

ปัจจัยการพายเพื่อประสิทธิผลสูงสุดในการพายเรือกรรเชียง

นายพรเทพ ราชนาวิ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2550

**ROWING PARAMETERS FOR OPTIMAL
EFFECTIVENESS IN SCULLING**

Pornthep Rachnavy

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Doctor of Philosophy in Mechanical Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2007

ปัจจัยการพาเยื่อเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดในการพาเยื่อกรรเชียง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาคุณวุฒิปบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

ประธานกรรมการ

(รศ. ดร.ทวิช จิตรสมบูรณ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล)

กรรมการ

(ผศ. ดร.สิริพร ศศิเมณฑลกุล)

กรรมการ

(ผศ. ดร.ราตรี เรืองไทย)

กรรมการ

(ศ. ดร.ไพโรจน์ สัตยธรรม)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. น.อ. ดร.วราภรณ์ จำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

พรเทพ ราชนาวิ : ปัจจัยการพายเพื่อประสิทธิผลสูงสุดในการพายเรือกรรเชียง
(ROWING PARAMETERS FOR OPTIMAL EFFECTIVENESS IN SCULLING)

อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ. ดร.ทวิช จิตรสมบูรณ์, 140 หน้า.

งานวิทยานิพนธ์นี้ทำการวิเคราะห์การพายเรือกรรเชียงเพื่อการแข่งขันในระยะทาง 2,000 เมตร วิธีหลักในการศึกษาคือการจำลองการเคลื่อนที่ของเรือด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นสมการแบบอนุพันธ์เต็มหน่วยและหาคำตอบด้วยกรรมวิธีเชิงตัวเลขแรงในแบบจำลองคณิตศาสตร์ประกอบด้วยแรงขับเคลื่อนเรือ แรงต้านเรือ และแรงเฉื่อย อันเนื่องจากการเคลื่อนตัวของนักกีฬา แรงขับเคลื่อนเรื่อนั้นกำหนดให้กระจายตามมุมการพายตั้งแต่ใบพายลงน้ำจนใบพายพ้นน้ำ โดยจำลองแรงให้เป็นรูปแบบต่าง ๆ รูปแบบคือ 1) แบบสุ่ม 2) แบบที่จำลองกล้ามเนื้อขาหลังแขนเป็นรูปประฆังคว่ำ 3) แบบที่ใช้แรงกล้ามเนื้อขาหลังแขนที่ได้จากการวัดการออกแรงจริงของนักกีฬาโอลิมปิกส์และ 4) แบบที่ได้จากการวัดแรงของนักกีฬาทีมชาติไทย แรงที่ออกโดยนักกีฬาจะส่งไปที่ใบพาย ทำให้เกิดแรงจุดและแรงยกบนใบพาย และทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของใบพาย ซึ่งส่งผลกระทบต่อจังหวะในการพาย สำหรับแรงต้านเรื่อนั้นกำหนดให้มีแต่เพียงแรงเสียดทานของน้ำที่กระทำต่อเรือซึ่งเป็นสัดส่วนกับความเร็วเรือยกกำลังสอง ส่วนแรงเฉื่อยจากนักกีฬาที่เคลื่อนตัวกลับไปมาในระหว่างการพายเรือก็ถือเป็นปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบมากต่อประสิทธิผลการพายเรือได้เพราะน้ำหนักตัวของนักกีฬามีค่ามากกว่าน้ำหนักเรือ ประเด็นสำคัญในการศึกษานี้ที่แตกต่างไปจากการศึกษาในอดีตของนักวิจัยอื่นมีสองประการคือ ในที่นี้ได้กำหนดเงื่อนไขให้ “งาน” ในการพายตลอดระยะทางเป็นค่าคงที่เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิผลของแต่ละวิธีการพาย โดยที่งานวิจัยในอดีตนั้นได้กำหนดให้ “กำลังงาน” ในแต่ละจังหวะการพายเป็นค่าคงที่ อีกประการคือในการศึกษานี้ได้คำนึงถึงหลักการทางสรีรวิทยาควบคู่ไปกับหลักการทางกลศาสตร์ด้วย การหาคำตอบให้กับสมการคณิตศาสตร์ได้เริ่มต้นในสภาพเรือหยุดนิ่งไปจนได้ระยะทาง 2,000 เมตร โดยทำการปรับเปลี่ยนการกระจายของแรงในการออกแรงแต่ละรูปแบบ เพื่อเสาะหาการกระจายที่ทำให้ได้เวลาการพายที่สั้นที่สุด จากนั้นได้เปรียบเทียบการกระจายที่ดีที่สุดของแต่ละรูปแบบพบว่ารูปแบบที่มีการกระจายแรงที่กว้างจะดีกว่ารูปแบบที่มีการกระจายแรงที่แคบ และพบว่ารูปแบบการพายที่ดีบางครั้งขัดต่อหลักสรีรวิทยาซึ่งทำให้ใช้ประโยชน์ไม่ได้ นอกจากศึกษาผลกระทบของรูปแบบการออกแรงแล้วยังได้ศึกษาผลกระทบของปัจจัยย่อยต่าง ๆ คือ ขนาดของใบพาย ความยาวด้ามพาย และมุมการพาย พบว่าขนาดใบพายที่ใหญ่ขึ้น ด้ามพายที่ยาวขึ้น และมุมการพายที่กว้างขึ้น ทำให้พายเรือได้เร็วขึ้น แต่อาจนำไปใช้

พายุในชีวิตจริงไม่ได้ทั้งหมดเนื่องจากขัดต่อหลักสรีรวิทยา สิ่งที่น่าสนใจคือรูปแบบการพายุที่ดีที่สุดเปลี่ยนไปเมื่อปัจจัยย่อยเหล่านี้เปลี่ยนไป ซึ่งหมายความว่านักกีฬาแต่ละคนควรเลือกใช้ปัจจัยการพายุให้เหมาะสมต่อลักษณะและเงื่อนไขทางสรีรวิทยาของตนให้มากที่สุด

PORNTHEP RACHNAVY : ROWING PARAMETERS FOR OPTIMAL
EFFECTIVENESS IN SCULLING: ASSOC. PROF. TAWIT
CHITSOMBOON, Ph.D. 140 PP.

MOVEMENT/BOAT PADDLES/OPTIMAL EFFECTIVENESS

The dissertation analyzed the rowing of a racing scull for a 2,000 m. competition using a mathematical modeling which is in the form of an ordinary differential equation. The solution to this equation was obtained by a numerical method. The forces acting on the boat were assumed to be the rowing force, the water resistance force and the inertial force due to body movement of the athlete. The driving force was a function of the stroke angle which begins when the paddle hit the water and ends when the paddle leave the water. The forces were modeled into four groups: 1) random 2) bell-shape contributions from leg-back-arm power 3) actual contribution from leg-back-arm power of an Olympian and 4) actual force of a Thai national team. The force from the athlete is sent to the paddle resulting in drag and lift forces and paddle movement which affects stroking rate. The boat resistance was assumed to be due only to the friction force which is proportional to the square of the velocity. The inertial force due to body movement could affect boat motion significantly because the weight of an athlete normally is more than the boat weight. Two important aspects that make this study different from other studies in the past are that this study stipulated as constant the “total work” dispends through out the racing distance while other studies assumed the “power” of each rowing stroke to be constant, and that this study also considered physiology as an integral part of the

study. The solution procedure began with a still boat at the starting point until it reached the final distance. Many variations of the four force functions were made to search for the best one of each function; then comparisons were made among the best ones of all force functions. It was found that the force function with a wider spreading gave better results than the one with a narrower spreading. It was also found that not all good force functions may be useful because some of them were not compatible with the physiology of the athlete. In addition to studying the effect of force function, effects of other minor parameters were also studied, namely, paddle size, paddle-arm length and stroke angle. It was found that larger paddle, longer paddle-arm and wider stroke angle generally contributed to a faster boat; but not all of it may be used directly in real life because a limit was generally reached where it is contradictory to physiology of an athlete. An interesting finding was that a different best force function was obtained when these minor parameters were different. This indicates that each athlete, with different physiological conditions should use different paddle and sculling technique in order to be most effective in sculling.

School of Mechanical Engineering

Academic Year 2007

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงโดยสมบูรณ์ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รศ. ดร. ทวีช จิตรสมบูรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่เปี่ยมด้วยจิตวิญญาณแห่งความเป็นครู ผู้ให้ความรู้ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย ให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่งรวมถึงการเป็นแบบอย่างที่ดีที่ในการดำเนินชีวิตและทำให้เกิดการสำนึกในความเป็นคนไทย ช่วยปลูกฝังให้รู้จักความอดทน ความอดสาหะในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้ สอนให้รู้จักการคิดวิเคราะห์อย่างเป็นระบบเป็นขั้นตอน เมื่อประสบปัญหาท่านจะให้ความช่วยเหลือแนะนำทางออกที่ดีเสมอ คอยให้กำลังใจและกระตุ้นให้เกิดความกระตือรือร้นในการศึกษาวิจัย เสียสละเวลาที่มีค่าเพื่อที่จะให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งใจและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับความกรุณาที่มีให้ตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ รศ. น.อ. ดร.วราภรณ์ จำพิศ, รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชานีประศาสน์, รศ. ดร.เอกชัย จันทสาโร, ผศ. ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล, อ. ดร.ธีระชาติ พรพิบูลย์, อ. ดร.กীরดี สุกัญญ์ และคณาจารย์ของสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้คำแนะนำและให้กำลังใจรวมถึงการให้โอกาสในการศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบุคลากรของสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านเอกสารและข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ ตลอดจนเพื่อน ๆ และน้อง ๆ บัณฑิตศึกษาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน โดยเฉพาะน้อง ๆ กลุ่มวิจัยซึ่งประกอบด้วย อาจารย์โสทรฎา แข็งการ, คุณวิกันดา ศรีเดช, คุณพรสวรรค์ ทองใบ, คุณจารุวรรณ ตั้งตันสกุลวงศ์, คุณอาทิตย์ คุณศรีสุข, คุณชัยฤกษ์ เชื้อประสาท, คุณเกรียงไกร เพ็ชรน้ำเขียว, คุณชโลธร ธรรมแท้, คุณบรรณชา ชันเขียว และคุณสุพิชฌาย์ มีสุขเจ้าสำราญ ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อไพฑูรย์ และคุณแม่สมหมาย ราชนาวิ ผู้ให้กำเนิดและเลี้ยงดูทุกคนในครอบครัวด้วยความรักและห่วงใย ขอขอบคุณสมาชิกครอบครัว “ราชนาวิ” ทุกท่านที่ให้ความห่วงใยและให้กำลังใจมาโดยตลอด ขอขอบคุณ คุณหทัยรัตน์ และเด็กหญิงสุญญาดา ราชนาวิ ที่คอยอยู่เคียงข้างและให้กำลังใจเสมอมา

พรเทพ ราชนาวิ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฏ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ฟิสิกส์สำหรับการพายเรือกรรเชียง.....	6
2.1.1 การขับเคลื่อน	6
2.1.2 แรงต้านทาน	7
2.1.3 ความหนืด.....	8
2.1.4 การไหลของกระแสน้ำ	9
2.1.5 พลังงานจลน์.....	10
2.1.6 จุดศูนย์กลางมวล	10
2.1.7 การเปลี่ยนแปลงความเร็ว.....	12
2.1.8 การถ่ายกำลัง.....	12

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2	แรงกระทำที่เกี่ยวข้องกับการพายเรือกรรเชียง.....	13
2.2.1	แรงต้านทานของไหล.....	13
2.2.2	แรงกดในอากาศ.....	13
2.2.3	แรงกดในน้ำ.....	13
2.2.4	แรงยก	18
2.2.5	แรงกระทำต่อเรือ.....	19
2.2.6	แรงกระทำต่อใบพาย.....	22
2.2.7	แรงกระทำต่อตัวนักพายเรือ	25
2.3	สรีรวิทยาของการพายเรือกรรเชียง	26
2.3.1	ชนิดของกล้ามเนื้อ.....	27
2.3.2	คุณสมบัติของกล้ามเนื้อ	28
2.3.3	กลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อลาย.....	28
2.3.4	กล้ามเนื้อที่ใช้ในการพายเรือกรรเชียง	29
2.4	คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ	33
2.4.1	ประโยชน์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ.....	34
2.4.2	ส่วนประกอบของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ.....	34
2.4.3	การนำเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ามาใช้งาน	34
2.5	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพายเรือกรรเชียง	35
2.5.1	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของการพายเรือกรรเชียง	35
2.5.2	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคณิตศาสตร์ของการพายเรือกรรเชียง	37
2.5.3	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสรีรวิทยาของการพายเรือกรรเชียง	42
3	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	43
3.1	การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการพายเรือกรรเชียง.....	43
3.1.1	สมการการเคลื่อนที่.....	44
3.1.2	แรงกดที่กระทำต่อตัวเรือ	51
3.1.3	งานของระบบ	51

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2	การจำลองการพายเรือ	52
3.3	การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม.....	54
3.4	การหารูปแบบการพายที่เหมาะสมที่สุด	55
3.4.1	รูปแบบการออกแรงพายแบบส้อม (แบบ ก).....	56
3.4.2	รูปแบบการออกแรงพายจากการผสมกำลังของกล้ามเนื้อขา หลัง และแขน ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ sine ยกกำลังสอง (แบบ ข).....	58
3.4.3	รูปแบบการออกแรงพายจากการผสมกำลังของกล้ามเนื้อขา หลัง และแขนที่ได้จากการวัดของนักพายเรือโอลิมปิก (แบบ ค).....	59
3.4.4	รูปแบบการออกแรงพายจากเครื่องจำลองการพายเรือ โดยนักพายเรือทีมชาติไทย (แบบ ง)	59
4	ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	62
4.1	รูปแบบการพายที่ดีที่สุดแบบต่าง ๆ.....	64
4.1.1	รูปแบบการออกแรงพายแบบส้อม (แบบ ก).....	64
4.1.2	รูปแบบการออกแรงพาย จากการผสมกำลังของกล้ามเนื้อขา หลัง และแขนตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ sine ยกกำลังสอง (แบบ ข)	65
4.1.3	รูปแบบการออกแรงพาย จากการผสมกำลังของกล้ามเนื้อขา หลัง และแขนที่ได้จากการวัดของนักพายเรือโอลิมปิก (แบบ ค).....	67
4.1.4	รูปแบบการออกแรงพาย จากเครื่องจำลองการพายเรือ โดยนักพายเรือทีมชาติไทย (แบบ ง)	68
4.2	การเปรียบเทียบการพายทั้ง 4 แบบ.....	68
4.3	การแปรผันตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการพายเรือกรรเชียง	69
4.3.1	การแปรผันขนาดใบพาย	69
4.3.2	การแปรผันมุมการพาย	72
4.3.3	การแปรผันความยาวด้ามพาย.....	74
4.3.4	การแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับ	77
4.4	การเปรียบเทียบผลกระทบต่อรูปแบบการพายของนักพายเรือโอลิมปิก.....	80

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.1	ผลกระทบของรูปแบบการออกแรงพาย	80
4.4.2	ผลกระทบของปัจจัยการพาย	81
4.4.3	รูปแบบการพายอันดับ 1 กับอันดับ 2	84
4.4.4	การเปรียบเทียบรูปแบบการพายของนักพายเรือโอลิมปิก กรณีแปรผันงานที่ใช้ในการพาย.....	89
4.5	การเปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือโอลิมปิก กับนักพายเรือทีมชาติไทย	93
4.5.1	กรณีงานในการพายไม่เท่ากัน	93
4.5.2	กรณีงานในการพายเท่ากัน	97
5	สรุปและข้อเสนอแนะ	103
5.1	สรุปผล	103
5.2	ข้อเสนอแนะ	104
	รายการอ้างอิง.....	105
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเรือกรรเชียง.....	113
	ภาคผนวก ข โปรแกรมคำนวณหารูปแบบการพายที่ดีที่สุด.....	125
	ภาคผนวก ค บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	138
	ประวัติผู้เขียน	140

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	ตัวแปรคงที่สำหรับตรวจสอบโปรแกรม54
3.2	ผลลัพธ์จากการตรวจสอบ โปรแกรม55
4.1	ผลการศึกษาจากวิธีการแบบ ก.....64
4.2	ผลการศึกษาจากวิธีการแบบ ข66
4.3	ผลการศึกษาจากวิธีการแบบ ค.....67
4.4	ผลการศึกษาจากวิธีการแบบ ง69
4.5	ผลการศึกษารูปแบบการพาย 4 แบบ.....69
4.6	ผลการแปรผันขนาดของใบพายแบบ ก70
4.7	ผลการแปรผันขนาดของใบพายแบบ ข71
4.8	ผลการแปรผันขนาดของใบพายแบบ ค71
4.9	ผลการแปรผันขนาดของใบพายแบบ ง.....71
4.10	ผลการแปรผันมุมการพายแบบ ก.....73
4.11	ผลการแปรผันมุมการพายแบบ ข.....73
4.12	ผลการแปรผันมุมการพายแบบ ค.....73
4.13	ผลการแปรผันมุมการพายแบบ ง.....74
4.14	ผลการแปรผันความยาวด้ามพายแบบ ก75
4.15	ผลการแปรผันความยาวด้ามพายแบบ ข76
4.16	ผลการแปรผันความยาวด้ามพายแบบ ค76
4.17	ผลการแปรผันความยาวด้ามพายแบบ ง.....76
4.18	ผลการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับแบบ ก78
4.19	ผลการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับแบบ ข78
4.20	ผลการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับแบบ ค79
4.21	ผลการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับแบบ ง79
4.22	การเปรียบเทียบรูปแบบการออกแรงพายที่เร็วที่สุดกับรูปแบบการออกแรงพาย ที่ช้าที่สุด81

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.23 ผลกระทบของปัจจัยการพาย	82
4.24 เปรียบเทียบผลกระทบของขนาดของใบพาย	85
4.25 เปรียบเทียบผลกระทบของมุมการพาย	86
4.26 เปรียบเทียบผลกระทบของความยาวด้ามพาย	87
4.27 เปรียบเทียบผลกระทบของเวลาการเคลื่อนตัวกลับ.....	88
4.28 ผลการเปรียบเทียบกรณีงานในการพายเพิ่มขึ้น.....	89
4.29 ผลการเปรียบเทียบ โดยการแปรผันมุมการพายกรณีงานในการพายเพิ่มขึ้น.....	90
4.30 ผลการเปรียบเทียบ โดยการแปรผันความยาวด้ามพายกรณีงานในการพายเพิ่มขึ้น.....	91
4.31 ผลการเปรียบเทียบ โดยการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับกรณีงานในการพายเพิ่มขึ้น	92
4.32 ผลการเปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือ โอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย โดยการแปรผันขนาดของใบพาย.....	93
4.33 ผลการเปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือ โอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย โดยการแปรผันมุมการพาย	94
4.34 ผลการเปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือ โอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย โดยการแปรผันความยาวด้ามพาย.....	95
4.35 ผลการเปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือ โอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย โดยการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับ	96
4.36 ผลการเปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือ โอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย โดยการแปรผันขนาดของใบพายกรณีงานในการพายเท่ากัน	98
4.37 ผลการเปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือ โอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย โดยการแปรผันมุมการพายกรณีงานในการพายเท่ากัน	99
4.38 ผลการเปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือ โอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย โดยการแปรผันความยาวด้ามพายกรณีงานในการพายเท่ากัน.....	100
4.39 ผลการเปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือ โอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย โดยการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับกรณีงานในการพายเท่ากัน	101

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การขับเคลื่อน.....	6
2.2 แรงต้านทาน	7
2.3 ความหนืด	8
2.4 การไหลของกระแสน้ำ.....	9
2.5 จุดศูนย์กลางมวล.....	11
2.6 การถ่ายกำลัง.....	13
2.7 แรงกระทำต่อระบบเรือกรรเชียง.....	19
2.8 แรงกระทำบริเวณพาย.....	23
2.9 มุมการเคลื่อนที่ของพาย.....	23
2.10 แรงจุดและแรงยกของใบพาย	24
2.11 แรงกระทำต่อนักพายเรือ	25
2.12 กล้ามเนื้อที่ใช้ในช่วงใบพายลงน้ำ	30
2.13 กล้ามเนื้อที่ใช้ในช่วงขาออกแรง	30
2.14 กล้ามเนื้อที่ใช้ในช่วงหลังออกแรง.....	31
2.15 กล้ามเนื้อที่ใช้ในช่วงแขนออกแรง	32
2.16 กล้ามเนื้อที่ใช้ในช่วงสิ้นสุดการพาย	32
2.17 กล้ามเนื้อที่ใช้ในช่วงเคลื่อนตัวกลับ	33
2.18 ความเร็วของใบพาย	39
3.1 ระบบของการพายเรือกรรเชียง	44
3.2 ความเร็วและแรงกระทำบนใบพาย	46
3.3 ความเร็วของใบพาย	46
3.4 สัมประสิทธิ์แรงจุดและแรงยกของใบพาย	47
3.5 มวลและพิกัดของระบบการพายเรือ.....	48
3.6 การเคลื่อนที่ของนักพายเรือ	49
3.7 ความเร็วของที่นั่งช่วงเคลื่อนตัวกลับ	50

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 แผนภูมิขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม.....	53
3.9 รูปแบบการออกแรงพายที่ใช้ตรวจสอบโปรแกรม.....	54
3.10 ความเร็วของเรือในการพายหนึ่งครั้ง	55
3.11 แรงบริเวณใบพาย	56
3.12 รูปแบบการออกแรงพายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู	57
3.13 รูปแบบการออกแรงพาย รูปสามเหลี่ยม.....	57
3.14 การเลื่อนตำแหน่งแรงกล้ามเนื้อแขน 1	58
3.15 การเลื่อนตำแหน่งแรงกล้ามเนื้อแขน 2	59
3.16 การเลื่อนตำแหน่งแรงกล้ามเนื้อหลัง 1.....	60
3.17 การเลื่อนตำแหน่งแรงกล้ามเนื้อหลัง 2.....	60
3.18 รูปแบบการออกแรงพายของนักพายเรือทีมชาติไทย	61
4.1 ความเร็วเรือจากเริ่มต้นพายจนกระทั่งความเร็วคงที่	63
4.2 ภาพขยายช่วงความเร็วคงที่.....	63
4.3 รูปแบบการพายที่ดีที่สุดจากวิธีการแบบ ก.....	64
4.4 รูปแบบการพายที่ดีที่สุดจากวิธีการแบบ ข.....	65
4.5 ลำดับการออกแรงของกล้ามเนื้อหลังและแขนก่อนกล้ามเนื้อขา.....	65
4.6 รูปแบบการพายที่ดีที่สุดจากวิธีการแบบ ค.....	67
4.7 รูปแบบการพายที่ดีที่สุดจากวิธีการแบบ ง	68
4.8 การแปรผันขนาดของใบพาย	70
4.9 การแปรผันมุมการพาย.....	72
4.10 การแปรผันความยาวด้ามพาย	75
4.11 การแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับ	78
4.12 รูปแบบการออกแรงพายที่เร็วที่สุด (แบบ ค).....	80
4.13 รูปแบบการออกแรงพายที่ช้าที่สุด (แบบ ค).....	81
4.14 แสดงผลกระทบของปัจจัยการแปรผันขนาดของใบพาย	82
4.15 แสดงผลกระทบของปัจจัยการแปรผันมุมการพาย.....	83

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 แสดงผลกระทบของปัจจัยการแปรผันความยาวด้ามพาย	83
4.17 แสดงผลกระทบของปัจจัยการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับ	83
4.18 รูปแบบการออกแรงพายที่ใช้เวลาการพายน้อยที่สุดอันดับ 1 (แบบ ค).....	84
4.19 รูปแบบการออกแรงพาย ที่ใช้นาน้อยเป็นอันดับ 2 (แบบ ค).....	84
4.20 เปรียบเทียบผลกระทบของขนาดใบพาย.....	85
4.21 เปรียบเทียบผลกระทบของมุมการพาย	86
4.22 เปรียบเทียบผลกระทบของความยาวด้ามพาย	87
4.23 เปรียบเทียบผลกระทบของเวลาการเคลื่อนตัวกลับ.....	88
4.24 เปรียบเทียบโดยการแปรผันขนาดใบพายกรณีงานในการพายเพิ่มขึ้น	89
4.25 เปรียบเทียบโดยการแปรผันมุมการพายกรณีงานในการพายเพิ่มขึ้น	90
4.26 เปรียบเทียบโดยการแปรผันความยาวด้ามพายกรณีงานในการพายเพิ่มขึ้น	91
4.27 เปรียบเทียบโดยการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับกรณีงานในการพายเพิ่มขึ้น	92
4.28 เปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือโอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย โดยการแปรผันขนาดของใบพาย.....	94
4.29 เปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือโอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย โดยการแปรผันมุมการพาย	95
4.30 เปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือโอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย โดยการแปรผันความยาวด้ามพาย.....	96
4.31 เปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือโอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย โดยการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับ	97
4.32 เปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือโอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย โดยการแปรผันขนาดของใบพายกรณีงานในการพายเท่ากัน	98
4.33 เปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือโอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย โดยการแปรผันมุมการพายกรณีงานในการพายเท่ากัน	99
4.34 เปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือโอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย โดยการแปรผันความยาวด้ามพายกรณีงานในการพายเท่ากัน.....	100

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.35 เปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือโอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย โดยการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับกรณีงานในการพายเท่ากัน	101
ก.1 การเรียกชื่อเรือกรรเชียง.....	115
ก.2 พาย	116
ก.3 หูกรรเชียง	116
ก.4 แขนกรรเชียง	117
ก.5 เรือ	118
ก.6 เรือและอุปกรณ์.....	119
ก.7 ช่วงพายลงน้ำ.....	120
ก.8 ช่วงออกแรงดึงพาย	120
ก.9 ช่วงพายพ่นน้ำ.....	121
ก.10 ช่วงเคลื่อนตัวกลับ.....	121
ก.11 ช่วงสิ้นสุดการเคลื่อนตัวกลับ.....	122
ก.12 ความยาวและตำแหน่งของรางที่นั่ง.....	122
ก.13 มุม ความสูง และตำแหน่งของที่ขึ้นเท้า.....	123
ก.14 ความกว้างของหูกรรเชียง	124
ข.1 แผนผังขั้นตอนการหาคำตอบ	134
ข.2 แผนผังขั้นตอนคำนวณหาความเร็วเรือ	136

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	=	พื้นที่ของใบพาย
C_D	=	สัมประสิทธิ์ของแรงจุด
C_L	=	สัมประสิทธิ์ของแรงยก
F_D	=	แรงจุดที่กระทำบนใบพาย
F_L	=	แรงยกที่กระทำบนใบพาย
F_P	=	แรงขับเคลื่อนเรือ
F_R	=	แรงต้านทานของน้ำที่กระทำต่อเรือ
L	=	ความยาวของพาย
m_B	=	มวลของเรือ
m_R	=	มวลของนักพายเรือ
P_B	=	กำลังงานในการขับเคลื่อนเรือ
P_{bl}	=	กำลังงานที่ใบพาย
T	=	เวลาในการพายหนึ่งครั้ง
u	=	ความเร็วสัมพัทธ์ของใบพาย
u_D	=	ความเร็วที่ตั้งฉากกับใบพาย
u_L	=	ความเร็วที่ขนานกับใบพาย
V_B	=	ความเร็วของเรือ
W_B	=	งานที่ใช้ในการขับเคลื่อนเรือ
W_{bl}	=	งานบริเวณใบพาย
x	=	ระยะทางของจุดศูนย์กลางมวลของเรือ
\dot{x}	=	ความเร็วของเรือ
\ddot{x}	=	ความเร่งของเรือ
y	=	ระยะทางของมวล m_R สัมพันธ์กับมวล m_B
\dot{y}	=	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของมวลนักพายเรือ
z	=	ระยะทางรวมของมวล m_B และ m_R
\dot{z}	=	ความเร็วของมวลรวมของระบบ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

\ddot{z}	=	ความเร่งของมวลรวมของระบบ
θ	=	มุมการพาย
$\dot{\theta}$	=	ความเร็วเชิงมุม
θ_1	=	มุมที่ใบพายลงน้ำ
θ_2	=	มุมที่ใบพายพ้นน้ำ
θ_t	=	มุมทั้งหมดที่ใบพายกวาดไป
ρ	=	ความหนาแน่นของน้ำ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความผูกพันกับแม่น้ำลำคลองมาตั้งแต่อดีตจากประวัติศาสตร์ของชาติไทยที่ผ่านมาพบว่าชาวไทยนิยมตั้งบ้านเรือนอยู่ใกล้แม่น้ำลำคลอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ประโยชน์จากแม่น้ำลำคลองในการอุปโภค บริโภค ใช้ในการสัญจร ติดต่อค้าขายและ ประกอบกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับขนบธรรมเนียมประเพณีต่าง ๆ มากมายรวมถึงประเพณีการแข่งขันเรือพาย มีบันทึกไว้ในพงศาวดารว่าประเทศไทยมีการแข่งขันเรือพายมาตั้งแต่สมัยกรุงศรีอยุธยา โดยเรือที่ใช้ในการแข่งขันในสมัยนั้นเป็นเรือแจมและเรือยาวและมีการแข่งขันต่อเนื่องเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน โดยในการแข่งขันในปัจจุบันนี้จะมีเฉพาะการแข่งขันเรือยาว (ราชาวดีงามสง่า, 2535)

ในการแข่งขันเรือกรรเชียงระดับนานาชาตินั้นประเทศไทยได้ส่งเข้าแข่งขันครั้งแรกในกีฬาซีเกมส์ครั้งที่ 19 ณ ประเทศอินโดนีเซีย ในปี พ.ศ. 2540 และได้ส่งเข้าร่วมการแข่งขันในระดับสากลเรื่อยมาจนกระทั่งปัจจุบัน โดยซีเกมส์ครั้งล่าสุดครั้งที่ 24 ปี พ.ศ. 2550 ที่ประเทศไทยทีมเรือกรรเชียงไทยได้รับเหรียญรางวัลทั้งหมด 6 เหรียญทอง 2 เหรียญเงิน 2 เหรียญทองแดง ส่วนการแข่งขันกีฬาเอเชียนเกมส์ครั้งล่าสุดที่กรุงโดฮาประเทศกาตาร์ปี 2549 นักพายเรือกรรเชียงไทยได้รับเหรียญรางวัล 1 เหรียญเงิน 3 เหรียญทองแดงจากการแข่งขัน โดยไม่เคยได้รับเหรียญทองจากการแข่งขันเรือกรรเชียงในกีฬาเอเชียนเกมส์ ส่วนการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกนั้นประเทศไทยยังไม่เคยได้รับเหรียญรางวัลจากการแข่งขัน เป็นที่น่าสังเกตว่าประเทศที่ได้รับเหรียญรางวัลจากการแข่งขันเรือกรรเชียงในกีฬาโอลิมปิกนั้นล้วนแต่เป็นประเทศที่มีความก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแทบทั้งสิ้น ประเทศเหล่านี้ได้นำความรู้มาประยุกต์ใช้กับการพายเรือ เพื่อให้เกิดประสิทธิผลสูงสุดในการแข่งขัน ไม่ว่าจะเป็นทางด้านการออกแบบและพัฒนารูปทรงของเรือ รูปทรงของใบพายรวมถึงการศึกษาและพัฒนาเทคนิคในการพายเรือซึ่งล้วนแต่เป็นศาสตร์ชั้นสูงทั้งสิ้น

กีฬาเรือกรรเชียงเป็นกีฬาที่เทคนิคการพายมีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าการใช้กำลังงาน ดังนั้นในการพัฒนาประสิทธิผลของการพายเรือกรรเชียงจึงควรให้ความสำคัญต่อการพัฒนาเทคนิคของการพาย (McGregor and Byng-Maddick, 2004) สิ่งสำคัญสิ่งหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคในการพายเรือกรรเชียงคือการเคลื่อนตัวของใบพายในน้ำซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อความเร็วของเรือ

เป็นอย่างยิ่ง (Christopher, 1989) เนื่องจากแรงกระทำบริเวณใบพายเป็นแรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนเรือ การเคลื่อนตัวของใบพายในน้ำเกิดการส่งถ่ายแรงจากนักพายเรือมายังพาย โดยรูปแบบการออกแรงพายคือรูปแบบของแรงซึ่งเกิดขึ้นบนใบพายตลอดช่วงการพาย เป็นผลรวมของแรงจากกล้ามเนื้อมัดต่าง ๆ ที่ส่งไปยังใบพายทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนเรือ นักกีฬาแต่ละคนจะมีรูปแบบการออกแรงพายที่มีลักษณะเฉพาะตัวที่ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและจังหวะในการออกแรง ในที่นี้จะนำเสนอรูปแบบการออกแรงพายเป็นฟังก์ชันของมุมของใบพาย ดังนั้นพื้นที่ใต้กราฟของรูปแบบการออกแรงพายจึงหมายถึงงานที่นักกีฬาใช้ในการพายแต่ละครั้ง

ในการพายเรือหากนักกีฬาสามารถออกแรงพายด้วยรูปแบบการพายที่ทำให้ใบพายเคลื่อนตัวอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดย่อมทำให้ใช้เวลาในการพายระยะทาง 2000 เมตรน้อยที่สุด (2000 เมตร คือระยะทางแข่งขันมาตรฐาน) ปัญหาที่สำคัญคือ การที่ไม่สามารถบอกได้ว่ารูปแบบการพายแบบใดที่ทำให้การพายเรือมีประสิทธิภาพสูงสุด แม้ว่าจะมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการพายเรือกรรเชียงมาอย่างต่อเนื่อง แต่ยังไม่มียุทธศาสตร์การวิจัยเกี่ยวกับรูปแบบการพายที่ดีที่สุดมาก่อน ดังนั้นถ้าสามารถค้นหารูปแบบการพายที่ดีที่สุดได้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาประสิทธิภาพการพายเป็นอย่างมาก

งานวิจัยจำนวนมากที่ทำการศึกษาก่อนเกี่ยวกับการพายเรือกรรเชียงจะศึกษาโดยใช้ความรู้เพียงด้านเดียวเพื่อหาคำตอบ เช่นการศึกษาเกี่ยวกับสรีรวิทยาของการพายเรือก็จะมุ่งเน้นไปยังตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสรีรวิทยาของการพายเรือ (Hagerman, 1984; Sweins et al., 1997) ซึ่งเป็นการศึกษาถึงการทำงานของระบบต่าง ๆ ของร่างกายที่ส่งผลกระทบต่อกรรเชียงเรือ ส่วนการศึกษาที่เกี่ยวกับกลศาสตร์ของการพายเรือก็จะคำนึงถึงตัวแปรทางกลศาสตร์เป็นสำคัญ (Fukunaga et al., 1986; Nozaki et al., 1993) เช่นการศึกษาการเคลื่อนที่ของด้ามจับพาย การศึกษาแรงสูงสุดในการออกแรงพาย ระยะทางเชิงมุมของข้อต่อ เป็นต้น ทำให้ผลการศึกษาไม่สมบูรณ์ การศึกษาครั้งนี้ใช้ความสัมพันธ์ทางกลศาสตร์และสรีรวิทยาเพื่อหาคำตอบซึ่งจะช่วยให้ได้คำตอบที่มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

การศึกษาวินิจฉัยเกี่ยวกับการพายเรือกรรเชียงที่ผ่านมาเป็นการศึกษาทั้งเชิงทฤษฎีและเชิงการทดลอง ในการศึกษาเชิงการทดลองนั้นเป็นการศึกษาข้อมูลทางด้านคินเมติกและทางด้านไดนามิกของการพายเรือกรรเชียง (Celentano et al., 1974; Christopher, 1989) เช่นการศึกษาความเร็วของเรือ การศึกษาความเร็วเชิงมุมของใบพาย การศึกษาแรงกระทำต่อเรือและใบพาย ซึ่งเป็นการวัดข้อมูลโดยตรงจากการพายเรือซึ่งจะต้องติดตั้งอุปกรณ์การวัดบนเรือซึ่งมีความยุ่งยากและมีโอกาสเกิดความเสียหายได้ง่าย นอกจากนั้นเครื่องมือและอุปกรณ์เหล่านี้ล้วนมีราคาแพงทั้งสิ้น ส่วนการศึกษาในเชิงทฤษฎีนั้นได้มีการศึกษาการพายเรือโดยการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาเพื่อใช้ทำนายความเร็วของเรือและศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการพายเรือ เช่น

ขนาดใบพาย มุมการพาย ความยาวด้ามพาย เวลาในการเคลื่อนตัวกลับ นอกจากนั้นยังมีการศึกษาการพายเรือกรรเชียงโดยการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณหาคำตอบของการพายเรือ รวมถึงมีการหารูปแบบการพายที่เหมาะสมที่สุดของการพายเรือกรรเชียง

การศึกษาการพายเรือกรรเชียงโดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นมีการศึกษาครั้งแรกโดย (Alexander, 1925) เพื่อใช้ทำนายความเร็วของเรือ ต่อจากนั้นได้มีการพัฒนาแบบจำลองที่มีความซับซ้อนและสมจริงมากยิ่งขึ้น (Pope, 1973; Millward, 1987; Dal and Komor, 1989; Lazauskas, 1997; Brearley and Mestre, 1998 Caplan and Gardner, 2007) โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ส่วนใหญ่จะมีหลักการและแนวความคิดที่คล้ายคลึงกัน จะแตกต่างกันบ้างในรายละเอียดและวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน โดยการศึกษาช่วงแรกนั้นใช้รูปแบบการพายจากสมการทางคณิตศาสตร์ซึ่งผลการศึกษาไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการพายเรือจริงได้ ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีความสมจริงมากขึ้น โดยกำหนดให้รูปแบบการพายสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของนักพายเรือ ซึ่งผลการศึกษามีความสอดคล้องกับการพายเรือจริงมากยิ่งขึ้น

การศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการพายเรือกรรเชียงที่ผ่านมาในอดีตได้เปรียบเทียบการพายแต่ละวิธีโดยใช้หลักการให้กำลังงาน (Power) สูงสุดของการพายแต่ละครั้ง ของแต่ละวิธี มีค่าเท่ากัน ทั้งนี้จำเป็นเพราะคิดกันว่านักกีฬาแต่ละคนจะสามารถออกกำลังสูงสุด (ในแต่ละช่วงเวลา) ได้มีค่าจำกัด แต่ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอหลักการเปรียบเทียบใหม่โดยกำหนดให้ “งานการพายตลอดระยะทาง” ของแต่ละวิธีมีค่าเท่ากัน ทั้งนี้โดยที่ค่าการออกแรงสูงสุด ในการพายแต่ละครั้งก็ต้องไม่สูงเกินกว่ากำลังของนักกีฬาอีกด้วย หลักการใหม่นี้จะเป็นหลักการเปรียบเทียบที่ถูกต้องมากกว่าหลักการในอดีต ไม่ว่าจะพิจารณาในเชิงวิศวกรรมศาสตร์และหรือในเชิงสรีระศาสตร์ก็ตาม โดยในเชิงวิศวกรรมศาสตร์นั้นเป็นการเปรียบเทียบผลที่ได้ (Output : เวลาการพายตลอดระยะทาง) กับปริมาณงานที่ใส่เข้าไปตลอดระยะทางพาย (Input) ส่วน “กำลัง” ที่ใส่เข้าไปตามวิธีในอดีตนั้นยังไม่ใช่อินพุตเสียทีเดียวแต่เป็นเพียงองค์ประกอบของอินพุตเท่านั้น

ในเชิงสรีระศาสตร์ “งาน” ที่กระทำโดยนักกีฬาสัมพันธ์โดยตรงกับความเหนื่อยล้าและความอดทนของนักกีฬา ดังนั้นเพื่อความยุติธรรมและเที่ยงตรงต้องเปรียบเทียบวิธีการพายโดยใช้สรีระของนักกีฬาคงเดียวกัน ที่มีความแข็งแรง ความอดทน และพลังงานที่เท่าเดิม ดังนั้นจึงควรใช้หลักการ “งานเท่า” เป็นหลักการในการเปรียบเทียบ แต่หากใช้ “กำลังงานสูงสุด” เป็นหลักการเปรียบเทียบจะไม่สามารถบอกได้ว่าวิธีการพายที่ดีที่สุดนั้นจะสามารถพายได้โดยนักกีฬาหรือไม่เพราะอาจเป็นวิธีที่ใช้ “งาน” สูงเกินกว่าความอดทนและพลังงานของนักกีฬาที่มีอยู่ เช่น อาจกำหนดวิธีการพาย ให้มีการจำเร็วและออกแรงมากโดยมีช่วงพัก (Rest Stroke) น้อยมาก ก็

ทำให้ชนะได้ (ในทางทฤษฎี) แต่อาจไม่สามารถนำไปปฏิบัติจริงได้ เพราะจะเป็นวิธีที่ทำให้นักกีฬาเหนื่อยมากจนพ่ายไม่ไหวเนื่องจากเกินกำลัง

ต่อมาเมื่อคอมพิวเตอร์มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจึงมีการจำลองแบบการพายเรือด้วยคอมพิวเตอร์ (Atkinson, 2001; Holst, 2004) ซึ่งเป็นการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณหาคำตอบช่วยให้สามารถคำนวณได้รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยการนำสมการจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาเขียนคำสั่งให้คอมพิวเตอร์คำนวณผลลัพธ์ ส่วนการศึกษาเกี่ยวกับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของการพายเรือกรรเชียง (Optimization) ที่ผ่านมามีการศึกษาไม่มากนัก โดยการศึกษาจะมุ่งเน้นไปที่การพิจารณาตัวแปรทางด้านกลศาสตร์ของการพายเรือเป็นหลัก (Philip, 1991) ทำให้ผลการศึกษาอาจไม่สามารถหาข้อสรุปที่เป็นประโยชน์ได้เนื่องจากความไม่สมจริงด้านชีวกลศาสตร์

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาการพายเรือกรรเชียงที่ดีที่สุด โดยมุ่งศึกษาถึงรูปแบบการพายที่จะทำให้การเคลื่อนตัวของใบพายเหมาะสมที่สุดโดยอาศัยความสัมพันธ์ทางกลศาสตร์และสรีรวิทยาและใช้งานในการพายระยะทาง 2000 เมตรเป็นตัวแปรในการเปรียบเทียบเวลาของการพายระยะทาง 2000 เมตร แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของงานวิจัยนี้ปรับปรุงจากแบบจำลองของ (Holst, 2004) โดยใช้กรรมวิธีเชิงตัวเลขและคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือช่วยในการคำนวณ เพื่อค้นหารูปแบบการพายที่ดีที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อค้นหารูปแบบการออกแรงพายที่ดีที่สุดในการพายเรือกรรเชียง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การค้นหารูปแบบการพายที่ทำให้การเคลื่อนตัวของใบพายดีที่สุดมีขอบเขตการวิจัยดังนี้

- 1.3.1. ใช้สมการแบบอนุพันธ์เต็มหน่วย (ODE) ในการศึกษาการเคลื่อนที่แบบ 1 มิติ
- 1.3.2. ใช้กรรมวิธีเชิงตัวเลข
- 1.3.3. ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณหาคำตอบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1. ได้วิธีการพายเรือกรรเชียงที่ดีที่สุดเพื่อการแข่งขัน
- 1.4.2. ทำให้ทราบถึงผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ที่ทำให้เรือเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น
- 1.4.3. เพิ่มประสิทธิภาพการพายเรือกรรเชียง
- 1.4.4. สร้างองค์ความรู้และแนวคิดใหม่ในการพายเรือกรรเชียง

- 1.4.5. เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับการพายเรือกรรเชียง
- 1.4.6. ใช้พัฒนากีฬาเรือกรรเชียงของประเทศไทย

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพายเรือกรรเชียงให้เร็วที่สุดภายในระยะทาง 2000 เมตรต้องอาศัยความรู้ที่เกี่ยวข้องจำนวนมากเพื่อพัฒนาการพายให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด มีการศึกษาเกี่ยวกับการพายเรือกรรเชียงทั้งเชิงทฤษฎีและเชิงทดลองเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาความเร็วของการพายเรือ ในบทนี้อธิบายถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพายเรือกรรเชียง ตลอดจนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 ฟิสิกส์สำหรับการพายเรือกรรเชียง

สามารถอธิบายการพายเรือกรรเชียงได้ด้วยกฎฟิสิกส์ ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจถึงกายภาพของการพายเรือและเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการพายเรือดังต่อไปนี้

2.1.1 การขับเคลื่อน

การที่เรือเกิดความเร่งนั้นเกิดจากแรงกระทำตามกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน เมื่อใบพายทำให้น้ำเกิดการเคลื่อนที่ในทิศทางหนึ่งเรือก็จะเกิดการเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้าม (กฎข้อที่ 3 ของนิวตัน) โมเมนตัมที่นักพายเรือส่งไปยังน้ำจะเท่ากับโมเมนตัมในทิศทางตรงกันข้ามที่เรือได้รับพิจารณาจากรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นเรือก่อนการพายและหลังการพาย



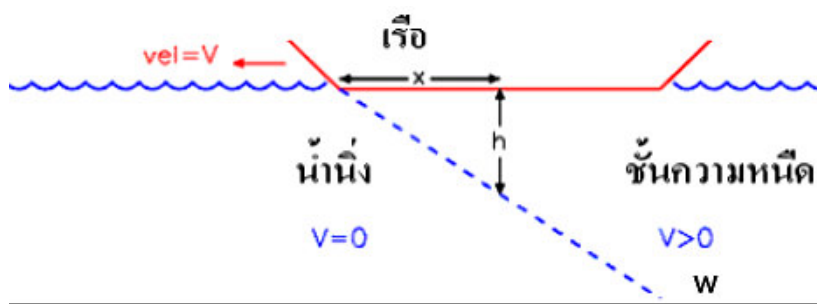
รูปที่ 2.1 การขับเคลื่อน (Dudhia, 2004)

ก่อนการพายโมเมนตัมทั้งหมดเท่ากับศูนย์ $p=0$ ซึ่งเป็นช่วงที่เรืออยู่กับที่ หลังจากการพายโมเมนตัมรวมเท่ากับ $p=m_b v_b - m_w v_w = 0$ เพราะโมเมนตัมทั้งหมดไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน

ตัวอย่างเช่น มวลของเรือและนักพายเรือ $m_b = 100$ kg ในการเร่งความเร็วเรือจากช่วงหยุดนิ่งจนกระทั่งเรือมีความเร็ว $v_b = 1$ m/s ต้องทำให้มวลของน้ำ $m_w = 10$ kg มีความเร็ว $v_w = 10$ m/s หรือทำให้มวลของน้ำ $m_w = 20$ kg มีความเร็ว $v_w = 5$ m/s (Dudhia, 2004)

2.1.2 แรงต้านทาน

ขณะที่เรือเคลื่อนที่ผ่านน้ำที่อยู่นิ่ง น้ำที่สัมผัสกับหัวเรือจะเกิดความเร่งขึ้นทันที โดยมีความเร่งเท่ากับความเร็วของเรือ (V) และชั้นความหนืด (Shear Layer) จะค่อย ๆ เกิดขึ้นใต้ท้องเรือซึ่งมีลักษณะลาดเอียงลงไปจากหัวเรือไปยังจุดที่ไม่มีความเร็ว (W) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แรงต้านทาน (Dudhia, 2004)

บริเวณที่อยู่ต่ำกว่าจุด x จะเกิดชั้นขีดผิวขึ้นในช่วงเวลา $t = \frac{x}{V}$ ดังนั้นชั้นขีดผิวที่มีความลึก h หาได้จาก $h = Wt = \frac{Wx}{V}$ และสามารถหาแรงจุดจากความหนืดที่ตำแหน่ง x ได้จาก

$$R(x) = \frac{CV^2}{Wx} \quad (2-1)$$

วัตถุที่เคลื่อนที่ในของไหลจะเคลื่อนที่ช้าลงเนื่องจากแรงต้านทานที่เรียกว่าแรงจุด (Drag) ซึ่งเป็นการส่งถ่ายโมเมนตัมจากวัตถุสู่ของไหล ของไหลที่อยู่รอบ ๆ จะมีความเร็วเพิ่มขึ้นในขณะที่ความเร็วของวัตถุจะช้าลง ดังนั้นโมเมนตัมรวมยังคงมีค่าคงที่

เรือกรรเชียงนั้นแรงต้านทานส่วนใหญ่เกิดจาก Skin Drag ส่วนอากาศนั้นถือว่าเป็นของไหลลักษณะหนึ่งที่มีส่วนในการต้านทานการเคลื่อนที่ของเรือแต่มีอิทธิพลน้อยมาก ดังนั้นจึงกำหนดให้ Skin Drag มีอิทธิพลต่อการต้านทานเรือสามารถเขียนได้ว่า

$$R = CV^2 \quad (2-2)$$

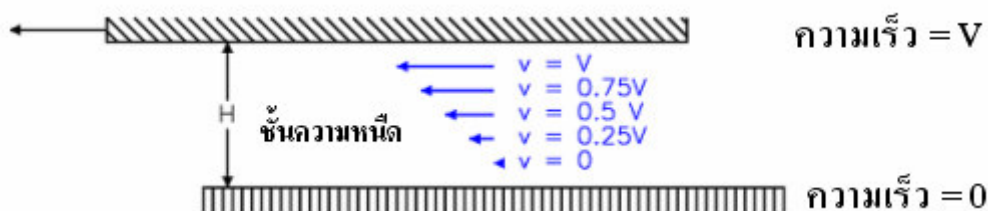
เมื่อ V^2 คือ กำลังสองของความเร็วและ C คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับพื้นที่เปียกน้ำและรูปทรงของเรือ ในการรักษาความเร็วให้คงที่แรงที่ใช้จะต้องเท่ากับแรงต้านทานซึ่งจะไม่เกิดความเร่งหรือความหน่วง ดังนั้นพลังงานที่ต้องการคือ

$$P = CV^3 \quad (2-3)$$

ซึ่งหมายความว่าทำให้เรือมีความเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าจะต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นถึง 8 เท่าและหากพิจารณาในทางตรงกันข้ามคือให้พลังงานเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า จะทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้น 1.26 เท่า (Dudhia, 2004)

2.1.3 ความหนืด

ในการพิจารณาการไหลผ่านแผ่นขนานที่ความสูง H ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยที่พื้นผิวส่วนบนเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว V พื้นผิวส่วนล่างยึดอยู่กับที่ ของไหลที่อยู่ติดกับพื้นผิวส่วนบนจะถูกลากตามไปด้วยความเร็ว V ส่วนของไหลที่อยู่ติดกับพื้นผิวด้านล่างจะอยู่กับที่ ความลาดเอียงของความเร็ว $\frac{V}{H}$ เราเรียกว่า Velocity Gradient



รูปที่ 2.3 ความหนืด (Dudhia, 2004)

ในการพิจารณาแรงต้านทานของเรือซึ่งเป็นสาเหตุจากความหนืดสามารถอธิบายได้
ดังนี้

$$R = \mu \frac{dv}{dz} \quad (2-4)$$

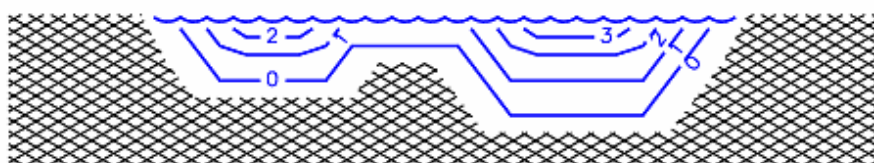
เมื่อ μ คือ สัมประสิทธิ์ของความหนืดและ $\frac{dv}{dz} = \frac{V}{H}$ ดังนั้น

$$R = \mu \frac{V}{H} \quad (2-5)$$

สามารถอธิบายได้ว่าแรงจุดจากความหนืดในส่วนของพื้นผิวชั้นบนจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับความเร็ว อย่างไรก็ตามการประยุกต์ในกรณีนี้จะสามารถใช้ได้เมื่อความยาวในแนวระนาบมากกว่าการแยกตัวในแนว H ซึ่ง Shear Layer จะมีค่าคงที่ตลอดแนวความยาวซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้กรณีของเรือกรรเชียง (ทวิช จิตรสมบูรณ์, 2547; Dudhia, 2004)

2.1.4 การไหลของกระแสน้ำ

เนื่องจากความหนืด การไหลบริเวณท้องน้ำและบริเวณตลิ่งจะมีความเร็วต่ำกว่าการไหลบริเวณผิวน้ำที่อยู่ติดกับอากาศซึ่งมีแรงต้านทานการไหลน้อย การไหลที่เร็วที่สุดจะอยู่ไกลจากฝั่งมากที่สุดและไกลจากส่วนที่ลึกที่สุดของแม่น้ำดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การไหลของกระแสน้ำ (Dudhia, 2004)

จากรูปแสดงให้เห็นพื้นที่หน้าตัดของการไหลเหนือท้องน้ำที่มีความลึกไม่เท่ากัน โดยเส้นแสดงรูปร่าง (Contours) แสดงถึงความเร็วในการไหล ความเร็วเป็นศูนย์เมื่ออยู่ติดกับ

ท้องน้ำที่ไม่มีการเคลื่อนที่ และความเร็วเป็น 1 เมื่อห่างออกมา 1 ชั้นและเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นการไหลบริเวณผิวน้ำจะเร็วที่สุด และช้าที่สุดบริเวณตลิ่งหรือบริเวณที่เป็นสันเนิน (Dudhia, 2004)

2.1.5 พลังงานจลน์

เมื่อพิจารณาความเร็วเรือที่เกิดจากการพายในสองลักษณะคือ การพายอย่างรวดเร็ว (มวลของน้ำจำนวนน้อยถูกทำให้เคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว) และการพายอย่างช้า ๆ (มวลของน้ำจำนวนมากถูกเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ) ทำให้โมเมนตัมของการพายทั้งสองลักษณะเท่ากัน พิจารณาพลังงานจลน์ทั้งหมดซึ่งเหลืออยู่ในระบบหลังจากการพายจาก $U = 0.5 \times \text{mass} \times \text{velocity}^2$ ดังนั้นพลังงานจลน์ทั้งระบบคือ

$$U = \left(\frac{1}{2}\right)m_b v_b^2 + \left(\frac{1}{2}\right)m_w v_w^2 \quad (2-6)$$

พิจารณาตัวอย่าง 2 ตัวอย่างต่อไปนี้ ซึ่งมีค่าโมเมนตัมเท่ากันแต่จะแสดงผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน

$$\text{กรณีที่ 1 } m_w = 10 \text{ kg} \quad v_w = 10 \text{ m/s}$$

$$U = 0.5 \times 100 \times 1^2 + 0.5 \times 10 \times 10^2 = 50 + 500 = 550 \text{ Joules}$$

$$\text{กรณีที่ 2 } m_w = 20 \text{ kg} \quad v_w = 5 \text{ m/s}$$

$$U = 0.5 \times 100 \times 1^2 + 0.5 \times 20 \times 5^2 = 50 + 250 = 300 \text{ Joules}$$

พลังงานจลน์นี้เป็นตัวแทนของงานเชิงกลที่กระทำโดยนักพายเรือ แต่ในกรณีแรกนักพายเรือใช้พลังงานมากกว่ากรณีที่สองถึงสองเท่าเพื่อที่จะให้ได้ความเร็วเท่ากัน ในการเพิ่มความเร็วของเรือให้มีความเร็วเท่ากัน การเคลื่อนมวลของน้ำจำนวนมากอย่างช้า ๆ จะใช้พลังงานน้อยกว่าการเคลื่อนมวลของน้ำจำนวนน้อยด้วยความเร็ว นี่เป็นข้อมูลสนับสนุนแนวคิดที่ว่าใบพายขนาดใหญ่จะดีกว่าใบพายขนาดเล็ก (Dudhia, 2004)

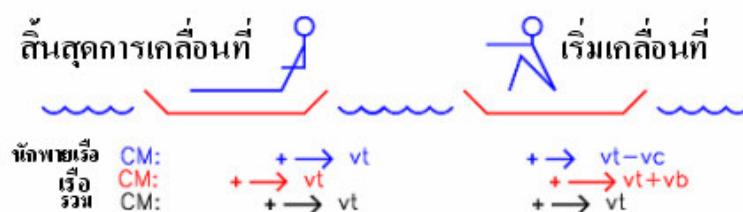
2.1.6 จุดศูนย์กลางมวล

เรือกรรเชียงจะประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วนแยกจากกันคือ

1. นักพายเรือซึ่งเป็นมวลส่วนใหญ่ของเรือ ประมาณ 70-80% ของมวลทั้งหมด

2. เรือ ประมาณ 20-30% ของมวลทั้งหมด
3. ไบพาย น้อยกว่า 5%, ของมวลทั้งหมดซึ่งการศึกษาส่วนใหญ่จะไม่พิจารณา มวลของไบพาย

จุดศูนย์กลางมวลของระบบพิจารณาจากตำแหน่งที่นำหนักเฉลี่ยของจุดศูนย์กลางมวลแต่ละส่วนรวมกัน จุดศูนย์กลางมวลของทั้งระบบจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมได้ จนกว่าจะมีแรงภายนอกมากระทำ ถ้านักพายเรือมวล m_c นั่งอยู่บนเรือในท่าสิ้นสุดการพาย มวล m_b เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v_t โมเมนตัมของระบบหาได้จาก $m_c v_t - m_b v_t$ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 จุดศูนย์กลางมวล (Dudhia, 2004)

ถ้านักพายเรือเคลื่อนที่กลับมาทางท้ายเรือด้วยความเร็ว $-v_c$ สัมพันธ์กับความเร็ว v_t เรือจะเคลื่อนที่ไปทางหัวเรือด้วยความเร็วสัมพัทธ์ v_b

$$m_c v_t + m_b v_t = m_c (v_t - v_c) + m_b (v_t + v_b) \quad (2-7)$$

จะได้ว่า

$$m_c v_c + m_b v_b \quad (2-8)$$

ถ้ามวลของนักพายเรือคือ 80% ของมวลทั้งหมด ดังนั้น $m_c = 4m_b$ และ $v_b = 4v_c$ ถ้านักพายเรือเคลื่อนที่ไปด้านท้ายเรือด้วยความเร็ว $v_c = 0.2$ m/s เรือจะเคลื่อนที่ไปทางหัวเรือด้วยความเร็ว 0.8 m/s ดูเหมือนว่าใน 1 นาทีนักพายเรือเคลื่อนที่ไปได้ 1 เมตรแต่ถ้ามองบนฝั่งจะเห็นว่าเรือเคลื่อนที่ไปด้านหัวเรือ 80 cm นี่คือการตอบว่าทำไมหัวเรือจึงดูเหมือนเคลื่อนไปด้านหน้าหลังจากสิ้นสุดการพาย แม้ว่าไบพายจะถูกยกพื้นน้ำและไม่มีความเร่งของจุดศูนย์กลาง

มวลของระบบ การเคลื่อนที่จากตำแหน่งสิ้นสุดการพายของนักพายเรือจะเร่งความเร็วของเรือไปข้างหน้าเท่ากับแรงปฏิกิริยาในทิศทางตรงกันข้าม (Dudhia, 2004)

2.1.7 การเปลี่ยนแปลงความเร็ว

การพายเรือด้วยความเร็วที่ไม่คงที่โดยมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วขณะพายส่งผลต่องานในการพาย เช่น นักพายเรือพายด้วยความเร็ว 4 m/s ในเวลา 1 นาทีหลังจากนั้นพายด้วยความเร็ว 6 m/s อีก 1 นาที ระยะทางทั้งหมดที่พายได้คือ $60 \times 4 + 60 \times 6 = 600$ จาก $P = a \cdot v^3$ ถ้ากำหนดให้ $a = 1 \text{ kg/m}$ งานทั้งหมดที่ต้องการคือ

$$W = 60 \times 4^3 + 60 \times 6^3 = 16800 \text{ Joules}$$

และกำลังเฉลี่ยใน 2 นาทีคือ 140 Watts และถ้ากำหนดให้นักพายเรือพายด้วยความเร็ว 5 m/s ด้วยเวลา 2 นาทีซึ่งเวลาที่ใช้พายในระยะทางที่กำหนดเท่ากันแต่พลังงานที่ใช้แตกต่างกัน

$$W = 60 \times 5^3 + 60 \times 5^3 = 15000 \text{ Joules}$$

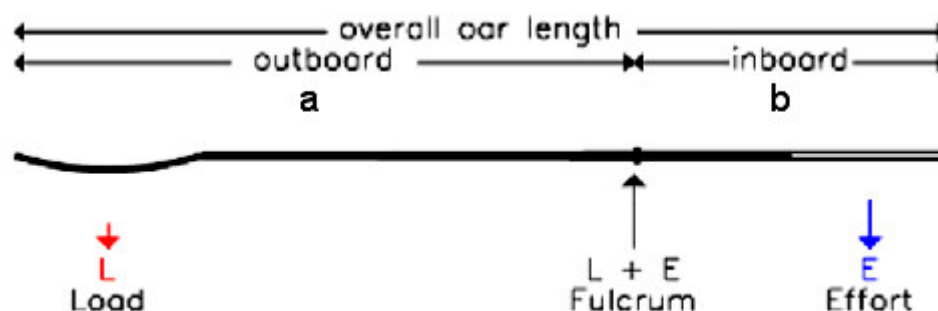
ดังนั้นพลังงานเฉลี่ยลดลง 125 Watts ซึ่งจะใช้กำลังเฉลี่ยน้อยลงในการพายในระยะทางที่กำหนดในเวลาเท่ากัน ซึ่งหมายความว่าประสิทธิภาพในการใช้พลังงานมากกว่าในการพายด้วยจังหวะที่เท่ากันตลอดช่วงการแข่งขัน ดีกว่าการพายที่เริ่มต้นพายอย่างรวดเร็วแล้วค่อย ๆ ลดความเร็วลง หรือเริ่มต้นพายช้าแล้วไปเร่งการพายในภายหลัง (Dudhia, 2004)

2.1.8 การถ่ายกำลัง

การถ่ายกำลังของคานสามารถอธิบายได้ว่าเป็นอัตราส่วนของระยะทางส่วนนอกของด้ามพาย (Outboard) ต่อระยะทางส่วนในของด้ามพาย (Inboard) จากจุดหมุน Fulcrum

$$R = \left(\frac{a}{b}\right) \text{ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 อัตราส่วนนี้ เป็นตัวกำหนดความหนักหรือเบาในการพาย}$$

ระยะทาง a หาได้จาก Outboard Length วัดจากปลายใบพายถึงคอใบพาย ส่วนด้านตรงข้ามเรียกว่า Inboard Length (115cm), ความยาวทั้งหมด Overall Length (375cm), ดังนั้น $a = 375 - 115 = 260 \text{ cm}$ (Dudhia, 2004)



รูปที่ 2.6 การถ่ายกำลัง (Dudhia, 2004)

2.2 แรงกระทำที่เกี่ยวข้องกับการพายเรือกรรเชียง

ในการพายเรือกรรเชียงนั้น มีแรงกระทำจำนวนมากที่ทำให้เรือเกิดการเคลื่อนที่และต้านทานการเคลื่อนที่ของเรือ ซึ่งจะได้นำเสนอต่อไปนี้

2.2.1 แรงต้านทานของไหล

แรงต้านทานของไหลโดยทั่วไปหมายถึงแรงดูด (Drag) แบ่งออกเป็นแรงดูดในอากาศ (Aerodynamic Drag) และแรงดูดในน้ำ (Hydrodynamic Drag) แรงทั้งสองชนิดนี้กระทำในทิศทางตรงข้ามกับเรือที่เคลื่อนที่ผ่าน ขนาดของแรงจะขึ้นอยู่กับ ขนาด รูปทรง ตำแหน่งของวัตถุ ความเร็วของของไหลที่ไหลผ่าน และความหนาแน่นของของไหล (Christopher, 1989; Kreighbaum and Barthels, 1996;)

2.2.2 แรงดูดในอากาศ

ในกีฬาเรือกรรเชียงนั้นแรงดูดในอากาศ จะกระทำกับนักพายเรือและส่วนของเรือที่ลอยอยู่เหนือน้ำ ในการคำนวณหาแรงดูดในอากาศที่กระทำกับระบบเรือกรรเชียงนั้นเป็นสิ่งที่คำนวณได้ยาก ในการศึกษาการพายเรือกรรเชียงประเภทหนึ่งคนพาย (Single-Scull) ของ Millward (1987) ใช้สัมประสิทธิ์สำหรับคนยืนที่ทำการศึกษาไว้ (Hoerner, 1965) โดยตั้งสมมุติฐานว่า แรงดูดในอากาศเป็นสัดส่วนต่อพื้นที่ของนักพายเรือคนที่นั่งบริเวณด้านหน้าเรือ (หรือประมาณกำลังสองส่วนสามของน้ำหนักเฉลี่ยของนักพายเรือ) (Kreighbaum and Barthels, 1996; Christopher, 1989)

2.2.3 แรงดูดในน้ำ

แรงต้านทานการเคลื่อนที่ที่สำคัญของเรือคือ แรงดูดในน้ำซึ่งมีผลถึง 90% ของแรงต้านทานทั้งหมด ในกีฬาเรือพายและกีฬาทางน้ำอื่น ๆ จะเกิดแรงดูดขึ้น 3 ชนิดคือ Skin Friction, Profile Drag และ Wave Drag (Christopher, 1989; Kreighbaum and Barthels, 1996)

1. Skin Friction

Skin Friction หรือ Surface Drag เกิดจากสาเหตุที่ของไหลเสียดสีไปตามพื้นผิวของวัตถุ ชั้นซิดผิว (Boundary Layer) จะสัมผัสกับพื้นผิวของวัตถุโดยจะติดแน่นและถูกพาไปกับวัตถุที่เคลื่อนที่ และมีแนว โน้มที่จะลากของไหลที่อยู่ชั้นถัดไปและเป็นเช่นนี้ในแต่ละชั้นที่อยู่ถัดไป ความแตกต่างของแรงเนียนจะค่อย ๆ ลดลงในชั้นถัดไปจนกระทั่งไม่เกิดการเลื่อนของของไหล คุณสมบัติของไหลที่ช่วยทำให้เกิดแรงเสียดทานคือ ความหนืด อากาศจะมี ความหนืดต่ำ ดังนั้นจะมีความเสียดทานที่ผิวน้อย น้ำมีความหนืดมากกว่าอากาศจึงมีความเสียดทานพื้นผิวมากกว่า บางครั้งจะเรียก Skin Friction ว่า Viscous Drag วัตถุที่เคลื่อนที่ผ่านของไหลโดยของไหลที่อยู่บริเวณรอบเรือมีความราบเรียบไม่เกิดความปั่นป่วนเรียกว่าการไหลแบบราบเรียบ (Laminar) โดยชั้นของของไหลรอบ ๆ เรือยังคงราบเรียบและไม่ถูกทำให้เกิดความปั่นป่วน

2. Profile Drag

ในการแข่งขันกีฬาส่วนมากของไหลจะเคลื่อนที่ผ่านวัตถุด้วยความเร็วเพียงพอที่จะทำให้แรงดันบริเวณพื้นผิวด้านหน้าของวัตถุมีค่ามากกว่าพื้นผิวด้านท้าย เมื่อความเร็วของน้ำผ่านวัตถุมีค่าสูงเมื่อเคลื่อนที่ผ่านด้านท้ายของวัตถุ น้ำจะแยกออกจากผิววัตถุทำให้เกิดการไหลวกกลับ ซึ่งการแยกของ ชั้นซิดผิวออกจากผิวเรือนี้ ทำให้เกิดบริเวณที่มีความดันต่ำด้านหลังวัตถุ

บางครั้งเรียก Profile Drag ว่า Pressure Drag หรือ Form Drag เพราะความแตกต่างของความดันของพื้นผิวด้านหน้าและด้านท้ายของวัตถุ ซึ่งจะเกิดผลคล้ายแรงดูดเพื่อต่อต้านการเคลื่อนที่ ขนาดของบริเวณที่เกิดความดันต่ำบริเวณด้านหลังของเรือจะเป็นตัวกำหนดว่าจะมี Drag กระทำมากแค่ไหน การเปลี่ยนแปลงรูปทรงที่จะไปยังด้านหลังของวัตถุอย่างฉับพลันมากเท่าใด ก็จะทำให้เกิดผลกระทบของการดูดมากเท่านั้น การหันเหของเรือมีอิทธิพลต่อพื้นที่ในการปะทะกับการไหลด้วยเช่นกัน

3. Wave Drag

คือแรงต้านทานอันเนื่องมาจากคลื่นหัวเรือที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของเรือผ่านผิวน้ำซึ่งเป็นการยกมวลของน้ำจากผิวน้ำขึ้นมา ซึ่งพลังงานจลน์จากเรือจะถูกใช้ในการทำให้เกิดคลื่นจึงเกิดการสูญเสียแรงในการขับเคลื่อนเรือ

แรงดูดที่เกิดขึ้นในน้ำ เป็นผลมาจากแรงต้านจากความหนืด (Viscous Drag; D_v) ซึ่งขึ้นอยู่กับ Reynolds Number และความเรียบของเรือ Wave Drag (D_w) ซึ่งเกิดขึ้นขณะที่เรือเคลื่อนที่ผ่านน้ำทำให้เกิดคลื่นบนผิวน้ำ Wave Drag เป็นฟังก์ชันของ Froude Number แรงดูดรวม (Total Drag) (D_t) เป็นผลรวมของ (D_v) และ (D_w) สามารถวัดได้หลายวิธี ปกติแล้วนิยมใช้ 2 วิธี คือ

1) โดยใช้การถ่ายภาพยนตร์และวิเคราะห์ฟิล์ม ในขณะที่แข่งขันหรือการฝึกซ้อมสามารถใช้คำนวณการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางมวลและส่วนต่าง ๆ ของร่างกายของนักพายเรือ และคำนวณหาความเร็วและความเร่งของระบบ เมื่อทราบมวลของเรือ พาย และนักพายเรือ ก็สามารถคำนวณหาแรงที่กระทำบนตัวนักพายเรือ (F_R) เรือ (F_B) และทั้งระบบ (F_S) ซึ่งผลของการศึกษาด้วยวิธีการนี้มีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ (Celentano et al., 1974) ซึ่งวัดแรงขับเคลื่อนทั้งหมด F_p หลังจากนั้นคำนวณค่าเฉลี่ยของแรงจลรวมจาก

$$D_t = \left(\frac{V_B}{L_S} \right) \int_0^{t_s} F_p dt \quad (2-9)$$

เมื่อ V_B คือ ความเร็วเฉลี่ยของเรือในการพายหนึ่งครั้ง L_S คือ ระยะทางที่เรือเคลื่อนที่ในการพายหนึ่งครั้ง และ t_s คือ เวลาในการพายหนึ่งครั้ง

2) ใช้การวัดแรงปฏิกิริยาในขณะที่พายเรือด้วยความเร็วคงที่ หรือการทดลองในสระที่สามารถควบคุมแรงจากการไหลของน้ำ จากการคำนวณ D_t ของเรือแปดฝีพายค่าที่ได้ประมาณ 310 ถึง 340 N (ที่ $V_B = 5$ m/sec) และ 428 ถึง 458 N (ที่ $V_B = 6$ m/sec) อย่างไรก็ตามการศึกษาด้วยวิธีนี้ (Wellcome, 1967) มีข้อจำกัดว่าความเร็วของเรือจะต้องคงที่

การวัดแรงต้านจากความหนืดบริเวณรอบ ๆ เรือ ซึ่งเกิดขึ้นในชั้นขีดผิวด้วยความหนา (H_{bL}) ของชั้นขีดผิวสามารถเพิ่มขึ้นได้ถึง 2% ของความยาวเรือ (L_B) ที่ระดับผิวน้ำ ตัวอย่างของเรือเดี่ยว $L_B = 8$ m $H_{bL} = 16$ cm และเรือแปดฝีพาย $L_B = 18$ m $H_{bL} = 36$ cm ลักษณะการไหลในชั้นขีดผิวขึ้นอยู่กับ Reynolds Number

$$Re = \frac{V_B L_B}{\nu} \quad (2-10)$$

เมื่อ V = ความหนืดจลน์ของน้ำ ($V = 1.2 \times 10^{-6}$ m²/sec สำหรับอุณหภูมิ 15 องศา) ถ้า Re มีค่าน้อย การไหลบริเวณชั้นขีดผิวจะมีลักษณะราบเรียบ และ D_v จะเป็นสัดส่วนกับ V_B ถ้า Re มากกว่าค่าวิกฤต ($Re_{crit} = 5 \times 10^5 - 5 \times 10^6$) การไหลจะเป็นแบบปั่นป่วน และ D_v จะเกิดขึ้นเป็นสัดส่วนกับ $V_b^{1.25} / V_b^2$ จุดที่ทำให้เรือเกิดความปั่นป่วนสามารถคำนวณได้จาก

$$L_{crit} = \frac{Re \nu}{V_B} \quad (2-11)$$

สำหรับ $Re = 5 \times 10^6$ ค่าของ L_{crit} เป็นดังนี้

$$V_B = 3 \text{ m/sec} \quad L_{crit} = 2 \text{ m}$$

$$V_B = 4 \text{ m/sec} \quad L_{crit} = 1.5 \text{ m}$$

$$V_B = 5 \text{ m/sec} \quad L_{crit} = 1.2 \text{ m}$$

$$V_B = 6 \text{ m/sec} \quad L_{crit} = 1 \text{ m}$$

จากความยาวมาตรฐานของเรือและความเร็วเฉลี่ย พบว่า 90% ของเรือจะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน แรงต้านจากความหนืดหาได้จากสมการ

$$D_v = 0.5 \rho C_{vs} V_B^2 A \quad (2-12)$$

เมื่อ C_{vs} คือ สัมประสิทธิ์ของแรงต้านจากความหนืด ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำและ A คือ พื้นที่เปียกน้ำของเรือ ค่าสัมประสิทธิ์ C_v เป็นสัดส่วนกับ Re_c และเป็นฟังก์ชันกับความราบเรียบของเรือ ดังสมการต่อไปนี้

$$C_v = f(Re_c, C_s) \quad (2-13)$$

$$C_s = \frac{L_B}{k} \quad (2-14)$$

เมื่อ k คือ ความเรียบของพื้นผิว พื้นผิวที่ราบเรียบ (ตามทฤษฎี) k มีค่าเท่ากับ 0

พื้นผิวที่เคลือบและขัดเงา k มีค่าเท่ากับ 0.005 mm พื้นผิวที่ทาสี k มีค่าเท่ากับ 0.05 mm ส่วนผิวไม้ k มีค่าเท่ากับ 0.5 mm ถ้ากำหนดให้ค่า k เท่ากับ 0.005 mm ดังนั้นสำหรับเรือเดี่ยว $C_s = 1.6 \times 10^6$ สำหรับเรือแปดฝัพาย $C_s = 36 \times 10^6$ สำหรับความเร็วที่สูงกว่านี้ Re_c จะเพิ่มขึ้นและความเรียบของเรือที่ต้องการต้องมากกว่านี้ สมมุติว่า $V_B = 6 \text{ m/sec}$ และ $k = 0.005$ สำหรับเรือแปดฝัพาย ค่าของ $C_v = 0.0023$ และ $D_v = 410 \text{ N}$ อย่างไรก็ตาม ถ้าเรือประเภทเดียวกันแต่มีค่า $k = 0.55$ ค่าของ $C_v = 0.04$ และแรงต้านจากความหนืดจะมีค่ามากถึง 715 N แรงต้านจากความหนืดขึ้นอยู่กับพื้นที่เปียกน้ำ สามารถคำนวณโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$A = \sqrt{2\pi L_B V} \quad (2-15)$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของเรือ ตัวอย่างในการหาค่าในเรือแปดฝีพาย สามารถหาได้จาก

8 ฝีพาย x 800 N	= 6400 N
พาย	= 320 N
คนคัดท้าย	= 500 N
เรือ	= 1150 N
รวม	= 8370 N

ดังนั้นปริมาตรเท่ากับ 0.837 m^3 และพื้นที่เปียกน้ำ $A = 9.72 \text{ m}^2$ สมมติให้นักพายเรือมีน้ำหนัก 800 N พื้นที่เปียกน้ำของเรือแต่ละประเภทจะแตกต่างกันออกไป สำหรับเรือเดี่ยว 2.25 ส่วนเรือแปดฝีพายประมาณ 9.72 แรงต้านจากความหนืดจะเป็นสัดส่วนกับ A และน้ำหนักของนักพายเรือ นักพายเรือที่มีมวลมากกว่าจะทำให้พื้นที่เปียกน้ำมากกว่า ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อแรงต้านจากความหนืดถ้าน้ำหนักของนักพายเรือลดลง 10% D_v จะลดลงประมาณ 5% ถ้าให้นักพายเรือคนเดิมพายเรือที่มีน้ำหนักเบากว่า 5% ความเร็วของเรือควรจะเพิ่มขึ้น 0.9% ซึ่งจะทำให้ได้เปรียบ 18 เมตรในระยะทาง 2000 เมตร ในเรือเดี่ยวแรงต้านจากความหนืดจะมีผลกระทบประมาณ 88% ส่วนในเรือแปดฝีพายประมาณ 93% ของแรงจุดน้ำ

ผลกระทบเกี่ยวกับอุณหภูมิของน้ำต่อ D_v มีการศึกษาพบว่าความหนืดของน้ำจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ความหนืดมีค่าต่ำลงและ R_c มีค่าสูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิประมาณ 5% จะส่งผลให้ D_v ลดลงประมาณ 3% ในการพายระยะทาง 2000 เมตรจะทำให้ได้เปรียบ เป็นระยะทาง 14 เมตร (สำหรับเรือแปดฝีพาย) ส่วนแรงจุดน้ำประเภทอื่นคือ Wave Drag มีผลกระทบน้อยมาก โดย Wave Drag เป็นผลมาจากการรบกวนผิวน้ำบริเวณหัวเรือและท้ายเรือซึ่งทำให้เกิดคลื่น ดังนั้นจะขึ้นอยู่กับรูปทรงของเรือเป็นสำคัญ สามารถคำนวณหา Wave Drag ได้จากสมการ

$$D_w = h^2 \lambda \quad (2-16)$$

เมื่อ h คือ ความสูงของคลื่น λ คือ ความยาวของคลื่น พิจารณาจากสมการเหล่านี้ (Pope, 1973) แนะนำว่าแรงจุดน้ำรวมควรมีแบบจำลองเป็น

$$D_t = 0.5(1.07)V_B^2 L_B = K V_B^2 \quad (2-17)$$

เมื่อ Factor 1.07 คือ Factor ของ Wave Drag นอกจากนั้นความลึกของน้ำยังมีผลกระทบต่อ Wave Drag น้ำตื้นจะทำให้ค่าของ D_w เพิ่มขึ้น เป็นผลมาจาก Critical Wave Velocity V_{wc} ซึ่งขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำ ดังต่อไปนี้

$$V_{wc} \sqrt{gh} \quad (2-18)$$

เมื่อ h คือ ความลึกของน้ำ g คือ แรงโน้มถ่วง

ถ้า $V_B = V_{wc}$ การเพิ่มขึ้นของ D_w จะเป็น ดังนี้

$$h = 2 \text{ m} \quad V_{wc} = 4.42 \text{ m/sec}$$

$$h = 3 \text{ m} \quad V_{wc} = 5.43 \text{ m/sec}$$

$$h = 4 \text{ m} \quad V_{wc} = 6.27 \text{ m/sec}$$

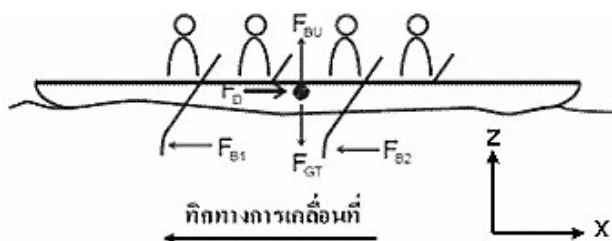
$$h = 5 \text{ m} \quad V_{wc} = 7.1 \text{ m/sec}$$

Wave Drag สูงสุดสำหรับเรือที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 4.42 m/sec ที่ความลึกของน้ำ 2 เมตร ซึ่งพบว่าเรือจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่านี้ถ้าพายในน้ำที่ลึกกว่านี้ (Christopher, 1989)

2.2.4 แรงแยก

นอกจากแรงจลแล้วยังมีแรงอีกชนิดหนึ่งเรียกว่าแรงยก (Lift Force) ที่กระทำต่อวัตถุ แรงแยกจะมีทิศทางตั้งฉากกับการไหลและตั้งฉากกับแรงจล โดยไม่จำเป็นต้องมีทิศทางขึ้นเสมอไป สามารถอธิบายแนวคิดของแรงยกจากการไหลผ่านอากาศของวัตถุที่มีรูปทรงคล้ายปีกเครื่องบิน (Air Foil) เมื่ออากาศไหลผ่าน Air Foil ด้านบนซึ่งเป็นส่วนโค้งจะมีการไหลที่เร็วกว่าด้านล่างที่แบน ความแตกต่างของความเร็วในการไหลของทั้งสองด้านของวัตถุเป็นสาเหตุของความแตกต่างของความดัน ความแตกต่างของความดันเป็นสาเหตุให้วัตถุที่มีรูปร่างคล้ายปีกเครื่องบินเกิดแรงจากทิศทางที่มีความดันสูงไปยังทิศทางที่มีความดันต่ำ (Christopher, 1989; Kreighbaum and Barthels, 1996)

เมื่อพิจารณาระบบของการพายเรือจะประกอบด้วย 3 ส่วนคือ เรือ พาย และนักพายเรือซึ่งจะมีความสำคัญต่อการขับเคลื่อนเรือ เมื่อพิจารณาแรงที่กระทำต่อระบบจะแยกได้เป็น 3 ส่วนคือ แรงที่กระทำต่อตัวเรือ แรงที่กระทำต่อใบพายและแรงที่กระทำต่อนักพายเรือดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.7 แรงกระทำต่อระบบเรือกรรเชียง (Baudouin and Hawkins, 2002)

2.2.5 แรงกระทำต่อเรือ

จากสมการการเคลื่อนที่ (กฎข้อที่ 2 ของนิวตัน) ในแนวแกน z

$$F_{BU} - F_{GT} = m_T a_{Tz} \quad (2-19)$$

เมื่อ F_{BU} คือ แรงลอยตัว F_{GT} คือ แรงโน้มถ่วงที่กระทำกับเรือ นักพายเรือและเรือ m_T คือ มวลของระบบและ a_{Tz} คือ ความเร่งของจุดศูนย์กลางมวลของระบบในแนวแกน z

สมการการเคลื่อนที่ในแนวแกน x คือ

$$F_D - \sum_{i=1}^n F_{B_i} = m_T \times a_T \quad (2-20)$$

เมื่อ F_D คือ แรงจุด F_{B_i} คือ แรงที่กระทำต่อใบพาย m_T คือ มวลของระบบ a_T คือ ความเร่งของจุดศูนย์กลางมวลของระบบในแนวแกน x

ในแนวดิ่ง (แกน z) แรงลอยตัวและแรงโน้มถ่วงกระทำกับมวลของ เรือ นักพายเรือ และพายเพื่อสร้างตำแหน่งที่สมดุล แรงลอยตัว (F_{BU}) เป็นสัดส่วนกับปริมาตรแทนที่น้ำ ความหนาแน่นและแรงโน้มถ่วง

$$F_{BU} = \rho_{H2O} \times g \times V_{disp} \quad (2-21)$$

เมื่อ F_{BU} คือ แรงลอยตัว ρ_{H2O} คือ ความหนาแน่นของน้ำ g คือ ความเร่งโน้มถ่วง V_{disp} คือ ปริมาตรแทนที่น้ำ เมื่อพิจารณามวลของระบบซึ่งส่งผลกระทบต่อปริมาตรแทนที่น้ำและพื้นที่เปียกน้ำ

$$m_T = m_B + m_O + m_R \quad (2-22)$$

เมื่อ m_T คือ มวลของระบบ m_B คือ มวลของเรือ m_O คือ มวลของใบพาย m_R คือ มวลของนักพายเรือ

การเคลื่อนที่ของนักพายเรือในระหว่างการพายมวลของนักพายเรือจะเกิดการเคลื่อนที่ส่งผลกระทบต่อแนวระดับน้ำเป็นสาเหตุให้เกิดการกระเพื่อม 4-6 cm ที่หัวเรือ และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เปียกน้ำด้านหน้าเรือ ส่งผลต่อแรงจลน์ซึ่งกระทำต่อระบบ

ในแนวระนาบ (แกน x) แรงขับเคลื่อนและแรงจลน์จะเป็นแรงที่กระทำต่อระบบ แรงขับเคลื่อนเรือเป็นผลมาจากแรงปฏิกิริยาระหว่างใบพายกับน้ำ แรงจลน์ประกอบด้วย แรงจลน์ในอากาศและแรงจลน์ในน้ำซึ่งกระทำในทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่

$$F_D = F_{AD} + F_{HD} \quad (2-23)$$

เมื่อ F_D คือ แรงจลน์ทั้งหมด F_{AD} คือ แรงจลน์อากาศ F_{HD} คือ แรงจลน์ในน้ำ

ในการพายเรือแรงจลน์อากาศจะส่งผลกระทบต่อพื้นที่หน้าตัดของเรือ ความเร็วเรือและสัมประสิทธิ์ของแรงจลน์ อย่างไรก็ตามในระบบการพายเรือแรงจลน์อากาศมีผลกระทบเพียงประมาณ 10% ของแรงต้านทานของระบบทั้งหมด การกระเพื่อมของเรือจะส่งผลกระทบต่อแรงจลน์อากาศเพียงเล็กน้อย เช่น การกระเพื่อมในแนวตั้ง 6 cm จะทำให้พื้นที่หน้าตัดของเรือที่ปะทะอากาศเพิ่มขึ้นประมาณ 330 cm^2 เมื่อเทียบกับพื้นที่ทั้งหมด $8,690 \text{ cm}^2$ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงเพียง 3.8% ส่วนผลกระทบของใบพายต่อแรงจลน์อากาศนั้นมีน้อยมากเพราะน้ำหนักและรูปทรงของใบพาย ดังนั้นในสมการจึงใช้ค่าคงที่ทุกพจน์ยกเว้นพจน์ของความเร็ว

$$F_{AD} = 1/2 \times \rho_{\text{air}} \times C_D \times A_{r+b} \times V_A^2 \quad (2-24)$$

เมื่อ A_{r+b} คือ พื้นที่หน้าตัดของนักพายเรือและเรือ V_A^2 คือ ความเร็วเฉลี่ยของเรือสัมพันธ์กับอากาศ แรงจลน์น้ำที่กระทำกับเรือประกอบด้วยแรงจลน์ 3 ชนิด คือ Skin Friction Drag, Form Drag และ Wave Drag

$$F_{HD} = F_{HDs} + F_{HDf} + F_{HDw} \quad (2-25)$$

เมื่อ F_{HDs} คือ Hydrodynamic Skin Drag, F_{HDf} คือ Hydrodynamic Form Drag และ F_{HDw} คือ Hydrodynamic Wave Drag. เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่า Skin Friction Drag จะส่งผลกระทบประมาณ 80% ของแรงต้านน้ำในเรือแข่ง นั่นคือ

$$F_{HD} = 1.25 \times F_{HDs} \quad (2-26)$$

ดังนั้น แรงต้านน้ำทั้งหมดคือ

$$F_{HD} = 1.25 \times k \times V_w^2 \quad (2-27)$$

เมื่อ k คือ ค่าคงที่ V_w^2 คือ ความเร็วของเรือสัมพันธ์กับน้ำ

การกระเพื่อมในแนวตั้งจะมีผลต่อแรงต้านในอากาศและแรงต้านในน้ำเพียงเล็กน้อย ยิ่งไปกว่านั้นการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ด้านใดด้านหนึ่งจะทำให้ด้านตรงข้ามเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย (Millward, 1987) สรุปไว้คล้ายกันว่า แรงในแนวตั้งมีค่าคงที่ และมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการพายเรือน้อยมาก ดังนั้นควรจะเน้นการพิจารณาแรงในแนวราบ

$$F_D = (1/2 \times \rho_{air} \times C_D \times A_{r+b} \times V_A^2) + (1.25 \times k \times V_w^2) \quad (2-28)$$

ดังนั้นแรงขับเคลื่อนที่กระทำต่อเรือสามารถอธิบายได้โดยการรวมสมการที่ (2-20) และ (2-28) เข้าด้วยกัน

$$F_B = (1/2 \times \rho_{air} \times C_D \times A_{r+b} \times V_A^2) + (1.25 \times k \times V_w^2) - (m_T \times a_T) \quad (2-29)$$

พิจารณาจากสมการแสดงให้เห็นว่าถ้าต้องการเพิ่มความเร็วของเรือควรพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ เช่น วัสดุที่ใช้ทำเรือควรมีน้ำหนักเบาและแข็งแรง การทำวัสดุเคลือบเรือจะช่วยลดสัมประสิทธิ์ของ Skin Friction Drag ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการพายเรือเพิ่มขึ้น และพบว่าแรงบนใบพายเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญที่สุดในการเร่งความเร็วเรือ (Baudouin and Hawkins, 2002)

2.2.6 แรงกระทำต่อใบพาย

ใบพายมีบทบาทสำคัญต่อการพายเรือโดยทำหน้าที่ถ่ายกำลังจากแรงที่ออกโดยนักพายเรือมายังใบพายรูปที่ 2.8 การเคลื่อนที่ของใบพายถูกจำกัดโดยหุกรรเชียง (Oarlock) ทำให้พายเคลื่อนที่อยู่ในแนวแกน สมการการเคลื่อนที่ต่อไปนี้จะแสดงการเคลื่อนที่ของใบพาย

$$F_{Ox} - F_{Bx} - F_{Hx} = m_{Ox} \times a_{Ox} \quad (2-30)$$

เมื่อ F_{Hx} คือ แรงบริเวณด้ามพายในทิศทางแกน x F_{Ox} คือ แรงปฏิกิริยาบริเวณหุกรรเชียงตามแนวแกน x F_{Bx} คือ แรงบริเวณใบพายในทิศทางแกน x m_{Ox} คือ มวลของใบพาย a_{Ox} คือ ความเร่งของพายตามแนวแกน x

สำหรับสมการการเคลื่อนที่ในแนวแกน z (แนวตั้ง) เขียนได้ดังนี้

$$F_{Oz} - F_{Go} - F_{Hz} = m_{Oz} \times a_{Oz} \quad (2-31)$$

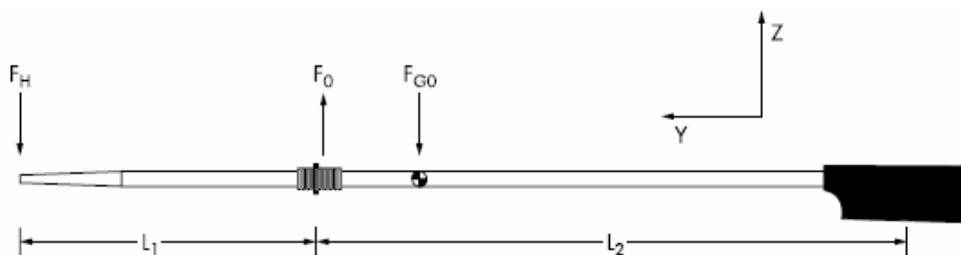
เมื่อ F_{Oz} คือ แรงปฏิกิริยาบริเวณหุกรรเชียงตามแนวแกน z F_{Go} คือ แรงโน้มถ่วงที่กระทำกับใบพาย F_{Hz} คือ แรงบริเวณด้ามพายตามแนวแกน z a_{Oz} คือ ความเร่งตามแนวแกน z

สำหรับสมการการหมุนของใบพายดังแสดงในรูปที่ 2.23 เขียนได้ดังนี้

$$F_H (L_1 + L_2) - F_O L_2 = I \times a \quad (2-32)$$

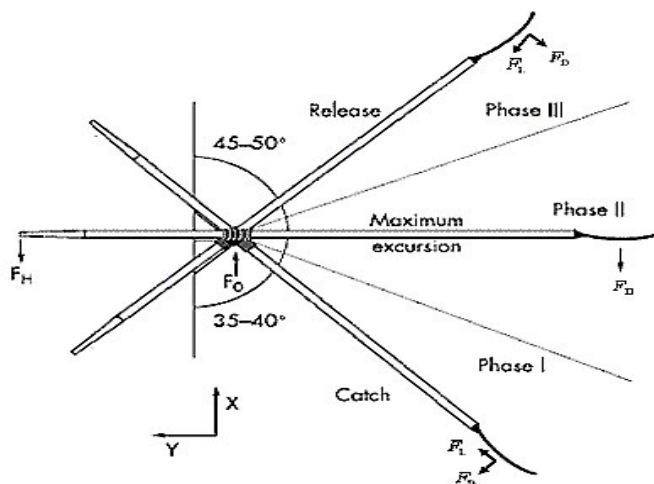
เมื่อ L_1 คือ ระยะทางจากปลายด้ามจับถึง Collar L_2 คือ ระยะทางจาก Collar ถึงจุดศูนย์กลางแรงดันของใบพาย I คือ โมเมนต์ของความเฉื่อยรอบจุดศูนย์กลางแรงดันของใบพาย a คือ ความเร่งของพาย

สามารถพิจารณาพายให้เป็นคานชนิดที่ 1 หรือ 2 ขึ้นอยู่กับกรอบอ้างอิง ใบพายจะต้านทานการเคลื่อนที่ในน้ำในทิศทางตรงข้ามกับแรงบริเวณด้ามจับเป็นผลให้เกิดแรงปฏิกิริยาบริเวณหุกรรเชียง ซึ่งจะสัมพันธ์กับความเร่งของเรือ แรงบริเวณหุกรรเชียงจะถูกส่งผ่านไปยังแขนกรรเชียง (Rigger) ถ้าแรงที่ส่งไปยังหุกรรเชียงทั้งสองข้างไม่เท่ากันจะส่งผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของเรือจะทำให้เรือเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ เกิดแรงฉุดมากขึ้นส่งผลให้เวลาในการพายช้าลง



รูปที่ 2.8 แรงกระทำบริเวณพาย (Baudouin and Hawkins, 2002)

ใบพายจะเคลื่อนที่ในน้ำเป็นแนวโค้งดังรูปที่ 2.9 และจะสร้างแรงปฏิกิริยากับน้ำด้วยกลไก 2 อย่างคือ แรงยกและแรงดูด



รูปที่ 2.9 มุมการเคลื่อนที่ของพาย (Baudouin and Hawkins, 2002)

$$F_{By} = F_{Dy} + F_{ly} \quad (2-33)$$

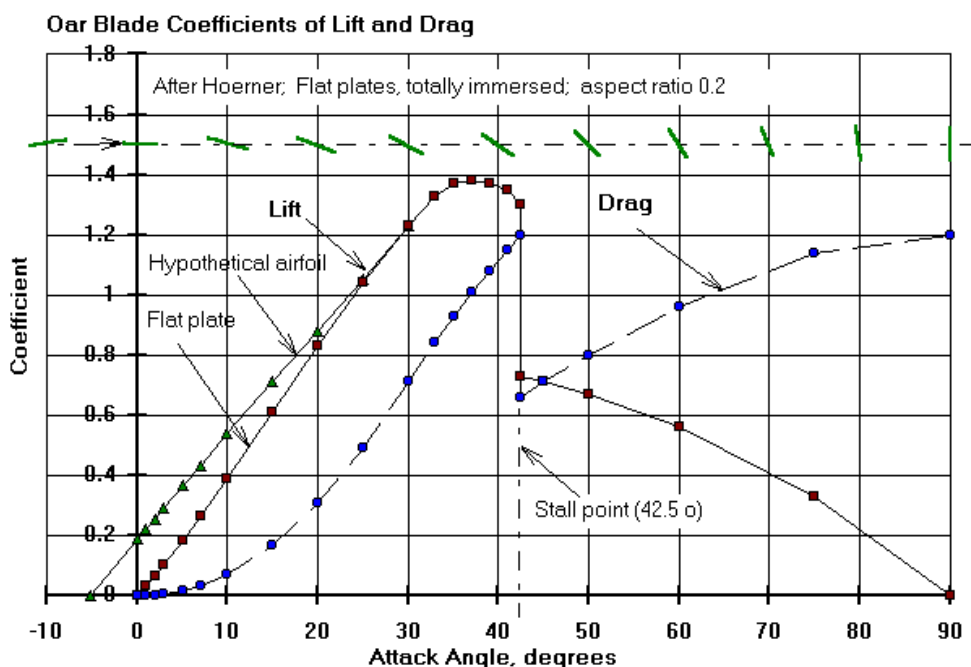
เมื่อ F_{Dy} คือ แรงดูดของใบพายตามแนวแกน y F_{ly} คือ แรงยกของใบพายตามแนวแกน y

$$F_{Bx} = F_{Dx} + F_{lx} \quad (2-34)$$

เมื่อ F_{Dx} คือ แรงดูดของใบพายตามแนวแกน x F_{lx} คือ แรงยกของใบพายตามแนวแกน x

แรงยกและแรงจุดทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนจะมีค่าแปรผันกับระยะทางเชิงมุมของใบพาย แสดงให้เห็นในรูป 2.24 ขนาดของแรงที่กระทำต่อใบพายจะแปรผันตามตำแหน่งของใบพาย รูปทรงของใบพายและของไหลที่ไหลผ่านรอบ ๆ ใบพาย (Baudouin and Hawkins, 2002)

แรงที่กระทำกับใบพายจะประกอบด้วยแรงจุดและแรงยก โดยแรงจุดจะกระทำในทิศทางตรงข้ามการเคลื่อนที่ส่วนแรงยกจะกระทำตั้งฉากกับแรงจุด การศึกษาการพายเรือในอดีตส่วนใหญ่จะพิจารณาแรงจุดเพียงแรงเดียวที่กระทำกับใบพาย ส่วนงานวิจัยในช่วงหลังจนถึงปัจจุบันจะพิจารณาแรงจุดและแรงยกที่กระทำกับใบพาย โดยการคำนวณสัมประสิทธิ์ของแรงจุดและแรงยกที่มุมปะทะต่าง ๆ จะใช้ข้อมูลที่มีผู้ศึกษาไว้แตกต่างกันออกไปทั้งการใช้ข้อมูลของ Air Foil และข้อมูลของ Flat Plate ซึ่งมีผู้ทดลองไว้แล้ว แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากลักษณะการทำงานของใบพายเป็นการเคลื่อนที่อยู่ในน้ำการใช้ข้อมูลของ Air Foil จึงให้ผลการคำนวณที่ไม่ถูกต้องนัก (Atkinson, 2004) ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้ข้อมูลของ (Hoerner, 1965) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยใช้ Flat Plate จุ่มลงไปใต้น้ำแล้วศึกษาการเคลื่อนที่ใต้น้ำที่มุมปะทะต่าง ๆ ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับการพายเรือจริงมากกว่าเพราะการศึกษาโดยใช้ใบพายเรือจริงนั้นยังไม่มีผู้ทำการศึกษา โดยข้อมูลของแรงจุดและแรงยกแสดงในรูป 2.10



รูปที่ 2.10 แรงจุดและแรงยกของใบพาย (Atkinson, 2004)

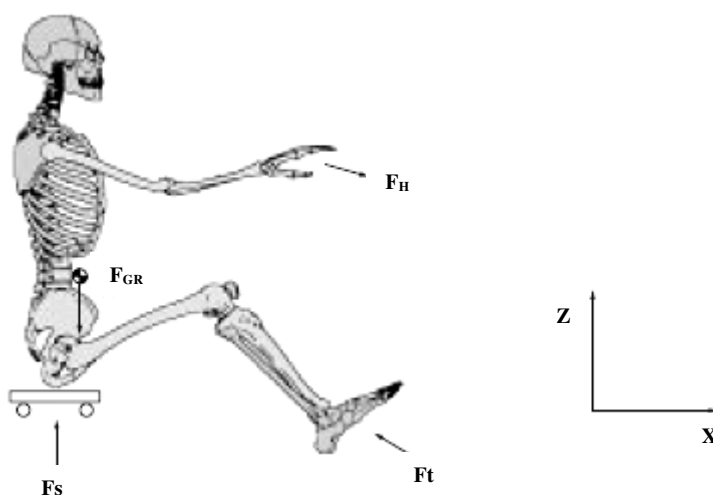
จากการศึกษาพบว่า การเกิด Stall จะเกิดขึ้นที่มุมปะทะประมาณ 42.5 องศา ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ได้ถูกนำไปใช้ในการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ของการพายเรือในงานวิจัยเกี่ยวกับการพายเรือในยุคหลัง ๆ (Atkinson, 2004)

2.2.7 แรงกระทำต่อตัวนักพายเรือ

แรงกระทำบนตัวนักพายเรือประกอบด้วยแรง 3 แรงดังรูปที่ 2.11 คือ แรงที่เท้า แรงบนที่นั่ง และแรงบริเวณมือ นักพายเรือสร้างแรงบริเวณที่ขันเท้าในลักษณะ การเชื่อมโดยทางกลศาสตร์ระหว่างที่ขันเท้ากับแรงบริเวณด้ามจับ สมการการเคลื่อนที่สำหรับนักพายเรือกำหนดโดยสมการการเคลื่อนที่ในแนวราบ (แกน x) ของนักพายเรือคือ

$$F_{Hx} - F_{Fx} = m_{Rx} \times a_{Rx} \quad (2-35)$$

เมื่อ F_{Hx} คือ แรงที่ออกโดยนักพายเรือบริเวณด้ามพายตามแนวแกน x F_{Fx} คือ แรงที่ออกโดยนักพายเรือบริเวณเท้าตามแนวแกน x m_{Rx} คือ มวลของนักพายเรือ a_{Rx} คือ ความเร่งของนักพายเรือตามแนวแกน x



รูปที่ 2.11 แรงกระทำต่อนักพายเรือ (Atkinson, 2004)

สมการการเคลื่อนที่ของนักพายเรือในแนวตั้งคือ

$$F_{Fz} + F_{Sz} - F_{Hz} - F_{GR} = m_{Rz} \times a_{Rz} \quad (2-36)$$

เมื่อ F_{Hz} คือ แรงที่ออกโดยนักพายเรือบริเวณด้ามพายตามแนวแกน z F_{Sz} คือ แรงที่ออกโดยนักพายเรือบริเวณที่นั่งตามแนวแกน z F_{Fz} คือ แรงที่ออกโดยนักพายเรือบริเวณเท้าตามแนวแกน z F_{GR} คือแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อนักพายเรือ m_{Rz} คือ มวลของนักพายเรือ a_{Rz} คือ ความเร่งของนักพายเรือตามแนวแกน z

$$F_{GR} = m_R \times g \quad (2-37)$$

สมการการเคลื่อนที่ข้างบนแสดงให้เห็นว่าแรงที่เกิดขึ้นบริเวณด้ามจับพายขึ้นอยู่กับแรงบริเวณที่ยืนเท้าและความเร่งของร่างกายนักพายเรือแรงอื่น มีบทบาทในการขับเคลื่อนเรื่อน้อยมาก ที่นั่งจะรับแรงในแนวตั้งเท่านั้นแรงเสียดทานระหว่างนักพายเรือกับที่นั่งเป็นสาเหตุให้ที่นั่งเคลื่อนที่ตามนักพายเรือขณะเคลื่อนที่ในการพาย แรงที่กระทำในแนวตั้งจะมีผลต่อการขับเคลื่อนเรือหรือแรงจุดเพียงเล็กน้อย ดังนั้นประสิทธิภาพการพายเรือส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับความสามารถของนักพายเรือในการสร้างแรงบริเวณที่ยืนเท้าและส่งถ่ายไปยังมือ แรงที่นักพายเรือสามารถใช้กับด้ามจับพายขึ้นอยู่กับแรงของกล้ามเนื้อและข้อต่อที่สร้างขึ้นมาและสามารถส่งถ่ายไปยังด้ามพาย ถ้านักพายเรือสามารถสร้างแรงผลึกจำนวนมากบริเวณที่ยืนเท้าแต่หลังไม่สามารถรองรับแรงนี้ได้ดังนั้นแรงที่ส่งไปยังด้ามพายก็จะลดลงเนื่องจากหลังงอ นักพายเรือจะต้องมีความสัมพันธ์กันในเรื่องของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและข้อต่อเพื่อที่จะส่งแรงไปยังพายให้ได้สูงสุด แรงบริเวณ ขา หลังและแขนไม่สามารถสร้างแรงได้เท่ากันดังนั้นลำดับการออกแรงของกล้ามเนื้อแต่ละส่วนจึงมีความสำคัญต่อการพายเรือ (Baudouin and Hawkins, 2002)

2.3 สรีรวิทยาของการพายเรือกรรเชียง

การพายเรือกรรเชียงนั้นต้องอาศัยความสัมพันธ์ทางด้านกลศาสตร์และสรีรวิทยาในการพัฒนาประสิทธิภาพของการพาย ความรู้ทางด้านสรีรวิทยาจะเป็นประโยชน์ในการช่วยให้เข้าใจการทำงานของระบบต่าง ๆ ของร่างกายซึ่งเกี่ยวข้องกับออกแรงพายของนักพายเรือ (Di Prampero et al., 1974; Secher, 1993; Jack et al., 1994; Wilson et al., 1998; Thor, 2005) สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้อย่างถูกต้องสมจริง

ในการพายเรื่อนั้นนักพายเรือต้องออกแรงส่งถ่ายไปยังพายเพื่อขับเคลื่อนเรือ การสร้างแรงของนักกีฬานั้นเกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อซึ่งแรงที่ได้จากกล้ามเนื้อแต่ละมัดจะมีรูปทรงที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง หากเราทราบถึงตัวแปรเหล่านี้จะทำให้การจำลองแบบการพายเรือมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

2.3.1 ชนิดของกล้ามเนื้อ

สามารถแบ่งชนิดของกล้ามเนื้อได้ตามลักษณะโครงสร้างทางกายวิภาคและหน้าที่การทำงานทางสรีรวิทยาได้เป็น 3 ประเภท คือ กล้ามเนื้อลาย กล้ามเนื้อหัวใจ และกล้ามเนื้อเรียบ (ชูศักดิ์ และกันยา, 2536; Jack and David, 1994)

1. **กล้ามเนื้อลาย** (Striated Muscle หรือ Skeletal Muscle) เป็นกล้ามเนื้อส่วนใหญ่ของร่างกาย ที่เราพบได้โดยทั่วไปที่ได้ผิวหนัง เป็นกล้ามเนื้อที่ประกอบขึ้นเป็นไบหน้า คอแขน ขา ลำตัว กล้ามเนื้อลายมีชื่อเรียกที่ต่างกันไปตามรูปร่างลักษณะ หน้าที่ ขนาด ความยาว หรือตำแหน่งที่มันอยู่ กล้ามเนื้อลายช่วยให้เกิดการเคลื่อนไหวร่างกายส่วนต่าง ๆ เป็นกล้ามเนื้อที่ทำงานโดยประสาทสั่งงานจากความรู้สึก (Consciousness) ซึ่งอยู่ภายใต้การควบคุมของระบบประสาทส่วนกลาง จึงถือได้ว่าเป็นกล้ามเนื้อชนิดที่อยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ (Voluntary Muscle) กล้ามเนื้อลายแต่ละมัดจะยึดเกาะอยู่กับกระดูกจึงอาจเรียกว่า Skeletal Muscle และที่เรียกว่า กล้ามเนื้อลาย (Striated Muscle) เพราะเซลล์ของกล้ามเนื้อมีลายนั่นเอง สามารถเพิ่มขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อชนิดนี้ได้ด้วยการออกกำลังกาย

2. **กล้ามเนื้อหัวใจ** (Cardiac Muscle หรือ Heart Muscle) เป็นกล้ามเนื้อที่พบที่หัวใจและเส้นเลือดใหญ่บริเวณที่ติดกับหัวใจเท่านั้น การเต้นของหัวใจแต่ละจังหวะหมายถึง กล้ามเนื้อหัวใจมีการหดตัวและคลายตัว การหดตัวมีผลทำให้โลหิตถูกฉีดออกไปทางเส้นเลือดแดงเพื่อไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เมื่อหัวใจคลายตัว เลือดจะไหลเข้าสู่หัวใจทางเส้นเลือดดำ กล้ามเนื้อหัวใจหดตัวเองโดยอัตโนมัติ ไม่ต้องอาศัยคำสั่งจากสมอง อัตราการเต้นของหัวใจที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงอันเนื่องมาจากสภาวะต่าง ๆ ของร่างกาย จากอารมณ์ หรืออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม เกิดขึ้นจากการควบคุมของระบบประสาทอัตโนมัติ (Autonomic Nervous System) และฮอร์โมนต่าง ๆ

3. **กล้ามเนื้อเรียบ** (Smooth Muscle) เป็นกล้ามเนื้อที่ประกอบขึ้นเป็นผนังส่วนกลางของอวัยวะภายในที่มีลักษณะเป็นโพรงหรือเป็นท่อ เช่น หลอดอาหาร กระเพาะอาหาร มดลูก ไต ลำไส้ หลอดลม หลอดเลือดและท่อปัสสาวะ เป็นกล้ามเนื้อหูดของม่านตา การหดตัวของกล้ามเนื้อเรียบทำให้เกิดการเคลื่อนที่เดินทางของสารหรือสิ่งที่อยู่ภายในอวัยวะส่วนนั้น เช่น การที่กล้ามเนื้อในหลอดอาหารผลักก้อนอาหารต่อ ๆ กันไปเป็นจังหวะ นอกจากนี้กล้ามเนื้อเรียบในส่วนกระเพาะอาหารยังช่วยบิด และคลุกเคล้าอาหารเข้ากับน้ำย่อย ทำให้โมเลกุลของสารอาหารแตกตัว สำหรับวงกล้ามเนื้อของม่านตามีหน้าที่ในการปรับขนาดรูม่านตา ป้องกันแสงไม่ให้เข้าสู่ลูกตามากเกินไปจนเป็นอันตราย การทำงานของกล้ามเนื้อเรียบไม่อยู่ในความควบคุมโดยตรงของจิตใจ จะถูกควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนมัติและฮอร์โมนต่าง ๆ

2.3.2 คุณสมบัติของกล้ามเนื้อ

กล้ามเนื้อจะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีไปเป็นพลังงานกล ภายใต้อิทธิพลการทำงานของระบบประสาท และฮอร์โมน นอกจากนี้กระบวนการหดตัวของกล้ามเนื้อยังทำให้เกิดความร้อนขึ้นมาจำนวนมากซึ่งความร้อนเหล่านี้จะมีบทบาทในการควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย การที่กล้ามเนื้อสามารถทำหน้าที่ดังกล่าวได้เนื่องจากกล้ามเนื้อมีคุณสมบัติพิเศษดังนี้

1. ความไวต่อการกระตุ้น เป็นความสามารถของกล้ามเนื้อในการรับและตอบสนองต่อสิ่งเร้าหรือตัวกระตุ้น สิ่งเร้าหรือตัวกระตุ้นนั้นจะหมายความรวมถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทั้งต่อสิ่งแวดล้อมภายในและสิ่งแวดล้อมภายนอก
2. ความสามารถในการหดตัว เป็นความสามารถของกล้ามเนื้อในการทำให้เกิดแรงจากการหดตัว เมื่อได้รับสิ่งเร้าหรือตัวกระตุ้นที่แรงพอ
3. ความสามารถในการยืด เป็นความสามารถของกล้ามเนื้อในการถูกยืดออก ซึ่งกล้ามเนื้อลายส่วนมากมีการจัดวางเป็นคู่เมื่อกลุ่มหนึ่งหดตัวจะทำให้กล้ามเนื้ออีกกลุ่มหนึ่งที่อยู่ตรงข้ามคลายตัวและถูกยืดออก
4. ความสามารถในการยืดหยุ่น เป็นความสามารถของกล้ามเนื้อในการกลับสู่สภาพเดิมหลังจากสิ้นสุดการหดตัวหรือถูกยืดออก

2.3.3 กลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อลาย

การทำงานของกล้ามเนื้อในร่างกาย จำเป็นต้องอาศัยการควบคุมจากระบบประสาท การหดตัวของกล้ามเนื้อลายจะอยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ กล้ามเนื้อแต่ละมัดมีเส้นประสาทมาหล่อเลี้ยงมากมาย เส้นประสาทแต่ละเส้นที่มายังกล้ามเนื้อจะแตกออกเป็นแขนงย่อย ไปเลี้ยงเซลล์กล้ามเนื้อจำนวนมาก เส้นประสาทชนิดหนึ่งเซลล์ และกลุ่มของเซลล์กล้ามเนื้อที่ถูกหล่อเลี้ยงด้วยประสาทชนิดนั้น ๆ จะประกอบขึ้นเป็นหนึ่งหน่วยยนต์ ขนาดของหน่วยยนต์แปรผันไปได้ตามตำแหน่งของกล้ามเนื้อและงานที่กล้ามเนื้อต้องทำ กล้ามเนื้อที่ต้องทำงานละเอียด เช่น กล้ามเนื้อกรอกลูก นัยน์ตา หน่วยยนต์หนึ่งหน่วยประกอบด้วยกล้ามเนื้อ 4-5 เซลล์ แต่ถ้าเป็นกล้ามเนื้อมัดใหญ่ที่ไม่ได้ทำงานละเอียด เช่น กล้ามเนื้อน่อง หน่วยยนต์หนึ่งหน่วยประกอบด้วยกล้ามเนื้อ 1,000-2,000 เซลล์ อัตราส่วนของเซลล์กล้ามเนื้อกับเส้นประสาทชนิดที่มาเลี้ยงนั้น ไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของกล้ามเนื้อ แต่ขึ้นอยู่กับความแม่นยำและความละเอียดของการทำงาน

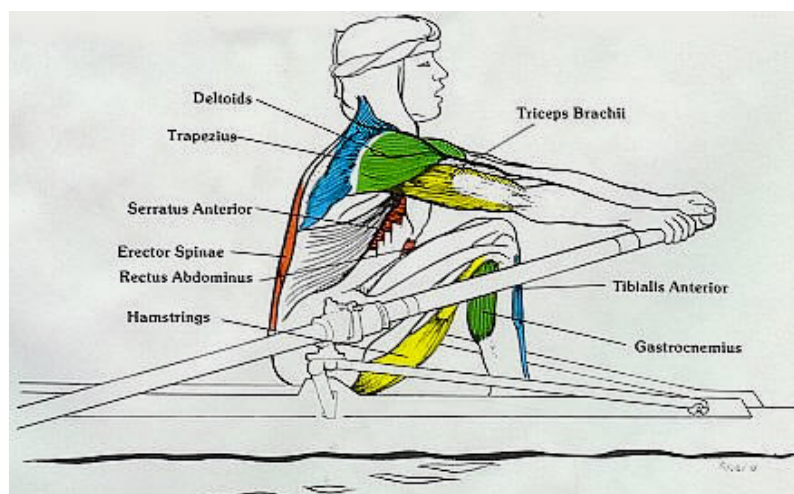
การหดตัวของกล้ามเนื้อลายปกตินั้นเซลล์กล้ามเนื้อจะไม่หดตัวทีละเซลล์ แต่การทำงานของกล้ามเนื้อนั้นเกิดจากการหดตัวอย่างพร้อมเพื่อกันของกลุ่มเซลล์กล้ามเนื้อซึ่งเลี้ยงโดยแขนงของเส้นประสาทชนิดเดียวกันที่เรียกว่า หน่วยยนต์ ซึ่งหน่วยยนต์ถือเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดและสามารถกระตุ้นให้เกิดการหดตัวได้ หน่วยยนต์แต่ละหน่วยสามารถถูกกระตุ้นได้ด้วยความแรงของ

สิ่งกระตุ้นที่แตกต่างกัน ระดับความแรงของสิ่งกระตุ้นที่ทำให้เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อเรียกว่า เทรดโฮลด์ (Threshold) หน่วยยนต์ที่มีเทรดโฮลด์ต่ำจะถูกกระตุ้นก่อนทำให้มีขนาดแรงดึงในกล้ามเนื้อระดับหนึ่ง ถ้าให้ความแรงของสิ่งกระตุ้นสูงพอทุก ๆ หน่วยยนต์จะทำงานพร้อมเพื่อกัน ทำให้แรงดึงที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด เรียกการทำงานของทุกมอเตอร์ยนต์นี้ว่าการรวมกันของมอเตอร์ยนต์

การทำงานของกล้ามเนื้อลายจะถูกควบคุมโดยระบบประสาทผ่านทางเส้นประสาทยนต์มาเลี้ยงยังกล้ามเนื้อนั้น เมื่อกระตุ้นเส้นประสาทยนต์ ศักย์ไฟฟ้าขณะทำงานจะเคลื่อนที่ไปตามเส้นประสาทมีผลทำให้หลังสารสื่อประสาทอะเซทิลโคลีนออกจากถุง ซึ่งบริเวณปลายประสาทอะเซทิลโคลีนจะมาจับกับตัวรับรู้ซึ่งอยู่บนผิวเยื่อหุ้มเซลล์กล้ามเนื้อ ทำให้มีการเพิ่มการแพร่ผ่านของโซเดียมไอออน มีผลทำให้เกิดดีโพลาไรเซชันที่บริเวณรอยต่อระหว่างเส้นประสาทและกล้ามเนื้อ เรียกว่าศักย์ไฟฟ้าบริเวณรอยต่อ ถ้าสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งมามีมากเพียงพอ จะให้ศักย์ไฟฟ้าขณะทำงานของกล้ามเนื้อเคลื่อนที่ไปตามผิวเยื่อหุ้มเซลล์ของกล้ามเนื้อ แต่เนื่องจากเยื่อหุ้มเซลล์ของกล้ามเนื้อจะยื่นเป็นท่อตามขวางเข้าไปในเซลล์ ศักย์ไฟฟ้าขณะทำงานของกล้ามเนื้อจึงเคลื่อนมาตามท่อตามขวางมีผลทำให้เกิดดีโพลาไรเซชันของท่อตามขวางและมีผลต่อซาร์โคไมกเรตติคูลัมซึ่งขนานอยู่ทั้งสองข้างของท่อตามขวาง ให้หลังแคลเซียมออกมาจากท่อเทอร์มินัลซิสเตอณาของซาร์โคพลาสมิกเรตติคูลัม และไปจับกับโปรตีนโทรโปนินทำให้เปิดตำแหน่งที่จับของมายโอซินที่อยู่บนสายของแอคติน แคลเซียมไอออน 1 โมเลกุลสามารถเปิดตำแหน่งบนแอคตินได้ 7 แห่ง หัวไมโอซินจึงสามารถจับกับแอคตินได้เกิดสะพานเรียกว่า ครอสบริจ์ ขณะเดียวกันที่หัวของไมโอซินมีเอ็นไซม์ที่สำคัญคือ ไมโอซิน เอทีพีเอส ซึ่งทำหน้าที่สลาย เอทีพี ให้ได้เอดีพี ฟอสเฟต และพลังงาน ซึ่งพลังงานนี้ทำให้เกิดแรงกระชากในการงอหัวไมโอซิน เพื่อที่จะดึงสายแอคตินหรือไฮฟีลามেন্টบางให้เคลื่อนที่เข้าสู่แกนกลางของซาร์โคเมียร์ มีผลทำให้กล้ามเนื้อหดตัวพร้อมเพื่อกัน

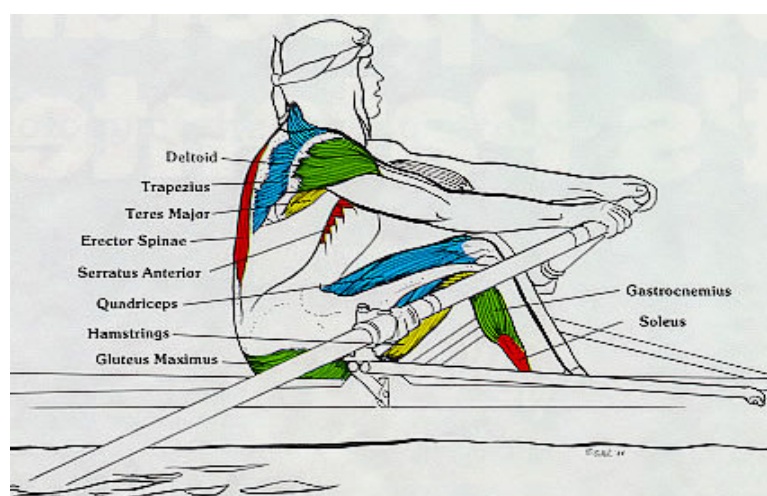
2.3.4 กล้ามเนื้อที่ใช้ในการพายเรือกรรเชียง

การพายเรือต้องใช้กล้ามเนื้อเพื่อสร้างแรงในลักษณะซ้ำ ๆ ด้วยแรงสูงสุดที่มีลักษณะราบเรียบ (Thomas, 1988) ได้วิเคราะห์การทำงานของกล้ามเนื้อขณะพายเรือซึ่งมีลำดับการทำงานแบ่งเป็นช่วงโดยในช่วงออกแรงดึงด้ามพายนั้นพบว่ากล้ามเนื้อหลัก 3 กลุ่มที่ทำงานเพื่อส่งแรงไปยังด้ามพายคือ กล้ามเนื้อขาออกแรง จากนั้นกล้ามเนื้อหลังจะออกแรงเพื่อเหวี่ยงลำตัวไปด้านหลังตามด้วยกล้ามเนื้อแขนออกแรงดึง โดยลำดับการทำงานของกล้ามเนื้อแสดงในรูปที่ 2.12-2.17



รูปที่ 2.12 กล้ามเนื้อที่ใช้ในช่วงใบพายลงน้ำ (Thomas, 1988)

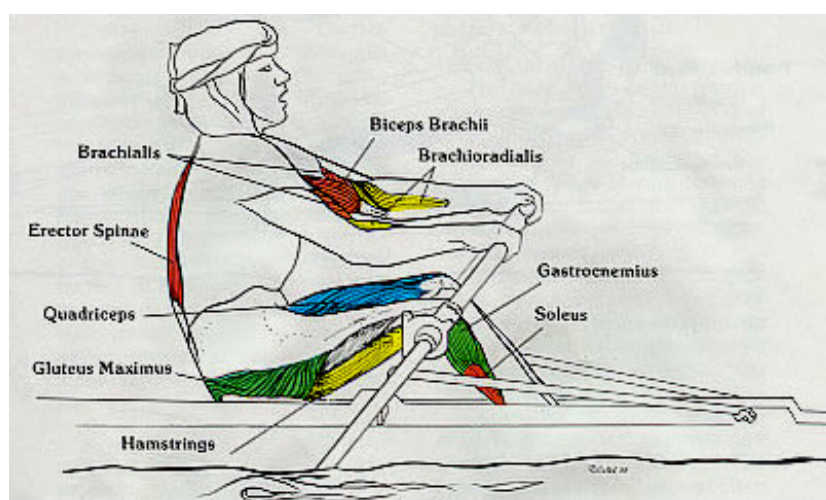
ช่วงใบพายลงน้ำ (The Catch) กล้ามเนื้อหลัง Erector Spinae จะผ่อนคลายเพื่อให้ลำตัวสามารถก้มไปด้านหน้าโดยใช้กล้ามเนื้อหน้าท้อง Abdominals ในการดึงตัวไปด้านหน้า กล้ามเนื้อ Psoas Major, Psoas Minor และ Iliacus จะช่วยในการงอสะโพก กล้ามเนื้อ Sartorius จะหมุนต้นขาเพื่อให้ลำตัวก้มลงไประหว่างขาเพื่อทำให้สามารถยืดแขนออกไปได้ไกลที่สุด กล้ามเนื้อ Hamstrings และ Gastrocnemius จะหดตัวในขณะที่เข่างอ กล้ามเนื้อ Quadriceps จะถูกยืดออกไปและกล้ามเนื้อ Rectus Femoris จะช่วยในการงอสะโพก ข้อเท้าจะงอโดยกล้ามเนื้อ Tibialis Anterior ข้อศอกถูกเหยียดออกโดยกล้ามเนื้อ Triceps Brachii ค้ำจับถูกกำโดยกล้ามเนื้อที่ใช้ในการงอนิ้วมือ



รูปที่ 2.13 กล้ามเนื้อที่ใช้ในช่วงขาออกแรง (Thomas, 1988)

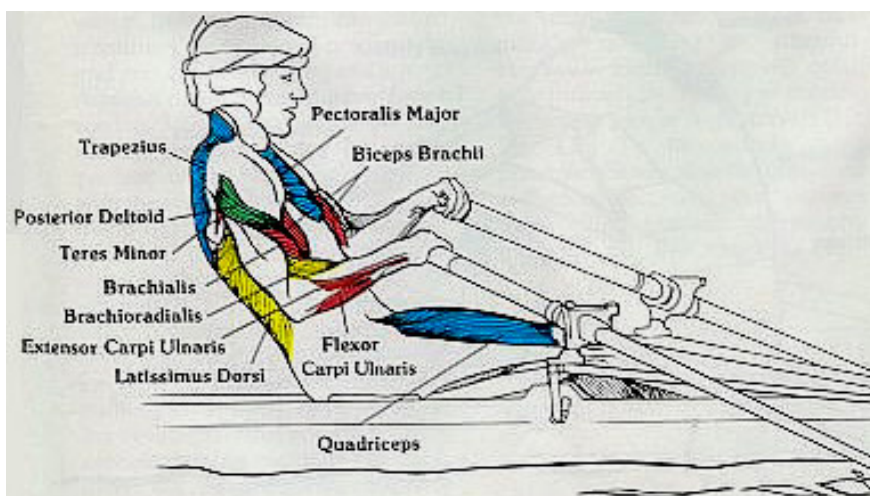
ช่วงออกแรงดึง (The Drive) สามารถแบ่งย่อยออกเป็น 3 ช่วงดังนี้ ช่วงขาออกแรง ช่วงหลังออกแรง ช่วงแขนออกแรง

ช่วงขาออกแรง เป็นช่วงเริ่มต้นของการออกแรงดึงซึ่งต้องการกำลังสูงสุดจากขา กล้ามเนื้อ Quadriceps ทำหน้าที่ยืดเข้า และกล้ามเนื้อ Soleus และ Gastrocnemius ยืดข้อเท้าและ กล้ามเนื้ออีกจำนวนมากทำหน้าที่ในการยืดหลังส่วนล่างให้ตั้งตรง กล้ามเนื้อหัวไหล่ทั้งหมด ประกอบด้วย Supra, Infraspinatus, Subscapularis, Teres Major, Teres Minor และ Biceps Brachii หดตัว กล้ามเนื้อ Scapula จะทำหน้าที่ยืด Serratus Anterior และ Trapezius



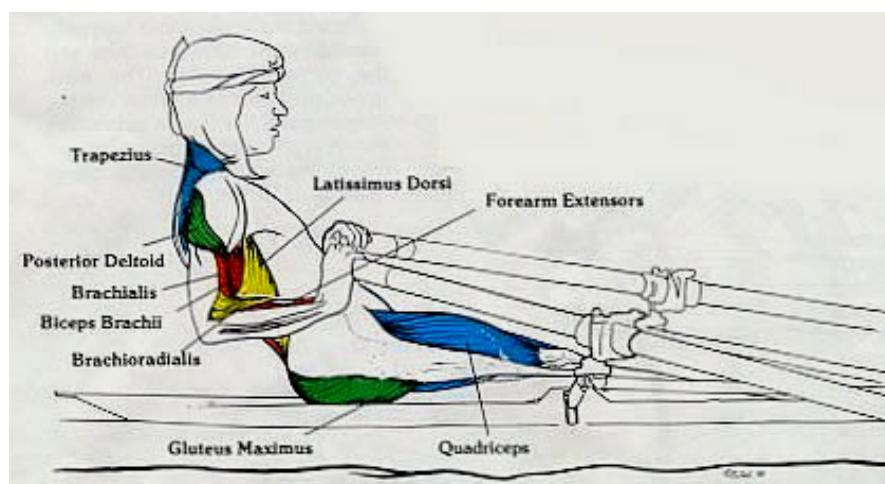
รูปที่ 2.14 กล้ามเนื้อที่ใช้ในช่วงหลังออกแรง (Thomas, 1988)

ช่วงหลังออกแรง เมื่อเข้าถูกเหยียดออกจนกระทั่งเกือบสุด สะโพกจะถูกยืดโดย กล้ามเนื้อ Gluteus และ Hamstring หลังจะถูกเหยียดออกโดยกล้ามเนื้อ Erector Spinae ส่วนการทำงานของกล้ามเนื้อบริเวณส่วนบนของร่างกายนั้น สอกจะงอ โดยการทำงาน of กล้ามเนื้อ Biceps, Brachialis และ Brachioradialis



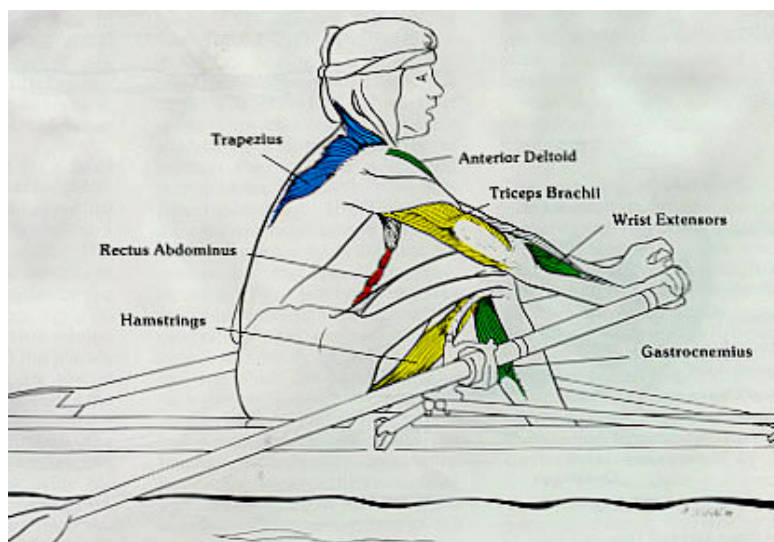
รูปที่ 2.15 กล้ามเนื้อที่ใช้ในช่วงแขนออกแรง (Thomas, 1988)

ช่วงแขนออกแรง เมื่อเข้าถูกเหยียดออกและข้อเท้าถูกเหยียดออก สะโพกและหลังก็ถูกเหยียดออกเกือบสุด กล้ามเนื้อของลำตัวส่วนบนจะหดตัวด้วยแรงที่สูงเพื่อจะสิ้นสุดการออกแรงดึง การงอข้อศอกจึงมีความสำคัญ กล้ามเนื้อ Flexor Carpi, Extensor Carpi และ Ulnaris บริเวณแขนท่อนล่างจะหดตัวเพื่อช่วยในการยึดและการงอข้อมือ หัวไหล่จะถูกดึงเข้าหาลำตัวและเหยียดออกไปด้านหลัง แขนส่วนบนจะเริ่มหมุนเข้าด้านในโดยกล้ามเนื้อ Latissimus Dorsi และ Pectoralis Major กล้ามเนื้อ Teres Minor, Posterior Deltoid และ Long Head Of The Biceps จะทำงานบริเวณข้อต่อหัวไหล่ สะบักจะถูกดึงลงมาโดยกล้ามเนื้อ pectoralis minor และถูกดึงกลับขึ้นไปโดยกล้ามเนื้อ Trapezius และ Rhomboid



รูปที่ 2.16 กล้ามเนื้อที่ใช้ในช่วงสิ้นสุดการพาย (Thomas, 1988)

ช่วงสิ้นสุดการพาย (The Finish) เข่าและข้อเท้ายังคงเหยียดในท่าเดิมขณะที่สะโพก ถูกเหยียดออกจนสุด การเหยียดกล้ามเนื้อหลังยังคงทำงานอย่างต่อเนื่อง แขนส่วนบนหมุนเข้าด้านใน โดยการหดตัวของกล้ามเนื้อ Latissimus Dorsi กล้ามเนื้อ Triceps กำลังทำหน้าที่ยึดข้อศอกออกไป



รูปที่ 2.17 กล้ามเนื้อที่ใช้ในช่วงเคลื่อนตัวกลับ (Thomas, 1988)

ช่วงเคลื่อนตัวกลับ (The Recovery) แขนถูกผลักไปด้านหน้าโดยกล้ามเนื้อ Triceps จนกระทั่งข้อศอกถูกเหยียดออกจนสุด กล้ามเนื้อหัวไหล่บริเวณด้านหน้า Anterior Deltoids หดตัวพร้อมกับกล้ามเนื้อ Coracobrachialis และ Biceps แขนส่วนบนจะถูกยกขึ้นเล็กน้อยเมื่อเคลื่อนที่ผ่านเข้าที่ถูกเหยียดออก กล้ามเนื้อหน้าท้อง Abdominals จะทำหน้าที่งอลำตัว ทันทันทิมือเคลื่อนที่ผ่านเข้าที่ถูกเหยียด การเคลื่อนที่กลับจะเริ่มเกิดขึ้น โดยการงอข้อเท้า ข้อสะโพกและข้อเข่า

2.4 คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ คือสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการทำงานของกล้ามเนื้อ เนื่องจากการทำงานของกล้ามเนื้อ เกิดขึ้นภายใต้ผิวหนัง จึงต้องบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อหรือวัดศักย์ไฟฟ้าขณะทำงานของกล้ามเนื้อโดยใช้ขั้วรับสัญญาณไฟฟ้า (Rodriguez et al., 1990; Clarys and Cabri, 1993; Misener and Morin, 1995; De Luca, 1997; Liu and Savelberg, 1999; Alex and Sara, 2005; Farid and Keyvan, 2005)

2.4.1 ประโยชน์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้สามารถอธิบายถึงข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับการทำงานของกล้ามเนื้อได้ดังนี้

1. แรงแรงที่เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยพิจารณาจากความสูงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ คือถ้าความสูงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมากขึ้นแสดงว่าแรงที่เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อมีค่ามากขึ้นเช่นกัน
2. ความถี่ของกล้ามเนื้อ โดยพิจารณาจากความถี่และความสูงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ คือความถี่ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าลดลงเมื่อกำลังกล้ามเนื้อหดตัวนานมากขึ้น
3. ช่วงจังหวะการทำงานของกล้ามเนื้อ เพื่อแสดงถึงจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของการทำงานของกล้ามเนื้อมัดนั้น โดยพิจารณาจากความสูงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ เช่น เมื่อต้องการวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อหลังขณะย่อตัวเพื่อยกของ ความสูงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อจะแสดงถึงจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดที่กล้ามเนื้อทำงาน

2.4.2 ส่วนประกอบของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ

1. ขั้วรับสัญญาณไฟฟ้า ที่ใช้ในการวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อได้แก่ขั้วรับคลื่นสัญญาณไฟฟ้าแบบเข็ม โดยใช้เข็มแทงเข้าไปในกล้ามเนื้อเพื่อบันทึกศักย์ไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ต่อมาได้มีการพัฒนาเพื่อวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อโดยใช้ขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าแบบผิวโดยใช้ขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าติดบนผิวหนังเหนือกล้ามเนื้อที่ต้องการวัดแล้วบันทึกค่าความต่างศักย์ของกล้ามเนื้อระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง คือ ขั้วบวกและขั้วลบและอีกขั้วหนึ่งคือขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าแบบอ้างอิงโดยติดบริเวณปุ่มกระดูก สัญญาณไฟฟ้าที่บันทึกได้เป็นผลรวมของเซลล์กล้ามเนื้อจากหลายคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ
2. แอมป์ลิไฟเออร์ ใช้สำหรับขยายศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการวัดเพื่อให้สะดวกต่อการนำไปศึกษา
3. ระบบแสดงและบันทึกผล ใช้สำหรับแสดงผลของการเกิดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเพื่อใช้สำหรับศึกษาวิเคราะห์การทำงานของกล้ามเนื้อ

2.4.3 การนำเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ามาใช้ในงานวิจัย

เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบและวินิจฉัยโรคเกี่ยวกับระบบกล้ามเนื้อและระบบประสาท ต่อมาได้มีการพัฒนาเพื่อวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อโดยใช้ขั้วรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าแบบผิวติดลงบนตำแหน่งของกล้ามเนื้อที่ต้องการวัดความแข็งแรง แทนขั้วรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าแบบเข็ม มีงานวิจัยจำนวนมากได้นำเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมาใช้โดยมีวัตถุประสงค์ต่าง ๆ กันเช่น

- วิเคราะห์การทำงานของกล้ามเนื้อ ขณะที่มีการเคลื่อนไหวในท่าต่าง ๆ
- วิเคราะห์การทำงานของกล้ามเนื้อในนักกีฬา
- วิเคราะห์การทำงานของกล้ามเนื้อเกี่ยวกับงานทางด้านการฟื้นฟูสมรรถภาพ
- ศึกษาผลการฝึกรูปแบบต่าง ๆ ที่มีต่อกล้ามเนื้อ
- ศึกษาความล้าในกล้ามเนื้อ

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพายเรือกรรเชียง

ได้แบ่งหัวข้อการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการพายเรือกรรเชียงออกเป็น 3 ส่วนคือ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของการพายเรือกรรเชียง งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคณิตศาสตร์ของการพายเรือกรรเชียงและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสรีรวิทยาของการพายเรือกรรเชียง ซึ่งจะได้นำเสนอดังต่อไปนี้

2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของการพายเรือ

ในการศึกษากลศาสตร์ของการพายเรือในช่วงแรกนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการทราบถึงตัวแปรทางกลศาสตร์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับนักพายเรือ โดยการศึกษาเกี่ยวกับกลศาสตร์ของการพายเรือสามารถแบ่งได้เป็นสองส่วนหลักคือ การศึกษาเกี่ยวกับคิเนเมติกและการศึกษาเกี่ยวกับไดนามิกของการพายเรือกรรเชียง โดยข้อมูลที่ได้ถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับพายของนักพายเรือและใช้เป็นตัวแปรสำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการพายเรือในงานวิจัยยุคหลัง

ในการศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรทางด้านคิเนเมติก ของการพายเรือประกอบด้วย การวัดการบันทึกและขบวนการที่เกี่ยวข้องกับการพายเรือ รวมถึงการเคลื่อนที่ของนักพายเรือ เพื่อใช้อธิบายรูปแบบการพายเรือและใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาวิเคราะห์เทคนิคการพายในลักษณะต่าง ๆ (Martin and Bernfield, 1980; Senator, 1981; Nelson and Widule, 1983; Mazzone, 1988; Lamb, 1989; Rosow and Davis, 1989; Nolte, 1991; Zatsiorsky and Yakunin, 1991; Smith et al., 1993; Smith and Spinks, 1995; Kleshnev, 1996; Spinks, 1996; Doi et al., 1999; Torres-Moreno et al., 2000; Colloud et al., 2001; Hill, 2002; Smith and Loschner, 2002; Caplan and Gardner, 2005, 2007) โดยตัวแปรทางคิเนเมติกที่มีการศึกษาไว้ได้แก่

1. ความเร็วของใบพาย เพื่อศึกษาความเร็วของใบพายในนักกีฬาที่มีทักษะสูง เพื่อนำไปพัฒนาเทคนิคของนักพายเรือให้มีความเร็วของใบพายใกล้เคียงกับนักกีฬาที่มีทักษะสูง
2. ความเร็วสัมพันธ์ระหว่างใบพายกับเรือ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเรือกับความเร็วของใบพายที่ส่งผลต่อความเร็วเรือ
3. ความเร็วของเรือ เพื่อศึกษาว่ามีตัวแปรใดบ้างที่มีผลกระทบต่อความเร็วของเรือ

4. มีการศึกษามุมการพาย เพื่อศึกษามุมการพายของนักพายเรือที่มีทักษะสูงใช้ มุมการพายเท่าใด โดยศึกษามุมลงน้ำและมุมพ่นน้ำ

5. ความเร็วเชิงมุมของพาย เพื่อหาความสัมพันธ์กับอัตราการพายที่จะส่งผลต่อ ความเร็วของเรือว่าการพายด้วยความเร็วเชิงมุมของพายเท่าใดจะทำให้เรือเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุด

6. การเคลื่อนที่ของด้ามจับพาย เพื่อศึกษาวิธีการเคลื่อนที่ของด้ามพายในขณะที่พาย

7. มุมปะทะของใบพาย เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาถึงแรงต้านทานของใบพาย

8. การเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางมวล เพื่อศึกษาระยะทางการเคลื่อนที่ของมวล ในการพายด้วยเทคนิคที่แตกต่างกันของนักพายเรือ

9. ความเร็วและความเร่งของนักพายเรือ เพื่อศึกษาความเร็วและความเร่งขณะ เคลื่อนตัวกลับว่าส่งผลต่อความเร็วของเรืออย่างไร

10. ระยะทางเชิงมุมของข้อต่อ เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของข้อต่อของนักพายเรือว่า สอดคล้องกับรูปแบบการออกแรงอย่างไร

11. ความเร็วและความเร่งของส่วนต่างๆ ของร่างกาย เพื่อศึกษาว่าความเร็วและ ความเร่งของส่วนต่าง ๆ ของร่างกายมีความสัมพันธ์กับรูปแบบการออกแรงและความเร็วเรือ อย่างไร

12. ความเร็วในการพายหนึ่งครั้ง เพื่อศึกษาว่าความเร็วในการพายหนึ่งครั้ง ส่งผลต่อความเร็วเรืออย่างไร

13. การเปลี่ยนแปลงความเร็วของเรือ เพื่อศึกษาว่าการพายด้วยความเร็วของเรือ ที่ไม่คงที่ส่งผลต่อเวลาในการพายอย่างไร

การศึกษาเกี่ยวกับไดนามิกของการพายเรือกรรเชียงมีวัตถุประสงค์เพื่อวัดแรงกระทำ กับระบบของการพายเรือทั้งแรงกระทำภายในและแรงกระทำภายนอก (Hoerner, 1965; Hartmann et al., 1993; Roth et al., 1993; Henry et al., 1995; Tuck and Lazauskas, 1996; Young, 1997; Kerr, 1998; Lazauskas, 1998; Lyttle et al., 2001; Owen et al., 2002; Dudhia, 2004) ประกอบด้วย การศึกษาเกี่ยวกับ

1. แรงจุดและแรงที่กระทำต่อเรือ เพื่อศึกษาถึงแรงจุดของเรือประเภทต่าง ๆ สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาเชิงทฤษฎีและใช้ในการออกแบบเรือ

2. แรงที่กระทำต่อใบพาย เพื่อศึกษาถึงแรงจุดของใบพาย สำหรับใช้เป็นข้อมูลใน การศึกษาเชิงทฤษฎีและใช้ในการออกแบบใบพาย

3. แรงที่กระทำต่อจุดศูนย์กลางมวลของนักพายเรือ เพื่อใช้ในการพัฒนาเทคนิค การเคลื่อนตัวของนักพายเรือเพื่อลดแรงต้านทาน

4. การวัดแรงปฏิบัติการที่กระทำบริเวณที่ยึดใบพาย เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบที่ยึดใบพายและใช้สำหรับปรับมุมเอียงของที่ยึดใบพาย
5. วัดค่าของแรงที่กระทำบริเวณด้ามจับพาย เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับความยาวของพาย
6. แรงปฏิบัติการบริเวณที่นั่ง เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของที่นั่งกับแรงที่เกิดขึ้นบริเวณที่นั่ง
7. แรงปฏิบัติการบริเวณที่วางเท้า เพื่อใช้ในการปรับมุมเอียงของที่วางเท้าเพื่อให้เกิดแรงสูงสุดขณะออกแรงพาย
8. การศึกษาแรงสูงสุดในการออกแรงพาย เพื่อศึกษาถึงความแข็งแรงของนักพายเรือและความสามารถในการออกแรงพายของนักพายเรือ

งานวิจัยในอดีตมีการศึกษาถึงผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการพายเรือ (Affeld et al., 1993; Brearley and Mestre, 1996) เพื่อค้นหาเทคนิคการเคลื่อนที่ที่ดีที่สุดรวมถึงการศึกษาปัจจัยที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการบาดเจ็บจากการพายเรือและการป้องกันการบาดเจ็บ (McNally et al., 2000; Reid and McNair, 2000; Hoerner et al., 2003; Jillian et al., 2003) ซึ่งเป็นการศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อพายเรือและข้อจำกัดในการพายเรือดังที่ Schneider (1981) ได้กล่าวไว้ว่าในการพายเรือกรรเชียงนั้นสิ่งที่แสดงถึงประสิทธิภาพของการพายเรือกรรเชียงคือการพายให้ได้เวลาน้อยที่สุดในระยะทางที่กำหนดซึ่งประกอบด้วยตัวแปรดังต่อไปนี้ อัตราการพาย ระยะทางการพาย เวลาการพาย เวลาการเคลื่อนตัวกลับ แรงกระทำต่อใบพาย มุมการพาย แรงต้านทานอากาศ แรงต้านทานน้ำ มวลของระบบ รูปแบบการออกแรงพาย

2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการพายเรือกรรเชียง

การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการพายเรือจำนวนมากต้องอาศัยเครื่องมือในการวัดซึ่งเกิดความยุ่งยากเป็นอย่างมากเพราะต้องทำการติดตั้งบนตัวเรือและข้อมูลที่ได้ยังมีความคลาดเคลื่อนรวมถึงราคาของอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดนั้นล้วนแต่มีราคาแพงทั้งสิ้น ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการพายเรือกรรเชียงขึ้นมาเพื่อใช้ทำนายความเร็วของเรือ ต่อมาเมื่อคอมพิวเตอร์มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจึงมีการหาคำตอบด้วยกรรมวิธีเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อทำนายความเร็วของเรือโดยนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการคำนวณ ต่อมาได้มีความพยายามที่จะทำการศึกษาเพื่อหาวิธีการพายเรือที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับนักกีฬา

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการพายเรือตั้งแต่อดีตจนกระทั่งปัจจุบันจะมีแนวคิดหลักคล้ายคลึงกันคือการสร้างสมการขึ้นมาเพื่อใช้ทำนายการเคลื่อนที่ของเรือดังนั้นสมการหลักที่ใช้คือสมการการเคลื่อนที่

$$(m_1 + m_2)\ddot{x} = F \quad (2-38)$$

เมื่อ F คือ แรงลัพธ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนเรือ m คือ มวลของระบบซึ่งประกอบด้วยเรือ ไบพายนักพายเรือ \ddot{x} คือ ความเร่งของระบบ สำหรับแรงที่กระทำต่อเรื่อนั้นประกอบด้วย F_{boat} และ F_{oar} โดยแรงต้านทานเรือจะแปรผันกับกำลังสองของความเร็ว

$$F_{\text{boat}} = C_1 V_b^2 \quad (2-39)$$

ซึ่งสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทาน (C_1) ได้จากข้อมูลที่มีผู้ทำการศึกษาไว้หรืออาจทำการศึกษาคทดลองโดยผู้วิจัยเองเพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในแบบจำลอง ในส่วนของแรงขับเคลื่อนนั้นงานวิจัยส่วนใหญ่ก็จะให้มีความสัมพันธ์กับกำลังสองของความเร็ว โดยสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานก็เช่นเดียวกันจะได้จากข้อมูลที่มีผู้ศึกษาไว้แล้วหรือทำการศึกษาค้นใหม่โดยผู้วิจัยเอง โดยสัมประสิทธิ์ของแรงที่กระทำบนไบพายในยุคแรก ของการศึกษาจะพิจารณาเพียงแรงจุดแรงเดียว ในงานวิจัยในยุคหลังมีการพิจารณาทั้งแรงจุดและแรงยกโดยพิจารณาให้เป็นฟังก์ชัน ของมุมปะทะ

$$F_{\text{oar}} = C_2 V_o^2 \quad (2-40)$$

เมื่อ u คือ ความเร็วสัมพัทธ์ของไบพายดังรูปที่ 2.18 หาได้จาก

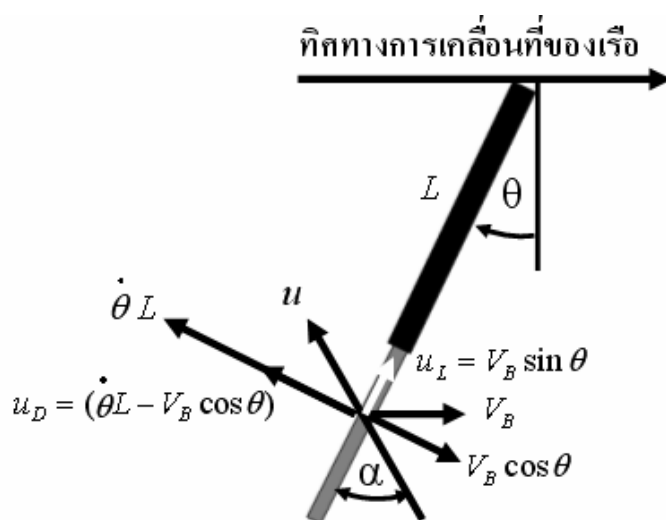
$$u = \sqrt{(u_D^2 + u_L^2)} \quad (2-41)$$

ความเร็วที่ตั้งฉากกับไบพายหาได้จาก

$$u_D = (\dot{\theta}L - V_B \cos \theta) \quad (2-42)$$

ความเร็วที่ขนานกับไบพายหาได้จาก

$$u_L = V_B \sin \theta \quad (2-43)$$



รูปที่ 2.18 ความเร็วของใบพาย

สิ่งที่แตกต่างกันของงานวิจัยส่วนใหญ่คือ การพิจารณาการเคลื่อนที่ของมวลนักพายเรือ งานวิจัยบางส่วนไม่พิจารณาการเคลื่อนที่ของมวล งานวิจัยเป็นจำนวนมากพิจารณาการเคลื่อนที่ของมวลจากพิกัดของร่างกายของนักพายเรือ และมีงานวิจัยบางส่วนที่พิจารณาการเคลื่อนที่ของนักพายเรือให้สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่เชิงมุมของด้ามพาย ทำให้ลักษณะของแบบจำลองมีความแตกต่างกันออกไปบ้าง งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการพายเรือประกอบด้วยงานวิจัยดังต่อไปนี้

Alexander (1925) ได้สร้างแบบจำลองทางกลศาสตร์ของการพายเรือขึ้น โดยกำหนดให้การเคลื่อนที่ของเรือเป็นการเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ พิจารณามวลของนักพายเรือเป็นแบบจุดและกำหนดให้ด้ามพายไม่สามารถโค้งงอได้ กำหนดให้แรงจุดเป็นสมการกำลังสองของความเร็วเรือ ในส่วนของใบพายกำหนดให้แรงลัพธ์เป็นแรงที่ตั้งฉากกับใบพายและกำหนดให้ขนาดของแรงเป็นสัดส่วนกับกำลังสองของความเร็วใบพาย กำหนดให้ตำแหน่งของขา หลัง แขน สัมพันธ์กับความเร็วเชิงมุมของพายเพื่อทำนายการเคลื่อนที่ของระบบโดยใช้วิธีการเชิงตัวเลข มีการเปรียบเทียบผลการศึกษากับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งพบว่ามีความสอดคล้องกับข้อมูลที่วัดได้ จุดเด่นของงานวิจัยนี้คือ การพิจารณาการเคลื่อนที่ของนักพายเรือโดยใช้ความสัมพันธ์ของตำแหน่งขา หลังและแขนมาพิจารณาการเคลื่อนที่ของนักพายเรือ จุดด้อยคือ พิจารณาแรงจุดบน ใบพาย เพียงแรงเดียว

Pope (1973) ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการพายเรือกระเชียงโดยกำหนดให้การเคลื่อนที่ของเรือเป็นการเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ และพิจารณาให้แรงจุดเป็นสมการกำลังสองของความเร็วยุติ ในการจำลองแบบของแรงกระทำบนใบพายนั้น พิจารณาเช่นเดียวกับ Alexander (1925) คือ คิดเพียงแรงจุดที่กระทำบนใบพาย กำหนดให้ความเร็วเชิงมุมของพายและความเร็วของจุดศูนย์กลางมวลเป็นอิสระในการเคลื่อนที่ กำหนดให้ความเร็วเชิงมุมของใบพายเป็นสัดส่วนเชิงเส้นกับความเร็วของจุดศูนย์กลางมวล จุดเด่นของงานวิจัยคือ เป็นแบบจำลองที่ไม่ซับซ้อน จุดด้อยของงานวิจัยนี้คือ ผลจากการศึกษามีความไม่สมจริงของแบบจำลองเนื่องจากพิจารณาเพียงแรงจุดที่กระทำกับใบพาย จะเห็นได้ว่าการศึกษาในช่วงแรกนั้นจะพิจารณาเพียงแรงจุดบนใบพายเพียงแรงเดียวดังเช่นการศึกษาของ Alexander (1925) และ Pope (1973)

Sanderson and Martindale (1986) สรุปว่าการเปลี่ยนแปลงเทคนิคการพายจะทำให้ความเร็วเรือสูงขึ้นภายใต้กำลังงานที่กำหนด และจากการคำนวณอัตราส่วนของกำลังงานที่ใช้ในการพายต่อพลังงานที่สูญเสียไปบริเวณใบพายพบว่า การเพิ่มขนาดของใบพายจะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังได้ศึกษาเพื่อดูว่านักกีฬาที่ตัวใหญ่กว่าจะได้เปรียบนักกีฬาที่ตัวเล็กหรือไม่ในการแข่งขัน จากการพิจารณาสัมประสิทธิ์ของแรงจุดพบว่ามีความแตกต่างกันแต่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ข้อดีของงานวิจัยคือสามารถกำหนดพลังงานสูงสุดที่ใช้ในการพาย

Millward (1987) ได้ทำนายเวลาในการแข่งขัน โดยกำหนดให้แรงที่กระทำบริเวณหูกรรเชียงซึ่งมีทิศทางเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของเรือมีรูปทรงแบบ sine ยกกำลังสองซึ่งเป็นฟังก์ชันกับเวลา โดยแรงนี้จะกระทำในช่วงครึ่งแรกของเวลาในการพายทั้งหมด ผลจากการศึกษาถูกนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการวัด พบว่ารูปแบบของแรงที่ใช้ในการพายรวมถึงระยะเวลาในการเคลื่อนตัวกลับส่งผลกระทบต่อความเร็วเรือ อย่างไรก็ตามแบบจำลองนี้ไม่สามารถใช้ทำนายแรงและการเคลื่อนที่ในการพายเรือจริงได้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะไม่มีการพิจารณาการเคลื่อนที่ของนักพายเรือ จุดด้อยของงานวิจัยนี้คือไม่มีการพิจารณาการเคลื่อนที่ของนักพายเรือในสมการซึ่งทำให้ไม่สมจริงและไม่สามารถนำไปใช้กับการพายเรือจริงได้

Philip (1991) ได้พิจารณาพลังงานจลน์ในการเคลื่อนที่ของนักพายเรือ ใช้สมการ ลากรานจ์ในการหาค่าเหมาะสมที่สุด จากการศึกษาพบว่ายังคงมีปัญหาค่าที่ไม่สมจริงเกี่ยวกับข้อมูลที่ใช้สำหรับแบบจำลอง โดยกำหนดให้นักพายเรือออกแรงดึงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ตั้งแต่เริ่มออกแรงพาย ซึ่งนักพายเรือไม่สามารถพายในลักษณะเช่นนี้ได้ตลอดการแข่งขัน ซึ่งในทางกลศาสตร์อาจถูกต้องแต่ถ้าพิจารณาทางสรีรวิทยาแล้วไม่สมจริง จุดด้อยของงานวิจัยนี้คือแบบจำลองที่ไม่สมจริงตามหลักสรีรศาสตร์ทำให้ผลของการศึกษาไม่สามารถหาข้อสรุปได้

Brearley (1996) ได้จำลองการเคลื่อนที่ของการพายเรือแปดฝีพายซึ่งได้รวมการเคลื่อนที่ของนักพายเรือเข้าไว้ด้วยและสามารถคำนวณ สมการในลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลง

ความเร็วของการพายในหนึ่งครั้ง และได้ใช้แบบจำลองในการศึกษาระบบการสะสมพลังงานเพื่อพัฒนาความสามารถของนักพายเรือ โดยได้ปรับปรุงแบบจำลองของ (Millward, 1987) โดยเพิ่มพจน์ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของนักกีฬาเข้าไป สำหรับข้อมูลแรงจุดของเรือ ใช้ข้อมูลการทดลองของ (Wellicome, 1967) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากเรือแปดฝีพาย จุดด้อยของงานวิจัยนี้คือแบบจำลองที่ไม่สมจริงของรูปแบบการออกแรงพาย

Vanholst (1996) ศึกษาการเคลื่อนที่ของมวลแยกออกเป็นสองส่วนโดยกำหนดให้เป็นฟังก์ชันกับมุมพาย พิจารณาแรงกระทำบนใบพายทั้งแรงจุดและแรงยก โดยพิจารณาให้แรงจุดและแรงยกเป็นสัดส่วนกับกำลังสองของความเร็วซึ่งเป็นฟังก์ชันของความหนาแน่นของน้ำ ขนาดของใบพายและมุมปะทะ กำหนดให้แรงบนใบพายในทิศทางเคลื่อนที่ของเรือและตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลเป็นฟังก์ชันของมุมพาย จุดเด่นในงานวิจัยนี้ คือการพิจารณาการเคลื่อนที่ของมวลแยกออกเป็นสองส่วนทำให้สามารถคำนวณงานที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของนักพายเรือได้

Lazauskas (1997) ได้สมมุติให้การพายเรือประกอบด้วยสองช่วงแยกจากกัน คือช่วงการออกแรงพายและช่วงเคลื่อนตัวกลับ การเคลื่อนที่ของนักกีฬาเป็นลักษณะการเคลื่อนที่แบบครึ่งช่วงฮาร์โมนิก โดยรูปแบบการออกแรงพายกำหนดให้แรงที่ออกมีรูปทรงแบบ sine ยกกำลัง 2 ซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลา ข้อมูลแรงจุดในงานวิจัยของ Lazauskas ใช้ข้อมูลจาก The 1957 ITTC Line โดย Form Drag คำนวณจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองซึ่งพัฒนาโดย (Scragg and Nelson, 1993) ซึ่งใช้สำหรับเรือแข่ง ส่วน Wave Resistance ใช้ของ Michell's (1898) ในส่วนของแรงจุดอากาศคำนวณโดยใช้ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองของ Jackson (1995) การหาผลเฉลยเชิงตัวเลข Lazauskas ใช้วิธี Fourth-Order Runge-Kutta Method จุดเด่นของงานวิจัยนี้มีการคำนวณแรงจุดในอากาศและแรงจุดในน้ำ จุดด้อยคือความไม่สมจริงของแบบจำลองของรูปแบบการออกแรงพาย

Abrahamsen (2001) ได้นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งออกแบบโดย (Brearley, 1996) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้กับนักกีฬาเรือพายทีมชาติออสเตรเลียประเภทแปดฝีพายมาประยุกต์ใช้กับนักกีฬาหญิงระดับมหาวิทยาลัยประเภทสี่ฝีพาย

Kobayashi and Kinoshita (2003) ได้ทำการทดสอบใบพายในถังทดสอบเพื่อคำนวณหาแรงที่กระทำบนใบพาย ในการจำลองแบบได้ใช้ข้อมูลของแรงที่ใช้ในการดึงด้ามพายและการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางมวลเป็นข้อมูลป้อนเข้า ผลการจำลองแบบมีความสอดคล้องกันดีกับการทดลองและโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองแบบสามารถใช้ทำนายความเร็วของเรือได้เป็นอย่างดี จุดเด่นของงานวิจัยนี้คือมีการทดลองวัดค่าแรงของใบพายเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณแรงบนใบพาย

Atkinson (2004) พิจารณาให้แรงจุดและแรงยกเป็นสัดส่วนกับกำลังสองของความเร็ว ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความหนาแน่นของน้ำ ขนาดของใบพายและมุมปะทะ พิจารณาให้ด้ามพายสามารถโค้งงอได้ และในงานวิจัยนี้ยังพิจารณาอุณหภูมิของน้ำ พิจารณามุมเอียงของใบพาย

กำหนดความสัมพันธ์ของความเร็วของขา หลังและแขนให้สัมพันธ์กับเรือ กำหนดให้แรงที่นักพายเรือ ออกแรงพายตั้งฉากกับด้ามพายซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลา และทำการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์

Andrea (2006) ใช้ข้อมูลที่ได้จากการเคลื่อนที่ของนักพายเรือ แรงจากใบพายและแรง ปฏิกริยาของของไหลในการสร้างสมการการเคลื่อนที่ และได้เขียน โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการทดลอง

Cabrera et al. (2006) ใช้ข้อมูลทางคิเนเมติกและแรงที่วัดได้จากการพายเรือจริง แบบจำลองส่วนใหญ่มีลักษณะคล้ายกับแบบจำลองของ Alexander (1925) โดยพิจารณาให้เป็นกลศาสตร์หนึ่งมิติ มวลของนักพายเรือมีลักษณะเป็นจุด พายไม่สามารถโค้งงอได้ พิจารณาให้แรงจุดของเรือและใบพายสัมพันธ์กับกำลังสองของความเร็ว กำหนดพิกัดของขา หลัง แขนของนักพายเรือ ในขณะที่เคลื่อนที่ไปด้านหน้าและหลัง สามารถคำนวณหาแรงและคิเนเมติกที่สอดคล้องกับข้อมูลของการพายเรือจริง ผลของการศึกษาพบว่าแบบจำลองสามารถทำนายความเร็วของเรือได้เป็นอย่างดี จุดเด่นของงานวิจัยนี้คือมีการนำค่าที่ได้จากการวัดในการพายเรือจริงมาใช้กับแบบจำลอง จุดด้อยคือต้องปรับแก้ตัวแปรบางส่วนเพื่อให้ผลการจำลองสอดคล้องกับค่าที่วัดได้จากการพายเรือจริง

2.5.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสรีรวิทยาของการพายเรือกรรเชียง

ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพายเรือนั้นมีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสรีรวิทยาของนักพายเรือซึ่งประกอบด้วยงานวิจัยดังต่อไปนี้

Motoshi et al. (1995) ศึกษาแบบจำลองทางชีวกลศาสตร์แบบ 3 มิติ เพื่อวัดข้อมูลทางคิเนเมติก และพัฒนาเครื่องมือเพื่อวัดแรงภายนอก รวมทั้งวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของการพายเรือกรรเชียง จากนั้นวัดแรงจากกล้ามเนื้อเพื่อนำไปใช้เปรียบเทียบกับกรพายเรือจริง

Alex (2005) ได้ศึกษากล้ามเนื้อไฟฟ้ากล้ามเนื้อโดยใช้ตัวรับสัญญาณบริเวณผิวเพื่อศึกษาความแตกต่างของกล้ามเนื้อบริเวณสะโพกและลำตัวของนักพายเรือจากการพายด้วยเครื่องกรรเชียงบก 2 ชนิดโดยติดตัวรับสัญญาณบริเวณกล้ามเนื้อ แขน หลัง ขา ในนักพายเรือระดับเยาวชนจำนวน 6 คน โดยให้นักพายเรือพาย 2 นาทีในระดับปานกลาง ผลการศึกษาพบว่าไม่มีความแตกต่างกันของเครื่องมือทั้งสองชนิด

Panjkota (2005) ศึกษาการทำงานของกล้ามเนื้อขณะพายเรือกรรเชียงบกจากนักพายเรือ 4 คน โดยวัดกล้ามเนื้อ แขน ขา น่องและได้ทำการวิเคราะห์คิเนเมติกของการพายเรือแบบ 2 มิติ เมื่อวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อได้แล้วก็นำไปทำการศึกษาถึงกิจกรรมของกล้ามเนื้อขณะพายเรือ

Panjkota (2006) ใช้กล้องวิดีโอเพื่อบันทึกการเคลื่อนไหวและรวมการวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเข้าไปด้วย จากนั้นนำข้อมูลที่ไปวิเคราะห์ท่าทางการพายและการออกแรงพายของกล้ามเนื้อ

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษาถึงรูปแบบการออกแรงพายที่ทำให้เรือเคลื่อนตัวอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือนำทางในการศึกษาวิจัยและใช้วิธีการเชิงตัวเลขช่วยในการคำนวณหารูปแบบการออกแรงพายที่ดีที่สุด โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถูกสร้างขึ้นภายใต้สมมุติฐานของการพายเรือจริง เช่น รูปแบบของการออกแรงพาย การเคลื่อนตัวของนักพายเรือ เป็นต้น ซึ่งในที่สุดทำให้ทราบค่าความเร็วของเรือและตัวแปรอื่น ๆ ที่ต้องการ เมื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณหาผลลัพธ์ ช่วยให้เกิดความรวดเร็วในการหาคำตอบจากสมการต่าง ๆ ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ หลังจากนั้นจะทำการตรวจสอบผลที่ได้จากการจำลองแบบกับงานวิจัยที่มีผู้ศึกษาไว้ก่อนหน้านี้นี้ โดยการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการพายเรือจริง เมื่อแน่ใจว่าโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีความถูกต้อง จึงนำโปรแกรมหาดังกล่าวไปทำการศึกษาเพื่อค้นหารูปแบบการออกแรงพายที่ทำให้เรือเคลื่อนตัวอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด สรุปขั้นตอนการศึกษาได้ดังนี้

1. การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการพายเรือกรรเชียง
2. การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการคำนวณ
3. การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์
4. การค้นหารูปแบบการพายที่เหมาะสมที่สุด

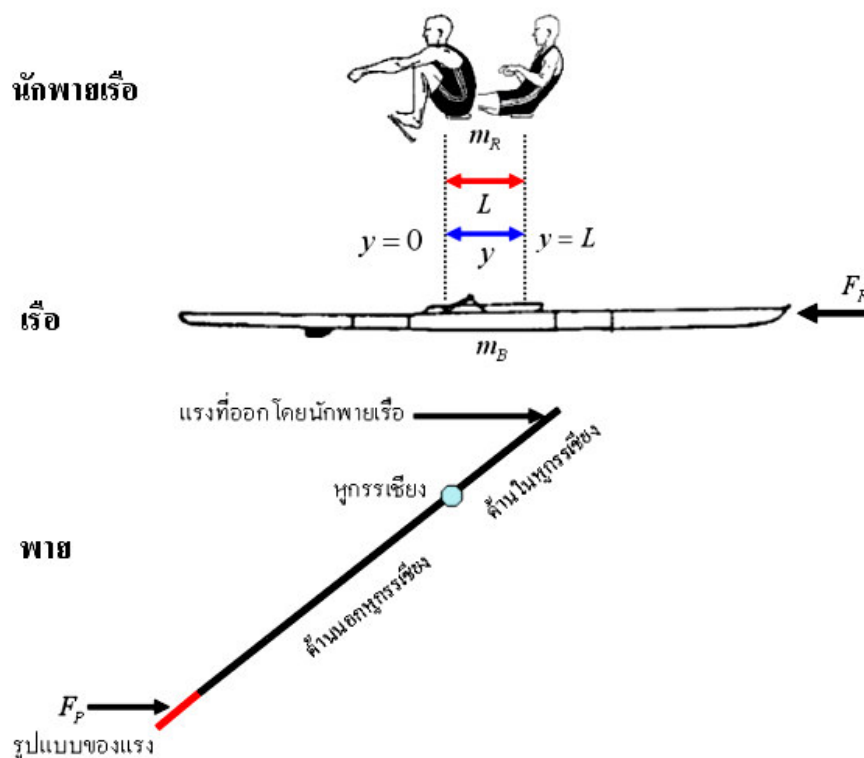
3.1 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการพายเรือกรรเชียง

ลักษณะโดยรวมทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับการพายเรือกรรเชียงแสดงในรูปที่ 3.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษาประกอบด้วย

1. นักพายเรือ
2. เรือ
3. ใบพาย

สำหรับนักพายเรือพิจารณาให้เป็นมวลที่สามารถเคลื่อนที่ได้สองทิศทาง (m_R) โดยจะเคลื่อนที่กลับไปมาในระหว่างการพาย เรือกำหนดให้เป็นมวลที่เคลื่อนที่ในทิศทางเดียว (m_B) ขณะที่เรือเคลื่อนที่ไปข้างหน้าจะมีแรงจุดกระทำกับเรือเพื่อต้านทานการเคลื่อนที่ (F_R) ท้ายสุดพาย

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนเรือโดยแรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนเรือ (F_p) คือแรงที่เกิดจากการออกแรงของนักพายเรือที่ส่งมายังด้ามพายและส่งต่อมาบริเวณใบพาย ตัวแปรเหล่านี้จะทำให้เรือเกิดความเร็วและความเร่งซึ่งจะนำไปสู่การคำนวณหาเวลาและระยะทางการเคลื่อนที่ของเรือต่อไป



รูปที่ 3.1 ระบบของการพายเรือกรรเชียง

การศึกษาการเคลื่อนที่ของเรือเพื่อนำไปสู่การคำนวณหาความเร็วของเรือกรรเชียงในงานวิจัยนี้ใช้สมการการเคลื่อนที่ในการศึกษาดังต่อไปนี้

3.1.1 สมการการเคลื่อนที่

การเคลื่อนที่ของเรือถูกกำหนดด้วยกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน ประกอบด้วย มวล ความเร่ง แรงขับเคลื่อนและแรงต้านทานเรือ (Hoslt, 2004)

$$(m_B + m_R)\ddot{Z} = F_p + F_R \quad (3-1)$$

เมื่อ m_B คือ มวลเรือ m_R คือ มวลนักพายเรือ \ddot{z} คือ ความเร่งของจุดศูนย์กลางมวลของระบบ F_p คือ แรงบนใบพายซึ่งใช้ขับเคลื่อนเรือ F_R คือ แรงต้านทานของน้ำที่กระทำต่อเรือ

สมการนี้ถูกสร้างขึ้นโดยมีสมมุติฐานดังนี้

1. ตัวเรือมีลักษณะเป็นจุด (Point Mass) ที่เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง (ไม่มีการส่ายหรือกระดก)
2. ใบพายเป็นใบที่แบนราบ (ไม่มีความโค้ง)
3. ไม่พิจารณาแรงต้านทานของอากาศ และ น้ำหนักใบพาย
4. กำหนดให้แรงต้านทานเรือจากน้ำเป็นสัดส่วนกับกำลังสองของความเร็วเรือ
5. นักกีฬามีทักษะในการพายเรือสูง ดังนั้นแรงดึงมือที่ส่งไปยังด้ามพาย (และใบพาย) จึงมีทิศเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของเรือ

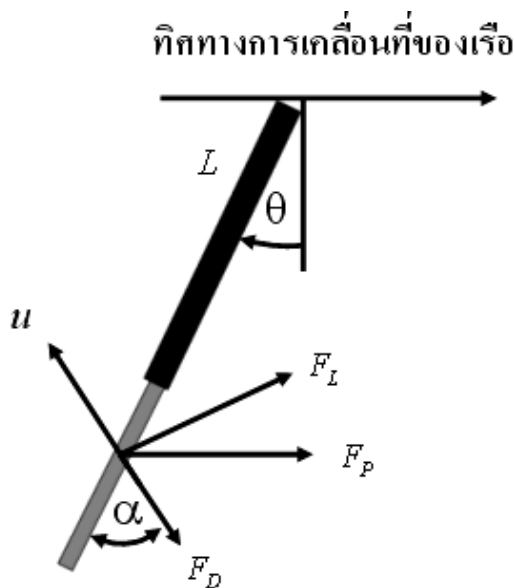
แรงบนใบพาย (ซึ่งเป็นแรงที่ใช้ในการขับเคลื่อน) สามารถคำนวณหาได้จากแรงยก (Lift) และแรงดูด (Drag) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความเร็วสัมพัทธ์และมุมปะทะของน้ำที่กระทำกับใบพาย ดังรูปที่ 3.2 ดังนั้น

$$F_p = \sqrt{F_D^2 + F_L^2} \quad (3-2)$$

$$F_D = 0.5C_D A \rho u^2 \quad (3-3)$$

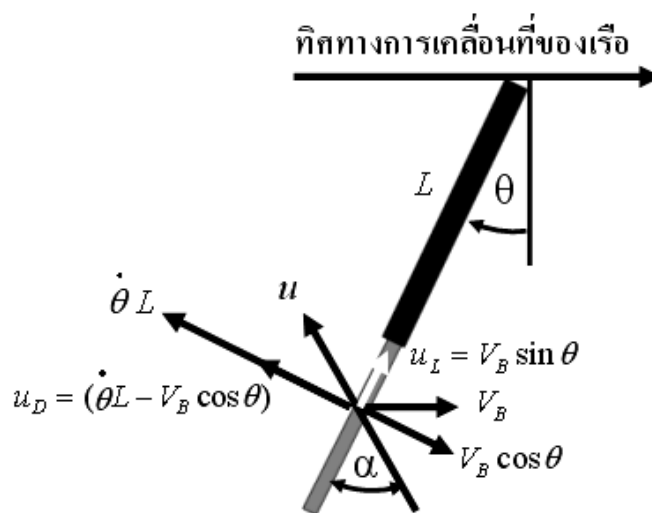
$$F_L = 0.5C_L A \rho u^2 \quad (3-4)$$

เมื่อ F_D คือ แรงดูดบนใบพาย F_L คือ แรงยกบนใบพาย u คือ ความเร็วของใบพาย A คือ พื้นที่ของใบพาย ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ C_D คือ สัมประสิทธิ์ของแรงดูด C_L คือ สัมประสิทธิ์ของแรงยก



รูปที่ 3.2 ความเร็วและแรงกระทำบนใบพาย

โดยที่ค่า u คือ ความเร็วสัมพัทธ์ของใบพายที่กระทำต่อน้ำนิ่ง ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ความเร็วของใบพาย

โดยที่ค่า V_B คือ ความเร็วสัมบูรณ์ของเรือ θ คือ มุมการพาย $\dot{\theta}$ คือ ความเร็วเชิงมุมของพาย L คือ ความยาวด้ามพายโดย u หาได้จาก

$$u = \sqrt{(u_D^2 + u_L^2)} \quad (3-5)$$

เมื่อ u_D คือ ความเร็วที่ตั้งฉากกับใบพาย หาได้จาก

$$u_D = (\theta L - V_B \cos \theta) \quad (3-6)$$

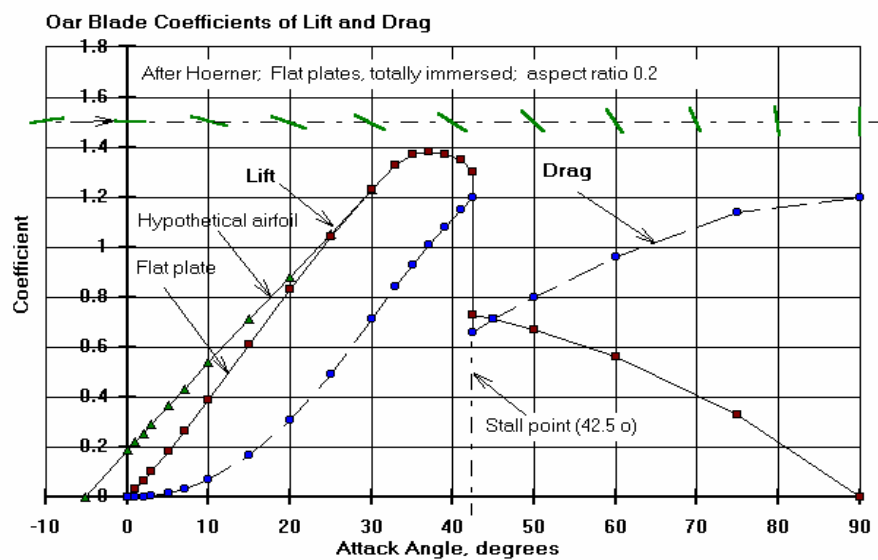
เมื่อ u_L คือ ความเร็วที่ขนานกับใบพายหาได้จาก

$$u_L = V_B \sin \theta \quad (3-7)$$

มุมปะทะของใบพายหาได้จาก

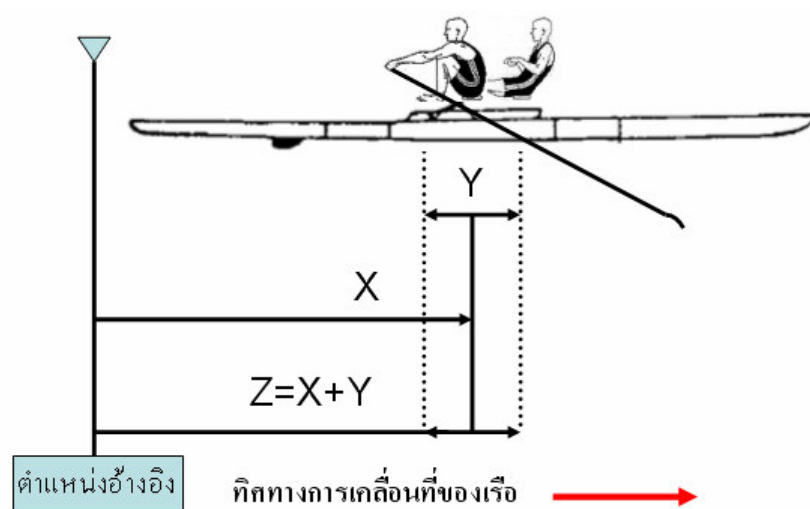
$$\alpha = \arctan \frac{u_D}{u_L} \quad (3-8)$$

สัมประสิทธิ์แรงต้านทานของใบพาย C_D , C_L เป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (เช่น Hoerner, 1965) โดยศึกษาการเคลื่อนที่ของใบพายในน้ำที่มุมปะทะต่าง ๆ เช่นที่แสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 สัมประสิทธิ์แรงยกและแรงยกดของใบพาย (Hoerner, 1965)

เพื่อความละเอียดและถูกต้องของแบบจำลองจะพิจารณามวลของระบบแยกออกเป็นสองส่วนคือ มวลของนักกีฬาที่กำหนดให้เป็นมวลที่เคลื่อนที่กลับไปได้ และมวลของเรือที่เคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้เพียงทิศเดียว ดังรูปที่ 3.5 โดยในช่วงออกแรงพายนักกีฬา (ซึ่งหันหลังให้กับทิศทางการเคลื่อนที่ของเรือ) จะเหยียดขาออกและเคลื่อนที่ไปทางหัวเรือ (y มีค่าเป็นบวก) ส่วนในช่วงใบพายพื้นน้ำนักกีฬาจะหดยาเคลื่อนที่ไปทางท้ายเรือ (y มีค่าเป็นลบ)



รูปที่ 3.5 มวลและพิกัดของระบบการพายเรือ

ความสัมพันธ์ระหว่าง x , y และ z หาได้จาก

$$z(m_B + m_R) = xm_B + (x + y)m_R \quad (3-9)$$

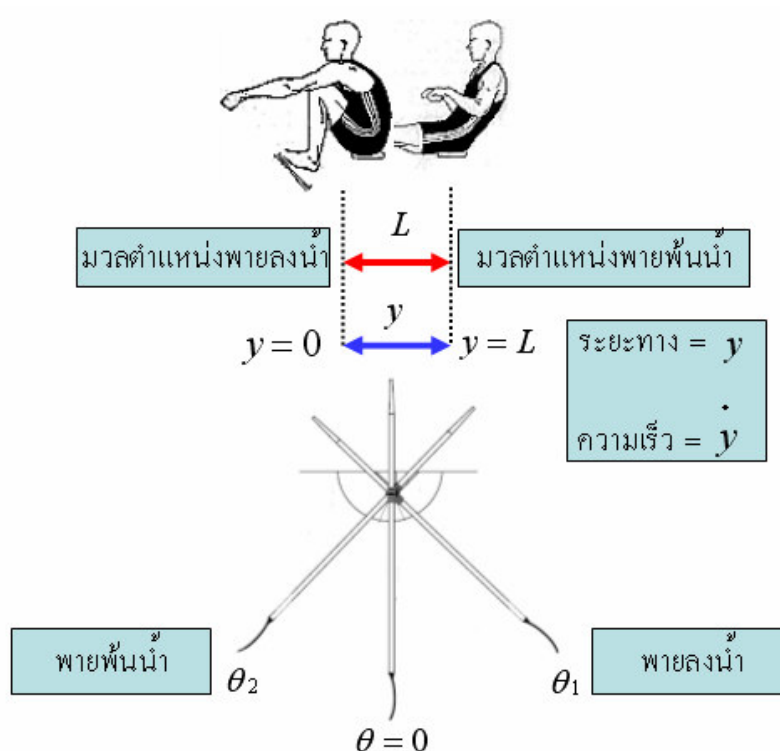
$$z = \frac{m_B}{m_B + m_R} x + \frac{m_R}{m_B + m_R} (x + y) \quad (3-10)$$

$$z = x + \frac{m_R}{m_B + m_R} y \quad (3-11)$$

$$x = z - \frac{m_R}{m_B + m_R} y \quad (3-12)$$

$$\dot{x} = z - \frac{m_R}{m_B + m_R} \dot{y} \quad (3-13)$$

การเคลื่อนที่ของนักพายเรือพิจารณาจาก ความสัมพันธ์ระหว่างมุมการพายกับ ระยะทางการเคลื่อนที่ของที่นั่ง โดยมุมการพาย θ วัดจากแนวตั้งฉากของหูกรรเชียง โดยกำหนดให้มุมใบพายลงน้ำ คือ θ_1 มีค่าน้อยกว่าศูนย์ มุมใบพายขึ้นน้ำ คือ θ_2 มีค่ามากกว่าศูนย์ มุมการพายทั้งหมดคำนวณจาก $\theta_t = \theta_2 - \theta_1$ ระยะทางการเคลื่อนที่ของที่นั่งคือ y ค่า $y = 0$ เมื่อ $\theta = \theta_1$ และ $y = L$ เมื่อ $\theta = \theta_2$ ที่นั่งจะเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทาง L ดังรูป 3.6



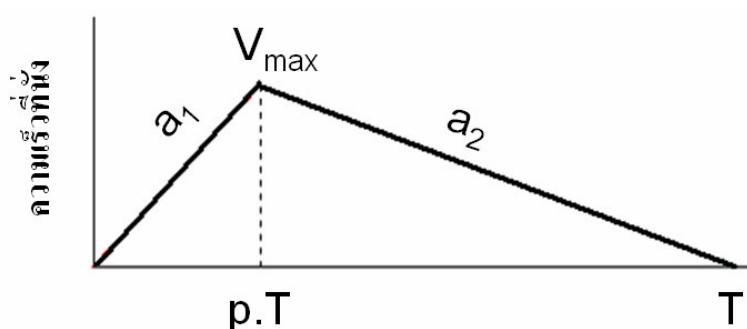
รูปที่ 3.6 การเคลื่อนที่ของนักพายเรือ (ทวิช จิตรสมบุญ, 2547)

การคำนวณหาตำแหน่งของที่นั่งของนักพายเรือในช่วงออกแรงดึงพายในแบบจำลองนี้กำหนดให้เป็นแบบตรีโกณมิติคือ

$$y = \frac{L}{2} * [1 - \cos(\frac{\pi}{\theta_t} (\theta - \theta_1))] \quad (3-14)$$

การคำนวณหาความเร็วของที่นั่งในช่วงออกแรงดึง สามารถหาได้จากการหาอนุพันธ์ของสมการ (3-14)

ในการเคลื่อนตัวกลับ กำหนดให้ความเร็วของที่นั่งเป็นฟังก์ชันกับเวลา เวลาการเคลื่อนตัวกลับไปด้านหน้าเท่ากับ T ความเร็วสูงสุดของที่นั่ง (V_{\max}) เกิดขึ้นที่เวลา pT ซึ่งตรงกับตำแหน่ง $(1-p)*L$ เมื่อ ระยะทางการเคลื่อนที่ของที่นั่งคือ $L = \frac{1}{2} * T * V_{\max}$ และ p คือตัวแปรการคูณมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ความเร็วของที่นั่งช่วงเคลื่อนตัวกลับ

ความเร่งของที่นั่งหาได้จาก

$$a_1 = \frac{V_{\max}}{p * T} \quad (3-15)$$

$$a_2 = \frac{V_{\max}}{T - p * T} \quad (3-16)$$

หลังจากใช้วิธีการทางพีชคณิตสามารถคำนวณหาความเร็วของที่นั่งได้จาก

$$y \geq p * L \quad \dot{y} = \sqrt{2 * (L - y) * a_1} \quad (3-17)$$

$$y < p * L \quad \dot{y} = \sqrt{2 * y * a_2} \quad (3-18)$$

3.1.2 แรงลุดที่กระทำต่อตัวเรือ

แรงลุด F_R ที่กระทำต่อเรือสามารถเขียนให้เป็นฟังก์ชันของความหนาแน่นของของไหล ρ พื้นที่หน้าตัด A และความเร็ว สามารถเขียนได้ดังนี้ $F_R = 0.5CA\rho u^2$ เมื่อ C ขึ้นอยู่กับ Reynolds Number และรูปทรงของวัตถุ (Fox and McDonald, 1992) และจากการทดสอบของ Hoerner (1965) สันนิษฐานว่าสัมประสิทธิ์ของแรงลุดสัมพันธ์กับกำลังสองของความเร็วเรือ ดังนั้นแรงลุดของเรือสามารถเขียนได้เป็น

$$F_R = CV_B^2 \quad (3-19)$$

เมื่อ C คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านทานเรือซึ่งมีค่าคงที่เท่ากับ $2.97 \text{ N}/(\text{m/s})^2$ สำหรับเรือกรรเชียงประเภทหนึ่งคนพาย (Abbott and Wilson, 1995)

3.1.3 งานของระบบ

กำลังงานในการเคลื่อนที่ของเรือหาได้จาก

$$P_B = CV_B^3 \quad (3-20)$$

งานในการเคลื่อนที่ของเรือหาได้จาก

$$W_B = \int_0^T P_B dt \quad (3-21)$$

เมื่อ T คือ เวลาในการพายหนึ่งช่วง P_B คือ กำลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนเรือ W_B คือ งานที่ใช้ในการขับเคลื่อนเรือ

กำลังงานบริเวณใบพายหาได้จาก

$$P_{bl} = F_p (\dot{\theta} L - V_B \cos \theta) \quad (3-22)$$

กำลังงานบริเวณใบพายหาได้จาก

$$W_{bl} = \int_0^T P_{bl} dt \quad (3-23)$$

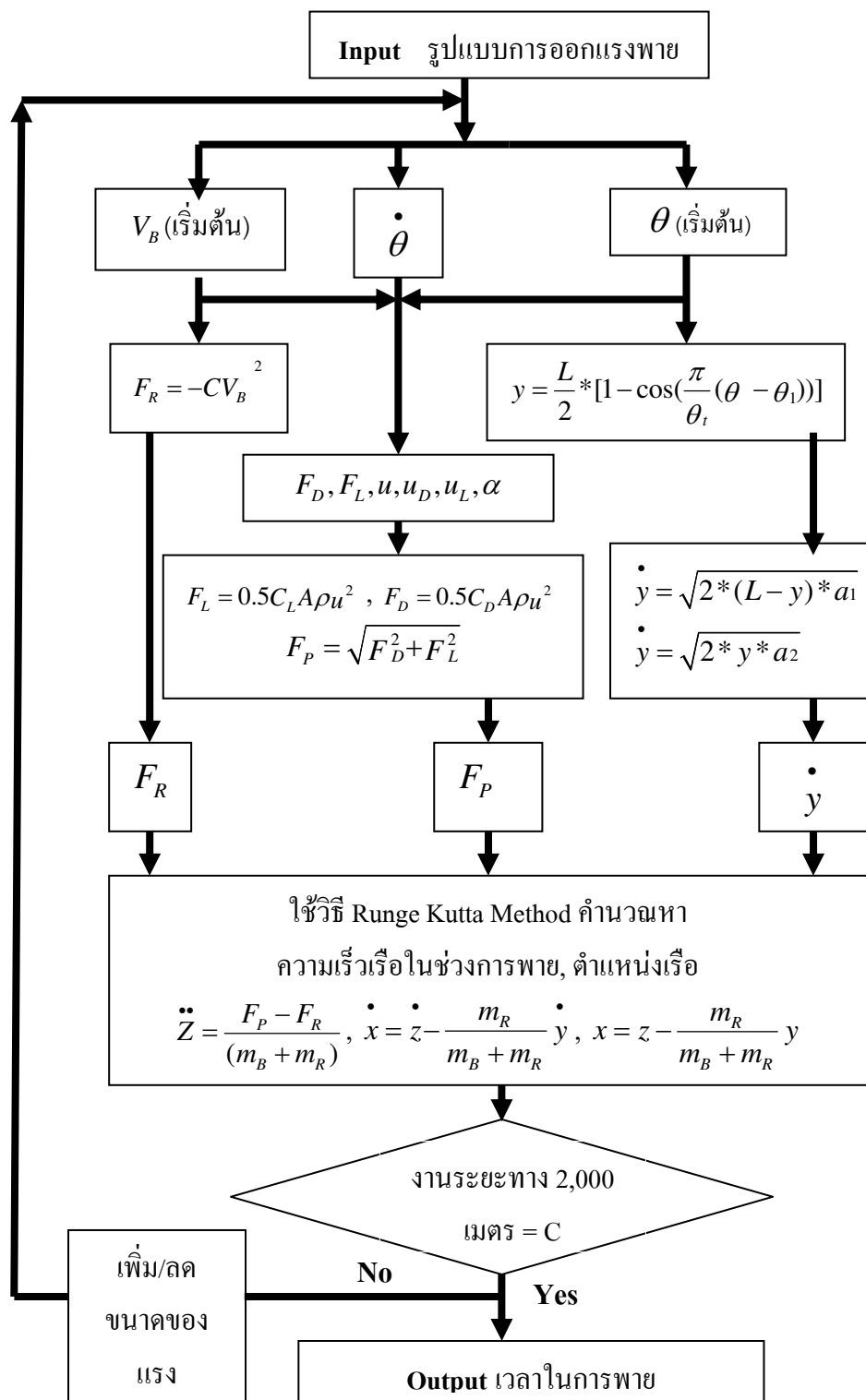
เมื่อ T คือ เวลาในการพาย P_{bl} คือ กำลังงานบริเวณใบพาย ($P_{bl} = 0$ ในช่วงเคลื่อนตัวกลับ)
 W_{bl} คือ งานบริเวณใบพาย

งานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของนักพายเรือกำหนดให้เป็น

$$W_R = 0.5 \frac{m_B m_R}{m_B + m_R} V_{\max}^2 \quad (3-24)$$

3.2 การจำลองการพายเรือ

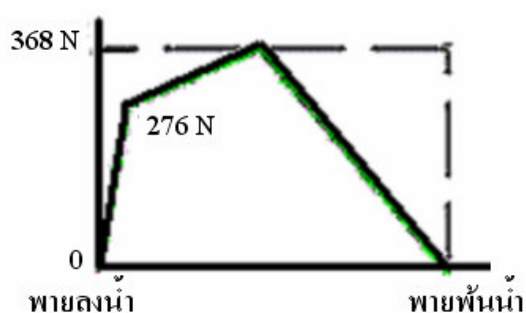
จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการพายเรือ นำมาเขียนคำสั่งบนโปรแกรม MATLAB (MathWorks, 2004) เพื่อใช้ในการคำนวณหาความเร็วของเรือ เป็นฟังก์ชันของการออกแรงพาย (Force Function) จากสมการที่ 3.1-3.25 จะเห็นได้ว่ามีตัวแปรในสมการที่ไม่ทราบค่าหลายตัว ได้แก่ F_D , F_L , F_R , u , u_D , u_L , $\dot{\theta}$, θ , y , \dot{y} , P_B , W_B , P_{bl} , W_{bl} , W_R , η , a_1 , a_2 และ α ส่วนตัวแปรที่ทราบค่าคือ F_p , V_B (เริ่มต้น) C_D , C_L ดังนั้นจึงสามารถใช้สมการต่าง ๆ หาค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่าได้ด้วยวิธีการเชิงตัวเลข เมื่อทราบค่าตัวแปรทั้งหมดแล้วนำไปแทนค่าลงในสมการที่ (3-1) จากนั้นคำนวณหาความเร็วสุดท้ายของเรือโดยการอินทิเกรตสมการของการเคลื่อนที่ (สมการ 3-1) โดยใช้วิธี Runge-Kutta Method จนกระทั่งความเร็วของเรือเข้าสู่สภาวะคงที่ จากนั้นนำข้อมูลการพายครั้งสุดท้ายที่ได้ไปใช้ในการคำนวณกำลังงานและงานที่ใช้ในระบบการพายเรือต่อไป การคำนวณหาความเร็วของที่นั่งในช่วงออกแรงดึงคำนวณจากการหาอนุพันธ์ของสมการที่ (3-14) ทำให้ได้ความเร็วของที่นั่งเพื่อใช้คำนวณหางานในการเคลื่อนที่ในช่วงออกแรงดึงพาย ส่วนการเคลื่อนตัวกลับนั้นกำหนดให้ความเร็วเป็นฟังก์ชันของเวลาเมื่อทราบระยะทางการเคลื่อนที่ สามารถคำนวณหาความเร็วของที่นั่งได้จากสมการ (3-17 และ 3-18) เพื่อใช้คำนวณหางานในการเคลื่อนที่ของที่นั่งในช่วงเคลื่อนตัวกลับต่อไปวงจรคำนวณในภาพรวมเป็นดังในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แผนภูมิขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

3.3 การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม

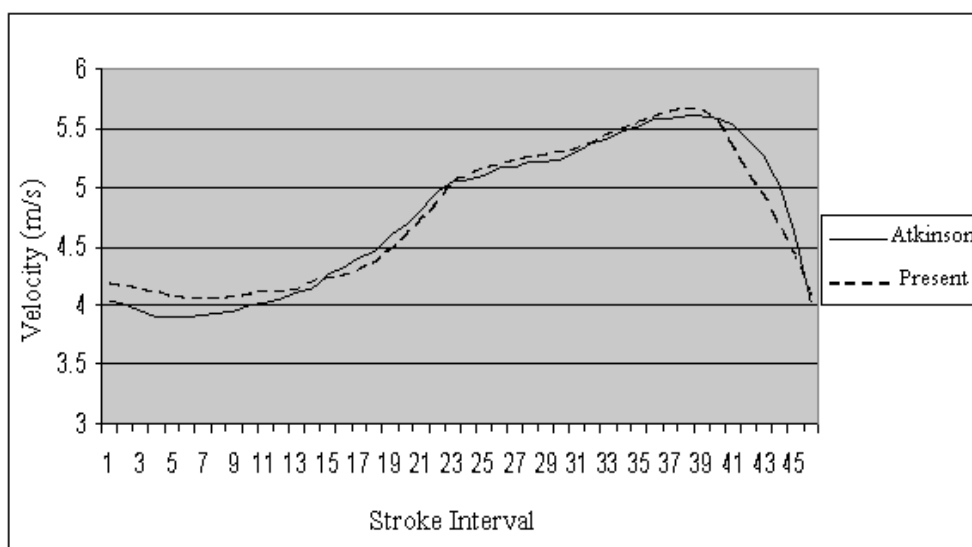
งานวิจัยนี้ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้นมาเพื่อช่วยในการคำนวณผลลัพธ์ จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม โดยการเปรียบเทียบผลการคำนวณเชิงตัวเลขที่ได้จากโปรแกรมกับผลการคำนวณเชิงตัวเลขที่ได้จากการศึกษาของ Atkinson (2004) ซึ่งเป็นการคำนวณความเร็วของเรือกรรเชียงจากข้อมูลการพายเรือจริงและได้รับการยอมรับว่ามีความน่าเชื่อถือ โดยรูปแบบการออกแรงพายมีลักษณะดังรูปที่ 3.9 ส่วนข้อมูลของตัวแปรที่ใช้ในการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 3.1 ผลจากการศึกษาแสดงในรูปที่ 3.10 และตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.9 รูปแบบการออกแรงพายที่ใช้ตรวจสอบโปรแกรม (Atkinson, 2004)

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรคงที่สำหรับตรวจสอบโปรแกรม

ตัวแปร	ผล
มวลนักพายเรือ (ก.ก)	90.000
มวลเรือ (ก.ก)	14.000
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	368.000
ความยาวด้ามพาย (m)	2.000
มุมพายลงน้ำ (องศา)	-1.180
มุมพายขึ้นน้ำ (องศา)	0.640
ขนาดใบพาย (ตารางเมตร)	0.143



รูปที่ 3.10 ความเร็วของเรือในการพายหนึ่งครั้ง (Atkinson, 2004)

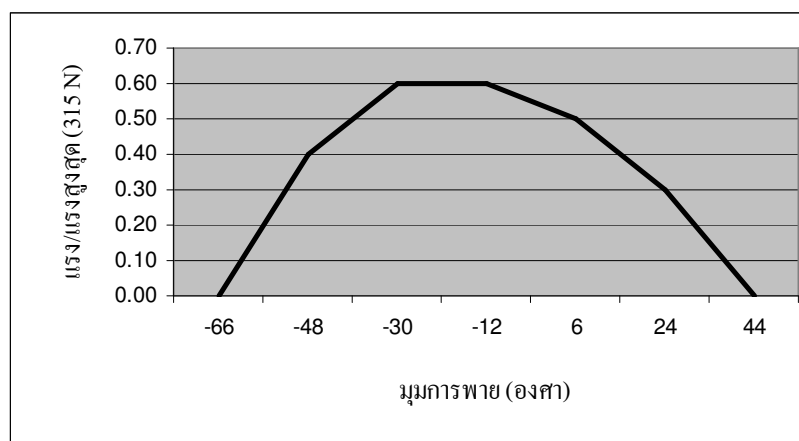
ตารางที่ 3.2 ผลลัพธ์จากการตรวจสอบโปรแกรม

ตัวแปร	Atkinson	Present	ความแตกต่าง
ความเร็วเฉลี่ยของเรือ	4.731	4.730	-0.021%

3.4 การหารูปแบบการพายที่เหมาะสมที่สุด

งานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตเกี่ยวกับการศึกษาการพายเรือกรรเชียง ศึกษาโดยอาศัยแนวคิดทางกลศาสตร์หรือทางสรีรวิทยาเป็นหลัก งานวิจัยนี้มุ่งเน้นความสัมพันธ์ระหว่างหลักกลศาสตร์ควบคู่ไปกับหลักสรีรวิทยาของการพายเรือ ทำให้สามารถวิเคราะห์เทคนิคการพายและสามารถอธิบายให้เห็นว่ารูปแบบการพายแบบใดสามารถพายได้จริง ได้พิจารณารูปแบบการออกแรงพาย 4 แบบซึ่งมีรูปแบบแตกต่างกัน โดยแรงบริเวณใบพายเป็นผลมาจากการออกแรงของกล้ามเนื้อมัดต่าง ๆ ของนักพายเรือที่ส่งถ่ายไปยังด้ามพายและส่งต่อไปยังใบพาย ดังนั้นแรงบริเวณด้ามพายจะมีรูปทรงคล้ายกับแรงบริเวณใบพาย ต่างกันที่ขนาดของแรงด้วยอัตราส่วนของความยาวด้ามพายในส่วนนอกและส่วนในของหุกรรเชียง ทั้งนี้เป็นไปตามหลักการของคานสมดุล นักกีฬาแต่ละคนจะมีรูปแบบการออกแรงพายที่มีลักษณะเฉพาะตัว ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและจังหวะในการออกแรงพาย โดยที่รูปแบบการออกแรงพายเป็นฟังก์ชันของมุมพาย ดังนั้นพื้นที่ใต้กราฟของรูปแบบการออกแรงพาย จึงเป็นส่วนสำคัญโดยตรงกับงานที่นักกีฬาใช้ในการพายแต่ละครั้ง ในการหารูปแบบที่เหมาะสมที่สุดของการเคลื่อนตัวของใบพายนั้นในงานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 4 แบบคือ

1. รูปแบบการออกแรงพายแบบสุ่ม (แบบ ก)
 2. รูปแบบการออกแรงพายจากการผสมกำลังของกล้ามเนื้อขา หลังและแขนตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ sine ยกกำลังสอง (แบบ ข)
 3. รูปแบบการออกแรงพายจากการผสมกำลังของกล้ามเนื้อขา หลังและแขนที่ได้จากการวัดจริงของนักกีฬาโอลิมปิก (แบบ ค)
 4. รูปแบบการออกแรงพาย จากเครื่องจำลองการพายเรือ โดยนักกีฬาทีมชาติไทย (แบบ ง)
- ในช่วงเริ่มต้นของการศึกษานี้ ได้กำหนดรูปแบบการออกแรงพายแต่ละครั้งของแต่ละวิธีการพายดังกล่าว ให้มีพื้นที่ใต้กราฟเท่ากัน แต่ในภายหลังได้หาค่าแรงด้วยค่าตัวคูณเพื่อให้ค่าของงานรวมในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ของทุกวิธี มีค่าเท่ากัน
- ตัวอย่างรูปแบบการออกแรงพาย (ที่ใบพาย) ดังแสดงในรูปที่ 3.11



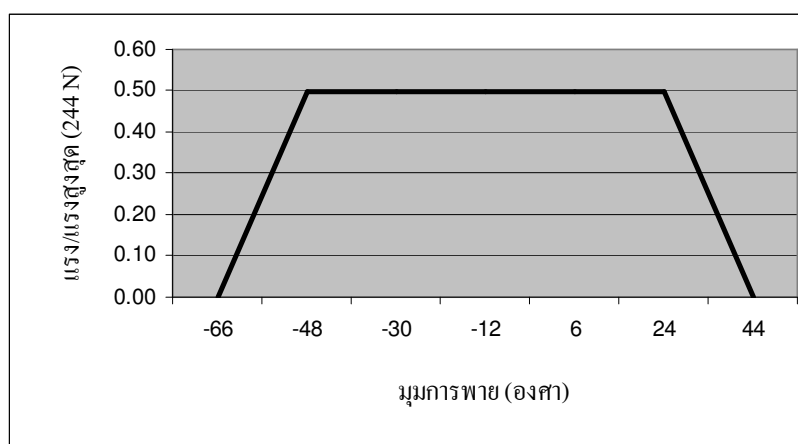
รูปที่ 3.11 แรงบริเวณใบพาย

จากรูปที่ 3.11 แสดงแรงพายเป็นฟังก์ชันของมุมการพาย โดยกำหนดให้มุมการพายที่ใบพายตั้งฉากกับลำเรือมีค่าเป็นศูนย์ ส่วนมุมการพายที่ใบพายอยู่ด้านหัวเรือ และ ท้ายเรือ มีค่าเป็นลบ และเป็นบวกตามลำดับ ประเภทของรูปแบบการออกแรงพายที่ศึกษาในการวิจัยนี้มี 4 ประเภทดังนี้

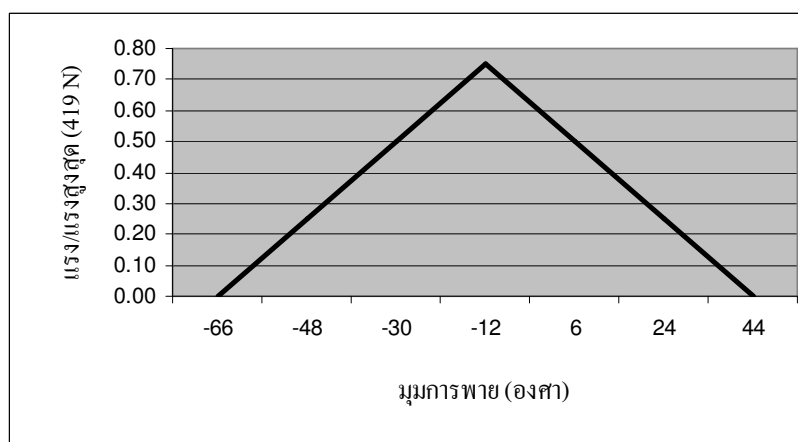
3.4.1 รูปแบบการออกแรงพายแบบสุ่ม (แบบ ก)

รูปแบบนี้เป็นรูปแบบการออกแรงพายที่กำหนดขึ้นจากการเขียนคำสั่งบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งกำหนดเงื่อนไขให้แต่ละรูปแบบมีพื้นที่ใต้กราฟเท่ากัน ซึ่งหมายถึงงานในการพายแต่ละครั้งมีค่าเท่ากัน ทั้งนี้โดยการสุ่มทดลองหลายรูปแบบ กล่าวคือ รูป 3, 4, 5, 6, และ 7 เหลี่ยม ดังแสดงตัวอย่างในรูป 3.11-3.13 ขั้นตอนการสร้างกราฟเหล่านี้เริ่มจากการกำหนดจุด 7 จุด บนแกนราบ โดยจุดที่ 1 และจุดที่ 7 อยู่ที่ -66 องศา และ +44 องศา เสมอ ส่วนอีก 5 จุด กระจายกัน

อยู่ในช่วงห่างเท่ากันระหว่างสองจุดนี้ จากนั้นแปรผันค่าแรงของ (ในแกนตั้ง) แต่ละจุด โดยเพิ่มค่าขึ้นลงครั้งละ 0.1 จนกว่าจะมีพื้นที่ใต้กราฟเท่ากับค่าที่กำหนด ในที่นี้กำหนดให้พื้นที่มีค่าเท่ากับ 3.5 หน่วย เนื่องจากความยาวฐานมีค่าเท่ากันเสมอ ดังนั้นถ้าความสูงรวมของแกนตั้งทั้ง 7 แกน มีค่าเท่ากันก็ถือว่ากราฟมีพื้นที่เท่ากัน ค่า 3.5 เป็นค่าที่ได้จากการกำหนดให้ทุกแกนตั้งมีค่า 0.5 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยกลางของการออกแรง และยังมีพื้นที่ที่เท่ากับการออกแรงแบบสามเหลี่ยมหน้าจั่วที่มีแรงสูงสุดเท่ากับ A นิวตัน (รูป 3.12 A มีค่าประมาณ 244.5 นิวตัน รูป 3.13 A มีค่าประมาณ 419 นิวตัน) ที่มุมตรงกลางฐานอีกด้วย โดยวิธีการปรับค่าที่เป็นขั้วทีละ 0.1 แบบนี้จะทำให้ได้รูปแบบการออกแรงพายจำนวนทั้งหมด 7,250 รูปแบบ



รูปที่ 3.12 รูปแบบการออกแรงพายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู



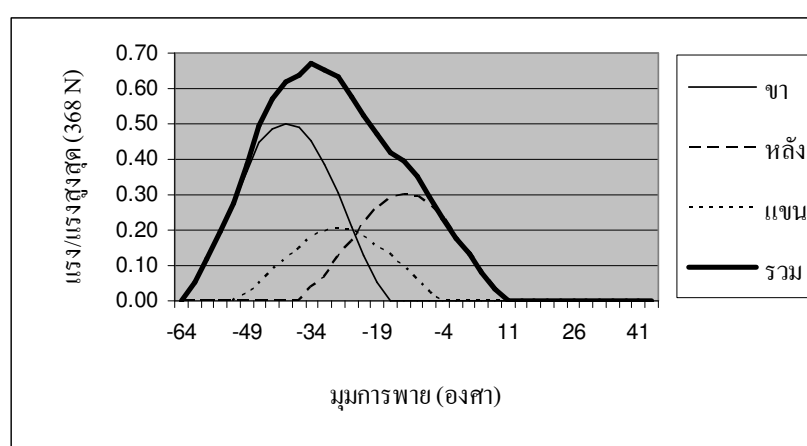
รูปที่ 3.13 รูปแบบการออกแรงพายรูปสามเหลี่ยม

3.4.2 รูปแบบการออกแรงพายจากการผสมกำลังของกล้ามเนื้อขา หลัง และแขน ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ sine ยกกำลังสอง (แบบ ข)

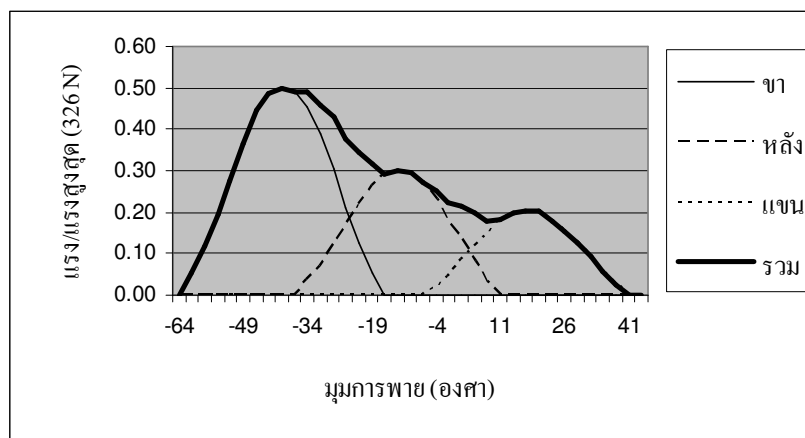
รูปแบบนี้ได้จากการจำลองแรงมัดกล้ามเนื้อขา-หลัง-แขน ด้วยสมการ sine ยกกำลังสอง $F_p(\theta) = F \sin^2(\pi\theta/\theta_c)$ (Lazauskas, 1997) ดังนั้นแต่ละมัดกล้ามเนื้อจะมีรูปทรงของกราฟคล้ายกัน ต่างกันที่ความสูงและปริมาณมุมที่ออกแรง ทั้งนี้ตามข้อกำหนดทางสรีรวิทยาที่แตกต่างกัน แรงรวมในการพายได้จากการนำแรงย่อยทั้งสามรวมกัน วิธีนี้จะมีความสมจริงมากกว่าแบบ ก

เพื่อเปรียบเทียบศึกษา ได้ทำการแปรผันตำแหน่งการออกแรงของกล้ามเนื้อแต่ละมัดไปที่มุมการออกแรงต่าง ๆ โดยการเลื่อนกราฟแรงทั้งสามไปมาทางแกนราบ ดังแสดงตัวอย่างสองลักษณะในรูปที่ 3.14 และ 3.15 ซึ่งเป็นตัวอย่างการแปรผันแรงกล้ามเนื้อขา-หลัง-แขนที่ใช้ออกแรงพาย ได้ทำการเปลี่ยนมุมการพายจนได้รูปแบบที่สอดคล้องกับเงื่อนไข “งานเท่ากัน” จำนวนทั้งหมด 9,261 รูปแบบ ทั้งนี้โดยการแบ่งจุดกำหนดบนแกนอนที่ห่างเท่ากันจำนวน 37 จุด และกำหนดจุดในช่วงของกราฟแรงกล้ามเนื้อแต่ละมัดจำนวน 16 จุด ดังนั้นกล้ามเนื้อแต่ละมัดสามารถแปรผันมุมการออกแรงได้ โดยการเลื่อนกราฟไปมาได้มัดละ 21 จุด ($37-16 = 21$) ซึ่งทำให้ได้จำนวนลักษณะการทดลองทั้งหมด $9,261 (= 21^3)$ ลักษณะ

ในขั้นแรกกำหนดให้พื้นที่ใต้กราฟของแต่ละลักษณะมีค่าเท่ากัน แต่เมื่อทำการศึกษาโดยกำหนดให้งานรวม (Total Work) ของการพายระยะทาง 2,000 เมตรเท่ากัน พื้นที่ใต้กราฟแต่ละช่วงการพายก็ไม่จำเป็นต้องเท่ากันอีกต่อไป



รูปที่ 3.14 การเลื่อนตำแหน่งแรงกล้ามเนื้อแขน 1



รูปที่ 3.15 การเลื่อนตำแหน่งแรงกล้ามเนื้อแขน 2

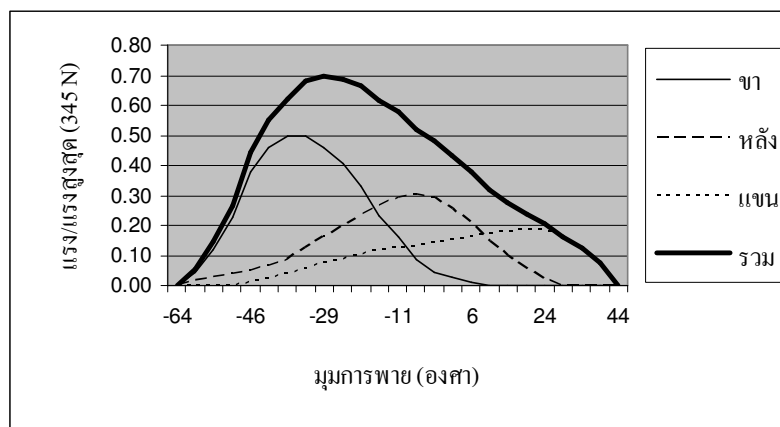
3.4.3 รูปแบบการออกแรงพายจากการผสมกำลังของกล้ามเนื้อขา หลัง และแขน ที่ได้จากการวัดของนักพายเรือโอลิมปิก (แบบ ค)

รูปแบบนี้ได้จากคลื่นไฟฟ้าที่วัดได้จากแรงกล้ามเนื้อขา หลัง แขน ของนักกีฬาโอลิมปิก (Valery, 2006) ในการศึกษาได้ทำการแปรผันเพิ่มเติมโดยการเลื่อนตำแหน่งการออกแรงของกล้ามเนื้อแต่ละมัดไปที่มุมการออกแรงพายต่าง ๆ จำนวนทั้งหมด 128 รูปแบบ สองตัวอย่างของการแปรผันดังรูปที่ 3.16 และ 3.17 ซึ่งเป็นตัวอย่างการแปรผันแรงกล้ามเนื้อหลังในขณะที่แรงกล้ามเนื้อขาและแขนอยู่กับที่ มุมออกแรงบนแกนนอน (ซึ่งมีทั้งสิ้น 110 องศา) กำหนดให้มีจำนวน 25 จุด โดยกำหนดให้กราฟกล้ามเนื้อขามี 17 จุด กราฟกล้ามเนื้อหลัง 21 จุด กราฟกล้ามเนื้อแขน 21 จุด ดังนั้นกล้ามเนื้อแต่ละมัดสามารถเลื่อนไปมาได้ดังนี้ : ขา 8 จุด, หลัง 4 จุด และ แขน 4 จุด ซึ่งจะได้รูปแบบการออกแรงทั้งหมด ที่มีพื้นที่ได้กราฟเท่ากัน จำนวนทั้งสิ้น 128 จุด ($8 \times 4 \times 4$)

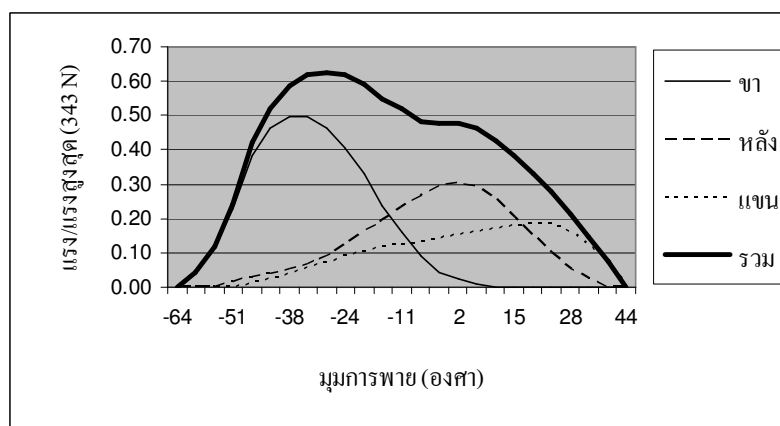
3.4.4 รูปแบบการออกแรงพายจากเครื่องจำลองการพายเรือโดยนักพายเรือทีมชาติไทย (แบบ ง)

รูปแบบนี้ได้จากเครื่องจำลองการพายเรือกรรเชียง (ชื่อเครื่อง Cocept 2 รุ่น D สถานที่ติดตั้ง สถานกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี) ซึ่งออกแรงโดยนักกีฬาทีมชาติไทย การศึกษาครั้งนี้กำหนด 25 จุด แต่ละจุดมีความห่างเท่ากัน จุดแรกอยู่ที่ตำแหน่งมุมพาย -66 องศา จุดสุดท้ายอยู่ที่ตำแหน่งมุมพาย +44 องศา วิธีการนี้ใช้ในการคำนวณหาแบบการออกแรงพายที่ดีที่สุดไม่ได้เนื่องจากไม่สามารถแปรผันตำแหน่งการออกแรงของกล้ามเนื้อแต่ละมัดที่ใช้ในการพายเพราะ กราฟของแรงที่ได้จากเครื่องจำลองการพายเรือเป็นแรงรวมที่ออกแรง

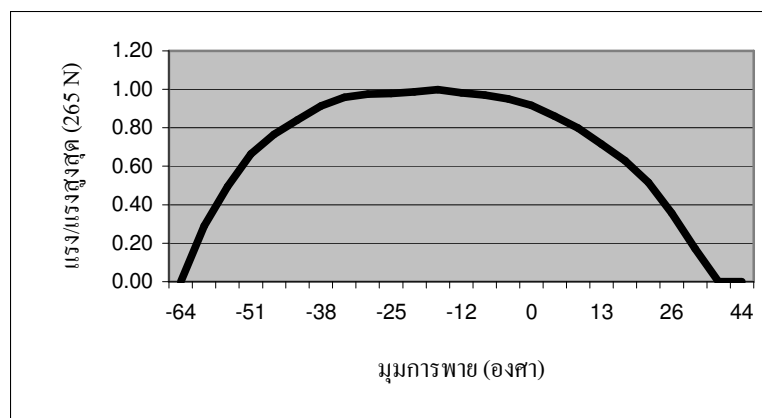
โดยนักพายเรือ แต่วิธีการนี้จะเป็นประโยชน์ในการเปรียบเทียบกับกรณีอื่น รูปแบบการออกแรงพายที่ได้จากนักพายเรือทีมชาติไทยแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.16 การเลื่อนตำแหน่งแรงกล้ามเนื้อหลัง 1



รูปที่ 3.17 การเลื่อนตำแหน่งแรงกล้ามเนื้อหลัง 2



รูปที่ 3.18 รูปแบบการออกแรงพายของนักพายเรือทีมชาติไทย

รูปแบบการออกแรงพายทั้ง 4 รูปแบบนี้ (ก, ข, ค และ ง) ได้นำไปใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบว่ารูปแบบใดทำให้พายได้เวลาน้อยที่สุดในระยะทาง 2,000 เมตร ด้วยเงื่อนไขของงานในการพายระยะทาง 2,000 เมตรเท่ากัน

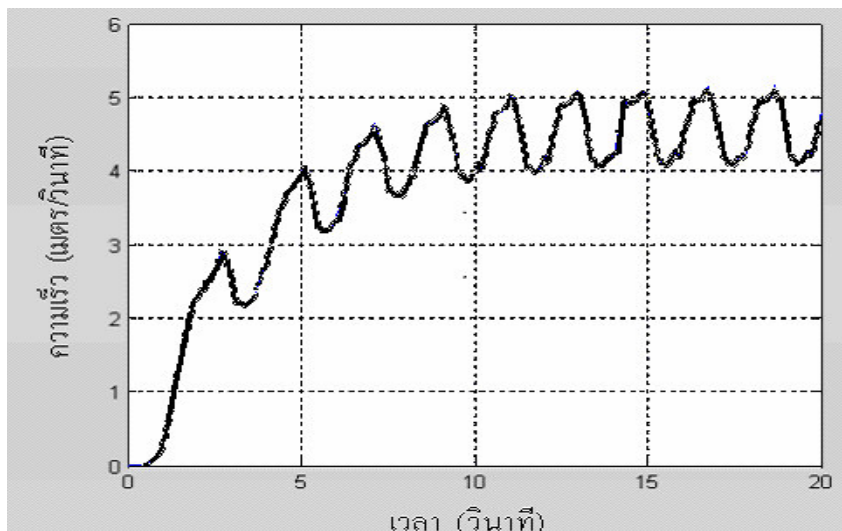
บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษารูปแบบที่ดีที่สุดในการพายเรือกรรเชียงที่ทำให้สามารถพายได้เร็วที่สุดภายใต้เงื่อนไขงานรวมที่กำหนด นอกจากนี้จะทำการศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบการพายของนักพายเรือโอลิมปิกและนักพายเรือทีมชาติไทยเพื่อศึกษาถึงข้อแตกต่างทั้งข้อดีและข้อด้อยของรูปแบบการพายเพื่อนำไปปรับปรุงการพายของนักพายเรือไทยให้เกิดประสิทธิผลสูงสุด ดังนั้นในบทนี้จะนำเสนอผลการศึกษาและอภิปรายผล โดยแบ่งออกเป็นหัวข้อต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

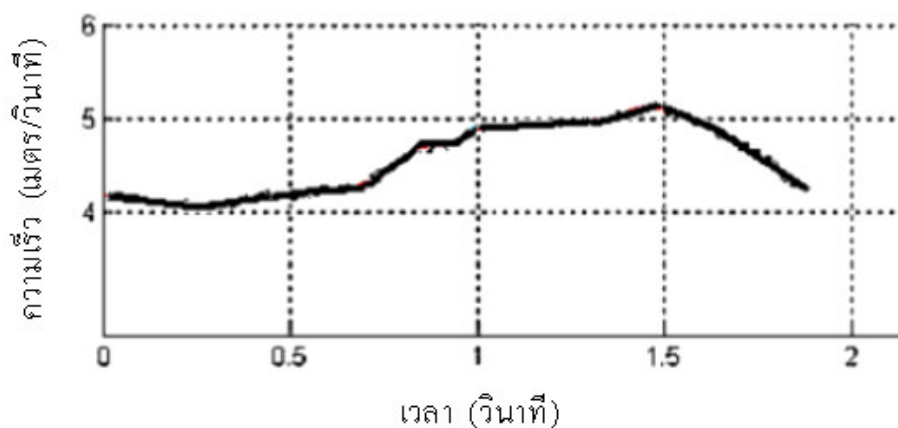
1. รูปแบบการพายที่ดีที่สุดจากการพายแบบต่าง ๆ
 - รูปแบบการออกแรงพายแบบส้อม (แบบ ก)
 - รูปแบบการออกแรงพายจากการผสมกำลังของกล้ามเนื้อขา หลัง และแขนตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ sine ยกกำลังสอง (แบบ ข)
 - รูปแบบการออกแรงพายจากการผสมกำลังของกล้ามเนื้อขา หลัง และแขนที่ได้จากการวัดจริงของนักพายเรือโอลิมปิก (แบบ ค)
 - รูปแบบการออกแรงพายจากเครื่องจำลองการพายเรือ โดยนักพายเรือทีมชาติไทย (แบบ ง)
2. การเปรียบเทียบรูปแบบการพายทั้ง 4 แบบ
3. การแปรผันตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการพายเรือกรรเชียง
 - การแปรผันขนาดใบพาย
 - การแปรผันมุมการพาย
 - การแปรผันความยาวด้ามพาย
 - การแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับของนักพายเรือ
4. การเปรียบเทียบรูปแบบการพายของนักพายเรือโอลิมปิก
5. การเปรียบเทียบรูปแบบการพายระหว่างนักพายเรือโอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย

ตัวอย่างผลลัพธ์ในภาพรวมที่ได้จากการคำนวณดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งเห็นได้ว่าความเร็วของเรือตั้งแต่เริ่มต้นพาย (ความเร็ว = 0) จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงที่ (เป็นการคงที่แบบผันเลื่อย) ที่ประมาณ 10 วินาที



รูปที่ 4.1 ความเร็วเรือจากเริ่มต้นพายจนกระทั่งความเร็วคงที่

ลักษณะของกราฟของแต่ละช่วงพื้นเลื้อยในช่วงคงที่แสดงดังภาพขยายของ 1 ช่วงการพาย ในรูปที่ 4.2 ซึ่งเห็นได้ว่าเส้นกราฟที่พุ่งขึ้นเป็นช่วงที่นักพายเรือออกแรงดึงพายและเส้นกราฟที่ตกลงเป็นช่วงที่นักพายเรือยกพายพ้นน้ำและกำลังเคลื่อนตัวกลับสู่ท่าเริ่มต้นพาย โดยกราฟจะมีลักษณะขึ้นลงเช่นนี้เรื่อยไปจนกระทั่งสิ้นสุดการพาย



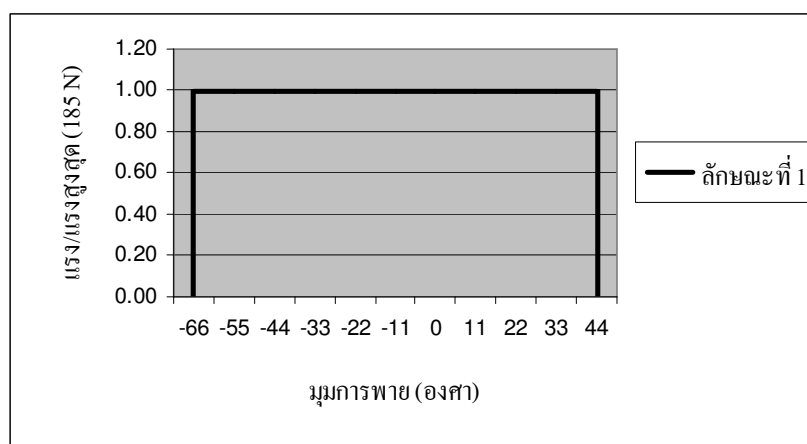
รูปที่ 4.2 ภาพขยายในหนึ่งช่วงคงที่

4.1 รูปแบบการพายที่ดีที่สุดจากการพายแบบต่าง ๆ

ผลของการศึกษาเพื่อหารูปแบบการพายที่ดีที่สุดจากวิธีการสร้างรูปแบบการออกแรงพาย 4 รูปแบบ มีดังนี้

4.1.1 รูปแบบการออกแรงพายแบบส้อม (แบบ ก)

จากผลการศึกษารูปแบบการออกแรงพายทั้งหมด 7,250 รูปพบว่ารูปแบบที่ดีที่สุดเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังรูปที่ 4.3 แรงสูงสุดบนใบพายของการพายรูปแบบนี้เท่ากับ 185 นิวตัน ดังแสดงในตารางที่ 4.1 (ซึ่งนับว่ามีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับแบบ ข, ค และ ง ซึ่งจะได้วินิจฉัยต่อไป)



รูปที่ 4.3 รูปแบบการพายที่ดีที่สุดจากวิธีการแบบ ก

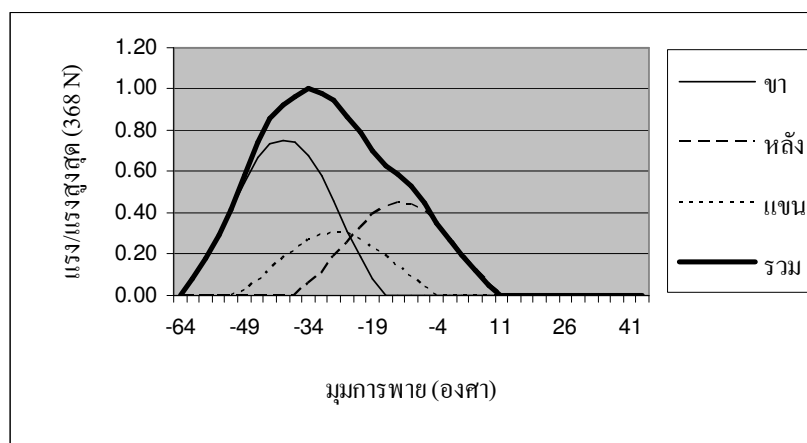
ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาจากวิธีการแบบ ก

ตัวแปร	ผล
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.938
เวลา 2,000 เมตร (min)	6.751
อัตราการพาย (1/min)	33.430
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.795
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	185.000
งาน 2,000 เมตร (KJ)	175.000

การพายในลักษณะเช่นนี้ นักพายเรือต้องออกแรงพายสูงสุดตั้งแต่เริ่มต้นออกแรงพาย และต้องรักษาแรงการพายให้คงสภาพสูงสุดไว้ตลอดช่วงการพาย แต่ในการพายเรือจริงนั้น นักพายเรือคงไม่สามารถสร้างรูปแบบการออกแรงพายแบบนี้ได้ เพราะจากหลักสรีรวิทยาของกล้ามเนื้อพบว่าเมื่อกล้ามเนื้อหดตัวจะทำให้เกิดแรงที่มีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ (Jones and Miller, 2002; Rachel, 2002; Alex et al., 2005) ทำให้ไม่สามารถออกแรงพายแบบจับพลันที่มีลักษณะดังกล่าวได้ ดังนั้นรูปแบบการพายนี้จึงไม่เป็นประโยชน์มากนักกับการนำไปประยุกต์ใช้ในการพายเรือจริง ยิ่งไปกว่านั้นรูปแบบการออกแรงพายในลักษณะนี้ไม่สามารถบอกได้ว่าจังหวะในการออกแรงของกล้ามเนื้อแต่ละมัดควรเป็นอย่างไร อย่างไรก็ตามก็ได้ข้อมูลนี้อาจใช้เป็นแนวทางในการศึกษาในกรณีอื่นต่อไป รวมทั้งทำให้เกิดแนวคิดในภาพรวมว่าการออกแรงที่ดีนั้นควรทำให้แรงรวมกระจายออกอย่างสม่ำเสมอในมุมกว้างมากที่สุดเท่าที่จะมากได้

4.1.2 รูปแบบการออกแรงพายจากการผสมกำลังของกล้ามเนื้อขา หลัง และแขน ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ sine ยกกำลังสอง (แบบ ข)

จากการเปรียบเทียบจำนวน 9,261 รูปแบบได้รูปแบบการออกแรงพายที่ดีที่สุดเป็นดังรูปที่ 4.4 แรงสูงสุดบนใบพายของการพายรูปแบบนี้เท่ากับ 368 นิวตัน ดังแสดงในตารางที่ 4.2

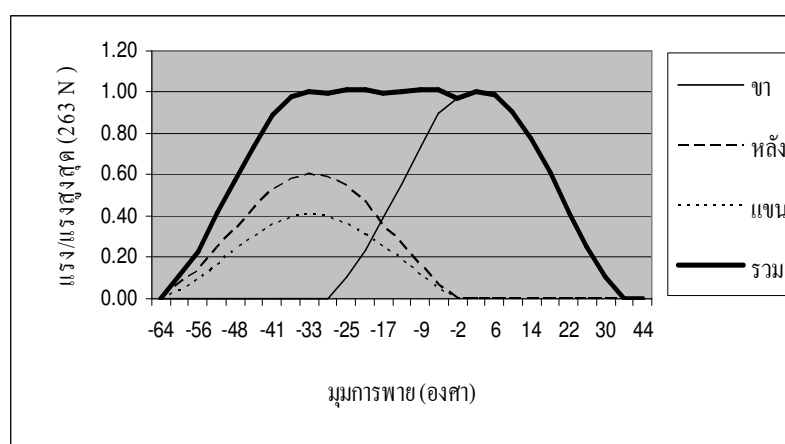


รูปที่ 4.4 รูปแบบการพายที่ดีที่สุดจากวิธีการแบบ ข

ตารางที่ 4.2 ผลการศึกษาจากวิธีการแบบ ข

ตัวแปร	ผล
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.842
เวลา 2,000 เมตร (min)	6.885
อัตราการพาย (1/min)	32.400
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.852
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	368.000
งาน 2,000 เมตร (KJ)	175.000

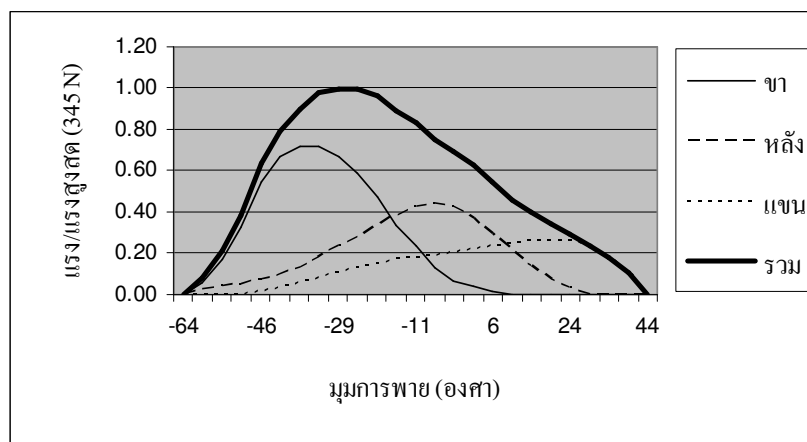
จากรูปที่ 4.4 ได้แสดงให้เห็น ลำดับการออกแรงของกล้ามเนื้อในการแข่งขันคือ ขา-แขน-หลัง ซึ่งแตกต่างจากเทคนิคการพายที่เป็นที่นิยมกันทั่วไป ที่ลำดับการออกแรงพายคือ ขา-หลัง-แขน ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าเทคนิคการพายเรือที่นิยมพามาช้านานนั้นเกิดจากความเคยชินที่ส่งทอดต่อ ๆ กันมา ดังนั้นถ้าวิธีนี้ถูกต้องเราอาจต้องปรับวิธีการพายให้ต่างไปจากแบบเก่าเพื่อให้เวลาให้ดีขึ้น จากการศึกษาแบบการพายด้วยแบบ ข นี้ในหลาย ๆ กรณีพบว่าไม่สามารถปฏิบัติได้เนื่องจากขัดต่อหลักกายภาพ เช่น การที่แขนหรือหลังออกแรงพายก่อนขา รูปที่ 4.5 ซึ่งขาตั้งอยู่ อาจเกิดขบวนการเคลื่อนที่ของมือ (หรืออย่างน้อยก็ทำให้เกิดความไม่สะดวก)



รูปที่ 4.5 ลำดับการออกแรงของกล้ามเนื้อหลังและแขนก่อนกล้ามเนื้อขา

4.1.3 รูปแบบการออกแรงพายจากการผสมกำลังของกล้ามเนื้อขา หลัง และแขน ที่ได้จากการวัดของนักพายเรือโอลิมปิก (แบบ ค)

รูปแบบการออกแรงพายที่ดีที่สุดเป็นดังรูปที่ 4.6 แรงสูงสุดบนใบพายของการพายรูปแบบนี้เท่ากับ 345 นิวตัน ดังแสดงในตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.6 รูปแบบการพายที่ดีที่สุดจากวิธีการแบบ ค

ตารางที่ 4.3 ผลการศึกษาจากวิธีการแบบ ค

ตัวแปร	ผล
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.862
เวลา 2,000 เมตร (min)	6.855
อัตราการพาย (1/min)	32.590
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.841
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	345.000
งาน 2,000 เมตร (KJ)	175.000

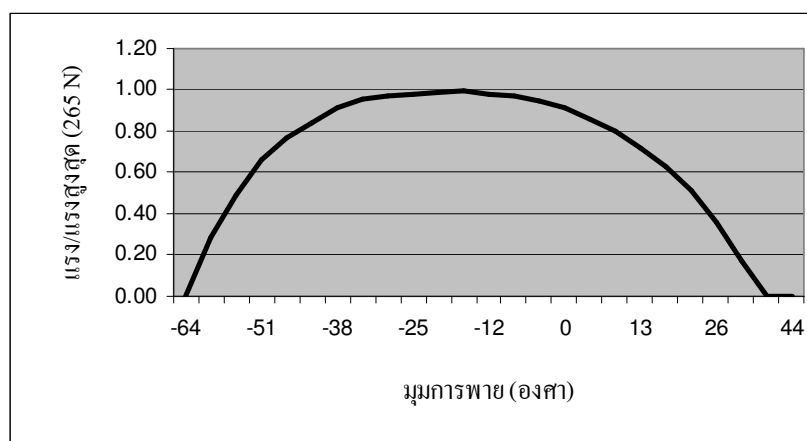
รูปแบบนี้มีความสมจริงมากที่สุดเมื่อเทียบกับรูปแบบ ก และ ข เพราะเป็นรูปแบบการออกแรงจริงของนักพายเรือโอลิมปิกที่วัดได้จากคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ เห็นได้ว่าลำดับการออกแรงกล้ามเนื้อสอดคล้องกับลำดับการออกแรงที่นักพายเรือส่วนใหญ่นิยม คือ ขา หลัง แขน ตามลำดับ จากรูปที่ 4.6 จุดสูงสุดของแรงอยู่ที่ประมาณ 30 องศาขณะที่พายจะตั้งฉากกับเรือ เพราะเป็นตำแหน่งการออกแรงของกล้ามเนื้อขาซึ่งเป็นกล้ามเนื้อที่มีความแข็งแรงมากที่สุดเมื่อรวมกับ

แรงจากกล้ามเนื้อหลังและแขนที่เริ่มออกแรงจึงมีค่ามากขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้จุดสูงสุดของแรงรวมอยู่เลยจุดสูงสุดของแรงจากกล้ามเนื้อขาไปเล็กน้อย หลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงสัมพันธ์กับ แรงกล้ามเนื้อหลังและแขน แต่ถ้าหากกล้ามเนื้อหลังและแขนออกแรงก่อนแล้วตามด้วยขาดังรูป 4.5 จุดสูงสุดของแรงจะอยู่เลยศูนย์กลางออกไปเพราะแรงกล้ามเนื้อขาออกแรงเป็นลำดับสุดท้าย

4.1.4 รูปแบบการออกแรงพายจากเครื่องจำลองการพายเรือโดยนักพายเรือ

ทีมชาติไทย (แบบ ง)

รูปแบบการพายแบบ ง เป็นการนำรูปแบบการออกแรงพายซึ่งพายในลักษณะเดียวกันหลาย ๆ ครั้งมาศึกษาหนึ่งรูปแบบ โดยรูปแบบนี้ไม่สามารถใช้ในการคำนวณหารูปแบบการพายที่เหมาะสมที่สุดได้แต่จะเป็นประโยชน์ในการใช้เปรียบเทียบรูปแบบการพาย จากการศึกษาพบว่ารูปแบบการพายที่ดีที่สุดของนักพายเรือทีมชาติไทยเป็นดังรูปที่ 4.7 แรงสูงสุดบน ใบพายของการพายรูปแบบนี้เท่ากับ 234 นิวตัน ดังแสดงในตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.7 รูปแบบการพายที่ดีที่สุดจากวิธีการแบบ ง

4.2 การเปรียบเทียบการพายทั้ง 4 แบบ

การเปรียบเทียบการพายทั้ง 4 แบบแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าการพายด้วยรูปแบบ ก ได้เวลาดีที่สุด ใช้แรงการพายต่ำที่สุด (แต่ไม่สามารถปฏิบัติได้จริง) รูปแบบ ข ใช้เวลามากที่สุด และออกแรงพายสูงสุด ส่วนรูปแบบ ค ดีกว่ารูปแบบ ข และสามารถปฏิบัติได้จริง ส่วนรูปแบบ ง ซึ่งเป็นรูปแบบการพายของนักพายเรือไทยซึ่งมีความแข็งแรงน้อยกว่าโดยงานของนักพายเรือไทยที่ใช้พายจริงนั้นคือ 160 กิโลจูล แต่ในการเปรียบเทียบกำหนดให้งานของนักพายเรือไทยเท่ากับ 175 กิโลจูล เพื่อให้เกิดความยุติธรรมในการเปรียบเทียบ จากการเปรียบเทียบพบว่ารูปแบบ ง ดีกว่าแบบ ข และ ค โดยแบบ ก ดีที่สุด

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาจากวิธีการแบบ ง

ตัวแปร	ผล
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.653
เวลา 2,000 เมตร (min)	7.165
อัตราการพาย (1/min)	32.319
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.860
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	234.000
งาน 2,000 เมตร (KJ)	160.000

ตารางที่ 4.5 ผลการศึกษารูปแบบการพาย 4 แบบ

ตัวแปร	แบบ ก	แบบ ข	แบบ ค	แบบ ง
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.938	4.842	4.862	4.875
เวลา 2,000 เมตร (min)	6.750	6.880	6.850	6.830
อัตราการพาย (1/min)	33.430	32.400	32.590	32.630
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.795	1.852	1.841	1.839
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	185.000	368.000	345.000	265.000
งาน 2,000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000	175.000

เห็นได้ชัดจากรูปแบบ ก ออกแรงน้อยที่สุดและยังขณะเลิกในการพายทั้ง 4 รูปแบบดังนั้น ควรจะถือเป็นประเด็นที่จะทำการวิจัยต่อไปว่า ทำอย่างไรจึงจะปรับรูปแบบการออกแรงของนักพาย เรือให้ใกล้เคียงกับรูปแบบ ก ให้มากที่สุดเท่าที่ทำได้โดยไม่ขัดแย้งต่อหลักการทางสรีรวิทยา ดังจะ เห็นได้ว่ารูปแบบ ง ที่ดีเป็นอันดับสอง เพราะมีรูปแบบการออกแรงพายคล้ายแบบ ก

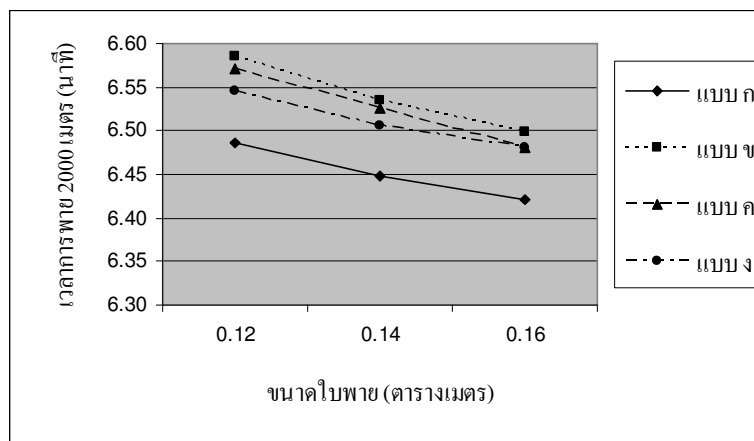
4.3 การแปรผันตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการพายเรือกรรเชียง

มีตัวแปรจำนวนมากที่มีผลกระทบต่อความเร็วของเรือกรรเชียง งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึง ตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อความเร็วเรือดังต่อไปนี้

4.3.1 การแปรผันขนาดใบพาย

การพายด้วยใบพายที่มีขนาดแตกต่างกันทำให้พื้นที่การสัมผัสน้ำเปลี่ยนแปลงไป ย่อมส่งผลกระทบต่อเวลาในการพาย จากการศึกษาการพายด้วยใบพายขนาด 0.12, 0.14 และ 0.16

ตารางเมตร ตามลำดับด้วยงานในการพายระยะทาง 2,000 เมตร เท่ากัน พบว่าเมื่อพายด้วยใบพายที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตรลดลง โดยมีแนวโน้มเป็นไปในแนวทางเดียวกันทั้ง 4 แบบ ดังรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.6-4.9



รูปที่ 4.8 การแปรผันขนาดของใบพาย

ตารางที่ 4.6 ผลการแปรผันขนาดของใบพายแบบ ก

ตัวแปร	ผล		
	0.120	0.140	0.160
ขนาดใบพาย (m ²)	0.120	0.140	0.160
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.895	4.940	4.972
เวลา 2000 เมตร (min)	6.810	6.748	6.703
อัตราการพาย (1/min)	33.390	32.890	32.860
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.797	1.824	1.826
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	183.000	185.000	186.000
งาน 2000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000

ตารางที่ 4.7 ผลการแปรผันขนาดของใบพายแบบ ข

ตัวแปร	ผล		
ขนาดใบพาย (m ²)	0.120	0.140	0.160
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.777	4.836	4.881
เวลา 2000 เมตร (min)	6.978	6.893	6.830
อัตราการพาย (1/min)	33.150	32.850	32.350
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.810	1.827	1.855
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	362.000	368.000	373.000
งาน 2000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000

ตารางที่ 4.8 ผลการแปรผันขนาดของใบพายแบบ ค

ตัวแปร	ผล		
ขนาดใบพาย (m ²)	0.120	0.140	0.160
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.794	4.874	4.892
เวลา 2000 เมตร (min)	6.953	6.876	6.801
อัตราการพาย (1/min)	33.010	32.990	32.090
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.8178	1.819	1.870
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	339.000	345.000	350.000
งาน 2000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000

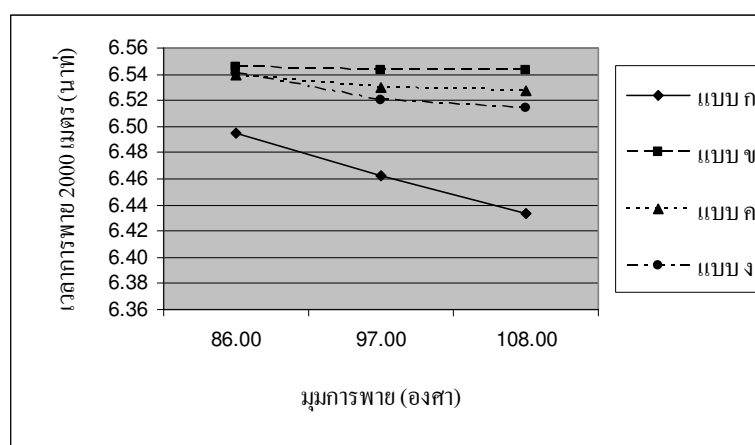
ตารางที่ 4.9 ผลการแปรผันขนาดของใบพายแบบ ง

ตัวแปร	ผล		
ขนาดใบพาย (m ²)	0.120	0.140	0.160
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.819	4.871	4.900
เวลา 2000 เมตร (min)	6.910	6.843	6.801
อัตราการพาย (1/min)	33.280	32.810	32.7600
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.803	1.829	1.832
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	260.000	264.000	266.000
งาน 2000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000

ผลของการศึกษาการแปรผันขนาดของใบพายพบว่าเมื่อพายด้วยใบพายที่มีขนาดใหญ่ขึ้นด้วยงานในการพายระยะทาง 2,000 เมตรเท่ากัน เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตรจะลดลงสอดคล้องกับงานวิจัยที่มีผู้ศึกษาไว้ก่อนหน้านี้ (Atkinson, 2004; Holst, 2004) ในเชิงกลศาสตร์ใบพายที่มีขนาดใหญ่จะมีแรงดลมาก การพายด้วยใบพายที่มีขนาดใหญ่ขึ้นต้องใช้แรงในการพายมากขึ้น ดังนั้นนักพายเรือควรพายด้วยใบพายที่ใหญ่ที่สุดที่สอดคล้องกับความแข็งแรง แต่ในการพายเรื่อนั้นเมื่อใบพายมีขนาดใหญ่ขึ้นน้ำหนักของพายจะมากขึ้นทำให้แรงที่นักพายเรือใช้พายส่วนหนึ่งต้องใช้ในการแบกรับน้ำหนักพาย ในช่วงเคลื่อนตัวกลับต้องยกใบพายพ่นน้ำให้ลอยอยู่ในอากาศขณะนำพายลงน้ำใบพายต้องตั้งฉากกับผิวน้ำส่งผลให้เกิดแรงต้านอากาศมากยิ่งขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นใบพายที่มีขนาดใหญ่ทำให้การนำใบพายลงน้ำและขึ้นจากน้ำทำได้ยาก ใบพายที่มีขนาดใหญ่จนเกินไปจะไม่สามารถนำขึ้นจากน้ำได้สะดวก ส่วนการนำพายลงน้ำใบพายจะตั้งฉากกับผิวน้ำ ถ้าใบพายขนาดใหญ่เกินไปจะไม่สามารถนำใบพายลงน้ำในแนวตั้งฉากได้ทำให้ไม่สามารถดึงพายเพื่อขับเคลื่อนเรือได้ ดังนั้นนักพายเรือควรเลือกขนาดของใบพายให้เหมาะสมกับความแข็งแรงของตนเอง

4.3.2 การแปรผันมุมการพาย

การพายด้วยมุมการพายที่กว้างขึ้นทำให้ระยะทางการพายแต่ละครั้งมากขึ้นซึ่งมีผลต่อเวลาในการพาย จากผลการศึกษาการพายด้วยมุม 86, 97 และ 108 องศา ด้วยงานในการพายระยะทาง 2,000 เมตร เท่ากัน พบว่าเมื่อพายด้วยมุมการพายที่กว้างขึ้นจะทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ลดลงเช่นเดียวกันทั้ง 4 แบบ ดังรูปที่ 4.9 และตารางที่ 4.10-4.13



รูปที่ 4.9 การแปรผันมุมการพาย

ตารางที่ 4.10 ผลการแปรผันมุมการพายแบบ ก

ตัวแปร	ผล		
มุมการพาย (deg)	86.000	97.000	108.000
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.885	4.921	4.958
เวลา 2000 เมตร (min)	6.825	6.773	6.723
อัตราการพาย (1/min)	36.590	35.390	33.280
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.640	1.695	1.803
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	205.000	192.000	183.000
งาน 2000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000

ตารางที่ 4.11 ผลการแปรผันมุมการพายแบบ ข

ตัวแปร	ผล		
มุมการพาย (deg)	86.000	97.000	108.000
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.823	4.826	4.827
เวลา 2000 เมตร (min)	6.911	6.906	6.905
อัตราการพาย (1/min)	36.900	35.050	33.700
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.626	1.712	1.780
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	408.000	382.000	360.000
งาน 2000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000

ตารางที่ 4.12 ผลการแปรผันมุมการพายแบบ ค

ตัวแปร	ผล		
มุมการพาย (deg)	86.000	97.000	108.000
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.829	4.842	4.845
เวลา 2000 เมตร (min)	6.903	6.883	6.880
อัตราการพาย (1/min)	36.860	35.180	33.320
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.627	1.706	1.801
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	384.000	358.000	341.000
งาน 2000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000

ตารางที่ 4.13 ผลการแปรผันมุมการพายแบบ ง

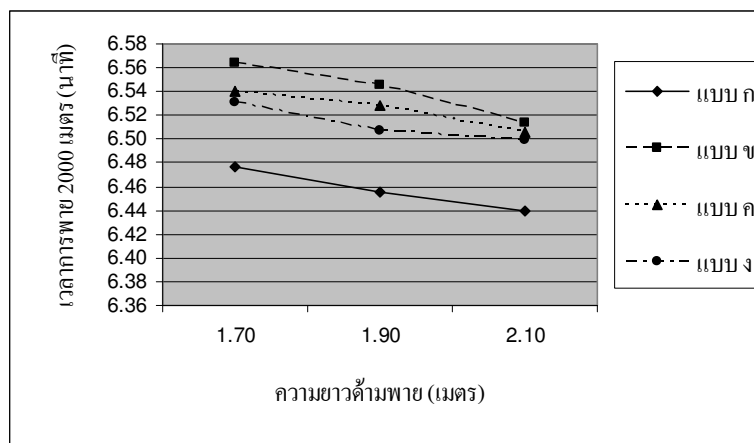
ตัวแปร	ผล		
มุมการพาย (deg)	86.000	97.000	108.000
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.829	4.853	4.860
เวลา 2000 เมตร (min)	6.901	6.868	6.858
อัตราการพาย (1/min)	36.900	35.440	33.830
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.626	1.693	1.774
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	295.000	274.000	260.000
งาน 2000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000

ผลการศึกษาโดยการเพิ่มมุมการพายให้กว้างขึ้น พบว่าเวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ลดลงสอดคล้องกับงานวิจัยที่มีผู้ศึกษาไว้ก่อนหน้านี้ (Atkinson, 2004; Holst, 2004) เมื่อระยะทางการพายเพิ่มขึ้นอัตราการพายจะลดลงส่งผลให้ช่วงเวลาที่ใบพายลอยอยู่ในอากาศซึ่งเป็นช่วงที่ไม่มีแรงในการขับเคลื่อนเรื่อน้อยกว่าและการสูญเสียความเร็วเรือขณะใบพายลงน้ำซึ่งเป็นการชะลอความเร็วเรือก็น้อยกว่า (Macrossan and Macrossany, 2006) ในเชิงสรีรวิทยาการพายด้วยมุมพายที่มากขึ้น นักพายเรือต้องงอขาเพื่อก้มตัวและยื่นแขนไปด้านหน้ามากขึ้น การดึงใบพายในท่านี้นักพายเรือต้องออกแรงจากกล้ามเนื้อขาและหลังซึ่งเป็นกล้ามเนื้อมัดใหญ่มากขึ้น การยื่นแขนไปด้านหน้าเพื่อให้เกิดมุมการพายที่กว้างขึ้นจะถูกจำกัดด้วยสรีรของนักพายเรือ นักพายเรือที่มีความยาวของแขนขาสามารถยื่นแขนและโน้มตัวไปด้านหน้าได้มากกว่าทำให้มุมการพายมากขึ้น จะเห็นได้ว่านักพายเรือกรรเชียงส่วนใหญ่จะมีรูปร่างสูงแขนขายาวเมื่อเทียบกับนักกีฬาประเภทอื่น ๆ ที่มีน้ำหนักตัวเท่ากัน อย่างไรก็ตามมุมการพายที่นักพายเรือสามารถพายได้นั้นจะสอดคล้องกับความยาวของแขนและขาของนักพายเรือ การแปรผันค่าตัวแปรต่าง ๆ จะกระทำได้ในช่วงหนึ่งเนื่องจากข้อจำกัดของร่างกายนักพายเรือดังกล่าว ดังนั้นนักพายเรือควรปรับมุมลงน้ำและมุมพื่นน้ำของใบพายให้เหมาะสมกับความแข็งแรงและโครงสร้างร่างกาย (ความยาวของ แขน ขา) ของตนเอง การพายด้วยมุมพายที่มากขึ้นจะใช้แรงในการพายต่อครั้งน้อยลงซึ่งจะเหมาะกับนักพายเรือที่มีความแข็งแรงน้อยกว่าถ้าพายด้วยมุมพายที่มากขึ้นจะทำให้ได้เปรียบในการแข่งขัน

4.3.3 การแปรผันความยาวด้ามพาย

การเพิ่มหรือลดความยาวของด้ามพายทำให้ระยะทางการพายแต่ละครั้งเปลี่ยนแปลงไปซึ่งส่งผลต่อเวลาในการพาย จากผลการศึกษาการพายด้วยความยาวด้ามพาย 1.7, 1.9

และ 2.1 เมตร ในระยะทาง 2,000 เมตร พบว่าเวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ลดลง เช่นเดียวกันทั้ง 4 ลักษณะ ดังรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.14-4.17



รูปที่ 4.10 การแปรผันความยาวด้ามพาย

ตารางที่ 4.14 ผลการแปรผันความยาวด้ามพายแบบ ก

ตัวแปร	ผล		
	1.700	1.900	2.100
ความยาวด้ามพาย (m)	1.700	1.900	2.100
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.905	4.929	4.950
เวลา 2000 เมตร (min)	6.796	6.761	6.733
อัตราการพาย (1/min)	35.860	33.950	32.630
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.673	1.767	1.839
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	199.000	189.000	182.000
งาน 2000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000

ตารางที่ 4.15 ผลการแปรผันความยาวด้ามพายแบบ ข

ตัวแปร	ผล		
ความยาวด้ามพาย (m)	1.700	1.900	2.100
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.803	4.823	4.860
เวลา 2000 เมตร (min)	6.940	6.911	6.858
อัตราการพาย (1/min)	35.740	33.670	31.520
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.679	1.782	1.904
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	390.000	373.000	363.000
งาน 2000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000

ตารางที่ 4.16 ผลการแปรผันความยาวด้ามพายแบบ ค

ตัวแปร	ผล		
ความยาวด้ามพาย (m)	1.700	1.900	2.100
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.830	4.845	4.871
เวลา 2000 เมตร (min)	6.900	6.880	6.843
อัตราการพาย (1/min)	35.490	33.710	32.250
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.691	1.780	1.860
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	370.000	353.000	339.000
งาน 2000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000

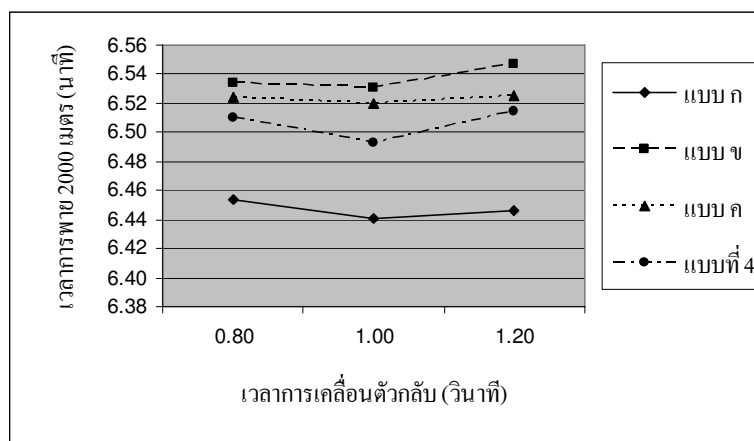
ตารางที่ 4.17 ผลการแปรผันความยาวด้ามพายแบบ ง

ตัวแปร	ผล		
ความยาวด้ามพาย (m)	1.700	1.900	2.100
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.842	4.869	4.878
เวลา 2000 เมตร (min)	6.885	6.846	6.833
อัตราการพาย (1/min)	35.850	33.230	31.900
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.674	1.806	1.881
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	280.000	270.000	262.000
งาน 2000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000

การพายด้วยค้ำพายที่มีขนาดยาวขึ้นจะทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ลดลงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่มีการศึกษาไว้ก่อนหน้านี้ (Atkinson, 2004; Holst, 2004) การพายด้วยค้ำพายที่มีความยาวมากขึ้นจะใช้เวลาในการพายหนึ่งครั้งมากขึ้นและส่งผลให้อัตราการพายลดลง เมื่อพิจารณาในเชิงสรีรวิทยาพบว่าการพายด้วยพายที่ยาวขึ้นจะใช้แรงในการพายน้อยลง นักพายเรือที่มีความแข็งแรงน้อยถ้าปรับความยาวของค้ำพายให้ยาวขึ้นจะทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตรลดลง ดังนั้นนักพายเรือควรเลือกขนาดของความยาวค้ำพายให้เหมาะสมกับความแข็งแรงของตนเอง อย่างไรก็ตามการปรับความยาวของใบพายนั้นหากปรับความยาวของค้ำพายส่วนนอก (Outboard) ต้องปรับความยาวของค้ำพายส่วนใน (Inboard) ให้อัตราส่วนสัมพันธ์กันด้วย พายที่ยาวเกินไปนักพายเรือต้องปรับมุมเอียงระหว่างพายกับผิวน้ำ (เมื่อวัดจากแนวนานกับตัวเรือลงไป) เพิ่มขึ้นเพื่อให้ตำแหน่งการจมน้ำของใบพายมีความเหมาะสม (ใบพายจมน้ำทั้งใบ) ทำให้ตำแหน่งของมือในการดึงพายสูงขึ้น ถ้าค้ำพายยาวมากจะทำให้การดึงพายไม่สามารถดึงได้ตลอดช่วงการพายเพราะมือที่ใช้ดึงสั้นเกินไป ซึ่งการแก้ไขปัญหานี้สามารถทำได้โดยการเพิ่มความสูงของเรือจะช่วยทำให้มุมลงน้ำของพายเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มความสูงของเรือจะทำให้ความสมดุลของนักพายเรือสูญเสียไป ในกรณีของค้ำพายส่วนใน (Inboard) ที่ยาวเกินไป จะไม่สามารถพายได้เนื่องจากแขนที่ยื่นออกไปเพื่อจับค้ำพายจะไม่สามารถออกแรงดึงได้

4.3.4 การแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับ

การเคลื่อนตัวกลับด้วยความเร็วที่แตกต่างกันจะส่งผลกระทบต่อการใช้งานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ทำให้เวลาที่ใช้ในการพายแตกต่างกันออกไป จากผลการศึกษาการเคลื่อนตัวกลับด้วยเวลา 0.8, 1.0 และ 1.2 วินาที พบว่าเมื่อเคลื่อนตัวกลับด้วยเวลาที่เหมาะสมจะทำให้เวลาในการพายในระยะทาง 2,000 เมตร ลดลงเช่นเดียวกันทั้ง 4 แบบ ดังรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.18-4.21 สาเหตุที่พิจารณาการเคลื่อนตัวกลับเพียงอย่างเดียวนั้นเพราะการเคลื่อนที่กลับจะขึ้นกับเวลา นักพายเรือสามารถเคลื่อนที่กลับด้วยเวลาที่แตกต่างกัน ส่วนการเคลื่อนที่ของที่นั่งในขณะที่ออกแรงดึงพายนั้นจะสัมพันธ์กับมุมพายถ้าพายด้วยความเร็วเวลาการเคลื่อนตัวกลับจะเร็วตามถ้าพายเข้าการเคลื่อนตัวจะช้าตามไปด้วย ดังนั้นในช่วงออกแรงดึงพายจะพิจารณาอัตราการพายแทนการเคลื่อนตัวขณะพาย



รูปที่ 4.11 การแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับ

ตารางที่ 4.18 ผลการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับแบบ ก

ตัวแปร	ผล		
	0.800	1.000	1.200
เวลาการเคลื่อนตัว(s)	0.800	1.000	1.200
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.905	4.929	4.950
เวลา 2000 เมตร (min)	6.796	6.761	6.733
อัตราการพาย (1/min)	35.860	33.950	32.630
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.673	1.767	1.839
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	199.000	189.000	182.000
งาน 2000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000

ตารางที่ 4.19 ผลการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับแบบ ข

ตัวแปร	ผล		
	0.800	1.000	1.200
เวลาการเคลื่อนตัว(s)	0.800	1.000	1.200
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.837	4.840	4.822
เวลา 2000 เมตร (min)	6.891	6.886	6.913
อัตราการพาย (1/min)	34.350	30.800	28.320
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.747	1.948	2.119
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	345.000	390.000	429.000
งาน 2000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000

ตารางที่ 4.20 ผลการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับแบบ ค

ตัวแปร	ผล		
เวลาการเคลื่อนตัว(s)	0.800	1.000	1.200
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.850	4.855	4.848
เวลา 2000 เมตร (min)	6.873	6.866	6.875
อัตราการพาย (1/min)	34.600	30.650	28.370
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.734	1.958	2.115
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	320.000	370.000	407.000
งาน 2000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000

ตารางที่ 4.21 ผลการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับแบบ ง

ตัวแปร	ผล		
ความเร็วการเคลื่อนตัว(s)	0.800	1.000	1.200
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.867	4.886	4.860
เวลา 2000 เมตร (min)	6.850	6.821	6.858
อัตราการพาย (1/min)	34.820	31.340	28.500
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.723	1.914	2.105
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	247.000	279.000	311.000
งาน 2000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000

การเคลื่อนตัวกลับด้วยเวลาที่เหมาะสมเพื่อที่จะพายครั้งต่อไปจะทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ลดลง การเคลื่อนตัวกลับที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับความเร็วของเรือและรูปแบบการออกแรงพายโดยพบว่าถ้าเรือมีความเร็วเพิ่มขึ้นการเคลื่อนตัวกลับที่เหมาะสมจะใช้เวลาในการเคลื่อนตัวกลับน้อยลงเพื่อที่จะพายในครั้งต่อไปเพราะถ้าเรือมีความเร็วสูงแต่นักพายเรือเคลื่อนตัวกลับไปพายในครั้งต่อไปจะทำให้แรงกดของเรือกดเรือให้เคลื่อนที่ช้าลง ดังนั้นนักพายเรือควรจะเคลื่อนตัวกลับด้วยเวลาที่เหมาะสมในการพายครั้งต่อไป แต่อย่างไรก็ตามในการเคลื่อนตัวกลับที่ใช้เวลาน้อยอัตราการพายจะเพิ่มขึ้น ทำให้นักพายเรือเกิดความเมื่อยล้ามากขึ้นเพราะงานจำนวนหนึ่งจะสูญเสียไปกับการเคลื่อนตัวทำให้งานที่มีจำนวนจำกัดใช้ในการขับเคลื่อนเรือลดลง (ในกรณีทำงานในการพาย 2,000 เมตร เท่ากัน) เมื่อพิจารณาในเชิงสรีรวิทยาพบว่าการพายในลักษณะที่ใช้เวลาเคลื่อนตัวกลับน้อยจะทำให้ให้นักพายเรือเกิดความล้าอย่างรวดเร็ว

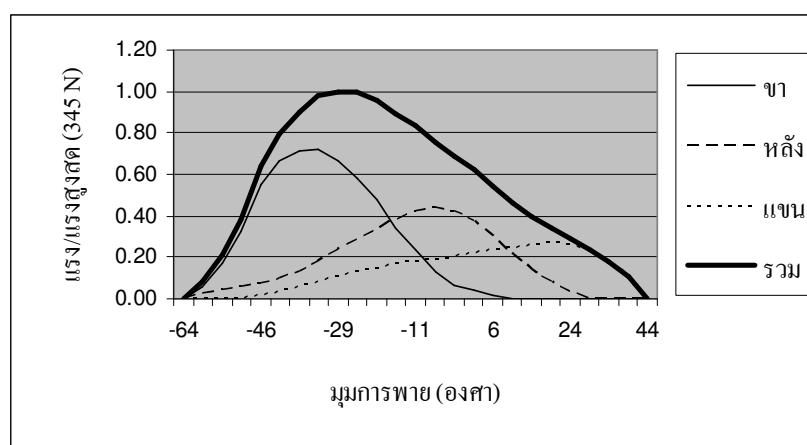
ซึ่งนักพายเรือแต่ละคนจะเกิดความล้าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความแข็งแรงและชนิดของใยกล้ามเนื้อของนักพายเรือ ดังนั้นในการพายนักพายเรือควรพายด้วยอัตราการพายที่เหมาะสมกับความทนต่อการล้าของแต่ละคน การเคลื่อนตัวกลับที่ใช้เวลาน้อยจะทำให้นักพายเรือไม่สามารถฟื้นฟูสภาพร่างกายให้พวยได้ในระยะทาง 2,000 เมตร ซึ่งจะทำให้นักพายเรือหมดแรงก่อนที่จะถึงระยะทางที่กำหนด

4.4 การเปรียบเทียบผลกระทบต่อรูปแบบการพายของนักพายเรือโอลิมปิก

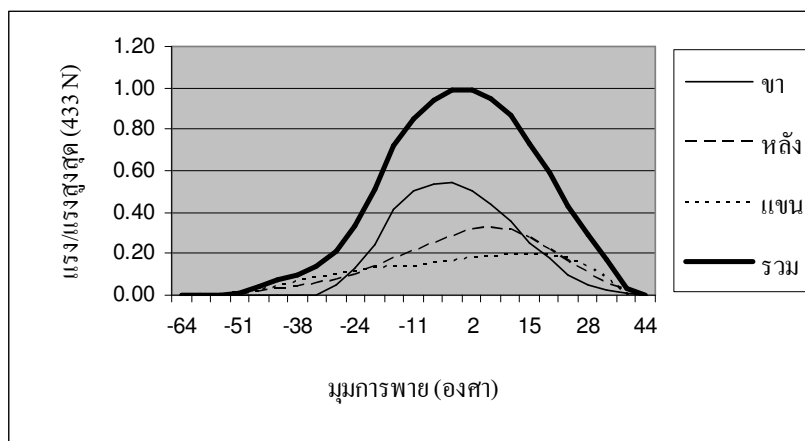
เนื่องจากรูปแบบ ค เป็นรูปแบบที่มีความสมจริงที่สุดและเป็นรูปแบบการออกแรงพายของนักพายเรือโอลิมปิก ดังนั้นจึงได้นำรูปแบบ ค มาใช้ศึกษาในรายละเอียดเพิ่มเติม โดยเปรียบเทียบผลกระทบการพายในลักษณะต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

4.4.1 ผลกระทบของรูปแบบการออกแรงพาย

จะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของการออกแรงที่ดีที่สุด กับการออกแรงที่ไม่ดีที่สุด ผลการคำนวณแสดงในรูป 4.12, 4.13 และ ในตารางที่ 4.22



รูปที่ 4.12 รูปแบบการออกแรงพายที่เร็วที่สุด (แบบ ค)



รูปที่ 4.13 รูปแบบการออกแรงพายที่ช้าที่สุด (แบบ ค)

ตารางที่ 4.22 ผลการเปรียบเทียบรูปแบบที่เร็วที่สุดกับรูปแบบที่ช้าที่สุด

ตัวแปร	รูปแบบที่เร็วที่สุด	รูปแบบที่ช้าที่สุด
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.862	4.573
เวลา 2,000 เมตร (min)	6.850	7.280
อัตราการพาย (ครั้ง/นาที)	32.590	31.570
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.841	1.901
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	345.000	433.000
งาน 2,000 เมตร (KJ)	175.000	175.000

จากตารางที่ 4.22 รูปแบบการออกแรงพายทั้งสอง (ที่ใช้งานในการพายเท่ากัน) ใช้เวลา 6.85 และ 7.28 นาที ตามลำดับ หรือต่างกัน 26 วินาที ซึ่งคิดเป็นระยะทางประมาณ 118 เมตร ซึ่งเห็นได้ว่ารูปแบบการพาย (หรือเทคนิคการพาย) มีผลกระทบสูงมาก ทั้งที่สองกรณีนี้ใส่งานเข้าไปเท่ากัน หรือนัยหนึ่งเหนื่อยเท่ากันนั่นเอง

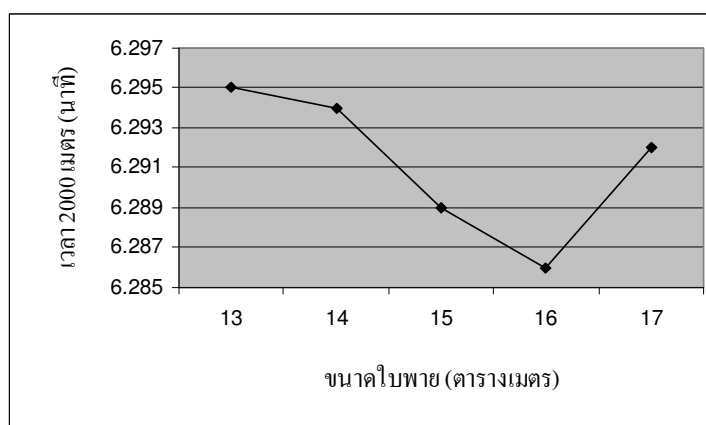
4.4.2 ผลกระทบของปัจจัยการพาย

โดยใช้รูปแบบการพายที่ดีที่สุด จากผลการศึกษาที่แสดงในตารางที่ 4.23 และรูปที่ 4.14-4.17 พบว่าเมื่อแปรผันค่าใบพายไปจนกระทั่งใบพายมีขนาด 16 ตารางเมตร จะทำให้เวลาในการพายน้อยที่สุด การศึกษาการพายโดยการแปรผันมุมการพายพบว่าการพายด้วยมุมการพาย 138 องศา ทำให้เวลาการพายน้อยที่สุด การศึกษาการพายโดยการแปรผันความยาวด้ามพายพบว่าพายที่มีความยาว 8 เมตร ทำให้เวลาการพายน้อยที่สุดและการศึกษาการพายโดยการแปรผันเวลาการ

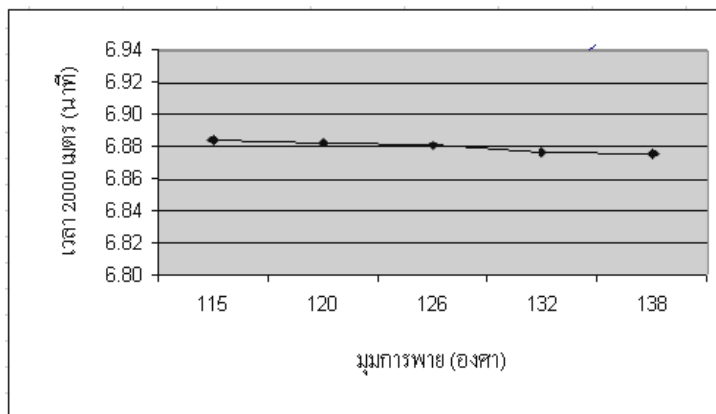
เคลื่อนตัวกลับพบว่าเวลาการเคลื่อนตัวกลับด้วยเวลา 1.0 วินาที เป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุด อย่างไรก็ตามในการพิจารณาในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาในเชิงคณิตศาสตร์และกระทำภายใต้สมมุติฐานที่ไม่พิจารณาน้ำหนักของพายุและแรงต้านอากาศ ทำให้ผลที่ได้ในหัวข้อนี้อาจไม่สมจริงและนำไปประยุกต์ใช้กับการพายุเรือจริงไม่ได้ เพราะการที่ตัวแปรแต่ละตัวเปลี่ยนแปลงไปเงื่อนไขบางอย่างอาจเปลี่ยนแปลงไป เช่นเมื่อใบพายมีขนาดใหญ่ขึ้นและความยาวด้ามพายเพิ่มขึ้นน้ำหนักของพายต้องเพิ่มขึ้นตามไปด้วยและการที่ใบพายมีขนาดใหญ่ขึ้นขณะที่ยกพายเหนือน้ำแรงต้านอากาศจะมีผลต่อความเร็วเรือแต่สมมุติฐานของงานวิจัยไม่พิจารณาน้ำหนักของใบพายและแรงต้านอากาศ จากผลการศึกษาพบว่าเวลาการพายจะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงจุดที่ใช้เวลาการพายน้อยที่สุดจากนั้นเวลาการพายจะเพิ่มขึ้น เพื่อให้เห็นช่วงเวลาที่ใช้เวลาการพายน้อยที่สุดได้ชัดเจนในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอกราฟในช่วงที่เวลาการพายน้อยที่สุดดังรูปที่ 4.14-4.17

ตารางที่ 4.23 ผลกระทบของปัจจัยการพาย

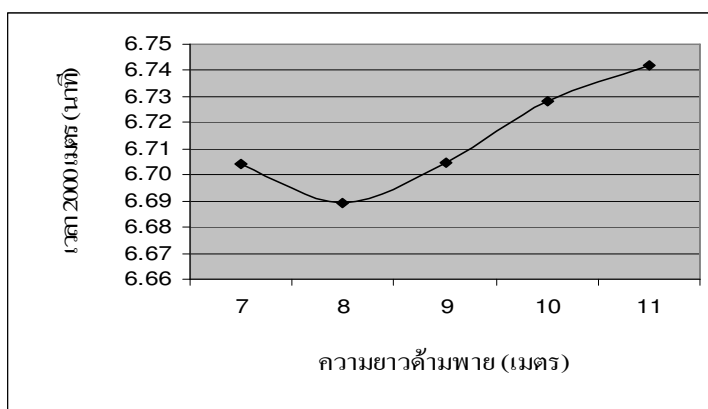
ขนาดใบพาย (m2)	11	12	13	14	15
เวลา 2,000 เมตร (min)	6.295	6.294	6.289	6.286	6.292
มุมการพาย (deg)	115.000	120.000	126.000	132.000	138.000
เวลา 2,000 เมตร (min)	6.811	6.877	6.879	6.879	6.935
ความยาวด้ามพาย (m)	7.000	8.000	9.000	10.000	11.000
เวลา 2,000 เมตร (min)	6.704	6.689	6.705	6.728	6.742
ความเร็วการเคลื่อนตัว (s)	0.600	0.800	1.000	1.200	1.400
เวลา 2,000 เมตร (min)	7.001	6.872	6.865	6.875	6.931



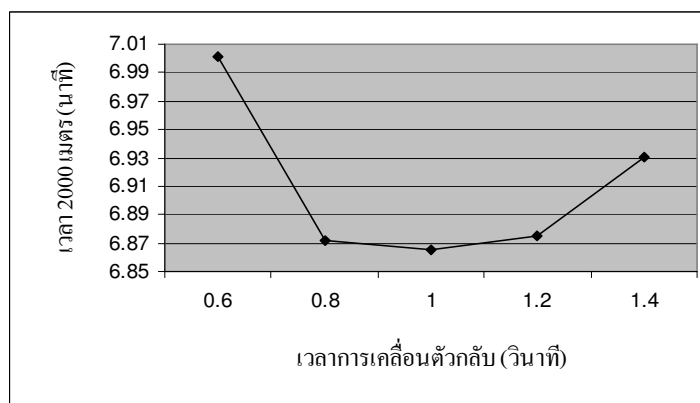
รูปที่ 4.14 แสดงผลกระทบของปัจจัยการแปรผันขนาดของใบพาย



รูปที่ 4.15 แสดงผลกระทบบของปัจจัยการแปรผันมูมการพาย



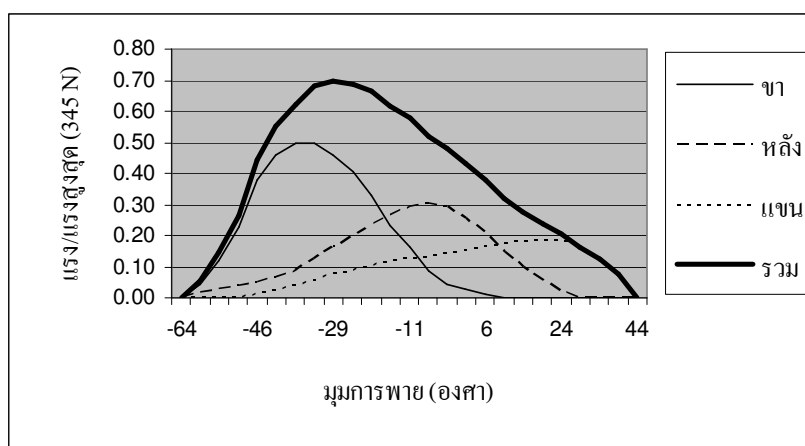
รูปที่ 4.16 แสดงผลกระทบบของปัจจัยการแปรผันความยาวค้ำพาย



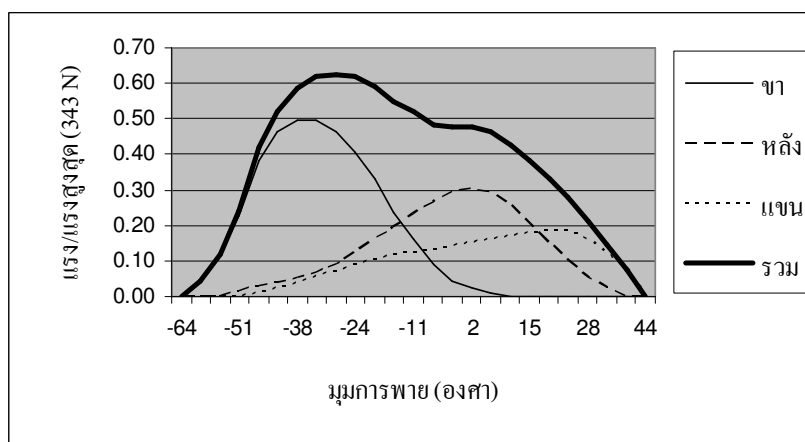
รูปที่ 4.17 แสดงผลกระทบบของปัจจัยการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับ

4.4.3 รูปแบบการพายอันดับ 1 กับอันดับ 2

เป็นการนำรูปแบบการพายที่ใช้เวลาการพายน้อยที่สุดอันดับ 1 (แบบที่ 1) รูปที่ 4.18 และรูปแบบการพายที่ใช้เวลาการพายน้อยที่สุดอันดับ 2 (แบบที่ 2) รูปที่ 4.19 มาเปรียบเทียบการแปรผันค่าปัจจัยการพายจะทำให้เห็นความแตกต่างของผลลัพธ์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์มากในการปรับแต่งอุปกรณ์และปรับปรุงรูปแบบการพายอย่างละเอียดเพื่อให้ได้รูปแบบการพายที่เหมาะสมที่สุดของนักพายเรือภายใต้เงื่อนไขและตัวแปรที่กำหนด การศึกษาในลักษณะนี้สามารถแนะนำนักพายเรือได้ว่านักพายเรือควรพายด้วยตัวแปรอย่างไรให้ดีที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด การศึกษาตัวแปรดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.18 รูปแบบการออกแรงพายที่ใช้เวลาการพายน้อยที่สุดอันดับ 1

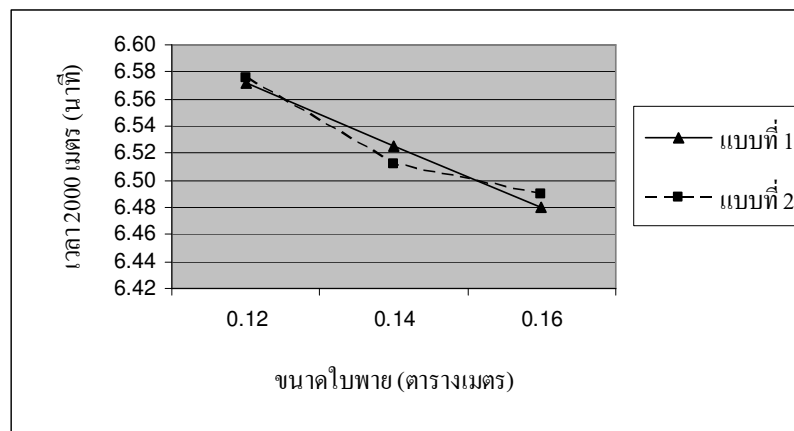


รูปที่ 4.19 รูปแบบการออกแรงพายที่ใช้เวลาน้อยเป็นอันดับ 2

1. การเปรียบเทียบการแปรผันขนาดของใบพาย ผลของการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.24 และรูปที่ 4.20 แสดงให้เห็นว่าขนาดใบพายที่ใหญ่ขึ้นทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ลดลง

ตารางที่ 4.24 เปรียบเทียบผลกระทบของขนาดใบพาย

ขนาดใบพาย (m ²)	0.12		0.14		0.16	
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 1	แบบที่ 2
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.794	4.789	4.847	4.858	4.892	4.889
เวลา 2,000 เมตร (min)	6.572	6.576	6.526	6.512	6.481	6.490
อัตราการพาย (1/min)	33.010	32.290	32.990	32.230	32.090	32.210
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.818	1.858	1.819	1.862	1.870	1.863
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	339.000	342.000	345.000	345.000	350.000	348.000
งาน 2,000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000	175.000	175.000	175.000



รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบผลกระทบของขนาดใบพาย

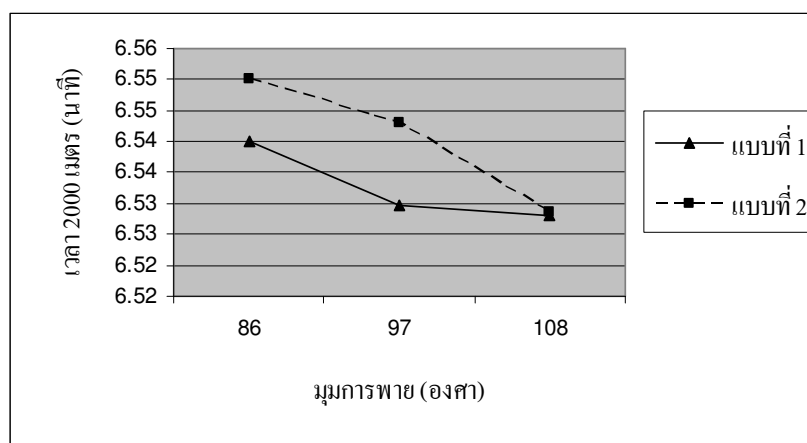
จากตารางที่ 4.24 และรูปที่ 4.20 พบว่ารูปแบบการออกแรงพายแบบที่ 1 จะทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร น้อยกว่าแต่เมื่อพายด้วยใบพายขนาด 0.14 ตารางเมตร ด้วยรูปแบบการออกแรงพายแบบที่ 2 พบว่าเวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร น้อยกว่า การพิจารณาว่านักพายเรือควรเลือกใช้พายขนาดใดนั้นจะพิจารณาจากข้อมูลของแรงบนใบพายซึ่งจะ

บอกถึงแรงสูงสุดที่นักพายเรือจะใช้ในการพาย ดังนั้น ในการพายเรือนักพายเรือควรเลือกขนาดของใบพายให้เหมาะสมกับความแข็งแรงและรูปแบบการออกแรงพายที่ใช้ในการพาย

2. การเปรียบเทียบการแปรผันมุมการพาย ผลของการศึกษาในตารางที่ 4.25 และรูปที่ 4.21 แสดงให้เห็นว่ามุมการพายที่กว้างขึ้นจะทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ลดลง

ตารางที่ 4.25 เปรียบเทียบผลกระทบบของมุมการพาย

มุมการพาย (deg)	86		97		108	
รูปแบบการออกแรงพาย	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 1	แบบที่ 2
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.829	4.810	4.842	4.827	4.845	4.844
เวลา 2,000 เมตร (min)	6.540	6.550	6.530	6.543	6.528	6.529
อัตราการพาย (1/min)	36.860	37.410	35.180	35.640	33.320	33.360
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.628	1.604	1.706	1.684	1.801	1.799
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	384.000	381.000	358.000	355.000	341.000	341.000
งาน 2,000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000	175.000	175.000	175.000



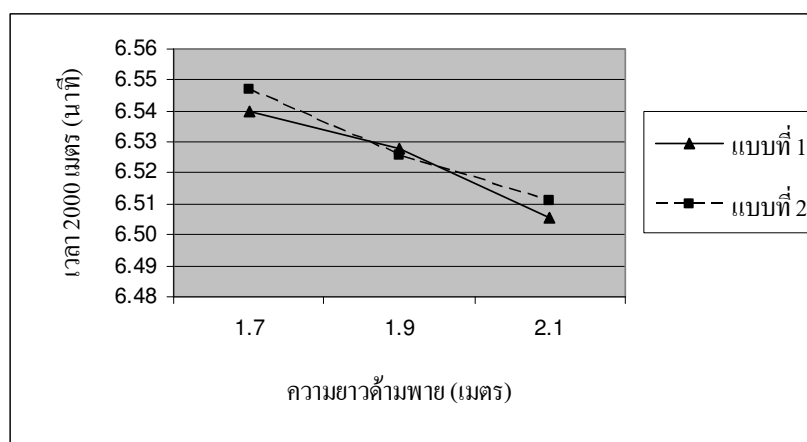
รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบผลกระทบบของมุมการพาย

จากตารางที่ 4.25 และรูปที่ 4.21 พบว่ารูปแบบการออกแรงพายแบบที่ 1 ทำให้การพายในระยะทาง 2,000 เมตร ใช้เวลาน้อยที่สุดไม่ว่าจะพายด้วยมุมขนาดใดก็ตาม ดังนั้นการพายด้วยมุมที่กว้างขึ้นควรพายด้วยรูปแบบการออกแรงพายแบบที่ 1

3. การเปรียบเทียบการแปรผันความยาวด้ามพาย ผลของการศึกษาในตารางที่ 4.26 และรูปที่ 4.22 แสดงการแปรผันความยาวด้ามพายให้ยาวขึ้นพบว่าทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ลดลง

ตารางที่ 4.26 เปรียบเทียบผลกระทบของความยาวด้ามพาย

ความยาวด้ามพาย	1.7		1.9		2.1	
รูปแบบการออกแรงพาย	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 1	แบบที่ 2
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.830	4.821	4.845	4.847	4.871	4.864
เวลา 2,000 เมตร (min)	6.540	6.547	6.528	6.526	6.506	6.511
อัตราการพาย (1/min)	35.490	35.030	33.710	33.210	32.250	31.840
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.691	1.713	1.780	1.807	1.860	1.884
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	370.000	369.000	353.000	355.000	339.000	340.000
งาน 2,000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000	175.000	175.000	175.000



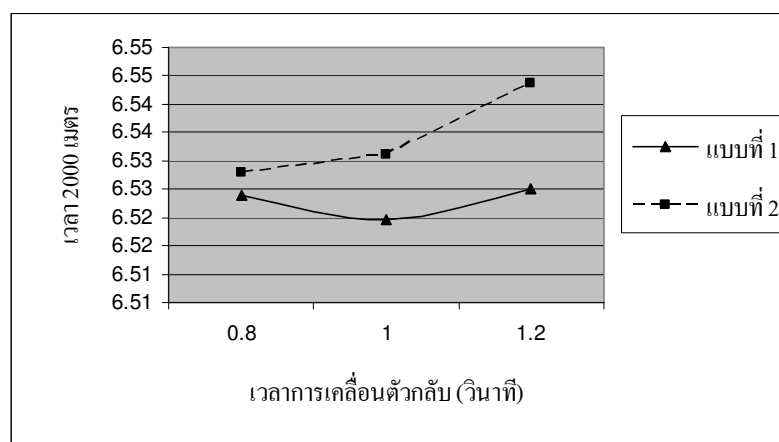
รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบผลกระทบของความยาวด้ามพาย

จากการศึกษาพบว่าด้ามพายที่ยาวกว่าจะใช้แรงในการพายน้อยกว่า ดังนั้นนักพายเรือที่มีความแข็งแรงน้อยควรพายด้วยด้ามพายที่ยาวขึ้นเพราะจะออกแรงในการพายต่อครั้งน้อยแต่ทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ลดลง

4. การเปรียบเทียบการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับ ผลของการศึกษาในตารางที่ 4.27 และรูปที่ 4.23 พบว่าเวลาการเคลื่อนตัวกลับที่เหมาะสมจะทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ลดลง

ตารางที่ 4.27 เปรียบเทียบผลกระทบของเวลาการเคลื่อนตัวกลับ

เวลาการเคลื่อนตัว	0.8		1.0		1.2	
รูปแบบการออกแรงพาย	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 1	แบบที่ 2
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.850	4.845	4.855	4.841	4.848	4.826
เวลา 2,000 เมตร (min)	6.524	6.528	6.520	6.531	6.525	6.544
อัตราการพาย (1/s)	34.600	34.690	30.650	31.140	28.370	28.430
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.734	1.730	1.957	1.927	2.115	2.110
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	320.000	320.000	370.000	366.000	407.000	405.000
งาน 2,000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000	175.000	175.000	175.000



รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบผลกระทบของเวลาการเคลื่อนตัวกลับ

การพายด้วยรูปแบบการออกแรงพายแบบที่ 1 เวลาการเคลื่อนตัวที่เหมาะสมประมาณ 1 วินาที ส่วนรูปแบบการออกแรงพายแบบที่ 2 เวลาการเคลื่อนตัวที่เหมาะสมประมาณ 0.8 วินาที ดังนั้นนักพายเรือควรเลือกการเคลื่อนตัวกลับให้เหมาะสมกับรูปแบบการออกแรงพาย

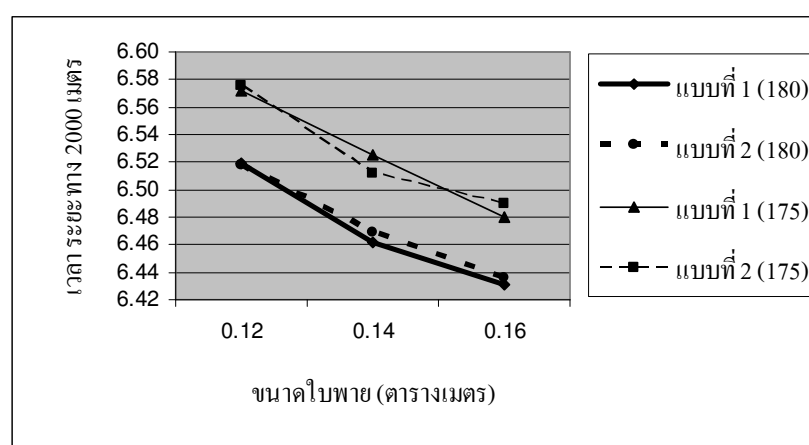
4.4.4 การเปรียบเทียบรูปแบบการพายของนักพายเรือโอลิมปิกกรณีแปรผันงานที่ใช้ในการพาย

การศึกษาในกรณีนี้เกิดจากแนวคิดที่ว่าเมื่อนักพายเรือฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาความแข็งแรงนักพายเรือจะมีความแข็งแรงมากขึ้นดังนั้นงานในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ก็จะมากขึ้น ในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาว่าถ้านักพายเรือพายด้วยงานในการพายระยะทาง 2,000 เมตร เพิ่มขึ้นจาก 175 กิโลจูล เป็น 180 กิโลจูล ผลการศึกษาจะเป็นเช่นไร เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงการพายของนักพายเรือต่อไป โดยการศึกษาดังต่อไปนี้

1. การเปรียบเทียบการแปรผันขนาดของใบพาย ผลของการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.28 และรูปที่ 4.24 พบว่าขนาดใบพายที่ใหญ่ขึ้นทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ลดลง

ตารางที่ 4.28 ผลการเปรียบเทียบกรณีงานในการพายเพิ่มขึ้น

ขนาดใบพาย (m ²)	0.12		0.14		0.16	
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 1	แบบที่ 2
รูปแบบการออกแรงพาย						
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.855	4.857	4.923	4.916	4.961	4.956
เวลา 2,000 เมตร (min)	6.520	6.518	6.462	6.468	6.431	6.436
อัตราการพาย (1/min)	33.380	32.760	32.810	32.840	32.690	32.930
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.797	1.832	1.829	1.827	1.835	1.822
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	357.000	352.000	357.000	356.000	358.000	360.000
งาน 2,000 เมตร (KJ)	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000



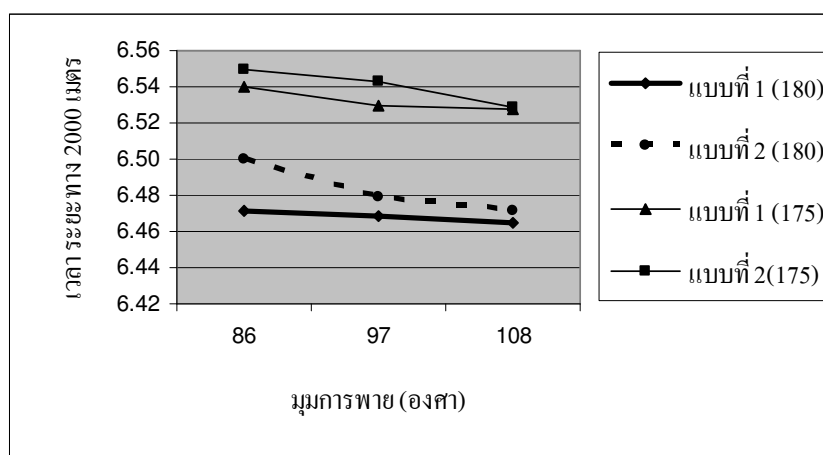
รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบ โดยการแปรผันขนาดใบพายกรณีงานในการพายเพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4.28 และรูปที่ 4.24 จะเห็นได้ว่าเมื่อใบพายมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ลดลง สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ (Atkinson, 2004; Holst, 2004)

2. การเปรียบเทียบการแปรผันมุมการพาย ผลของการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.29 และรูปที่ 4.25 พบว่ามุมการพายที่เพิ่มขึ้นทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ลดลง

ตารางที่ 4.29 ผลการเปรียบเทียบโดยการแปรผันมุมการพายกรณีงานในการพายเพิ่มขึ้น

มุมการพาย (deg)	86		97		108	
รูปแบบการออกแรงพาย	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 1	แบบที่ 2
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.911	4.878	4.915	4.904	4.920	4.912
เวลา 2,000 เมตร (min)	6.471	6.499	6.468	6.478	6.465	6.471
อัตราการพาย (1/min)	37.420	37.390	35.600	35.360	33.550	33.750
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.603	1.604	1.685	1.696	1.788	1.777
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	399.000	398.000	373.000	369.000	355.000	356.000
งาน 2,000 เมตร (KJ)	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000



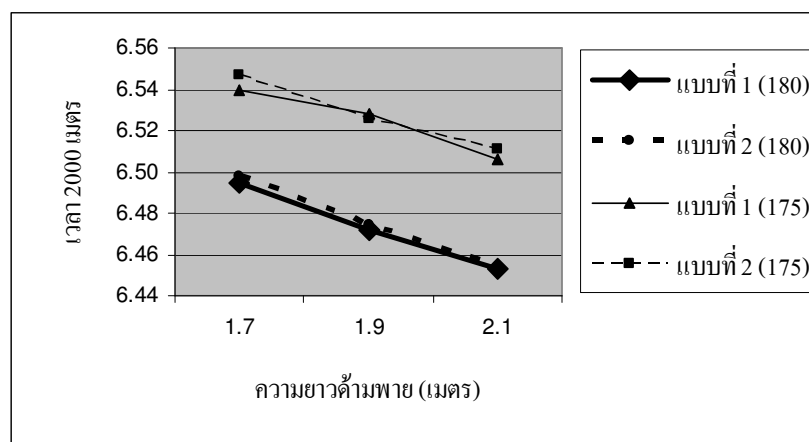
รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบโดยการแปรผันมุมการพายกรณีงานในการพายเพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4.29 และรูปที่ 4.25 พบว่ามุมการพายที่เพิ่มขึ้นทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ลดลง สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ (Atkinson, 2004; Holst, 2004) และเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบการพายที่พายด้วยงาน 175 กิโลจูล พบว่ารูปแบบการพายแบบที่ 1 ทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร น้อยกว่าไม่ว่าจะพายด้วยความกว้างของมุมการพายใดก็ตาม

3. การเปรียบเทียบการแปรผันความยาวด้ามพาย ผลของการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.30 และรูปที่ 4.26 พบว่าการพายด้วยพายที่มีความยาวด้ามพายมากกว่าจะทำให้เวลาในการพาย ระยะทาง 2,000 เมตร ลดลง

ตารางที่ 4.30 ผลการเปรียบเทียบโดยการแปรผันความยาวด้ามพายกรณีงานในการพายเพิ่มขึ้น

ความยาวด้ามพาย	1.7		1.9		2.1	
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 1	แบบที่ 2
รูปแบบการออกแรงพาย						
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.884	4.880	4.911	4.909	4.935	4.933
เวลา 2,000 เมตร (min)	6.495	6.498	6.471	6.474	6.453	6.453
อัตราการพาย (1/min)	35.770	36.040	33.980	33.390	32.430	32.170
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.677	1.664	1.765	1.796	1.850	1.865
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	381.000	378.000	366.000	366.000	351.000	350.000
งาน 2,000 เมตร (KJ)	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000



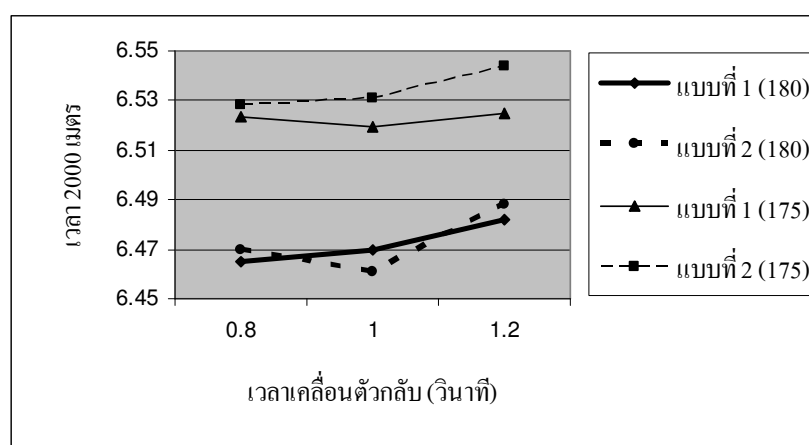
รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบโดยการแปรผันความยาวด้ามพายกรณีงานในการพายเพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4.30 และรูปที่ 4.26 แสดงให้เห็นว่าการพายด้วยพายที่มีความยาวด้ามพายมากกว่าจะทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ลดลงและใช้แรงสูงสุดน้อยกว่าสอดคล้องกับการเปรียบเทียบก่อนหน้านี้ (Atkinson, 2004; Holst, 2004)

4. การเปรียบเทียบการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับ ผลของการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.31 และรูปที่ 4.27 พบว่าเวลาในการเคลื่อนตัวกลับที่เหมาะสมจะทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร น้อยที่สุด

ตารางที่ 4.31 ผลการเปรียบเทียบโดยการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับกรณีงานในการพายเพิ่มขึ้น

เวลาการเคลื่อนตัว	0.8		1.0		1.2	
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 1	แบบที่ 2
รูปแบบการออกแรงพาย						
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.921	4.914	4.915	4.925	4.900	4.892
เวลา 2,000 เมตร (min)	6.465	6.469	6.469	6.460	6.481	6.487
อัตราการพาย (1/min)	34.700	35.040	31.610	31.860	28.600	28.620
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.729	1.712	1.898	1.883	2.097	2.096
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	334.000	333.000	381.000	375.000	424.000	419.000
งาน 2,000 เมตร (KJ)	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000



รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบ โดยการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับกรณีงานในการพายเพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4.31 รูปที่ 4.27 พบว่าการพายด้วย รูปแบบการออกแรงพายที่แตกต่างกันจะมีเวลาในการเคลื่อนตัวกลับที่เหมาะสมต่างกันออกไป การพายด้วยงาน 180 กิโลจูล ด้วยรูปแบบการพายแบบที่ 2 โดยการเคลื่อนตัวกลับด้วยเวลา 1 วินาที จะทำให้ใช้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร น้อยที่สุดซึ่งแตกต่างจากการพายด้วยงาน 175 กิโลจูล

4.5 การเปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือโอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย

การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างนักพายเรือโอลิมปิกโดยใช้รูปแบบการออกแรงพายแบบ ค กับนักพายเรือทีมชาติไทยโดยใช้รูปแบบการออกแรงพายแบบ ง โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาความแตกต่างของรูปแบบการพายและตัวแปรที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปพัฒนาการพายของนักพายเรือต่อไป โดยศึกษากรณีดังต่อไปนี้

4.5.1 กรณีงานในการพายไม่เท่ากัน

เป็นการเปรียบเทียบโดยใช้งานที่นักพายเรือออกแรงพายจริง โดยนักพายเรือโอลิมปิกออกแรงพายในระยะทาง 2,000 เมตรได้ 175 กิโลจูล และงานที่นักพายเรือไทยซึ่งมีความแข็งแรงน้อยกว่าออกแรงพายได้ 160 กิโลจูล โดยการศึกษาตัวแปรดังต่อไปนี้

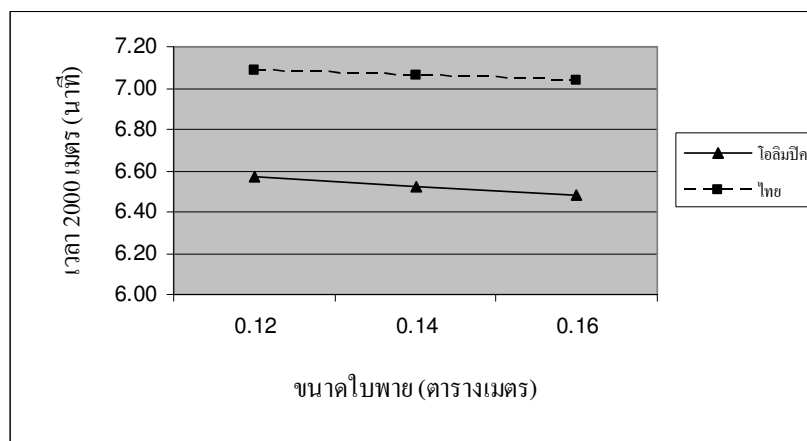
1. การเปรียบเทียบการแปรผันขนาดของใบพาย ผลของการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.32 และรูปที่ 4.28 พบว่าการพายด้วยรูปแบบการออกแรงพายของนักพายเรือโอลิมปิกและรูปแบบการออกแรงพายของนักพายเรือไทยแสดงให้เห็นว่ามุมการพายที่กว้างขึ้นจะทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ลดลงสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Atkinson, 2004; Holst, 2004)

ตารางที่ 4.32 ผลการเปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือโอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย โดยการแปรผันขนาดของใบพาย

ขนาดใบพาย (m ²)	0.12		0.14		0.16	
	Olympic	Thai	Olympic	Thai	Olympic	Thai
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.794	4.602	4.874	4.655	4.892	4.686
เวลา 2,000 เมตร (min)	6.571	7.080	6.525	7.057	6.480	7.040
อัตราการพาย (1/min)	33.010	32.410	32.990	32.230	32.090	32.120
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.817	1.851	1.818	1.861	1.869	1.867
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	339.000	233.000	345.000	234.000	350.000	236.000
งาน 2,000 เมตร (KJ)	175.000	160.000	175.000	160.000	175.000	160.000

จากการเปรียบเทียบพบว่าเวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ของนักพายเรือไทยมากกว่านักพายเรือโอลิมปิกทุกขนาดของใบพายที่แปรผัน สาเหตุสำคัญเกิดจากความแข็งแรงของนักพายเรือไทยน้อยกว่านักพายเรือโอลิมปิก พิจารณาจากงานในการพายระยะทาง 2,000 เมตร นักพายเรือไทยน้อยกว่านักพายเรือโอลิมปิกประมาณ 15 กิโลจูล ดังนั้นไม่ว่าจะเปรียบเทียบโดยการ

แปรผันตัวแปรใดก็ตามเวลาในการพายระยะทาง 2000 เมตร ของนักพายเรือไทย ก็ยังคงมากกว่านักพายเรือโอลิมปิก

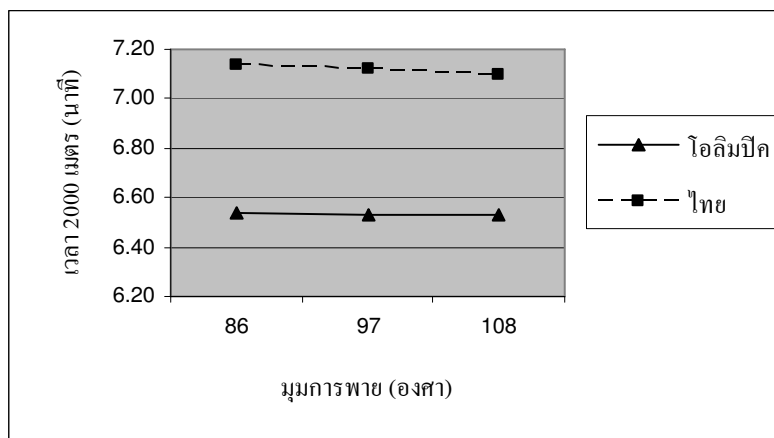


รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือ โอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย โดยการแปรผันขนาดของใบพาย

2. การเปรียบเทียบการแปรผันมุมการพาย ผลของการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.33 และรูปที่ 4.29 แสดงให้เห็นว่าการพายด้วยมุมการพายที่กว้างขึ้นจะทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Atkinson, 2004; Holst, 2004)

ตารางที่ 4.33 ผลการเปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือ โอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย โดยการแปรผันมุมการพาย

มุมการพาย (deg)	86		97		108	
	Olympic	Thai	Olympic	Thai	Olympic	Thai
รูปแบบการออกแรงพาย						
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.829	4.612	4.842	4.625	4.845	4.650
เวลา 2,000 เมตร (min)	6.540	7.136	6.529	7.123	6.528	7.100
อัตราการพาย (1/min)	36.860	37.290	35.180	34.980	33.320	33.000
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.627	1.609	1.705	1.715	1.800	1.818
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	384.000	258.000	358.000	243.000	341.000	231.000
งาน 2,000 เมตร (KJ)	175.000	160.000	175.000	160.000	175.000	160.000



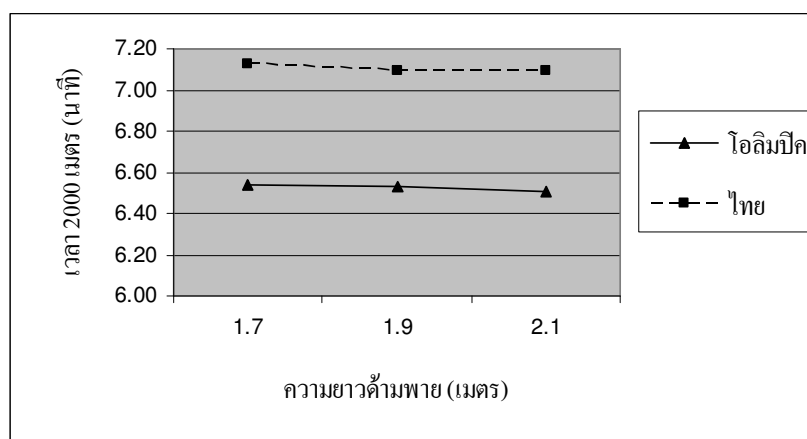
รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือ โอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย
โดยการแปรผันมุมการพาย

การเปรียบเทียบการพายของนักพายเรือ โอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย พบว่าเมื่อมุมการพายเพิ่มขึ้นเวลาการพายระยะทาง 2,000 เมตร ของนักพายเรือ โอลิมปิกน้อยกว่า นักพายเรือทีมชาติไทย

3. การเปรียบเทียบการแปรผันความยาวด้ามพาย ผลของการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.34 และรูปที่ 4.30 แสดงให้เห็นว่าการพายด้วยพายที่ยาวขึ้นจะทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Atkinson, 2004; Holst, 2004)

ตารางที่ 4.34 ผลการเปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือ โอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย
โดยการแปรผันความยาวด้ามพาย

ความยาวด้ามพาย	1.7		1.9		2.1	
	Olympic	Thai	Olympic	Thai	Olympic	Thai
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.830	4.619	4.845	4.659	4.871	4.660
เวลา 2,000 เมตร (min)	6.540	7.129	6.528	7.093	6.505	7.091
อัตราการพาย (1/min)	35.490	34.910	33.710	32.430	32.250	31.600
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.690	1.718	1.779	1.850	1.860	1.898
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	370.000	250.000	353.000	241.000	339.000	230.000
งาน 2,000 เมตร (KJ)	175.000	160.000	175.000	160.000	175.000	160.000



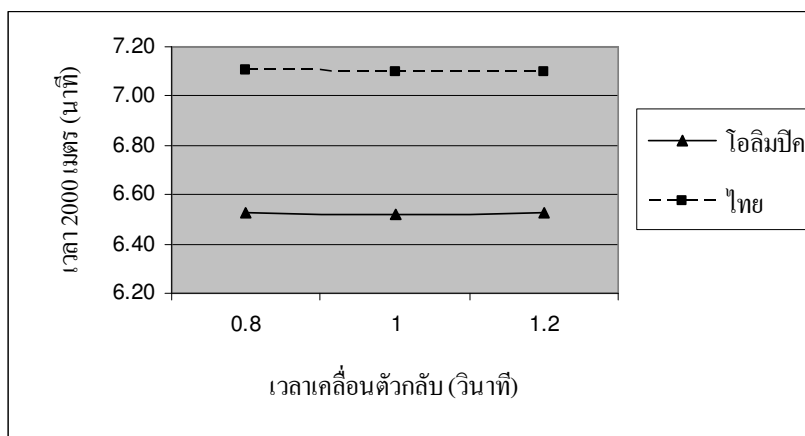
รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือ โอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย
โดยการแปรผันความยาวด้ามพาย

การเปรียบเทียบการพายของนักพายเรือ โอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย พบว่าเมื่อความยาวด้ามพายเพิ่มขึ้นเวลาการพายระยะทาง 2,000 เมตร ของนักพายเรือ โอลิมปิก น้อยกว่านักพายเรือทีมชาติ

4. การเปรียบเทียบการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับ ผลของการศึกษาแสดงใน ตารางที่ 4.35 และรูปที่ 4.31 แสดงให้เห็นว่าเวลาการเคลื่อนตัวกลับที่เหมาะสมจะทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตรลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Atkinson, 2004; Holst, 2004)

ตารางที่ 4.35 ผลการเปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือ โอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย
โดยการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับ

เวลาการเคลื่อนตัว	0.8		1.0		1.2	
	Olympic	Thai	Olympic	Thai	Olympic	Thai
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.850	4.648	4.855	4.656	4.848	4.652
เวลา 2,000 เมตร (min)	6.523	7.102	6.519	7.094	6.525	7.099
อัตราการพาย (1/min)	34.600	34.050	30.650	30.970	28.370	28.240
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.733	1.762	1.957	1.937	2.114	2.124
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	320.000	219.000	307.000	249.000	407.000	273.000
งาน 2,000 เมตร (KJ)	175.000	160.000	175.000	160.000	175.000	160.000



รูปที่ 4.31 เปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือ โอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย โดยการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับ

การเปรียบเทียบการพายของนักพายเรือ โอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย พบว่า เมื่อเคลื่อนตัวกลับด้วยเวลาที่เหมาะสมเวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ของนักพายเรือ โอลิมปิกน้อยกว่านักพายเรือทีมชาติไทย

การเปรียบเทียบในกรณีนี้ต้องการศึกษาความแตกต่างของนักพายเรือทีมชาติไทยว่ามีความแตกต่างกับนักพายเรือ โอลิมปิกอย่างไร เพื่อนำความรู้ที่ได้ไปปรับปรุงการพายของนักพายเรือไทยให้สามารถแข่งขันกับนักพายเรือระดับโอลิมปิกได้ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าไม่ว่าจะแปรผันค่าตัวแปรใดก็ตามเวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ของนักพายเรือไทยก็ยังมากกว่านักพายเรือระดับโอลิมปิก

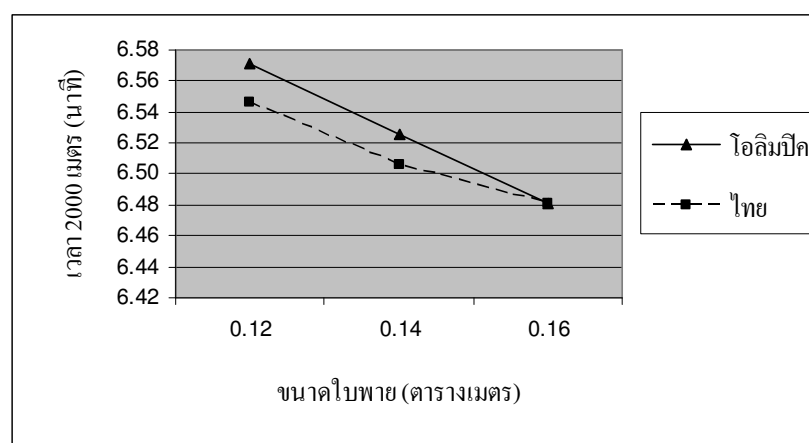
4.5.2 กรณีงานในการพายเท่ากัน

เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบรูปแบบการออกแรงพายได้ว่ารูปแบบการออกแรงพายของนักพายเรือไทยหรือนักพายเรือโอลิมปิกดีกว่ากัน จึงกำหนดให้งานในการพายของนักพายเรือไทยเท่ากับนักพายเรือโอลิมปิก เพื่อศึกษาผลจากการแปรผันค่าตัวแปรต่าง ๆ หรืออาจกล่าวได้ว่าหากนักพายเรือไทยฝึกซ้อมพัฒนาความแข็งแรงจนกระทั่งออกแรงพายสูงสุดได้เท่ากับนักพายเรือโอลิมปิกแล้วผลของการศึกษาจะเป็นเช่นไร

1. การเปรียบเทียบการแปรผันขนาดของใบพาย ผลของการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.36 และรูปที่ 4.32 แสดงให้เห็นว่าขนาดใบพายที่ใหญ่ขึ้นจะทำให้ เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ลดลง

ตารางที่ 4.36 ผลการเปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือ โอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย
โดยการแปรผันขนาดของใบพายกรณีงานในการพายเท่ากัน

ขนาดใบพาย (m ²)	0.12		0.14		0.16	
	Olympic	Thai	Olympic	Thai	Olympic	Thai
รูปแบบการออกแรงพาย	Olympic	Thai	Olympic	Thai	Olympic	Thai
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.794	4.819	4.874	4.871	4.892	4.900
เวลา 2,000 เมตร (min)	6.571	6.546	6.525	6.505	6.480	6.480
อัตราการพาย (1/min)	33.010	33.280	32.990	32.810	32.090	32.760
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.817	1.802	1.818	1.828	1.869	1.831
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	339.000	260.000	345.000	264.000	350.000	266.000
งาน 2,000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000	175.000	175.000	175.000



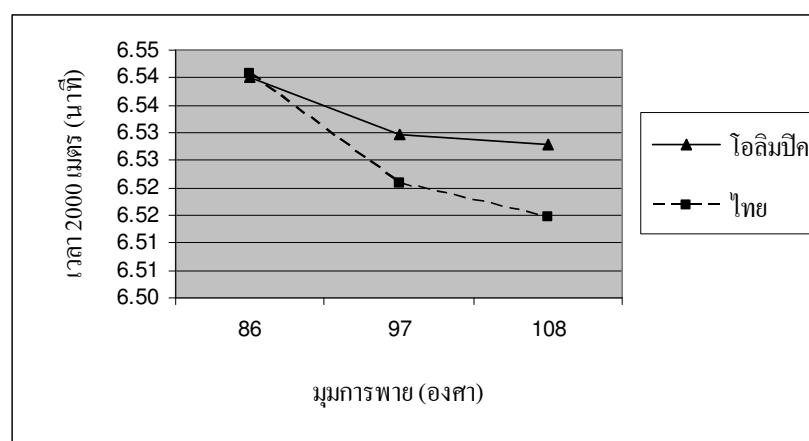
รูปที่ 4.32 เปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือ โอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย
โดยการแปรผันขนาดของใบพายกรณีงานในการพายเท่ากัน

จากตารางที่ 4.36 รูปที่ 4.32 พบว่าการพายด้วยงานระยะทาง 2,000 เมตร ที่เท่ากัน รูปแบบการออกแรงพายของนักพายเรือไทยใช้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร น้อยกว่า แต่เมื่อเพิ่มขนาดของใบพายขึ้นจนมีขนาด 0.16 ตารางเมตร พบว่าเวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ของนักพายเรือไทยเท่ากับนักพายเรือโอลิมปิก

2. การเปรียบเทียบการแปรผันมุมการพาย ผลของการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.37 และรูปที่ 4.33 แสดงให้เห็นว่ามุมการพายที่กว้างขึ้นจะทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ลดลง

ตารางที่ 4.37 ผลการเปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือ โอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย
โดยการแปรผันมุมการพายกรณีงานในการพายเท่ากัน

มุมการพาย (deg)	86		97		108	
	Olympic	Thai	Olympic	Thai	Olympic	Thai
รูปแบบการออกแรงพาย	Olympic	Thai	Olympic	Thai	Olympic	Thai
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.829	4.829	4.842	4.853	4.845	4.860
เวลา 2,000 เมตร (min)	6.540	6.540	6.529	6.520	6.528	6.514
อัตราการพาย (1/min)	36.860	36.900	35.180	35.440	33.320	33.830
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.627	1.626	1.705	1.693	1.800	1.773
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	384.000	295.000	358.000	274.000	341.000	260.000
งาน 2,000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000	175.000	175.000	175.000



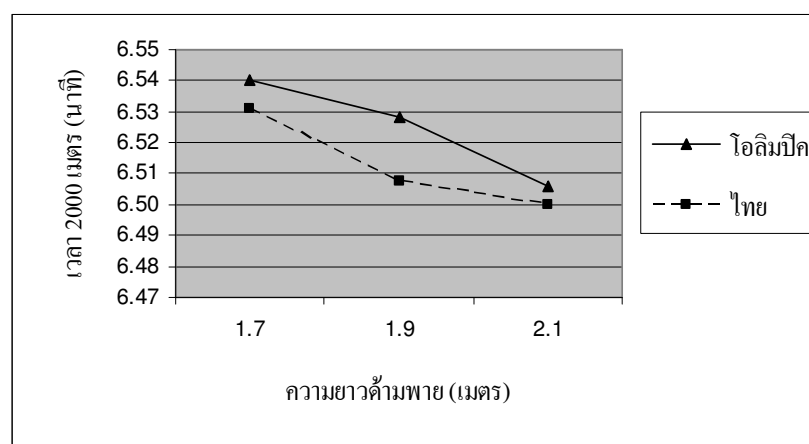
รูปที่ 4.33 เปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือ โอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย
โดยการแปรผันมุมการพายกรณีงานในการพายเท่ากัน

จากตารางที่ 4.37 และรูปที่ 4.33 พบว่าการพายด้วยงานระยะทาง 2,000 เมตรที่เท่ากัน โดยพายด้วยมุมพาย 0.86 องศา พบว่ารูปแบบการออกแรงพายของนักพายเรือโอลิมปิกใช้เวลาการพายในระยะทาง 2,000 เมตร น้อยกว่านักพายเรือไทยแต่เมื่อเพิ่มความกว้างของมุมพายมากขึ้นรูปแบบของนักพายเรือไทยใช้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร น้อยกว่านักพายเรือโอลิมปิก

3. การเปรียบเทียบการแปรผันความยาวด้ามพาย ผลของการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.38 และรูปที่ 4.34 แสดงให้เห็นว่าความยาวด้ามพายมากขึ้นจะทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ลดลง

ตารางที่ 4.38 ผลการเปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือโอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย โดยการแปรผันความยาวด้ามพายกรณีงานในการพายเท่ากัน

ความยาวด้ามพาย	1.7		1.9		2.1	
	Olympic	Thai	Olympic	Thai	Olympic	Thai
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.830	4.842	4.845	4.869	4.871	4.878
เวลา 2,000 เมตร (min)	6.540	6.531	6.528	6.507	6.505	6.499
อัตราการพาย (1/min)	35.490	35.850	33.710	33.230	32.250	31.900
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.690	1.673	1.779	1.805	1.860	1.880
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	370.000	280.000	353.000	270.000	339.000	262.000
งาน 2,000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000	175.000	175.000	175.000



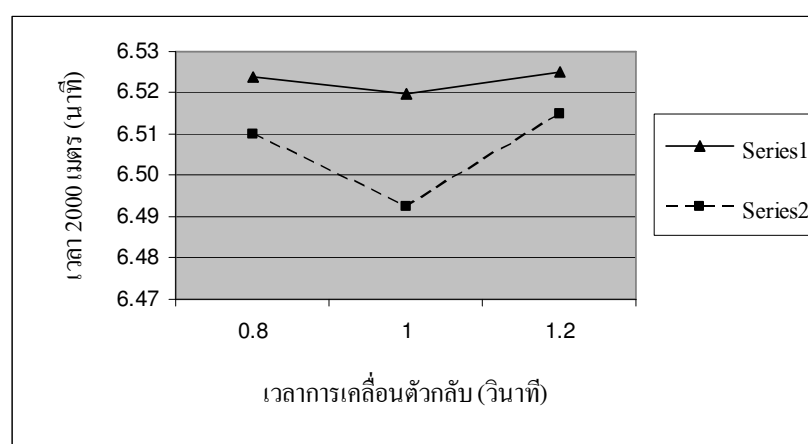
รูปที่ 4.34 เปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือโอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย โดยการแปรผันความยาวด้ามพายกรณีงานในการพายเท่ากัน

จากตารางที่ 4.38 และจากรูปที่ 4.34 การแปรผันความยาวของด้ามพายให้ยาวขึ้นพบว่ารูปแบบการพายของนักพายเรือไทยใช้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร น้อยกว่านักพายเรือโอลิมปิกทุกค่าความยาวของด้ามพาย

4. การเปรียบเทียบการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับ ผลของการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.39 และรูปที่ 4.35 แสดงให้เห็นว่าเวลาการเคลื่อนตัวที่เหมาะสมจะทำให้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร ลดลง

ตารางที่ 4.39 ผลการเปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือ โอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย โดยการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับกรณีงานในการพายเท่ากัน

เวลาการเคลื่อนตัว	0.8		1.0		1.2	
	Olympic	Thai	Olympic	Thai	Olympic	Thai
รูปแบบการออกแรงพาย						
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	4.850	4.867	4.855	4.886	4.848	4.860
เวลา 2,000 เมตร (min)	6.523	6.510	6.519	6.492	6.525	6.514
อัตราการพาย (1/min)	34.600	34.820	30.650	31.340	28.370	28.500
เวลาการพาย 1 ครั้ง (s)	1.734	1.723	1.957	1.914	2.114	2.105
แรงสูงสุดบนใบพาย (N)	320.000	247.000	307.000	279.000	407.000	311.000
งาน 2,000 เมตร (KJ)	175.000	175.000	175.000	175.000	175.000	175.000



รูปที่ 4.35 เปรียบเทียบระหว่างนักพายเรือ โอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย โดยการแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับกรณีงานในการพายเท่ากัน

จากตารางที่ 4.39 และจากรูปที่ 4.35 การแปรผันเวลาการเคลื่อนตัวกลับพบว่ารูปแบบการพายของนักพายเรือไทยใช้เวลาในการพายระยะทาง 2,000 เมตร น้อยกว่านักพายเรือโอลิมปิกทุกค่าเวลาการเคลื่อนตัวกลับ

การเปรียบเทียบในกรณีนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการหาคำตอบเพิ่มเติมจากการศึกษาหัวข้อก่อนหน้านี้ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบโดยงานที่ใช้ในการพายไม่เท่ากัน ดังนั้นหัวข้อนี้จึงทำการเปรียบเทียบรูปแบบการพายนักพายเรือทีมชาติไทยกับนักพายเรือโอลิมปิกในกรณีที่กำหนดให้งานในการพายเท่ากัน เพื่อศึกษาความแตกต่างของนักพายเรือไทยกับนักพายเรือโอลิมปิกว่าถ้านักพายเรือไทยฝึกซ้อมจนกระทั่งแข็งแรงมากขึ้นจะสามารถแข่งขันกับนักพายเรือโอลิมปิกได้หรือไม่ ควรปรับปรุงสิ่งใดบ้างจึงจะแข่งขันได้ จากความเชื่อที่ว่ารูปแบบการพายนักพายเรือโอลิมปิกเป็นรูปแบบที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นประเทศด้อยพัฒนามักจะเปลี่ยนแปลงเทคนิคหรือรูปแบบการพายให้มีลักษณะคล้ายคลึงกับนักพายเรือโอลิมปิกมากที่สุดซึ่งเชื่อว่าจะทำให้เวลาการแข่งขันลดลง จากงานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่า ถ้าหากเราไม่มีวิธีการที่จะอธิบายว่ารูปแบบใดดีกว่าเราก็จะปรับเปลี่ยนรูปแบบการพายของเราให้มีลักษณะคล้ายกับรูปแบบของนักพายเรือโอลิมปิกซึ่งอาจทำให้เวลาในการพายมากขึ้นก็เป็นได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้กับการพายเรือของนักพายเรือไทยต่อไป

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการหารูปแบบการออกแรงพายเรือกรรเชียงที่ดีที่สุดและศึกษาตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อพายเรือกรรเชียง เปรียบเทียบรูปแบบการพายของนักพายเรือโอลิมปิก รวมถึงการเปรียบเทียบรูปแบบการพายระหว่างนักพายเรือโอลิมปิกกับนักพายเรือทีมชาติไทย เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการพายเรือกรรเชียงให้เร็วที่สุด จากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุป

5.1.1 รูปแบบการออกแรงพาย (Force Function) ตามวิธีการแบบสุ่ม (แบบ ก) แม้จะให้ผลดีที่สุด แต่ไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการพายเรือกรรเชียงได้ เนื่องจากขัดต่อหลักการทางสรีรวิทยาและชีวกลศาสตร์ (Biomechanics)

5.1.2 รูปแบบการออกแรงพายตามวิธีการแบบผสมกำลังของกล้ามเนื้อขา หลังและแขน จากการจำลองทางคณิตศาสตร์ sine ยกกำลังสอง (แบบ ข) ลำดับการออกแรงของกล้ามเนื้อบางรูปแบบกล้ามเนื้อหลังและแขนออกแรงก่อนกล้ามเนื้อขาทำให้ไม่สามารถออกแรงดึงพายได้ในการพายเรือจริงเพราะขาจะขวางการเคลื่อนที่ของด้ามพาย

5.1.3. รูปแบบการออกแรงพายตามวิธีการแบบผสมกำลังของกล้ามเนื้อขา หลังและแขน จากการวัดจริง (แบบ ค) เป็นรูปแบบที่ใช้ในการแข่งขันกีฬาโอลิมปิก รูปแบบที่ดีที่สุดนั้น ลำดับการออกแรงคือ ข หลัง แขน ตามลำดับ และจุดแรงรวมสูงสุดอยู่ก่อนจุดใบพายตั้งฉากประมาณ 20% มีความสมจริงสามารถอธิบายลำดับการออกแรงที่ทำให้เรือเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุดเหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงเทคนิคการพาย เพื่อให้สามารถพายเรือกรรเชียงได้เร็วที่สุด

5.1.4. รูปแบบการออกแรงพายจากเครื่องจำลองการพายเรือไม่สามารถนำมาใช้ในการหารูปแบบการพายที่เหมาะสมที่สุดแต่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเปรียบเทียบรูปแบบการพายแบบต่าง ๆ ว่ารูปแบบการพายแบบใดทำให้เรือเคลื่อนที่ได้เร็วกว่า

5.1.5. การแปรผันขนาดของใบพายพบว่าใบพายที่มีขนาดใหญ่กว่าจะทำให้เวลาในการพายลดลง แต่การพายด้วยใบพายที่มีขนาดใหญ่ขึ้นต้องใช้แรงในการพายมากขึ้น

5.1.6. มุมการพายที่กว้างขึ้นจะทำให้เวลาในการพายลดลง มุมพายที่มากขึ้นจะใช้แรงในการพายต่อครั้งน้อยลง

5.1.7. ค้ำพายที่ยาวกว่าจะทำให้เวลาในการพายลดลง การพายด้วยพายที่ยาวขึ้นจะใช้แรงในการพายน้อยลง

5.1.8. เวลาการเคลื่อนตัวกลับที่เหมาะสมจะทำให้เวลาในการพายลดลง

5.1.9. รูปแบบการออกแรงพายที่ดีที่สุดของนักพายเรือ โอลิมปิกประกอบด้วยลำดับการออกแรงคือ ขา-หลัง-แขน

5.1.10. นักพายเรือโอลิมปิกมีความแข็งแรงมากกว่านักพายเรือไทย

5.1.11. กีฬาเรือพายเป็นกีฬาที่เทคนิคมีความสำคัญมากในการตัดสิน การแพ้ชนะนักกีฬาสองคนที่แข็งแรงเท่ากัน อาจแพ้ชนะกันได้มากถึง 118 เมตร ในการพาย 2,000 เมตร ถ้าใช้เทคนิคการออกแรงพายที่แตกต่างกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1. ขยายขอบเขตของการศึกษาการเคลื่อนที่ของเรือกรรเชียงใน 3 มิติ เพื่อให้ได้พฤติกรรมการเคลื่อนที่ที่สมจริงยิ่งขึ้น เพราะการหันเหและการกระดกของเรืออาจส่งผลต่อความเร็วของเรือและระยะทางการเคลื่อนที่ของเรือในปริมาณที่มีนัยสำคัญ

5.2.2. ควรพิจารณาถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเร็วเรือ เช่น แรงต้านอากาศ น้ำหนักของพายและน้ำหนักของนักกีฬา เพื่อให้ได้คำตอบที่ถูกต้องมากขึ้นเพราะในการแปรผันขนาดของใบพายให้ใหญ่ขึ้นและการแปรผันความยาวของค้ำพายให้ยาวขึ้นน้ำหนักของพายจะเพิ่มขึ้นและในขณะที่ยกใบพายเหนือน้ำแรงต้านอากาศจะส่งผลกระทบต่อใบพายมากขึ้น

5.2.3. ควรจำลองการออกแรงพายให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น เช่น มีการพิจารณาความล้าของกล้ามเนื้อ เพราะการพายด้วยอัตราพายที่มากขึ้นจะทำให้นักพายเรือเกิดความล้าและทำให้นักพายเรือหมดแรงจนไม่สามารถพายได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

รายการอ้างอิง

- ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวิวัฒน์. (2536). **สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย**. กรุงเทพฯ: ธรรมการพิมพ์.
- ทวิช จิตรสมบูรณ์. (2547). **กลศาสตร์ของไหล**. กรุงเทพฯ: ท้อป.
- ราชวดี งามสง่า. (2535). **เรือไทยสมัยโบราณ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ดันอ้อ.
- สมาคมเรือพายแห่งประเทศไทย. (2550). **ประวัติศาสตร์กีฬาเรือกรรเชียง** [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.rcath.com/historyRowingthai.htm>
- สมาคมเรือพายแห่งประเทศไทย. (2550). **ประวัติสมาคมเรือพายแห่งประเทศไทย** [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.rcath.com/historythai.htm>
- Abbott, A. V., and Wilson, D. G. (1995). **Human-powered vehicles**. Champaign: Human Kinematics.
- Affeld, K., Schichl, K., and Ziemann, A. (1993). Assessment of rowing efficiency. **International Journal of Sports Medicine**. 14(1): 39-41.
- Al Abrahamsen. (2001). **Rowing model for a four** [On-line]. Available: http://online.redwoods.cc.ca.us/instruct/darnold/DEProj/Sp01/Al/Rowingpaper_s.pdf
- Alexander, F. H. (1925). The theory of rowing. **Proceedings of the University of Durham Philosophical Society**. 6(3): 160-179.
- Alex, V. N., Richard B., and Sara, H. (2005). The impact of ergometer design on hip and trunk muscle activity patterns in elite rowers. **Journal of Sports Science and Medicine**. 4: 18-28.
- Andrea, M., Luca, F., and Edie, M. (2006). **Simulation of the dynamics of an Olympic rowing boat** [On-line]. Available: <http://proceedings.fyper.com/eccomasfd2006/documents/407.pdf>
- Atkinson, W. (2004). **Rowing computer research** [On-line]. Available: <http://www.atkinsopht.com/row/rowrpage.htm>

- Barrett, R. S., and Manning, J. M. (2004). Relationships between rigging set-up, anthropometry, physical capacity, rowing kinematics and rowing performance. **Sports Biomechanics**. 3: 221-235.
- Baudouin, A., and Hawkins, D. (2002). A biomechanical review of factors affecting rowing performance. **British Journal of Sports Medicine**. 36 (6): 396-402.
- Brearley, M. N., and de Mestre, N. J. (1996). Modelling the Rowing Stroke and Increasing its Efficiency. **3rd Conf. on Mathematics and Computers in Sport**. 35-46.
- Brearley, M. N., de Mestre, N. J., and Watson, D. R. (1998). Modelling the rowing stroke in racing shells. **The Mathematical Gazette**. 82: 389-495.
- Caplan, N., and Gardner, T. N. (2007). A fluid dynamic investigation of the Big Blade and Macon oar blade designs in rowing propulsion. **Journal of Sports Sciences**. 25: 643-650.
- Caplan, N., and Gardner, T. N. (2007). A mathematical model of the oar blade-water interaction in rowing. **Journal of Sports Sciences**. 25: 1025-1034.
- Caplan, N., and Gardner, T. N. (2005). The influence of stretcher height on the mechanical effectiveness of rowing. **Journal of applied biomechanics**. 21: 286-296.
- Cabrera, D., Ruina, A., and Kleshnev, V. (2006). A simple 1+ dimensional model of rowing mimics observed forces and motions. **Human Movement Science**. 25: 192-220.
- Celentano, F., Cortili, G., di Prampero, P.E., and Cerretelli, P. (1974). Mechanical Aspects of Rowing. **J. Applied Physiology**. 36(6): 642-647.
- Christopher L. Vaughan. (1989). **Biomechanics of Sport**. Florida: CRC Press. Inc.
- Clarys, J.P., and Cabri, J. (1993). Electromyography and the study of sports movements. **Journal of Sport Sciences**. 11: 379-448.
- Colloud, F., Manel, S., and Rouard, A. H. (2001). 3D kinematic relationships between blade and boat in rowing. **Journal of Human Movement Studies**. 40: 83-100.
- Dal M. A., and Komor, A. (1989). **Rowing and Sculling Mechanics**. Florida: CRC Press.
- De Luca, C. (1997). The use of surface electromyography in biomechanics. **Journal of Applied Biomechanics**. 13: 135-163.

- Doi, Y., Ueda, T., Mori, K., and Ninomiya, S. (1999). Study on rowing simulation and its application to evaluate oar size and rowing pattern. **Journal of The Society of Naval Architects of Japan**. 186: 89-96.
- Di Prampero, P. E., Celentano, F., Cortili, G., and Cerretelli, P. (1974). Physiological Aspects of Rowing. **J. Applied Physiology**. 31(6): 853-857.
- Dudhia, A. (2004). **Basic Physics of Rowing** [On-line]. Available: <http://www.atm.atm.ox.ac.uk/rowing/basics.html>
- Dudhia, A. (2004). **Effect of weight in rowing** [On-line]. Available: <http://www.atm.atm.ox.ac.uk/rowing/weight.html>
- Farid, M., and Keyvan, H. (2005). Rowing Stroke Force Estimation with EMG Signals using Artificial Neural Networks. **Proceedings of the 2005 IEEE Conference on Control Applications**. 28-31.
- FISA The International Rowing Federation (2002). **The FISA Coaching Development Program Be a Coach Handbook-Level 1** [On-line]. Available: http://www.worldrowing.com/medias/docs/media_350410.pdf
- Fox, R. W., and McDonald, A. T. (1992). **Introduction to Fluid Mechanics**. Fourth Edition. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Fukunaga, T., Matsuo, A., Yamamoto, K., Asami, T. (1986). Mechanical efficiency in rowing. **European journal of applied physiology and occupational physiology**. 55: 471-475.
- Hagerman, FC. (1984). Applied physiology of rowing. **Sports Med**. 1: 303-26.
- Hartmann, U., Mader, A., Wasser, K. and Klauer, I. (1993). Peak force, velocity, and power during five and ten maximal rowing ergometer strokes by world class female and male rowers. **Int J Sports Med**. 14: 42-45.
- Henry, J. C., Clark, R. R., McCabe, R. P. and Vanderby, R. (1995). An evaluation of instrumented tank rowing for objective assessment of rowing performance. **J Sports Sci**. 13: 199-206.
- Hill, H. (2002). Dynamics of coordination within elite rowing crews: evidence from force pattern analysis. **Journal of Sport Sciences**. 20 (2): 101-117.
- Hoerner, Holt, P.J., Bull, A.M., Cashman, P.M., and McGregor, A.H. (2003). Kinematics of spinal motion during prolonged rowing. **International Journal of Sports Medicine**. 24: 597-602.

- Hoerner, S. F. (1965). **Fluid-Dynamic Drag**. Midland Park, NJ: S. F.
- Hoerner, Jack, H., Wilmore, David, L., Costill. (1994). **Physiology of sport and exercise** Champaign. Human Kinetics.
- Jackson, P. S. (1995). Performance Prediction for Olympic Kayaks. **J. Sports Sciences**. 13: 239-245.
- Jillian, S., Caldwell, Peter, J., McNair, and Maynard, W. (2003). The effects of repetitive motion on lumbar flexion and erector spinae muscle activity in rowers. **Clinical Biomechanics**. 18(8): 704-711.
- Kerr, S. (1998). **Balance of Racing Rowing Boats** [On-line]. Available: <http://www.btinternet.com/~furnivall.sc/fscbrb.htm>
- Kleshnev, V. (1996). **The effects of stroke rate on biomechanical parameters and efficiency of rowing** [On-line]. Available: http://www.biorow.com/Papers_files/1999PropulsEff03.pdf
- Kleshnev, V. (1999). Propulsive efficiency of rowing. [On-line]. Available: http://ruina.tam.cornell.edu/research/topics/locomotion_and_robotics/papers/oar_efficiency.pdf
- Kobayashi, H., and Kinoshita, T. (2003). Improvement of rower's motion and equipments by using Rowing VPP. **Journal of the Society of Naval Architects of Japan**.194: 75-81.
- Kreighbaum, E., and Barthels, K.M. (1996). **Biomechanics: A Qualitative Approach for Studying Human Movement**. 4th ed. Boston: Allyn and Bacon.
- Lamb, D.H. (1989). A kinematic comparison of ergometer and on-water rowing. **The American Journal of Sports Medicine**. 17(3): 367-373.
- Lazauskas, L. (1997). **A performance prediction model for rowing races** [On-line]. Available. <http://www.cyberiad.net/rowing.htm>
- Lazauskas, L. (1998). **Rowing shell drag comparisons** [On-line]. Available: <http://www.cyberiad.net/rowing.htm>
- Liu, M., Herzog, M, W., and Savelberg, H. H. C. M. (1999). Dynamic muscle force predictions from emg: an artificial neural network approach. **Journal of Electromyography and Kinesiology**. 9: 391-400.

- Lyttle, A., Elliott, B., and Birkett, O. (2001). Comparison of force curves between on-water single scull rowing and the RowPerfect ergometer. **Biomechanics Symposia**. (pp. 259-262). San Francisco: University of San Francisco press.
- Macrossan, M. N., and Macrossany, N. W. (2006). **Back-splash in rowing-shell propulsion** [On-line]. Available. http://eprint.uq.edu.au/archive/00004046/01/bsplash_macrossan.pdf
- Martin, Thomas, P., and Bernfield, J. S. (1980). Effect of Stroke Rate on Velocity of a Rowing Shell. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 12(4): 250-256.
- MathWorks, Inc. (2004). MATLAB(version 7.0)[Computer software]. Massachusetts.
- Mazzone, T. (1988). Kinesiology of the rowing stroke. **NSCA Journal**. 10: 4-11.
- McGregor, A. H., Bull, A. M. J., and Byng-Maddick, R. (2004). A comparison of rowing technique at different stroke rates: a description of sequencing, force production and kinematics. **International Journal of Sports Medicine**. 25: 465-470.
- McNally, E., Wilson, D., Seiler, S. (2000). Rowing injuries. **Sports Med**. 35(6): 537-55.
- Michell, J.H. (1898). The Wave Resistance of a Ship. **Philosophical Magazine and Journal of Science**. 5(45): 106-123.
- Millward, A. (1987). A study of the forces exerted by an oarsman and the effect on boat speed. **Journal of Sports Sciences** 5: 93-103.
- Misener, D. L., and Morin, E. L. (1995). **An emg to force model for the human elbow derived from surface emg parameters** [On-line]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/iel3/4363/12476/00579643.pdf>
- Nelson, W. N., and Widule, DJ. (1983). Kinematic analysis and efficiency estimate of intercollegiate female rowers. **Med Sci Sports Exerc**. 15: 535-41.
- Nolte, Volker. (1991). Introduction to the Biomechanics of Rowing. **FISA Coach**, Winter, 2(1).
- Nozaki, D., Kawakami, Y., Fukunaga, T., and Milyashita, M. (1993). Mechanical efficiency of rowing a single scull. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**. 4: 251-255.
- Owen, K. Whyte, G. Ingham, S. A., and Waygood, C. (2002). Maximal force and power output of elite heavyweight and lightweight male rowers. **Journal of Sports Sciences**. 20: 14.
- Panjkota, A. Music, J. (2005). Muscle Activity During Ergometer Rowing, **Proceedings of BioMED2005**. February 16-18 2005. pp. 652-656.

- Panjkota, A. Šupuk, T., Zanchi, V. (2006). Correlation of EMG activity and kinematics in case of ergometer rowing. **Proceeding of WSEAS International Conference on Automation & Information**. pp.23-28.
- Philip, A. W. (1991). **Improving the Rowing Process with a Computer Model and Optimal Control Theory**. Ph.D. Dissertation, University of Massachusetts Institute of Technology.
- Pope, D. L. (1973). On the dynamics of men and boats and oars. **Mechanics and Sport, ASME**. 113-130.
- Reid, D.A., and McNair, P.J. (2000). Factors contributing to low back pain in rowers. **British Journal of Sports Medicine** 34: 321-325.
- Rodriguez, R.J., Rodriguez, R.P., Cook, S.D., and Sandborn, P.M. (1990). Electromyographic analysis of rowing stroke mechanics. **The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**. 30: 103-108.
- Rosow, E., and Davis, R. B. III. (1989). An Instrumented Ergometer for the Examination of Rowing Biomechanics. **IEEE**. 221-222.
- Roth, W., Schwanitz, P., Pas, P., Bauer, P., (1993). Force-time characteristics of the rowing stroke and corresponding physiological muscle adaptations. **International Journal of Sports Medicine** 14: 32-134.
- Sanderson, B., Martindale, W., (1986). Towards optimizing rowing technique. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 18(4): 454-468.
- Schneider, E., and Hauser, M., (1981). **Biomechanical analysis of performance in rowing**. University Park Press, Baltimore.
- Scragg, C. A., and Nelson, B. D. (1993). The Design of an Eight-Oared Rowing Shell. **Marine Technology**. 30(2): 84-99.
- Secher, N.H. (1993). Physiological and biomechanical aspects of rowing. Implications for training. **Sports medicine**. 15. 24-42.
- Senator, M., (1981). Why sliding seats and short stroke intervals are used for racing shells. **Journal of Biomedical Engineering** 103: 151-159.
- Smith, R.M., and Loschner, C., (2002). Biomechanics feedback for rowing. **Journal of Sports Sciences**. 20(10): 783-791.

- Smith, R.M., and Spinks, W. L., (1995). Discriminant analysis of biomechanical differences between novice, good and elite rowers. **Journal of Sports Sciences**. 13(5): 377-385.
- Smith, R., Galloway, M., Patton, R., and Spinks, W. (1993). Ergometer based prediction of on-water rowing performance. **Sports Coach**. 24-26.
- Spinks, W. L. (1996). Force-angle profile analysis in rowing. **Journal of Human Movement Studies**. 31: 211-233.
- Sweins, K., Peltonen, J. E., Rusko, H. K., Rantamäki, J., Niittymäki, S. and Viitasalo, J. T., (1997). Effects of oxygen fraction in inspired air on force production and electromyogram activity during ergometer rowing. **European Journal of Applied Physiology**. 495-503.
- Thomas, M. (1988). Kinesiology of the rowing stroke. **National Strength & Conditioning Journal**. 10(2).
- Thor, S. N. (2005). **Basic Rowing Physiology** [On-line]. Available: http://www.worldrowing.com/medias/docs/media_350411.pdf
- Thor, S. N. (2005). **Intermedait Rowing Physiology** [On-line]. Available: http://www.worldrowing.com/medias/docs/media_350419.pdf
- Torres-Moreno, R., Tanaka, C., and Penney, K.L. (2000). Joint excursion, handle velocity, and applied force: a biomechanical analysis of ergonomic rowing. **International Journal of Sports Medicine**. 21: 41-44.
- Tuck, E. O., and Lazauskas, L., (1996). Low Drag Rowing Shells, **3rd Conf. on Mathematics and Computers in Sport** (pp. 17-34). Queensland, Australia: Bond University.
- Valery, K. (2006). **Rowing Biomechanics Newsletter** [On-line]. Available: http://www.biorow.com/RBN_en/Coll/2006RowBiomNews.pdf
- van Holst, M. (2004). **On rowing** [On-line]. Available: <http://home.hccnet.nl/m.holst/RoeiWeb.html>
- Wellicome, J. F. (1967). **Some Hydrodynamic Aspects of Rowing**. New York: Barnes.
- Wilson, J. M. J., Robertson, D. G. E. and Stothart, J. P. (1998). Analysis of Lower Limb Muscle Function in Ergometer Rowing. **International Journal of Sport Biomechanics**. 4: 315-25.

Young, K. (1997). **Hydrodynamic Lift in the Sculling Stroke** [On-line]. Available:

<http://www.phys.washington.edu/~wilkes/post/temp/phys208/scull.lift.html>

Zatsiorsky, V. M., Yakunin, N. (1991). Mechanics and biomechanics of rowing: a review.

International journal of sport biomechanics. 7: 229-281.

ภาคผนวก ก

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเรือกรรเชียง

ก.1 ประวัติกีฬาเรือกรรเชียง

ก.1.1 ประวัติเรือกรรเชียงสากล

ชาวอียิปต์ได้พัฒนาเรือกรรเชียงลำแรกขึ้นเมื่อประมาณ 3000 ปีก่อนคริสตกาล ประเทศอังกฤษเป็นประเทศแรกที่แข่งขันกีฬาเรือกรรเชียงเมื่อประมาณปี ค.ศ. 1716 เพื่อเฉลิมฉลองงานครบรอบวันประสูติของพระเจ้าจอร์จที่ 2 โดยการแข่งขันเป็นการพายบรรทุกผู้โดยสารข้ามฝั่งแม่น้ำเทมส์ ประมาณหนึ่งศตวรรษหลังจากนั้นก็มีการแข่งขันเรือกรรเชียงที่มีชื่อเสียงมากที่สุด 2 รายการเกิดขึ้นคือ การแข่งขันระหว่างมหาวิทยาลัยออกซ์ฟอร์ดกับมหาวิทยาลัยเคมบริดจ์และอีกรายการหนึ่งคือ Henley Royal Regatta ซึ่งมีการแข่งขันต่อเนื่องกันมาจนกระทั่งปัจจุบัน เรือกรรเชียงถูกบรรจุเข้าแข่งขันในกีฬาโอลิมปิกในปี ค.ศ. 1900 ทำให้มีการสร้างมาตรฐานการแข่งขันขึ้นมา มีการแบ่งการแข่งขันตาม เพศ น้ำหนัก อายุ ประเภทของเรือ (สมาคมเรือพายแห่งประเทศไทย, 2550)

ก.1.2 ประวัติเรือกรรเชียงในประเทศไทย

ในปีพ.ศ.2537 สหพันธ์เรือกรรเชียงนานาชาติ ได้ส่งผู้แทนมาส่งเสริมกีฬาเรือกรรเชียง โดยมอบเรือกรรเชียงให้ 6 ลำ เพื่อใช้ในการฝึกซ้อม ต่อมาในปี พ.ศ. 2540 ได้ส่งนักกีฬาเรือพายเข้าร่วมการแข่งขันกีฬาซีเกมส์ ครั้งที่ 19 ณ ประเทศอินโดนีเซีย และได้ส่งเข้าร่วมการแข่งขันในระดับสากลเรื่อยมาจนกระทั่งปัจจุบัน

ก.2 ประเภทของเรือกรรเชียง

เรือกรรเชียงแบ่งออกเป็นสองประเภท คือ Sweep และ Sculling ในประเภท Sweep นั้นนักพายเรือแต่ละคนจะใช้พายเพียงหนึ่งอันในการพายขณะที่ประเภท Sculling นักพายเรือแต่ละคนจะใช้พายสองอัน การเรียกชื่อของเรือกรรเชียงนั้นจะเรียกชื่อแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับความแตกต่างของเรือและจำนวนนักพายเรือดังแสดงในรูปที่ ก.1 สามารถแบ่งได้ดังนี้

ประเภท Sculling

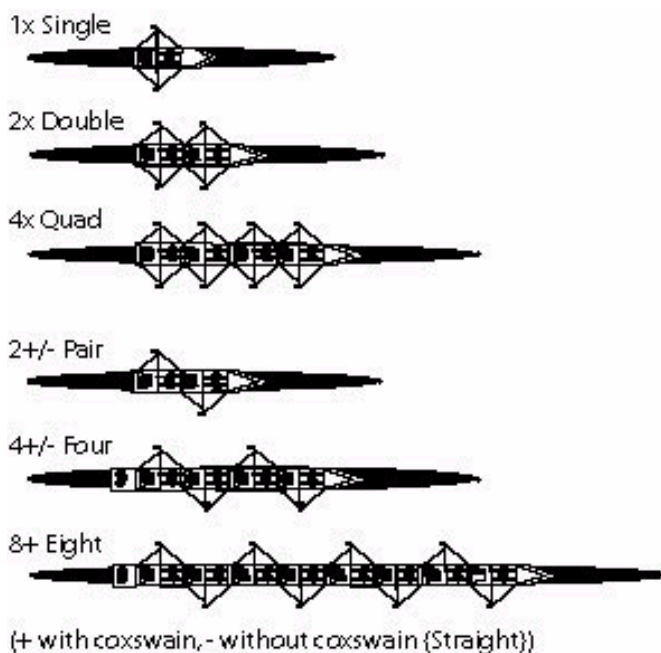
- กรรเชียงคู่หนึ่งคนพาย (Single-One Sculler)
- กรรเชียงคู่สองคนพาย (Double- Two Scullers)
- กรรเชียงคู่สี่คนพาย (Quad-Four Scullers)
- กรรเชียงคู่แปดคนพาย (Octet-Eight Scullers)

ประเภท Sweep ชื่อที่เรียกคือ

- กรรเชียงเดี่ยวสองคนพาย (Pair-Two Rowers)

- กรรเชียงเดี่ยวสี่คนพาย (Four-Four Rowers)
- กรรเชียงเดี่ยวแปดคนพาย (Eight- Eight Rower)

สัญลักษณ์เครื่องหมายลบ หมายถึง ไม่มีคนคัดท้าย (Coxswain) สัญลักษณ์เครื่องหมายบวก หมายถึง มีคนคัดท้าย

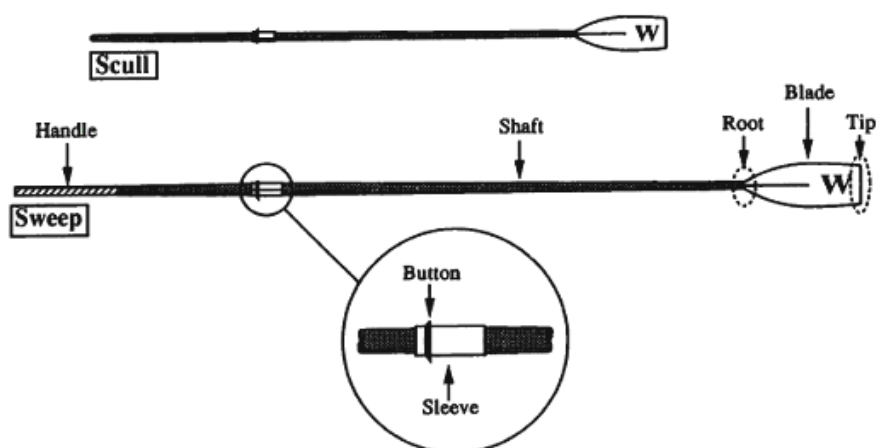


รูปที่ ก.1 การเรียกชื่อเรือกรรเชียง (FISA The International Rowing Federation, 2002)

ก.3 อุปกรณ์เรือกรรเชียง

ก.3.1 พาย

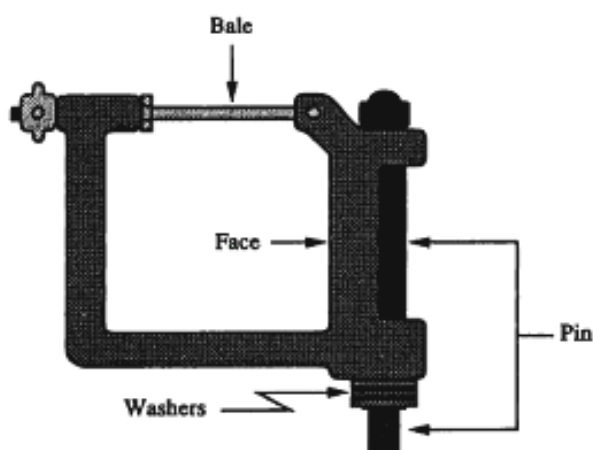
พายเป็นอุปกรณ์เชื่อมโยงระหว่างนักพายเรือกับน้ำเพื่อใช้สร้างแรงในการขับเคลื่อนตัวเรือ พายประกอบด้วยสามส่วนคือ ใบพาย ค้ำพายและค้ำจับพายดังแสดงในรูปที่ ก.2 ใบพาย มีรูปทรงลักษณะคล้ายพลั่ว ขนาดของใบพายอยู่ในช่วง 700-800 cm² สำหรับพายแบบ Scull และ 1000 cm² สำหรับพายแบบ Sweep ค้ำพายประกอบด้วย Sleeve และ Button โดย Sleeve จะเป็นตัวป้องกันการฉีกขาดของค้ำพายจากการหมุนบริเวณหูกรรเชียง (Oarlock) ส่วน Button จะเป็นปีกยื่นออกมาบน Sleeve เพื่อป้องกันการเลื่อนผ่านหูกรรเชียงของค้ำพาย บริเวณค้ำจับพายสำหรับ Sweep จะมีความยาวประมาณ 0.5 เมตร ขณะที่ scull ยาวเพียงแค่มือข้างเดียว (FISA The International Rowing Federation, 2002)



รูปที่ ก.2 พาย (FISA The International Rowing Federation, 2002)

ก.3.2 หุกรรเชียง

เป็นตัวยึดพายให้หมุนรอบหมุดยึดดังแสดงในรูปที่ ก.3 สามารถเปิดด้านบนได้เพื่อนำด้ามพายเข้าไปใส่ไว้ด้านใน ความสูงของหุกรรเชียงสามารถปรับให้สูงหรือต่ำได้ (โดยจะสัมพันธ์กับแขนกรรเชียง) โดยการปรับ Washers ด้านล่างหรือด้านบนของหุกรรเชียง (FISA The International Rowing Federation, 2002)



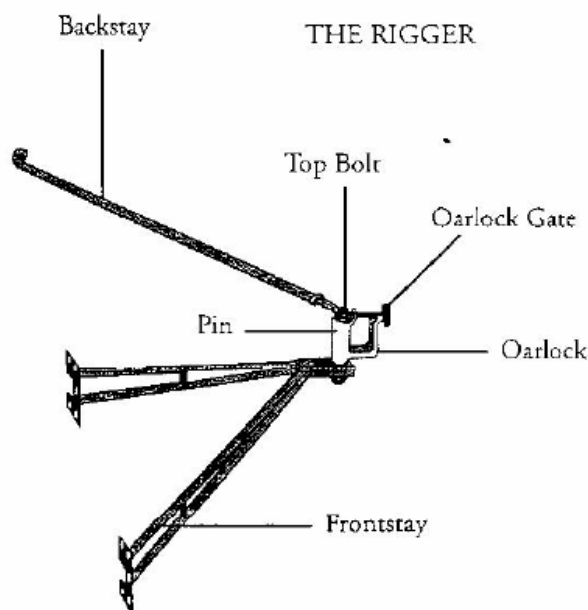
รูปที่ ก.3 หุกรรเชียง (FISA The International Rowing Federation, 2002)

ก.3.3 แขนกรรเชียง

แขนกรรเชียงมีไว้เพื่อวัตถุประสงค์หลักสองอย่างคือ

1. เพื่อส่งถ่ายแรงจากหมุดสู่เรือ

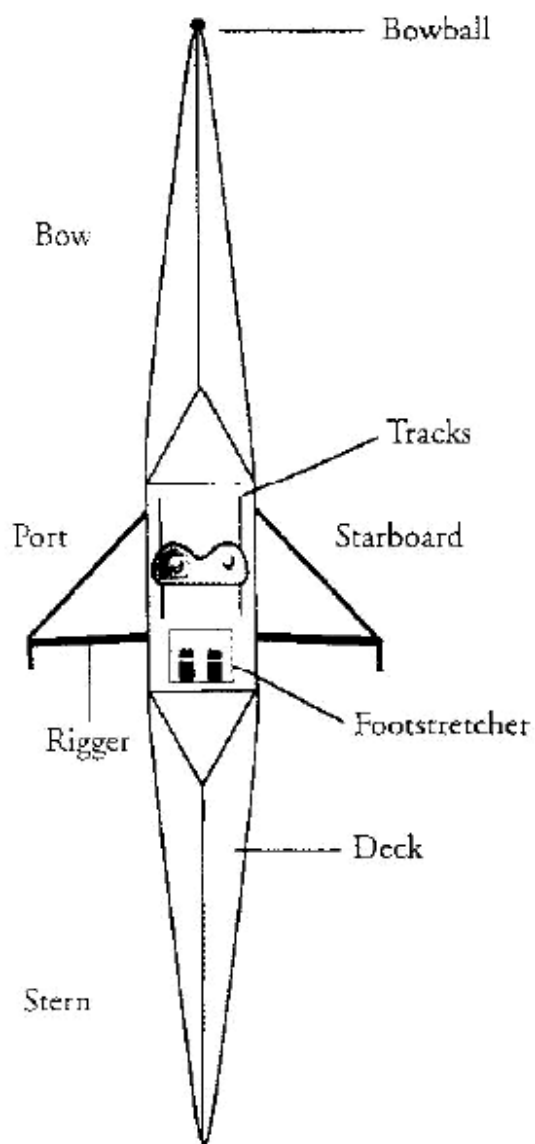
2. ช่วยเพิ่มระบบคานของนักพายเรือ ทำให้เพิ่มการสร้างแรงขับเคลื่อนบริเวณหมุด แขนกรรเชียงโดยปกติจะประกอบด้วยอุปกรณ์ค้ำยัน 2 ถึง 4 ตัว ซึ่งต่อกับด้านล่างหรือด้านบนของหมุดยึดถึงบริเวณกานเรือ จะมีตัวค้ำยันตัวหนึ่งตั้งฉากกับเรือ ส่วนตัวค้ำยันอีกสองตัวจะต่อในแนวทแยงจากด้านล่างของหมุดยึดไปทางหัวเรือและท้ายเรือดังแสดงในรูปที่ ก.4 บางครั้งจะออกแบบให้ตัวค้ำยันเชื่อมติดกัน แขนกรรเชียงสามารถปรับตำแหน่งของหมุดยึดเพื่อให้เหมาะสมกับตัวนักพายเรือ (FISA The International Rowing Federation, 2002)



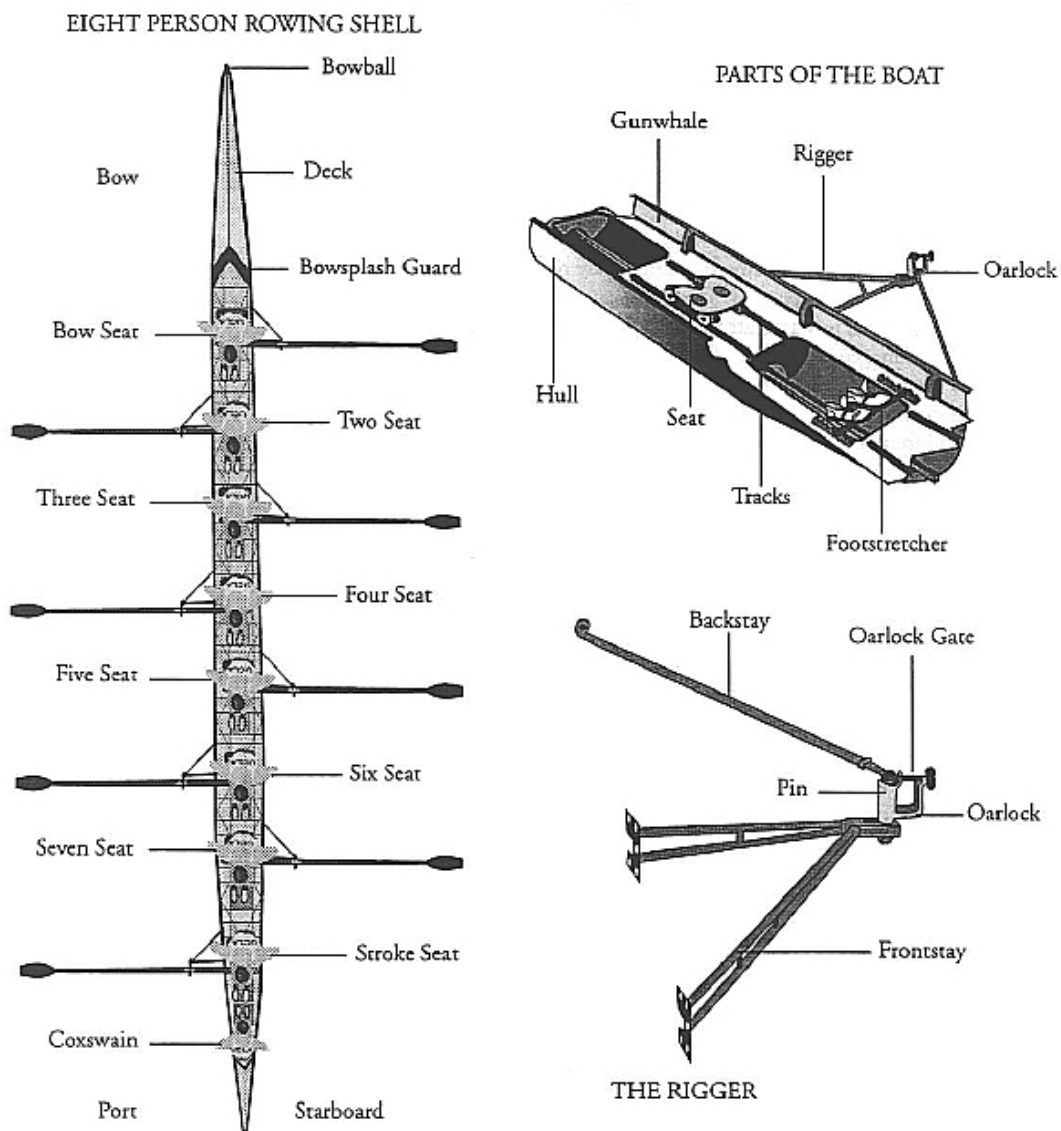
รูปที่ ก.4 แขนกรรเชียง (FISA The International Rowing Federation, 2002)

ก.3.4 เรือ

เรือกรรเชียงประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ บริเวณหัวเรือจะมีลูกบอลยางติดไว้ที่หัวเรือเพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดจากการชนของเรือ กานซ้ายและขวาของเรือใช้สำหรับเป็นที่ยึดแขนกรรเชียงเพื่อใช้สำหรับวางพาย หลังคาเรือมีไว้เพื่อป้องกันน้ำเข้าตัวเรือ ในตัวเรือจะประกอบด้วยที่นั่งเพื่อให้นักกีฬา นั่งในขณะพายซึ่งที่นั่งจะวางอยู่บนรางทำให้นักพายเรือสามารถเคลื่อนตัวไปมาได้ขณะพายและประกอบด้วยที่วางเท้าเพื่อให้นักพายเรือวางเท้าในการออกแรงขึ้นในขณะพายเป็นดังแสดงในรูปที่ ก.5 และ ก.6 (FISA The International Rowing Federation, 2002)



រូបភាព ៣.៥ ទ្រើង (FISA The International Rowing Federation, 2002)

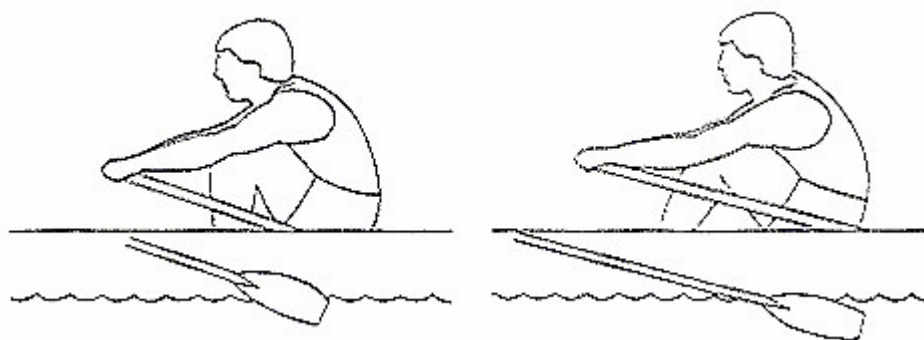


รูปที่ ก.6 เรือและอุปกรณ์ (FISA The International Rowing Federation, 2002)

ก.4 เทคนิคการพายเรือกรรเชียง

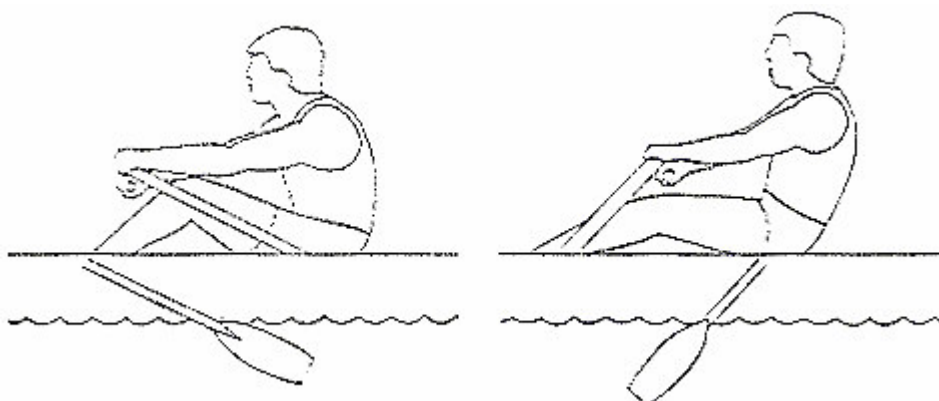
การพายเรือกรรเชียงประกอบด้วยช่วงการพายดังต่อไปนี้ (FISA The International Rowing Federation, 2002)

ช่วงพายลงน้ำ (Catch) ดังแสดงในรูปที่ ก.7 คือช่วงที่ใบพายสัมผัสผิวน้ำและนักพายเรือเริ่มออกแรงดึงด้ามจับพาย โดยเริ่มจากช่วงที่ใบพายสัมผัสผิวน้ำและสิ้นสุดเมื่อใบพายจมน้ำอย่างสมบูรณ์



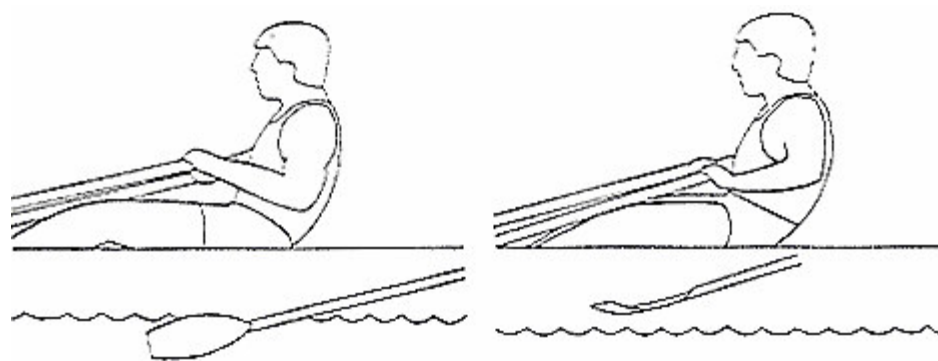
รูปที่ ก.7 ช่วงพายลงน้ำ (FISA The International Rowing Federation, 2002)

ช่วงออกแรงดึงพาย (Drive) ดังแสดงในรูปที่ ก.8 เป็นช่วงของการสร้างแรงขับเคลื่อนเริ่มต้นเมื่อใบพายจมน้ำแล้วนักพายเรือออกแรงดึงด้ามจับพาย



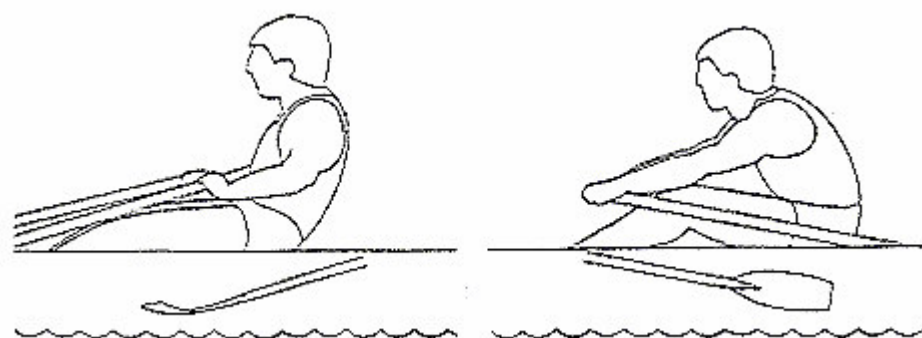
รูปที่ ก.8 ช่วงออกแรงดึงพาย (FISA The International Rowing Federation, 2002)

ช่วงพายพ้นน้ำ (Release) ดังแสดงในรูปที่ ก.9 เป็นช่วงที่ใบพายพ้นจากน้ำ นักพายเรือเริ่มกดด้ามพายลงทำให้ใบพายลอยขึ้นเหนือน้ำ



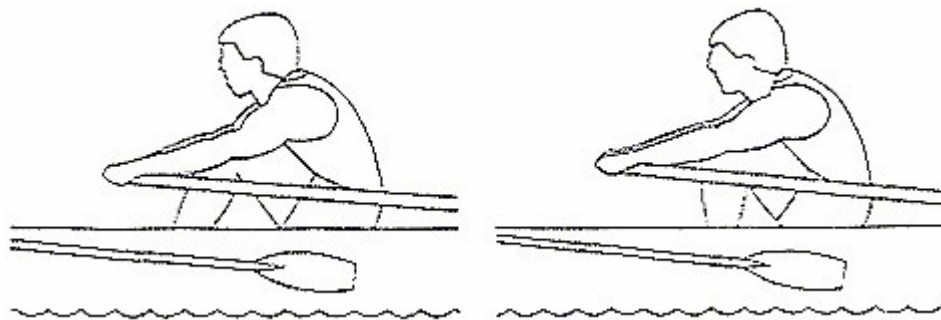
รูปที่ ก.9 ช่วงพายพ้นน้ำ (FISA The International Rowing Federation, 2002)

ช่วงเคลื่อนตัวกลับ (Recovery) ดังแสดงในรูปที่ ก.10 เป็นช่วงที่ใบพายพ้นจากน้ำและนักพายเรือเคลื่อนตัวกลับไปสู่ท่าเริ่มต้น



รูปที่ ก.10 ช่วงเคลื่อนตัวกลับ (FISA The International Rowing Federation, 2002)

ช่วงสิ้นสุดการเคลื่อนตัวกลับดังแสดงในรูปที่ ก.11 เป็นช่วงที่นักพายเรือเคลื่อนตัวกลับมาสู่ท่าเริ่มต้นการพายเพื่อเตรียมตัวที่จะพายครั้งต่อไป



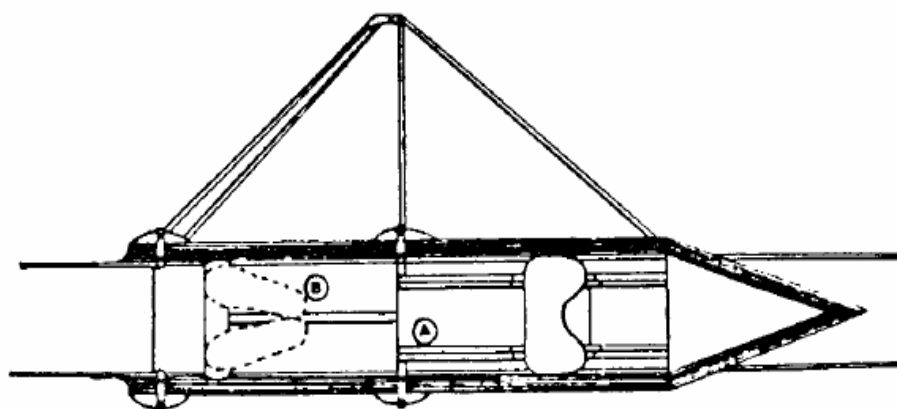
รูปที่ ก.11 ช่วงสิ้นสุดการเคลื่อนตัวกลับ (FISA The International Rowing Federation, 2002)

ก.5 การปรับแต่งเรือและอุปกรณ์

ในทางทฤษฎีการปรับแต่งเรือและอุปกรณ์ ไม่ว่าจะเป็นเรือกรรเชียงพายเดี่ยว Sweep หรือพายคู่ Sculling มีวิธีการปรับแต่งอุปกรณ์ที่เหมือนกันดังนี้

ก.5.1 ความยาวและตำแหน่งของรางที่นั่ง

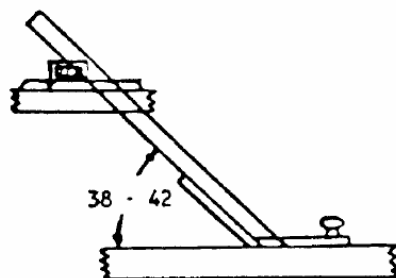
ความยาวของรางที่นั่งจะอยู่ระหว่าง 65 ซม. ถึง 85 ซม. โดยทั่วไปแล้ว จะมีความยาวระหว่าง 70-75 ซม. รางที่นั่งดังแสดงในรูปที่ ก.12 จะวางอยู่ในระยะอย่างน้อยที่สุด 65 ซม. จากปลายด้านหัวเรือจนถึงปลายทางด้านท้ายเรือ (FISA The International Rowing Federation 2002; Barrett and Manning, 2004)



รูปที่ ก.12 ความยาวและตำแหน่งของรางที่นั่ง (FISA The International Rowing Federation, 2002)

ก.5.2 มุม ความสูง และตำแหน่งของที่ยันเท้า

ในเรือสมัยใหม่สามารถที่จะปรับแต่งที่ยันเท้าได้ พบว่ามุมของที่ยันเท้าที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่าง 38-42 องศา และความสูงของที่ยันเท้า (ระยะตั้งฉากจากที่นั่งลงมาถึงปลายส้นเท้าของที่ยันเท้า) ประมาณ 15-18 ซม. ดังแสดงในรูปที่ ก.13

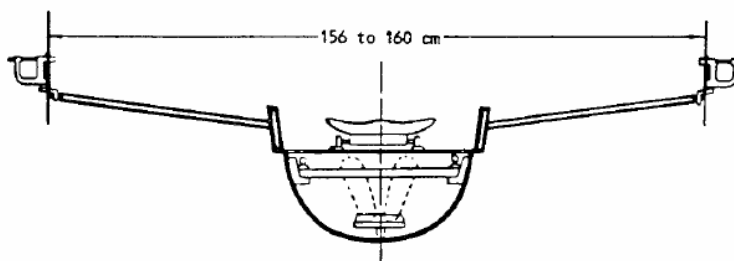


รูปที่ ก.13 มุม ความสูง และตำแหน่งของที่ยันเท้า (FISA The International Rowing Federation, 2002)

ตำแหน่งของที่ยันเท้าถือว่ามีค่าสำคัญ เพราะเป็นตัวควบคุมตำแหน่งของพายในขณะที่ลงน้ำและพ้นจากน้ำ (FISA The International Rowing Federation, 2002; Barrett and Manning, 2004).

ก.5.3 ความกว้างของหูกรรเชียง

ในเรือพายคู่ จะวัดความกว้างของหูกรรเชียงจากจุดกึ่งกลางสลักหูกรรเชียงข้างหนึ่งไปยังกึ่งกลางสลักหูกรรเชียงอีกข้างหนึ่งดังแสดงในรูปที่ ก.14 ระยะนี้โดยปกติแล้วอยู่ระหว่าง 156-160 ซม. และเป็นข้อสังเกตที่สำคัญด้วยว่าระยะระหว่างกึ่งกลางลำเรือไปยังสลักหูกรรเชียงแต่ละอันจะต้องเท่ากัน (FISA The International Rowing Federation, 2002; Barrett and Manning, 2004)



รูปที่ ก.14 ความกว้างของหุกรรเชียง (FISA The International Rowing Federation, 2002)

ก.5.4 ความสูงของหุกรรเชียง

การวัดความสูงของหุกรรเชียงทั้งในเรือพายคู่และพายเดี่ยวจะกระทำเหมือนกัน โดยวัดตามแนวเส้นตั้งฉากจากจุดต่ำสุดของที่นั่งถึงขอบบนสุดของหุกรรเชียง ซึ่ง โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 16-18 ซม. (FISA The International Rowing Federation, 2002; Barrett and Manning, 2004)

ก.5.5 ตำแหน่งของแหวนด้ามพาย

ด้ามพายจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนด้วยแหวนด้ามพาย ส่วนหนึ่งที่อยู่ภายในตัวเรือจะเรียกว่า Inboard อีกส่วนหนึ่งที่อยู่นอกตัวเรือ จะเรียกว่า Outboard การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งแหวนด้ามพายกระทำได้ง่ายด้วยการถอดสลักที่ยึดติดกับด้ามพายออก จะสามารถเลื่อนแหวนด้ามพายเข้าหาหรือออกจากใบพายได้ ถึงแม้ความยาวของพายทางด้าน Outboard จะมีความสำคัญก็ตาม การวัดตำแหน่งที่ถูกต้องของแหวนด้ามพาย โดยทั่วไปจะถือทางด้าน Inboard เป็นเกณฑ์ด้วยการวัดจากปลายด้ามที่จับ (Handle or Grip) ถึงแหวนด้ามพายทางด้านใบพาย จะเป็นความยาว Inboard ของพาย ซึ่งปกติจะอยู่ระหว่าง 85-89 ซม. สำหรับเรือพายคู่และ 110-118 ซม. สำหรับเรือพายเดี่ยว (FISA The International Rowing Federation, 2002; Barrett and Manning, 2004).

ก.5.6 มุมบิดของใบพาย

มุมบิดใบพายจะวัดเป็นองศาที่เอียงท่ามุมกับท้ายเรือ สิ่งที่สำคัญจะต้องเริ่มด้วยการปรับระดับเรือ (Level the Boat) ทั้งทางด้านกว้างและด้านความยาวของเรือ สลักจะต้องอยู่ในตำแหน่งตั้งตรงอยู่ในแนวระนาบ ไม่เอียงเข้าหาหรือออกจากตัวเรือ และไม่เอียงไปทางหัวหรือท้ายเรือ นักกีฬาที่มีประสบการณ์จะใช้มุมบิดใบพายประมาณ 1-2 องศา (FISA The International Rowing Federation, 2002; Barrett and Manning, 2004).

ภาคผนวก ข

โปรแกรมคำนวณหารูปแบบการพายที่ดีที่สุด

1. `bladef.m` ใช้ในการคำนวณหาแรงบนใบพาย โดยรับค่า มุมปะทะและความเร็วเข้ามาคำนวณ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นแรงบนใบพาย

```
% Input parameter: Angle = angle of attack [rad]
%Vel = current velocity
function yblf = bladef(angle, vel)
global DENS BLADEAREA
vec = cdcl(angle);
Cd=vec(1);
Cl=vec(2);
xx = 0.5*DENS*BLADEAREA*vel^2;
dragforce = Cd * xx;
liftforce = Cl * xx;
yblf = sqrt(dragforce^2 + liftforce^2);
```

2. `CdCl.m` ใช้ในการคำนวณหาสัมประสิทธิ์ของ Lift และ Drag โดยการรับค่ามุมปะทะเข้ามาและผลลัพธ์ที่ได้คือสัมประสิทธิ์ของ Lift และ Drag ซึ่งจะถูกริยาใช้โดย `bladef.m`

```
function yc = cdcl(Angle)
%x(Angle Degree) = [0.0 1.0 2.0 3.0 5.0 7.0 10.0 15.0 20.0 25.0 30.0 33.0 35.0 37.0
39.0 41.0 42.5 43.5 45.0 50.0 60.0 70.0 80.0 90.0];
x = [0.0 0.01745 0.0349 0.0523 0.0872 0.1221 0.1745 0.2617 0.3490 0.4363 0.5235
0.5759 0.6108 0.6457 0.6806 0.7156 0.7417 0.741700001 0.7853 0.8726 1.0471 1.2216 1.3961
1.5706];
ycl = [0.0 .0300 .065 .105 .185 .265 .39 .61 .83 1.04 1.23 1.33 1.36 1.38 1.37 1.35
1.30 0.73 0.71 0.67 0.56 0.40 0.21 0.0];
ycd = [0.0 0.0005 .001 .005 .015 .03 .07 .17 .31 .49 .71 .84 .93 1.01 1.08 1.15 1.20
0.66 0.71 0.80 0.96 1.09 1.17 1.20];
if abs(Angle) <= eps
Cd = 0;
Cl = 0;
else
```

3. `fnfdft.m` ใช้ในการคำนวณหาความเร็วเชิงมุมของใบพาย โดยการ Iteration เพื่อให้ได้แรงที่สอดคล้องกับแรงบนใบพายที่ต้องการ โดยการรับค่าความเร็วเรือ และมุมของใบพายเข้ามา จากนั้นทำการ Iteration หาความเร็วเชิงมุมที่เหมาะสม

```
function yfidot = fnfdft(vfi)
global L MAXFB CANT
vboat=vfi(1);
fi = vfi(2);
% start value of fidot for iteration
fidot = vboat*cos(CANT+fi)/(L*cos(CANT));
dfidot=0.1;
fbladeR = forcerf(fi)*MAXFB;
if fbladeR < eps fbladeR = 0.1; end;
fblade = 0;
count = 0;
while (fblade/fbladeR <1) & (count < 100)
count = count + 1;
foud = fblade;
fidot = fidot+dfidot;
vec = kin(vboat, fi, fidot);
fblade = bladef(vec(2), vec(1));
%xx=fblade
if fblade/fbladeR > 1.001
fblade = foud;
fidot = fidot-dfidot;
dfidot = dfidot/2;
end % end if
end % end while
% disp([' count = ' num2str(count)])
if(count>=99) disp(' count >= 100 in fnfdft'); end;
yfidot = [fidot fbladeR];
```

4. `forcert.m` ใช้ในการคำนวณหาแรงจาก Force Function จากมุมของใบพายที่กำหนดซึ่งแรงที่ได้จะถูกนำไปคูณกับแรงสูงสุดที่กำหนด โดยค่าที่ป้อนเข้ามาจะเป็นมุมของใบพายจากนั้นโปรแกรมจะทำการ Iteration หาค่าของแรงจาก Force Function ที่กำหนด

```
function yfor = forcerf(fi);
global FISTART FIEND FIV YFIV
if(fi<FIV(1)) | (fi>FIV(length(FIV)))
yfor=0;
else
yfor = interp1(FIV, YFIV, fi);
end
```

5. `kin.m` ใช้ในการคำนวณหามุมปะทะและความเร็วของใบพาย โดยรับค่าความเร็วของเรือ มุมของใบพายและความเร็วเชิงมุมของใบพายเข้ามาคำนวณซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นมุมปะทะและความเร็วของใบพาย

```
function ykin = kin(vboat, fi, fidot)
global DENS BLADEAREA L CANT
ulr = fidot * L * cos(CANT)- vboat * cos(fi+CANT);
upar = vboat * sin(fi+CANT)-fidot * L * sin(CANT);
u = sqrt(ulr^2 + upar^2);
if (abs(upar)<0.001)
att = pi/2;
else
att = abs(atan(ulr/upar));
end
if att>pi/2
att=att-pi/2;
end
ykin = [u att];
```

6. `logic.m` ใช้ในการกำหนดระยะทางการเคลื่อนที่ของที่นั่งให้อยู่ในช่วงที่กำหนด

```
function yy = logic(y)
global SLEN
if y>SLEN yy = 0.99*SLEN;
```

```
else yy = y; end
```

7. main.m ใช้ในการคำนวณหาความเร็วเชิงมุมของใบพาย แรงบนใบพายและความเร็วของที่นั่ง โดยรับค่าความเร็วเชิงมุมของใบพาย มุมของใบพาย ความเร็วเรือและระยะทางการเคลื่อนที่ของที่นั่ง

```
function com = main81(vec);

global FISTART FIEND B TOTANG SLEN STEP

fidotX = vec(1);

fi = vec(2);

vboat = vec(3);

y = vec(4);

if (fi <= FISTART + 0.002) | ((fidotX > 0) & (fi > FISTART) & (fi < FIEND))

% pull

vec2 = findfdt([vboat fi]);

fidot = vec2(1);

fblade = vec2(2);

ydot = seatspP([fidot fi]);

else

% recovery

fblade = 0.0;

ydot = seatspRF(y);

fidot = ydot * TOTANG/SLEN ;

if (fidot == 0) & (fi > FISTART)

fidot = (FISTART - fi)/STEP;

end;

end;

com = [fidot fblade ydot];
```

8. powbl.m ใช้ในการคำนวณหาค่าตั้งที่สูญเสียไปบนใบพายโดยการรับค่า ความเร็วเรือ แรงกระทำบนใบพาย ความเร็วเชิงมุมของใบพาย และมุมของใบพายเข้ามาทำการคำนวณหาค่าตั้งที่สูญเสียไปบนใบพาย

```
function yPbl = powbl(vec)

global L CANT
```

```

xdot = vec(1);
F = vec(2);
fidot = vec(3);
fi = vec(4);
yy=(fidot*L*cos(CANT)-xdot*cos(fi+CANT))*F;
if yy<0 yy=0; end
yPbl=yy;

```

9. poweroar.m ใช้ในการคำนวณหากำลังที่ส่งไปยังพายโดยรับค่าของแรงบนใบพาย ความเร็วเชิงมุมของใบพายและมุมของใบพายเข้ามาคำนวณหา กำลังที่ส่งมายังใบพาย

```

function yPoar = powoar(vec)
global L CANT
F = vec(2);
fidot = vec(3);
fi = vec(4);
yy=F * fidot * L;
if yy<0 yy=0; end
yPoar=yy;

```

10. powx.m ใช้ในการคำนวณหา กำลังที่สูญเสียไปกับการเคลื่อนที่ของเรือ โดยรับค่า ความเร็วของเรือเข้ามาแล้วคำนวณหา กำลังที่สูญเสียไปกับการเคลื่อนที่ของเรือ

```

function yPx = powx(vec)
global c
xdot = vec(1);
yPx = xdot^3 * c;

```

11. seatspP.m ใช้ในการคำนวณหาความเร็วของที่นั่งในช่วงของการออกแรงดึงใบพาย โดยการรับค่าความเร็วเชิงมุมของใบพาย มุมของใบพายเข้ามาแล้วทำการคำนวณหาความเร็วของที่นั่งในช่วงของการออกแรงดึงใบพาย

```

function ydot = seatspP(vec)
global TOTANG SLEN FISTART
fidot=vec(1);
fi=vec(2);
aux=pi/(TOTANG);

```

```
ydot=SLEN/2*aux*sin(aux*(fi-FISTART))*fidot;
```

12. seatspRF.m ใช้ในการคำนวณหาความเร็วสูงสุดของที่นั่งในช่วงกลับสู่ท่าเริ่มต้น โดยรับค่าตำแหน่งของที่นั่งเข้ามาแล้วทำการคำนวณหาความเร็วสูงสุดของที่นั่งในช่วงกลับสู่ท่าเริ่มต้น

```
% A1 = seat acceleration in first part of seat motion
```

```
% A2 = seat deceleration in second part of seat motion
```

```
function ydotR = seatspRF(y)
```

```
global SLEN A1 A2 YVMAX
```

```
if y>SLEN y=SLEN; end
```

```
if y<0 y=0; end
```

```
if y >= YVMAX
```

```
ydot = sqrt(2 * (SLEN-y) * A1);
```

```
else
```

```
ydot = sqrt(2 * A2 * y);
```

```
end
```

```
ydotR = -ydot*1.0; % 0.93: correction factor
```

13. shell.m ใช้สำหรับการจำลองแบบการพายเรือและกำหนดตัวแปรของค่าคงที่ต่าง ๆ

```
clear;
```

```
global CMAX FISTART FIEND TOTANG DENS BLADEAREA L MAXFB...
```

```
MAXANGLE VRECMAx SLEN TREC TRECMAx A1 A2 YVMAX EREC c...
```

```
FIV YFIV CANT STEP
```

```
% gobal variables and constants
```

```
STEP = 0.01; % step size
```

```
CANT = 0.0;
```

```
CMAX = 1.2; % max values of Cd and Cl
```

```
MAXANGLE = pi/4; % angle of attack of maximum value of Cd and Cl
```

```
FISTART = -1.1; % start value of oar angle
```

```
FIEND = 0.6; % end value of oar angle
```

```
FIV =[FISTART FISTART+0.15 -0.5 FIEND-0.89566 FIEND]; % angle
```

force function

```
YFIV =[ 0 1.0 1.0 1.0 0]; % ordinate force function
```

```

DENS = 1000;
BLADEAREA = 0.13;
L = 1.7;
SLLLEN = 1; % sliding length
MAXFB = 300; % maximum force on blade [N]
m1 = 40; % mass of hull and other fixed masses [kg]
m2 = 60; % moving mass [kg]
m = m1+m2; % mass of boat plus cargo [kg]
A = m2/(m1+m2); % factor in momentum equation
mrev = 1/m; % inverse of maas
c = 3.0; % resistance of boat
% next part is necessary to show the force function, not for simulation
TOTANG = FIEND - FISTART;
figure(1)
plot(FIV, YFIV, 'b')
grid
title('blade force curve')
xlabel('oar angle [rad]')
ylabel('force / max.force [-]')
axis([FISTART-0.1 FIEND+0.1 0 1.1])
hold on
%
% ##### recover #####
%
pause
TREC = 1.0; % time available for the reover [s]
p = 0.4; % p*TREC is time where max seat speed is reached
% 0<p<1; 0.1 means also after 0.1 of the sliding length
% max seat speed obtained i.e. at 0.9 sliding coordinate
TRECMAX = p*TREC; % see above
VRECMAX = 2*SLLLEN/TREC; % max seat speed during recover

```



```

EREC=0.5*m1*A*VRECMAX^2; % energy internally dissipated in recover
A1 = VRECMAX/TRECMAX; % seat acceleration in first part of recover
A2 = VRECMAX/(TREC - TRECMAX); % seat deceleration in second part of
recover
YVMAX = SLEN-0.5*A1*TRECMAX^2; % y where seat speed is max
B = -TOTANG/TREC; % the angular speed of the oar during recover
s=0:0.01:SLEN; % y coordinate of seat
n=length(s);
for i=1:n;
    vels(i) = seatsprf(s(i));
end
figure(2)
plot(s,vels, 'b')
grid
title ('seat speed in recover')
xlabel (' y-coordinate [m]')
ylabel (' speed [m/s]')
hold on

```

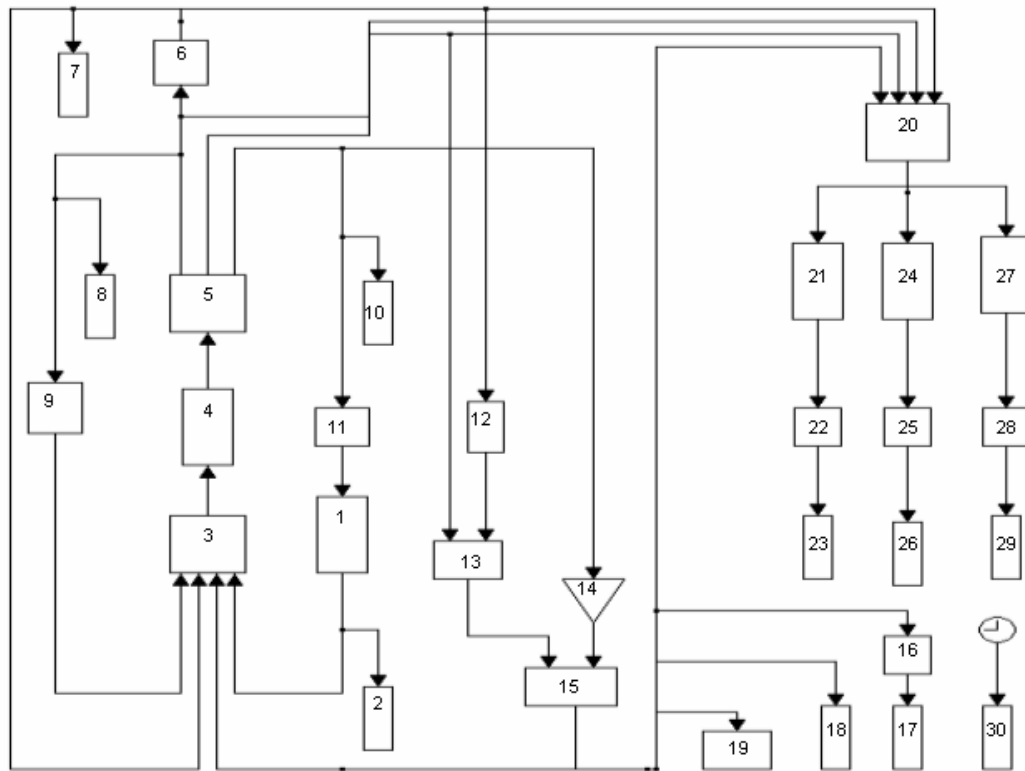
14. Rowingsim.m ใช้สำหรับการประมวลผลโดยการเรียกใช้โปรแกรมที่สร้างขึ้นมาทั้งหมดมาทำการคำนวณหาค่าที่ต้องการ โดยใช้ Function rk23 มาใช้ในการคำนวณ

```

fi1 = 36
fi2 = 134
fi = 36
a = 0.9
for fi = 36:134
    fi = fi+1
    yfidot = a*sin( pi*((fi-fi1)/(fi2-fi1)))
    plot (fi,yfidot)
    hold on
end

```

15. oefsim 4.m เป็นการนำโปรแกรมที่เขียนทั้งหมดมาเชื่อมต่อกันด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink เพื่อคำนวณหาผลลัพธ์ โดยมีขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแสดงในรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 ขั้นตอนการหาคำตอบ

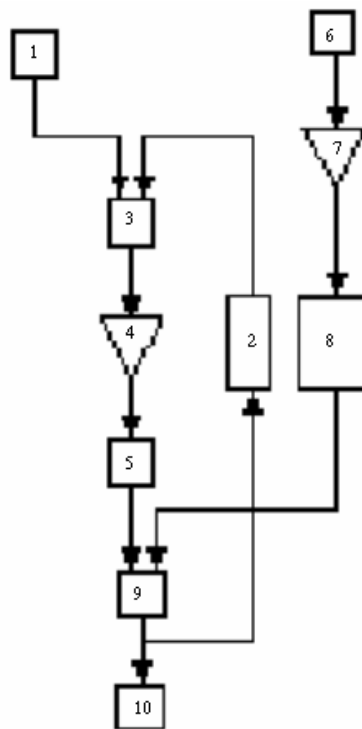
ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมสามารถอธิบายตามลำดับตัวเลขดังต่อไปนี้

1. โปรแกรมเริ่มทำงานจากการเคลื่อนตัวกลับสู่ตำแหน่งเริ่มต้นการพาย ในระหว่างเคลื่อนตัวจะมีการคำนวณหาระยะทางการเคลื่อนที่ของนักพายเรือและตรวจสอบระยะทางการเคลื่อนที่ของนักพายเรือว่าเคลื่อนที่ถึงระยะทางที่กำหนดไว้หรือไม่โดยเรียกโปรแกรม Logic.m ขึ้นมาใช้ในการตรวจสอบ
2. นำค่าระยะทางการเคลื่อนที่ไปเก็บไว้
3. รวมค่าที่ส่งเข้าไปเพื่อใช้ในการคำนวณให้เป็นเวกเตอร์ ซึ่งประกอบด้วย ระยะทางการเคลื่อนที่ของนักพายเรือ ความเร็วเรือ มุมของพาย ความเร็วเชิงมุมของพาย
4. นำค่าที่ส่งเข้ามาใช้ในการคำนวณโดยเรียกโปรแกรม Main.m เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วเชิงมุมค่าใหม่ที่สอดคล้องกับ Force Function คำนวณหาความเร็วเรือและความเร็วในการเคลื่อนตัวของนักพายเรือ

5. แยกเวกเตอร์ที่ได้จากการคำนวณใน 4 เพื่อส่งไปใช้งานในขั้นตอนต่อไป
6. เป็นการอินทิเกรตค่าความเร็วเชิงมุมของใบพายที่ส่งออกมาทำให้ได้ค่ามุมในการพาย เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป
 7. เก็บค่ามุมการพายที่ได้จากการอินทิเกรต
 8. เก็บค่าความเร็วเชิงมุม
 9. นำค่าความเร็วเชิงมุมที่ส่งออกมาก่อนหน้านี้มาใช้เป็นความเร็วเชิงมุมในการส่งเข้าไปใช้ในการคำนวณรอบต่อไป
10. เก็บค่าความเร็วการเคลื่อนที่ของนักพายเรือ
11. นำค่าความเร็วเชิงมุมมาอินทิเกรตเพื่อคำนวณหาระยะทางการเคลื่อนที่
12. รับค่ามุมการพาย
13. รวมค่ามุมการพายและแรงกระทำบนใบพาย ซึ่งเป็นแรงขับเคลื่อนบริเวณใบพาย
14. รับค่าความเร็วการเคลื่อนที่ของนักพายเรือเพื่อใช้กำหนดแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของเรือ
 15. รวมค่าที่ส่งเข้ามาเพื่อใช้คำนวณความเร็วของเรือ
 16. อินทิเกรตความเร็วเรือทำให้ได้ระยะทางการเคลื่อนที่ของเรือ
 17. เก็บค่าระยะทางการเคลื่อนที่ของเรือ
 18. เก็บค่าความเร็วเรือ
 19. แสดงผลความเร็วเรือ
 20. รวมค่าให้เป็นเวกเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังงานและพลังงานที่ใช้ในการพาย ค่าที่ส่งเข้ามาประกอบด้วย มุมการพาย ความเร็วเชิงมุม แรงกระทำบนใบพาย
 21. คำนวณหาค่ากำลังงานบริเวณใบพายโดยเรียก powbl.m ขึ้นมาใช้ในการคำนวณ
 22. อินทิเกรตกำลังงานบนใบพาย
 23. เก็บค่าพลังงานบนใบพายซึ่งได้จากการอินทิเกรต
 24. คำนวณหาค่ากำลังงานบริเวณเรือโดยเรียก powx.m ขึ้นมาใช้ในการคำนวณ
 25. อินทิเกรตกำลังงานบริเวณเรือ
 26. เก็บค่ากำลังงานบริเวณเรือซึ่งได้จากการอินทิเกรต
 27. คำนวณหาค่ากำลังงานบริเวณค้ำพายโดยเรียก poweroar.m ขึ้นมาใช้ในการคำนวณ
 28. อินทิเกรตกำลังงานบริเวณค้ำพาย
 29. เก็บค่าพลังงานบริเวณค้ำพายซึ่งได้จากการอินทิเกรต
 30. เก็บค่าเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

ขั้นตอน 15 คือ Subsystem ของระบบเป็นขั้นตอนในการคำนวณหาความเร็วเรือ สามารถอธิบายโดยละเอียดได้ดังนี้

การคำนวณหาความเร็วเรือสามารถทำได้โดยการอินทิเกรตสมการ (2) จะได้ค่า \dot{Z} จากนั้นแทนค่า \dot{Z} ลงในสมการ (14) ทำให้ได้ค่า x ตามที่ต้องการ ขั้นตอนการคำนวณค่าแสดงในผังที่ (2)



รูปที่ ข.2 ขั้นตอนคำนวณหาความเร็วเรือ

ขั้นตอนการคำนวณหาความเร็วเรือสามารถอธิบายตามลำดับหมายเลขดังต่อไปนี้

1. รับค่าแรงกระทำบนใบพาย (F_P)
2. รับค่าแรงต้านทานเรือ (F_R)
3. รวมค่าแรงบนใบพายกับแรงต้านทานเรือ ($F_P + F_R$)
4. คำนวณหาค่า (\ddot{Z}) โดยการนำค่าใน 3 หารกับมวลของเรือและนักพายเรือ

$$\left(\frac{F_P + F_R}{m_B + m_R} \right)$$
5. คำนวณหาค่า (\dot{Z}) โดยการอินทิเกรต (\ddot{Z})

6. รับค่าความเร็วการเคลื่อนที่ของมวล y
7. คุณค่าคงที่ของมวลกับความเร็วในการเคลื่อนที่ $\frac{m_R}{m_B + m_R} \dot{y}$
8. กำหนดให้ข้อมูลที่ออกจากขั้นตอนที่ 7 เป็นข้อมูลป้อนเข้าในขั้นตอนที่ 9
9. รวมค่าที่ออกจาก 5 กับค่าที่ออกจาก 8
10. ได้ค่า \dot{x} ที่ต้องการ

ภาคผนวก ค

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่ในระหว่างศึกษา

รายชื่อบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์และนำเสนอในงานประชุมวิชาการ

Rachnavy, P. and Chitsomboon, T. (2006). **Analysis of mechanics for optimal sculling.**
20th ME-NETT. 18-20 October 2006, Nakhon Ratchasima, Thailand.

Rachnavy, P. and Chitsomboon, T. (2007). **Optimal force function for boat rowing competition.** Journal of Sports Science and Technology.

ประวัติผู้เขียน

นายพรเทพ ราชนาวิ เกิดเมื่อวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2513 สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา) จากมหาวิทยาลัยมหิดล ในปี พ.ศ. 2534 ได้รับทุนผลิตและพัฒนา อาจารย์ (UDC) ของทบวงมหาวิทยาลัยเพื่อศึกษาต่อในระดับปริญญาโทในหลักสูตรวิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต สาขาชีวกลศาสตร์ (Biomechanics) จากมหาวิทยาลัยมหิดล สำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2544 และได้รับทุนต่อเนื่องของทบวงมหาวิทยาลัยเพื่อศึกษาต่อระดับปริญญาเอกในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี