โมดูลของยังเชิงพลศาสตร์

(Dynamic Young's Modulus)

โดย ดร. ธนู ฉุยฉาย *

นายเดชา กฤษณะกลิ่น*

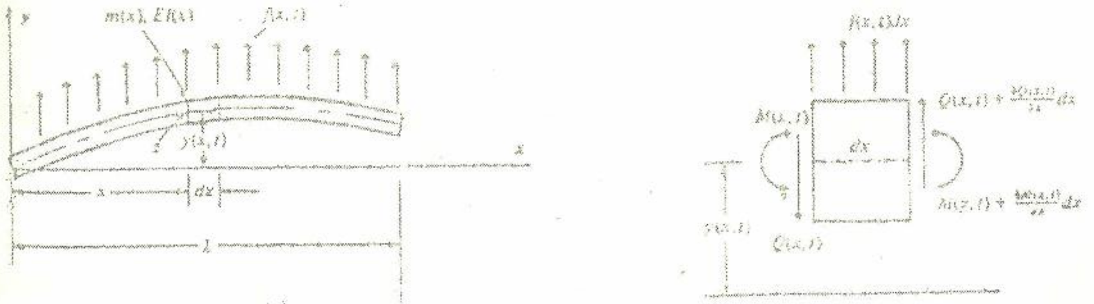
นายพงศ์ธร มนูพิพัฒน์พงศ์ *

<u>บทนำ</u>

ในการทดสอบชิ้นงานมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม และการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุในปัจจุบันจะพยายามหาหนทางที่จะหลีกเลี่ยงการทำลายวัสดุ แต่การวัดค่าโมดูลัสของยัง (Young's Modulus, $E=\sigma/\varepsilon$) ซึ่งเป็นการวัดโดยการทำลายวัสดุ และค่าที่ได้ยังเป็นค่าคงที่ ซึ่งสำหรับวัสดุที่จะต้องใช้งานโดยมีการสั่นสะเทือนเข้ามาเกี่ยวข้องแล้ว ค่าที่วัดได้โดยวิธีนี้จะไม่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบได้ดีเท่าที่ควร เพราะคุณสมบัติของวัสดุเปลี่ยนแปลงไปกับความถี่ ด้วยเหตุนี้ทางภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล (สจพ) พยายามพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าโมดูลของยังโดยยึดถือหลักการที่จะไม่ทำลายวัสดุและเปลี่ยนแปลงไปกับความถี่ เพื่อที่จะนำไปใช้งานในระบบที่มีการสั่นสะเทือนได้อย่างถูกต้อง

<u>ทฤษฎีของการสั่นสะเทือน</u>

ในการศึกษาเพื่อหาค่าโมดูลของยังที่เปลี่ยนไปกับความถี่จำเป็นต้องอาศัยทฤษฎีพื้นฐานของการสั่นสะเทือนเข้าช่วย โดยพิจารณาคานที่อยู่ภายใต้แรง $f(x,t)$ ตามรูปที่ 1



<u>รูปที่ 1</u> แผนภาพอิสระของแท่งวัตถุ

*อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

จากรูปที่ 1 ь. และกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน (Newton's Second Law) สมดุลย์ของแรงในแนวตั้งเมื่อคานมีการเคลื่อนที่เป็น

$$\left[Q(x,t)+\frac{\partial Q(x,t)}{\partial x}dx\right]-Q(x,t)+f(x,t)dx = m(x)dx\,\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} \qquad (1)$$

และการสมดุลย์ของคานที่เกิดจากแรงตัดเป็น

$$\left[M(x,t)+\frac{\partial M(x,t)}{\partial x}dx\right]-M(x,t)+\left[Q(x,t)+\frac{\partial Q(x,t)}{\partial x}dx\right]+f(x,t)dx\frac{dx}{2} = 0 \qquad (2)$$

เมื่อละทิ้งเทอมกำลังสองของ dx และแทนสมการ (2) ลงใน (1) ได้

$$-\frac{\partial^2 M(x,t)}{\partial x^2} + f(x,t) = m(x)\,\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} \qquad 0 < x < L \qquad (3)$$

จากกลศาสตร์วัสดุ การเปลี่ยนรูปร่างของคานที่เกิดจากการตัด คือ

$$M(x,t) = EI(x)\ \partial^2 y(x,t)/\partial x^2 \qquad (4)$$

แทน (4) ใน (3) ได้

$$-\frac{\partial^2}{\partial x^2}\left[EI(x)\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2}\right] + f(x,t) = m(x)\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} \qquad 0<x<L \qquad (5)$$

ถ้าคานที่ใช้ในการพิจารณาไม่มีแรง $f(x,t)$ กระทำดังนั้น สมการ (5) จะหาคำตอบได้โดยกำหนดให้

$$y(x,t) = Y(x)F(t) \qquad (6)$$

แทน (6) ใน (5) ได้

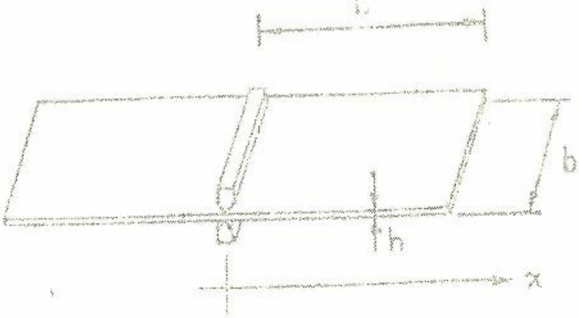
$$\frac{-1}{m(x)Y(x)}\frac{d^2}{dx^2}\left[EI(x)\,\frac{d^2Y(x)}{dx^2}\right] = \frac{1}{F(t)}\,\frac{d^2F(t)}{dt^2} \qquad (7)$$

สมการ (7) จะสามารถแยกจากกันได้อย่างอิสระโดยกำหนดให้ (7) มีค่าเท่ากับ $-\omega^2$ และ (7) จะแยกออกเป็น 2 สมการคือ

$$\frac{d^2F(t)}{dt^2} + \omega^2F(t) = 0$$

$$\frac{d^2}{dx^2}\left[EI(x)\frac{d^2Y(x)}{dx^2}\right] = \omega^2 m(x)Y(x) \qquad 0<x<L \qquad (8)$$

ในการหาค่าโมดูลของยัง ในที่นี้จะพิจารณาให้คานอยู่ในรูปของการยึดแน่นที่กึ่งกลางและปล่อยปลาย 2 ข้างเป็นอิสระ ดังนั้นการพิจารณาคานจึงพิจารณาเพียงครึ่งเดียวเนื่องจากทั้งสองข้างเหมือนกัน



รูปที่ 2 ลักษณะของคานและการจับยึด

จากสมการ (8) เมื่อนำมาใช้กับคานตามรูปที่ 2 จะทำให้ค่า I(x) เป็นค่าคงที่ และ m(x) เป็นมวลต่อหน่วยความยาว ดังนั้น (8) เขียนใหม่เป็น

$$\frac{d^4Y(x)}{dx^4} - \beta^4 Y(x) = 0 \qquad (9)$$

โดยที่ $\beta^4 = \omega^2 m/EI$

สมมติให้คำตอบของสมการ (9) เป็น

$$Y(x) = C_1\sin\beta x + C_2\cos\beta x + C_3\sinh\beta x + C_4\cosh\beta x \qquad (10)$$

เงื่อนไขที่ขอบของคานตามรูปที่ 2 คือ

$$Y(0) = 0 \quad , Y'(0) = 0$$
$$Y''(0) = 0 \quad , Y'''(0) = 0$$

ซึ่งทำให้ได้ว่า

$$C_2 + C_4 = 0 \qquad (11)$$
$$C_1 + C_3 = 0 \qquad (12)$$
$$C_1(\sin\beta L + \sinh\beta L) + C_2(\cos\beta L + \cosh\beta L) = 0 \qquad (13)$$
$$C_1(\cos\beta L + \cosh\beta L) - C_2(\sin\beta L - \sinh\beta L) = 0 \qquad (14)$$

จากสมการ (13) และ (14) จัดรูปใหม่เพื่อหาค่า C_1 ได้

$$C_1[(\sin\beta L + \sinh\beta L)(\sin\beta L - \sinh\beta L) + (\cos\beta L + \cosh\beta L)^2] = 0 \qquad (15)$$

ถ้า C_1 ไม่เท่ากับ 0 ดังนั้น

$$(\sin\beta L + \sinh\beta L)(\sin\beta L - \sinh\beta L) + (\cos\beta L + \cosh\beta L)^2 = 0$$
$$\cos\beta L \cosh\beta L = -1 \qquad (16)$$

เมื่อใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลขคำนวณสมการ (16) ซึ่งจะทำให้ได้ค่า $\beta_r L$, r=1,2,...

อนันต์ค่า ในที่นี้ได้แสดงค่า $\beta_r L$ ไว้ในตารางที่ 1 เพียง 5 ค่า ซึ่งเปรียบได้กับค่าที่สอดคล้องตามค่าความถี่ธรรมชาติของคานทั้ง 5 โมด (mode)

Mode	$\beta_r L = Cr$
1	1.875104
2	4.694092
3	7.854758
4	10.99554
5	14.13717

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ของ $\beta_r L$

เมื่อพิจารณา β ในสมการ (9) จะเขียนให้อยู่ในรูป β_r ได้เป็น

$$\beta_r^4 = \omega_r^2 m/EI \tag{17}$$

จากตารางที่ 1 ค่า $\beta_r L = Cr$ ดังนั้น เขียนสมการ (17) ในรูปของ Cr ได้เป็น

$$\omega_r = Cr^2\sqrt{\frac{EI}{mL^4}} \tag{18}$$

ให้

$$\omega_r = 2\pi f_r$$

และ $I = bh^3/12$

สมการ (18) เป็น

$$E = \frac{48\pi^2 f_r^2}{C_r^4}\left(\frac{L}{h}\right)^3\left(\frac{M}{b}\right) \tag{19}$$

โดยที่ E = โมดูลของยัง (Young's Modulus) (Pa)

f_r = ความถี่ธรรมชาติโมดที่ r (Hz)

L = ความยาวของคาน (m)

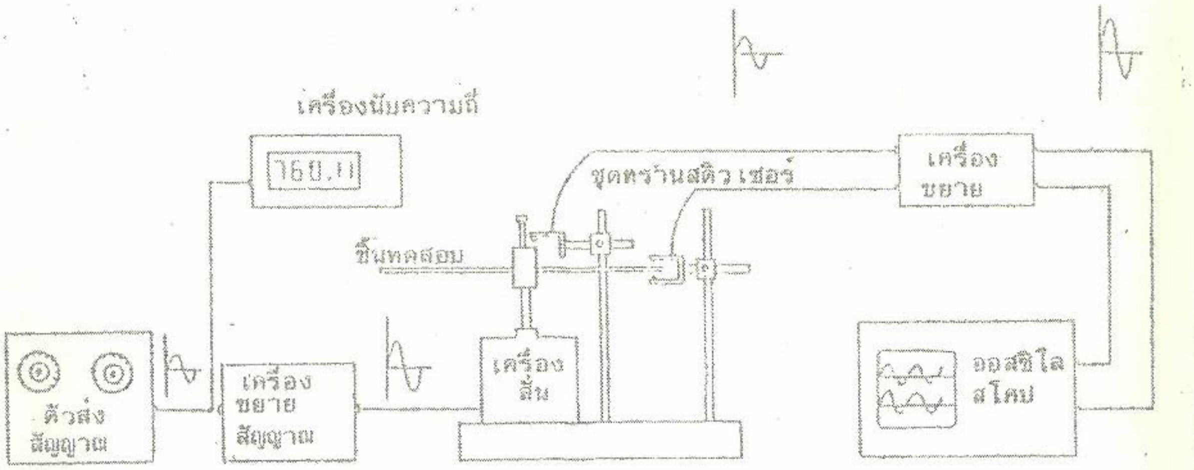
b = ความกว้างของคาน (m)

h = ความหนาของคาน (m)

M = มวลของคาน (kg)

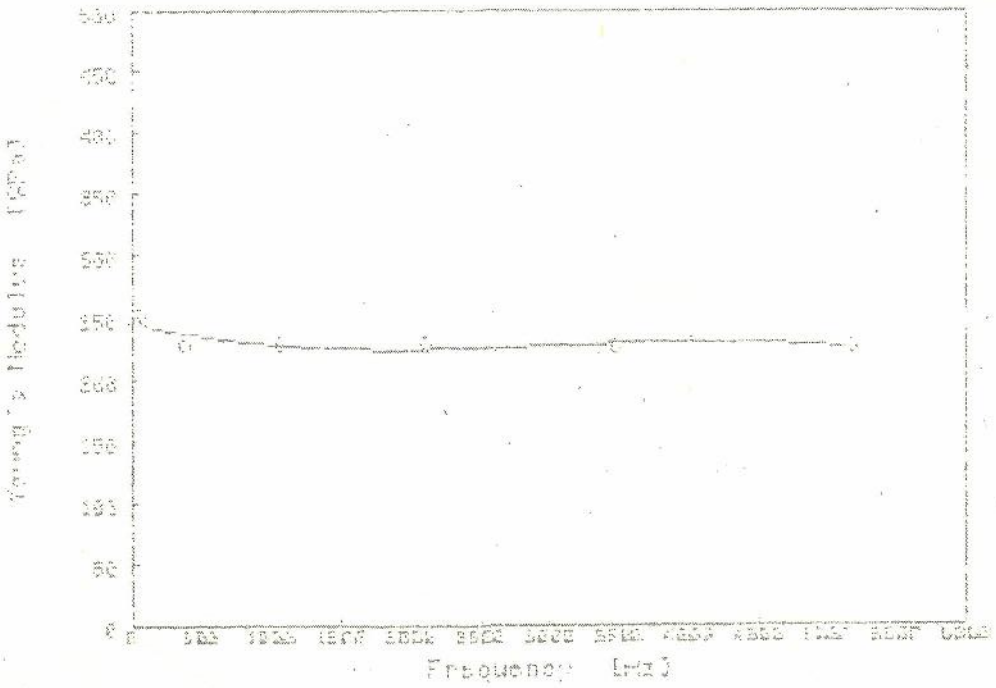
<u>การวัดค่าโมดูลของยัง</u>

จะเห็นว่าค่าต่างๆ ทางขวามือของสมการ (19) เป็นค่าที่ทราบแล้ว ยกเว้น f_n ซึ่งเป็นความถี่ธรรมชาติของคาน ซึ่งจะได้จากการวัดจากคานโดยตรง ดังนั้นจึงต้องสร้างเครื่องมือเพื่อใช้ในการวัดหาค่าความถี่ธรรมชาติขึ้นตามรูปที่ 3

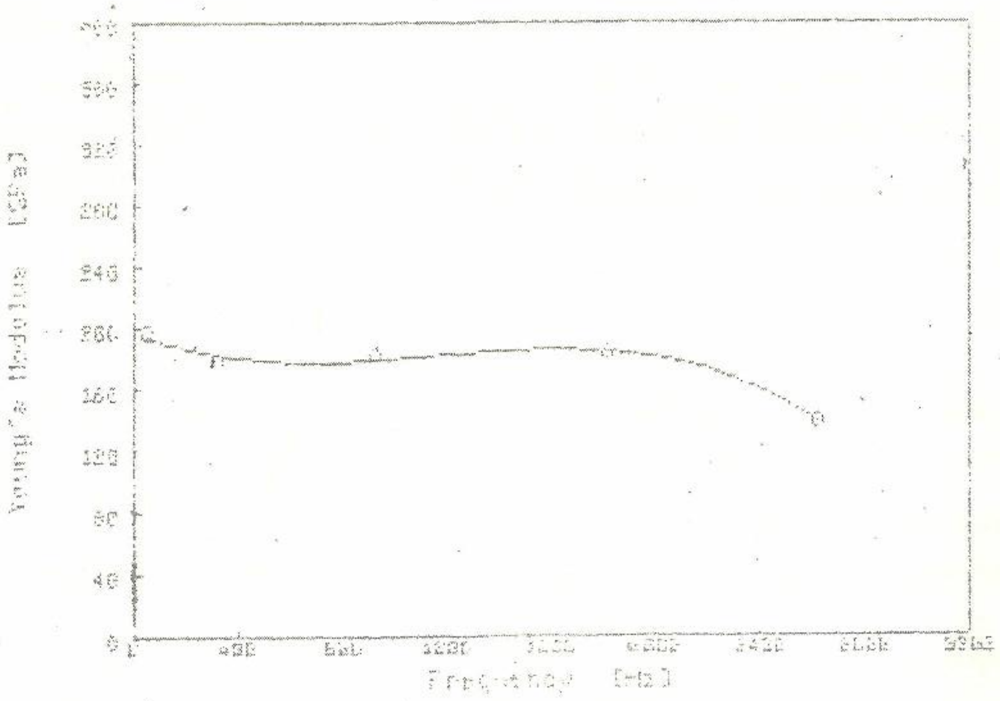


<u>รูปที่ 3</u> เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความถี่ธรรมชาติของคาน

ในการวัดหาค่าความถี่ธรรมชาติ ทำโดยวัดฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) ของคานออกมาแล้ววัดความถี่ธรรมชาติของคานออกมาทีละโมด จากค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้แทนค่าลงในสูตรตามสมการ (19) ก็จะสามารถคำนวณหาค่าโมดูลของยังออกมาได้ แต่ถ้าไม่มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดฟังก์ชันถ่ายโอน ก็สามารถวัดความถี่ธรรมชาติออกมาได้โดยใช้สโคปวัดสัญญาณที่ทางเข้าและทางออกของคานตามรูปที่ 5



<u>รูปที่ 4</u> โมดูลของยังของเหล็กแผ่น



<u>รูปที่ 5</u> โมดูลของยังของแผ่นสแตนเลส

จากกราฟในรูปที่ 4 และ 5 เป็นการวัดค่าโมดูลของยัง ของเหล็กแผ่น และสแตนเลสแผ่นที่มีขายในท้องตลาดในประเทศไทย สำหรับเหล็กแผ่นจะเห็นว่าค่าโมดูลของยังเกือบเป็นค่าคงที่ตลอดย่านความถี่จาก 0 ถึง 5 kHz แต่นั่นไม่ได้หมายความว่าค่าโมดูลของยังสำหรับเหล็กแผ่นเป็นค่าคงที่ ตามความเป็นจริงแล้วค่าโมดูลของยังจะลดน้อยลงเรื่อยๆ ที่ความถี่สูงๆ แต่ในการทดลองตัว Vibrator ไม่สามารถตอบสนองได้ที่ความถี่สูงเกินกว่า 6 kHz ดังนั้นจึงวัดค่ามาได้เพียงประมาณ 5 kHz เท่านั้น ส่วนในรูปที่ 5 เป็นโมดูลของยังของแผ่นสแตนเลส ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าค่าโมดูลของยังลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่ความถี่สูงๆ

<u>สรุป</u>

ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ต้องการความเที่ยงตรงและไม่ต้องการให้มีน้ำหนักมากเกินความจำเป็น เช่น ชิ้นส่วนในเครื่องบิน จรวด และยานอวกาศ ซึ่งต้องให้มีน้ำหนักเบาที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ถ้าใช้ค่าโมดูลของยังที่ได้จากการวัดด้วย Tensile Testing Machine ซึ่งเป็นค่าโมดูลของยังสถิตไปออกแบบจำเป็นต้องคูณด้วยค่าความปลอดภัย (safety factor) ซึ่งจะไม่สามารถบอกได้ชัดเจนว่าค่าความปลอดภัยควรมีค่าเท่าใดจึงจะพอดี และการคูณด้วยค่าความปลอดภัยย่อมทำให้การออกแบบมีขนาดใหญ่เทอะทะ และมีน้ำหนักมาก แต่ถ้าใช้ค่าโมดูลของยังเชิงพลศาสตร์ในการออกแบบโดยเลือกให้ตรงกับความถี่ที่ใช้งานการคูณด้วยค่าความปลอดภัยก็ไม่มีความจำเป็นหรืออาจจะคูณด้วยค่าน้อยๆ นอกจากนี้การทดสอบหาค่าโมดูลของยังเชิงพลศาสตร์ยังมีข้อได้เปรียบตรงที่ไม่มีการทำลายชิ้นทดสอบ ซึ่งทำให้สามารถทดสอบซ้ำๆ กันได้หลายๆ ครั้งเท่าที่ต้องการจนได้ค่าที่เที่ยงตรง

<u>เอกสารอ้างอิง</u>

1. เจษฎา ทรงสัตย์, นายเทิดศักดิ์ ขาวสะอาด "การวัดค่ายังโมดูลัสเชิงพลศาสตร์" ปริญญานิพนธ์ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ, ตุลาคม 2530
2. T. Vinh , "Materials Composite"; เอกสารประกอบการสอนของ ISMCM แห่ง St-Ouen France ,1984

รถลุยน้ำ

ที่มาของปัญหา

ในแต่ละปีเมื่อถึงหน้าฝน ตามเมืองใหญ่ ๆ เช่นในกรุงเทพมหานครจะมีน้ำท่วม จะเห็นรถตายอยู่กลางถนนมากมาย บางคันเครื่องยนต์ไม่ดับแต่ก็วิ่งผ่านไม่ได้เพราะน้ำท่วมสูงเกินไป ทำให้การจราจรติดขัดเป็นอย่างมาก ในปีหนึ่ง ๆ เจ้าของรถต้องเสียค่าซ่อมมิใช่น้อย ในต่างจังหวัดก็เช่นเดียวกัน ถนนที่น้ำท่วมรถวิ่งผ่านไม่ได้ ทำให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก ปัญหาเหล่านี้น่าจะแก้ได้ จึงได้เกิดแนวความคิดขึ้นมาว่า ถ้าได้ดัดแปลงรถให้วิ่งผ่านน้ำได้ลึกพอสมควรก็จะช่วยในเรื่องนี้ได้มาก ครั้งแรกทีเดียวคิดว่าจะทำเพื่อลดความเสียหายของรถที่แล่นผ่านน้ำ ต่อมาเมื่อได้ทำการวิจัยไปเป็นบางส่วนเห็นว่ารถคันนี้สามารถแล่นในน้ำได้ไม่จำกัดความลึกตราบเท่าที่ท่อไอดี-ไอเสียพ้นน้ำและมีแรงกดบนล้อพอ ผลของโครงการนี้จึงออกมาเท่าที่ท่านได้ทราบและได้เห็น

วัตถุประสงค์

สร้างรถยนต์ขึ้นหนึ่งคันให้วิ่งผ่านน้ำได้โดยให้เกิดความเสียหายน้อยที่สุด

วิธีทำ

เครื่องยนต์ที่ใช้ในรถยนต์ส่วนมากมี 2 ชนิด คือ เครื่องยนต์เบนซิน และเครื่องยนต์ดีเซล ในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกเอาเครื่องยนต์ดีเซล เพราะทำง่ายกว่าและมีปัญหาน้อยกว่าเครื่องยนต์เบนซินและเพื่อให้เป็นแนวทางในการทำเครื่องยนต์เบนซินในโอกาสต่อไป

ในการทำนั้น ครั้งแรกได้แก้ปัญหาที่เครื่องยนต์พร้อมทั้งเครื่องส่งกำลังก่อน ได้มีการทดลองโดยเอาเครื่องที่ดัดแปลงแล้วจุ่มลงในน้ำในตู้กระจกที่ใส่น้ำสูงจนท่วมเครื่องยนต์ ทดลองเดินเครื่อง และสตาร์ทเครื่องในน้ำจนเป็นที่พอใจว่าไม่มีน้ำเข้า ส่วนที่สองได้ทำที่ตัวถัง ดัดแปลงส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญที่เข้า เช่นที่เฟืองท้าย ถังน้ำมันเชื้อเพลิง กระปุกเกียรพวงมาลัย ฯลฯ เป็นต้น เนื่องจากตัวถังมีโครงสร้างที่ใหญ่โตไม่สามารถสร้างตู้ทดลองได้ จึงได้นำเครื่องยนต์ที่ดัดแปลงแล้วมาติดตั้งบนตัวถัง แล้วนำรถคันนี้ไปทดลองวิ่งในน้ำจริง ๆ

ขั้นตอนในการทำและวิธีทำนั้นไม่สามารถชี้แจงให้ทราบในที่นี้ได้ เพราะมีรายละเอียดมาก สรุปโดยย่อว่ามีทั้งดัดแปลง ต่อเติม ห่อหุ้ม ใช้ความดันและใช้สูญญากาศ

ผลของการทดลอง

การทดลองนี้ได้ทำรุนแรงเกินกว่าเป้าหมายที่ได้วางไว้ คือทดลองในน้ำที่ลึกเกินไป (ประมาณ 1.80 เมตร) และเวลานานเกินไป (ในตู้กระจกแต่ละครั้ง 2-4 ชม. ในภาคสนามประมาณ 2 ชม.) รถที่แล่นลุยน้ำจริง ๆ จะไม่ลึกและใช้เวลานานเช่นนี้ อย่างไรก็ตามผลจากการทดลองเป็นที่พอใจไม่มีส่วนใดที่น้ำเข้าได้

หมายเหตุ

การดัดแปลงนี้ ไม่มีส่วนใดที่จะต้องถอดออกหรือประกอบเข้าไปเมื่อแล่นบนบกและในน้ำ

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทางเศรษฐกิจ

1.1 ค่าซ่อมรถ โดยทั่ว ๆ ไปรถยนต์ออกแบบมาให้แล่นบนบก เมื่อนำมาแล่นในน้ำจำเป็นอยู่เองน้ำจะต้องเข้าในสิ่งที่ไม่ต้องจะให้เข้า เช่น เยเนอเรเตอร สตาร์ทเตอร เฟืองท้าย กระปุกเกียร ห้องเพลาข้อเหวี่ยง ฯลฯ น้ำเมื่อเข้าไปผสมกับน้ำมันหล่อลื่น จะทำให้น้ำมันหล่อลื่นเสื่อมคุณภาพ ถ้ายืนใช้ต่อไปจะทำให้ส่วนนั้น ๆ เสียหาย แผ่นคลัทช์ถ้าเปียกน้ำจะทำให้ลื่น ส่วนที่เป็นไฟฟ้าถ้าสัมผัสกับน้ำจะทำให้ไฟฟ้าลัดวงจร น้ำเป็นบ่อเกิดแห่งการเป็นสนิม สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้สร้างความเสียหายให้กับรถในปีหนึ่ง ๆ เจ้าของรถต้องเสียค่าซ่อมมิใช่น้อย ถ้ารวมค่าเสียหายเหล่านี้ทั่วประเทศจะเป็นเงินจำนวนมิใช่น้อย

1.2 การสูญเปล่าของเชื้อเพลิง รถที่ตายตามถนนเนื่องจากน้ำท่วมมีให้เห็นกันทั่วไป ในเมืองใหญ่ ๆ เช่น กรุงเทพมหานคร ธรรมดาการจราจรก็ติดขัดอยู่แล้ว เมื่อมีรถตายขวางถนนอีกด้วยจะยิ่งเพิ่มการติดขัดขึ้นอีกเป็นทวีคูณ นานมาแล้วเคยมีผู้คำนวณความสูญเสียที่เกิดจากเครื่องยนต์ต้องเดินตัวเปล่าอันเกิดจากจราจรติดขัด โดยเฉพาะในกรุงเทพฯ ถึงนาทีละหลายแสนบาท เมื่อเทียบกับปัจจุบันจำนวนรถเพิ่มขึ้นมาก การสูญเสียในเรื่องนี้จะมีมากเพียงใด

2. ธุรกิจเสียหาย

อาชีพของคนปัจจุบันเต็มไปด้วยความรีบร้อนและเร่งรีบ มีการต่อสู้กันเองและต่อสู้กับเวลา ผู้ที่มีความสามารถกว่าและเร็วกว่าจะได้เปรียบกว่า ธุรกิจหลายประเภทที่ต้องมีการติดต่อกันเพื่อวางแผน เพื่อประชุมปรึกษาหารือกัน เพื่อแถลงนโยบาย หรือเพื่อกิจกรรมอย่างอื่น รถยนต์เป็นปัจจัยสำคัญในการเดินทาง ถ้ารถใช้ไม่ได้เนื่องจากน้ำท่วมถนน ก็จะทำให้ธุรกิจดังกล่าวเสียหายหมด

3. การขนส่งสินค้าหยุดชะงัก

การขนถ่ายสินค้าจากแหล่งผลิตไปยังผู้บริโภคมีความสำคัญมาก เพื่อที่จะสร้างความเจริญให้กับประเทศและเป็นการยกฐานะความเป็นอยู่ของประชาชนให้ดีขึ้น ถ้าจะมองการขนส่งสินค้า เพื่อที่จะส่งไปต่างประเทศ การขนส่งยิ่งมีความจำเป็นมาก เพราะจะต้องเป็นไปตามกำหนดเวลา ถ้ารถบรรทุกสินค้าดังกล่าวแล่นผ่านน้ำไปได้ ส่งสินค้าให้ตามเวลาไม่ได้ จะทำให้ผู้ซื้อหมดความเชื่อถือ อาจบอกเลิกการติดต่อซึ่งเกิดผลเสียอย่างมาก

สินค้าบางประเภทรอเวลาไม่ได้ เมื่อเลยกำหนดเวลาไปแล้วเกิดการเสียหาย เช่น สินค้าสด ถ้าน้ำท่วมถนนโดยเฉพาะอย่างยิ่งถนนติดต่อระหว่างจังหวัด รถวิ่งผ่านไม่ได้จะเกิดการเสียหายขึ้นแก่สินค้าเหล่านั้นและในที่สุดก็จะต้องทิ้งสินค้าบางประเภทที่มีความสำคัญยิ่งยวดต่อผู้ใช้ปลายทาง ได้แก่สินค้าจำพวกเวชภัณฑ์ คนที่กำลังป่วยซึ่งรอเวชภัณฑ์เหล่านั้นอยู่ อาจจะรอไม่ได้ ซึ่งทำให้ต้องเสียชีวิตไปในที่สุด

สินค้าจำพวกยุทโธปกรณ์ ก็เช่นเดียวกัน มีความสำคัญมาก ถ้าการขนส่งติดขัด จะทำให้การรบเสียเปรียบ สูญเสียชีวิตทหาร และทรัพย์สินของประเทศหรือในที่สุดอาจจะสูญเสียประเทศชาติก็เป็นไปได้

4. การขนส่งมวลชนและกิจการท่องเที่ยวเสียหาย

แทบจะไม่ต้องกล่าวอะไรให้มาก เมื่อน้ำท่วมถนนรถแล่นผ่านไม่ได้ การเดินทางของประชาชนก็เป็นไปได้โดยยากลำบาก เด็กนักเรียน สถานที่ทำงานต่าง ๆ อาจจะต้องปิดชั่วคราวซึ่งมีให้เห็นกันทุก ๆ ปี

ปัจจุบันการท่องเที่ยวทำรายได้ให้กับประเทศปีละหลายหมื่นล้านบาท ถ้านักท่องเที่ยวมาประเทศในช่วงน้ำท่วมถนน จะไปไหนก็ไม่ได้ จะชมภูมิประเทศต่างจังหวัดก็ทำไม่ได้ เขาจะมีความรู้สึกอย่างไร เมื่อกลับไปประเทศของเขาแล้ว เขาอาจจะบอกเพื่อนฝูงว่าประเทศไทยไม่น่าเที่ยวจะทำให้ประเทศเราขาดรายได้ในทางนี้

5. การทหาร

ในการสงคราม ทหารต้องรบได้ทุกรูปแบบของภูมิประเทศ ถึงคราวจำเป็นที่รถจะต้องวิ่งผ่านในน้ำก็ต้องทำได้ มิฉะนั้นแล้วการรบจะเสียเปรียบแก่ศัตรู นอกจากการรบแล้ว การขนส่งยุทธโธปกรณ์ เสบียงอาหาร ก็มีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าการรบ

ตามที่ได้กล่าวมานี้เป็นส่วนหนึ่งเท่านั้นซึ่งก็พอเพียงที่จะชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นที่ควรจะมีรถประเภทลุยน้ำได้