

3. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของโครงการย่อยที่ 1

Dorf และ Bishop [7] ได้แสดงให้เห็นในหนังสือบทเรียนเกี่ยวกับระบบควบคุมถึงพื้นฐานการใช้การออกแบบ observer ให้เป็นประโยชน์ต่อการควบคุมระบบที่เราอาจจะไม่มีเซนเซอร์ครบสำหรับการบ่งบอกค่า State Variable แต่ก็ยังสามารถควบคุมระบบนั้นได้ รวมถึงการออกแบบ observer สามารถที่จะใช้ในรูปแบบของการกรองสัญญาณ State variables ที่เราสนใจเพื่อให้ได้ค่าที่เสถียรมากขึ้น นอกจากนั้นยังได้แนะนำถึงวิธีการระบุวาระบบใดสามารถใช้การออกแบบ observer ในการประมาณค่า state variables โดยใช้เทคนิคการตรวจสอบ Observability Matrix ว่ามีลักษณะเป็น full rank หรือไม่

Greytak [9] นำเสนอการใช้การออกแบบ observer ในการควบคุมเรือคายัคเนื่องจากพลศาสตร์ของเรือคายัคไม่เหมาะต่อการใช้ในการควบคุมแบบธรรมดาที่สามารถหาเซนเซอร์มาวัดค่าของ State variables ได้ทุกค่า Greytak ใช้เซนเซอร์ที่มีอยู่คือ GPS และ DMU (Gyrosensor) ในการประมาณค่าความเร็วและอัตราการหักหัวเรือเพื่อช่วยให้การควบคุมเรือคายัคเป็นไปได้อย่างละเอียดและมีเสถียรภาพเพียงพอที่จะใช้สำหรับควบคุมเรือในที่คับขันมากๆ เช่น พื้นที่แคบ

Stettler [11] เสนอโมเดลของเรือคายัคของเขาเองโดยใช้ขั้นตอนการทดลอง วิเคราะห์ และทดสอบอย่างละเอียดในการหาค่าพารามิเตอร์ทุกอย่างที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของเรือ รวมทั้งได้ทำการวิเคราะห์พลศาสตร์การไหลของน้ำผ่านมอเตอร์ขับเคลื่อนเรือว่ามีผลต่อแรงขับเคลื่อนเรือเพียงใด การได้มาซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้ส่งผลถึงความละเอียดและความใกล้เคียงของโมเดลเรือกับเรือจริงซึ่งมีผลต่อเนื่องถึงความแม่นยำและสมรรถนะของระบบควบคุมนำร่องเรือ

Bemporad และคณะ [5] นำเสนอผลการทดลองใช้ Observer กับระบบหุ่นยนต์แบบเคลื่อนที่ได้ในการเคลื่อนที่ตามกำแพงอย่างช้าๆ โดยอ่านค่าจากโซนาร์และเอ็นโคดเดอร์ (เซนเซอร์วัดจำนวนรอบ) ผู้เขียนได้ใช้การออกแบบ observer แบบ Extended Kalman Filter ในการประมาณตำแหน่งของหุ่นยนต์ซึ่งช่วยให้หุ่นยนต์ของคณะวิจัยเคลื่อนที่ตามผนังกำแพงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Hsiao และ Tomizuka [10] ทำวิจัยเกี่ยวกับการควบคุมเสถียรภาพของยานพาหนะในแนวขวางซึ่งมีผลโดยตรงต่อการเกิดอุบัติเหตุรถคว่ำในระบบ Automated Highway Systems (AHS) การควบคุมการเอียงตัวของรถใช้วิธีการอ่านค่าเปรียบเทียบกันระหว่างเซนเซอร์วัดความเอียงแบบแม่เหล็กเหนี่ยวนำสองตัว ผู้วิจัยได้คิดค้นวิธีการที่จะให้ระบบควบคุมยังทำงานได้อย่างเป็นปกติถึงแม้ว่าเซนเซอร์ตัวหนึ่งตัวใดจะหยุดทำงานไปแล้วก็ตาม ทั้งนี้วิธีการที่ใช้คือการออกแบบ observer ให้สามารถนำค่าที่ได้จากเซนเซอร์ตัวที่สมบูรณ์มาชดเชยค่าของเซนเซอร์ตัวที่เสียไป

Carlson และ Murphy [6] ทำการศึกษาปัจจัยที่ก่อให้เกิดความล้มเหลวขณะปฏิบัติการของ Unmanned Ground Vehicles (UGVs) ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในเหตุการณ์ก่อการร้ายตึก World Trade Center ซึ่งเป็น UGVs ในรูปแบบของหุ่นยนต์กู้ภัยและในรูปแบบของหุ่นยนต์สืบข่าวการสงครามใน

สงครามที่อิรัก พวกเขาพบว่าเวลาเฉลี่ยของการปฏิบัติการได้ของหุ่นยนต์เหล่านี้จะอยู่ที่ประมาณ 6-20 ชั่วโมง ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้ปัญหาที่หยุดหุ่นยนต์เหล่านี้คือ ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ที่ไม่รัดกุมเพียงพอทำให้เกิดความไม่เสถียรระหว่างปฏิบัติการ การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์ที่ไม่สามารถทนกับทุกภาวะการก็เป็นจุดอ่อนอีกประการหนึ่งที่หลีกเลี่ยงได้ยาก ส่วนที่เคลื่อนไหวน้อยๆมีขึ้นส่วนมากๆเช่นแขนกลประจำหุ่นยนต์ก็เป็นจุดอ่อนที่เกิดความเสียหายบ่อยครั้ง นอกจากนี้ก็เป็นเรื่องของการสูญเสียสัญญาณภาพเคลื่อนที่ระหว่างทำงานอันเนื่องมาจากการเชื่อมต่อที่อ่อนแอของคลื่นวิทยุบังคับเป็นต้น

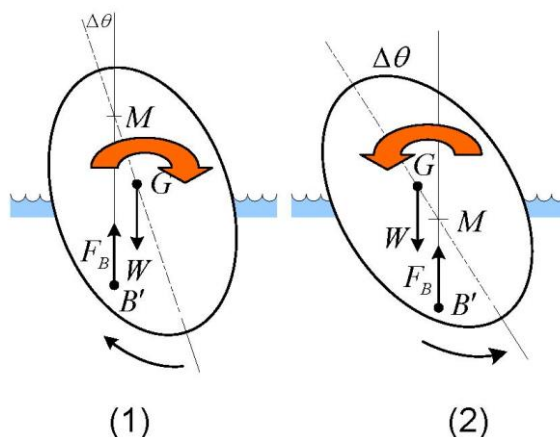
จันทร์เพ็ญ วุฒิวรวงศ์ และคณะ [1] ทำการศึกษาเรื่องผลของการเคลื่อนที่ของตะกอนต่อการจมตัวของปะการังเทียมเพื่อศึกษาปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการจมตัวของปะการังเทียมที่สร้างบนพื้นทราย โดยศึกษาลักษณะการเคลื่อนตัวของตะกอนทรายรอบปะการังเทียมบริเวณพื้นที่ทะเลที่เป็นทรายของอ่าวขาม เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง ห่างจากฝั่ง 200 เมตร ความลึกน้ำ 5-6 เมตร กระแสน้ำประจำถิ่นเป็นกระแสน้ำชายฝั่ง มีความเร็วกระแสน้ำในทิศตะวันออกเฉียงเหนือสูงสุดเท่ากับ 88 เซนติเมตร/วินาที

สุจินต์ ดีแท้ และคณะ [4] ศึกษากระแสน้ำขึ้นน้ำลงบริเวณชายฝั่งแหลมผักเบี้ยอำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี โดยใช้ทฤษฎีการวัดความเร็วกระแสน้ำแบบ Lagrangian และ Eulerianในการศึกษารูปแบบการเคลื่อนตัวของกระแสน้ำในเดือนธันวาคม 2541 เดือนพฤษภาคม 2542 พบว่าในเดือนธันวาคม 2541 กระแสน้ำขึ้นไหลด้วยความเร็วเฉลี่ยสูงสุด 0.61 เมตรต่อวินาทีไปทางทิศเหนือ กระแสน้ำลงไหลด้วยความเร็วเฉลี่ยสูงสุด 0.64 เมตรต่อวินาทีไปทางทิศใต้ ในเดือนพฤษภาคม 2542 กระแสน้ำขึ้นไหลด้วยความเร็วเฉลี่ยสูงสุด 0.85 เมตรต่อวินาทีไปทางทิศเหนือ กระแสน้ำลงไหลด้วยความเร็วเฉลี่ยสูงสุด 0.78 เมตรต่อวินาทีไปทางทิศใต้ เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศของแหลมผักเบี้ยทำให้กระแสน้ำเคลื่อนตัวขนานชายฝั่งในแนวเหนือใต้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของโครงการย่อยที่ 1

3.1 การเพิ่มเสถียรภาพในการลอยตัวของเรือคายัคด้วยหุ่น

โดยปกติแล้วเรือคายัคมีความสามารถในการต้านคลื่นลมอยู่แล้วเนื่องจากการออกแบบให้สามารถท่องเที่ยวตามแนวชายฝั่งทะเลได้ เรือคายัคปกติที่มีคนพายนั่งไปด้วยจะมีจุดศูนย์กลางมวล (Center of Mass CM) สูงกว่าเรือหุ่นยนต์ซึ่งไม่ต้องมีคนนั่งประจำการดังนั้นเรือหุ่นยนต์จึงมีความสามารถต้านคลื่นลมได้มากกว่าเรือคายัคที่มีคนประจำการ ซึ่งเสถียรภาพในการลอยตัวสามารถพิจารณาได้จากแรงลอยตัวและโมเมนต์ที่เกิดจากแรงลอยตัวและน้ำหนักที่จะต้องคำนึงถึง แรงลอยตัวในแนวตั้ง (B) นั้น จะเท่ากับ น้ำหนักของของไหลที่ถูกแทนที่ด้วยวัตถุ ($B = \rho g V_{\text{จม}}$) แรงลอยตัวอาจไม่อยู่ในแนวเดียวกับน้ำหนักของวัตถุซึ่งอาจทำให้วัตถุลอยตัวอย่างเสถียรภาพหรือไม่เสถียรภาพก็ได้ ถ้าการเปลี่ยนตำแหน่งของจุดศูนย์กลางการลอยตัวของแรงลอยตัวและน้ำหนักนั้นก่อให้เกิดเป็นโมเมนต์กลับคืน (ที่ช่วยให้การลอยตัวอย่างเสถียร) ดังในรูปที่ 3.1 ด้านซ้าย หรือก่อให้เกิดเป็นโมเมนต์พลิกคว่ำ (ที่ทำให้การลอยตัวไม่มีเสถียรภาพ) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ด้านขวา ดังนั้นในการออกแบบระบบหุ่นลอยน้ำที่ติดกับเรือคายัคจะต้องทำให้เกิดเป็นโมเมนต์กลับคืน ซึ่งจะช่วยให้การลอยอย่างมีเสถียรภาพ



รูปที่ 3.1: เสถียรภาพของการลอยตัวเมื่อหุ่นยนต์ลอยอยู่ที่ผิวน้ำ (1) แสดงโมเมนต์กลับคืน (2) แสดงโมเมนต์พลิกคว่ำ [8]

จากรูปที่ 3.2 จะเห็นว่าเราสามารถเพิ่มเสถียรภาพให้เรือคายัคได้โดยการเสริมทุ่นสองข้างลำตัวเรือ การออกแบบแบบนี้เป็นที่นิยมทำกันในหมู่ผู้นิยมการตกปลาซึ่งต้องการความคล่องตัวขณะตกปลาทำให้ต้องการเสถียรภาพขณะยืนอยู่บนตัวเรือ เราสามารถนำตัวอย่างการออกแบบทุ่นเสริมดังกล่าวมาใช้กับเรือหุ่นยนต์ได้เพื่อเพิ่มสมรรถนะในการดำน้ำคลื่อนได้เป็นอย่างดี ซึ่งสามารถนำเรือคายัคอัตโนมัติไปประยุกต์ใช้งานได้จริงทางทะเล การติดทุ่นถึงแม้จะมีข้อดีในการช่วยเสริมสมรรถนะในการดำน้ำทางคลื่อนแต่ก็มีข้อเสียคือทุ่นทั้งสองจะเพิ่มแรงต้านในการขับเคลื่อนและการเลี้ยวของหุ่นยนต์เรือ ดังนั้นเราจะต้องคำนึงถึงความยืดหยุ่นในการออกแบบทุ่นโดยอาจจะต้องมีระบบช่วยยกทุ่นขึ้นในกรณีที่เรือต้องการความคล่องตัวในการเคลื่อนที่และวางทุ่นลงเมื่อต้องการความเสถียรในการปฏิบัติงาน



รูปที่ 3.2: การเสริมทุ่นสองข้างเรือคายัค เพื่อเพิ่มสมรรถนะการดำน้ำคลื่อนในขณะปฏิบัติการ [12]

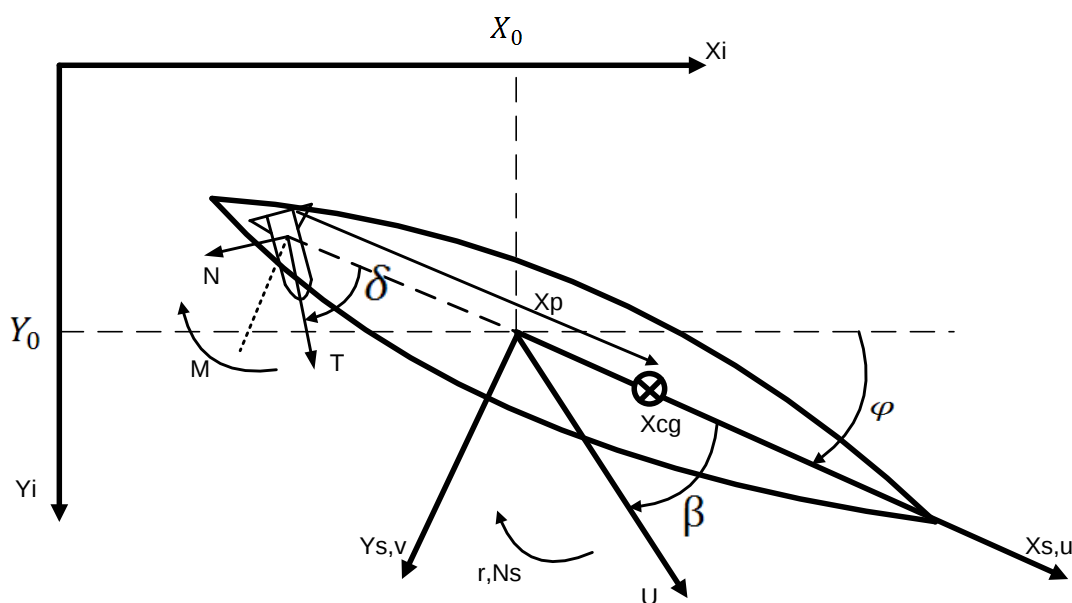
3.2 สมการทางพลศาสตร์การเคลื่อนที่ของเรือด้วยพอดพอร์เพสชันที่นำมาวิเคราะห์

ในงานวิจัยนี้จำลองการเคลื่อนที่ของเรือคายัค ซึ่งเป็นยานพาหนะผิวน้ำ (Surface Vehicle) โดยใช้ระบบควบคุมแบบป้อนกลับหรือ Full-State Feedback Control ร่วมกับ Observer และจะจำลองการเคลื่อนที่ของเรือให้เป็นไปตามจุดต่างๆที่กำหนดไว้ ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink และนำโปรแกรมมาแปลงเป็นภาษา LabVIEW เพื่อประยุกต์ใช้งานกับเรือคายัคจริง เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ตามพิกัดที่กำหนด

ในการศึกษาควบคุมอัตโนมัติ สิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงคือพลศาสตร์ของระบบที่เราจะทำการออกแบบตัวควบคุม J.W. Stettler [11] ได้แสดงสมการทางพลศาสตร์การเคลื่อนที่ของเรือด้วยพอดพอร์เพสชันซึ่งอาจพิจารณาได้ว่าเป็นเคลื่อนที่บนผิวน้ำในระนาบ X-Y ดังแสดงในสมการที่ 3.1 โดยตัวแปรต่างๆได้แสดงรายละเอียดในรูปที่ 3.3

$$\begin{aligned}
 m(\ddot{u} - rv - x_{cg}r^2) &= X_0 + X_{\dot{u}}\dot{u} + X_u\Delta u + X_{uu}\Delta u^2 + X_{uuu}\Delta u^3 + X_wv^2 + X_{rr}r^2 + X_{wu}v^2\Delta u \\
 &+ X_{ru}r^2\Delta u + X_{vr}vr + X_{vu}vr\Delta u + F_{xp} + (\text{inter.terms}) \\
 m(\ddot{v} + ru + x_{cg}\dot{r}) &= Y_0 + Y_{0u}\Delta u + Y_{0uu}\Delta u^2 + Y_{\dot{v}}\dot{v} + Y_{vv}v^3 + Y_{\dot{r}}\dot{r} + Y_{rr}r^3 + Y_{vr}vr^2 + \\
 &Y_{vu}v\Delta u + Y_{vu}v\Delta u^2 + Y_{rv}rv^2 + Y_{ru}r\Delta u + Y_{ru}r\Delta u^2 + F_y + (\text{inter.term}) \\
 I_z\dot{r} + mx_{cg}(\dot{v} + ru) &= N_0 + N_{0u}\Delta u + N_{0uu}\Delta u^2 + N_{\dot{v}}\dot{v} + N_{vv}v^3 + N_{\dot{r}}\dot{r} + N_{rr}r^3 + N_{vv}v^3 + N_{vr}vr^2 + \\
 &N_{vu}v\Delta u + N_{vu}v\Delta u^2 + N_{rr}r^3 + N_{rv}rv^2 + N_{ru}r\Delta u + N_{ru}r\Delta u^2 + \\
 &x_pF_y + M + (\text{inter.terms})
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

โดยที่ X_i, Y_i = พิกัดอ้างอิงที่ไม่เคลื่อนที่ X_s, Y_s = พิกัดอ้างอิงของเรือที่เคลื่อนที่ไปกับเรือ



รูปที่ 3.3 แสดงรายละเอียดของตัวแปรต่างๆที่ปรากฏในสมการทางพลศาสตร์ การเคลื่อนที่ของเรือด้วยพอดพอร์เพสชัน

โดยที่

m = น้ำหนักของเรือ (kg)

I_z = โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกน z (kg.m^2)

X_{cg} = จุดศูนย์กลางของมวล (m)

X_p = ระยะจากจุดศูนย์กลางของมวลของเรือไปถึงแกนเพลลาของพอดพรอเพาส์ชั้น (m)

U = เวกเตอร์ความเร็วเรือ (m/s)

u = ความเร็วในพิกัด x (m/s)

v = ความเร็วในพิกัด y (m/s)

r = ความเร็วเชิงมุมรอบแกน z (m/s)

φ = มุมของเรือกระทำกับพิกัดอ้างอิงแบบเฉื่อย (earth-fixed frame) (degree)

δ = มุมที่พอดพรอเพาส์ชั้นกระทำกับพิกัดที่เคลื่อนที่ไปกับเรือ (vehicle-fixed frame) (degree)

β = มุมความเร็วเรือที่เบี่ยงเบนจากพิกัดที่เคลื่อนที่ไปกับเรือ (vehicle-fixed frame) (degree)

F_x = แรงในพิกัด x จากพอดพรอเพาส์ชั้น (N)

F_y = แรงในพิกัด y จากพอดพรอเพาส์ชั้น (N)

N = แรงกระทำตั้งฉากกับพอดพรอเพาส์ชั้น (Normal Force) (N)

M = โมเมนต์ที่เกิดจากพอดพรอเพาส์ชั้น (N.m)

จากสมการ 3.1 ซึ่งแสดงพลศาสตร์ของเรือที่เคลื่อนที่ในระนาบ 2 มิติ แรง F_y คือแรงต้านข้างที่เกิดขึ้นโดย พอดพรอเพาส์ชั้น M คือ Moment รอบพอดพรอเพาส์ชั้นจะเห็นว่าสมการ 3.1 มีลักษณะเป็น ไม่เชิงเส้น ในการออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบที่เป็นไม่เชิงเส้น จะมีความยากและซับซ้อนมาก หากต้องการลดความซับซ้อนในการแก้สมการเราสามารถ Linearize สมการ 3.1 รอบความเร็ว u_0 ได้เป็น

$$(m - x_{\ddot{u}})\dot{u} = X_u u + F_x$$

$$(m - Y_{\dot{v}})\dot{v} + (m x_{cg} - Y_{\dot{r}})\dot{r} = Y_v v + Y_r r + F_y \quad (3.2)$$

$$(m x_{cg} - N_{\dot{v}})\dot{v} + (I_z - N_{\dot{r}})\dot{r} = N_v v + N_r r + x_p F_y$$

เราสามารถเขียนสมการ 3.2 ในรูป Matrix ได้เป็น

$$M\dot{X} = NX + B_0F_y \quad (3.3)$$

โดย $X = [u \ v \ r]^T$ และ

$$M = \begin{bmatrix} (m - x_{\dot{u}}) & 0 & 0 \\ 0 & (m - Y_{\dot{v}}) & (mx_{cg} - Y_{\dot{r}}) \\ 0 & (mx_{cg} - N_{\dot{v}}) & (I_{zz} - N_{\dot{r}}) \end{bmatrix} \quad \text{และ}$$

$$N = \begin{bmatrix} X_u & 0 & 0 \\ 0 & Y_v & Y_r \\ 0 & N_v & N_r \end{bmatrix} \quad \text{และ} \quad B_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ x_p \end{bmatrix}$$

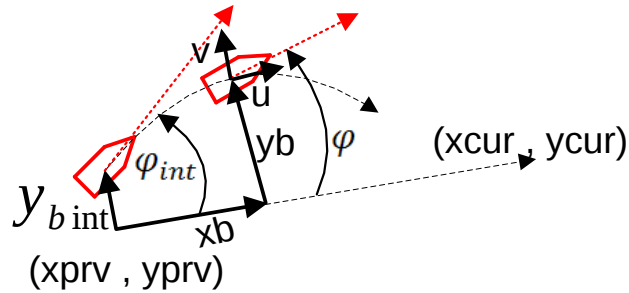
เราสามารถเขียนในรูปทั่วไปของ State Space Model ได้เป็น

$$\dot{X} = AX + BU \quad (3.4)$$

โดย $A = M^{-1}N$ และ $B = M^{-1}B_0$

ซึ่งสมการ 3.4 แสดงได้ในรูป

$$\begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} F_y \quad (3.5)$$



รูปที่ 3.4 แสดงการเคลื่อนที่ของเรือระหว่างจุดสองจุดใดๆ

พิจารณาเมื่อเรือเริ่มเคลื่อนที่จาก (x_{prv}, y_{prv}) ไปยัง (x_{cur}, y_{cur}) ไตๆมุมเริ่มต้นของเรือคือ φ_{int} และมุมที่เวลาใดๆคือ φ และตำแหน่งของเรือเทียบกับแนวแกนระหว่าง (x_{prv}, y_{prv}) กับ (x_{cur}, y_{cur}) ที่เรือเคลื่อนที่อยู คือ (x_b, y_b) จากรูปที่ 3.4 จะได้ว่า

$$\dot{x}_b = u \cos \varphi - v \sin \varphi \quad (3.6)$$

$$\dot{y}_b = u \sin \varphi - v \cos \varphi$$

เมื่อเรือเข้าใกล้ แนวการเคลื่อนที่ (φ มีค่าน้อยๆ) จะได้ $\sin\varphi \approx \varphi$, $\cos\varphi \approx 1$ สมการ 3.6 Linearize ได้เป็น

$$\dot{x}_b = u - v\varphi \cong u_0 \quad (3.7)$$

$$\dot{y}_b = u\varphi + v \cong u_0\varphi + v$$

จะเห็นว่าตัวแปรสถานะ (State) ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องมี 10 ตัว คือ

$$u \quad v \quad r \quad \varphi \quad \varphi_{int} \quad x_b \quad y_b \quad y_{bint} \quad \dot{F}_y \quad F_y$$

โดย $r = \frac{d\varphi}{dt}$, $\varphi = \frac{d\varphi_{int}}{dt}$, $y_b = \frac{dy_{bint}}{dt}$ เรานิยามตัวแปรสถานะทั้งหมดจะได้ว่า

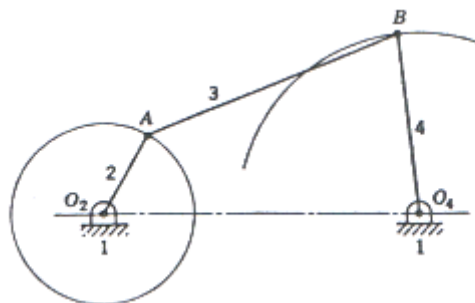
$$x = [u \quad v \quad r \quad \varphi \quad \varphi_{int} \quad x_b \quad y_b \quad y_{bint} \quad \dot{F}_y \quad F_y]^T \quad (3.8)$$

ซึ่งเป็นตัวแปรสถานะทั้งหมดที่เกี่ยวข้องซึ่งเราจะนำไปใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ต่อไป

3.3 กลไกสี่แขนต่อ (Four-Bar Linkage)

กลไกชนิดนี้เป็นกลไกแบบง่ายๆ และมีประโยชน์มากชนิดหนึ่ง ซึ่งจะถูกนำมาใช้ในการออกแบบระบบพับเก็บหุ่นลอยน้ำเสริมข้างเรือคายัค โดยกลไกชนิดนี้จะประกอบไปด้วยชนิดต่อโยง 4 ชิ้น ชิ้นต่อโยง 1 อยู่กับที่ (Frame or Ground) ชิ้นต่อโยง 2 เป็นตัวขับ ซึ่งอาจหมุนได้รอบ (Rotate Completely) หรือเคลื่อนที่กลับไปกลับมา (Oscillate) ก็ได้ และจะทำให้ตัวตาม 4 เคลื่อนที่กลับไปกลับมา หรือหมุนได้รอบโดยขึ้นอยู่กับความยาวของชิ้นต่อโยงต่างๆ มีชิ้นต่อโยง 3 เป็นตัวผ่านการเคลื่อนที่ ทั้งนี้บางครั้งอาจจะใช้ชิ้นต่อโยง 4 เป็นตัวขับและชิ้นต่อโยง 2 เป็นตัวตามก็ได้

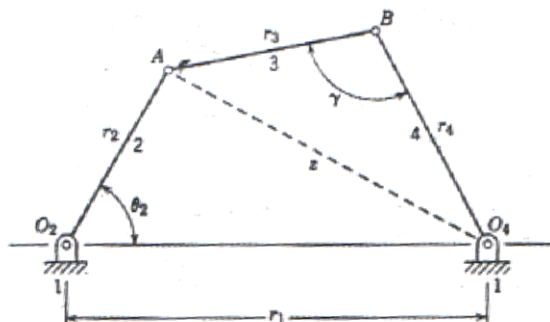
ในกรณีที่ชิ้นต่อโยง 2 ซึ่งเป็นขับหมุนได้รอบ จะไม่เกิดการติดขัด (Linkage Locking) แต่ถ้าชิ้นส่วนต่อโยง 2 เคลื่อนที่กลับไปกลับมาอาจเกิดการติดขัด ที่เรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า Dead Points ตำแหน่งที่เกิดจุดตาย (Dead Points) เป็นตำแหน่งปลายสุด ซึ่งเกิดเมื่อแนวเส้นส่งผ่านการเคลื่อนที่อยู่ในแนวเดียวกับชิ้นต่อโยง 4 การติดขัดแบบนี้อาจป้องกันได้ โดยพิจารณาสัดส่วนความยาวของชิ้นต่อโยงทั้งสิ้น ให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้



รูปที่ 3.5 กลไกชนิดต่อโยง 4 ชิ้น [2]

จุดตาย (Dead Points) จะเกิดขึ้นเหมือนกันถ้าเปลี่ยนให้ชิ้นต่อโยง 2 ซึ่งหมุนได้รอบเป็นตัวตามและชิ้นต่อโยง 4 ซึ่งเคลื่อนที่กลับไปกลับมาเป็นตัวขับ เมื่อกลไกเกิดติดขัด อาจจะใช้ล้อช่วยแรง (Flywheels)

ช่วยทำให้กลไกเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งจุดตาย (Dead Points) ไปได้ สิ่งสำคัญอีกอย่างหนึ่งซึ่งจะต้องพิจารณาในการออกแบบกลไกชนิดนี้ คือมุมการส่งผ่าน(Transmission) ซึ่งเป็นมุมระหว่างข้อต่อโยง 3 (Connecting Link or Coupler) และตัวตาม 4 เมื่อพิจารณากลไกในรูปที่ 3.6 มุม Transmission คือมุม γ ค่าของมุมการส่งผ่าน(Transmission) หาได้ดังนี้



รูปที่ 3.6 มุมส่งผ่าน (Transmission) [2]

เมื่อนำกฎของโคไซน์ (Law of cosines) มาใช้กับ ΔAO_2O_4 และ ΔABO_4 จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$z^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2 \cos \theta_2 \quad (3.9)$$

$$z^2 = r_3^2 + r_4^2 - 2r_3r_4 \cos \gamma \quad (3.10)$$

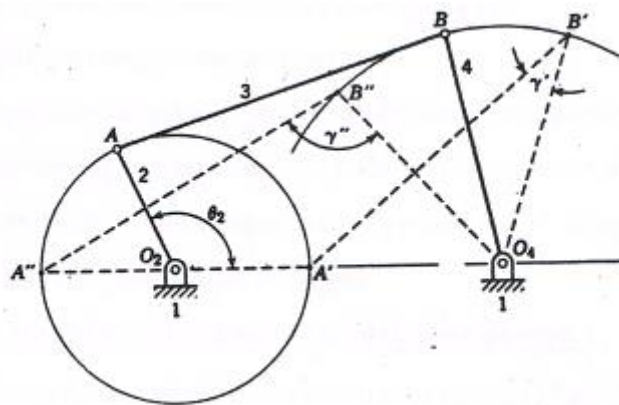
เมื่อให้ สมการ (3.9) = สมการ (3.10) จะได้

$$r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2 \cos \theta_2 = r_3^2 + r_4^2 - 2r_3r_4 \cos \gamma$$

$$\text{หรือ} \quad \cos \gamma = \frac{r_1^2 + r_2^2 - r_3^2 - r_4^2 - 2r_1r_2 \cos \theta_2}{-2r_3r_4} \quad (3.11)$$

จากความสัมพันธ์ในสมการ (3.11) ค่าของมุมการส่งผ่าน (Transmission (γ)) จะขึ้นอยู่กับความยาวของข้อต่อโยงทั้งสี่ของกลไกรวมทั้งหมด θ_2 ซึ่งเป็นมุมระหว่างตัวขับ 2 และข้อต่อโยง 1 ในตำแหน่งนั้น โดยทั่วไปในการออกแบบกลไกแบบสี่แขนต่อ (Four – Bar Linkage) มุมการส่งผ่าน (Transmission) จะมีค่าอยู่ระหว่าง $40^\circ - 140^\circ$ ถ้ามีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าช่วงที่กล่าวแล้วโอกาสที่กลไกจะเกิดติดขัดมีมาก ดังนั้นเมื่อมีการออกแบบกลไกชนิดนี้ ควรจะตรวจสอบ (Transmission) ด้วยรูปที่ 3.6 เป็นการแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งที่มุมการส่งผ่าน (Transmission) มีค่ามากที่สุด และน้อยที่สุดของกลไก Four – Bar Linkage ที่มีตัวขับ 2 หมุนได้รอบและตัวตาม 4 เคลื่อนที่กลับไปกลับมาโดย γ'' และ γ' เป็นมุมการส่งผ่าน (Transmission) ที่มีค่ามากที่สุด และน้อยที่สุดตามลำดับ

กลไกแบบสี่แขนต่อ (Four – Bar Linkage) แบ่งเป็น 3 ประเภทจากลักษณะการเคลื่อนที่ของตัวขับและตัวตาม กล่าวคือ ประเภทที่ 1. ตัวขับหมุนได้รอบและตัวตามเคลื่อนที่กลับไปกลับมาจะเรียกว่า Crank Rocker ประเภทที่ 2. ตัวขับและตัวตามหมุนได้รอบ จะเรียกว่า Double Crank และ ประเภทที่ 3. เมื่อตัวตามและตัวขับเคลื่อนที่กลับไปกลับมา จะเรียกว่า Double Rocker



รูปที่ 3.7 ตำแหน่งที่มุมการส่งผ่าน (Transmission) มีค่ามากที่สุด [2]

กฎของแกรชอฟท์ (Grashoff's Law) ช่วยให้สามารถแยกแยะประเภทของกลไกแบบสี่แขนต่อ (Four – Bar Linkage) ได้จากการพิจารณาขนาดของชิ้นต่อโยงต่างๆ ดังนี้

1. ถ้าผลบวกของความยาวของชิ้นต่อโยงที่ยาวที่สุดและสั้นที่สุด มากกว่าผลบวกของความยาวของชิ้นต่อโยงที่เหลือ กลไกนั้นจะเป็นประเภท Double Rocker

2. ถ้าผลบวกของความยาวของชิ้นต่อโยงที่ยาวที่สุดและสั้นที่สุด น้อยกว่าหรือเท่ากับผลบวกของความยาวของชิ้นต่อโยงที่เหลือ กลไกนั้นจะเป็นประเภทไหน ขึ้นอยู่กับกฎเกณฑ์ดังนี้ คือ ก. Crank Rocker 2 แบบ ถ้าชิ้นต่อโยงที่สั้นที่สุดเป็นตัวขับ และชิ้นต่อโยงข้างเคียง (Adjacent Links) ทั้งสองชิ้นใดชิ้นหนึ่งเป็นชิ้นต่อโยงที่อยู่กับที่ และ ข. Double Crank เมื่อชิ้นต่อโยงที่สั้นที่สุดเป็นชิ้นต่อโยงที่อยู่กับที่ และ ค. Double Rocker เมื่อชิ้นต่อโยงที่อยู่ตรงข้ามชิ้นต่อโยงที่สั้นที่สุด เป็นชิ้นต่อโยงที่อยู่กับที่

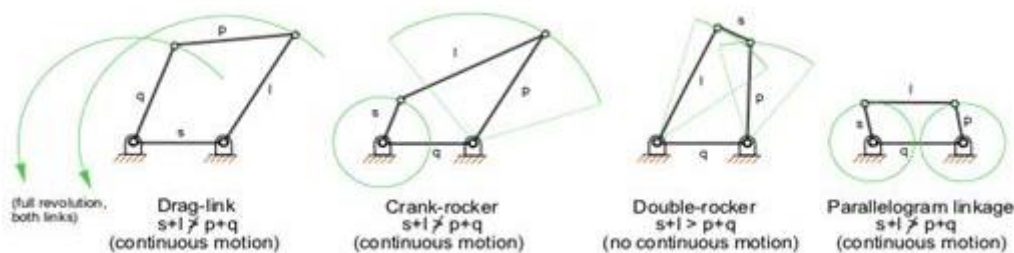
หรือกฎของแกรชอฟ (Grashof) ที่ใช้กันแพร่หลายในการศึกษากลไก 4 ก้านต่อว่าเป็นกลไกประเภทใดใน 4 ชนิดโดยดูจากสมการ (3.12)

$$s+1 < p+q \quad (3.12)$$

โดย l = ความยาวของก้านต่อที่ยาวที่สุด, s = ความยาวของก้านต่อที่สั้นที่สุด, p และ q = ก้านต่อที่เหลือชนิดของกลไกสี่ก้านต่อ

จากรูปที่ 3.8 ถ้าในกรณี $s+1 < p+q$: การเคลื่อนที่จะเป็นแบบที่ 1 (drag-link) ถ้าก้านต่อ s เป็น frame ที่ติดกับพื้น หรือ การเคลื่อนที่จะเป็นแบบที่ 2 (crank-rocker) ถ้าก้านต่อ s เป็น crank และอยู่ติดกับ frame ที่ติดกับพื้น

จากรูปที่ 3.8 ถ้าในกรณี $s+1 > p+q$: การเคลื่อนที่จะเป็นแบบที่ 3 (double-rocker) ถ้าก้านต่อตรงข้าม s เป็น frame หรือ การเคลื่อนที่จะเป็นแบบที่ 4 (parallelogram linkage) ถ้าก้านต่อ $s = p$ และ ก้านต่อ $l = q$



รูปที่ 3.8 ชนิดกลไก 4 ก้านต่อ [2]

3.3.1 ระนาบการเคลื่อนที่ 2 มิติ (Plane motion 2D)

- การเลื่อน (Translation) – เส้นทางการเคลื่อนที่ของทุกๆจุดบนวัตถุเกร็งจะมีลักษณะขนานกัน การเลื่อนแบบเส้นตรง (Rectilinear translation) – เส้นทางการเคลื่อนที่ของทุกๆจุดเป็นแบบเส้นตรงที่ขนานกัน และ การเลื่อนแบบเส้นโค้ง (Curvilinear translation) – เส้นทางการเคลื่อนที่ของทุกๆจุดเป็นแบบเส้นโค้งที่ขนานกัน
- การหมุน (Rotation) – การเคลื่อนที่ที่ทำให้ระยะห่างจากจุดใดๆ กับแกนหยุดนิ่งหรือจุด มีค่าคงที่
- การเลื่อนและการหมุน (Translation and rotation) – การเคลื่อนที่แบบข้างบนรวมกัน

3.3.2 การเคลื่อนที่แบบสามมิติ (Spatial motion 3D) – การเคลื่อนที่แบบ translation และ rotation ของวัตถุในระบบสามมิติ

- การเคลื่อนที่แบบเกลียว (Helical motion) – การเคลื่อนที่บังคับแบบหมุนรอบแกนและการเลื่อน (translation) ในแนวแกน
- การเคลื่อนที่แบบทรงกลม (Spherical motion) – ระยะจากจุดใดๆ ไปยังจุดที่กำหนดคงที่
- การเคลื่อนที่แบบทรงกระบอก (Cylindrical motion) – การเคลื่อนที่แบบหมุนอย่างอิสระรอบแกนและการเลื่อนอย่างอิสระ (free translation) ในแนวแกน

3.3.3 นิยามของตัวแปรที่ใช้กับกลไกสี่แขนต่อ

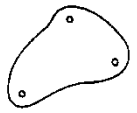
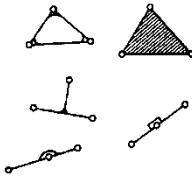
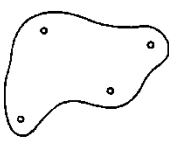
จุดต่อ (Joint) หรือ Kinematic pair – จุดเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนซึ่งอนุญาตให้มีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์บังคับ (constrained relative motion) ตารางข้างล่างแสดงชนิดของจุดต่อ Joints ประเภทที่ 1 : คู่ที่ต่ำกว่า (Lower pairs) – การเชื่อมต่อของพื้นผิว (surface contact) และ ประเภทที่ 2 : คู่ที่สูงกว่า (Higher pairs) – การเชื่อมต่อของจุดหรือเส้น (Line or point contact)

ชนิดของชิ้นส่วน (Link types) ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ประเภทที่ 1 : Binary link – ชิ้นส่วนแบบสองโนด และ ประเภทที่ 2 : Ternary link – ชิ้นส่วนแบบสามโนด และ ประเภทที่ 3 : Quaternary link – ชิ้นส่วนแบบสี่โนด

Linkage คือ กลไกที่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ได้อย่างน้อยสองชิ้น หรือ โครงสร้าง (Structure) ถ้าไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่เลย หรือ บางครั้ง Linkage (Kinematic chain) เป็นชุดของชิ้นส่วนที่เชื่อมต่อกันด้วยจุดเชื่อม

ระดับความอิสระ หรือ Degree of freedom (DOF) – จำนวนตัวแปรอิสระที่ใช้อธิบายตำแหน่งของวัตถุแข็งเกร็งได้อย่างสมบูรณ์ เช่น DOF ของวัตถุแข็งเกร็งอิสระบนระนาบ = 3 และ DOF ของวัตถุแข็งเกร็งอิสระใน ปริภูมิ (space) = 6 และ DOF ของ joint, f – จำนวนตัวแปรอิสระที่จำเป็นต้องใช้ในการอธิบายตำแหน่งของชิ้นส่วนสองชิ้นที่เชื่อมต่อกัน

Degree of constraint ของ joint (DOC), u – ระดับความอิสระของวัตถุแข็งเกร็งอิสระ ที่เสียไปหลังจากถูกนำไปต่อเชื่อมกับชิ้นส่วนที่ไม่เคลื่อนที่ด้วยจุดต่อ (joint) นั้นๆ เช่น DOF ของ joint (f) + DOC ของ joint (u) = DOF ของที่ว่าง (space) และ $f + u = 3$ ในระบบ 2D และ $f + u = 6$ ในระบบ 3D

Link types	Typical form	Skeleton diagram(s)
Binary		
Ternary		
Quaternary		

รูปที่ 3.9 ชนิดของชิ้นส่วน (Link types) [2]

3.4 ความเค้นเฉือนและมุมบิดในช่วงยึดหยุ่น

ในการออกแบบเพลลาที่ใช้ในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่างๆ นั้นจะต้องคำนึงถึงค่าความเค้นเฉือนที่เกิดจากแรงบิด โดยเฉพาะเพลลาที่ยาว เช่น เพลลาของชุดขับ podded propulsion และ เพลลาของชุดขับเคลื่อนแบบขับเคลื่อนด้วยน้ำเสริมข้างเรือค้ายัค

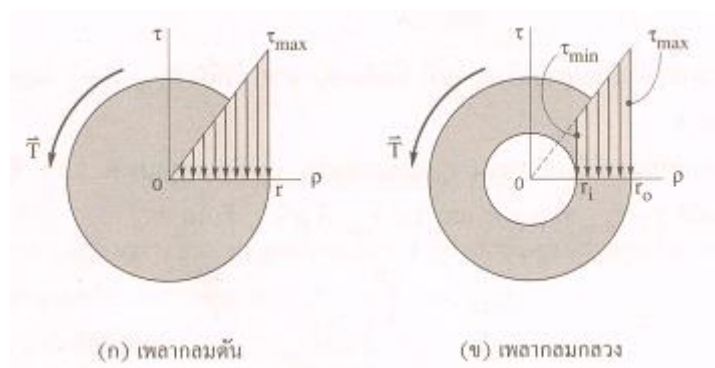
3.4.1 ความเค้นเฉือน

ในที่นี้พิจารณาเพลลากลมตันภายใต้ทอร์ก $\overline{T}$ (และมีขนาดเท่ากับ T) และกำหนดให้ความเค้นเฉือนมีค่าสูงสุดที่ผิวเพลลาแต่มีค่าไม่เกินความเค้นเฉือนคราก (τ_Y) ของวัสดุที่ใช้ทำเพลลา ในทางปฏิบัติแล้วจะพิจารณาให้ความเค้นเฉือนในเพลลามีสัญญะค่าสูงสุดไม่เกินขีดจำกัดความเค้นเฉือนและเป็นสัดส่วนและต่ำกว่าขีดจำกัดสภาพยึดหยุ่น อาศัยกฎของฮุกบอกความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (τ) กับความเครียดเฉือน (γ) ของเพลลากลมตันในช่วงยึดหยุ่นในรูปของ

$$\tau = G\gamma \quad (3.13)$$

โดยที่ G คือมอดุลัสสภาพแข็งแรงแรงของวัสดุที่ใช้ทำเพลลา เมื่อแทนค่าความเครียดเฉือน (γ) ในสมการ 3.13 จะได้สมการหาความเค้นเฉือนในเพลลาดังนี้

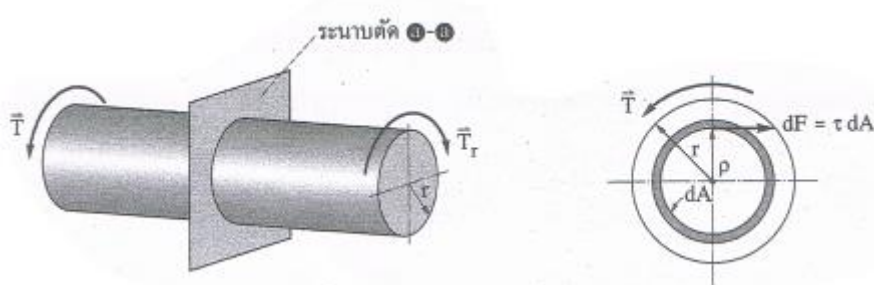
$$\tau = \left(\frac{\rho}{r}\right)\tau_{max} \quad (3.14)$$



รูปที่ 3.10 การกระจายของความเค้นเฉือนในเพลลาตันและกลวง [3]

ในสมการ 3.14 ถ้าความเค้นเฉือนในเพลลาตันมีค่าไม่เกินขีดจำกัดความเป็นสัดส่วนความเค้นเฉือนในเพลลาจะเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นกับระยะ ρ ที่วัดในแนวรัศมีจากจุดศูนย์กลางของหน้าตัดเพลลา ถ้าพิจารณาการกระจายความเค้นเฉือนบนหน้าตัดของเพลลาตันจะได้ดังภาพ 3.10(ก) ที่จุดศูนย์กลางของหน้าตัดเพลลา ($\rho = 0$) นั้น $\tau = 0$ และที่ผิวเพลลา ($\rho = r$) นั้นเค้นเฉือนมีค่าสูงสุด ($\tau = \tau_{max}$) และภาพ 3.10(ข) แสดงการกระจายความเค้นเฉือนในเพลลาตันกลวงที่มีรัศมีภายใน r_i และภายนอก r_o ตามลำดับ จะเห็นว่าความเค้นเฉือนมีการกระจายเชิงเส้น โดยที่จุดศูนย์กลางนั้น $\tau = 0$ ที่ผิวเพลลาภายใน $\rho = r_i$ นั้น $\tau = \tau_{min}$ และที่ผิวเพลลาภายนอก ($\rho = r_o$) นั้น $\tau = \tau_{max}$ สำหรับเพลลาตันกลวง เนื่องจากในสมการ 3.14 นั้นแทนค่า $r = r_o$ และที่ $\rho = r_i$ นั้น $\tau = \tau_{min}$ ดังนั้น

$$\tau_{min} = \left(\frac{r_i}{r_o}\right)\tau_{max} \quad (3.15)$$



รูปที่ 3.11 แรงเฉือนด้านบนหน้าตัดของเพลลาส่วนที่อยู่ด้านซ้ายของระนาบตัด a – a [3]

พิจารณา τ_{max} สำหรับเพลลาตันรัศมี r ที่ถูกกระทำด้วยทอร์ก T และ T_r รอบแกนของเพลลา ในทิศทางภาพ 3.11 เลือกเพลลาส่วนที่อยู่ด้านซ้ายมือของระนาบตัด a – a เป็น FBD บนหน้าตัดเพลลา

พิจารณาพื้นที่วงแหวนรัศมี ρ และมีพื้นที่ dA แรงเฉือนต้าน $dF = \tau dA$ อยู่ในแนวตั้งฉากกับรัศมี ρ โดยโมเมนต์ต้านที่เกิดจากแรง dF รอบจุดศูนย์กลางจะมีทิศทางตรงข้ามกับการหมุนของ $\vec{T}$ และมีขนาดเท่ากับ $\int \rho dF = \int \rho \tau dA$ ภายใต้สภาวะสมดุลต่อการหมุนรอบแกนเพลลา จะได้

$$T = \int \rho dF = \int \rho \tau dA \quad (3.16)$$

จากสมการ 3.15 r และ τ_{max} เป็นค่าคงตัว ดังนั้น

$$T = \frac{\tau_{max}}{r} \int \rho^2 dA = \frac{\tau_{max}}{r} J \quad (3.17)$$

ดังนั้น

$$\tau_{max} = \frac{T r}{J} \quad (3.18)$$

ในสมการ 3.18 นี้ J คือโมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วรอบแกนเพลลาคลมตัน โดยที่ $J = \int \rho^2 dA$ มีหน่วยเป็น m^4 ส่วนทอร์ก T มีหน่วยเป็น $N.m$ และรัศมีเพลลา r มีหน่วยเป็น m จะได้ τ_{max} มีหน่วยเป็น N/m^2 หรือ Pa

สำหรับเพลลาคลมตันรัศมี r และเส้นผ่านศูนย์กลาง $d = 2r$ พบว่า $J = \pi r^4/2 = \pi d^4/32$ แทนค่าในสมการ 3.17 จะได้

$$\tau_{max} = \frac{16T}{\pi d^3} \quad \text{สำหรับเพลลาคลมตัน} \quad (3.19)$$

3.4.2 มุมบิดของเพลลาคลม

ในรูปที่ 3.12 แสดงเพลลาคลมตันมีรัศมี r ยาว L โดยปลาย B เป็นปลายตรึง ปลาย A เป็นปลายอิสระ และมีทอร์ก $\vec{T}$ กระทำที่ปลาย A นั้น พิจารณามุมหน้าตัดเพลลาที่ปลาย A เมื่อเส้นขอบผิว AB บิดไปที่ตำแหน่ง $A'B$ มุมบิดของหน้าตัดระหว่างแนวเส้นรัศมี OA และ OA' เท่ากับ θ ดังนั้นความเครียดเฉือนที่ผิวเพลลา คือ $\gamma_{max} = \frac{r\theta}{L}$ โดยพิจารณาในช่วงยืดหยุ่น ตามกฎของฮุกที่ว่า

$\tau_{max} = \frac{\tau_{max}}{G}$ และสูตรคำนวณความเค้นเฉือนจากทอร์ก $\tau_{max} = \frac{Tr}{J}$ จะได้ $\gamma_{max} = \frac{Tr}{JG}$ ดังนั้น

$$\gamma_{max} = \frac{r\theta}{L} = \frac{Tr}{JG} \quad (3.20)$$

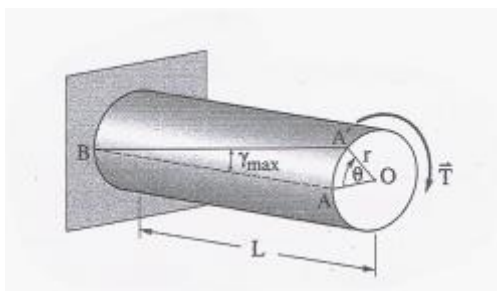
ดังนั้น

$$\theta = \frac{TL}{JG} \quad (3.21)$$

โดยที่ J คือโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดทรงกลม ซึ่งคำนวณได้จากสูตร $J = \frac{\pi d^4}{32}$ ในสมการ

3.21 นี้ θ คือมุมบิด มีหน่วยเป็นเรเดียน (rad) และกล่าวได้ว่า เมื่อเพลากลมรับภาระบิดในช่วงยืดหยุ่น จะพบว่ามุมบิดของเพลากลมจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับทอร์กภายนอกที่กระทำต่อเพลากลมดังกล่าว

ในการหามอดูลัสสภาพแข็งเกร็ง (G) ของวัสดุ จะอาศัยข้อมูลจากเครื่องทดสอบการบิด (torsion testing machine) โดยเตรียมชิ้นทดสอบเป็นแท่งทรงกระบอกตันที่ทราบความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลาง เครื่องทดสอบการบิดสามารถบันทึกมุมบิด θ ค่าต่างๆตามทอร์ก T ที่สามารถเพิ่มค่าได้ ภายใต้การพลอตกราฟระหว่าง T กับ θ จะได้กราฟเส้นตรง ความชันของเส้นกราฟที่ได้ก็คือปริมาณ JG/L และสามารถคำนวณค่า G ได้เนื่องจากทราบความยาว L และเส้นผ่านศูนย์กลาง d ของเพล



รูปที่ 3.12 มุมบิด θ ของเพลากลมตันภายใต้ทอร์ก $\vec{T}$ [3]

3.5 เรือและพอดพรอเพาส์ชั้น

3.5.1 เรือคายัค

เรือคายัค (kayak) เป็นเรือที่ใช้พลังงานมนุษย์ประเภทหนึ่ง มีลักษณะปิดทางด้านบนของเรือ และมีผ้าป้องกันน้ำเข้าเรือ (spray skirt) ใช้พายแบบมีใบพายสองด้าน คายัคต้นแบบถูกพัฒนาจากชนพื้นเมือง Aleut และ Inuit ซึ่งเป็นนักล่าจากเขตไต้อาร์คติก (อเมริกาเหนือ และกรีนแลนด์) เรือคายัคยุคใหม่นั้นมีการออกแบบและวัสดุที่หลากหลายมาก

คายัคนั้นสามารถบรรทุกผู้โดยสารได้หนึ่ง สอง หรือ สามในบางโอกาส ผ้าป้องกันน้ำเข้าเรือทำจากผ้ากันน้ำ ยึดติดกับขอบด้านบนของที่นั่ง ป้องกันคลื่นและละอองน้ำ และเป็นสิ่งที่ทำให้ "พลิกเรือ" หรือที่เรียกว่า Eskimo Roll ทำได้ ในกรณีที่เรือคว่ำน้ำ หากไม่มีผ้าหอน้ำเข้าเรือจะทำให้ น้ำไหลเข้าเรือ หรือช่วยให้ผู้พายสามารถออกจากเรือได้

คายัคนั้นมีความแตกต่างจากเรือแคนูอย่างสิ้นเชิงทั้งการออกแบบและประวัติความเป็นมาเรือแคนู เป็นเรือที่แทบจะเป็นเรือท้องแบน ใช้ใบพายเดี่ยว ถึงแม้ว่าเรือแคนูรุ่นใหม่ ๆ จะมีความยากสำหรับผู้ที่ไม่รู้เรื่องในการแยกแยะประเภทออกจากคายัคแต่สำหรับในอังกฤษและไอร์แลนด์ก็มีการเรียก คายัคว่าเป็นเรือแคนูแทน

การแยกประเภทของเรือคายัคนั้นสามารถแยกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) เรือคายัคแบบ Sit-inside เป็นคายัครูปแบบดั้งเดิมที่ผู้พายจะต้องสอดตัวเข้าไปในเรือโดยมีผ้าคลุมปิดเพื่อป้องกันน้ำเข้าเรือจะมีทั้งแบบเรือที่ใช้ท่องเที่ยวระยะไกล เรือแบบล่อง แก่ง ให้เลือกตามความต้องการในการใช้งาน

Atlantis 12 ดังแสดงในรูปที่ เป็น เรือคายัค Sit inside 1 ที่นั่ง ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เหมาะกับการพายทัวร์ริ่งและเพื่อการพักผ่อน (Recreational Touring) ด้วยการออกแบบให้มีความเพรียว โดยมีคุณสมบัติทางกายภาพ คือ มีความยาว 3.85 m, ความกว้าง 68 cm, น้ำหนักโดยไม่ได้บรรจุทุกโหลด 18.50 kg, รับน้ำหนักได้สูงสุด 104.30 kg ทำให้สามารถใช้ความเร็วในการพายได้ดี มีความมั่นคงสูง สะดวกสบาย ด้วยที่นั่งที่ออกแบบได้อย่างลงตัว นอกจากนี้ยังมีห้องเก็บสัมภาระกันน้ำด้าน หน้าและด้านหลัง สำหรับคนที่ต้องการแคมป์ปิ้ง และต้องการพายคายัคท่องเที่ยวลัดเลาะตามชายหาด หรืออยากที่จะไปค้างที่เกาะใดเกาะหนึ่งได้ตามที่ต้องการ



รูปที่ 3.13 เรือคายัคแบบ Sit-inside [13]

2) เรือคายัคแบบ Sit-on-top เป็นคายัครูปแบบใหม่ที่ได้พัฒนาให้พายได้ง่ายและสะดวก มากยิ่งขึ้น ข้อดีคือจะไม่จมน้ำเนื่องจากตัวเรือจะถูกปิดหมด โดยผู้พายจะนั่งอยู่ด้านบนของเรือ ถ้าเรือจะมีรูระบายน้ำเพื่อให้ น้ำที่สากระเซ็นเข้ามาสามารถระบายออกไปได้ ใช้พายเล่นท่องเที่ยวหรือล่องแก่งในระดับเริ่มต้น แต่จะไม่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้เนื่องจากไม่มีช่องเก็บสัมภาระ



รูปที่ 3.14 เรือคายัคแบบ Sit-on-top [13]

3.5.2 พอดพรอเพาส์ชั้น

พอดพรอเพาส์ชั้น เป็นระบบขับเคลื่อนเรือด้วยใบพัดที่ติดกับมอเตอร์ไฟฟ้า ส่วนการควบคุมน้ำจะคล้ายกับเครื่องยนต์น้ำมันโดยการบังคับให้ใบพัดหมุนซ้ายหรือขวา โดยที่มอเตอร์ไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องมีการระบายความร้อนเนื่องจากอยู่ในน้ำอยู่แล้ว พอดพรอเพาส์ชั้นที่นิยมใช้จะใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์, 24 โวลต์หรือ 36 โวลต์ รุ่นที่เลือกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้จะเป็นรุ่น Riptide Transom จาก Minn Kota ดังแสดงในรูปที่ 3.15 ซึ่งมีข้อดีหลักคือสามารถปฏิบัติงานในน้ำทะเลได้เนื่องจากได้ออกแบบให้มีแผ่นกันการออกซิไดซ์จากเกลือในน้ำทะเล โดยใบพัดจะเป็นแบบ Weedless Wedge ที่สามารถตัดวัชพืชที่เข้ามาติดพันได้ ส่วนก้านยึดมอเตอร์ไฟฟ้าจะทำจากวัสดุ composite ในส่วนของมอเตอร์ไฟฟ้าจะให้แรงขับสูงสุด 80 ปอนด์



รูปที่ 3.15 พอดพรอเพาส์ชั้นรุ่น Riptide Transom จาก Minn Kota [14]