดุคอมโพสิท มาแทนที่การใช้เหล็กกล้าที่มีน้ำหนักมาก จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าการออกแบบโครงสร้างยานยนต์มีความซับซ้อนและจะต้องพิจารณาหลายด้านเพื่อให้ได้โครงสร้างที่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

ปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงสร้างยานยนต์

1. ภาระโหลด

ในการออกแบบโครงสร้างยานยนต์ สิ่งแรกที่จะต้องพิจารณาคือภาระโหลดที่โครงสร้างได้รับจากชิ้นส่วนต่างๆ ของยานยนต์และจากสภาวะการใช้งาน ซึ่งความเสียหายที่สำคัญที่อาจเกิดขึ้นกับโครงสร้างยานยนต์อันเนื่องมาจากการรับภาระโหลดประกอบด้วย 2 รูปแบบ ได้แก่

1. ความเสียหายจากภาระโหลดเกินขีดจำกัดที่เกิดขึ้นทันทีทันใด (Instantaneous overloads) และ
2. ความเสียหายจากความล้า (Fatigue damage)

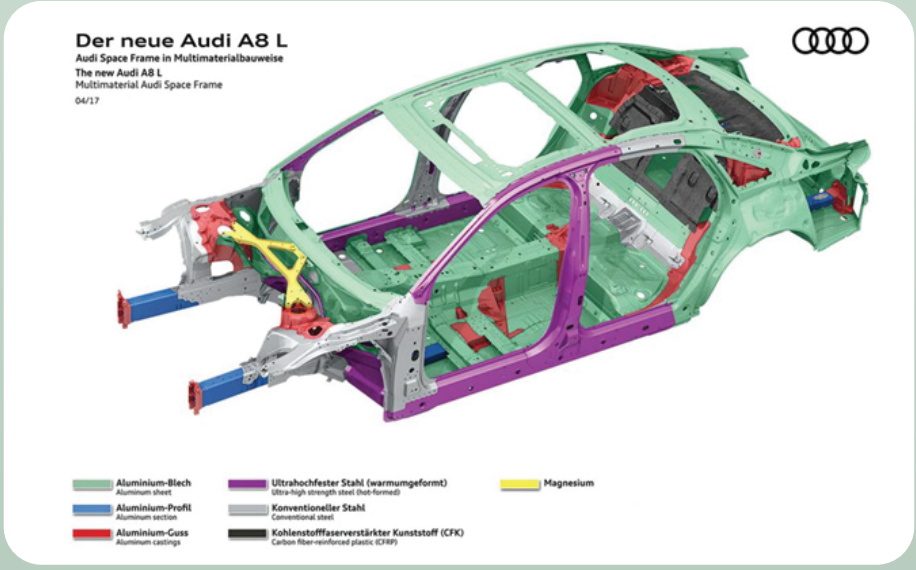
ทั้งนี้ ความเสียหายของโครงสร้างทั้ง 2 รูปแบบ มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 รายละเอียดรูปแบบความเสียหายต่อโครงสร้างที่อาจเกิดขึ้นจากภาระโหลด [2]

ประเภทภาระโหลด	จำนวนครั้งที่อาจเกิดขึ้น	ขนาดของภาระโหลด (นิวตัน)	เกณฑ์ที่ยอมรับได้	สภาพถนนหรือรูปแบบการขับขี่ที่ทำให้เกิดภาระโหลดรูปแบบต่างๆ
ภาระโหลดเกินขีดจำกัด	ต่ำ (<10)	สูง (10)[4]	โครงสร้างเสียรูปถาวรได้เล็กน้อย และยังคงใช้งานได้ตามที่ถูกออกแบบไว้	หลุมขนาดใหญ่บนพื้นถนน หรือการชนเข้ากับขอบทางเท้า หรือการเบรกอย่างกระทันหัน หรือการเข้าโค้งที่ความเร็วสูง
ความล้า	สูง (10)[2]	ปานกลาง (10)[3]	ไม่เกิดรอยแตกขึ้นที่โครงสร้าง หรือเกิดรอยแตกแต่ไม่ขยายตัว และยังคงใช้งานได้ตามที่ถูกออกแบบไว้	หลุมขนาดกลางบนพื้นถนน หรือถนนที่ขรุขระ หรือถนนที่มีหินอยู่จำนวนมาก

2.วัสดุน้ำหนักเบา

หลังจากการคำนวณภาระโหลดที่จะเกิดขึ้นกับยานยนต์และออกแบบรูปทรงของโครงสร้างให้เหมาะสมเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปที่มีความสำคัญมากเช่นเดียวกันคือการเลือกใช้วัสดุให้มีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นเหมาะสมต่อการใช้งาน นอกจากนี้วัสดุที่เลือกใช้จะต้องมีน้ำหนักเบาและสามารถขึ้นรูปได้ด้วยกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน และอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือต้องมีราคาทั้งในส่วนของราคาวัตถุดิบและค่าใช้จ่ายในการขึ้นรูปต่ำ โดยในอดีต วัสดุหลักที่ถูกนำมาใช้สำหรับโครงสร้างยานยนต์คือเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low carbon steel) อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเทคโนโลยีวัสดุได้ถูกพัฒนาไปอย่างมาก และมีการนำวัสดุน้ำหนักเบาหลายชนิดมาใช้ผสมผสานเพื่อทดแทนเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1 นอกจากนี้ข้อดีและข้อเสียของวัสดุน้ำหนักเบาแต่ละชนิดที่เป็นที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตโครงสร้างยานยนต์ได้ถูกสรุปไว้ในตารางที่ 2 ดังนี้



รูปที่ 1 การใช้วัสดุน้ำหนักเบาประเภทต่างๆ สำหรับโครงสร้างยานยนต์ (ภาพจาก ©Audi AG) [1]

ตารางที่ 2 จุดเด่นและจุดด้อยของวัสดุน้ำหนักเบาประเภทต่างๆ ที่ถูกนำมาใช้สำหรับโครงสร้างยานยนต์ [1]

ประเภทวัสดุ	จุดเด่น	จุดด้อย
เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง (High-strength steel)	- ความแข็งแรงสูง - ทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดี	- ราคาสูง - แม่พิมพ์ลึกกร่อนเร็วกว่าเหล็กกล้าทั่วไป - ความเหนียวลดลงเมื่อความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การขึ้นรูปและการเชื่อมทำได้ยากขึ้น
อลูมิเนียม (Aluminum)	- วิศวกรและนักวิทยาศาสตร์เข้าใจสมบัติด้านต่างๆ และกระบวนการผลิตเป็นอย่างดี - น้ำหนักเบากว่าเหล็กกล้า - ค่าความแข็งแรงและการดูดซับพลังงานอยู่ในเกณฑ์ดี	- ราคาสูงกว่าเหล็กกล้า - ขึ้นรูปและการเชื่อมทำได้ยาก
แมกนีเซียม (Magnesium)	- เป็นโลหะที่มีน้ำหนักเบาที่สุด - สามารถขึ้นรูปได้ด้วยเครื่องจักรที่มีอยู่ในปัจจุบัน	- ราคาสูง - การเชื่อม การซ่อมแซม การรีไซเคิลทำได้ยาก - ไม่ทนทานต่อการกัดกร่อน
วัสดุคอมโพสิทเสริมแรงด้วยเส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber composites)	- น้ำหนักเบา - ความแข็งแรงสูง - สามารถขึ้นรูปโครงสร้างที่มีรูปทรงซับซ้อนได้	- ราคาสูง - การเชื่อมทำได้ยาก - การออกแบบและวิเคราะห์การรับภาระโหลดที่เหมาะสมมีความซับซ้อน - ใช้เวลาในการผลิตโครงสร้างมาก - ปริมาณเส้นใยคาร์บอนไม่เพียงพอต่อความต้องการในอุตสาหกรรมยานยนต์
ไทเทเนียม (Titanium)	- มีอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง - ทนต่อการใช้งานที่อุณหภูมิสูง	- ราคาสูง - การขึ้นรูปทำได้ยาก

3. กระบวนการผลิต

ในปัจจุบันผู้ผลิตยานยนต์ส่วนใหญ่ได้มีการนำระบบการผลิตอัตโนมัติ (Automation) มาใช้มากขึ้นเพื่อลดต้นทุนค่าแรงของแรงงาน อีกทั้งยังเพิ่มผลิตภาพและความแม่นยำในการผลิตโครงสร้างรวมถึงชิ้นส่วนต่างๆ ได้มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ เพื่อลดต้นทุนในการผลิต ผู้ผลิตยานยนต์ยังได้มีการนำแนวคิดการผลิตชิ้นส่วนของรถยนต์รุ่นต่างๆ โดยใช้แพลตฟอร์มเดียวกัน (Automotive platform sharing หรือ Automotive common platform) เข้ามาใช้มากขึ้น ซึ่งรูปแบบการผลิตดังกล่าวจะใช้โครงสร้างและชิ้นส่วนในระบบต่างๆ ร่วมกันเพื่อผลิตรถยนต์รุ่นต่างๆ และสร้างความแตกต่างในส่วนของการออกแบบรูปลักษณ์ทั้งภายนอกและภายใน และมีการใช้ชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะที่แตกต่างกัน [3] การผลิตยานยนต์โดยใช้แพลตฟอร์มร่วมกันนั้นมีข้อดีคือสามารถบริหารจัดการคลังสินค้าได้ง่าย และยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการพัฒนาชิ้นส่วนใหม่สำหรับรถยนต์รุ่นใหม่ได้อีกด้วย ดังนั้นการใช้แพลตฟอร์มการผลิตร่วมกันจะช่วยให้ผู้ผลิตยานยนต์สามารถผลิตรถยนต์หลากหลายรุ่นโดยมีค่าใช้จ่ายที่น้อยลง อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตที่ใช้แพลตฟอร์มร่วมกันก็มีข้อเสียคือความแตกต่างของรถยนต์รุ่นต่างๆ จะมีน้อยลงเมื่อจำนวนรุ่นที่ผลิตมีมากขึ้น นอกจากนี้หากชิ้นส่วนใดชิ้นส่วนหนึ่งมีปัญหาและต้องเรียกกลับ จะส่งผลกระทบต่อรถยนต์ทุกรุ่นที่ใช้ชิ้นส่วนที่มีปัญหาดังกล่าว ซึ่งจะเกิดความเสียหายต่อผู้ผลิตอย่างมาก

แหล่งที่มา :

[1] Pros & Cons of Advanced Lightweighting Materials, Tech Briefs, March 2018.

[2] Brown J. C., Robertson A. J. and Serpento S.T., Motor Vehicle Structures: Concepts and Fundamentals, Butterworth-Heinemann, UK, 2002.

[3] Deepak Balu, Automotive Platform Sharing: An Overview, Frost & Sullivan, June 2004.