การวิเคราะห์กลศาสตร์เพื่อการพายเรือกรรเชียงให้ดีที่สุด

ANALYSIS OF MECHANICS FOR OPTIMAL SCULLING

พรเทพ ราชนาวี และ ทวิช จิตรสมบูรณ์
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 โทร 0-4422-4410 โทรสาร 0-4422-4411

บทคัดย่อ

การขับเคลื่อนเรือพาย (โดยเฉพาะเรือแข่งขัน) ด้วยใบพายเรือจัดได้ว่าเป็นศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีความยุ่งยากซับซ้อนมาก (ถ้าต้องการขับเคลื่อนให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้จำลองแบบของระบบการพายเรือกรรเชียงโดยจะทำการศึกษาเปรียบเทียบความเร็วของเรือในการพายที่มี Forcing Function ที่ต่างกันด้วยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นมา โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวจะสามารถทำนายความเร็วของตัวเรือได้และสามารถชี้นำได้ว่า ด้วยกำลังของนักกีฬาตามที่กำหนดนั้น จะใช้ยุทธศาสตร์การพายเรืออย่างไร สำหรับระยะทางการพาย 2000 เมตร

Abstract

To move the shell with oar blade for most efficiency is very complicate science and technology. This study simulate and model the rowing system with different forcing function. It can predict the boat speed and indicate the strategy for row over the 2000 meter.

1. บทนำ

ในการพายเรือกรรเชียงนั้นเทคนิคการพาย ความแข็งแรงและท่าทางการพายของนักกีฬาที่สอดคล้องกับหลักการทางวิศวกรรมเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้ประสบผลสำเร็จในการแข่งขัน ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ล้วนส่งผลกระทบต่อการพัฒนาประสิทธิภาพสูงสุดในการพายเรือเพื่อการแข่งขันซึ่งสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์[1][2][3] และ การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์[1][3](Computer Simulation) รวมถึงการหาจุดปฏิบัติการที่ดีที่สุด (Optimization) เพื่อใช้เป็นเครื่องนำทางในการพัฒนาประสิทธิภาพของการพายเรือ

ถึงแม้ว่าในอดีตจะมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการพายเรือเป็นจำนวนมากพอสมควรแต่งานวิจัยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาถึงผลกระทบลต่อความเร็วในการพายเรือซึ่งถือว่าเป็นงานวิจัยพื้นฐานที่มีประโยชน์อย่างมากต่อการศึกษาวิจัยในยุคหลัง แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยส่วนมากจะมุ่งศึกษาเฉพาะส่วนใดส่วนหนึ่งของการพายเรือไม่ได้ศึกษาทั้งระบบซึ่งข้อมูลที่ได้รับอาจไม่ถูกต้องนักถ้านำไปใช้กับการพายที่มีเงื่อนไขแตกต่างกันออกไป แต่ในทางตรงกันข้ามก็มีงานวิจัยอีกจำนวนมากที่มีประโยชน์ในการนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการศึกษาการพายทั้งระบบ และในยุคหลังนี้มีความพยายามที่จะศึกษาถึงการพายเรือทั้งระบบเพื่อที่จะสามารถให้คำตอบได้อย่างถูกต้องและชัดเจนยิ่งขึ้นโดยมีการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาเพื่อใช้อธิบายปรากฏการณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับพายเรือและเมื่อมาถึงยุคที่คอมพิวเตอร์มีการพัฒนาความสามารถสูงขึ้นจึงมีการจำลองแบบการพายเรือโดยใช้คอมพิวเตอร์ขึ้นแต่ยังขาดความสมจริงอยู่พอสมควร ทำให้ผู้วิจัยเกิดความสนใจที่จะพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับระบบของการพายเรือเพื่อให้เกิดความสมจริงมากขึ้น

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การศึกษาครั้งนี้ตั้งอยู่บนสมมุติฐานที่กำหนดให้เป็น

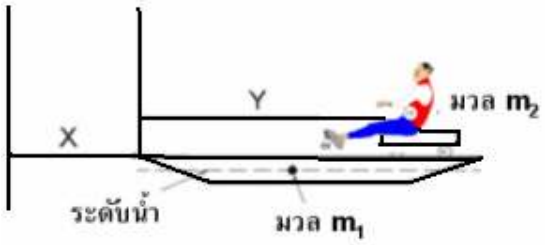
1 ระบบกลศาสตร์ 1 มิติ

2 พิจารณามวลเป็นแบบ point mass

3 ทราบค่าสัมประสิทธิ์ของ Lift และ Drag ล่วงหน้า

การเคลื่อนที่ของมวล

แบบจำลองของระบบประกอบด้วยมวลสองมวลแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 1 มวลของระบบ

เมื่อ

m_1= มวลของเรือ

m_2= มวลของนักพายเรือที่มีการเคลื่อนที่

x = absolute coordinate ของเรือ

y = relative coordinate ของมวล m_2 เทียบกับมวล m_1

z = absolute coordinate ของจุดศูนย์กลางมวล m_1 และมวล m_2

y = 0 เมื่อมวล m_2 อยู่ในตำแหน่งที่พายตั้งฉากกับตัวเรือ

ความสัมพันธ์ระหว่าง x, y และ z หาได้จาก

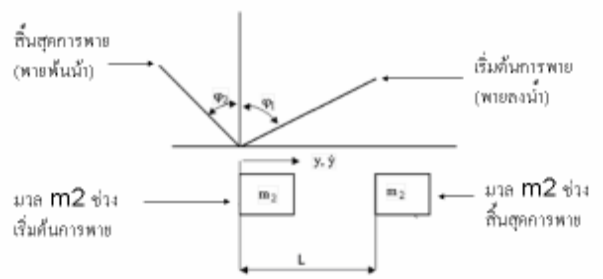
$$z(m_1+m_2)=xm_1+(x+y)m_2$$

$$z=\frac{m_1}{m_1+m_2}x+\frac{m_2}{m_1+m_2}(x+y)$$

$$z=x+\frac{m_2}{m_1+m_2}y$$

และ

$$x=z-\frac{m_2}{m_1+m_2}y \quad (1)$$



รูปที่ 2 การเคลื่อนที่ของที่นั่ง

ตำแหน่งของที่นั่งหาได้จาก

$$y=\frac{L}{2}.\left[1-\frac{\pi}{\varphi}.\cos\left(\frac{\pi}{\varphi}.(\varphi-\varphi_1)\right)\right] \quad (2)$$

ความเร็วของที่นั่งหาได้จาก

$$\dot{y}=\frac{L}{2}.\frac{\pi}{\varphi_t}.\sin\left(\frac{\pi}{\varphi}.(\varphi-\varphi_t)\right).\dot{\varphi} \quad (3)$$

สมการพื้นฐานที่กำหนดการเคลื่อนที่ของเรือได้จากสมการการเคลื่อนที่ (กฎข้อที่สองของนิวตัน)

$$F=(m_1+m_2)\ddot{z} \quad (4)$$

เมื่อ

F = F1+F2

F1 = แรงต้านทานของน้ำที่กระทำกับเรือ

F2 = แรงบนใบพายในทิศทางการเคลื่อนที่

$F1 = -C_1X^2$

เมื่อพิจารณาแรงบนใบพายจะได้สมการ

$$Fd = 0.5\ Cd\ \rho AU^2 \quad Fl = 0.5\ Cl\ \rho AU^2 \quad (5)$$

เมื่อ

F_d = แรง drag บนใบพาย

F_l = แรง lift บนในพาย

u = ความเร็วของของไหล

C_d, Cl = สัมประสิทธิ์ของ drag และ lift ซึ่งขึ้นอยู่กับมุมปะทะ

A =พื้นที่ของใบพาย

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ

การพิจารณา Kinematics ของระบบ

ความเร็วใบพายประกอบด้วยส่วนประกอบในแนวตั้งฉาก u_l กับพาย และส่วนประกอบในแนวขนานกับพาย u_p

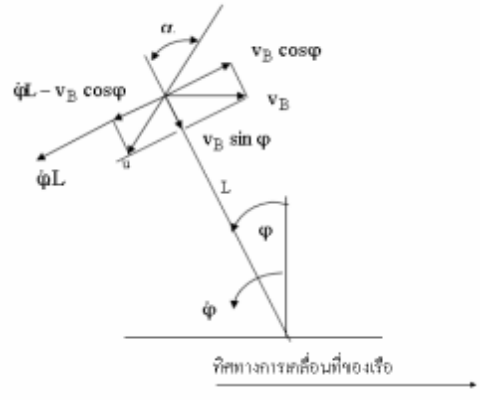
$$u_1=\dot{\varphi}L-v_B.\cos\varphi \ \text{ and } \ u_p=v_B.\sin\varphi \quad (6)$$

ความเร็วลัพธ์ของของไหลหาได้จาก

$$u=\sqrt{u_1^2+u_p^2} \quad (7)$$

มุมปะทะของการไหลสู่ใบพายได้จาก

$$\alpha=\arctan\frac{u_1}{u_p} \quad (8)$$



รูปที่ 3 แรงบนใบพาย

การคำนวณพลังงานของระบบ

$$P_x=C_1\dot{x}^3 \quad (9)$$

$$E_x=\int_0^T P_x\,dt \quad (10)$$

$$P_{b1} = F_n\left(\dot{\varphi}L - \dot{x}\cos\varphi\right) \quad (11)$$

$$E_{b1} = \int_0^T P_{b1}dt \quad (12)$$

E_x. = พลังงานที่สูญเสียไป

P_{bl}.= กำลังงานบริเวณใบพาย

E_{bl}.= พลังงานบริเวณใบพาย

P_{bl} = 0 ในช่วง recover.

พลังงานที่สูญเสียไปจากการเคลื่อนตัวของนักพายเรือ

$$E_r = 0.5.\frac{m_1.m_2}{m_1 + m_2}.v_{max}^2 \quad (13)$$

กำลังงานเฉลี่ยที่ใช้ในระบบ

$$P\frac{E_x + E_{b1} + E_r}{T} \quad (14)$$

ประสิทธิภาพการขับเคลื่อน

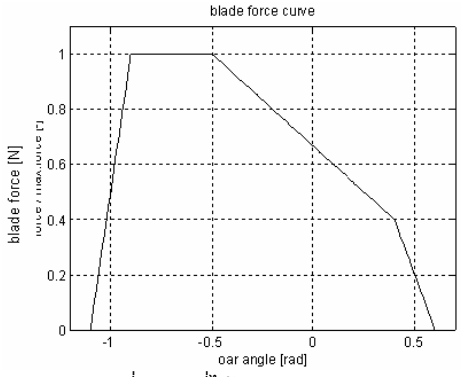
$$\eta = \frac{E_x}{E_x + E_{b1} + E_r} \quad (15)$$

Forcing Function

จากสมการ

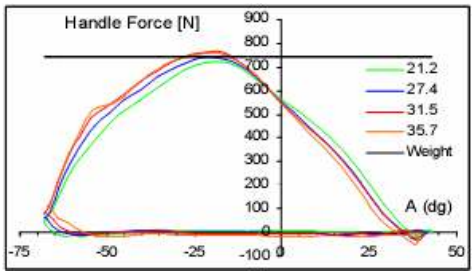
$$F_D = 0.5c_D\rho AU^2 \qquad F_L = 0.5c_L\rho AU^2$$

สามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์ C_D และ C_L ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ α เมื่อนำมา Plot กราฟ [3] จะได้ กราฟของแรงซึ่งมีลักษณะดังภาพ



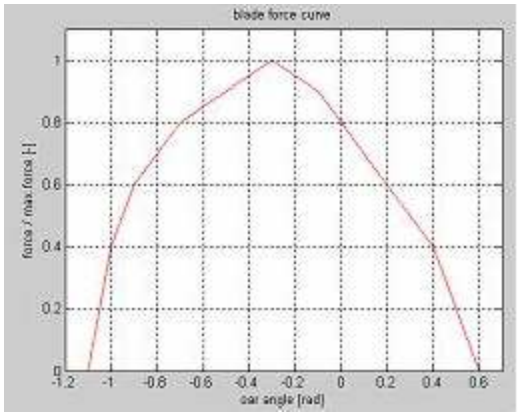
รูปที่ 4 แรงที่ได้จากการคำนวณ

แต่ในการพายเรือจริงนั้นจะมีการสูญเสียพลังงานระหว่างการพายที่มุมพายต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้จากข้อมูลการทดลองโดยการเก็บข้อมูลของแรงจากการพายเรือจริง ซึ่งได้กราฟที่มีลักษณะดังรูปที่ 5



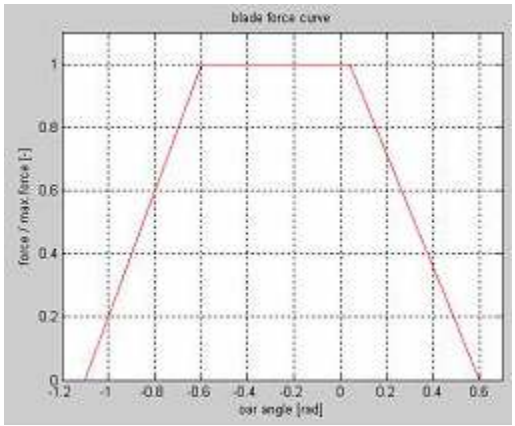
รูปที่ 5 แรงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากการพายจริง

ดังนั้นเพื่อให้แรงในการพายสอดคล้องกับความเป็นจริงจึงได้จำลองแบบของแรงให้มีความสมจริงมากขึ้นจากนั้นได้ทำการคำนวณหาผลลัพธ์และได้ทำการเปรียบเทียบผลการวิจัยกับการวิจัยก่อนหน้านี้ ซึ่งกราฟที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แรงที่จำลองให้คล้ายกับการพายจริง

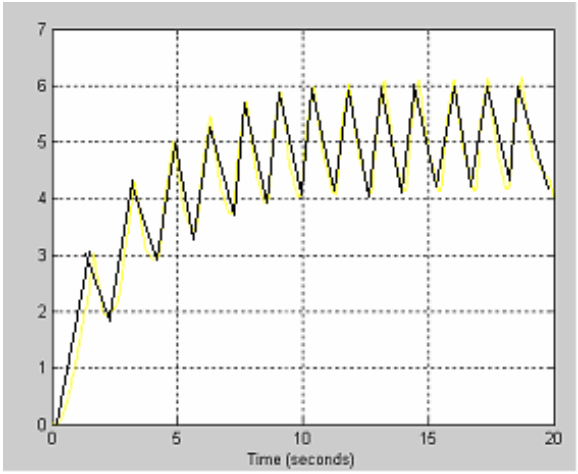
นอกจากนั้นยังได้จำลองแบบของแรงในลักษณะอื่นๆ เพื่อศึกษาถึงความเร็วของเรือดังรูปที่ 7



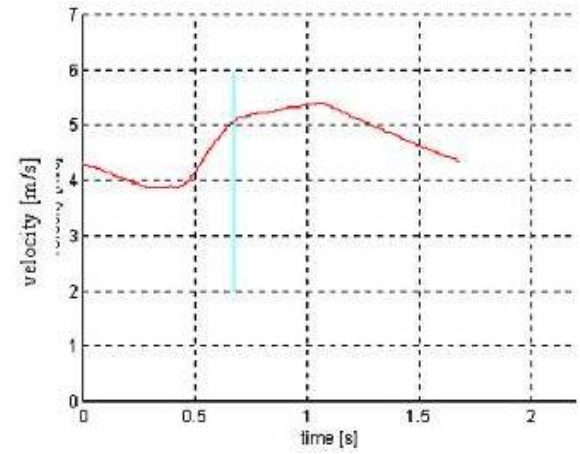
รูปที่ 7 แรงที่ได้จากการจำลองโดยการออกแรงมากในช่วงใบพายตั้งฉากกับน้ำ

3. การจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์

สมการการเคลื่อนที่จะถูกอินทีเกรตโดยใช้วิธี Runge-Kutta ซึ่งใช้ Matlab/Simulink เริ่มอินทีเกรตจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงที่ การอินทีเกรตใช้ step 0.01 วินาที จำนวน 2000 steps



รูปที่ 8 ความเร็วของเรือในช่วงเริ่มต้นจนถึงช่วงความเร็วคงที่



รูปที่ 9 ความเร็วของเรือในช่วงการพายหนึ่งครั้ง

4. ผลการทดลอง

จากข้อมูลซึ่งเป็นสถิติการแข่งขันของเรือกรรเชียงในการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกมีข้อมูลดังนี้

ประเภท	เวลา (วินาที)
ไลท์เวทหญิงหนึ่งคนพายเดี่ยว	429 .88

ตารางที่ 1 เวลาการแข่งขันในประเภทชายและหญิงในการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกระยะทาง 2000 เมตร

อัตราการพาย (ครั้ง/นาที)	เวลา (วินาที) ระยะทาง2000เมตร)	กำลังงาน (วัตต์)
35.62	427.0	431.39

ตารางที่ 2 ผลการจำลองแบบการพายเรือด้วยคอมพิวเตอร์โดยแรงในการพายคำนวณได้จากสมการของแรง Lift และแรง Drag ที่มุมปะทะต่างๆ ในการพายระยะทาง 2000 เมตร

อัตราการพาย (ครั้ง/นาที)	เวลา (วินาที) ระยะทาง2000เมตร)	กำลังงาน (วัตต์)
34.80	435.8	409.77

ตารางที่ 3 ผลการจำลองแบบการพายเรือด้วยคอมพิวเตอร์โดยแรงในการพายคำนวณได้จากการพายเรือจริง ในการพายระยะทาง 2000 เมตร

อัตราการพาย (ครั้ง/นาที)	เวลา (วินาที) ระยะทาง2000เมตร)	กำลังงาน (วัตต์)
35.12	429.8	431.38

ตารางที่ 4 ผลการจำลองแบบการพายเรือด้วยคอมพิวเตอร์โดยแรงในการพายคำนวณได้จากการพายในลักษณะการออกแรงมากในช่วงใบพายตั้งฉากกับน้ำ ในการพายระยะทาง 2000 เมตร

5. สรุป

ในการพายเรือ ซึ่งใช้เทคนิคการพายที่ต่างกันทำให้เกิด Forcing Function ที่มีลักษณะแตกต่างกันออกไป ซึ่ง Forcing Function ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับการพายเรือจริงนั้นจะให้ผลลัพธ์ของเวลาในการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ใกล้เคียงกับการพายเรือจริงมากกว่า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ที่ศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปใช้สำหรับการทำนายความเร็วของเรือและพัฒนายุทธศาสตร์ของการพายเรือได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Atkinson, W. C., (2001) **Modeling the Dynamics of Rowing**, abstract documentation of the computer model ROWING (unpublished).

[2] Lazauskas, L. (1998) **Rowing Shell Drag Comparisons**, Technical Report: L9701, Dept. of Applied Mathematics, University of Adelaide, Adelaide, Australia.

[3] Marinus van Holst (2004) **Simulation of rowing.** http://home.hccnet.nl/m.holst/RoeiWeb.html (access on 29 June 2005)

[4] Biomechanics news letter *Volume 2 No.6* Rowing Biomechanics Newsletter *June 2002*