

การประมาณค่า Wake Distribution

น.อ.ผศ.สมศักดิ์ แจ่มแจ้ง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฝ้ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

ในวารสารโรงเรียนนายเรือปีที่ ๔ ฉบับที่ ๑ ผู้เขียนได้อธิบายการคำนวณ Wake ที่ระนาบท้ายใบจักรจากข้อมูลการทดลองแบบจำลองของท้ายเรือที่สนใจศึกษา ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ต้องกระทำในห้องทดลอง เฉพาะทางและเป็นการศึกษาสนามการไหลเฉพาะกรณีของเรือ วัตถุประสงค์ของการหาค่า Wake ในลักษณะดังกล่าว อาจเพื่อต้องการพัฒนาสมรรถนะการทำงานของใบจักรให้สอดคล้องกับท้ายเรือ โดยเฉพาะ หรือในทางกลับกันเพื่อพัฒนารูปแบบท้ายเรือที่เหมาะสมกับใบจักร โดยทั่วไปแล้วการออกแบบเรือ ขั้นต้นไม่จำเป็นต้องทดลองหาลักษณะสนามการไหลของเรือทุกลำ นาวาสถาปนิกจะประมาณค่า Wake Distribution ด้วยวิธีการที่เหมาะสม เช่น ใช้สมการ Regression หรือทำนายจากข้อมูลเรือที่เคยทดลองทั้งแบบจำลองและเรือจริง ในบทความนี้ผู้เขียนจะขออธิบายวิธีการประมาณค่าเฉลี่ย Wake Distribution ต่าง ๆ ที่นิยมใช้กัน อันจะช่วยให้นักเรียนนายเรือสาขาวิศวกรรมเครื่องกลเรือและผู้สนใจ สามารถเข้าใจเนื้อหาเกี่ยวกับความต้านทานพลังขับเคลื่อนเรือและการออกแบบใบจักรเรือได้ดียิ่งขึ้น

วิธีการประมาณของ Harvald^๑

ในบรรดาวิธีการประมาณในยุคต้น วิธีการของ Harvald นับว่าน่าสนใจมาก เพราะนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิด Wake Fraction และ Thrust Deduction เช่น ขนาด, รูปร่างตัวเรือ และขนาดของใบจักร มาพิจารณาด้วย Harvald แยกค่าเฉลี่ย Wake Fraction ตามแนวแกน และค่า Thrust Deduction ของเรือใบจักรเดี่ยว (Single-screw Ships) ออกเป็น ๓ องค์ประกอบ ดังนี้ (ดูรูปที่ ๑ ประกอบ)

$$\begin{aligned}\bar{w}_a &= w_1 + w_2 + w_3 \\ t &= t_1 + t_2 + t_3\end{aligned}\quad (๑)$$

โดย t_1, w_1 เป็นฟังก์ชันของอัตราส่วน B/L และสัมประสิทธิ์แท่งตันของเรือ
 t_2, w_2 เป็นฟังก์ชันของรูปร่างลักษณะตัวเรือ
 t_3, w_3 เป็นฟังก์ชันของค่าแก้ไขขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบจักร

ต่อมาในปี ค.ศ. ๑๙๕๐ Harvald^๒ นำผลการศึกษาต่าง ๆ เกี่ยวกับ Wake Distribution จากปี ค.ศ. ๑๙๔๖ ถึงปลายทศวรรษ ๑๙๔๐ จำนวนกว่า ๒๔ ผลงานมาวิเคราะห์ และพบว่าข้อมูลการทดลองเรือจำลองที่ทำไว้โดย Schoenherr^๓ ในช่วงทศวรรษ ๑๙๓๐ นั้นมีประโยชน์ในการนำมาประมาณค่าเฉลี่ย Wake Distribution ที่เกิดขึ้นตามแนวแกนใบจักรได้เป็นอย่างดี มีรูปสมการดังนี้

$$\bar{w}_a = 0.10 + 4.5 \frac{C_{pv} + C_{ph}(B/L)}{(7 - C_{pv})(2.8 - 1.8 C_{ph})} + \frac{1}{2}(E/T - B/D - k\eta) \quad (๒)$$

โดยที่ $\overline{w}_a$ = ค่าเฉลี่ย Wake Fraction ตามแนวแกน (Mean Axial Wake Fraction)

L = ความยาวเรือ , B = ความกว้างเรือ , D = ระยะกินน้ำลึกเรือ

E = ความสูงใบจักรจากแนวกระดูกงู

$$C_{pv} = \text{ค่าสัมประสิทธิ์ Vertical Prismatic ของเรือ} = \frac{\nabla}{A_{wp} \times D_{mean}} \cong \frac{C_B}{C_{wp}}$$

$$C_{ph} = \text{ค่าสัมประสิทธิ์ Horizontal Prismatic ของเรือ} = \frac{\nabla}{A_m \times L_{pp}} \cong \frac{C_b}{C_m}$$

η = มุมเอนของปีกใบจักร (Propeller's Rake) ในหน่วยเรเดียน

k = สัมประสิทธิ์ ซึ่งมีค่า ๐.๓ สำหรับเรือที่มีรูปร่างท้ายเรือปกติทั่วไป และ ๐.๕ – ๐.๖ สำหรับเรือที่มีลักษณะท้ายเรือแบบ Deadwood Cut Way

รูปที่ ๑ สัมประสิทธิ์ Wake และ Thrust Deduction ของเรือใบจักรเดี่ยว

๒. วิธีการประมาณของ D.W. Taylor^๔

นอกจากการประมาณด้วยรูปแบบที่ซับซ้อนดังในสมการที่ (๒) แล้ว ยังมีวิธีการประมาณของ D.W. Taylor ที่มีรูปง่ายกว่ามาก ดังนี้

$$\bar{w} = 0.5 \cdot C_b - 0.05 \quad (๓)$$

โดย C_b = สัมประสิทธิ์แท่งตันของเรือ

สมการที่ (๓) ใช้ได้ดีมากกับเรือแม่แบบในอนุกรมของ Taylor แต่ข้อควรระวังคือ หลังจากการเผยแพร่ผลงานศึกษาของ Taylor ในปีค.ศ. ๑๙๕๐ เป็นต้นมา รูปร่างตัวเรือของเรือส่วนใหญ่เปลี่ยนแปลงไปอีกมาก จึงควรเลือกใช้วิธีการประมาณที่ทันสมัยและเหมาะสมกับเรือแต่ละแบบ

๓. วิธีประมาณของ Holtrop and Manen^๕

Holtrop และ Manen พัฒนาการประมาณค่าเฉลี่ย Wake Fraction จากผลงานศึกษาต่าง ๆ จำนวนมาก วิธีการประมาณของ Holtrop และ Manen ใช้ได้ทั้งกับเรือใบจักรคู่ (Twin-screw Ship's) และใบจักรเดี่ยว ดังนี้

๓.๑ เรือใบจักรเดี่ยว

$$\begin{aligned} \bar{w}_a = & C_9(1 + 0.015 C_{stern})[(1+k)C_F + C_A] \frac{L}{T_A} \times (0.050776 + 0.93405 C_{11} \times \\ & \frac{[(1+k)C_F + C_A]}{(1.315 - 1.45 C_p + 0.0225 LCB)} + 0.27915 (1 + 0.015 C_{stern}) \times \\ & \sqrt{\frac{B}{L(1.315 - 1.45 C_p + 0.0225 LCB)}} + C_{19}(1 + 0.015 C_{stern}) \end{aligned} \quad (๔)$$

โดยมีสัมประสิทธิ์รูปร่างท้ายเรือ (C_{stern}) แบบต่าง ๆ เป็นดังนี้

ตารางที่ ๑ สัมประสิทธิ์รูปร่างท้ายเรือใบจักรเดี่ยว

๓.๒ เรือใบจักรคู่

$$\bar{w}_a = 0.3095 C_b + 10 C_b [(1+k) C_F + C_A] \cdot 0.23 \frac{D}{\sqrt{BT}} \quad (๕)$$

โดยที่ $C_9 = C_8$ เมื่อ $C_b < 28$ หรือ $C_9 = 32 - \frac{16}{(C_8 - 24)}$ เมื่อ $C_8 > 28$

และ $C_8 = \frac{BS}{(LDT_A)}$ เมื่อ $\frac{B}{T_A} < 5$ หรือ $C_8 = \frac{S\left(\frac{7B}{T_A} - 25\right)}{LD\left(\frac{B}{T_A} - 3\right)}$ เมื่อ $\frac{B}{T_A} > 5$

$$C_{11} = \frac{T_A}{D} \text{ เมื่อ } \frac{T_A}{D} < 2 \text{ หรือ } C_{11} = 0.0833333 \left(\frac{T_A}{D}\right)^2 + 1.33333 \text{ เมื่อ } \frac{T_A}{D} > 2$$

และ $C_{19} = \frac{0.12997}{(0.95 - C_B)} - \frac{0.11056}{(0.95 - C_p)} \text{ เมื่อ } C_p < 0.7$
 $= \frac{0.18567}{(1.3571 - C_m)} - 0.71276 + 0.38648 C_p \text{ เมื่อ } C_p > 0.7$

ต่อมาวิธีการของ Holtrop and Manen ถูกนำไปพัฒนาให้ครอบคลุมเรือใบจักรเดี่ยวและใบจักรคู่ที่มีรูปร่างตัวเรือแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ยังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ (อธิบายไว้ในเอกสารการศึกษาที่เผยแพร่โดย Holtrop and Manen ในปี ค.ศ.๑๙๘๘)

๔. การประมาณค่าเฉลี่ย Wake Distribution ตามแนวรัศมี (Radial)

โดยทั่วไปการประมาณค่าเฉลี่ยของ Wake Distribution ตามแนวรัศมี นิยมใช้เดอะแกรมของ Van Lammeren^๖ ดังในรูปที่ ๒

รูปที่ ๒ เส้นโค้ง Radial Wake Distribution ของ Van Lammeran

Van Lammeren ใช้พารามิเตอร์ที่เป็นค่า Vertical Prismatic Coefficient (C_{pv}) เพียงตัวเดียว ทำให้ไม่สามารถใช้ได้กับเรือทุกชนิด แต่นับเป็นวิธีการประมาณค่าเฉลี่ย Wake ตามแนวรัศมีใบจักรที่ดี ซึ่งต่อมา Harvald นำข้อมูลการศึกษาของ Van Lammeren ไปปรับปรุงให้เป็นค่าเฉลี่ย Wake ตามรัศมีใบจักร ของเรือใบจักรเดี่ยวที่มีลักษณะตัวเรือเป็นแบบ V หรือ U ที่อัตราส่วน $D/L = 0.004$ แต่มีค่าสัมประสิทธิ์แท่งตัน (C_b) และอัตราส่วนความกว้างต่อความยาว (B/L) ต่าง ๆ กัน (ดูรูปที่ ๓ ประกอบ) โดยให้ความสำคัญกับผลการย่อขนาด (Scale Effects) ระหว่างเรือจำลองกับเรือจริงเป็น อย่างมาก นอกจากนั้น Harvald ยังได้ขยายผลการพิจารณาไปครอบคลุมเรือใบจักรคู่ที่มีอัตราส่วน $D/L = 0.03$ อีกทั้งยังปรับแก้ผลของ Boundary Layer ที่เกิดกับอุปกรณ์ยึดเพลาด้วย รูปที่ ๔ เป็น ตัวอย่างค่าเฉลี่ย Wake ตามแนวรัศมีของเรือใบจักรคู่ที่เพลาร้อยผ่าน Bossing



รูปที่ ๔

สรุป

การประมาณค่า Wake Distribution ด้วยวิธีต่าง ๆ ที่อธิบายข้างต้นมีประโยชน์ในการออกแบบเรือเบื้องต้น ช่วยให้นักวาสถาปนิกสามารถประมาณขนาดพลังขับเคลื่อนที่เรือต้องการต่อไปได้ วิธีการประมาณทั้งหมดที่อธิบายในบทความนี้ใช้ได้กับเรือจริงเท่านั้น ไม่เหมาะจะนำไปใช้กับข้อมูลที่ประกอบกับการทดลองเรือจำลอง และจนถึงปัจจุบันยังไม่มีวิธีการใดเหมาะสมที่สุด เนื่องจากการศึกษาที่ผ่านมาส่วนใหญ่จะทดลองจากแบบจำลอง ซึ่งยังไม่มีคำแนะนำเชื่อถือได้ว่าจะสามารถอธิบายลักษณะสนามการไหลที่เกิดขึ้นกับเรือจริงได้ร้อยเปอร์เซ็นต์ เพราะสภาพแวดล้อมการทำงานของใบจักรในสนามการ

ไหลจริงมักแตกต่างจากสนามจำลอง ปัจจัยที่สำคัญคือความเร็วของเรือที่มักเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ และ ผลจากการลดขนาด (Scale Effects) ที่นาวาสถาปนิกยังคงต้องทำการศึกษาต่อไป

๑

Harvald, SV.Aa. *Estimation of Power of Ships*. ๑๙๓๓

๒

Harvald, SV.Aa. *Wake of Merchant Ships*. Danish Technical Press, ๑๙๕๐.

๓

Schoenherr, K.E. Propulsion and propellers. *Principles of Naval Architecture*, Vol. ๒
p. ๑๔๙, ๑๙๓๙.

๔

Taylor, D.W. *Speed and Power of Ships*. Danish Technical Press, ๑๙๕๐.

๕

Holtrop, J. A statistical re-analysis of resistance and propulsion data. ISP, ๓๑,
November ๑๙๘๘.

๖

Lammeren, W.P.A. van, Troost, L., Koning, J.G. *Werstand en Voortsluwing van Schepen*,
๑๙๔๒.