การวิเคราะห์ท่าทางการว่ายน้ำใต้น้ำหลังการกระโดดระหว่างการกระโดดที่ระยะทางแตกต่างกันใน
นักกีฬาว่ายน้ำชาย อายุ 18-25 ปี

นางสาวปนัดดา ลี้ยาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

KINEMATIC ANALYSIS OF UNDERWATER UNDULATORY SWIMMING BETWEEN DIFFERENT JUMP START DISTANCES IN MALE SWIMMERS AGE 18-25 YEARS

Miss Panadda Leeyang

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Sports Science
Faculty of Sports Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ท่าทางการว่ายน้ำใต้น้ำหลังการกระโดดระหว่างการกระโดดที่ระยะทางแตกต่างกันในนักกีฬาว่ายน้ำชาย อายุ 18-25 ปี
โดย	นางสาวปนัดดา ลี้ยาง
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การกีฬา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร. นงนภัส เจริญพานิช

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันชัย บุญรอด)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร. นงนภัส เจริญพานิช)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. เบญจพล เบญจพลากร)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ หิรัญรัตน์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปนัดดา ลี้ยาง : การวิเคราะห์ท่าทางการว่ายน้ำใต้น้ำหลังการกระโดดระหว่างการกระโดดที่ระยะทางแตกต่างกันในนักกีฬาว่ายน้ำชาย อายุ 18-25 ปี (KINEMATIC ANALYSIS OF UNDERWATER UNDULATORY SWIMMING BETWEEN DIFFERENT JUMP START DISTANCES IN MALE SWIMMERS AGE 18-25 YEARS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์ ดร. นงนภัส เจริญพานิช, 108 หน้า.

วัตถุประสงค์: การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาท่าทางการเคลื่อนไหวใต้น้ำหลังกระโดดน้ำ โดยมุ่งศึกษาเปรียบเทียบว่าการกระโดดน้ำด้วยระยะทางที่แตกต่างกันส่งผลต่อตัวแปรที่สัมพันธ์ต่อประสิทธิภาพในช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำอย่างไร

วิธีดำเนินการวิจัย: กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาว่ายน้ำชายอายุระหว่าง 18 – 25 ปี จำนวน 13 คน มีความถนัดในการกระโดดน้ำท่าเท้านำเท้าตาม (Track Start) และเคยเข้าร่วมการแข่งขันระดับกีฬาแห่งชาติ กีฬามหาวิทยาลัย หรือการแข่งขันว่ายน้ำชิงชนะเลิศแห่งประเทศไทย โดยกำหนดให้นักกีฬากระโดดน้ำท่าเท้านำเท้าตามที่ระยะกระโดดใกล้ และระยะที่ไกล (บันทึกภาพการเคลื่อนไหวใต้น้ำโดยกล้องความถี่สูงจำนวน 6 ตัว วิเคราะห์การเคลื่อนไหวด้วยโปรแกรม Qualisys Motion Capture เพื่อหาระยะที่ศีรษะลงลึกที่สุดจากผิวน้ำ ระยะที่เท้าลงลึกที่สุดจากผิวน้ำ ระยะทางที่เริ่มเตะขาครั้งแรก ความเร็วแนวราบขณะเตะขาใต้น้ำ และความเร็วแนวราบขณะว่ายน้ำใต้น้ำ นำค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรดังกล่าวมาเปรียบเทียบระหว่างระยะทางในการกระโดดด้วยด้วยค่าทีรายคู่ (Paired t-test) และเปรียบเทียบช่วงว่ายน้ำใต้น้ำทั้ง 3 รอบการเตะด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำ (One–way ANOVA with repeated measures) โดยกำหนดระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p\text{-value} \leq .05$

ผลการวิจัย: ระยะทางกระโดดไกลส่งผลให้ ระยะที่ศีรษะและเท้าลงลึกที่สุด ลึกน้อยกว่าในขณะที่ระยะทางที่เริ่มเตะขาครั้งแรกไกลกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการกระโดดใกล้ อย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้ช่วงว่ายน้ำใต้น้ำมีความเร็วในการเคลื่อนที่ในแนวราบไม่ต่างกัน ในทางตรงกันข้ามเมื่อกระโดดที่ระยะใกล้ ความเร็วในแนวราบของการเตะขารอบที่ 1 น้อยกว่ารอบที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญ

สรุปผลการวิจัย: แม้ว่าการกระโดดน้ำแบบเท้านำเท้าตามที่ระยะใกล้ ใช้เวลาในการมุดน้ำไม่แตกต่างจากการกระโดดที่ระยะไกล แต่การกระโดดที่ระยะไกลจะส่งผลให้ศีรษะและเท้าลงลึกน้อยกว่าโดยอยู่ในระดับความลึกที่เหมาะสมต่อการว่ายน้ำใต้น้ำ จึงมีความเร็วในแนวราบของการว่ายไม่แตกต่างกันของการตีขาทั้ง 3 รอบ ส่งผลให้ใช้เวลาในช่วงออกตัวน้อยกว่าการกระโดดที่ใกล้

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การกีฬา ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2560 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

5978313639 : MAJOR SPORTS SCIENCE
KEYWORDS: BIOMECHANICS / KINEMATICS / UNDERWATER UNDULATORY SWIMMING / GLIDING PHASE / UNDERWATER LEG PROPULSION

PANADDA LEEYANG: KINEMATIC ANALYSIS OF UNDERWATER UNDULATORY SWIMMING BETWEEN DIFFERENT JUMP START DISTANCES IN MALE SWIMMERS AGE 18-25 YEARS. ADVISOR: NONGNAPAS CHAROENPANICH, Ph.D., 108 pp.

Purpose: This study aimed to compare the effect of different jump start distances to the variables related to Underwater Undulatory Swimming (UUS) performance.

Methods: Thirteen male swimmers ages between 18 – 25 years who had aptitude of Track Start were recruited. Each of them had to participate at least one of the national swimming competitions. Each subject was asked to jump with Track Start at both short and long distances. Six underwater high speed cameras were used to collect motion capture and analyzed the data by using Qualisys Motion Capture Program to find maximum depth of head and foot, the distance of first kick from start point, horizontal velocity of gliding and underwater swimming phases. Mean and standard deviation of these variables were compared between groups by using paired t-test and among three underwater kicks with one-way ANOVA at *p-value* ≤ .05.

Results: During the gliding phase, the long jump showed that the maximum depth of head and foot were significantly shallower than the short group. Therefore, the undulatory swimming horizontal velocity showed no significant difference among three kicks. On the other hand, first kick of the short group showed lesser of horizontal velocity than the third kick significantly.

Conclusion: Although both groups showed no significant difference in time to gliding the water, the long group showed significant swallower of maximum depth of head and foot that was the optimal depth for undulatory swimming. Moreover, the long group showed no significant horizontal velocity among three kicks. Therefore, the long group showed less time in starting phase.

Field of Study: Sports Science Student's Signature .....

Academic Year: 2017 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องการวิเคราะห์ท่าทางการว่ายน้ำใต้น้ำหลังการกระโดดระหว่างการกระโดดที่ระยะทางแตกต่างกันในนักกีฬาว่ายน้ำชาย อายุ 18-25 ปี สำเร็จได้ เนื่องจากบุคคลหลายท่านได้กรุณาช่วยเหลือให้ข้อมูล ข้อเสนอแนะ คำปรึกษาแนะนำ ความคิดเห็นและกำลังใจ

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.นงนภัส เจริญพานิช อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย เป็นอย่างสูงที่คอยให้คำแนะนำ ข้อคิด

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.เบญจพล เบญจพลากรและรองศาสตราจารย์.ดร.ศิริรัตน์ หิรัญรัตน์ อาจารย์คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ ผู้เข้าร่วมวิจัยทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการวิจัยเป็นอย่างดี ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้รายงานการวิจัยของผู้วิจัยสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณ โรงเรียนวชิราวุธวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยวิจัยทุกท่าน เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ ศูนย์ทดสอบ วิจัย วัสดุและอุปกรณ์ทางการกีฬา ทีมงานจากบริษัทยูไนเต็ตบีเมคที่ช่วยให้คำแนะนำและส่งทีมงานมาช่วยในการติดตั้งเครื่องมือ และกล้องใต้น้ำ ตลอดจน คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ท้ายสุดนี้ ขอขอบคุณ ครอบครัวอันเป็นที่รักและเพื่อนๆทุกคน ที่ช่วยส่งเสริมสนับสนุนกระตุ้นเตือน และเป็นกำลังใจตลอดมาให้ผู้เขียนจัดทำรายงานการวิจัยในครั้งนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 5

สมมติฐานของการวิจัย 5

ขอบเขตของการวิจัย 5

ตัวแปรที่ใช้ศึกษาประกอบด้วย 6

คำจำกัดความของการวิจัย 7

ประโยชน์ที่ได้รับ 9

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10

1. ประวัติของกีฬาว่ายน้ำ 10

2. ช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ (Underwater Undulatory Swimming) 11

3. ชีวกลศาสตร์ของการว่ายน้ำ (Swimming Biomechanics) 16

4. การศึกษาด้านชีวกลศาสตร์กีฬา (Sports Biomechanics) 22

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 34

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 42

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 42

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมงานวิจัย 42
เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างออกงานวิจัย 43
เกณฑ์ยุติการเข้าร่วมวิจัย 43
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 43
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 45
การวิเคราะห์ข้อมูล 48
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 49
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 60
อภิปรายผลการวิจัย 62
สรุปผลการวิจัย 65
ข้อจำกัดในการวิจัย 65
ข้อเสนอแนะ 66
รายการอ้างอิง 67
ภาคผนวก 75
ภาคผนวก ก 76
ภาคผนวก ข 85
ภาคผนวก ค 86
ภาคผนวก ฆ 88
ภาคผนวก ฆ 91
ภาคผนวก ง 92
ภาคผนวก จ 93
ภาคผนวก ฉ 102
ภาคผนวก ช 104

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 108

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลพื้นฐานของผู้เข้าร่วมวิจัยในครั้งนี้ .. 50

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะทางการกระโดด ระหว่างระยะทางการกระโดดใกล้และระยะทางกระโดดไกล 50

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเคลื่อนไหวช่วงมุดน้ำ (Gliding Phase) ระหว่างระยะทางการกระโดดใกล้และระยะทางกระโดดไกล 51

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเคลื่อนไหวช่วงเตะขาใต้น้ำ ในวงรอบการเตะขาที่ 1, 2 และ 3 ระหว่างระยะทางการกระโดดใกล้และระยะทางการกระโดดไกล 52

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยความเร็วแนวราบขณะเตะขาใต้น้ำ ระหว่าง วงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดใกล้ และระยะทางการกระโดดไกล 53

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยความเร็วแนวดิ่งขณะเตะขาใต้น้ำ ระหว่าง วงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดใกล้ และระยะทางการกระโดดไกล 54

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยระยะทางที่ใช้เตะขาขึ้น ระหว่าง วงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดใกล้ และระยะทางการกระโดดไกล 54

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยระยะทางที่ใช้เตะขาลง ระหว่าง วงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดใกล้ และระยะทางการกระโดดไกล 55

ตารางที่ 9 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของความเร็วแนวราบ ระหว่าง วงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดใกล้ 55

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของความเร็วแนวราบขณะเตะขาใต้น้ำ ระหว่าง วงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดใกล้ 56

ตารางที่ 11 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของความเร็วแนวราบ ระหว่าง วงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดไกล 56

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 12 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของความเร็วแนวดิ่งขณะเตะขาใต้น้ำ ระหว่าง วงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดใกล้..... 57

ตารางที่ 13 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของความเร็วแนวดิ่งขณะเตะขาใต้น้ำ ระหว่าง วงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดไกล..... 57

ตารางที่ 14 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของความเร็วแนวดิ่งขณะเตะขาใต้น้ำ ระหว่าง วงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดใกล้..... 58

ตารางที่ 15 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของระยะทางที่ใช้เตะขาขึ้น ระหว่าง วงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดไกล 58

ตารางที่ 16 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของระยะทางที่ใช้เตะขาลง ระหว่าง วงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดใกล้ 59

ตารางที่ 17 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของระยะทางที่ใช้เตะขาลง ระหว่าง วงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดไกล 59

ตารางที่ 18 ระยะทางที่นักกีฬากระโดดได้จากการศึกษานำร่อง..... 85

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

รูปที่ 1 ช่วงบนแท่นออกตัว (Tor et al., 2014a)..... 13

รูปที่ 2 ช่วงก่อนลงน้ำ (Tor et al., 2014a; Vantorre et al., 2014) 13

รูปที่ 3 ช่วงหลังลงน้ำ หรือช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ (Tor et al., 2014a)..... 13

รูปที่ 4 การแบ่งเฟส ช่วงมุดน้ำ (Gliding Phase) และ ช่วงเตะขาใต้น้ำ (Underwater Leg Propulsion)..... 14

รูปที่ 5 การเตะขาในท่าว่ายผีเสื้อ; a) ผลลัพธ์ของการเคลื่อนไหวขาและเท้า b) ทิศทางของกระแสน้ำไหลผ่านเท้าขณะกดขาลง และ c) แรงลากของขาปทางด้านหลังหักลบกับแรงยก (Kreighbaum & Barthels, 1996)..... 15

รูปที่ 6 แรงกระทำต่อร่างกายขณะว่ายน้ำ (Normani, 2017)..... 17

รูปที่ 7 แรงลากแบบโปรไฟล์ (a) นักว่ายน้ำสร้างแรงลากปริมาณมากทางด้านหลัง และ (b) นักว่ายน้ำจัดระเบียบร่างกายเพื่อลดแรงต้านของกระแสน้ำ (Ponsen, 2014)..... 17

รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบที่สำคัญและมีผลต่อศักยภาพในการว่ายน้ำ (Sanders, 2013)..... 19

รูปที่ 9 การติดตัวบอกตำแหน่งที่ร่างกายและการตั้งกล้องบันทึกการสะท้อนแสงที่สระว่ายน้ำ (สำนักวิทยาศาสตร์การกีฬา กรมพลศึกษา., 2557)..... 26

รูปที่ 10 ขาตั้งสามฉาก (Three Orthogonal Wands) (Pribanic et al., 2009)..... 29

รูปที่ 11 ไม้คาลิเบรท แบบมาร์กเกอร์ 3 ตัว (Calibration Wands) (Pribanic et al., 2009)..... 29

รูปที่ 12 ไม้คาลิเบรทเครื่องหมายการค้า Qualisys ขนาดความยาว 300 และ 600 m 30

รูปที่ 13 แสดงตัวอย่างมาร์กเกอร์บนเพลทสำหรับคาลิเบรทแบบ2 มิติและ3 มิติ..... 30

รูปที่ 14 แสดงตัวอย่างเพลทสำหรับคาลิเบรทแบบ2 มิติ 7*7 Co Planar มาร์กเกอร์แต่ละจุดขนาด 20 mm ระยะห่างระหว่างมาร์กเกอร์ 150 mm (Pribanic et al., 2009)..... 31

รูปที่ 15 กล้องใต้น้ำรุ่น Oqus เครื่องหมายการค้า Qualisys..... 32

รูปที่ 16 แกนการเคลื่อนไหว 3 มิติ..... 33

รูปที่ 17 กล้องใต้น้ำควอลิซิส โอคุส (Qualisys Oqus Underwater) 43

รูปที่ 18 มาร์กเกอร์ (Retro Reflective Marker) 44
รูปที่ 19 แผ่นป้ายและทุ่นแสดงระยะทาง 44
รูปที่ 20 คอมพิวเตอร์ 44
รูปที่ 21 สระว่ายน้ำ 45
รูปที่ 22 ภาพการจำลองการเก็บข้อมูล 47
รูปที่ 23 แสดงระยะทางการกระโดดของนักกีฬา 85
รูปที่ 24 แสดงการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 90
รูปที่ 25 แสดงมาร์กเกอร์บอกตำแหน่ง (Retro Reflective Marker) 91
รูปที่ 26 แสดงตำแหน่งการวางกล้องเพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนไหว 92
รูปที่ 27 แสดง Wand Calibration 93
รูปที่ 28 แสดง Calibration Quality 94
รูปที่ 29 แสดง Calibration Results 95
รูปที่ 30 แสดง Measurement Volume 95
รูปที่ 31 แสดง Frame Calibration 99
รูปที่ 32 แสดง Fixed Camera Calibration 100
รูปที่ 33 นักกีฬายืดเหยียดกล้ามเนื้อ 102
รูปที่ 34 ทำความสะอาดร่างกายก่อนติดมาร์กเกอร์ 102
รูปที่ 35 การวางกล้องและเซ็ทระบบ 103
รูปที่ 36 นักกีฬารอคำสั่งในการปล่อยตัว 103
รูปที่ 37 ดำเนินการทดลอง 103

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กีฬาว่ายน้ำเป็นหนึ่งในกิจกรรมทางกายที่มีผู้สนใจศึกษาวิจัยมากที่สุด (Vilas-Boas et al., 2010) โดยได้มีการแบ่งช่วงการว่ายออกเป็นหลายส่วน เริ่มจากช่วงออกตัว ช่วงเริ่มว่ายน้ำ ช่วงกลับตัว (ในกรณีที่ว่ายระยะยาวกว่า 1 ช่วงสระว่ายน้ำ) และช่วงแตะขอบสระ (Vantorre, Chollet, & Seifert, 2014) ช่วงออกตัว (Swimming Start) หมายถึง ช่วงแรกสุดของการเริ่มต้นการแข่งขันว่ายน้ำ ซึ่งถือเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพในการแข่งขัน โดยเฉพาะการแข่งขันว่ายน้ำระยะสั้น (Sprint Event) จากการศึกษาในนักกีฬาที่ลงแข่งขันว่ายน้ำระยะสั้นในมหกรรมกีฬาโอลิมปิกฤดูร้อน ณ นครซิดนีย์ ปี ค.ศ. 2000 พบว่าเวลาที่ใช้ในช่วงของการออกตัวนั้นคิดเป็น 0.8 - 26.1% ของเวลาที่ใช้ในการแข่งขันทั้งหมดซึ่งจะแตกต่างกันตามระยะทางในการแข่งขัน และพบว่าถ้านักกีฬาสามารถทำเวลาในช่วงออกตัวได้เร็วเท่าใด จะส่งผลให้สามารถทำความเร็วในช่วงอื่นได้ดีขึ้น เนื่องจากช่วงออกตัวเป็นช่วงที่นักกีฬาสามารถทำความเร็วได้สูงสุด (Arellano, Pardillo, De La Fuente, & García, 2000; Cossor & Mason, 2001; Welcher, Hinrichs, & George, 2008) ดังนั้นในการแข่งขันว่ายน้ำโดยเฉพาะการแข่งขันระยะสั้น ช่วงออกตัวจึงเป็นช่วงสำคัญที่ช่วยในการเพิ่มโอกาสการชนะการแข่งขันได้มากขึ้น (Hay, 1986)

ในปีค.ศ.2007 สหพันธ์ว่ายน้ำระหว่างประเทศ (Fédération Internationale de Natation: FINA) ได้นิยามช่วงการออกตัวว่า หมายถึง ช่วงแรกของการแข่งขันนับตั้งแต่สัญญาณนกหวีดดัง ไปจนกระทั่งนักกีฬาเริ่มต้นว่ายน้ำสโตรคแรก โดยระยะดังกล่าวต้องไม่เกิน 15 เมตร (Cossor & Mason, 2001) โดยสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงบนแท่นออกตัว (On-block Phases), ช่วงก่อนลงน้ำ (Flight Phases) และช่วงหลังลงน้ำ (Underwater Phases) โดยแต่ละช่วงใช้เวลาคิดเป็น 11%, 5% และ 84% ของช่วงเวลาในการออกตัวทั้งหมดตามลำดับ (Slawson et al., 2013) ช่วงบนแท่นออกตัว หมายถึง ช่วงเวลาตั้งแต่สัญญาณนกหวีดเริ่มต้นดัง ไปจนถึงช่วงเวลาที่นักกีฬากระโดดออกจากแท่นออกตัว ในขณะที่ช่วงก่อนลงน้ำ หมายถึง ช่วงเวลาที่นักกีฬาออกจากแท่นจนถึงช่วงเวลาที่ศีรษะของนักกีฬาสัมผัสกับผิวน้ำ (Maglischo, 2003) ซึ่งในช่วงดังกล่าวนักกีฬาจะต้องกระโดดให้ได้ระยะไกลที่สุดเท่าที่สามารถทำได้ และลงน้ำให้ได้เร็วที่สุดโดยอาศัยแรงส่งซึ่งเป็นผลมาจากช่วงก่อนลงน้ำ (Hubert, Silveira, Freitas, Pereira, & Roesler, 2006; Sanders & Byatt-Smith, 2001) ส่วนช่วงหลังลงน้ำซึ่งเป็นช่วงสุดท้ายของการออกตัวจะเริ่มต้นเมื่อศีรษะหรือมือของนักกีฬาสัมผัสผิวน้ำไปจนถึงระยะไม่เกิน 15 เมตร (Tor, Pease, & Ball, 2014a; Vantorre et

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

al., 2014) ในช่วงหลังลงน้ำนี้ สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงมุดน้ำ (Glide Phase) ซึ่งเริ่มต้นเมื่อศีรษะของนักกีฬาสัมผัสผิวน้ำและสิ้นสุดเมื่อนักกีฬาเริ่มเตะขาใต้น้ำครั้งแรก และ ช่วงเตะขาใต้น้ำ (Underwater Leg Propulsion) เริ่มต้นเมื่อนักกีฬาเริ่มทำการเตะขาใต้น้ำครั้งแรก (Underwater Kick) จนกระทั่งเริ่มว่ายน้ำสโตรคแรก (A. Lyttle & Benjanuvatra, 2005) การว่ายน้ำใต้น้ำในช่วงหลังลงน้ำนี้เรียกรวมว่า ช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ (Underwater Undulatory Swimming: UUS) โดยมีการจัดลำตัว (Body Position) ขณะว่าย ดังนี้ ร่างกายจะยืดออกในแนวนอน แขนเหยียดตรงลู่ไปกับน้ำ ขาและลำตัวจะเคลื่อนไหวขึ้นลงต่อเนื่องกันคล้ายกับคลื่น (Arellano, Terrés-Nicol, & Redondo, 2006) และว่ายโดยการตีขา โดยมีข้อกำหนดว่า นักกีฬาจะต้องโผล่พ้นผิวน้ำในระยะไม่เกิน 15 เมตร (Vantorre et al., 2014) อย่างไรก็ตามช่วงเวลาตั้งแต่กระโดดน้ำจนถึงช่วงโผล่พ้นผิวน้ำ คิดเป็น 26.1% ของเวลาที่ใช้ในการแข่งขันว่ายน้ำระยะสั้น (เทียบจากการว่ายน้ำระยะทาง 50 เมตร) และเมื่อพิจารณาในรายละเอียดของทั้ง 3 ช่วงของการออกตัว พบว่าช่วงที่ยาวนานที่สุด คือ ช่วงที่อยู่ใต้น้ำ ซึ่งคิดเป็น 84% ของเวลาในการเริ่มออกตัวทั้งหมด จึงเป็นช่วงที่สามารถทำความเร็วในการว่ายน้ำได้มากที่สุด และมีส่วนสำคัญต่อการชนะการแข่งขัน (Cossor & Mason, 2001; Naemi & Sanders, 2008; Thow, Naemi, & Sanders, 2012)

ประสิทธิภาพของช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ หมายถึง ความสามารถในการเคลื่อนที่ใต้น้ำให้ได้ความเร็วสูงสุด เพื่อเพิ่มความเร็วในการว่ายน้ำนักกีฬาจะต้องเพิ่มแรงขับเคลื่อนไปในน้ำ (Propulsive Force) ในขณะเดียวกันต้องลดแรงต้านทานจากน้ำ (Drag Force) โดยประสิทธิภาพในช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำล้วนเป็นผลมากจากช่วงบนแท่นออกตัว และช่วงขณะลงน้ำ (Sanders, 2002) มีตัวแปรหลายประการที่ส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในช่วงออกตัว รัชเชล และคณะ (Ruschel, Araujo, Pereira, & Roesler, 2007) กล่าวว่าระยะเวลาที่ใช้ในช่วงขณะลงน้ำ (Flight Duration) ไม่มีนัยสำคัญต่อเวลาในการออกตัว (Start Time) ระยะทางที่ใช้ในช่วงขณะลงน้ำ (Flight Distance) ต่างหากที่ส่งผลต่อตัวแปรของประสิทธิภาพในการออกตัว ดังนั้นหากนักกีฬาต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในช่วงเคลื่อนไหวใต้น้ำ นักกีฬาควรจะเพิ่มประสิทธิภาพในช่วงขณะลงน้ำด้วยการเพิ่มระยะทางที่นักกีฬาลงน้ำ (Entry Distance) (Cossor & Mason, 2001) อย่างไรก็ตามสลอว์สันและคณะ (Slawson, Conway, Cossor, Chakravorti, & West, 2013) ได้ศึกษาพบว่า หากนักกีฬาใช้ระยะเวลาบนแท่นออกตัวสั้นลง เพิ่มความเร็วในการออกตัว จะส่งผลให้นักกีฬาสามารถกระโดดลงน้ำได้ไกลขึ้น แต่นั่นไม่ได้หมายความว่าประสิทธิภาพในการออกตัว (Start Performance) ของนักกีฬาจะดีขึ้นเสมอไป เนื่องจากการออกตัวจากแท่นออกตัวด้วยความเร็วแนวราบที่สูงขึ้น (Horizontal Velocity) จะช่วยเพิ่มระยะทางที่ใช้ในช่วงขณะลงน้ำ ซึ่งส่งผลต่อเนื่องทำให้วงน้ำขณะที่นักกีฬาลงน้ำ (Entry Hole) ขยายกว้างขึ้น ซึ่งจะก่อให้เกิดแรงลากเพิ่มขึ้น และวิถีในการลงน้ำของนักกีฬาจะเป็นแบบราบ (Flatter Trajectory) ซึ่งวิถีดังกล่าวจะส่งผลต่อเนื่องไปยังวิถีในการเคลื่อนไหวใต้น้ำ

(Underwater Trajectory) ของนักกีฬาที่ตื้นกว่าปกติ และยิ่งก่อให้เกิดแรงลากเพิ่มขึ้นอีก (Costill, Maglischo, & Richardson, 1992; Kirner, Bock, & Welch, 1989) กล่าวโดยสรุปคือประสิทธิภาพของช่วงขณะลงน้ำต้องอาศัยส่วนประกอบของ ความเร็วแนวราบในการออกตัว (Take-off Horizontal Velocity), มุมในการออกตัว (Take-off Angle) และ ระยะทางที่นักกีฬาลงน้ำ (Entry Distance) เป็นสำคัญ (J. A. Miller, Hay, & Wilson, 1984)

นอกจากนี้ มิลเลอร์ อัลเลน และเพน (M. Miller, Allen, & Pein, 2003) พบว่ามุมในการลงน้ำ (Entry Angle) เป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่ส่งผลต่อความลึกในการมุดน้ำ (Depth of Glide) ซึ่งเป็นอีกหนึ่งตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อเนื่องไปยังแรงลากและวิถีในการเคลื่อนไหวใต้น้ำของนักกีฬา นักกีฬาจะเริ่มช่วงเตะขาใต้น้ำได้ช้ากว่า หากกระโดดลงน้ำลงไปที่ความลึกในการมุดน้ำที่ลึกกว่า (Counsilman, Nomura, Endo, & Counsilman, 1988) แรงลากจะแตกต่างกันไปตามความความลึกของวิถีในช่วงเคลื่อนไหวใต้น้ำ ซึ่งความลึก 0.5 – 0.6 เมตรจากผิวน้ำเป็นความลึกที่เหมาะสมที่สุดที่ลดผลกระทบจากแรงลากที่เกิดขึ้นหลังการกระโดดลงน้ำ (Tor, Pease, & Ball, 2015c) และนักกีฬาควรเริ่มต้นเตะขาครั้งแรกขณะที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วใต้น้ำ (Underwater Velocity) ที่ 2.2 และ 1.9 เมตรต่อวินาที หากนักกีฬาเริ่มเตะขาใต้น้ำในช่วงความเร็วดังกล่าวจะส่งผลให้สามารถทำความเร็วในช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำได้ดี แต่ถ้านักกีฬาเริ่มเตะขาเร็วเกินไปจะเกิดแรงต้านไฮโดรไดนามิคสูง และถ้าเตะช้าเกินไปจะทำให้ความเร็วใต้น้ำลดลง (A. D. Lyttle, Blanksby, Elliott, & Lloyd, 2000) สอดคล้องกับ เพอเรียรา รัชเชล และ อาเราโจ (Pereira, Ruschel, & Araujo, 2006) ซึ่งได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความลึกในการมุดน้ำและตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ พบว่าความลึกในการมุดน้ำส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อระยะทาง (Underwater Phase Distance) ระยะเวลา (Underwater Phase Time) และความเร็วเฉลี่ยในช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ (Underwater Phase Average Velocity) ซึ่งตัวแปรทั้งสามประการเริ่มวัดตั้งแต่จุดที่ศีรษะหรือมือของนักกีฬาลงสู่น้ำจนเริ่มว่ายน้ำสโตรคแรก

จากที่กล่าวมาขั้นต้น ระยะทางที่นักกีฬาลงน้ำเป็นตัวแปรสำคัญซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในช่วงขณะลงน้ำ และส่งผลต่อเนื่องไปยังช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ โดยในช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำจะใช้เทคนิคการเตะขาแบบ Underwater Dolphin Kick (UDK) ซึ่งเป็นการเคลื่อนไหวของรยางค์ขาขึ้นลงต่อเนื่องกันคล้ายคลื่น หรือหางปลาอย่างพร้อมเพรียงกัน มีความเหมือนกับการเคลื่อนไหวของหางปลาโลมา (B. E. Ungerechts, 1987) ซึ่งการเตะขาดังกล่าวจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วงจังหวะ โดยอาศัยตำแหน่งของนิ้วเท้า (Turning Points of the Toe Landmark) เป็นตัวบ่งชี้ ได้แก่ ช่วงจังหวะเตะขาขึ้น (Up Beat Phase) ซึ่งเป็นการผสมผสานของการยืดสะโพก (Hip Extension) และการงอเข่า (Knee Flexion) และช่วงจังหวะเตะขาลง (Down Beat Phase) ซึ่งเป็นการเคลื่อนไหวร่างกายในทิศทางตรงกันข้ามกับการเตะขาขึ้น ได้แก่ การงอสะโพก (Hip Flexion) และ การยืดเข่า (Knee

Extension) อคิสันและคณะ (Atkison R., Dickey J., Dragunas A., & Nolte V., 2014) ซึ่งได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความสำคัญของความสมมาตรระนาบซ้ายขวาของการเตะขาที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการเตะขาแบบ Underwater Dolphin Kick โดยศึกษาทั้งช่วงจังหวะเตะขาขึ้นและเตะขาลง พบว่าความสมมาตรดังกล่าวสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพในการเตะขาแบบ Underwater Dolphin Kick อีกทั้งยังพบว่า นักกีฬาส่วนใหญ่สามารถเตะขาลงได้ดี แต่เฉพาะนักกีฬากลุ่มมีทักษะเท่านั้นที่สามารถเตะขาทั้งจังหวะขาลงและจังหวะเตะขาขึ้นได้ดี โดยทั้งคู่มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนไหวสะโพกในจังหวะเตะขาขึ้นได้ดีกว่ากลุ่มนักกีฬาทั่วไป ซึ่งส่งผลให้สามารถทำความเร็วได้ดีกว่ากลุ่มไม่มีทักษะ ฮิกส์ พีส และ แซนเดอร์ (Higgs, Pease, & Sanders, 2016) ได้ทำการศึกษาต่อเนื่องเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างคิเนมาติกส์และประสิทธิภาพของช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ พบว่าตัวแปรในจังหวะเตะขาขึ้นเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำได้ดีกว่าตัวแปรในจังหวะเตะขาลง และมีตัวแปรหลายประการที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความเร็วแนวราบสูงสุดของศูนย์กลางมวล (Peak Horizontal V_{com}) ในแต่ละเฟสซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงแรงผลักสูงสุด (Peak Propulsion) ของจังหวะเตะขาขึ้นและเตะขาลง โดยตัวแปรความเร็วสูงสุดแนวดิ่งของนิ้วเท้า (Peak Vertical Toe Velocity) และ ความเร็วของบอดี้เวฟ (Mean Body Wave Velocity) เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำที่สำคัญที่สุด เนื่องจากส่งผลต่อประสิทธิภาพของช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำถึง 72% และ 6% ของประสิทธิภาพโดยรวมตามลำดับ อาเรยาโน ปารดิโย่ และ กาวิลัน (Arellano, Pardillo, & Gavilan, 2002) ได้อธิบายเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวใต้น้ำของร่างกายที่ทำให้เกิดคลื่น หรือบอดี้เวฟไว้ว่า แรงผลักจะเกิดขึ้นจากการส่งโมเมนตัมของช่วงล่างของร่างกาย ซึ่งการส่งโมเมนตัมนั้นสัมพันธ์โดยตรงต่อประสิทธิภาพของการเคลื่อนไหวใต้น้ำ ยิ่งนักกีฬาส่งโมเมนตัมได้เร็วก็ยิ่งเพิ่มแรงผลักมากเท่านั้น (Hochstein & Blickhan, 2011)

จากการศึกษานำร่องเกี่ยวกับระยะทางในการกระโดดของนักกีฬาว่ายน้ำชายช่วงอายุระหว่าง 18-25 ปี โดยกำหนดให้นักกีฬากระโดดจากแท่นกระโดดมาตรฐาน ด้วยท่าเท้านำเท้าตาม (Track Start) และกระโดดด้วยความสามารถสูงสุด (Maximum Effort) พบว่า นักกีฬาทุกคนกระโดดลงน้ำด้วยระยะทางใกล้เคียงกับระยะทาง 2 เท่าของความสูงของตนเอง ซึ่งระยะกระโดดดังกล่าวเป็นระยะที่นักกีฬาใช้ในการแข่งขัน อีกทั้งเป็นระยะกระโดดที่นักกีฬาเชื่อว่าช่วยให้ลงน้ำได้เร็วที่สุดและไกลที่สุด จึงส่งผลต่อเนื่องให้สามารถทำความเร็วในช่วงออกตัวได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตามจากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา พบว่าหากนักกีฬาใช้ระยะเวลาบนแท่นออกตัวสั้นลง เพิ่มความเร็วในการออกตัวจะส่งผลให้นักกีฬาสามารถกระโดดลงน้ำได้ไกลขึ้น แต่นั่นไม่ได้หมายความว่าประสิทธิภาพในการออกตัว (Start Performance) ของนักกีฬาจะดีขึ้นเสมอไป เนื่องจากการออกตัวจากแท่นออกตัวด้วยความเร็วแนวราบที่สูงขึ้น (Horizontal Velocity) จะช่วยเพิ่มระยะทางที่ใช้ในช่วงขณะลงน้ำ ซึ่งส่งผลต่อเนื่องทำให้วงน้ำขณะที่นักกีฬาลงน้ำ (Entry Hole) ขยายกว้างขึ้น ซึ่งจะก่อให้เกิดแรงลากเพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตามยังไม่พบว่ามีผู้ศึกษาเกี่ยวกับระยะทางในการกระโดดน้ำที่แตกต่างกันที่ส่งผลต่อความเร็วในช่วงออกตัว

ดังนั้นจากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่าช่วงออกตัวโดยเฉพาะช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำเป็นช่วงที่สามารถทำความเร็วในการว่ายน้ำได้มากที่สุด และมีส่วนสำคัญต่อการชนะการแข่งขัน โดยปัจจัยที่มีผลต่อความเร็วในการว่ายน้ำใต้น้ำมาจากการกระโดดที่มีประสิทธิภาพที่จะสามารถส่งแรงมายังช่วงการว่ายน้ำใต้น้ำให้มีความเร็วในแนวราบให้ได้สูงสุด และส่งผลให้นักกีฬาลงน้ำด้วยความลึกและสามารถว่ายด้วยวิถีการเคลื่อนไหวใต้น้ำที่เหมาะสมซึ่งจะส่งผลให้เริ่มว่ายน้ำใต้น้ำด้วยความเร็วสูงสุด แต่อย่างไรก็ตามการกระโดดในรูปแบบที่ดีที่สุดที่จะส่งผลมายังการว่ายน้ำใต้น้ำได้ดีที่สุดยังมีข้อขัดแย้งกันอยู่ ระยะทางในการกระโดดที่แตกต่างกันดังกล่าวจึงเป็นตัวแปรที่สำคัญในการศึกษารูปแบบการลงน้ำแตกต่างกันในการศึกษาครั้งนี้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนไหวขณะว่ายน้ำใต้น้ำ หลังกระโดดจากแท่นกระโดดที่ระยะทางใกล้และระยะทางไกลหรือระยะเทียบเท่าความสามารถสูงสุด (Maximum Effort)
2. เพื่อเปรียบเทียบท่าทางการว่ายน้ำใต้น้ำหลังการกระโดดที่ระยะทางการกระโดดที่ระยะทางใกล้และระยะทางไกลหรือระยะเทียบเท่าความสามารถสูงสุด (Maximum Effort)

ปัญหาในการวิจัย

การกระโดดน้ำด้วยระยะทางที่แตกต่างกันส่งผลต่อประสิทธิภาพของการเคลื่อนไหวใต้น้ำอย่างไร โดยกำหนดระยะทางในการกระโดดในการศึกษาครั้งนี้ 2 ระยะ ได้แก่ ระยะทางใกล้ และระยะทางไกลหรือระยะเทียบเท่าความสามารถสูงสุด (Maximum Effort) ซึ่งได้จากผลการศึกษานำร่อง (ภาคผนวก จ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สมมติฐานของการวิจัย

ระยะทางการกระโดดน้ำใกล้ น่าจะส่งผลให้องศาในการลงน้ำสูงกว่าที่ระยะทางไกล จึงน่าจะลงน้ำได้เร็วกว่า ลงถึงระดับความลึกที่เหมาะสม ในการเริ่มเตะขาครั้งแรกได้เร็วกว่า จึงสามารถทำความเร็วในช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำได้ดีกว่า

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้จะทำการคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) คือ นักกีฬาว่ายน้ำ เพศชาย อายุ 18-25 ปี

ตัวแปรที่ใช้ศึกษาประกอบด้วย

1. ตัวแปรต้น (Independent Variable)

1.1 ระยะทางที่กระโดดน้ำ (Entry Distance) ได้แก่ ระยะทางใกล้ และระยะทางไกล หรือระยะเทียบเท่าความสามารถสูงสุด (Maximum Effort)

2. ตัวแปรควบคุม (Control Variable)

2.1 สระว่ายน้ำมาตรฐานขนาด 50 เมตร

2.2 แท่นกระโดดขนาดมาตรฐาน

2.3 ท่ากระโดดแบบเท้านำเท้าตาม (Track Start)

3. ตัวแปรตาม (Dependent Variable)

3.1 ช่วงมุดน้ำ (Gliding Phase)

3.2 ความเร็วในการเคลื่อนที่ในแนวราบของศีรษะหลังจากลงน้ำ (Horizontal Velocity of Head after Entry) วัดจากมาร์กเกอร์บริเวณปลายนิ้วมือขณะที่ลำตัวของนักกีฬาจมน้ำทั้งหมดแล้ว

3.3 วิถีการมุดน้ำ (Gliding Trajectory) ได้แก่

3.3.1 มุมในการมุดน้ำ (Gliding Angle)

3.3.2 ระยะที่ลงลึกที่สุดจากผิวน้ำ (Maximum Depth Achieved from Water Surface) วัดจากมาร์กเกอร์บริเวณศีรษะและปลายเท้า

3.3.3 ระยะทางที่ลงลึกที่สุด (Maximum Depth Achieved Distance) วัดจากมาร์กเกอร์บริเวณศีรษะและปลายเท้า

3.3.4 ระยะทางที่เริ่มเตะขาครั้งแรก (First Kick Distance) วัดจากมาร์กเกอร์บริเวณปลายเท้า

3.3.5 ระยะที่เท้าลงลึกที่สุดจากผิวน้ำ ขณะเตะขาครั้งแรกจาก

(Maximum Depth Achieved from Water Surface at First Kick Distance) วัดจากมาร์กเกอร์บริเวณปลายเท้า

3.4 ช่วงเตะขาใต้น้ำ (Underwater Leg Propulsion)

3.4.1 ความเร็วลัพธ์ (Resultant Velocity) วัดจากมาร์กเกอร์บริเวณปลายนิ้วมือ

3.4.2 ความเร็วแนวราบของนิ้วเท้าขณะเตะขาขึ้น – ลง (Horizontal Toe Velocity during Upbeat and Downbeat)

3.4.3 ความเร็วแนวดิ่งของนิ้วเท้าขณะเตะขาขึ้น – ลง (Vertical Toe Velocity during Upbeat and Downbeat) วัดจากมาร์กเกอร์บริเวณปลายเท้า

3.4.4 ระยะทางของนิ้วเท้าขณะเตะขาขึ้น – ลง (Vertical Toe Distance during Upbeat and Downbeat) วัดจากมาร์กเกอร์บริเวณปลายเท้า

คำจำกัดความของการวิจัย

ระยะทางในการกระโดด (Entry Distance) หมายถึง ระยะทางแนวราบจากจุดที่เท้าของนักกีฬาพ้นจากแท่นออกตัวจนศีรษะหรือมือแตะผิวน้ำ หน่วยวัดเป็นเมตร (m) ในงานวิจัยนี้ กำหนดเป็น ระยะใกล้และระยะไกล

ช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ (Underwater Undulatory Swimming) หมายถึง ช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำของนักกีฬาว่ายน้ำหลังการกระโดดลงน้ำ เริ่มต้นเมื่อศีรษะของนักกีฬาสัมผัสผิวน้ำไปจนถึงระยะไม่เกิน 15 เมตร การจัดลำตัว (Body Position) ของนักกีฬาจะมีลักษณะดังต่อไปนี้คือ ร่างกายจะยืดออกในแนวนอน แขนแหยียดตรงลู่ไปกับน้ำ ขาและลำตัวจะเคลื่อนไหวขึ้นลงต่อเนื่องกันคล้ายกับคลื่น (Arellano et al., 2006; Vantorre et al., 2014) โดยแบ่งเป็นช่วงย่อย 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงมุดน้ำ (Gliding Phase) และช่วงเตะขาใต้น้ำ (Underwater Leg Proposion)

ช่วงมุดน้ำ (Gliding Phase) หมายถึง ช่วงต้นของช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ จะเริ่มต้นเมื่อศีรษะของนักกีฬาสัมผัสผิวน้ำไปจนถึงเริ่มเตะขาใต้น้ำครั้งแรก (Maglischo, 2003) วัดจังหวะที่ศีรษะของนักกีฬาสัมผัสผิวน้ำจากมาร์กเกอร์บริเวณศีรษะและปลายเท้า โดยวัดจังหวะที่เริ่มเตะขาครั้งแรกจากมาร์กเกอร์บริเวณปลายเท้า

ช่วงเตะขาใต้น้ำ (Underwater Leg Proposion) หมายถึง เริ่มต้นเมื่อนักกีฬาเริ่มทำการเตะขาใต้น้ำ ครั้งแรกไปจนถึงระยะทางไม่เกิน 15 เมตร (Maglischo, 2003) วัดจังหวะที่เริ่มเตะขาครั้งแรกจากมาร์กเกอร์บริเวณปลายเท้า

ช่วงจังหวะเตะขาขึ้น (Upbeat Phase) หมายถึง จังหวะที่นักกีฬางอเข่า ซึ่งเป็นการผสมผสานของการยืดสะโพก (Hip Extension) และการงอเข่า (Knee Flexion) วัดจากมาร์กเกอร์บริเวณปลายเท้า

ช่วงจังหวะเตะขาลง (Downbeat Phase) หมายถึง จังหวะที่นักกีฬายืดเข่า ซึ่งเป็นการเคลื่อนไหวร่างกายในทิศทางตรงกันข้ามกับการเตะขาขึ้น ได้แก่ การงอสะโพก (Hip Flexion) และ การยืดเข่า (Knee Extension) วัดจากมาร์กเกอร์บริเวณปลายเท้า

ความเร็วในการเคลื่อนที่ในแนวราบของศีรษะหลังจากลงน้ำ (Horizontal Head Velocity) หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนที่ของศีรษะในแนวราบต่อหนึ่งหน่วยเวลา

หลังนักกีฬากระโดดลงน้ำ วัดจากมาร์กเกอร์บริเวณปลายนิ้วมือขณะที่ลำตัวของนักกีฬาจมน้ำทั้งหมดแล้ว

วิถีการมุดน้ำ (Gliding Trajectory) หมายถึง การเคลื่อนไหวของนักกีฬาเริ่มตั้งแต่ศีรษะของนักกีฬาหรือมือสัมผัสผิวน้ำไปจนกระทั่งเตะขาใต้น้ำครั้งแรก วัดจากมาร์กเกอร์ตำแหน่ง Vertex of the skull Vertex และ Left Head of the fifth Toe

มุมการมุดน้ำ (Gliding Angle) หมายถึง มุมที่ระหว่างแนวลำตัวนักกีฬาและผิวน้ำในช่วงมุดน้ำ วัดจากมาร์กเกอร์บริเวณปลายนิ้วมือ

ระยะที่ลงลึกที่สุดจากผิวน้ำ (Maximum Depth Achieved from Water Surface) หมายถึง ความลึกสูงสุดจากผิวน้ำของร่างกายของนักกีฬาในช่วงมุดน้ำ วัดจากมาร์กเกอร์บริเวณศีรษะและปลายเท้า

ระยะทางที่ลงลึกที่สุด (Maximum Depth Achieved Distance) หมายถึง ระยะทางที่ร่างกายของนักกีฬาอยู่ในระดับที่ลึกที่สุดจากผิวน้ำ วัดจากมาร์กเกอร์บริเวณศีรษะและปลายเท้า

ระยะทางที่เตะขาครั้งแรก (First Kick Distance) หมายถึง ระยะทางที่นักกีฬาเริ่มเตะขาใต้น้ำแบบเต็มรูปแบบครั้งแรก ช่วงการเตะขานับจากเริ่มมีการเตะขาครั้งแรกหลังการมุดน้ำ เริ่มจากการเตะขาลงสูงสุดในครั้งแรก จนถึงการเตะขาลงสูงสุดครั้งต่อไป วัดจากมาร์กเกอร์บริเวณปลายเท้า

ความเร็วแนวดิ่งของนิ้วเท้า (Vertical Toe Velocity) หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของนิ้วเท้าในแนวดิ่งในหนึ่งหน่วยเวลา วัดจากมาร์กเกอร์บริเวณปลายเท้า

ความเร็วเฉลี่ยของบอดี้เวฟ (Mean Body Wave Velocity) หมายถึง การเคลื่อนไหวใต้น้ำของร่างกายที่คล้ายคลื่นเพื่อทำให้นักกีฬาสามารถเคลื่อนที่ไปด้านหน้า

การเคลื่อนไหวของสะโพก (Hip Movement) หมายถึง รูปแบบการเคลื่อนไหวของสะโพกของนักกีฬา เริ่มตั้งแต่เตะขาใต้น้ำครั้งแรก วัดจากมาร์กเกอร์ บริเวณกระดูกปีกสะโพกด้านหน้า (ASIS)

คิเนมาติกส์ (Kinematics) หมายถึง องค์ประกอบการเคลื่อนไหว ซึ่งเกี่ยวข้องกับตำแหน่ง ความเร็วและความเร่งของร่างกายโดยไม่มีการพิจารณาถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว (อรวรีย์ อิงคเตชะ, 2553)

ชีวกลศาสตร์ (Biomechanics) หมายถึง เป็นการศึกษาแรงและผลกระทบที่เกิดจากแรงในสิ่งมีชีวิต โดยการประยุกต์วิชาฟิสิกส์ และกลศาสตร์เพื่อศึกษาการเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิตในทางกีฬา ชีวกลศาสตร์เกี่ยวกับร่างกายมนุษย์ใช้แรงกับตนเองและกับผู้อื่นในการปะทะกัน ร่างกายได้รับผลอย่างไรจากแรงภายนอก ความรู้ที่ลึกซึ้งของชีวกลศาสตร์จะเป็นเครื่องชี้นำสำคัญสำหรับโค้ชและนักกีฬาที่จะเลือกเทคนิคการฝึกซ้อมกีฬาได้อย่างเหมาะสมยิ่งขึ้น และเพื่อตรวจสอบและเข้าใจข้อผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น (ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์, 2544)

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. โค้ชสามารถนำรูปแบบมาปรับใช้เพื่อเป็นคำสั่งให้นักกีฬาสามารถปฏิบัติตามได้อย่างชัดเจน

2. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาสำหรับผู้ที่สนใจเกี่ยวกับ เรื่องชีวกลศาสตร์ของการว่ายน้ำใต้น้ำหลังการกระโดด ในช่วง Underwater Undulatory Swimming

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเรื่องการวิเคราะห์ท่าทางการว่ายน้ำใต้น้ำหลังการกระโดดระหว่างการกระโดดที่ระยะทางแตกต่างกันในนักกีฬาว่ายน้ำชาย อายุ 18-25 ปี จึงได้รวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไว้เป็นข้อมูลในการศึกษาค้นคว้า ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

1. ประวัติของกีฬาว่ายน้ำ
2. ช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ (Underwater Undulatory Swimming)
3. ชีวกลศาสตร์ของการว่ายน้ำ (Swimming Biomechanics)
4. การศึกษาด้านชีวกลศาสตร์กีฬา (Sports Biomechanics)
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1. ประวัติของกีฬาว่ายน้ำ

(วีระ มนัสวานิช, 2545) ได้กล่าวถึงประวัติกีฬาว่ายน้ำไว้ดังนี้ กีฬาว่ายน้ำถือเป็นศิลปะอย่างหนึ่ง เพราะมนุษย์สามารถว่ายน้ำได้ตั้งแต่สมัยดึกดำบรรพ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งมนุษย์ที่ตั้งภูมิลำเนาอยู่ตามชายทะเล แม่น้ำ ลำคลอง และที่ราบลุ่มต่างๆ เช่น พวกเอสซีเรีย อียิปต์ กรีก และโรมัน มีการฝึกหัดว่ายน้ำกันมาตั้งแต่ก่อนคริสต์กาล เพราะมีผู้พบภาพวาดเกี่ยวกับการว่ายน้ำในถ้ำบนภูเขาแถบทะเลทรายลิบยาน การว่ายน้ำในสมัยนั้นเพียงเพื่อให้สามารถว่ายน้ำข้ามไปยังฝั่งตรงข้ามได้หรือเมื่อเกิดอุทกภัยน้ำท่วมป่าและที่อยู่อาศัยก็สามารถพาตัวไปในที่น้ำท่วมไม่ถึงได้อย่างปลอดภัย การว่ายน้ำได้มีวิวัฒนาการมาตั้งแต่สมัยโบราณจนถึงปัจจุบัน แต่มีหลักฐานบันทึกไว้ไม่นานนัก ว่า ราล์ฟ โทมัส (Ralph Thomas) ให้ชื่อแบบว่ายน้ำที่มนุษย์ใช้ว่ายกันมาตั้งแต่เดิมว่าฮิวแมน สโตรค (Human stroke) นอกจากนี้พวกชนชาติสลาฟและพวกสแกนดิเนเวียรู้จักการว่ายน้ำอีกแบบหนึ่งโดยใช้เท้าเคลื่อนไหวในน้ำคล้ายกบว่ายน้ำหรือที่เรียกว่าฟล็อคคิก (Flogkick) แต่วิธีการเคลื่อนไหวของท่าแบบนี้จะทำให้ว่ายน้ำได้ไม่เร็วนัก การแข่งขันว่ายน้ำครั้งแรกได้จัดขึ้น วูลวิช บาร์ท (Woolwich Baths) ใกล้กับกรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ เมื่อปี พ.ศ. 2416 การแข่งขันครั้งนั้นมีการแข่งขันเพียงแบบเดียวคือ แบบฟรีสไตล์ (Free style) โดยผู้ว่ายน้ำแต่ละคนจะว่ายแบบใดก็ได้ ในการแข่งขันครั้งนี้ J. Arhur Trudgen เป็นผู้ได้รับชัยชนะ โดยเขาได้ว่ายแบบเดียวกับพวกอินเดียแดงในอเมริกาใต้ คือแบบยกแขนกลับเหนือน้ำ ซึ่งเป็นวิธีการว่ายน้ำของเขาได้กลายเป็นแบบที่ได้รับความนิยมมากจนได้ชื่อว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ท่าว่ายน้ำแบบทรัดเจน (Trudgen stroke) กีฬาว่ายน้ำได้จัดเข้าไว้ในการแข่งขันโอลิมปิกเมื่อปี พ.ศ. 2436 และได้จัดการแข่งขันมาจนถึงปัจจุบัน ด้วยเหตุดังกล่าวกีฬาว่ายน้ำก็ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายจากคนทั่วไป และถือเป็นส่วนหนึ่งของการแข่งขันกีฬาโอลิมปิก มีการพัฒนากีฬาว่ายน้ำให้ก้าวหน้ายิ่งขึ้นเป็นลำดับ โดยมีผู้คิดแบบและประเภทของการว่ายน้ำเพื่อความสนุกสนาน และความตื่นเต้นในการแข่งขันมากขึ้น

ประวัติกีฬาว่ายน้ำในประเทศไทย สมาคมว่ายน้ำสมัครเล่นแห่งประเทศไทย ได้จดทะเบียนสมาคมต่อกรมตำรวจเมื่อวันที่ 24 มิถุนายน พ.ศ. 2502 ผู้ดำรงตำแหน่งนายกสมาคมว่ายน้ำฯ คนแรก คือ พลเรือโท สวัสดิ์ ภูติอนันต์ ร.น. ในปีเดียวกันนี้สมาคมว่ายน้ำฯ ได้เข้าเป็นสมาชิกของสหพันธ์ว่ายน้ำนานาชาติในปี พ.ศ. 2504 รัฐบาลได้อนุมัติเงินงบประมาณจำนวน 10 ล้านบาท เพื่อก่อสร้างสระว่ายน้ำมาตรฐานขนาดความยาว 50 เมตร กว้าง 25 เมตร พร้อมทั้งแท่นกระโดดน้ำ และอัฒจันทร์คนดูจำนวน 5,000 ที่นั่ง ณ บริเวณสนามกีฬาแห่งชาติ และเปิดใช้ในการแข่งขัน เมื่อวันที่ 25 เมษายน พ.ศ. 2506 เรียกว่า สระว่ายน้ำโอลิมปิก (ปัจจุบันได้เปลี่ยนชื่อเป็นสระว่ายน้ำวิสุทธารามย์) และสมาคมว่ายน้ำสมัครเล่นแห่งประเทศไทย ได้สมัครเข้าเป็นสมาชิกของสหพันธ์ว่ายน้ำแห่งเอเชียในปี พ.ศ. 2509 ในปี พ.ศ. 2548 สมาคมว่ายน้ำสมัครเล่นแห่งประเทศไทยเปลี่ยนชื่อเป็น “สมาคมว่ายน้ำแห่งประเทศไทย” ชื่อย่อ ส.ว.ท. ชื่อภาษาอังกฤษ THAILAND SWIMMING ASSOCIATION ชื่อย่อ AST สมาคมว่ายน้ำแห่งประเทศไทย (ส.ว.ท.) เป็นผู้ส่งเสริมสนับสนุนการเล่นกีฬาว่ายน้ำ กระโดดน้ำ โปโลน้ำ และระบำใต้น้ำ ปัจจุบันกีฬาว่ายน้ำในประเทศไทยได้รับความสนใจจากประชาชนมากยิ่งขึ้น ประกอบกับกระทรวงศึกษาธิการได้บรรจุกีฬาว่ายน้ำไว้ในหลักสูตรเกือบทุกระดับ มีการจัดกิจกรรมการแข่งขันตลอดทั้งปี บรรจุลงในการแข่งขันระดับประเทศ คือ กีฬานักเรียนนักศึกษาแห่งชาติ กีฬาเยาวชนแห่งชาติ กีฬาแห่งชาติ กีฬาชิงแชมป์ประเทศไทยทั้งสระ 50 เมตร สระ 25 เมตร ส่วนระดับนานาชาติก็มีการจัดการแข่งขันในระดับ ซีเกมส์ เอเชียเกมส์ โอลิมปิค ชิงแชมป์โลกทั้งสระ 50 เมตร สระ 25 เมตร ระดับเยาวชนก็มีรายการซีเอจกรุ๊ป เอเชียเอจกรุ๊ป กีฬาว่ายน้ำนักเรียนอาเซียนเป็นต้น (จรูญ มีสิน, 2548)

2. ช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ (Underwater Undulatory Swimming)

กีฬาว่ายน้ำเป็นหนึ่งในกิจกรรมทางกายที่มีผู้สนใจศึกษาวิจัยมากที่สุด (Vilas-Boas et al., 2010) โดยได้มีการแบ่งช่วงการว่ายออกเป็น 4 ช่วง ได้แก่ ช่วงออกตัว, ช่วงเริ่มว่ายน้ำ, ช่วงกลับตัว (ในกรณีที่ว่ายระยะยาวกว่า 1 ช่วงสระว่ายน้ำ) และช่วงแตะขอบสระ (Vantorre et al., 2014) อย่างไรก็ตามในการแข่งขันว่ายน้ำ ช่วงออกตัว (Swimming Start) ถือเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพในการแข่งขัน โดยเฉพาะการแข่งขันว่ายน้ำระยะสั้น (Sprint Event) (Cossor

& Mason, 2001) โคสเซอร์และมาร์สัน (Cossor & Mason, 2001) ได้ทำการศึกษานักกีฬาที่ลงแข่งขันว่ายน้ำระยะสั้นจากมหกรรมกีฬาโอลิมปิกฤดูร้อน ณ นครซิดนีย์ ปี ค.ศ. 2000 จากการศึกษาพบว่าเวลาที่ใช้ในช่วงของการออกตัวนั้นคิดเป็น 0.8 - 26.1% ของเวลาที่ใช้ในการแข่งขันทั้งหมด มากน้อยแตกต่างกันตามระยะในการแข่งขัน และยิ่งนักกีฬาทำเวลาในช่วงออกตัวได้ดีมากเท่าใด ยิ่งเพิ่มโอกาสในการทำความเร็วในช่วงอื่นๆมากเท่านั้น (Hay, 1986) ดังนั้นช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำถือเป็นหนึ่งในรูปแบบในการเคลื่อนไหวทางน้ำของมนุษย์ที่เร็วที่สุดวิธีหนึ่ง เพื่อที่จะเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุด นักกีฬาว่ายน้ำจึงได้เลียนแบบวิธีการเคลื่อนไหวของปลา (Fish Locomotion) โดยออกมาในรูปแบบของการเคลื่อนไหวใต้น้ำซึ่งใช้ในช่วงออกตัวและกลับตัว (Cohen, Cleary, & Mason, 2009)

2.1 จุดเริ่มต้นของช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ

ในการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกเกมส์ ที่กรุงมอสโค ปีค.ศ. 1980 นักกีฬาเริ่มให้ความสำคัญกับช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ โดยใช้เวลาในช่วงดังกล่าวนานขึ้นเพื่อหลีกเลี่ยงผลจากแรงลากของคลื่น จนกระทั่งปรากฏว่ามีนักกีฬาบางคนที่ลงแข่งขันระยะทาง 50 เมตร แต่ใช้ช่วงเวลาใต้น้ำไปถึง 40 เมตร ดังนั้นสหพันธ์ว่ายน้ำระหว่างประเทศ (FINA) จึงตั้งกฎใหม่เพิ่มเติมว่านักกีฬาสามารถว่ายช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำได้ไม่เกิน 15 เมตร ก่อนที่จะขึ้นสโตรคแรก (Cohen et al., 2009)

2.2 นิยามของช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ

ในการแข่งขันว่ายน้ำ ช่วงออกตัว (Swimming Start) ถือเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพในการแข่งขัน โดยมีผู้นิยามการออกตัวไว้ว่าหมายความถึง ช่วงแรกของการแข่งขันนับตั้งแต่สัญญาณนกหวีดดัง ไปจนกระทั่งศีรษะของนักกีฬาแตะระยะไม่เกิน 15 เมตร (Cohen, Cleary and Mason, 2001) อย่างไรก็ตาม ทอร์และคณะ (Tor et al., 2014a) แบ่งการออกตัวออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่

1.2.1 ช่วงบนแท่นออกตัว (On Block Phases) หมายถึง ช่วงเวลาตั้งแต่สัญญาณนกหวีดเริ่มต้นดัง ไปจนถึงระยะที่นักกีฬากระโดดออกจากแท่นออกตัว ระยะเวลาที่ใช้ในช่วงนี้คิดเป็น 11% ของระยะเวลาทั้งหมด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

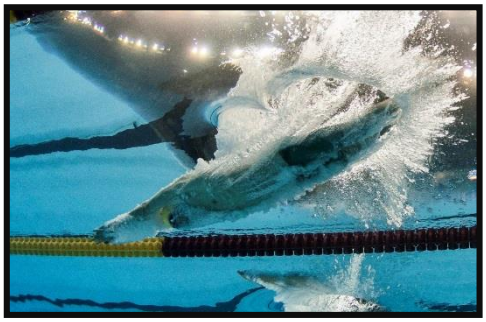
รูปที่ 1 ช่วงบนแท่นออกตัว (Tor et al., 2014a)

1.2.2 ช่วงก่อนลงน้ำ (Flight Phases) หมายถึงช่วงเวลาที่นักกีฬาออกจากแท่น จนถึงระยะที่ร่างกายของนักกีฬาสัมผัสกับผิวน้ำ ระยะเวลาที่ใช้ในช่วงนี้คิดเป็น 5% ของระยะเวลาทั้งหมด

รูปที่ 2 ช่วงก่อนลงน้ำ (Tor et al., 2014a; Vantorre et al., 2014)

1.2.3 ช่วงหลังลงน้ำ หรือช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ (Underwater Phases) หมายถึงช่วงที่ศีรษะหรือมือของนักกีฬาสัมผัสกับผิวน้ำไปจนถึงระยะ 15 เมตร ระยะเวลาที่ใช้ในช่วงนี้คิดเป็น 84% ของระยะเวลาทั้งหมด ซึ่งถือเป็นช่วงที่ยาวนานที่สุดและเป็นช่วงที่สามารถทำความเร็วได้มากที่สุดเช่นกัน

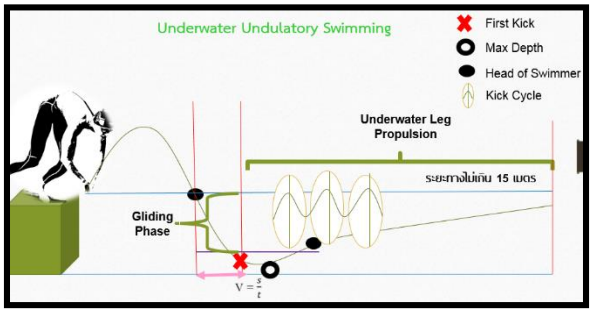
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3 ช่วงหลังลงน้ำ หรือช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ (Tor et al., 2014a)

ซึ่งในช่วงหลังลงน้ำนี้ สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงมุดน้ำ (Gliding Phase) ซึ่งเริ่มต้นเมื่อศีรษะของนักกีฬาสัมผัสผิวน้ำและสิ้นสุดเมื่อนักกีฬาเริ่มเตะขาใต้น้ำครั้งแรก และ ช่วงเตะขาใต้น้ำ

(Underwater Leg Propulsion) เริ่มต้นเมื่อนักกีฬาเริ่มทำการเตะขาใต้น้ำครั้งแรก(Underwater Kick) จนกระทั่งเริ่มว่ายน้ำสโตรคแรก (A. Lyttle & Benjanuvatra, 2005)



รูปที่ 4 การแบ่งเฟส ช่วงมุดน้ำ (Gliding Phase) และ ช่วงเตะขาใต้น้ำ (Underwater Leg Propulsion)

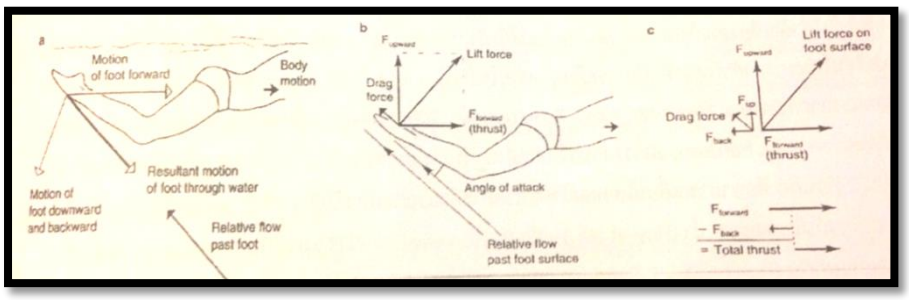
2.3 การเคลื่อนไหวที่ใช้ในการเคลื่อนตัวช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ

ในช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำนั้นมุ่งเน้นที่จะสร้างแรงจากคลื่นให้น้อยที่สุด ขณะที่ลงน้ำนักกีฬาจะต้องทำมุมเพื่อลงสู่น้ำให้ได้เหมาะสมกับการจ้วงแขน สร้างสมดุลระหว่างความเร็วและความสามารถในการเริ่มจ้วงแขน อีกทั้งยังต้องสามารถขึ้นสู่ผิวน้ำได้เร็ว (อรวรีย์ อิงคเตชะ, 2553) โดยสามารถแบ่งการเคลื่อนไหวออกเป็น 2 ส่วน ดังต่อไปนี้คือ

2.3.1 การเคลื่อนไหวของลำตัว (Body Movement) นักกีฬาจะต้องจัดระเบียบของ (Body Position) ดังนี้ร่างกายจะยืดออกในแนวนอน แขนเหยียดตรงลู่ไปกับน้ำ ขาและลำตัวจะเคลื่อนไหวขึ้นลงต่อเนื่องกันคล้ายกับคลื่น (Arellano et al., 2006)

2.3.2 การเคลื่อนไหวของขาและเท้า (Leg Movement) ในช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำนักกีฬาจะใช้รูปแบบการเคลื่อนไหวแบบการสะบัดขาหรือหางปลา (Dolphin Kick) ซึ่งเป็นการเคลื่อนไหวของรยางค์ขาขึ้นลงต่อเนื่องกันคล้ายคลื่น หรือหางปลาอย่างพร้อมเพรียงกัน มีความเหมือนกับการเคลื่อนไหวของหางปลาโลมา (B. E. Ungerechts, 1987) กระแสน้ำจะไหลผ่านด้านหน้าของขาและหลังเท้า จึงก่อให้เกิดแรงลากไปทางด้านหน้า ขณะที่ขากำลังสะบัดลงด้านล่าง นอกจากนี้ขณะที่ตัวของนักกีฬาเคลื่อนที่ไปด้านหน้า จะก่อให้เกิดแรงลากขนาดเล็กไปด้านหลัง ขนาดของแรงขับเคลื่อนนี้ขึ้นอยู่กับค่าของแรงยกด้านหน้าหักลบกับแรงต้านด้านหลัง เป็นแรงผลลัพธ์ที่ส่งให้ร่างกายเคลื่อนที่ไปด้านหน้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 5 การเตะขาในท่าว่ายผีเสื้อ; a) ผลลัพธ์ของการเคลื่อนไหวขาและเท้า b) ทิศทางของกระแสน้ำไหลผ่านเท้าขณะกดขาลง และ c) แรงลากของขาปทางด้านหลังหักลบกับแรงยก (Kreighbaum & Barthels, 1996)

นอกจากแรงยกและแรงลากที่เกิดขึ้นขณะที่ขากำลังสะบัดลงด้านล่างแล้ว ยังมีอีกทฤษฎีหนึ่งที่ใชในการอธิบายความเป็นไปได้ของการไหลของกระแสน้ำซึ่งส่งผลต่อการขับเคลื่อนให้ไปข้างหน้าได้ ทฤษฎีดังกล่าวเรียกว่า “ทฤษฎีกระแสน้ำวน” (Vortex theory) ที่ศึกษาเกี่ยวกับมวลของน้ำที่หมุนวนอยู่ที่ด้านหน้าข้อเท้า ทำหน้าที่เสมือนเป็นแรงยก (Colwin, 1992) โรแซ็นท์ (Rosen, 1959) ได้เสนอแบบจำลองกระแสน้ำวนที่ปลายหางของปลาขณะที่ปลาสะบัดตัวไปมาเพื่อเคลื่อนตัวไปข้างหน้าทำให้เกิดมวลกระแสน้ำขึ้นจากการที่มวลน้ำไหลผ่านผิวจากหัวปลาไปยังหางปลา และได้นำทฤษฎีดังกล่าวมาประยุกต์เข้ากับการเคลื่อนไหวในการว่ายน้ำท่าผีเสื้อที่มีการเคลื่อนตัวเช่นเดียวกัน ดังนั้นกระแสน้ำวนจึงเกิดขึ้นที่บริเวณหลังข้อเข่า และหน้าข้อเท้าเพื่อช่วยในการขับเคลื่อนตัวของนักกีฬาไปข้างหน้าให้เร็วขึ้น

2.3 ตัวแปรที่กำหนดประสิทธิภาพของการเคลื่อนไหวใต้น้ำ

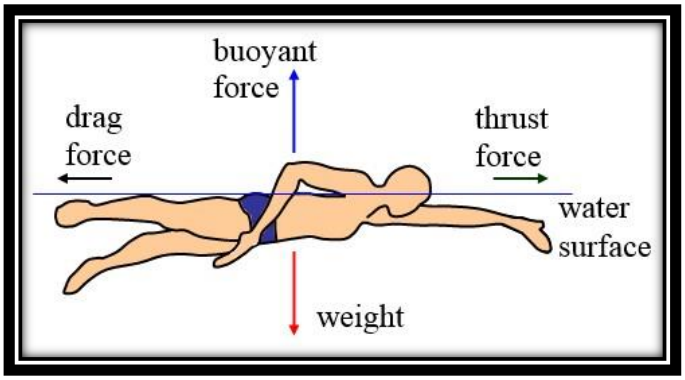
ประสิทธิภาพของการเคลื่อนไหวใต้น้ำ หมายความถึง ความสามารถของนักกีฬาที่จะเคลื่อนที่ไปในระยะ 15 เมตรด้วยเวลาที่สั้นที่สุด ซึ่งมีนักวิชาการจำนวนมากได้ศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรที่มีผลต่อความเร็วในการเคลื่อนไหวใต้น้ำหลังลงน้ำ ได้แก่ จุดศูนย์กลางข้อต่อ (Joint Center), ความกว้างของการเตะขา (Amplitude) มุมข้อต่อ (Joint Angles), ระยะการเคลื่อนไหว (Range Of Motion), ความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity), มุมตกกระทบตอนท้ายของการเตะขา (Angle of Attack of the End-Effect) ความถี่ของวงรอบการเตะขา (Cycle Frequency) ประกอบด้วย ความกว้างของสะโพก (Hip Amplitude), ความกว้างของเข่า (Knee Amplitude), ความกว้างของข้อเท้า (Ankle Amplitude) และ ความยาวของรอบการเตะ (Cycle Length) ประกอบด้วย ความเร็วเชิงมุมสูงสุดของสะโพก (Max Hip Angular Velocity), ควาเร็วเชิงมุมสูงสุดของเข่า (Max Knee Angular Velocity), ความเร็วเชิงมุมสูงสุดของข้อเท้า (Max Ankle Angular Velocity), พิสัยการเคลื่อนไหวของสะโพก (Hip ROM), พิสัยการเคลื่อนไหวของเข่า (Knee ROM), พิสัยการเคลื่อนไหวของข้อเท้า (Ankle ROM) เป็นต้น (Cohen, Cleary, & Mason, 2012; A. Lyttle & Keys, 2004)

โดยในช่วงปัจจุบันมีการศึกษาบนพื้นฐานของชีวกลศาสตร์ที่น่าสนใจมากมาย คอนนาบอยและคณะ (Connaboy et al., 2015) ได้ศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรที่เป็นตัวกำหนดความเร็วสูงสุดของการเคลื่อนไหวใต้น้ำ ได้แก่ ความถี่ของวงรอบการเตะขา (Cycle Frequency) ซึ่งประกอบด้วย ความกว้างของสะโพก (Hip Amplitude), ความกว้างของเข่า (Knee Amplitude), ความกว้างของข้อเท้า (Ankle Amplitude) และ ความยาวของวงรอบการเตะขา (Cycle Length) ซึ่งประกอบด้วย ความเร็วเชิงมุมสูงสุดของสะโพก (Max Hip Angular Velocity), ความเร็วเชิงมุมสูงสุดของเข่า (Max Knee Angular Velocity), ความเร็วเชิงมุมสูงสุดของข้อเท้า (Max Ankle Angular Velocity), พิสัยการเคลื่อนไหวของสะโพก (Hip ROM), พิสัยการเคลื่อนไหวของเข่า(Knee ROM), พิสัยการเคลื่อนไหวของข้อเท้า (Ankle ROM) จากการศึกษาพบว่ามีตัวแปร 3 ประการที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ โดยคิดเป็นสัดส่วน 92.9% ต่อความเร็วสูงสุดของช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ ได้แก่ ความเร็วเชิงมุมสูงสุดของเข่า ความเร็วเชิงมุมสูงสุดของข้อเท้า และ การเคลื่อนไหวของระยะเข่า และในปี 2016 ฮิกส์และคณะ (Higgs et al., 2016) ได้ศึกษาต่อเนื่องเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างคิเนมาติกส์และประสิทธิภาพช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ โดยเลือกศึกษาตัวแปรอิสระซึ่งเกี่ยวกับช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำทั้งในจังหวะเตะขาขึ้นและเตะขาลง จากการศึกษาพบว่า ตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ ได้แก่ ความเร็วสูงสุดในแนวดิ่งของนิ้วเท้า, ความเร็วของบอดี้เวฟ, ระยะเวลาขณะเตะขาขึ้น, ความเร็วเชิงมุมสูงสุดของสะโพก และความเร็วเชิงมุมโดยเฉลี่ยขณะงอเข่า (Mean knee flexion angular velocity) จากการวิเคราะห์ด้วย การวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณ (Multiple Stepwise Regression) พบว่า ความเร็วเฉลี่ยในแนวดิ่งของนิ้วเท้าส่งผลถึง 72.3% ทั้งช่วงเตะขาขึ้นและลง ส่วนอีก 5.2% เป็นผลมาจากความเร็วของบอดี้เวฟ

3. ชีวกลศาสตร์ของการว่ายน้ำ (Swimming Biomechanics)

การว่ายน้ำเป็นกระบวนการหรือทักษะที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในน้ำของสิ่งมีชีวิตเพื่อให้ร่างกายเป็นไปตามระยะทางที่กำหนดภายในระยะเวลาที่สั้นที่สุด ดังนั้นนักกีฬาจึงจำเป็นต้องมีความเร็วเฉลี่ยสูงสุด โดยพื้นฐานแล้วการเคลื่อนไหวร่างกายผ่านน้ำไม่ต่างจากการเคลื่อนไหวร่างกายบนพื้นเพื่อให้ได้ความเร็วเฉลี่ยสูงสุด นอกเสียจากว่าการเคลื่อนไหวในน้ำนั้นต้องคำนึงถึงแรงลอยตัว (Buoyancy) มากกว่าแรงโน้มถ่วงโลก การเคลื่อนไหวจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อคนเสามารถออกแรงเพื่อเอาชนะอินเนอร์เชียของร่างกาย ซึ่งสำหรับการเคลื่อนไหวใต้น้ำจำเป็นต้องออกแรงในการเอาชนะน้ำในฐานะแรงต้าน แต่เรายังสามารถอาศัยน้ำเพื่อช่วยส่งให้เราเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



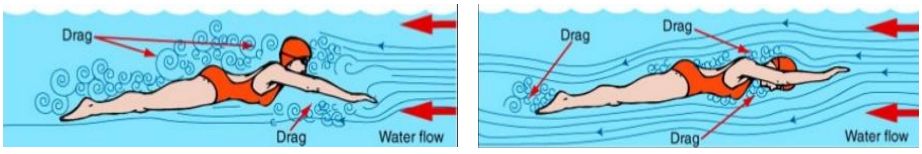
รูปที่ 6 แรงกระทำต่อร่างกายขณะว่ายน้ำ (Normani, 2017)

อย่างที่กล่าวมาว่านักกีฬาจะต้องเคลื่อนไหวร่างกายให้สอดประสานกันเพื่อให้เกิดแรง ซึ่งจะส่งผลให้สามารถว่ายด้วยความเร็วเฉลี่ยสูงสุด ตามหลักการของกลศาสตร์ของการไหลแรงที่เกี่ยวข้องแบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

3.1 แรงต้านในการว่ายน้ำ (Resistive Force in Swimming) ทิโมธีและคณะ (Timothy, Russell, & Sean, 2015) กล่าวว่า แรงต้านคือแรงกระทำที่สำคัญต่อวัตถุขณะอยู่ภายในของไหลที่มีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กับวัตถุนั้น ซึ่งแรงต้านที่เกิดขึ้นในขณะว่ายน้ำทั้งหมดประกอบด้วย แรงลากจากด้านหน้า (Profile Drag), แรงเสียดทาน (Skin Friction), แรงลากจากคลื่น (Wave Drag) และ แรงต้านจากกระแสน้ำวน (Vortex Resistance)

3.1.1 แรงลากจากด้านหน้า (Profile Drag) เป็นแรงต้านที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ในน้ำอย่างมีนัยสำคัญที่สุด ขนาดของแรงลากแบบโปรไฟล์ขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง และความเร็วของนักว่ายน้ำ รวมถึงการจัดระเบียบร่างกายขณะแทรกตัวผ่านกระแสน้ำที่จะก่อให้เกิดปริมาณแรงลากด้านหลังหรือบริเวณความดันต่ำ (Low Pressure Zone)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



(a) (b)

รูปที่ 7 แรงลากแบบโปรไฟล์ (a) นักว่ายน้ำสร้างแรงลากปริมาณมากทางด้านหลัง และ (b) นักว่ายน้ำจัดระเบียบร่างกายเพื่อลดแรงต้านของกระแสน้ำ (Ponsen, 2014)

3.1.2 แรงเสียดทาน (Skin Friction) เป็นแรงต้านที่เกิดจากกระแสน้ำไหลผ่านพื้นผิวของร่างกายไปทางด้านหลังในขณะที่ร่างกายกำลังเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เมื่อเปรียบเทียบกับแรงลากประเภทอื่นๆแล้ว แรงเสียดทานบนพื้นผิวนี้อาจส่งผลต่อการเคลื่อนไหวน้อยที่สุด ดังนั้นในการแข่งขันต่างๆ บริษัทผู้ผลิตชุดว่ายน้ำจะออกแบบชุดว่ายน้ำโดยใช้วัสดุต่างๆเพื่อลดแรงเสียดทานนี้ หรือวิธีการที่มักพบโดยมากในนักกีฬาว่ายน้ำจะเป็นการโกนขนตามร่างกายเพื่อลดความขรุขระ ก็สามารถลดแรงเสียดทานได้เช่นเดียวกัน

3.1.3 แรงลากจากคลื่น (Wave Drag) เป็นแรงลากจากคลื่นจะเกิดขึ้นระหว่างที่ร่างกายอยู่ใกล้กับผิวน้ำหรือโผขึ้นเหนือผิวน้ำ เกิดขึ้นจากการเคลื่อนไหวร่างกายของนักว่ายน้ำ และความเร็วในการเคลื่อนที่ ถ้านักว่ายน้ำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง แรงลากจากคลื่นก็จะเกิดขึ้นสูงเช่นเดียวกัน (อรวรีย์ อิงคเตชะ, 2553)

3.1.4 แรงต้านจากกระแสน้ำวน (Vortex Resistance) ในการเคลื่อนไหวแบบสะบัดขาเป็นคลื่น กระแสน้ำจะไหลผ่านด้านหน้าของขาและหลังเท้า ซึ่งก่อให้เกิดแรงลากไปทางด้านหน้า แต่ขณะที่ขากำลังสะบัดลงด้านล่าง แต่ขณะที่ร่างกายเคลื่อนที่ไปในน้ำจะก่อให้เกิดแรงลากขนาดเล็กไปทางด้านหลัง จากงานวิจัยไฮโดรไดนามิกพบว่าเมื่อนักกีฬาว่ายด้วยเร็วสูงจะเกิดกระแสน้ำวนที่รุนแรง ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างความหนาแน่นของการไหล และความเร็วกำลังสองเฉลี่ย (Melinda, László, & Péter, 2015)

โดยสามารถสรุปออกเป็นสมการของแรงที่ส่งผลให้ความเร็วของการเคลื่อนที่ในน้ำลดลงได้ว่า

แรงลากรวม (Total Drag) = แรงลากจากด้านหน้า + แรงเสียดทาน + แรงลากจากคลื่น + แรงต้านจากกระแสน้ำวน

Chulalongkorn University

3.2 แรงขับเคลื่อนในขณะการว่ายน้ำ (Propulsive Force in Swimming) การเคลื่อนไหวของรยางค์แขนและรยางค์ขาจะก่อให้เกิดแรงขับเคลื่อนตัวนักว่ายน้ำไปข้างหน้า แรงขับเคลื่อนที่เกิดขึ้นสามารถแบ่งได้ ออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ แรงขับเคลื่อนที่เกิดจากแรงลาก (Propulsive Drag Force) และแรงขับเคลื่อนที่เกิดจากแรงผลัก (Propulsive Thrust Force)

3.2.1 แรงขับเคลื่อนที่เกิดจากแรงลาก (Propulsive Drag Force) ขณะที่นักว่ายน้ำเคลื่อนตัวไปข้างหน้า แรงไหลที่เกิดขึ้นจะก่อให้เกิดการเร่งความเร็วรอบลำตัวของนักกีฬาและการลดความเร็วขณะที่น้ำไหลผ่านไปด้านหลัง ถ้าหากนักกีฬาไม่มีการจัดระเบียบร่างกายที่ดี แรงไหลจะไม่สามารถผ่านจากด้านหน้าไปด้านหลังได้ ซึ่งจะส่งให้นักกีฬาสามารถเคลื่อนที่ไปได้เร็วขึ้น

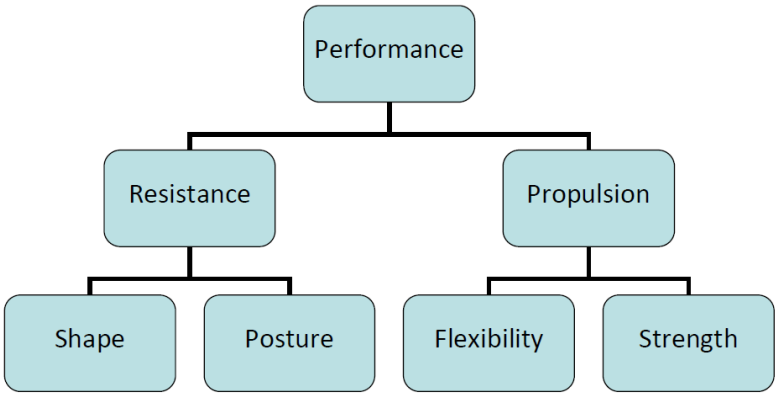
3.2.2 แรงขับเคลื่อนที่เกิดจากแรงผลัก (Propulsive Thrust Force) แรงขับเคลื่อนจากแรงผลักเป็นสิ่งสำคัญมากในการแข่งขันว่ายน้ำ สามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 รูปแบบเป็นหลัก ได้แก่ แรงที่เกิดจากการดึงแขน และ แรงที่เกิดจากกระแสน้ำวน

หากอ้างอิงจากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของเซอร์ไอแซคนิวตันที่กล่าวไว้ว่า แรง = มวล* ความเร่ง (F = Ma) สามารถสรุปเป็นสมการการเคลื่อนที่ขณะว่ายน้ำได้ว่า

แรงผลัก – แรงลาก	=	มวล*ความเร่ง
(Thrust Force) - (Drag Force)		(Mass*Acceleration)

ซึ่งหมายความว่า หากแรงผลักมากกว่าแรงลาก (T > D) นักว่ายน้ำจะสามารถเร่งความเร็วได้ แต่ถ้าหากแรงลากมากกว่าแรงผลัก (D > T) นักว่ายน้ำจะลดความเร็วลง หรือไม่ก็จำเป็นต้องออกแรงมากขึ้นเพื่อเคลื่อนตัวไปด้านหน้า กรณีที่ค่าแรงผลักเท่ากับแรงลาก (T=D) ความเร็วของนักกีฬาจะคงที่ จากสมการที่กล่าวมานักกีฬาที่ลงแข่งขันจะต้องเพิ่มแรงผลักให้มากที่สุดและลดแรงลากให้เหลือน้อยที่สุด โดยการเพิ่มแรงผลักกระทำได้จากการเพิ่มความแข็งแรงและพัฒนาเทคนิคการว่าย ขณะที่การลดแรงลากนั้นทำได้ด้วยการจัดระเบียบร่างกายขณะว่ายน้ำ (Riewald & Rodeo, 2015)

กล่าวโดยสรุปได้ว่าในการแข่งขันว่ายน้ำ นักกีฬาต้องพยายามว่ายในระยะทางที่กำหนดด้วยเวลาที่สั้นที่สุด ความเร็วเป็นผลรวมจากปัจจัยหลายประการ ได้แก่ แรงลากแบบแอคทีฟ (Active Drag Force), แรงขับเคลื่อน (Propulsive Force), ประสิทธิภาพของการขับเคลื่อน (Propulsive Efficiency) และผลลัพธ์ของกำลัง (Power Output) (Cohen et al., 2009)



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบที่สำคัญและมีผลต่อศักยภาพในการว่ายน้ำ (Sanders, 2013)

3.3 ความไม่สมดุลของร่างกายที่มีผลกระทบต่อแรงต้านทานในการว่ายน้ำ (Asymmetries Affecting Resistance) เมื่อพิจารณาจากรูปร่าง (shape) ท่าทาง (position) ในแต่ละสโตรคของการว่ายน้ำ ประกอบด้วย การออกแรงผลัก (Propulsive Action), การดึงแขน(Arm

Pull), การเตะขา(Leg Kick), การหายใจ และ การขึ้นและลงสู่ผิวน้ำ (Recovery and Entry) พบว่ามีปัจจัยหลายประการที่ก่อให้เกิดความไม่สมดุลของร่างกาย และเพิ่มแรงต้านทาน (resistance) ในการว่ายน้ำ ซึ่งส่งผลต่อเนื่องทำให้นักกีฬาชะลอความเร็ว ปัจจัยดังกล่าว มีดังต่อไปนี้

3.3.1 รูปร่าง (shape) ในระหว่างการว่ายน้ำ มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของนักว่ายน้ำอย่างต่อเนื่องตามท่าทางการว่ายน้ำแต่ละท่า ยกเว้นขณะร่างกายอยู่ในน้ำในช่วงการทำ Passive Glide หลังจากออกจากจุดเริ่มต้นและหลังจากกลับตัวออกจากขอบสระ หรือ หลังจากการเตะขาท่ากบ ซึ่งเมื่อเคลื่อนไหวร่างกายในน้ำจะเกิดแรงต้านทานการเคลื่อนไหวจากน้ำ เรียกว่า แรงลาก (Drag) ซึ่งมี 3 ลักษณะ คือ แรงลากจากคลื่น (Wave Drag) ทำให้ร่างกายลอยสูงขึ้นและจมต่ำลงเมื่ออยู่ในน้ำ ,แรงลากด้านหน้า (Profile Drag) เกิดจากความแตกต่างของความดันระหว่างผิวของร่างกายที่ส่วนแขนที่ยื่นไปข้างหน้าในการว่ายน้ำกับส่วนขา (Leading and Trailing Surface) และ แรงเสียดทาน (Skin Friction Drag) เกิดจากความเสียดทานระหว่างโมเลกุลของน้ำและผิวของร่างกาย แรงต้านดังกล่าวส่งผลกระทบต่อความเร็วในการว่ายน้ำ หากนักกีฬาถ้าทำให้ส่วนแขนและร่างกายมีลักษณะคล้ายหยดน้ำจะทำให้เคลื่อนที่ไปในน้ำได้เร็ว การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของนักว่ายน้ำเกิดจากการเคลื่อนไหวแขนระหว่างการ Pull และ recovery การเคลื่อนไหวขา รวมทั้งการเคลื่อนไหวร่างกายขณะหายใจ และการเคลื่อนตัวด้วยลักษณะคล้ายคลื่นในการว่ายน้ำท่าผีเสื้อและท่ากบ ปริมาณแรงต้านของน้ำขึ้นอยู่กับพื้นที่ภาคตัดขวางของรูปร่างนักว่ายน้ำ ความหนาแน่นของน้ำและความเร็วของนักว่ายน้ำ (Matchisiras G., 2012; Sanders, 2013; Toussaint, 2011; B. Ungerechts & Arellano, 2011)

3.3.2 ท่าทาง (posture) นักกีฬาแต่ละคนมีโครงสร้างร่างกาย (Anthropometrics) ที่แตกต่างกัน ทำให้การเคลื่อนร่างกายผ่านน้ำมีลักษณะแตกต่างกันไปและเป็นการยากที่จะปรับเปลี่ยนโครงสร้างร่างกายเพื่อลดแรงต้านทานจากน้ำขณะว่ายน้ำ อย่างไรก็ตาม เราสามารถปรับท่าทางของนักกีฬาขณะว่ายน้ำเพื่อทำให้เกิดการผสมผสานอย่างสมดุลระหว่างแรงต้านทานของน้ำกับแรงขับเคลื่อนร่างกาย (Propulsion) เพื่อให้เกิดความเร็วสูงสุดในการว่ายน้ำ นักว่ายน้ำจะต้องคงรูปร่างไว้เพื่อให้เกิดแรงต้านทานจากน้ำน้อยที่สุด ในขณะที่ต้องจัดท่าทางร่างกาย, แขน และขาเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการเคลื่อนตัวไปข้างหน้ามากที่สุด เช่น การจัดท่าทางของเท้าในท่ากบ เพื่อให้เกิดการถีบน้ำได้มากต้องมีการงอข้อสะโพกข้อเข่าและข้อเท้าก่อนถีบขาไปข้างหลัง เพื่อให้เกิดกำลังของการเตะขา เป็นต้น มุมของร่างกายจากระดับผิวน้ำเมื่อมองด้านข้าง เป็นสิ่งที่ควรพิจารณาทุกท่าการว่ายน้ำ เพราะมักพบว่า หากขาจมลงในน้ำ ส่งผลทำให้ตัวเอียง ซึ่งจะก่อให้เกิดแรงต้านทานจากน้ำจำนวนมากและความเร็วในการว่ายน้ำจะลดลง ปัญหานี้สัมพันธ์กับแรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อขามากกว่าแรงพยุงของน้ำ ทำให้ขาจมลงในน้ำ ส่วนหน้าอกไม่จมน้ำเพราะมีความหนาแน่นน้อยกว่าขา

แรงพยุงของน้ำจึงพยุงให้ลอย นักว่ายน้ำผู้ชายมีแนวโน้มที่จะหมุนลำตัวได้แข็งแรงกว่าผู้หญิง เพราะมีไขมันใต้ผิวหนังที่แขน ขา น้อยกว่าและมีปอดใหญ่กว่าผู้หญิง ซึ่งการเตะเท้าช่วยแก้ปัญหาเรื่องเท้าจมลงใต้น้ำได้ (Sanders, 2013; Strzala & Krezalek, 2010)

นอกจากแรงต้านดังที่กล่าวในข้างต้นแล้ว แรงผลักก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อศักยภาพในการว่ายน้ำ ซึ่งขนาด, ระยะเวลา และรูปแบบของแรงผลักที่เกิดขึ้นระหว่างร่างกายข้างขวา และข้างซ้ายมีความแตกต่างกัน เนื่องจากความแข็งแรงและความอ่อนตัวของร่างกายทั้งสองข้างที่แตกต่างกันจึงควรคำนึงถึงปัจจัยสองด้านนี้ด้วย

3.3.3 ความแข็งแรง (Strength) ความแตกต่างระหว่างความแข็งแรงของแขน ขา ข้างขวาและข้างซ้าย ทำให้ศักยภาพในการว่ายน้ำลดลง เนื่องจากเกิดความไม่สมดุลของร่างกายขณะว่ายน้ำ จังหวะดึงน้ำ ข้างที่แข็งแรงกว่าออกแรงดึงก่อให้เกิดแนวโน้มที่ตัวจะหมุน แนวลำตัวผิดทิศทางเกิดแรงต้านทานจากน้ำต่อการเคลื่อนตัวไปข้างหน้า การว่ายน้ำท่าฟรีสไตล์ มีการเคลื่อนไหวแขนสลับข้างกัน และมีการเคลื่อนไหวแขนเข้ามาใกล้แนวกลางลำตัวขณะดึงน้ำ เพื่อลดการเกิดปัญหาความไม่สมดุลของความแข็งแรงแขน ขาข้างที่มีความแข็งแรงน้อยกว่าทำให้เกิดแรงผลักน้อยกว่าข้างที่มีความแข็งแรงมากกว่า ทำให้ว่ายน้ำได้ช้ากว่าอีกข้างหนึ่ง ดังนั้น ระยางค์ข้างที่แข็งแรงกว่าจึงทำงานหนักเพื่อรักษาความเร็วในการเคลื่อนตัวไปข้างหน้า นอกจากนี้ ก่อให้เกิดการทำงานไม่ประสานสัมพันธ์กันระหว่างข้างขวาและซ้าย ตลอดจนเสียสมดุลของจังหวะการจ้วงแขน ขาข้างที่แข็งแรงกว่า เกิดอาการล้าได้เร็วกว่าอีกข้างหนึ่ง เนื่องจากต้องออกแรงมากชดเชยกับข้างที่แข็งแรงน้อยกว่า และข้างที่แข็งแรงน้อยกว่าก็เกิดการล้าเร็วเช่นกัน เพราะต้องออกแรงให้เท่ากับข้างที่แข็งแรง ซึ่งความเมื่อยล้ามีผลทำให้นักว่ายน้ำไม่สามารถจัดระเบียบร่างกายที่ดีได้ตลอดระยะทางการว่ายน้ำ โดยสังเกตจากมุมข้อเข่า, มุมข้อศอก และการหมุนข้อไหล่ในนักว่ายน้ำท่าฟรีสไตล์ เป็นต้น (Barden, Kell, & Kobsar, 2011; Sanders, 2013; Tourny - Chollet, Seifert, & Chollet, 2009)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.3.4 ความอ่อนตัว (Flexibility) ความอ่อนตัวมีผลต่อศักยภาพการว่ายน้ำ โดยมีผลกระทบต่อท่าทางและเทคนิคการว่ายน้ำก่อให้เกิดแรงต้านทานต่อการเคลื่อนตัวไปข้างหน้า เมื่อนักว่ายน้ำมีความอ่อนตัวดี ทำให้สามารถพัฒนาท่าทางและเทคนิคการว่ายน้ำ ก่อให้เกิดแรงต้านทานต่อการเคลื่อนไปข้างหน้าน้อยลง เช่นการว่ายน้ำท่าผีเสื้อ การยกมือขึ้นจากน้ำโดยไม่ยกส่วนอื่นๆของร่างกายลอยสูงขึ้นจากผิวน้ำมาก (Clean Hand Exit) จะต้องมีความยืดหยุ่นของข้อไหล่มาก การว่ายน้ำท่าฟรีสไตล์ ถ้าความยืดหยุ่นของข้อไหล่น้อย จะทำให้เกิดการยกข้อศอกสูงจากผิวน้ำในช่วง Arm Recovery ทำให้เกิดการกลิ้งตัวที่ไม่ถูกต้อง เป็นต้น ความอ่อนตัวมีผลต่อท่าทางของแขน ขาในขณะว่ายน้ำ ทำให้เกิดแรงต้านจำนวนมากและเวลาในการว่ายน้ำเพิ่มขึ้น เช่น การว่ายน้ำท่ากรรเชียง ความยืดหยุ่นของข้อไหล่ขณะกลิ้งตัว ถ้ามีความยืดหยุ่นดี จะทำให้สามารถจับน้ำ (catch) ได้มาก เป็นต้น การบาดเจ็บของนักว่ายน้ำเกิดจากคุณสมบัติของกล้ามเนื้อ มากกว่าการเคลื่อนไหวข้อต่อโดยมี

อัตราส่วนความแข็งแรงที่ไม่สมดุลระหว่างกลุ่มกล้ามเนื้อที่อยู่ตรงข้ามกันหลายส่วน กล้ามเนื้อหมุนข้อสะโพกเข้าในและบิดออกนอก เป็นสาเหตุให้ท่าทางเปลี่ยนแปลงไปในการจัดระเบียบร่างกาย เช่น การว่ายน้ำท่ากบ นักว่ายน้ำผู้ที่มีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อของข้อสะโพกมากกว่ากล้ามเนื้อเหยียดข้อสะโพก ทำให้เกิดการงอข้อสะโพกในช่วงมุดน้ำ และเตะขา ส่งผลให้ว่ายน้ำท่ากบไม่เร็ว เป็นต้น (Sanders, 2013)

4. การศึกษาด้านชีวกลศาสตร์กีฬา (Sports Biomechanics)

ชีวกลศาสตร์การกีฬา (Sport Biomechanics) เป็นสาขาหนึ่งของวิทยาศาสตร์การกีฬาที่ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ในเชิงชีวกลศาสตร์ของเคลื่อนไหวของมนุษย์ การพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์ทางการกีฬา การนำเอาเทคโนโลยีใหม่ๆ มาใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์วิจัยทางการกีฬาเป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของการเคลื่อนไหวที่เกี่ยวข้องกับเรื่องลักษณะท่าทางการเคลื่อนไหว ตำแหน่ง ระยะทาง มุม ความเร็ว และความเร่งทั้งเชิงเส้นและเชิงมุม เรื่องของแรงอันเป็นสาเหตุของการเคลื่อนไหว อาศัยความรู้ทฤษฎีและหลักการทางฟิสิกส์ แคลคูลัส สรีรวิทยาและกายวิภาคศาสตร์ ตลอดจนความรู้ทางด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มาใช้ในการศึกษาวิเคราะห์มนุษย์ (แวน วัณณะพันธ์, 2542)

4.1 ประเภทของการศึกษาทางกลศาสตร์ (Mechanics) แบ่งออกเป็น

4.1.1 สเตติกส์ (Statics) เป็นการศึกษาวัตถุหรือร่างกายในสภาวะอยู่นิ่งๆ หรืออยู่ในสภาวะสมดุล (Non-moving system)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.2 ไดนามิกส์ (Dynamics) เป็นการศึกษาวัตถุหรือร่างกายในสภาวะที่มีการเคลื่อนไหวหรือความเร่ง (Moving system) ซึ่งแบ่งเป็น

คิเนติกส์ (Kinetics) เป็นการศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือร่างกาย โดยคำนึงถึงแรงที่มาทำให้เกิดการเคลื่อนไหว (กานดา ใจภักดี, 2542)

คิเนมาติกส์ (Kinematics) เป็นการศึกษาการเคลื่อนที่ที่ประกอบไปด้วยรูปแบบและความเร็วของลำดับการเคลื่อนที่โดยส่วนต่างๆของร่างกาย โดยไม่นำเรื่องแรงพลังงาน โมเมนตัมเข้ามาเกี่ยวข้อง (กานดา ใจภักดี, 2542) ขณะที่ โรเบิร์ทสันและคณะ (Robertson, Caldwell, Hamill, Kamen, & Whittlesey, 2014) นิยามคิเนมาติกส์ไว้ว่าเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวร่างกายของร่างกาย โดยไม่สนใจสาเหตุของการเคลื่อนไหว เป็นการศึกษาที่มุ่งอธิบายตำแหน่งของร่างกายใน

แนวเส้นตรงและเชิงมุมตลอดจนเวลาที่ใช้ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ คิเนมาติกส์เชิงเส้น (Linear Kinematics) และ คิเนมาติกส์เชิงมุม (Angular Kinematics)

4.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์การกีฬา ศิริรัตน์ (ศิริรัตน์ หิรัญรัตน์, 2544) กล่าวว่า การวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ทางการกีฬาเป็นการวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนไหว เพื่อนำมาปรับปรุงใหม่ให้มีประสิทธิภาพในเชิงกีฬาที่ดีขึ้น โดยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

4.2.1 ขั้นสังเกตด้วยตาเปล่า (Non-cinematographic Analysis) เป็นการมองด้วยสายตา และเปรียบเทียบการเคลื่อนไหวเพื่อสังเกตท่าทางว่าถูกต้องหรือไม่ถูกต้องอย่างไร และอะไรน่าจะเป็นสาเหตุของความไม่สมบูรณ์ของการเคลื่อนไหวของทักษะนั้นๆ เช่น จะตีลูกวอลเลย์บอล แต่ผิดตำแหน่งในการวางเท้าจึงทำให้ลูกบอลนั้นเหินลอยข้ามคานไป ซึ่งจะเห็นได้ว่าการมองด้วยสายตาและรู้จักสังเกตก็สามารถบอกได้ว่า ลูกเหินข้ามคานไปเพราะเหตุใด

4.2.2 ขั้นใช้อุปกรณ์ถ่ายภาพ (Basic Cinematographic Analysis) ขั้นนี้จะเริ่มใช้อุปกรณ์อย่างง่ายๆ เช่น กล้องถ่ายภาพนิ่งและกล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหว (V.D.O.) เพื่อนำรูปภาพในขณะนั้นมาวิเคราะห์อย่างง่าย เนื่องจากบางครั้งเหตุการณ์ ที่เกิดขึ้นนั้นเราต้องการดูอีกครั้งหนึ่งเพื่อความแน่ใจ หรือสามารถให้ผู้อื่นบันทึกภาพให้ เพื่อนำมาศึกษาภายหลัง

4.2.3 ขั้นอุปกรณ์ขั้นสูง (Intermediate Cinematographic Analysis) อุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนนี้อย่างน้อยต้องเป็นเครื่องบันทึกภาพเคลื่อนไหวที่มีความเร็วในการจับภาพได้มาก หรือเรียกว่า กล้องถ่ายภาพความเร็วสูง (High Speed V.D.O.) สามารถจับภาพได้เร็วและแม่นยำ และนำภาพมาวิเคราะห์คำนวณหาความเร็วในการเคลื่อนไหว, มุมการเคลื่อนไหว และมุมการเคลื่อนที่

4.2.4 ขั้นวิจัย (Biomechanics Research) ใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะ เช่น คอมพิวเตอร์ และเครื่องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว ในขั้นตอนนี้ต้องอาศัยความรู้ความชำนาญเป็นพิเศษ ส่วนมากจะอยู่ในห้องทดลองชีวกลศาสตร์โดยเฉพาะ อาจจะนำเอาขั้นที่ 2 และ 3 มาทำการวิเคราะห์ในขั้นนี้ได้

4.3 การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวทางชีวกลศาสตร์การกีฬา (Sport Biomechanics and Motion Analysis) ชีวกลศาสตร์เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของการเคลื่อนไหวที่เกี่ยวข้องกับเรื่องลักษณะท่าทางการเคลื่อนไหว ตำแหน่ง, ระยะทาง, มุม, ความเร็ว และความเร่งทั้งเชิงเส้นและเชิงมุม เรื่องของแรงอันเป็นสาเหตุของการเคลื่อนไหว อาศัยความรู้ทฤษฎีและหลักการทางฟิสิกส์ แคลคูลัส สรีรวิทยาและกายวิภาคศาสตร์ ตลอดจนความรู้ทางด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มาใช้ใน

การศึกษาวิเคราะห์มนุษย์ (แวน วัณณะพันธ์, 2542) โดยชีวกลศาสตร์การกีฬานั้นต้องใช้ระบบจับการเคลื่อนไหว (Optical Motion Capture System) เป็นพื้นฐานสำคัญ (Sigal, Balan, & Black, 2009) เนื่องจากเป็นระบบที่แม่นยำที่สุด และในการเก็บข้อมูลงานวิจัยส่วนใหญ่จะเลือกใช้ระบบจับการเคลื่อนไหวแบบที่มีตัวบอกตำแหน่ง (Marker-based System) ซึ่งต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะด้านที่มีราคาสูง โดยเฉพาะช่วงเคลื่อนไหวใต้น้ำซึ่งต้องใช้กล้องใต้น้ำเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพในการออกตัววิเคราะห์ท่าทางซึ่งอาจจะก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บแก่นักกีฬา ตลอดจนการฟื้นฟูอาการบาดเจ็บของนักกีฬา (Zhang, 2000)

4.3.1 ระบบจับการเคลื่อนไหวที่ใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวทางชีวกลศาสตร์การกีฬา การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวทางชีวกลศาสตร์การกีฬานั้นต้องใช้ระบบจับการเคลื่อนไหว (Optical Motion Capture System) เป็นพื้นฐานสำคัญ (Sigal et al., 2009) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ต่อยอดมาจากการสร้างแอนิเมชั่น(Animation) ในสมัยแรกนั้นแอนิเมชั่นจะเป็นภาพวาดทีละฉากแลวจึงนำไปสร้างเป็นภาพเคลื่อนไหว ต่อมาได้มีการนำคอมพิวเตอร์เขามาใช้กับการสร้างแอนิเมชั่นเพื่อสร้างหรือตกแต่งภาพให้เป็นไปตามต้องการ ภาพที่ได้เหลานี้ถูกเรียกวาคอมพิวเตอร์กราฟฟคหรือ CG อย่างไรก็ตามภาพดังกล่าวก็ยังขาดความสมจริง พวกเขาจึงได้คิดค้นระบบจับการเคลื่อนไหวขึ้น โดยวิธีการคือนำมารกเกอรที่เคลือบด้วยสารสะท้อนแสงไปติดตามตัวของนักแสดงเพื่อให้กล่องเก็บข้อมูลการเคลื่อนไหวเฉพาะจุดเหลานั้นโดยไม่สนใจที่จะเก็บภาพของผิวหนังหรือสวนอื่นๆ ที่ไม่ได้ติดมารกเกอร โดยข้อมูลเหลานั้นจะถูกนำมาแปลงค่าเพื่อนำมาใชกับโมเดลดิจิตอล

อย่างที่กล่าวไปว่าในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวทางชีวกลศาสตร์การกีฬาต้องใช้ระบบจับการเคลื่อนไหวเป็นพื้นฐานสำคัญ (Sigal et al., 2009) โดยระบบดังกล่าวจะใช้กล้องวิดีโอบันทึกการเคลื่อนไหวของวัตถุ (Object) โดยไม่จำเป็นสัมผัสหรือใช้สายเคเบิ้ลเชื่อมต่อกับวัตถุที่ต้องศึกษา (Mori, Ren, Efros, & Malik, 2004) ตัวอย่างเช่น ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของกีฬาว่ายน้ำสามารถทำได้โดยใช้ระบบกล้องถ่ายภาพขณะนักกีฬาว่ายน้ำ โดยเป็นกล้องที่ตั้งเหนือน้ำหรือวางใต้น้ำในสระ ซึ่งผู้ฝึกสอนนำภาพที่บันทึกจากกล้องทั้ง 2 ระบบให้นักกีฬาดูได้ทันทีและผู้ฝึกสอนชี้ให้เห็นท่าทางการว่ายน้ำของนักกีฬาแต่ละคนมีจุดใดที่ไม่ถูกต้องตามหลักการการเคลื่อนไหวร่างกายตามแนวทางชีวกลศาสตร์ เมื่อนักกีฬามองเห็นท่าทางการว่ายน้ำของตนเองและได้รับคำแนะนำจากผู้ฝึกสอน จะทำให้นักกีฬาเกิดจินตนาการลักษณะการเคลื่อนไหวร่างกาย และปรับท่าทางการว่ายน้ำตามที่ผู้ฝึกสอนแนะนำ หากนักกีฬาไม่สามารถทำได้ ก็ต้องถ่ายภาพซ้ำและวิเคราะห์ต่อเนื่องถึงสาเหตุที่ทำไม่ได้ ซึ่งอาจจะเกิดจากสมรรถภาพทางกายไม่เพียงพอที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพของการว่ายน้ำได้อย่างเต็มที่ เช่น ความอ่อนตัวน้อย ความแข็งแรงหรือความอดทนของกล้ามเนื้อไม่เพียงพอ ความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนเลือด เป็นต้น

4.3.1.1 ประเภทของระบบจับการเคลื่อนไหว ระบบจับการเคลื่อนไหว (Optical Motion Capture System) แบ่งออกเป็นสองประเภทตามลักษณะการบันทึก ได้แก่ ระบบที่ไม่มีตัวบอกตำแหน่ง (Marker-less Systems) และ ระบบที่มีตัวบอกตัวแหน่ง (Marker-bases Systems) ทั้งสองระบบสามารถจับความเคลื่อนไหวได้ แต่ในงานวิจัยที่ต้องการความแม่นยำสูงจะนิยมใช้ระบบที่มีตัวบอกตำแหน่งมากกว่าเนื่องจากมีความแม่นยำสูงกว่า

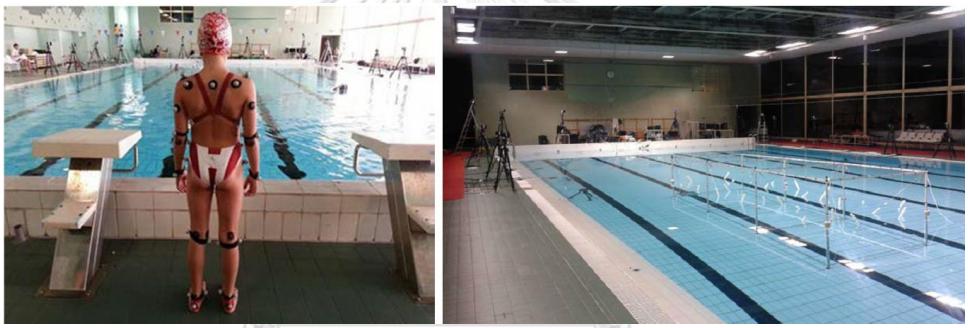
4.3.1.1.1 ระบบที่ไม่มีตัวบอกตำแหน่ง (Marker-less Systems) เป็นการผสมผสานเทคโนโลยีและการวิจัยในเรื่องมุมมองของคอมพิวเตอร์ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาการบันทึกความเคลื่อนไหวแบบไม่มีตัวบอกตำแหน่งที่เป็นกระบวนการซึ่งถูกพัฒนาขึ้นที่สมาคมมักซ์พลังค์ (Max Planck Institute) ประเทศเยอรมนี และมหาวิทยาลัยแสตนด์ฟอร์ด ประเทศสหรัฐอเมริกา โดย ในระบบนี้จะไม่ต้องสวมใส่อุปกรณ์พิเศษสำหรับติดตามการเคลื่อนไหว โดยอาศัยหลักของอัลกอริทึมที่ออกแบบมาเพื่อให้ระบบสามารถวิเคราะห์ได้ว่า ข้อมูลที่ส่งเข้ามานั้นเป็นรูปร่างของมนุษย์และสามารถแยกแยะได้ว่าส่วนที่ทำการติดตามมีการเคลื่อนไหวอย่างไร โดยจุดที่ถูกติดตามนั้นจะยังอยู่ในจุดที่กำหนด โดยส่วนใหญ่หมายความถึง กล้องถ่ายภาพวิดีโอทั่วไปที่มีความเร็วในการบันทึกภาพ (frame rate) ประมาณ 25-30 ภาพ ต่อวินาที (frame/second) แต่หากจะใช้กล้องบันทึกภาพการเคลื่อนไหวในขณะเล่นกีฬา ควรเป็นกล้องที่มีความเร็วสูงในการบันทึกภาพ เพราะในการเล่นกีฬามีการเคลื่อนไหวร่างกาย หรืออุปกรณ์กีฬาอย่างรวดเร็ว หากใช้กล้องถ่ายภาพที่มีความเร็วน้อยในการบันทึกภาพ จะเห็นภาพเบลอ ไม่ชัดหรือมองไม่เห็นภาพ ดังนั้น ควรเลือกกล้องถ่ายภาพที่มีความเร็วในการบันทึกภาพมากกว่าปกติ เช่น 60 หรือตั้งแต่ 100 ภาพ/วินาที การบันทึกการตีกอล์ฟ การเตะฟุตบอล อาจใช้ความเร็วในการบันทึกภาพตั้งแต่ 500 ภาพ/วินาที เป็นต้น (สำนักวิทยาศาสตร์การกีฬา กรมพละศึกษา., 2557)

4.3.1.1.2 ระบบที่มีตัวบอกตำแหน่ง (Marker-Based Systems) ส่วนใหญ่ระบบจับการเคลื่อนไหวแบบที่มีตัวบอกตำแหน่งจะใช้ในการเก็บข้อมูลการวิจัย หรือการทำภาพเคลื่อนไหว (animation) เช่น ภาพยนตร์และเกม เป็นต้น ซึ่งต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะด้านที่มีราคาสูง และมีเจ้าหน้าที่เทคนิคเป็นผู้บันทึกภาพ การบันทึกภาพทำให้ห้องปฏิบัติการและต้องติดตัวบอกตำแหน่งหรือ มาร์คเกอร์ (marker) ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็นสองประเภท ได้แก่

- มาร์กเกอร์แบบหลอดแอลอีดี (Pulsed – LED or Active Marker) เป็นการบันทึกภาพท่าทางของผู้แสดงโดยใช้วิธีวัดจากมาร์กเกอร์ที่เป็นหลอดแอลอีดี โดยใช้การวัดความเข้มของแสงสำหรับการบันทึกข้อมูล

- มาร์กเกอร์แบบสะท้อนแสงอินฟราเรด (Reflective Marker or Passive Marker) ซึ่งเป็นการใช้กล้องถ่ายภาพวิดีโอชนิดพิเศษในการติดตามตำแหน่งของมาร์กเกอร์ที่อยู่ตามตำแหน่งของมาร์กเกอร์ที่ติดอยู่ตามส่วนต่างๆ โดยกล้องวิดีโอนี้จะใช้เลนส์รับแสงอินฟราเรด แล้วใช้

แสงอินฟาเรดจากแหล่งกำเนิดแสงที่ติดไว้รอบๆกล้องถ่ายภาพ แสงจะสะท้อนที่มาร์กเกอร์ทำให้เห็นเป็นจุดที่มีความเข้มแสงมากกว่าบริเวณอื่นๆ(นราธิป ทับศรี, ปฏิภาณ วงศ์ชมภู, & พีระพงษ์ คงถาวรกุล, 2552) ภาพที่บันทึกจากระบบกล้องบันทึกการสะท้อนแสงจะแตกต่างจากระบบกล้องถ่ายภาพวิดีโอ คือ ภาพที่บันทึกจะเห็นเฉพาะตัวติดบอกตำแหน่งหรือโครงร่างกายตามตัวติดบอกตำแหน่ง (stick figure) หรือโครงร่างกาย 3 มิติ ไม่เห็นเป็นภาพตัวคน หรืออุปกรณ์กีฬา โดยใช้โปรแกรมเฉพาะกับระบบกล้องในการวิเคราะห์ข้อมูล หรือทำเป็นโครงร่างกาย เช่น โปรแกรม visual 3D เป็นต้น ระบบกล้องบันทึกการสะท้อนแสงที่สามารถบันทึกภาพบนบก ได้แก่ กล้องเครื่องหมายการค้า Qualisys, BTS, Motion Analysis, Wilcon เป็นต้น ความเร็วในการบันทึกภาพตั้งแต่ 0 - 1,000 ภาพ/วินาที ส่วนกล้องสะท้อนแสงที่สามารถบันทึกภาพใต้น้ำ ได้แก่ กล้องเครื่องหมายการค้า Qualisys เป็นต้น (สำนักวิทยาศาสตร์การกีฬา กรมพลศึกษา., 2557)



รูปที่ 9 การติดตัวบอกตำแหน่งที่ร่างกายและการตั้งกล้องบันทึกการสะท้อนแสงที่สระว่ายน้ำ (สำนักวิทยาศาสตร์การกีฬา กรมพลศึกษา., 2557)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.1.2 รูปแบบการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว อย่างที่ได้กล่าวไปว่าการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวทางคิเนมาติกส์นั้นต้องใช้ระบบจับการเคลื่อนไหวด้วยวิดีโอ (Video Motion Capture System)เป็นพื้นฐานสำคัญ (Sigal et al., 2009) และนิยมใช้ระบบที่มีตัวระบุตำแหน่งมากกว่า โดยเฉพาะในงานวิจัยเนื่องจากมีความแม่นยำสูง ในปัจจุบันระบบวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบระบุตำแหน่งนั้นสามารถกระทำได้สองรูหลักๆ ได้แก่ ระบบแบบสองมิติซึ่งเป็นการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของร่างกายบนระนาบแกน X และ แกน Y และ ระบบแบบสามมิติ ซึ่งจะเพิ่มแกน Z และช่วยให้เราเห็นความลึกของวัตถุที่ทำการวิเคราะห์ (Borzikov et.al., 2015)

4.3.1.2.1 การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบสองมิติ การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบสองมิติสามารถกระทำได้ด้วยกล้องถ่ายวิดีโอเพียงตัวเดียวแต่จะนิยมใช้เพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนของวัตถุหรือร่างกายเป็นเส้นตรงหรืออยู่ในระนาบ เช่น การวิเคราะห์การเดินบนลู่วิ่ง (Gait

Analysis on a Treadmil), การกระโดดท่า Counter Movement Jumps, การโหนบาร์สูงในกีฬายิมนาสติก หรือ การยกน้ำหนัก โดยจะเลือกสังเกตท่าทางการเคลื่อนไหวจากด้านข้าง (Lateral View) ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์มุมของข้อเท้า, เข่า และสโพกได้ อีกทั้งยังสามารถระบุตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวล (Center of Mass) ควบคู่กับระนาบการเคลื่อนที่ (Movement Plane) อีกด้วย

4.3.1.2.2 การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบสามมิติ ระบบวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบสามมิติในห้องปฏิบัติได้รับการขนานนามให้เป็น “มาตรฐานทองคำ” (Gold Standard) ในการวิเคราะห์หรือศึกษาเชิงชีวกลศาสตร์ เนื่องจากระบบดังกล่าวมีความน่าเชื่อถือและมีความแม่นยำสูง โดยสามารถวิเคราะห์คิเนมาติกส์ได้หลายมิติ แม้กระทั่งแรงหมุนระหว่างข้อต่อ (Rotational Forces across Joint) ก็สามารถกระทำได้เช่นกัน (Munro, Herrington and Carolan, 2012) อย่างไรก็ตามระบบวิเคราะห์การคลื่อนไหวแบบสามมิติก็มีข้อจำกัดเช่นกัน เนื่องจากราคาของอุปกรณ์ที่สูงตลอดจนความยุ่งยากในการติดตั้งซึ่งต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญและใช้ระยะเวลายาวนาน

4.3.1.3 การติดตั้งและการสอบเทียบเครื่องมือวัด การติดตั้งและการสอบเทียบเครื่องมือวัด (Calibration) เป็นกระบวนการที่ต้องกระทำอย่างเหมาะสมเพื่อให้การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ มีปัจจัยมากมายซึ่งเกี่ยวข้องซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจถูกแยกออกเป็นประเด็นที่ต้องพิจารณาเมื่อทำการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวใด ๆ ดังต่อไปนี้ (Richards, Thewlis and Hobbs, 2008)

4.3.1.3.1 ตำแหน่งและจำนวนของกล้อง กล้องควรจะตั้งในตำแหน่งที่สามารถมองเห็นมาร์กเกอร์ทั้งหมด และจำนวนของกล้องที่ใช้จะแตกต่างกันไปตามรูปแบบที่วิจัย การศึกษาแบบ 2 มิติจะใช้กล้องเพียง 1 ตัวเท่านั้น โดยตำแหน่งของกล้องจะต้องอยู่ในระนาบที่สนใจ สำหรับการศึกษาแบบ 3 มิติจำเป็นจะต้องใช้กล้องอย่างน้อย 2 ตัว โดยตำแหน่งของกล้องเทียบกับการเคลื่อนไหวที่สนใจควรเป็นมุมฉาก (90 องศา) เพื่อให้ได้ความถูกต้องมากที่สุด ความแปรปรวนของผลการวิเคราะห์อาจขึ้นอยู่กับตำแหน่งของกล้องในการศึกษาแบบ 3 มิติ และโดยทั่วไปอาจตั้งกล้องในมุมระหว่าง 60-120 องศา แม้ว่าการตั้งกล้องในมุมฉากจะให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดก็ตาม จำนวนและตำแหน่งของกล้องไม่เพียงแต่ส่งผลต่อการระบุตำแหน่งและการติดตามเครื่องหมาย แต่ยังมีความแม่นยำในการคำนวณพิกัดสุดท้ายของเครื่องหมายหรือมาร์คเกอร์ได้อีกด้วย โดยการใช้จำนวนกล้องที่แตกต่างกันเพื่อศึกษาผลของการลดหรือเพิ่มจำนวนกล้องบนความถูกต้องของข้อมูลที่สร้างขึ้น (Woltring, 1980) โดย วอลทิง (Woltring, 1980) ได้ทำการศึกษากล้องหลายรูปแบบและวิถีในการเคลื่อนที่ของเครื่องหมายที่ติดอยู่บนร่างกาย ในการศึกษาแบบสามมิติพบว่าเมื่อจำนวนกล้องเพิ่มขึ้นข้อผิดพลาดในการคำนวณก็จะลดลง

4.3.1.3.2 ความเร็วของกล้อง และความเร็วของชัตเตอร์ ในปัจจุบันมีกล้องที่สามารถให้ความถี่ในการสุ่มตัวอย่างได้ถึง 10 กิโลเฮิรตซ์ แต่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ เป็นความถี่ที่

เหมาะสำหรับการศึกษาในหลาย ๆ ด้านของมนุษย์ นอกจากนี้ความเร็วชัตเตอร์หรือองค์ประกอบของชัตเตอร์เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว เนื่องจากทำให้ได้ภาพที่ชัดเจน ความเร็วของชัตเตอร์คือระยะเวลาที่ชัตเตอร์เปิดอยู่ หากชัตเตอร์เปิดค้างอยู่นาน ภาพจะกลายเป็นสีมัวหรือจะเห็นคล้ายมีรอยเปื้อน ซึ่งการศึกษาโดยทั่วไปต้องใช้ความเร็วชัตเตอร์ 1/250 วินาทีหรือสูงกว่า แต่หากมีการบันทึกการเคลื่อนไหวที่มีความเร็วมาก เช่น การวิ่งระยะสั้น จำเป็นต้องใช้ความเร็วชัตเตอร์อย่างน้อย 1/1000 วินาที

4.3.1.3.3 การซิงค์กล้องให้ใช้พร้อมกัน (Synchronizing the cameras) เมื่อต้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหวด้วยกล้องมากกว่า 1 ตัว จำเป็นต้องมีการบันทึกการเคลื่อนไหวทั้งหมดพร้อมกันและรวบรวมให้เป็นข้อมูลข้อมูลเดียวกัน จากนั้นจะสามารถรวบรวมข้อมูลทั้งหมดเป็นภาพสามมิติของการเคลื่อนไหวได้ ข้อกำหนดประการหนึ่งที่ต้องทำเพื่อรวมมุมมองของกล้อง (Camera View) แต่ละตัว ให้ได้ทั้งหมดพร้อมกัน คือ กล้องแต่ละตัวจะบันทึกการเคลื่อนไหวที่ต่างกันที่เรียกว่าการซิงโครไนซ์ ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละระบบ เช่น ระบบแสงแฟลช ระบบเสียงเตือนอิเล็กทรอนิกส์ และสัญญาณจากคอมพิวเตอร์ เพื่อเริ่มทำการบันทึกการคลื่อนไหวจากกล้องทั้งหมดที่ได้ทำการติดตั้ง นอกจากนี้ระบบบางส่วนยังทำการซิงค์การเปิด-ปิดชัตเตอร์ในกล้องแต่ละตัวเพื่อให้แน่ใจว่ากล้องแต่ละตัวจะจับภาพได้อย่างแม่นยำและไม่ใช่แค่ภาพในเฟรมเดียวกันเท่านั้น ซึ่งโดยทั่วไปจะทำโดยใช้อุปกรณ์คู่ (CCD) บนกล้อง

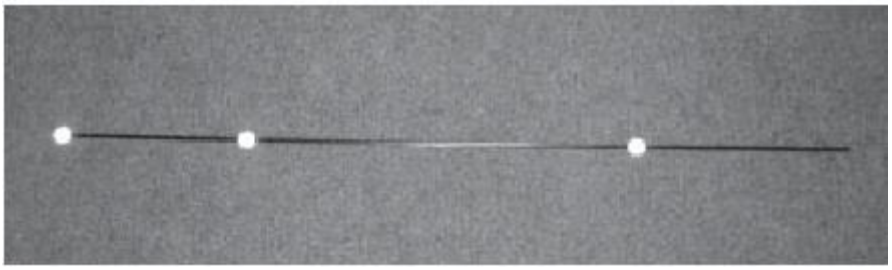
4.3.1.3.4 การคาลิเบรทพื้นที่ของภาพ (Calibrating Image Space) ก่อนที่จะสร้างภาพจำลอง 3 มิติ (3D Reconstruction) ไม่ว่าจะเป็นการจับภาพการเคลื่อนไหวบนบนหรือใต้น้ำ ขั้นตอนการคาลิเบรทกล้องเป็นสิ่งสำคัญมาก การคาลิเบรทคือขั้นตอนในการสร้างจุดจาก 3D Space เพื่อส่งไปยังเซนเซอร์ในการจับภาพของกล้อง หรือหากกล่าวอย่างง่ายการคาลิเบรทเป็นขั้นตอนที่ผู้ใช้งานกระทำเพื่อหาพารามิเตอร์ของกล้อง (Salvi, Armangué, & Batlle, 2002; Wei & Ma, 1994) อ้างถึงใน (Pribanic, Peharec, & Medved, 2009) ถึงแม้ว่าการคาลิเบรทใต้น้ำจะมีตัวแปรแทรกซ้อนและมีความซับซ้อนมากกว่าบนบก แต่การคาลิเบรทกล้องทั้งบนบกและใต้น้ำจะต้องดูตัวแปรทางคอมพิวเตอร์ 2 แบบ ได้แก่ ตัวแปรภายใน (Intrinsic Variebles) และตัวแปรภายนอก Extrinsic Variebles ซึ่งวิธีการคาลิเบรทพื้นที่ของภาพที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีด้วยกัน 3 รูปแบบ ดังนี้

- การคาลิเบรทด้วยโครงเหล็ก หรือ กรอบขนาดใหญ่ (Large Calibration Frame) เป็นวิธีคาลิเบรทที่นิยมในช่วงยุคแรก มีความแม่นยำและความน่าเชื่อถือสูง โดยจะใช้ DLT (Direct Linear Transformation) ตามหลักการของ Ab del-Aziz และ Karara วิธี DLT นี้ใช้สมการไม่ซับซ้อน แต่หากต้องการศึกษาในพื้นที่ขนาดใหญ่ต้องติดมาร์เกอร์ให้คลอบคลุมทั่ว

บริเวณ การเพิ่มจำนวนมาร์เกอร์จะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการศึกษาได้แต่ทำได้ยากและใช้เวลามาก แต่ก็เป็นวิธีคาลิเบรทที่มีความแม่นยำสูง

- การคาลิเบรทด้วยไม้ (Calibration Wand) เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ในช่วงหลังโดยเน้นความสะดวกของผู้งานเป็นสำคัญ โดยจะใช้ความยาวของไม้ (Length of the Calibration Wand) เพื่อคำนวณพารามิเตอร์ของกล้อง ความยาวของไม้ จะสามารถกำหนด มาตราส่วนคงที่ (scaling factor: s) ของแกน X และ แกน Y ได้ โดยอ้างอิงจากสมการที่ว่า Scaling Factor = Actual Length / Digitized Length (Robert, 2014) วิธีนี้จะจับความเคลื่อนไหวของมาร์เกอร์ที่ติดอยู่กับไม้ ผู้ใช้งานจะต้องเคลื่อนที่ไปให้ครอบคลุมทั่วพื้นที่คาลิเบรท (Calibrate Volume) ขั้นตอนนี้เรียกอีกอย่างว่า Wand Dancing ซึ่งส่วนมากจะใช้เวลาประมาณ 60 – 120 วินาที (Pribanic et al., 2009) ผู้คาลิเบรทจะแกว่งไม้ตามระนาบตั้งฉากที่วัตถุจะเคลื่อนที่ โดยกล้องจะต้องวางตั้งฉากกับระนาบของการเคลื่อนไหว และด้วยการกำหนดพิกัด (Digitizing) ความแม่นยำของวิธีนี้ ขึ้นอยู่กับจำนวนของมาร์กเกอร์ที่อยู่บนไม้และอัลกอริทึ่ม (Algorithms) ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกมากกว่าและนิยมใช้ในปัจจุบัน

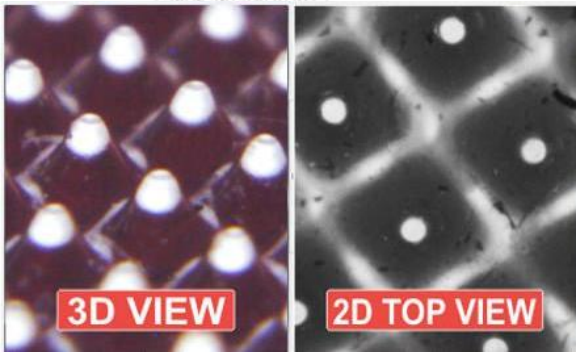
รูปที่ 10 ขาตั้งสามฉาก (Three Orthogonal Wands) (Pribanic et al., 2009)



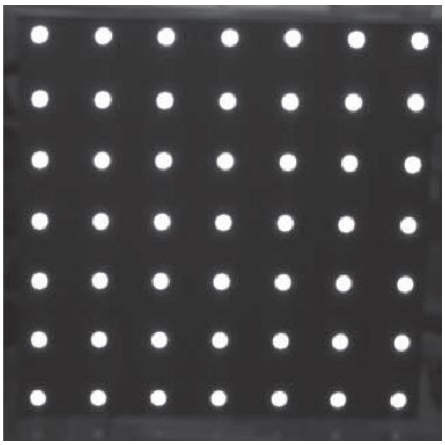
รูปที่ 11 ไม้คาลิเบรท แบบมาร์กเกอร์ 3 ตัว (Calibration Wands) (Pribanic et al., 2009)

รูปที่ 12 ไม้คาลิเบรทเครื่องหมายการค้า Qualisys ขนาดความยาว 300 และ 600 m

การคาลิเบรทด้วยเพลท (Calibration Plate) เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นมาใหม่เช่นเดียวกับการคาลิเบรทด้วยไม้ มีทั้งเพลทแบบสองมิติ และ สามมิติซึ่งลักษณะของมาร์กเกอร์จะแตกต่างกันไป วิธีนี้จะจับความเคลื่อนไหวของมาร์เกอร์ที่ติดอยู่กับเพลท ผู้ใช้งานจะต้องเคลื่อนที่ไปให้ครอบคลุมทั่วพื้นที่คาลิเบรท (Calibrate Volume) ขั้นตอนนี้เรียกอีกอย่างว่า Plate Dancing ซึ่งส่วนมากจะใช้เวลาประมาณ 60 – 120 วินาทีเช่นกัน การคาลิเบรทด้วยเพลทนั้นไม่จำเป็นต้องเริ่มตั้งค่าพิกัดก่อนจะเริ่ม Plate Dancing ซึ่งต่างกับการคาลิเบรทด้วยไม้ซึ่งต้องใช้ขาตั้งสามฉาก (Three Orthogonal Wands) ในการระบุพิกัดก่อนเริ่มต้น Wand Dancing (Pribanic et al., 2009)



รูปที่ 13 แสดงตัวอย่างมาร์กเกอร์บนเพลทสำหรับคาลิเบรทแบบ2 มิติและ3 มิติ (Pribanic et al., 2009)



รูปที่ 14 แสดงตัวอย่างเพลทสำหรับคาลิเบรทแบบ2 มิติ 7*7 Co Planar มาร์กเกอร์แต่ละจุดขนาด 20 mm ระยะห่างระหว่างมาร์กเกอร์ 150 mm (Pribanic et al., 2009)

4.3.1.3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data capture) เมื่อกล้องได้ทำการตั้งค่าโดยการคาลิเบรท และกลุ่มตัวอย่างได้รับการติดมาร์คเกอร์แล้ว จะสามารถทำการบันทึกการเคลื่อนไหวได้ ซึ่งหลังจากบันทึกเสร็จสมบูรณ์ ข้อมูลที่บันทึกจะถูกส่งไปยังฮาร์ดดิสก์ของคอมพิวเตอร์ กระบวนการนี้เรียกว่าการเก็บหรือการบันทึกวิดีโอ ระบบการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวมีมากมาย เช่น VICON (Jarrett et al, 1974), Elite (Ferrigno & Pedotti 1985) และ Qualisys ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลในวิดีโอแล้วส่งไปยังฮาร์ดดิสก์ เช่นเดียวกับระบบกล้องหรือระบบโทรทัศน์

4.3.1.4 ระบบจับการเคลื่อนไหวใต้น้ำ (Underwater Motion Capture System) ระบบจับการเคลื่อนไหวใต้น้ำเป็นเครื่องมือที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในหมู่นักวิจัยและนักวิทยาศาสตร์หลากหลายสาขารวมถึงการศึกษาทางด้านชีวกลศาสตร์การกีฬาด้วย (Dubois, Thiel, & James, 2012) โดยเฉพาะในกีฬาว่ายน้ำซึ่งเป็นหนึ่งในกิจกรรมทางกายที่ได้รับความนิยมสูงสุด การบันทึกการเคลื่อนไหวของนักกีฬาด้วยวิดีโอความละเอียดสูงจะช่วยให้นักกีฬาและโค้ชสามารถประเมินท่าทางและประสิทธิภาพในการว่ายน้ำเพื่อนำมาปรับปรุงพัฒนาต่อไป อย่างไรก็ตามการจับการเคลื่อนไหวใต้น้ำเป็นเรื่องท้าทายเนื่องจากต้องใช้กล้องที่ออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับใต้น้ำซึ่งในปัจจุบันได้รับการพัฒนาให้สามารถถ่ายวิดีโอได้คลอบคลุมระยะทางประมาณ 15 - 20 เมตร (ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของกล้องตามแต่ละเครื่องหมายการค้า) และต้องใช้ร่วมกับมาร์กเกอร์แบบอินฟาเรดเพื่อให้สามารถเห็นความเคลื่อนไหวได้ชัดเจนขึ้น อีกทั้งน้ำยังเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิในการทำงานของกล้องใต้น้ำ อาทิ หากคุณภาพไม่ใสพอ หรือน้ำมีฟองมากเกินไปก็ทำให้ไม่สามารถจับภาพของมาร์กเกอร์ได้อย่างชัดเจน หรือเกิดจุดรบกวนในภาพ (Noise) ได้

4.3.1.4.1 ตัวอย่างกล้องจับการเคลื่อนไหวใต้น้ำ ในปัจจุบันมีการผลิตกล้องสำหรับจับการเคลื่อนไหวใต้น้ำออกมามากขึ้น หลากหลายเครื่องหมายการค้า ซึ่งส่วนมากเป็นกล้องสะท้อนแสงและใช้ร่วมกับมาร์กเกอร์แบบอินฟาเรด

- กล้องเครื่องหมายการค้า Qualisys ซึ่งเป็นบริษัทสัญชาติสวีเดนที่ดำเนินการเกี่ยวกับระบบจับการเคลื่อนไหว (Motion Capture Analysis) ครบวงจรสำหรับสาขาวิชาต่างๆ อาทิ วิศวกรรมศาสตร์, ชีวกลศาสตร์การกีฬา และ อนิเมชั่น เป็นต้น มีทั้งกล้องสำหรับจับการเคลื่อนไหวบนบกและใต้น้ำ เช่น กล้องใต้น้ำรุ่น Oqus ซึ่งเป็นกล้องใต้น้ำที่ผู้วิจัยเลือกใช้ในงานครั้งนี้ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสอดคล้องกับลักษณะของงานวิจัย ตัวกล้องสามารถจับระยะความเคลื่อนไหวได้ถึง 20 เมตร และบันทึกวิดีโอแบบ Hi-Speed ตัวกล้องมีไฟ Led สีฟ้าเพื่อเพิ่มความสว่างและช่วยให้สามารถจับความเคลื่อนไหวของมาร์กเกอร์ได้ง่ายขึ้น (อ้างอิงคู่มือ หรือ เว็บไซต์ Qualisys)

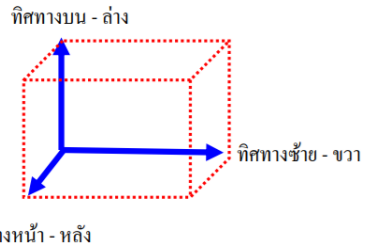
รูปที่ 15 กล้องใต้น้ำรุ่น Oqus เครื่องหมายการค้า Qualisys

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3.1.4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบจับการเคลื่อนไหวใต้น้ำ จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับระบบจับการเคลื่อนไหวใต้น้ำจำนวนที่น้อย จากงานวิจัยของ เคเจนไดล์ โอสตัด และ คาบริ(Kjendlie, Olstad, & Cabri, 2012) ได้ศึกษาเกี่ยวกับแรงลากที่เกิดจากจำนวนมาร์กเกอร์ที่แตกต่างกันที่ในการศึกษารูปแบบการเคลื่อนไหวใต้น้ำของนักกีฬาว่ายน้ำ โดยผู้วิจัยใช้กล้องใต้น้ำรุ่น Oqus เครื่องหมายการค้า Qualisys จำนวน 6 ตัว ควบคู่กับโปรแกรมจับความเคลื่อนไหวแบบสามมิติของ Qualisys ผู้วิจัยกำหนดให้นักกีฬาว่ายเป็นระยะทาง 8 เมตร โดยออกตัวจากกำแพง และติดมาร์กเกอร์จำนวนที่แตกต่างกันกล่าวคือ ติดมาร์กเกอร์จำนวน 3 จุด และ 24 จุด ตามลำดับ ผลปรากฏว่าจำนวนมารก์กเกอร์ที่เพิ่มขึ้นช่วยเพิ่มความแม่นยำในการจับภาพการเคลื่อนไหวใต้น้ำ แต่ในขณะเดียวกับก็เพิ่มแรงลากแบบ Passive Drag ด้วยเช่นกัน

อีกงานวิจัยหนึ่งของ คุโด้และลี (Kudo & Lee, 2009) ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับความตรงของของระบบจับการเคลื่อนไหวใต้น้ำที่ใช้ศึกษาในกีฬาว่ายน้ำ โดยผู้วิจัยเปรียบเทียบความตรงระหว่างระบบจับการเคลื่อนไหวใต้น้ำของเครื่องหมายการค้า Qualysis (บริษัทสัญชาติสวีเดน) และ Motion Analysis (บริษัทสัญชาติอเมริกัน) กำหนดให้นักกีฬาว่ายน้ำติด มาร์กเกอร์จำนวน 3 จุดที่มือข้างซ้าย และว่ายท่าครอล์ด้วยความเร็วสูงสุดเป็นระยะทาง 25 เมตร ขณะว่ายผู้วิจัยจะทำการบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยกล้องทั้งสองเครื่องหมายการค้าซึ่งผ่านการคาลิเบรทด้วยวิธีเดียวกัน ติดตั้งตำแหน่งเดียวกัน ผู้วิจัยพบว่าระบบจับการเคลื่อนไหวทั้งสองระบบมีความตรงในระดับสูง และสามารถจับตำแหน่งของมาร์กเกอร์ได้แม่นยำ

4.3.2 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของร่างกายหรือวัตถุในลักษณะต่างๆ



รูปที่ 16 แกนการเคลื่อนไหว 3 มิติ

สิริพร (สิริพร ศศิมณฑลกุล, 2551) ได้กล่าวไว้ว่าการเคลื่อนที่ของร่างกายหรือวัตถุต่างๆมีลักษณะเป็นสามมิติคือ สามารถเคลื่อนได้ทั้งในทิศทางด้านหน้า - หลัง, ด้านซ้าย - ขวา และด้านบน - ล่าง พร้อมๆกันการอธิบายถึงการเคลื่อนที่ของร่างกายหรือวัตถุนั้นจะประกอบไปด้วยการอธิบายถึงปริมาณการเคลื่อนที่ร่วมกับการอธิบายทิศทางการเคลื่อนที่ของร่างกายหรือวัตถุด้วย เช่น บอกว่าร่างกายนักกีฬามีการเคลื่อนที่ได้ระยะทางมากหรือน้อย และมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางใด เป็นต้น การที่ต้องอธิบายถึงปริมาณและทิศทางการเคลื่อนที่มุ่งเน้นเพื่อให้ผู้ฟังที่ไม่ได้เห็นการเคลื่อนที่นั้นได้มีความเข้าใจที่ถูกต้องว่าร่างกายหรือวัตถุนั้นมีลักษณะการเคลื่อนที่อย่างไร โดยการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของร่างกายแบ่งตามลักษณะได้เป็น 3 รูปแบบ ดังต่อไปนี้

4.3.2.1 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของร่างกายหรือวัตถุที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้ง

นักกีฬาส่วนมากมักมีการเคลื่อนไหวร่างกายอยู่ตลอดเวลา ซึ่งถ้านักกีฬามีการเคลื่อนไหวร่างกายที่ เหมาะสมกับประเภทของกีฬากจะเป็นการเพิ่มศักยภาพของนักกีฬาและนำไปสู่ชัยชนะในการแข่งขันได้แต่ในทางตรงกันข้ามถ้านักกีฬามีการเคลื่อนไหวร่างกายที่ไม่เหมาะสมกับประเภทของกีฬาก็จะเป็นการลดศักยภาพของนักกีฬาดังนั้น การประเมินและวิเคราะห์ความถูกต้องของการเคลื่อนไหวร่างกายนักกีฬาจึงมีความสำคัญมากต้องการนำไปสู่ชัยชนะในการแข่งขัน

กีฬาในการเคลื่อนไหวของร่างกายนั้นมีความสลับซับซ้อนและประกอบไปด้วยหลายปัจจัยด้วยกัน ทั้งนักชีวกลศาสตร์การกีฬาอาจประเมินและวิเคราะห์ความถูกต้องของการเคลื่อนไหวร่างกาย โดยใช้หลักการของการเคลื่อนที่เชิงเส้น (Linear Kinematics) เพื่ออธิบายถึงประสิทธิภาพของการเคลื่อนที่ของร่างกาย เป็นต้น

4.3.2.2 การเคลื่อนที่การหมุนร่างกายหรือวัตถุ

ในการเคลื่อนที่ของร่างกายไปจากตำแหน่งเดิมหรือท่าทางเดิมนั้นเกิดจากการที่ส่วนต่างๆของร่างกายมีการหมุนรอบข้อต่อ เช่น ถ้าสังเกตทางด้านข้างของร่างกายในขณะที่เดินนั้น (Sagittal plane) จะเห็นว่าเท้ามีการหมุน (Dorsiflexion - Plantarflextion) รอบข้อเท้า ในขณะที่ขาท่อนล่างหมุน (Flextion - Extention) รอบข้อเข่าและ ขาท่อนบนหมุน (Flextion - Extention) รอบข้อสะโพกจากการทำงานของร่างกายส่วนล่าง ที่มีการหมุนรอบข้อต่อต่างๆนี้เองจึงได้ช่วยพาให้ร่างกายทั้งหมดเคลื่อนที่จากจุดเดิมไปยังจุดใหม่ได้สำหรับการเคลื่อนไหวร่างกายของ นักกีฬาในขณะเล่นกีฬาต่างๆ นั้นมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น การเข้าใจถึงลักษณะการเคลื่อนที่เชิงมุมจะช่วยให้ผู้ฝึกสอนสามารถพัฒนาศักยภาพของนักกีฬาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้

4.3.2.3 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของร่างกายหรือวัตถุที่ลอยอยู่ในอากาศ

การเคลื่อนที่ของร่างกาย หรือวัตถุในอากาศจะเรียกว่าการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไตล์เช่น การกระโดด ลอยตัวขึ้นจากพื้น การกระโดดสปริงบอร์ดลูกฟุตบอลที่ลอยอยู่ในอากาศการเคลื่อนที่ในอากาศของร่างกาย

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ฮิกส์และคณะ (Higgs et al., 2016) ได้ทำการศึกษาต่อเนื่องเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างคิเนมาติกส์และประสิทธิภาพของช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ โดยเลือกใช้นักกีฬากลุ่มมีทักษะ และศึกษาการเตะขาทั้งในช่วงจังหวะเตะขาขึ้นและจังหวะเตะขาลง เพื่อมุ่งเน้นหาว่าตัวแปรใดที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของช่วงการเคลื่อนไหวดังกล่าว ก่อนทำการทดลองนักกีฬาจะต้องทำการยืดเหยียดกล้ามเนื้อตามปกติก่อนฝึกซ้อม แล้วจึงเข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 3 รอบ โดยออกตัวจากผนังที่ความลึกประมาณ 1 เมตรจากผิวน้ำ ว่ายบริเวณตรงกลางลู่ด้วยท่าจัดระเบียบร่างกาย นักกีฬาจะต้องใช้แรงน้อยที่สุดในการออกตัวเพื่อที่แรงส่งจากการออกตัวจะไม่ส่งผลอย่างมีนัยยสำคัญต่อความเร็วแนวราบในช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ (Horizontal Velocity of UUS) ขณะทดลอง และหลังจากนั้นนักกีฬาจะต้องว่ายในช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำด้วยความเร็วสูงสุด ที่ความลึกอย่างน้อย 0.5 จนครบระยะทาง 20 เมตร และพักระหว่างรอบการทดลองเป็นเวลา 3 นาที

ผลการวิจัยพบว่า

ตัวแปรในจังหวะเตะขาขึ้นเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำได้ดีกว่าตัวแปรในจังหวะเตะขาลง และมีตัวแปรหลายประการที่ส่งผลอย่างมีนัยยสำคัญต่อความเร็วแนวราบสูงสุดของศูนย์กลางมวล (Peak Horizontal V_{com})ในแต่ละเฟสซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงแรงผลักสูงสุด (Peak Propulsion)ของจังหวะเตะขาขึ้นและเตะขาลง โดยตัวแปรดังกล่าว ได้แก่ ความเร็วสูงสุดแนวดิ่งของนิ้วเท้า (Peak Vertical Toe Velocity), ความเร็วเฉลี่ยของบอดี้เวฟ (Mean Body Wave Velocity), ระยะเวลาที่ใช้ขณะเตะขาขึ้น (Upbeat Duration), ความเร็วเชิงมุมโดยเฉลี่ยของเข่าขณะเตะขาขึ้น (Mean Knee Angular Velocity during the Upbeat) และความเร็วเชิงมุมสูงสุดของสะโพกขณะเตะขาขึ้น (Peak Hip Angular Velocity during the Upbeat) ตัวแปรความเร็วสูงสุดแนวดิ่งของนิ้วเท้า และ ความเร็วของบอดี้เวฟเป็นตัวบ่งชี้คาดคะเนประสิทธิภาพของช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำที่สำคัญที่สุด เนื่องจากส่งผลต่อประสิทธิภาพของช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำถึง72% และ 6% ตามลำดับ

คอนนาบอยและคณะ (Connaboy et al., 2015) ได้ทำการวิจัยเรื่อง ตัวแปรสำคัญทางคิเนมาติกส์ที่กำหนดความเร็วสูงสุดในการช่วงเคลื่อนไหวใต้น้ำ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ระบุตัวแปรทางคิเนมาติกส์ที่เป็นตัวกำหนดความเร็วสูงสุดในช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ (UUS) กลุ่มตัวอย่างเป็นนักว่ายน้ำจำนวน 17 คน ซึ่งเคยเข้าร่วมการแข่งขันระดับชาติ และมีประสบการณ์อย่างน้อย 5 ปี โดยกระบวนการวิจัยประกอบด้วย 3 การทดลอง กำหนดให้นักว่ายน้ำคว่ำหน้า ยืดแขนเหยียดตรง (ลักษณะคล้ายกับการจัดระเบียบร่างกาย: Streamline) และออกตัวด้วยการผลักผนังสระ โดยนักกีฬาจะว่ายด้วยความเร็วสูงสุดเป็นระยะทาง 15 เมตร แต่กล้องวิดีโอจะเริ่มจับภาพที่ระยะ 10 เมตรเป็นต้นไป เพื่อให้แน่ใจว่าแรงผลักจากการออกตัวไม่ส่งผลต่อผลการวิจัย และความลึกในการว่ายอยู่ที่ 0.8 – 1.2 เมตร เพื่อลดแรงลากจากคลื่น (Wave Drag) นักกีฬาจะพักประมาณ 5 นาทีระหว่างการทดลอง โดยจะทำบันทึกภาพทั้งหมด 6 รอบการเตะ แบ่งเป็น 2 รอบการเตะต่อการทดลอง

ผลการวิจัยพบว่า

มีตัวแปร 3 ประการที่ส่งผลอย่างมีนัยยะสำคัญโดยคิดเป็นสัดส่วน 92.9% ต่อความเร็วสูงสุดของช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ ได้แก่ ความเร็วเชิงมุมสูงสุดของเข่า (Max Knee Angular Velocity) ความเร็วเชิงมุมสูงสุดของข้อเท้า (Max Angle Angular Velocity) และพิสัยการเคลื่อนไหวของเข่า (Knee ROM)

ทาลาดริซ และคณะ (Taladriz, Domínguez, Morales, & Arellano, 2015) เรื่อง ผลกระทบของความเมื่อยล้าต่อคิเนมาติกส์ของการเร่งความเร็วในช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ จุดประสงค์หลักของงานวิจัยคือ เพื่อศึกษาเกี่ยวกับคีเนมาติกส์ของร่างกายในช่วง UUS และ เพื่อศึกษาเกี่ยวกับผลของความเมื่อยล้าตลอดระยะทาง 15 เมตรในช่วงUUS กลุ่มตัวอย่างเป็นนักว่ายน้ำระดับนานาชาติจำนวน 25 คน นักว่ายน้ำจะต้องออกตัวด้วยการผลักขอบสระ และว่ายในช่วง UUS ระยะทางทั้งหมด 15 เมตร ด้วยความเร็วสูงสุด บันทึกภาพด้วยกล้องวิดีโอจำนวน 2 ตัว โดยติดไว้ที่ระยะ 7.5 เมตร และ 12.5 เมตร ที่ความลึก 1 เมตรจากผิวน้ำ ตัวแปรทางคิเนมติกส์ที่เลือกศึกษาได้ได้แก่ ระยะเวลาช่วงเตะขาขึ้น (Up-kick Phase Duration: UPD), ระยะเวลาช่วงเตะขาลง (Down-kick Phase Duration: DPD) ความกว้างและความถี่ของการเตะขา, ความเร็วเฉลี่ยในแนวนอนและแนวดิ่งของสะโพกและจุดศูนย์กลางมวล (CM), มุมของเข่าและข้อเท้าขณะเตะขาขึ้นและลง และแรงกระเพื่อมของน้ำ (Strouhal Number) หลังจากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบความแตกต่างของตัวแปรระหว่างระยะ 7.5 เมตรและระยะ 12 เมตร โดยใช้ t-test

ผลการวิจัยพบว่า

ความเมื่อยล้าส่งผลต่อประสิทธิภาพของUUS เมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้น นักว่ายน้าจะลดความเร็วลงที่ระยะ 12.5เมตร ซึ่งเกิดจากการลดความถี่ของการเตะ และสูญเสียแรงผลัก (Propulsive Force) ไปเนื่องจากมุมของข้อเท้าในการว่ายลดลง นักกีฬาควรจะฝึกว่ายด้วยความเร็วสูงสุดในช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำเพื่อรักษาความถี่ของการเตะขา เพื่อที่จะรักษาประสิทธิภาพสูงสุดได้จนถึงระยะ 15 เมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชิมาโจ้และคณะ (Shimojo, Sengoku, Miyoshi, Tsubakimoto, & Takagi, 2014) ได้ศึกษาถึง ผลกระทบของความเปลี่ยนแปลงของความถี่ในการการเตะที่ส่งผลต่อคิเนมาติกส์ในช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำด้วยความเร็วสูงสุดในกลุ่มนักว่ายน้ำชาย โดยมีจุดประสงค์พื่อ เพื่อศึกษาว่าการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของการเตะ (f) ส่งผลต่อ ความเร็วในการว่ายน้ำ (u). ประสิทธิภาพของฟรูด (Froude Efficacy: n_F) และ ตัวเลขสเตรฮาล (Strouhal Number: st) กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาว่ายน้ำเพศชายจำนวน 10 คนที่เคยเข้าร่วมการแข่งขันระดับชาติ นักกีฬาจะต้องทำการว่ายช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ (ระยะทาง 15 เมตร) ทั้งหมด 2 ครั้ง โดยแต่ละครั้งกำหนดให้ออกตัวด้วยการผลักขอบสระและว่ายที่ระดับความลึก 0.5 - 1.0 เมตรเพื่อหลีกเลี่ยงจากแรงลาก (Drag Force) ผู้วิจัยจะทำการบันทึกภาพด้วยกล้องวิดีโอ และติดมาร์กเกอร์ทั้งหมด 12 จุดที่ลำตัวด้านขวาของนักกีฬา ใน

การว่ายครั้งที่ 1: นักกีฬาว่ายช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำด้วยความเร็วสูงสุด และเตะขาด้วยความถี่ 100% ส่วนการว่ายครั้งที่ 2: นักกีฬาว่ายและเตะขาตามเสียงเมโทรนอม โดยตั้งความเร็วตามความถี่ของการเตะขาที่ระดับ 85%, 90%, 95%, 105%, 110% ของความถี่ปกติ

ผลการวิจัยพบว่า

การเพิ่มขึ้นของความถี่ในการเตะ(f) ไม่ส่งผลต่อความเร็วในการว่ายน้ำ (u) แต่การลดลงของความถี่ในการเตะ(f) ทำให้ความเร็วในการว่ายน้ำ (u) เพิ่มขึ้น

อลิสันและคณะ (Allison, Higgs, Pease, & Ross, 2015) ศึกษาความสำคัญของความสมมาตรของการเตะในระนาบแนวดิ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการเคลื่อนไหวแบบโลมาใต้น้ำ จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อประเมินคิเนมาติกส์ของการเตะขาแบบโลมา (Dolphin Kick) และช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ (UUS) อีกทั้งยังเพื่อศึกษาว่าความสมมาตรของการเตะขาส่งผลต่อประสิทธิภาพของ UUS อย่างไร สมมุติฐานของงานวิจัยคือ นักว่ายน้ำที่ทำเวลาได้ดีในช่วง UUS จะรักษาความสมมาตรของการเตะขาได้ดีกว่า กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาว่ายน้ำชายจำนวน 15 คน โดยและคนต้องมีประสบการณ์ในการแข่งขันอย่างน้อย 5 ปี กำหนดให้นักกีฬาจะต้องว่ายช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำทั้งหมด 3 รอบ โดยแต่ละรอบกำหนดให้ออกตัวด้วยการผลักขอบสระและว่ายด้วยความเร็วสูงสุดที่ความลึก 0.5 – 1.0 เมตร พักระหว่างรอบเป็นเวลา 3 นาที ระหว่างการทดลองบันทึกวิดีโอ โดยตั้งกล้องไว้ที่ความลึก 0.5 เมตร และตั้งกล้องห่างจากจุดออกตัว 7.5 เมตร ตัวแปรที่ใช้ประเมินความสมมาตร ได้แก่ มุมของข้อต่อ (Joint Angles), การเคลื่อนย้ายของจุดศูนย์ถ่วงมวลในแนวนอน (Horizontal Displacement of the CM), การเคลื่อนย้ายของจุดศูนย์ถ่วงมวลในแนวตั้ง (Vertical Displacement of the CM), ความเร็วแนวดิ่งของนิ้วเท้าระหว่างการเตะขาขึ้นลง (Dolphin Kick) และ ช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ (UUS)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลการวิจัยพบว่า

เข่าและข้อเท้าที่กว้างกว่า และ ความสมมาตรของมุมเข่าและข้อเท้าระหว่างช่วงเตะขาขึ้น – ลงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเตะขาขึ้นลง (Dolphin Kick)ในช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ นักกีฬาส่วนใหญ่สามารถเตะขาลงได้ดี แต่เฉพาะนักกีฬากลุ่มทักษะสูงเท่านั้นที่สามารถเตะขาขึ้นได้ดี

ทอร์และคณะ (Tor et al., 2014a) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิถีการเคลื่อนไหวใต้น้ำ 3 รูปแบบที่แตกต่างกันในช่วงการออกตัว เมื่อนักกีฬากระโดดลงน้ำ นักกีฬาจะไม่เพิ่มความเร็ว หากแต่สิ่งที่เกิดขึ้นคือการลดความเร็วของนักกีฬา ซึ่งวิถีของการเคลื่อนไหวใต้น้ำ (Underwater Trajectory) ที่นักกีฬาเลือกใช้เป็นหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความเร็วของนักกีฬา ผู้วิจัยเลือกใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 14 คน โดยกำหนดให้แต่ละคนกระโดดลงน้ำด้วยวิถีการเคลื่อนไหวใต้น้ำที่แตกต่างกัน 3

รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่ 1 โดยนักกีฬาลงน้ำไปที่ความลึกระดับตื้น แล้วกลับขึ้นสู่ผิวน้ำให้เร็วที่สุด รูปแบบที่ 2 ซึ่งกำหนดให้นักกีฬาค่อยๆลงน้ำไปที่ความลึกระดับกลาง แล้วค่อยๆกลับขึ้นสู่ผิวน้ำเมื่อดำน้ำไปถึงจุดมาร์กระยะทาง 10 เมตร ส่วนรูปแบบที่ 3 ให้นักกีฬาลงน้ำไปที่ความลึกระดับลึกที่สุด แล้วค่อยๆกลับขึ้นสู่ผิวน้ำเมื่อดำน้ำไปถึงจุดมาร์กระยะทาง 15 เมตร ตัวแปรที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของการออกตัว คือ เวลาที่นักกีฬาใช้จนถึงระยะ 15 เมตร ซึ่งเก็บข้อมูลด้วยระบบวิเคราะห์ WetPlate ร่วมกับตัวแปรอื่นๆ อาทิ ความลึกสูงสุด (Maximum Depth) และ ระยะทางที่นักกีฬาเริ่มเตะขาครั้งแรก (Distance of First Kick) เป็นต้น

ผลการวิจัยพบว่า

ความลึกสูงสุดเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ ซึ่งส่งผลต่อเนื่องไปยังประสิทธิภาพของการออกตัวโดยรวมทั้งหมด นักกีฬาสามารถรักษาความเร็วได้ดีกว่าเมื่อว่ายด้วยวิถีการเคลื่อนไหวรูปแบบที่ 2 และ 3 เนื่องจากเมื่อว่ายในระดับความลึกที่เหมาะสมจะช่วยลดแรงลาก (Drag Force) ได้ ระยะทางที่นักกีฬาเริ่มเตะขาครั้งแรกก็เป็นตัวแปรที่สำคัญเช่นกัน หากนักกีฬาเริ่มเตะขาครั้งแรกเร็วเกินไป จะส่งผลให้เกิดแรงต้านที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน เพราะนักกีฬาจะสามารถเคลื่อนไหวได้เร็วที่สุดเมื่ออยู่ในท่าจัดระเบียบร่างกาย โดยระยะที่นักกีฬาควรจะเริ่มเตะขาครั้งแรกคือ ระยะ 6.6 เมตร และควรดำน้ำที่ความลึก - 0.92 เมตรจากผิวน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับวิถีการเคลื่อนไหวรูปแบบที่ 2

โมราอิส และคณะ (Morais et al., 2013) ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรด้านสัดส่วนของร่างกาย (Anthropometrics), คิเนมาติกส์ (Kinematics), พลังงาน (Kinetics) และเพศที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการว่ายน้ำในนักกีฬาเยาวชน จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้คือ เพื่อประเมินว่า 1. เพศ 2. ระดับของนักกีฬา 3. ความสัมพันธ์ระหว่างเพศ VS ประสิทธิภาพ ปัจจัยทั้ง 3 ประการนี้ส่งผลต่อตัวแปรที่กล่าวมาอย่างไร กลุ่มตัวอย่างเป็นนักว่ายน้ำระดับเยาวชนจำนวน 136 คน แบ่งเป็นเพศชาย 62 คน และเพศหญิง 64 คน ผู้วิจัยแบ่งกลุ่มนักกีฬาออกเป็น 4 กลุ่ม โดยอ้างอิงจากเวลาในการแข่งขันว่ายฟรีสไตล์ 100 เมตร ในรายการแข่งขันระดับภูมิภาค, ระดับชาติ และ ระดับนานาชาติ โดยกำหนดให้กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่มีสถิติดีที่สุด มีการเก็บข้อมูลสัดส่วนของนักกีฬาทั้งหมด 3 ครั้ง และนักกีฬาจะต้องทำการว่ายท่าฟรีสไตล์ระยะ 25 เมตรเป็นจำนวน 3 ครั้งเพื่อเก็บข้อมูลตัวแปรคิเนมาติกส์ โดยติดเคเบิ้ลวัดความเร็ว (Speedometer Cable) ไว้บริเวณสะโพกของนักกีฬาเพื่อวัดความเร็วในการว่าย ตัวแปรที่เลือกศึกษาสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ ได้แก่ กลุ่มที่หนึ่งตัวแปรในแต่ละเพศที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพอย่างมีนัยสำคัญ (Significant Gender Effect on Performance) ได้แก่ บริเวณพื้นผิวเท้า (Foot Surface Area), บริเวณพื้นผิวมือ (Hand Surface Area) และความถี่ของสโตรค (Stroke Frequency) และ กลุ่มที่สองตัวแปรในแต่ละเพศที่ไม่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพอย่างมีนัยสำคัญ (Non-significant Gender Effect on Performance) ได้แก่ มวลร่างกาย (Body Mass), ส่วนสูง, ช่วงแขน, พื้นที่บริเวณลำตัวแนวขวาง (Trunk Transverse Surface Area), ความ

ยาวของสโตรค (Stroke Length), การขึ้นลงของความเร็ว (Speed Fluctuation), ความเร็วในกาว่ายน้ำ (Swimming Velocity), ประสิทธิภาพของแรงผลัก (Propulsive Efficiency), ดัชนีสโตรค (Stroke Index) และ ความเร็วสูงสุด (Critical Velocity)

ผลการวิจัยพบว่ามีข้อสรุปหลัก 3 ประการจากงานวิจัย ได้แก่

1. ตัวแปรด้านสัดส่วนของร่างกาย (Anthropometrics), คิเนมาติกส์ (Kinematics) และ พลังงาน(Kinetics) ของแต่ละเพศของนักกีฬาไม่ส่งผลแตกต่างอย่างมีนัยยสำคัญต่อประสิทธิภาพของนักกีฬา

2. นักกีฬาทั้งเพศหญิงและเพศชายที่ตัวสูงกว่า จะมีมีช่วงแขนที่ยาวกว่า นอกจากนี้ยังมีความยาวสโตรค, ความเร็วสูงสุด และประสิทธิภาพของแรงผลักที่มากกว่า

3. ความสัมพันธ์ระหว่างเพศและระดับของนักกีฬาไม่ส่งผลแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญต่อตัวแปรด้านสัดส่วนของร่างกาย (Anthropometric), คิเนมาติกส์ (Kinematic) และ พลังงาน (Kinetics)

กาวิลันและคณะ (Gavilán et al., 2006) ได้ศึกษาช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ: การศึกษาเกี่ยวกับความถี่, ความกว้าง และลักษณะการเคลื่อนไหวคล้ายคลื่น จุดประสงค์ของงานวิจัยคือ เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนไหวคล้ายคลื่นในการว่ายช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำและเปรียบเทียบความแตกต่างของ Whip-Like Action ระหว่างการว่ายช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำในท่าผีเสื้อและท่ากบ กลุ่มตัวอย่างนักว่ายน้ำจำนวน 20 คนที่มีอันดับในการแข่งขันระดับชาติ และนานาชาติ แบ่งเป็นเพศชายและเพศหญิงอย่างละ 10 คน กำหนดให้นักกีฬาว่ายด้วยความเร็วสูงสุดในช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำเป็นระยะทาง 15 เมตร ที่ความลึกประมาณ 1 เมตร (เพื่อหลีกเลี่ยงแรงต้านของคลื่น) บันทึกภาพด้วยกล้องวิดีโอ 1 ตัว โดยเริ่มบันทึกที่ระยะ 7.5 ถึง 12 เมตรจากผนังที่ออกตัว โดยตัวแปรที่เลือกศึกษาเป็นพื้นฐาน ได้แก่ ระยะทางของร่างกายต่อ 1 รอบการเตะ, ความถี่ของการเตะ และความเร็วเฉลี่ยแนวนอนของจุดศูนย์กลางมวล (Center of Mass)

ผลการวิจัยพบว่า

แรงส่งของการเคลื่อนไหวคล้ายคลื่นในการว่ายช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำนั้นมาจากร่างกายส่วนล่าง โดยนับตั้งแต่สะโพก, เข่า และข้อเท้าเป็นต้นไป ร่างกายส่วนบนไม่ส่งผลให้เกิดลักษณะการเคลื่อนไหวดังกล่าว และทำหน้าที่ช่วยในการทรงตัวเท่านั้น เมื่อความเร็วของสะโพก, เข่า และ ข้อเท้าเพิ่มขึ้น ความเร็วของจุดศูนย์กลางมวลในแนวนอนก็เพิ่มขึ้นด้วย

เอลิพอท และคณะ (Elipot et al., 2009) ซึ่งได้วิจัยเพื่อมุ่งศึกษาว่าตัวแปรทางคิเนมาติกส์ใดบ้างที่ส่งต่อการชะลอความเร็วของนักกีฬาในช่วงมุดน้ำ (Glide Phase) เมื่อออกตัวแบบเท้านำเท้า

ตาม (Grab Start) เลือกใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นนักว่ายน้ำชายทีมชาติฝรั่งเศสจำนวน 8 คน โดยตัวแปรที่สำคัญคือ ความเร็วแนวราบของจุดศูนย์กลางมวล และความเร็วแนวราบของศีรษะ

ผลวิจัยปรากฏว่า

หลังจากกระโดดลงน้ำ นักกีฬาจะทำความเร็วใต้น้ำได้เท่ากับ 2.2 และ 1.9 เมตรต่อวินาที เมื่อจุดศูนย์กลางมวลไปถึงระยะทาง 5.63 – 6.01 เมตร หากนักกีฬาเริ่มเตะขาใต้น้ำในช่วงดังกล่าวจะส่งผลให้สามารถทำความเร็วในช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำได้ดี แต่ถ้านักกีฬาเริ่มเตะขาเร็วเกินไปจะเกิดแรงต้านไฮโดรไดนามิคสูง และถ้าเตะช้าเกินไป (หลังระยะ 7 เมตรเป็นต้นไป) ก็จะทำให้ความเร็วใต้น้ำลดลง อีกทั้งยังพบว่าหากข้อต่อไหล่, ข้อต่อสะโพก และข้อต่อเข่าของนักกีฬาทำงานสอดประสานกันได้ดีจะส่งให้นักกีฬาสามารถรักษาท่าจัดระเบียบร่างกายและขึ้นสู่ผิวน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

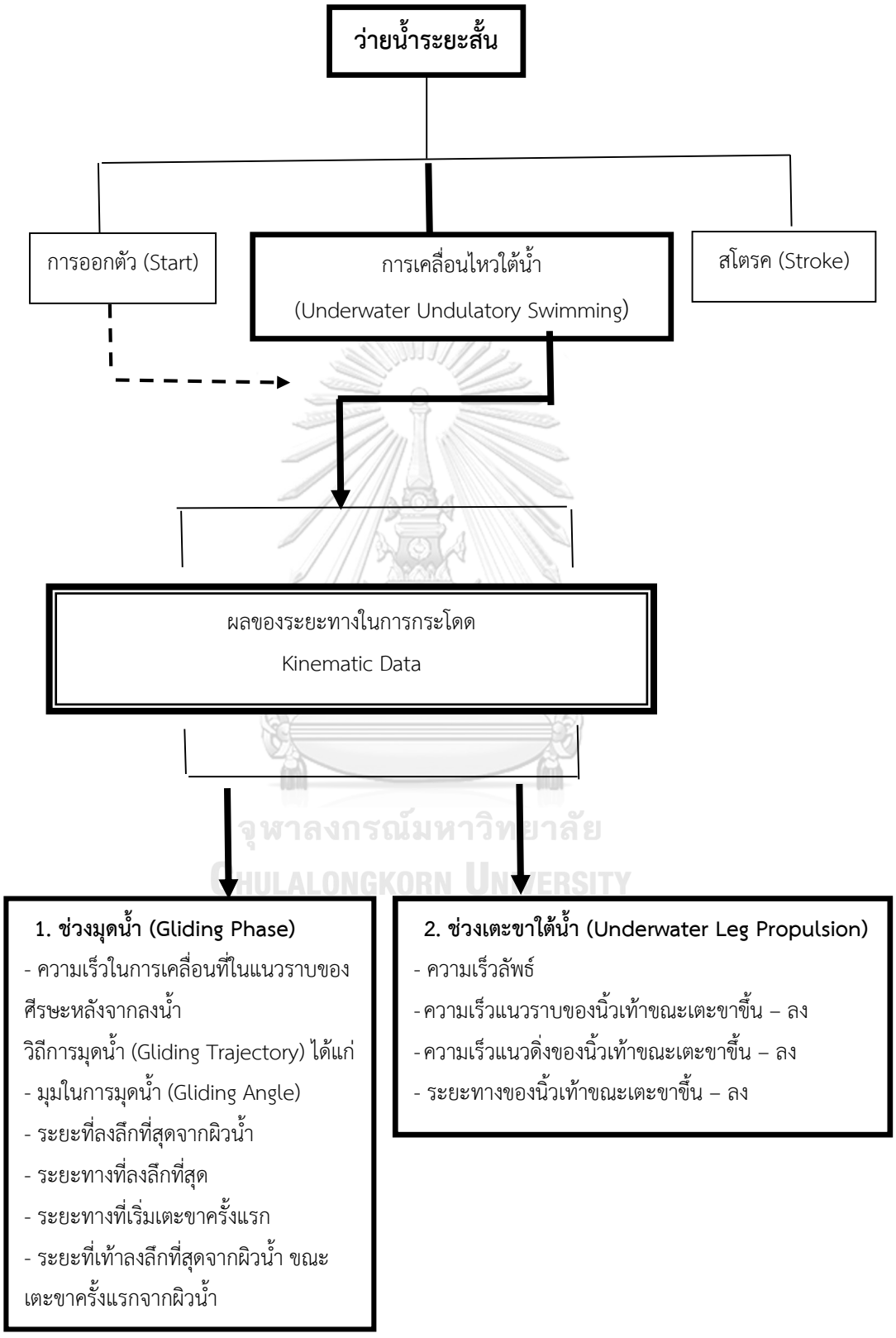
โคนิคและคณะ (König et al., 2014) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของอายุที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพของนักกีฬาว่ายน้ำ โดยเลือกศึกษาจากนักกีฬาที่ผ่านเข้ารอบสุดท้ายของการแข่งขันว่ายน้ำโอลิมปิกตั้งแต่ปี 1992 ถึง 2013 จำนวนทั้งสิ้น 3,295 คน

ผลการวิจัยพบว่า

การเปลี่ยนแปลงของอายุส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของนักกีฬาว่ายน้ำอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเมื่ออายุเพิ่มมากขึ้นลักษณะทางร่างกาย เช่น ความสูง และมวลร่างกาย เป็นต้น ก็จะเปลี่ยนแปลงไป ในการว่ายน้ำท่าครอล์ ช่วงอายุที่นักกีฬาว่ายน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด ได้แก่ ช่วงอายุ 18 ปีสำหรับนักกีฬาหญิง และ 21 ปีสำหรับนักกีฬาชาย และประสิทธิภาพของนักกีฬาเริ่มลดลงเมื่ออายุ 26 ปีเป็นต้นไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กรอบแนวความคิดในการวิจัย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experiment research design) และได้ผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รับรองเมื่อวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2561

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

ประชากร คือ นักว่ายน้ำชายในสังกัดชมรมว่ายน้ำของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีคุณสมบัติดังนี้ เคยแข่งขัน ในท่าฟรีสไตล์ (Freestyle), ท่ากบ (Breaststroke), ท่าผีเสื้อ (Butterfly) หรือ ท่าเดี่ยวผสม (Individual Medley) ในระดับสมาคม ชมรม มหาวิทยาลัย หรือระดับสูงกว่า ที่มีการจัดการแข่งขันอย่างเป็นทางการอย่างน้อย 1 ครั้ง อายุระหว่าง 18-25 ปี

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักกีฬาว่ายน้ำชายช่วงอายุระหว่าง 18-25 ปี จำนวน 13 คน นักกีฬาต้องมีประสบการณ์ในการว่ายน้ำอย่างน้อย 3 ปี และฝึกซ้อมเป็นประจำอย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์ โดยใช้โปรแกรม G* Power เวอร์ชั่น 3.0.10 ในการคำนวณหาขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (Sample Size) โดยเทียบเคียงจากงานวิจัยของ ทอร์และคณะ (Tor et al., 2015c) กำหนดค่า Effect size = 0.80 α = 0.05 power (1-β) = 0.85 จากผลการคำนวณ ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง 13 คน เพื่อป้องกันการสูญหายของกลุ่มตัวอย่างจึงได้เพิ่มขนาดกลุ่มตัวอย่างเป็น 15 คน กลุ่มตัวอย่างทุกคนจะได้รับการทดลองทั้ง 2 รูปแบบ ได้แก่การกระโดดใกล้และการกระโดดไกล ขณะดำเนินการทดลอง มีกลุ่มตัวอย่างจำนวน 2 คน เกิดการบาดเจ็บ ไม่สามารถเข้าร่วมครบทั้ง 2 รูปแบบ จึงเหลือกลุ่มตัวอย่างเพียง 13 คน และสามารถนำมาวิเคราะห์ข้อมูลจริงได้เพียง 6 คน โดยได้อธิบายเหตุผลไว้ในข้อจำกัดของงานวิจัยนี้แล้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมงานวิจัย

1. มีประสบการณ์ในการว่ายน้ำหรือแข่งขันกีฬาว่ายน้ำมาอย่างน้อย 3 ปี และฝึกซ้อมเป็นประจำอย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์

2. มีความถนัดการออกตัวแบบเท้านำเท้าตาม (Track Start)

3. เป็นบุคคลที่ไม่มีปัญหาด้านการบาดเจ็บ (ภาคผนวก ค)

4. มีความสมัครใจในการเข้าร่วมการวิจัยครั้งนี้ และยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างออกงานวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่างไม่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัยต่อ

2. มีเหตุให้ผู้เข้าร่วมวิจัยไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยได้ครบตามรูปแบบที่กำหนด

เกณฑ์ยุติการเข้าร่วมวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่างเกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยต่อได้ เช่น การบาดเจ็บจากอุบัติเหตุหรือมีอาการเจ็บป่วยกระทันหันหรือผู้เข้าร่วมวิจัยยกเลิกการเข้าร่วมการวิจัย เป็นต้น

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

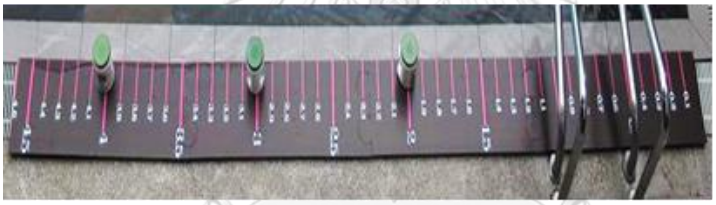
1. กล้องถ่ายภาพวิดีโอใต้น้ำควอลิซิส โอคุส (Qualisys Oqus Underwater) ของบริษัท Qualisys Medical AB (Sweden) สามารถจับภาพความไหวความเร็วสูงได้ ความละเอียดของเซ็นเซอร์: 0.3, 1.3, 3 และ 4 Mpixel ขนาด 280 * 255* 275 mm จำนวน 6 ตัว เป็น infrared base โดยมีทีมงานจากบริษัทยูไนเต็ตบีเมคที่ช่วยให้คำแนะนำและช่วยในการติดตั้งเครื่องมือ และกล้องใต้น้ำ

รูปที่ 17 กล้องใต้น้ำควอลิซิส โอคุส (Qualisys Oqus Underwater)

2. มาร์กเกอร์ (Retro reflective marker) โดยผู้วิจัยเป็นผู้ติดตมาร์กเกอร์ด้วยตนเอง

รูปที่ 18 มาร์กเกอร์ (Retro Reflective Marker)

3. แผ่นป้ายและทุ่นแสดงระยะทาง



รูปที่ 19 แผ่นป้ายและทุ่นแสดงระยะทาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4. คอมพิวเตอร์ที่ใช้เชื่อมเข้ากับกล้องจำนวน 1 เครื่อง

รูปที่ 20 คอมพิวเตอร์

5. เบ็ดเตล็ด

5.1 ขาตั้งกล้อง

5.2 Kinesio Tape

5.3 แผ่นกาวกันน้ำระหว่างมาร์เกอร์กับผิวหนัง

5.4 เครื่องชั่งน้ำหนักและวัดส่วนสูง

5.5 แอลกอฮอล์และสำลี

6. สถานที่ที่ใช้ในการวิจัยและเก็บข้อมูล สระว่ายน้ำที่ได้มาตรฐานและมีแท่นกระโดด ยาว 50 เมตร ของโรงเรียนวชิราวุธวิทยาลัย

รูปที่ 21 สระว่ายน้ำ

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนการทบทวนและการเตรียมการ

1.1 ศึกษารายละเอียดวิธีการใช้เครื่องมือและรวบรวมข้อมูลคุณลักษณะของเครื่องมือทั้งในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ

1.2 ผู้วิจัยได้มีหนังสือขอความอนุเคราะห์ถึงชมรมว่ายน้ำของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พร้อมทั้งขออนุญาตในการศึกษาประวัติของนักกีฬาว่ายน้ำ เพื่อคัดเลือกผู้เข้าร่วมการวิจัย

1.3 ผู้วิจัยได้มีหนังสือขอความอนุเคราะห์ถึงโรงเรียนวชิราวุธวิทยาลัย เพื่อขอความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ คือ สระว่ายน้ำที่ได้มาตรฐานและมีแท่นกระโดด ความยาวสระ 50 เมตร

1.4 ก่อนวันเก็บข้อมูล 1 วัน ผู้วิจัยและทีมผู้ช่วยวิจัยได้ทดลองติดตั้งอุปกรณ์การวิเคราะห์การเคลื่อนไหว ได้แก่ กล้องถ่ายภาพวิดีโอใต้น้ำควอลิซิส โอคุส (Qualisys

Oqus Underwater) ของบริษัท Qualisys Medical AB (Sweden) แบบอินฟาเรด (Infrared Base) จำนวน 6 ตัว บริเวณขอบสระด้านซ้ายของนักกีฬา ณ สระว่ายน้ำของโรงเรียนวชิราวุธวิทยาลัย ซึ่งเป็นสระว่ายน้ำที่มีแท่นกระโดดที่ได้มาตรฐาน โดยวางกล้องที่ระดับผิวน้ำและจัดกล้องให้สามารถเห็นการเคลื่อนไหวใต้น้ำเป็นระยะทางรวมกันไม่เกิน 15 เมตร (จากขอบสระ) ทำการ calibrate ความแม่นยำของกล้องโดยใช้ T-wand ตามขั้นตอนการทำ calibration จากคู่มือการใช้งาน (ภาคผนวก จ)

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

2.1 ติดตั้งอุปกรณ์การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวโดยวางกล้อง (infrared base) จำนวน 6 ตัว บริเวณขอบสระด้านซ้ายของนักกีฬา โดยวางกล้องที่ระดับผิวน้ำ และจัดกล้องให้สามารถเห็นการเคลื่อนไหวใต้น้ำเป็นระยะทางรวมกันไม่เกิน 15 เมตร (จากขอบสระ) (ภาคผนวก ง) ทำการ calibrate ความแม่นยำของกล้องโดยใช้ T-wand ตามขั้นตอนการทำ calibration จากคู่มือการใช้งาน

2.2 ชี้แจงถึงขั้นตอน การเก็บข้อมูล สอบถามข้อมูลพื้นฐานและทำการวัดน้ำหนัก ส่วนสูง และดัชนีมวลกายให้กับผู้เข้าร่วมวิจัยและให้ผู้เข้าร่วมวิจัยลงนานให้ความยินยอมในการเข้าร่วมการวิจัย

2.3 ทำการอบอุ่นร่างกายโดยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของร่างกายเป็นเวลา 6 นาที

2.4 กลุ่มตัวอย่างจะได้รับการติดมาร์กเกอร์จากผู้วิจัย (Retro reflective marker) ซึ่งจะทำการติดในที่โล่งมีคนเดินผ่าน และมีผู้ช่วยวิจัยซึ่งเป็นผู้ชายคอยช่วยเหลือ โดยทำความสะอาดตำแหน่งที่ต้องการติดก่อน และทำการติดมาร์กเกอร์ 3 จุด ที่ตำแหน่ง Tip of middle finger, Vertex of the skull Vertex และ Left Head of the fifth Toe (ภาคผนวก ฆ)

Chulalongkorn University

2.5 ให้กลุ่มตัวอย่างทำการจับสลากเพื่อสุ่มลำดับระยะในการกระโดดเริ่มต้น

2.6 กลุ่มตัวอย่างยืนบนแท่นออกตัวด้วยตำแหน่งการยืนในท่าเริ่มต้นแบบเท้านำเท้าตาม (Track Start) โดยเท้าข้างหนึ่งวางที่ขอบด้านหน้าของแท่นและเท้าอีกข้างหนึ่งวางอยู่บริเวณขอบด้านหลังของบล็อก ด้วยการจัดตำแหน่งมือทั้งสองจับอยู่ด้านหน้าของบล็อก (Rutemiller, 1995)

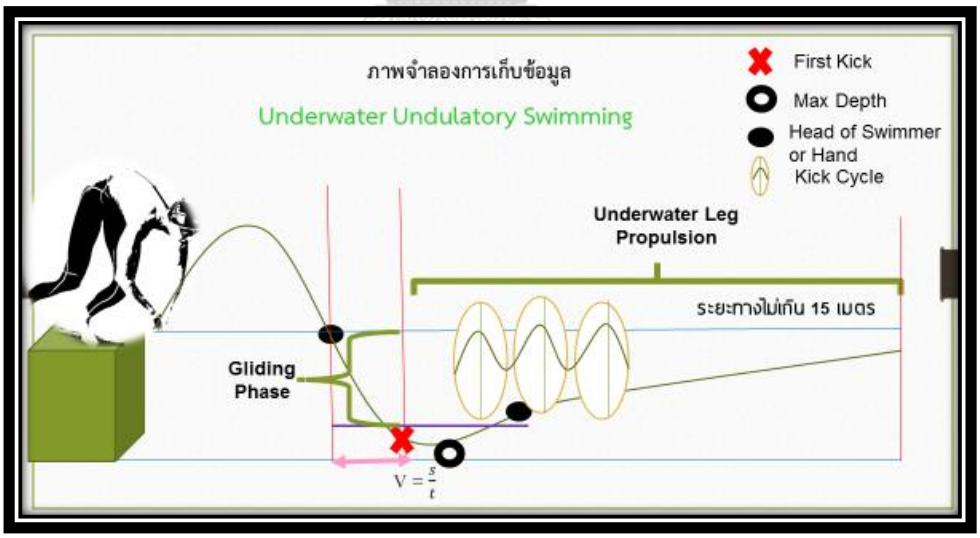
2.7 ออกคำสั่งปล่อยตัวให้กลุ่มตัวอย่างกระโดดออกตัวแบบเท้านำเท้าตามที่ระยะกระโดดใกล้ หรือ ระยะกระโดดไกล ด้วยความเร็วในการกระโดดออกตัวสูงสุด (ตามลำดับการสุ่มโดยการจับสลาก) โดยพักระหว่างครั้งของการกระโดดเป็นเวลา 5 นาที กลุ่มตัวอย่างกลับมายืนอยู่บนแท่นออกตัวในท่าเริ่มต้น เพื่อรอคำสั่งปล่อยตัวต่อไป

2.8 กลุ่มตัวอย่างทุกคนจะต้องทำการปฏิบัติรูปแบบละ 5 ครั้ง เลือกครั้งที่ใกล้ที่สุดและระยะทางไกลที่ความสามารถสูงสุด (Maximum Effort) โดยทำการกระโดด 5 ครั้ง ที่สมบูรณ์ (การกระโดดได้สมบูรณ์หมายถึง การกระโดดที่ได้ระยะที่กำหนดโดยที่กล้องทุกตัวสามารถบันทึกการเคลื่อนไหวของ marker ทุกตัวได้ โดยที่ ไม่มี marker ตัวใดหลุดจากตำแหน่งที่ติด หรือถูกบังโดยส่วนอื่นของร่างกาย โดยต้องได้รับการบันทึกทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อเลือกครั้งที่กระโดดได้ตรงระยะที่กำหนดมากที่สุดจำนวน 1 ครั้ง มาวิเคราะห์ข้อมูล) และมีการพัก 5 นาที ระหว่างครั้ง และพักระหว่างระยะการกระโดด 10 นาที โดยระหว่างพักสามารถออกกำลังกายระดับ Low Intensity ตามความถนัดของนักกีฬาแต่ละคน รวมเวลาทั้งสิ้น ประมาณ 60 นาที

2.9 ทำการคูลดาวน์ (Cool Down) โดยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของร่างกายเป็นเวลา 6 นาที (ภาคผนวก ง)

2.10 นำผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหว Qualisys Motion Capture System และ Visual-3D มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

2.11 หลังเสร็จสิ้นการวิจัยจะทำการลบภาพและข้อมูลส่วนตัวของผู้เข้าร่วมวิจัยทั้งหมด



รูปที่ 22 ภาพการจำลองการเก็บข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ผลของนักกีฬาว่ายน้ำ ดังนี้

1.1. บันทึกภาพการว่ายน้ำใต้น้ำ โดยวางกล้องจ้านวน 6 ตัว บริเวณขอบสระด้านซ้ายของนักกีฬา เพื่อแสดงการเคลื่อนไหวในแต่ละ phase ของการว่ายน้ำ

1.2. ใช้โปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหว Qualisys Motion Capture System และ Visual-3D เพื่อสร้างโครงสร้างจำลองสามมิติของนักกีฬาจากกล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหวเพื่อหาค่าตัวแปร

2. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) โดยข้อมูลทั้งหมดผ่านการทดสอบการกระจายข้อมูล Kolmogorov-Smirnov Test พบว่ามีการกระจายปกติ จึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเปรียบเทียบผลด้วยค่าทีรายคู่ (Paired t-test) และวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำ (One–way ANOVA with repeated measures) เพื่อเปรียบเทียบระหว่างระยะทางการกระโดดใกล้และระยะทางการกระโดดไกล ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ≤ .05 โดยหาคู่ต่างโดยใช้ Bonferroni

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติจากข้อมูลที่จากการกระโดดน้ำด้วยระยะทางที่แตกต่างกัน 2 ระยะ ได้แก่ ระยะกระโดดใกล้และระยะกระโดดที่ไกล โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักกีฬาว่ายน้ำชายช่วงอายุระหว่าง 18 – 25 ปี สังกัดชมรมว่ายน้ำของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเคยแข่งขันในระดับสมาคม ชมรม มหาวิทยาลัย หรือระดับสูงกว่า ที่มีการจัดการแข่งขันอย่างเป็นทางการอย่างน้อย 1 ครั้ง นักกีฬามีประสบการณ์ในการว่ายน้ำอย่างน้อย 3 ปี ฝึกซ้อมเป็นประจำอย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์ และมีความถนัดในการออกตัวแบบเท้านำเท้าตาม (Track Start) โดยแบ่งการนำเสนอเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรข้อมูลทางสรีรวิทยาทั่วไปและระยะทางการกระโดดของผู้เข้าร่วมการวิจัย

ตอนที่ 2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเคลื่อนไหวช่วงมุดน้ำ (Gliding Phase) และการเคลื่อนไหวช่วงเตะขาใต้น้ำ (Underwater Leg Propulsion) ระหว่างระยะทางการกระโดดใกล้และระยทางกระโดดไกล

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำวัดซ้า (One-way analysis of variance with repeated measures) ของค่าเฉลี่ยความเร็วแนวราบขณะเตะขาใต้น้ำ, ความเร็วแนวดิ่งขณะเตะขาและระยะทางที่ใช้เตะขาขึ้น-ลงระหว่างระยะทางการกระโดดใกล้และระยะทางกระโดดไกล ใน 3 วงรอบของการตะขา หากพบความแตกต่าง จึงทาการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบรายคู่ (Pos hoc test) ด้วยวิธีแบบบอนเฟอโรนี (Bonferroni)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตอนที่ 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรข้อมูลทางสรีรวิทยาทั่วไปและระยะทางการกระโดดของผู้เข้าร่วมการวิจัย

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลพื้นฐานของผู้เข้าร่วมวิจัยในครั้งนี้

n = 6	$\bar{x}$	SD
อายุ (ปี)	22.00	2.10
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	174.35	6.37
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	74.92	8.95
ดัชนีมวลกาย (BMI)	24.18	2.61
ประสบการณ์ในการว่ายน้ำ (ปี)	12.50	2.88
ระยะเวลาในการฝึกซ้อมต่อสัปดาห์ (นาที)	505.00	0.42

จากตารางที่ 1 พบว่า กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้คือ นักกีฬาว่ายน้ำชายจำนวน 6 คน ซึ่งนักกีฬามีอายุเฉลี่ยอยู่ที่ 22.00 ± 2.10 ปี ส่วนสูง 174.35 ± 6.37 เซนติเมตร น้ำหนัก 74.92 ± 8.95 กิโลกรัม มีประสบการณ์ในการว่ายน้ำ 12.50 ± 2.88 ปี ฝึกซ้อมโดยเฉลี่ยสัปดาห์ละ 505.00 ± 423.59 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะทางการกระโดด ระหว่างระยะทางการกระโดดใกล้และระยะทางกระโดดไกล

ตัวแปร	ระยะทางกระโดดใกล้		ระยะทางกระโดดไกล		t	Sig.
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD		
ระยะทางการกระโดด	3.63	0.49	3.91	0.33	-2.99	.03*

*หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ ค่า *p-value* ≤ .05

จากตารางที่ 2 ระยะทางการกระโดด มีค่าเฉลี่ย 3.63 ± 0.49 และ 3.91 ± 0.33 เมตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ p-value ≤ .05

ตอนที่ 2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเคลื่อนไหวช่วงมุดน้ำ (Gliding Phase) และการเคลื่อนไหวช่วงเตะขาใต้น้ำ (Underwater Leg Propulsion) ระหว่างระยะทางการกระโดดใกล้และระยะทางกระโดดไกล

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเคลื่อนไหวช่วงมุดน้ำ (Gliding Phase) ระหว่างระยะทางการกระโดดใกล้และระยะทางกระโดดไกล

ตัวแปร	ระยะทางกระโดดใกล้		ระยะทางกระโดดไกล		t	Sig.
ช่วงมุดน้ำ (Gliding Phase)	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD		
1.ความเร็วในการเคลื่อนที่ในแนวราบของศีรษะหลังจากลงน้ำ (เมตร/วินาที)	4.07	1.14	4.10	0.84	-.07	.94
2.มุมในการมุดน้ำ (องศา)	37.75	12.69	41.84	8.47	-.82	.44
3.ระยะที่ศีรษะลงลึกที่สุดจากผิวน้ำ (เมตร)	0.78	0.09	0.55	0.12	3.06	.02*
4.ระยะที่เท้าลงลึกที่สุดจากผิวน้ำ (เมตร)	1.11	0.11	0.96	0.16	3.15	.02*
5.ระยะทางที่หัวลงลึกที่สุด (เมตร)	4.74	1.10	4.85	0.61	-.22	.83
6.ระยะทางที่เท้าลงลึกที่สุด (เมตร)	4.63	0.92	5.02	0.27	- 1.33	.24
7.ระยะทางที่เริ่มเตะขาครั้งแรก (เมตร)	4.49	0.42	5.09	0.35	-2.67	.04*
8.ระยะที่เท้าลงลึกที่สุดจากผิวน้ำขณะเตะขาครั้งแรกจากผิวน้ำ (เมตร)	1.10	0.12	1.07	0.06	1.15	.30

*หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ ค่า *p-value* ≤ .05

จากตารางที่ 3 ความเร็วในการเคลื่อนที่ในแนวราบของศีรษะหลังจากลงน้ำ มีค่าเฉลี่ย 4.07 ± 1.14 และ 4.10 ± 0.84 เมตรต่อวินาที มุมในการมุดน้ำ มีค่าเฉลี่ย 37.75 ± 12.69 และ 41.84 ± 8.47 องศา ตามลำดับ ระยะที่ศีรษะลงลึกที่สุดจากผิวน้ำ มีค่าเฉลี่ย 0.78 ± 0.09 และ 0.55 ± 0.12 เมตร ระยะที่เท้าลงลึกที่สุดจากผิวน้ำ มีค่าเฉลี่ย 1.11 ± 0.11 และ 0.96 ± 0.16 เมตร ระยะทางที่หัวลงลึกที่สุด มีค่าเฉลี่ย 4.74 ± 1.10 และ 4.85 ± 0.61 เมตร ระยะทางที่เท้าลงลึกที่สุด มีค่าเฉลี่ย 4.63 ± 0.92 และ 5.02 ± 0.27 เมตร ระยะทางที่เริ่มเตะขาครั้งแรก มีค่าเฉลี่ย 4.49 ± 0.42 และ 5.09 ± 0.35 เมตร ระยะที่เท้าลงลึกขณะเตะขาครั้งแรกจากผิวน้ำ มีค่าเฉลี่ย 1.10 ± 0.12 และ 1.07 ± 0.06

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมตร โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มพบว่า ระยะที่ศีรษะและเท้าลงลึกที่สุดจากผิวน้ำ และระยะที่เริ่มเตะขาครั้งแรกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ p-value ≤ .05

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเคลื่อนไหวช่วงเตะขาใต้น้ำ ในวงรอบการเตะขาที่ 1, 2 และ 3 ระหว่างระยะทางการกระโดดใกล้และระยะทางการกระโดดไกล

ตัวแปร	ระยะทางกระโดดใกล้		ระยะทางกระโดดไกล		t	Sig.
ช่วงเตะขาใต้น้ำ (Underwater Leg Propulsion)	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD		
1. ความเร็วลัพธ์ (เมตร/ วินาที)	2.67	0.51	3.38	1.04	-1.72	.14
2. ความเร็วแนวราบขณะเตะขาใต้น้ำ (เมตร/วินาที)						
รอบที่ 1	0.76	0.54	0.96	0.56	-0.77	.48
รอบที่ 2	1.29	0.33	1.31	0.33	-0.15	.88
รอบที่ 3	1.47	0.50	1.00	0.42	1.94	.10
3. ความเร็วแนวดิ่งขณะเตะขาใต้น้ำ (เมตร/วินาที)						
รอบที่ 1	1.15	0.63	1.38	0.26	-0.84	.43
รอบที่ 2	1.49	0.27	1.39	0.19	0.66	.53
รอบที่ 3	1.41	0.22	1.37	0.35	0.34	.74
4. ระยะทางที่ใช้เตะขาขึ้น (เมตร)						
รอบที่ 1	0.54	0.12	0.54	0.13	0.00	1.00
รอบที่ 2	0.51	0.11	0.52	0.07	-0.26	.79
รอบที่ 3	0.54	0.11	0.52	0.08	0.49	.64
5.ระยะทางที่ใช้เตะขาลง (เมตร)						
รอบที่ 1	0.46	0.08	0.46	0.09	-0.15	.88
รอบที่ 2	0.44	0.12	0.48	0.10	-0.75	.48
รอบที่ 3	0.38	0.15	0.42	0.12	-0.47	.65

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 4 ความเร็วลัพธ์ มีค่าเฉลี่ย 2.67 ± 0.51 และ 3.38 ± 1.04 เมตรต่อวินาที ความเร็วแนวราบขณะเตะขาใต้น้ำของการกระโดดใกล้ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.76 ± 0.54, 1.29 ± 0.33 และ 1.47 ± 0.50 เมตรต่อวินาที ระยะกระโดดไกล มีค่าเฉลี่ย 0.96 ± 0.56, 1.31 ± 0.33 และ 1.00 ± 0.42 เมตรต่อวินาที ความเร็วแนวดิ่งขณะเตะขาใต้น้ำของการกระโดดใกล้ มีค่าเฉลี่ย 1.15 ± 0.63, 1.49 ± 0.27 และ 1.41 ± 0.22 เมตรต่อวินาที ระยะกระโดดไกล มีค่าเฉลี่ย1.38 ± 0.26, 1.39 ± 0.19 และ 1.37 ± 0.35 เมตรต่อวินาที ระยะทางที่ใช้เตะขาขึ้นของการกระโดดใกล้ มีค่าเฉลี่ย 0.54 ± 0.08, 0.51 ± 0.11 และ 0.54 ± 0.11 เมตร ระยะกระโดดไกล มีค่าเฉลี่ย 0.54 ± 0.13, 0.52 ± 0.07 และ 0.52 ± 0.08 เมตร ระยะทางที่ใช้เตะขาลงของการกระโดดใกล้ มีค่าเฉลี่ย 0.46 ± 0.08, 0.44 ± 0.12 และ 0.38 ± 0.15 เมตร ระยะกระโดดไกล มีค่าเฉลี่ย 0.46 ± 0.09, 0.48 ± 0.10 และ 0.42 ± 0.12 เมตร ของการเตะขารอบที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำวัดซ้ำ (One-way analysis of variance with repeated measures) ของค่าเฉลี่ยความเร็วแนวราบขณะเตะขาใต้น้ำ, ความเร็วแนวดิ่งขณะเตะขาและระยะทางที่ใช้เตะขาขึ้น-ลง ใน 3 วงรอบของการเตะขา ระหว่างระยะทางการกระโดดใกล้และระยะทางการกระโดดไกล หากพบความแตกต่าง จึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบรายคู่ ด้วยวิธีแบบบอนเฟอโรนี (Bonferroni)

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยความเร็วแนวราบขณะเตะขาใต้น้ำ ระหว่าง วงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดใกล้ และระยะทางการกระโดดไกล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วงรอบการตะขา	ระยะใกล้		ระยะไกล	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
รอบที่ 1	0.76	0.54	0.96	0.56
รอบที่ 2	1.29	0.33	1.31	0.33
รอบที่ 3	1.47	0.50	1.00	0.42

จากตารางที่ 5 พบว่าค่าเฉลี่ยความเร็วแนวราบขณะเตะขาใต้น้ำของระยะทางการกระโดดใกล้ ในวงรอบการเตะที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 0.76 ± 0.54 เมตรต่อวินาที วงรอบการเตะที่ 2 มีค่า 1.29 ±

0.33 เมตรต่อวินาที วงรอบการเตะที่ 3 มีค่า 1.47 ± 0.50 เมตรต่อวินาที และค่าเฉลี่ยความเร็วแนวราบขณะเตะขาใต้น้ำของระยะทางการกระโดดไกล ในวงรอบการเตะที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 0.96± 0.56 เมตรต่อวินาที วงรอบการเตะที่ 2 มีค่า 1.31 ± 0.33 เมตรต่อวินาที วงรอบการเตะที่ 3 มีค่า 1.00 ± 0.42 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยความเร็วแนวดิ่งขณะเตะขาใต้น้ำ ระหว่างวงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดใกล้ และระยะทางการกระโดดไกล

วงรอบการตะขา	ระยะใกล้		ระยะไกล	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
รอบที่ 1	1.15	0.63	1.38	0.26
รอบที่ 2	1.49	0.27	1.39	0.19
รอบที่ 3	1.41	0.22	1.37	0.35

จากตารางที่ 6 พบว่าค่าเฉลี่ยความเร็วแนวดิ่งขณะเตะขาใต้น้ำของระยะทางการกระโดดใกล้ ในวงรอบการเตะที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 1.15 ± 0.63 เมตรต่อวินาที วงรอบการเตะที่ 2 มีค่า 1.49 ± 0.27 เมตรต่อวินาที วงรอบการเตะที่ 3 มีค่า 1.41 ± 0.27 เมตรต่อวินาที และค่าเฉลี่ยความเร็วแนวราบขณะเตะขาใต้น้ำของระยะทางการกระโดดไกล ในวงรอบการเตะที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 1.38 ± 0.26 เมตรต่อวินาที วงรอบการเตะที่ 2 มีค่า 1.39 ± 0.19 เมตรต่อวินาที วงรอบการเตะที่ 3 มีค่า 1.37± 0.35 เมตรต่อวินาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยระยะทางที่ใช้เตะขาขึ้น ระหว่าง วงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดใกล้ และระยะทางการกระโดดไกล

วงรอบการตะขา	ระยะใกล้		ระยะไกล	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
รอบที่ 1	0.54	0.12	0.54	0.13
รอบที่ 2	0.51	0.11	0.52	0.07
รอบที่ 3	0.54	0.11	0.52	0.08

จากตารางที่ 7 พบว่าค่าเฉลี่ยระยะทางที่ใช้เตะขาขึ้นของระยะทางการกระโดดใกล้ ในวงรอบการเตะที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 0.54 ± 0.12 เมตร วงรอบการเตะที่ 2 มีค่า 0.51 ± 0.11 เมตร วงรอบการเตะที่ 3 มีค่า 0.54 ± 0.11 เมตร และค่าเฉลี่ยระยะทางที่ใช้เตะขาขึ้นของระยะทางการกระโดดไกล ในวงรอบการเตะที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 0.54 ± 0.13 เมตร วงรอบการเตะที่ 2 มีค่า 0.52 ± 0.07 เมตร วงรอบการเตะที่ 3 มีค่า 0.52 ± 0.08 เมตร

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยระยะทางที่ใช้เตะขาลง ระหว่าง วงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดใกล้ และระยะทางการกระโดดไกล

วงรอบการตะขา	ระยะใกล้		ระยะไกล	
	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD
รอบที่ 1	0.46	0.08	0.46	0.09
รอบที่ 2	0.44	0.12	0.48	0.10
รอบที่ 3	0.38	0.15	0.42	0.12

จากตารางที่ 8 พบว่าค่าเฉลี่ยระยะทางที่ใช้เตะขาลงของระยะทางการกระโดดใกล้ ในวงรอบการเตะที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 0.46 ± 0.08 เมตร วงรอบการเตะที่ 2 มีค่า 0.44 ± 0.12 เมตร วงรอบการเตะที่ 3 มีค่า 0.38 ± 0.15 เมตร และค่าเฉลี่ยระยะทางที่ใช้เตะขาลงของระยะทางการกระโดดไกล ในวงรอบการเตะที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 0.46 ± 0.09 เมตร วงรอบการเตะที่ 2 มีค่า 0.48 ± 0.10 เมตร วงรอบการเตะที่ 3 มีค่า 0.42 ± 0.12 เมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 9 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของความเร็วแนวราบ ระหว่างวงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดใกล้

ตัวแปร	แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p-value
ความเร็วแนวราบขณะเตะขาใต้น้ำ (เมตร/วินาที)	ระหว่างระยะทางการกระโดดใกล้	1.64	2	0.82	4.719	.03*
	ความคลาดเคลื่อน	1.74	10	0.17		

*หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ ค่า *p-value* ≤ .05

จากตารางที่ 9 พบว่าระยะทางการกระโดดใกล้มีค่าเฉลี่ยของความเร็วแนวราบขณะเตะขาใต้น้ำ ระหว่างวงรอบการเตะที่ 1, 2 และ 3 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ p-value ≤ .05 เพื่อ

ทราบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจึงทำการเปรียบเทียบรายคู่โดยใช้วิธีการของบอนเฟอโรนี่ (Bonferroni) ปรากฏผลดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของความเร็วแนวราบขณะเตะขาใต้น้ำ ระหว่างวงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดใกล้

ช่วงการเตะขา	$\bar{X}$	รอบที่ 1 0.76	รอบที่ 2 1.29	รอบที่ 3 1.47
รอบที่ 1	0.76	-	0.53	0.71*
รอบที่ 2	1.29		-	0.17
รอบที่ 3	1.47			-

*หมายถึง มีความแตกต่างกันระหว่างความเร็วแนวราบขณะเตะขาใต้น้ำเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง รอบที่ 1 และรอบที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 11 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของความเร็วแนวราบ ระหว่างวงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดไกล

ตัวแปร	แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p-value
ความเร็วแนวราบขณะเตะขาใต้น้ำ (เมตร/วินาที)	ระหว่างระยะทางการกระโดดไกล	0.44	2	0.22	0.89	.43
	ความคลาดเคลื่อน	2.47	10	0.24		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 11 พบว่าระยะทางการกระโดดไกลมีค่าเฉลี่ยของความเร็วแนวราบขณะเตะขาใต้น้ำ ระหว่างวงรอบการเตะที่ 1, 2 และ 3 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 12 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของความเร็วแนวดิ่งขณะเตะขาใต้น้ำ ระหว่าง วงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดใกล้

ตัวแปร	แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p-value
ความเร็วแนวดิ่งขณะเตะขาใต้น้ำ (เมตร/วินาที)	ระหว่างระยะทางการกระโดดใกล้	0.38	2	0.19	1.68	.23
	ความคลาดเคลื่อน	1.13	10	0.11		

จากตารางที่ 12 พบว่าระยะทางการกระโดดใกล้มีค่าเฉลี่ยของความเร็วแนวดิ่งขณะเตะขาใต้น้ำ ระหว่างวงรอบการเตะที่ 1, 2 และ 3 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 13 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของความเร็วแนวดิ่งขณะเตะขาใต้น้ำ ระหว่าง วงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดไกล

ตัวแปร	แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p-value
ความเร็วแนวดิ่งขณะเตะขาใต้น้ำ (เมตร/วินาที)	ระหว่างระยะทางการกระโดดไกล	0.00	2	0.00	0.29	.97
	ความคลาดเคลื่อน	0.37	10	0.03		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 13 พบว่าระยะทางการกระโดดไกลมีค่าเฉลี่ยของความเร็วแนวดิ่งขณะเตะขาใต้น้ำ ระหว่างวงรอบการเตะที่ 1, 2 และ 3 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 14 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของความเร็วแนวดิ่งขณะเตะขาใต้น้ำ ระหว่าง วงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดใกล้

ตัวแปร	แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p-value
ระยะทางที่ใช้เตะขาขึ้น (เมตร)	ระหว่างระยะทางการกระโดดใกล้	0.00	2	0.00	0.14	.87
	ความคลาดเคลื่อน	0.11	10	0.01		

จากตารางที่ 14 พบว่าระยะทางการกระโดดใกล้มีค่าเฉลี่ยของระยะทางที่ใช้เตะขาขึ้นระหว่างวงรอบการเตะที่ 1, 2 และ 3 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 15 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของระยะทางที่ใช้เตะขาขึ้นระหว่าง วงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดไกล

ตัวแปร	แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p-value
ระยะทางที่ใช้เตะขาขึ้น(เมตร)	ระหว่างระยะทางการกระโดดไกล	0.00	2	0.00	0.03	.97
	ความคลาดเคลื่อน	0.09	10	0.01		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 15 พบว่าระยะทางการกระโดดไกลมีค่าเฉลี่ยของระยะทางที่ใช้เตะขาขึ้นระหว่างวงรอบการเตะที่ 1, 2 และ 3 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 16 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของระยะทางที่ใช้เตะขาลง ระหว่าง วงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดใกล้

ตัวแปร	แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p-value
ระยะทางที่ใช้เตะขาลง (เมตร)	ระหว่างระยะทางการกระโดดใกล้	0.01	2	0.00	1.04	.38
	ความคลาดเคลื่อน	0.08	10	0.00		

จากตารางที่ 16 พบว่าระยะทางการกระโดดใกล้มีค่าเฉลี่ยของระยะทางที่ใช้เตะขาลงระหว่างวงรอบการเตะที่ 1, 2 และ 3 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 17 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของระยะทางที่ใช้เตะขาลง ระหว่าง วงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดไกล

ตัวแปร	แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p-value
ระยะทางที่ใช้เตะขาลง (เมตร)	ระหว่างระยะทางการกระโดดไกล	0.00	2	0.00	0.46	.64
	ความคลาดเคลื่อน	0.10	10	0.01		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 17 พบว่าระยะทางการกระโดดไกลมีค่าเฉลี่ยของระยะทางที่ใช้เตะขาลงระหว่างวงรอบการเตะที่ 1, 2 และ 3 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนไหวขณะว่ายน้ำใต้น้ำ หลังกระโดดจากแท่นกระโดดที่ระยะกระโดดใกล้และระยะกระโดดไกล ของความสูงและเพื่อเปรียบเทียบท่าทางการว่ายน้ำใต้น้ำหลังการกระโดดที่ระยะกระโดดใกล้และระยะกระโดดไกล กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักกีฬาว่ายน้ำชายช่วงอายุระหว่าง 18-25 ปี จำนวน 13 คน นักกีฬาต้องมีประสบการณ์ในการว่ายน้ำอย่างน้อย 3 ปี และฝึกซ้อมเป็นประจำอย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์ โดยใช้โปรแกรม G* Power เวอร์ชั่น 3.0.10 ในการคำนวณหาขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (Sample Size) โดยเทียบเคียงจากงานวิจัยของ ทอร์และคณะ (Tor et al., 2015c) กำหนดค่า Effect size = 0.80 α = 0.05 power (1-β) = 0.85 จากผลการคำนวณ ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง 13 คน เพื่อป้องกันการสูญหายของกลุ่มตัวอย่างจึงได้เพิ่มขนาดกลุ่มตัวอย่างเป็น 15 คน กลุ่มตัวอย่างทุกคนจะได้รับการทดลองทั้ง 2 รูปแบบ ได้แก่การกระโดดใกล้และการกระโดดไกล ขณะดำเนินการทดลอง มีกลุ่มตัวอย่างจำนวน 2 คน เกิดการบาดเจ็บ ไม่สามารถเข้าร่วมครบทั้ง 2 รูปแบบ จึงเหลือกลุ่มตัวอย่างเพียง 13 คน และสามารถนำมาวิเคราะห์ข้อมูลจริงได้เพียง 6 คน โดยได้อธิบายเหตุผลไว้ในข้อจำกัดของงานวิจัยนี้แล้ว

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) เพื่อหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของข้อมูล จากการวิเคราะห์การกระจายข้อมูลของตัวแปรทั้งหมด พบว่ามีการกระจายตัวปกติ จึงเปรียบเทียบผลการวิจัยระหว่างระยะการกระโดดโดยใช้ Paired t-test และเปรียบเทียบระหว่างการตีขาครั้งที่ 1-3 ด้วยการ One–way ANOVA with repeated measures โดยกำหนดระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 โดยหาคู่ต่างโดยใช้ Bonferroni

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลการวิจัยพบว่า

1. กลุ่มตัวอย่างมีทั้งหมด 6 คน อายุเฉลี่ย 22.00 ± 2.10 ปี ส่วนสูง 174.35 ± 6.37 เซนติเมตร น้ำหนัก 74.92 ± 8.95 กิโลกรัม มีประสบการณ์ในการว่ายน้ำ 12.50 ± 2.88 ปี และฝึกซ้อมโดยเฉลี่ยสัปดาห์ละ 505.00 ± 423.59 นาที

2. ระยะทางการกระโดด มีค่าเฉลี่ย 3.63 ± 0.49 และ 3.91 ± 0.33 เมตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ p-value ≤ .05

3. ช่วงมุดน้ำ ระยะทางการกระโดด มีค่าเฉลี่ย 3.63 ± 0.49 และ 3.91 ± 0.33 เมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่ในแนวราบของศีรษะหลังจากลงน้ำ มีค่าเฉลี่ย 4.07 ± 1.14 และ 4.10 ± 0.84 เมตรต่อวินาที มุมในการมุดน้ำ มีค่าเฉลี่ย 37.75 ± 12.69 และ 41.84 ± 8.47 องศา ตามลำดับ ระยะที่ศีรษะลงลึกที่สุดจากผิวน้ำ มีค่าเฉลี่ย 0.78 ± 0.09 และ 0.55 ± 0.12 เมตร ระยะที่เท้าลงลึกที่สุดจากผิวน้ำ มีค่าเฉลี่ย 1.11 ± 0.11 และ 0.96 ± 0.16 เมตร ระยะทางที่หัวลงลึกที่สุด มีค่าเฉลี่ย 4.74 ± 1.10 และ 4.85 ± 0.61 เมตร ระยะทางที่เท้าลงลึกที่สุด มีค่าเฉลี่ย 4.63 ± 0.92 และ 5.02 ± 0.27 เมตร ระยะทางที่เริ่มเตะขาครั้งแรก มีค่าเฉลี่ย 4.49 ± 0.42 และ 5.09 ± 0.35 เมตร ระยะที่เท้าลงลึกขณะเตะขาครั้งแรกจากผิวน้ำ มีค่าเฉลี่ย 1.10 ± 0.12 และ 1.07 ± 0.06 เมตร โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มพบว่า ระยะทางการกระโดด ระยะที่ศีรษะและเท้าลงลึกที่สุดจากผิวน้ำ และระยะที่เริ่มเตะขาครั้งแรกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ p-value ≤ .05

4. ช่วงเตะขาใต้น้ำ ความเร็วแนวราบขณะเตะขาใต้น้ำของการกระโดดใกล้ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.76 ± 0.54, 1.29 ± 0.33 และ 1.47 ± 0.50 เมตรต่อวินาที ระยะกระโดดไกล มีค่าเฉลี่ย 0.96 ± 0.56, 1.31 ± 0.33 และ 1.00 ± 0.42 เมตรต่อวินาที ความเร็วแนวดิ่งขณะเตะขาใต้น้ำของการกระโดดใกล้ มีค่าเฉลี่ย 1.15 ± 0.63, 1.49 ± 0.27 และ 1.41 ± 0.22 เมตรต่อวินาที ระยะกระโดดไกล มีค่าเฉลี่ย1.38 ± 0.26, 1.39 ± 0.19 และ 1.37 ± 0.35 เมตรต่อวินาที ระยะทางที่ใช้เตะขาขึ้นของการกระโดดใกล้ มีค่าเฉลี่ย 0.54 ± 0.08, 0.51 ± 0.11 และ 0.54 ± 0.11 เมตร ระยะกระโดดไกล มีค่าเฉลี่ย 0.54 ± 0.13, 0.52 ± 0.07 และ 0.52 ± 0.08 เมตร ระยะทางที่ใช้เตะขาลงของการกระโดดใกล้ มีค่าเฉลี่ย 0.46 ± 0.08, 0.44 ± 0.12 และ 0.38 ± 0.15 ระยะกระโดดไกล มีค่าเฉลี่ย 0.46 ± 0.09, 0.48 ± 0.10 และ 0.42 ± 0.12 เมตร ของการเตะขารอบที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วนความร็วลัพธ์ มีค่าเฉลี่ย 2.67 ± 0.51 และ 3.38 ± 1.04 เมตรต่อวินาที โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

5. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำช่วงเตะขาใต้น้ำของความเร็วแนวราบ ความเร็วแนวดิ่งขณะเตะขาใต้น้ำ และระยะทางในการเตะขาขึ้น-ลง ระหว่าง วงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดใกล้และระยะทางการกระโดดไกล พบว่าความเร็วแนวราบขณะเตะขาใต้น้ำ ในวงรอบการเตะที่ 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดใกล้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ p-value ≤ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อภิปรายผลการวิจัย

สมมติฐานของงานวิจัยครั้งนี้คือ ระยะทางการกระโดดน้ำใกล้น่าจะส่งผลให้องศาในการลงน้ำสูงกว่าที่ระยะทางไกล และน่าจะส่งผลให้นักกีฬาลงถึงระดับความลึกที่เหมาะสมในการเริ่มเตะขาครั้งแรกได้เร็วกว่า จึงสามารถทำความเร็วในช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำได้ดีกว่า ผลการวิจัยพบว่าตัวแปรมีหลายประการที่ไม่สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้

ประการแรก ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้มุมในการมุดน้ำ (Gliding Angle) เป็นตัวแปรบ่งชี้องศาในการลงน้ำของนักกีฬา ผลปรากฏว่าระยะทางการกระโดดน้ำไกลส่งผลให้องศาในการลงน้ำสูงกว่าระยะใกล้ แต่เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติกลับพบว่าองศาในการลงน้ำของทั้งสองระยะกระโดดไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าประสิทธิภาพในช่วงเคลื่อนไหวใต้น้ำเป็นผลต่อเนื่องจากช่วงก่อนลงน้ำและขณะลงน้ำ แต่ในงานวิจัยของ เบนจานูวาตรา และคณะ (Benjanuvatra, Edmunds, & Blanksby, 2007) ซึ่งได้ศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการกระโดดที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการออกตัวรูปแบบต่างๆ ในกลุ่มนักว่ายน้ำชั้นนำและนักว่ายน้ำสมัครเล่น งานวิจัยดังกล่าวระบุว่า นักว่ายน้ำชั้นนำออกตัวด้วยมุมที่แคบกว่า กระโดดลงน้ำด้วยระยะทางไกลกว่า และทำความเร็วหลังลงน้ำได้ดีกว่ากลุ่มนักว่ายน้ำสมัครเล่นในทุกรูปแบบการออกตัว มีการระบุเพิ่มเติมอีกว่า รูปแบบการออกตัวที่ต่างกันไม่ส่งผลต่อการทำความเร็วหลังลงน้ำในกลุ่มนักว่ายน้ำชั้นนำ และถึงแม้ว่านักกีฬาแต่ละคนมีโครงสร้างร่างกาย (Anthropometrics) ที่แตกต่างกัน ทำให้การเคลื่อนร่างกายผ่านน้ำมีลักษณะรูปร่างไม่เหมือนกัน และเป็นการยากที่จะปรับเปลี่ยนโครงสร้างร่างกายเพื่อลดแรงต้านทานจากน้ำขณะว่ายน้ำ แต่สามารถปรับท่าทางของนักกีฬาขณะว่ายน้ำเพื่อทำให้เกิดการผสมผสานอย่างสมดุลระหว่างแรงต้านทานของน้ำกับแรงขับเคลื่อนร่างกาย (Propulsion) เพื่อให้เกิดความเร็วสูงสุดในการว่ายน้ำ (Riewald & Rodeo, 2015) ซึ่งเมื่อมาทบทวนคุณลักษณะของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้พบว่า กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้มีคุณสมบัติเข้าข่ายกลุ่มนักว่ายน้ำชั้นนำ เนื่องจากมีประสบการณ์ในการว่ายน้ำยาวนานมากกว่าสิบปี มีการฝึกซ้อมเป็นประจำอย่างน้อยสัปดาห์ละ 3 ครั้ง และสามารถทำผลงานได้ดีในการแข่งขันระดับสูง อาทิ เหรียญทองกีฬามหาวิทยาลัย และ เหรียญทองแดงกีฬาซีเกมส์ เป็นต้น อาจกล่าวได้ว่านักกีฬาสามารถปรับตัวและจัดระเบียบร่างกายให้เข้ากับระยะทางในการกระโดดที่แตกต่างกันจึงส่งผลให้องศาในการลงน้ำของนักกีฬาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ทั้งสองระยะกระโดด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประการที่สอง ระยะที่ลงลึกที่สุดจากผิวน้ำ(Maximum Depth Achieved from Water Surface) เป็นตัวบ่งชี้ถึงความลึกในการมุดน้ำ (Depth of Glide) ในงานวิจัยครั้งนี้พบว่า ระยะที่ลงลึกที่สุดจากผิวน้ำของนักกีฬาที่ทั้งสองระยะทางแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยระยะทางการกระโดดน้ำไกลส่งผลให้นักกีฬาลงน้ำไปถึงความลึกที่เหมาะสมกว่าซึ่งลดผลกระทบจากแรงลากได้ดีว่าระยะกระโดดน้ำใกล้ เมื่อนักกีฬากระโดดน้ำระยะใกล้และระยะไกลจะมีความลึกสูงสุดของศีรษะจากผิวน้ำ (Maximum Head Depth of Glide) เท่ากับ 0.78 + 0.09 และ 0.55 + 0.12 เมตร ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ คอนนาบอยและคณะ (Connaboy et al., 2015) ซึ่งนิยามประสิทธิภาพในช่วงมุดน้ำ (Gliding Efficiency) ไว้ว่าหมายถึงความสามารถของร่างกายในการทำความเร็วสูงสุดขณะที่เผชิญกับแรงลาก (Drag Force) และผลกระทบจากแรงลากจะแตกต่างกันไปตามความลึกในการมุดน้ำ เมื่อมนุษย์เคลื่อนที่ในน้ำ มีแรงลาก 3 ประเภทที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการเคลื่อนไหวใต้น้ำ ได้แก่ แรงต้านจากด้านหน้า (Frontal Drag) เกิดจากความแตกต่างของความดันระหว่างผิวของร่างกายที่ส่วนแขนที่ยื่นไปข้างหน้าในการว่ายน้ำกับส่วนขา แรงเสียดทาน (Frictional Drag) ซึ่งเกิดจากความเสียดทานระหว่างโมเลกุลของน้ำและผิวของร่างกาย (Skin Friction) และแรงลากจากคลื่น (Wave Drag) ซึ่งทำให้ร่างกายลอยสูงขึ้นและจมต่ำลงเมื่ออยู่ในน้ำ (Matchisiras G., 2012; Sanders, 2013; Toussaint, 2011; B. Ungerechts & Arellano, 2011) โดยแรงลากจากคลื่นจะมากที่สุดที่ระดับผิวน้ำและจะไม่ส่งผลเมื่อนักกีฬาว่ายที่ระดับความลึก 0.7 เมตรเป็นต้นไป ในขณะที่แรงต้านด้านหน้าและแรงเสียดทานจะต่ำที่สุดบริเวณผิวน้ำ และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามระดับความลึกของผิวน้ำ (Tiozzo E, Leko G, & Ruzic L., 2009) ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากแรงลากทั้ง 3 ประเภท นักกีฬาควรว่ายที่ระดับความลึก 0.5 เมตร ซึ่งเป็นระดับความลึกที่เหมาะสมที่สุดในช่วงมุดน้ำ เนื่องจากแรงลากจะลดลงอย่างน้อย 70% และความลึกสูงสุดจากระดับผิวน้ำในการว่ายของนักกีฬาไม่ควรเกิน 0.9 -1.0 เมตร เพราะอาจส่งผลต่อเวลาที่ใช้การกลับขึ้นสู่ผิวน้ำ (Tor et al., 2015c) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าระยะกระโดดน้ำไกลน่าจะช่วยให้นักกีฬาสามารถทำความเร็วได้มากขึ้นในช่วงมุดน้ำเนื่องจากได้รับผลกระทบจากแรงลากน้อยกว่าระยะกระโดดน้ำใกล้

ประการที่สาม สมมุติฐานงานวิจัยระบุว่า ระยะกระโดดน้ำใกล้น่าจะส่งผลให้นักกีฬาเริ่มต้นเตะขาครั้งแรกได้เร็วกว่า เนื่องจากลงถึงความลึกที่เหมาะสมได้มากกว่า งานวิจัยของ เคาน์ซิลแมนและ คณะ (Counsilman et al., 1988) ระบุไว้ว่านักกีฬาจะเริ่มช่วงเตะขาใต้น้ำได้ช้ากว่า หากกระโดดลงน้ำลงไปที่ความลึกในการมุดน้ำที่ลึกกว่า อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้พบว่า นักกีฬาใช้เวลา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในช่วงมุดน้ำก่อนเริ่มต้นเตะขาครั้งแรก(Gliding Time) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ทั้งสองระยะกระโดด ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าความลึกในการมุดน้ำไม่ส่งผลให้นักกีฬาเริ่มต้นเตะขาใต้น้ำได้เร็วหรือช้ากว่า แต่เมื่อพิจารณาในประเด็นของระยะทางที่นักกีฬาเริ่มต้นเตะขาครั้งแรกพบว่า ในงานวิจัยนี้ตัวแปรระยะทางที่เริ่มเตะขาครั้งแรก (First Kick Distance) ระหว่างนักกีฬาทั้งสองระยะกระโดดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าระยะทางที่เริ่มเตะขาครั้งแรกเป็นผลต่อเนื่องมาจากระยะทางในการกระโดดน้ำ เมื่อนักกีฬากระโดดลงน้ำระยะใกล้จึงเริ่มต้นเตะขาครั้งแรกที่ระยะทางใกล้กว่า ในขณะที่นักกีฬาสามารถกระโดดครอบคลุมระยะทางเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 30 เซนติเมตรที่ระยะกระโดดน้ำไกล จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ปัจจัยที่มีผลทำให้สถิติว่ายน้ำแตกต่างกันคือการเริ่มออกตัวของนักว่ายน้ำ ซึ่งต้องอาศัยความสมดุลของร่างกายและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพื่อออกแรงส่งให้ร่างกายเคลื่อนที่ให้ไกลที่สุดเท่าที่จะทำได้ อีกทั้งกีฬาว่ายน้ำตัดสินกันด้วยเวลาในการแข่ง เวลาเพียงเสี้ยววินาทีที่ต่างกันก็เป็นตัวกำหนดชัยชนะของนักกีฬาได้ โดยเฉพาะในการแข่งขันว่ายน้ำระยะสั้น 50 เมตร และ 100 เมตร (ชิดชนก ศรีราช, อุษากร พันธุ์วานิช, & ประภาพิมนต์ ปริวัติ, 2555) อาจกล่าวได้ว่าระยะทางกระโดดน้ำไกลส่งผลนักกีฬาได้เปรียบในการออกตัวมากกว่าระยะกระโดดน้ำใกล้เนื่องจากครอบคลุมระยะทางที่มากกว่า โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาร่วมกับตัวแปรความเร็วในช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำของนักกีฬา

ความเร็วในช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำเป็นตัวแปรสุดท้ายที่จะนำมาอภิปรายในงานวิจัยนี้ ผลปรากฏว่าความเร็วทั้งในช่วงมุดน้ำและช่วงเตะขาใต้น้ำของนักกีฬาที่ทั้งสองระยะกระโดดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยตัวแปรบ่งชี้ความเร็วของนักกีฬา ได้แก่ ตัวแปรค่าเฉลี่ยของความเร็วลัพธ์(Resultant Velocity)ในช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำ ความเร็วแนวราบเฉลี่ย (Horizontal Toe Velocity) และความเร็วแนวดิ่งเฉลี่ย (Vertical Toe Velocity) ขณะเตะขาใต้น้ำซึ่งวัดจากมาร์กเกอร์บริเวณนิ้วเท้าของทั้งสองระยะกระโดดล้วนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของความเร็วลัพธ์พบว่า นักกีฬาทำความเร็วได้มากกว่าที่ระยะกระโดดไกล คิดเป็น 3.38 $\pm$ 1.04 เมตรต่อวินาที ในขณะที่ระยะกระโดดใกล้เท่ากับ 2.67 $\pm$ 0.51 เมตรต่อวินาที สอดคล้องกับงานวิจัยของ อาคิซัน และคณะ (Atkison, Dickey, Dragunas, & Nolte, 2014) ซึ่งได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความสำคัญของความสมมาตรระนาบซ้ายขวาของการเตะขาที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการเตะขาด้วยเทคนิคแบบ Underwater Dolphin Kick (UDK) พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อความเร็วในการเตะขาด้วยเทคนิคดังกล่าวเกิดจากความเร็วในการเตะขา โดยเฉพาะความเร็วในการเตะขาขึ้น ใน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

งานวิจัยนี้ เมื่อกระโดดใกล้ ส่งผลให้นักกีฬาลงน้ำลึกกว่า น้ำหนักของน้ำที่กดทับส่งผลให้เตะขาขึ้นยากกว่า จึงน่าจะส่งผลให้ความเร็วในการเคลื่อนที่น้อยกว่าการกระโดดไกล ประเด็นสำคัญอีกประการหนึ่งสำหรับช่วงเตะขาใต้น้ำ ผลการวิจัยพบว่า ความเร็วแนวราบขณะเตะขาใต้น้ำซึ่งวัดจากมาร์เกอร์บริเวณนิ้วเท้า (Horizontal Toe Velocity) ระหว่างวงรอบการเตะขาลำดับที่ 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดใกล้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .05 โดยความเร็วแนวราบเฉลี่ยของรอบการเตะขารอบที่ 1 น้อยกว่า รอบการเตะขารอบที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญ จึงน่าจะเกิดจากการกระโดดที่ระยะใกล้ ส่งผลให้ส่วนของศีรษะและเท้าลงลึกเกินไปจึงต้องเสียความเร็วในการเคลื่อนที่ไปกับการลอยตัวขึ้นสู่ระดับความลึกที่เหมาะสม ความเร็วของการเตะขารอบที่ 1 จึงน้อยกว่าความเร็วในการเตะขารอบที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ในขณะที่ระหว่างวงรอบการตะขา 1, 2 และ 3 ของระยะทางการกระโดดไกลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้พบว่า ระยะกระโดดที่ไกลที่สุดที่สามารถกระโดดส่งผลให้ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความลึกสูงสุดของศีรษะและเท้า รวมถึงระยะทางที่เริ่มตีขาครั้งแรก โดยปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้หลังการกระโดดส่วนต่างๆ ของนักกีฬาอยู่ในความลึกที่เหมาะสมต่อการว่ายน้ำใต้น้ำและพร้อมที่จะเริ่มการว่ายน้ำได้เร็วกว่าการกระโดดน้ำระยะใกล้

ข้อจำกัดในการวิจัย

1.ระยะทางที่ให้นักกีฬากระโดดเป็นตัวแปรต้น จากเดิมให้นักกีฬากระโดดน้ำที่ระยะกระโดดใกล้ (1.5เท่าของความสูง $\pm$ 20 ซ.ม.) และ ระยะกระโดดไกล (2 เท่าของความสูง $\pm$ 20 ซ.ม. หรือระยะเทียบเท่าความสามารถสูงสุด) แต่เนื่องจาก ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทั้งหมดเป็นนักกีฬาทีมชาติที่ผ่านการฝึกฝนมาอย่างหนัก จึงมีรูปแบบการกระโดดที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตน จึงไม่สามารถกระโดดในระยะที่กำหนดไว้ได้ จึงจำเป็นต้องปรับขั้นตอนการวิจัยโดยกำหนดให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทุกท่าน กระโดดในท่าทางที่คุ้นเคย และผู้วิจัยจึงคัดเลือกรอบกระโดดที่กระโดดในระยะที่ใกล้ที่สุด เพื่อเปรียบเทียบกับระยะที่ไกลที่สุด โดยการปรับเปลี่ยนครั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลของระยะทางการกระโดดมาเปรียบเทียบทางสถิติด้วยการเปรียบเทียบค่า t แบบรายคู่ (pair t-test) แล้วพบว่า ระยะกระโดดทั้ง 2 กลุ่มแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จึงนำข้อมูลที่วิเคราะห์จากรอบกระโดดดังกล่าวมาวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

2. งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ศึกษาข้อมูลทางคิเนมาติกส์ของการเคลื่อนไหวใต้น้ำ ซึ่งจัดเป็นขั้นตอนงานวิจัยที่มีความยากกว่าการศึกษาข้อมูลทางคิเนมาติกส์บนบกเป็นอย่างมาก เนื่องจากการขั้นตอนต่างๆ ตั้งแต่การติดตั้งเครื่องมือ การบันทึกการเคลื่อนไหว การกำหนดตำแหน่งต่างๆ ของ

มาร์กเกอร์ที่ต้องผ่านการหักเหของน้ำ และขึ้นอยู่กับแนวของแสงกระทบผิวน้ำ จึงส่งผลให้เหลือข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างที่สามารถนำมาวิเคราะห์ผลการทดลองได้เพียง 6 คน ซึ่งผู้วิจัยได้วิเคราะห์อย่างรอบคอบและตรวจทานซ้ำจนมั่นใจและนำเสนอดังข้อมูลข้างต้น

3. เป็นการจำลองการแข่งขันและมีการตั้งกล้องใต้น้ำด้านข้าง ดังนั้นนักกีฬาจึงอาจกระโดดและว่ายที่ความเร็วไม่เต็มที่โดยเฉพาะเมื่อมองเห็นว่าว่ายน้ำพ้นกล้องแล้วจึงอาจชะลอความเร็วขณะว่ายน้ำลงได้

ข้อเสนอแนะ

การกระโดดน้ำแบบเท้านำเท้าตามที่ระยะไกลส่งผลให้ใช้เวลาในการมุดน้ำน้อยกว่าที่ระยะใกล้และมีแรงส่งให้การว่ายน้ำใต้น้ำมีความเร็วในการว่ายได้สูงตั้งแต่การเตะขาครั้งแรก จึงควรแนะนำให้นักกีฬาได้รับการฝึกฝนโดยกระโดดให้ไกลที่สุดเท่าที่สามารถทำได้เพื่อใช้เวลาออกตัวสั้นที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

แวน วัณณะพันธ์. (2542). การวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ของทักษะการฟาดแบบตีลังกาของนักกีฬาเซปักตะกร้อไทย. (ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กานดา ใจภักดี. (2542). วิทยาศาสตร์การเคลื่อนไหว. กรุงเทพฯ: ดวงกมล.

จรูญ มีสิน. (2548). ความปลอดภัยทางน้ำและการช่วยเหลือคนตกน้ำ. กรุงเทพฯ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชิดชนก ศรีราช, อุษากร พันธุ์วานิช, & ประภาพิมนต์ ปริวัติ. (2555). ผลการฝึกเสริมพลังขาที่มีต่อระยะทางการออกตัวแบบจับแท่นในกีฬาว่ายน้ำ. วารสารวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 42-51.

ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์. (2544). กีฬา พลศึกษา และวิทยาศาสตร์การกีฬา. กรุงเทพฯ สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นราธิป ทับศรี, ปฏิภาณ วงศ์ชมภู, & พีระพงษ์ คงถาวรกุล. (2552). การบันทึกความเคลื่อนไหว. (ปริญญาบัณฑิต), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วีระ มนัสวานิช. (2545). เทคนิคการว่ายน้ำ สำหรับนักว่ายน้ำ ครูและผู้สอน. กรุงเทพฯ:โอเดียนสโตร์.

ศิริรัตน์ หิรัญรัตน์. (2544). ชีวกลศาสตร์การกีฬา. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล.

สำนักวิทยาศาสตร์การกีฬา กรมพลศึกษา. (2557). การประยุกต์วิทยาศาสตร์การกีฬา สำหรับฝึกนักกีฬาว่ายน้ำ. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์วีรวรรณ พริ้นติ้งค์ แอนด์ แพ็คเก็จจิ้ง.

สิริพร ศศิมณฑลกุล. (2551). ชีวกลศาสตร์พื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์และพัฒนาศักยภาพของนักกีฬา. [ออนไลน์]. 2551. สืบค้นจาก http://www.senate.go.th/w3c/senate/pictures/comm/51/sport%20science/010.pdf [23 ตุลาคม 2560].

อรวรีย์ อิงคเตชะ. (2553). ชีวกลศาสตร์การกีฬา. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Allison, J., Higgs, D. L., Pease, & Ross, H. S. (2015). KINEMATIC DIFFERENCES BETWEEN UPKICK AND DOWNKICK IN UNDULATORY UNDERWATER SWIMMING. *33rd International Conference on Biomechanics in Sports*.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Arellano, R., Pardillo, S., De La Fuente, B., & García, F. (2000). A System to Improve the Swimmer's Start Technique using Force Recording, Time and Kinematic Analyses. Journal of Applied Biomechanics .Universidad de Granada, 1CAR Sierra Nevada, Granada, Spain.

Arellano, R., Pardillo, S., & Gavilan, A. (2002). Underwater undulatory swimming: kinematic characteristics, vortex generation and application during the start, turn and swimming strokes. In K. E. Gianikellis (Ed.), Proceedings of the XXth International Symposium on Biomechanics in Sports- Applied Program-Swimming (pp. 29-41). Caceres.

Arellano, R., Terrés-Nicol, J. M., & Redondo, J. M. (2006). "Fundamental Hydrodynamics of Swimming Propulsion,". *Journal of Sports Sciences, 10*, 15–20.

Atkison R., Dickey J., Dragunas A., & Nolte V. (2014). The importance of sagittal kick symmetry for underwater dolphin kick performance. *Human Movement Science*, 79-84. doi:10.1016/j.humov.2013.08.013.

Atkison, R. R., Dickey, J. P., Dragunas, A., & Nolte, V. (2014). Importance of sagittal kick symmetry for underwater dolphin kick performance. *Human Movement Science, 33*, 298-311. doi:https://doi.org/10.1016/j.humov.2013.08.013

Barden, J. M., Kell, R. T., & Kobsar, D. (2011). The effect of critical speed and exercise intensity on stroke phase duration and bilateral asymmetry in 200-m front crawl swimming. *Journal of Sports Sciences, 29*(5), 517-526. doi:10.1080/02640414.2010.543912.

Benjanuvatra, N., Edmunds, K., & Blanksby, B. (2007). Jumping Abilities and Swimming Grab-Start Performances in Elite and Recreational Swimmers. *International Journal of Aquatic Research and Education, 1*(3). doi:10.25035/ijare.01.03.06

Cohen, R. C., Cleary, P. W., & Mason, B. R. (2009). Simulations of human swimming using smoothed particle hydrodynamics *Presented in Seventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries CSIRO, Melbourne, Australia*.

Cohen, R. C., Cleary, P. W., & Mason, B. R. (2012). Simulations of dolphin kick swimming using smoothed particle hydrodynamics. *Human Movement Science, 31*(3), 604-619. doi:10.1016/j.humov.2011.06.008

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Colwin, C. M. (1992). *Swimming into the 21st Century.Champaign, Ill*: Human Kinetics Publishers.

Connaboy, C., Naemi, R., Brown, S., Psycharakis, S., McCabe, C., Coleman, S., & Sander, R. (2015). The key kinematic determinants of undulatory underwater swimming at maximal velocity. *Journal of Sports Sciences, 34:11*, 1036-1043. doi:10.1080/02640414.2015.1088162

Cossor, J., & Mason, B. (2001). Swim Start performances at the Sydney 2000 Olympic Games,in International Symposium on Biomechanics in Sports ISBS, Blackwell JR,Sanders R, editors, San Francisco,. *International Society on Biomechanics in Sport*, 70–73.

Costill, D. L., Maglischo, E. W., & Richardson, A. B. (1992). *Swimming.* London, England: Blackwell Scientific Publications.

Counsilman, J., Nomura, T., Endo, M., & Counsilman, B. (1988). 'A study of three types of grab start for competitive swimming'. *ational Aquatics Journal, 4 (2)*, 2-6.

Dubois, R. P., Thiel, D. V., & James, D. A. (2012). Using image processing for biomechanics measures in swimming. *Procedia Engineering, 34*, 807-812. doi:https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.04.138

Elipot, M., Hellard, P., Taiar, R., Boissiere, E., Rey, J. L., Lecat, S., & Houel, N. (2009). Analysis of swimmers' velocity during the underwater gliding motion following grab start. *Journal of biomechanics, 42*(9), 1367-1370. doi:10.1016/j.jbiomech.2009.03.032

Hay, J. G. (1986). Swimming Biomechanics: A brief review. Swimming Technique. *Journal of biomechanics, 23*(3), 15-21.

Higgs, A., Pease, D., & Sanders, R. (2016). Relationships between kinematics and undulatory underwater swimming performance. *Journal of Sports Sciences*. doi:10.1080/02640414.2016.1208836

Hochstein, S., & Blickhan, R. (2011). Vortex re-capturing and kinematics in human underwater undulatory swimming. *Human Movement Science, 30*(5). doi:10.1016/j.humov.2010.07.002.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Hubert, M., Silveira, G., Freitas, E., Pereira, S., & Roesler, H. (2006). Speed variation analysis before and after the stroke in swimming starts. . *Biomechanics and Medicine in Swimming,*, 44- 45.

Kirner, K., Bock, M., & Welch, J. (1989). A comparison of four difference start combinations. *Journal of Swimming Research, 5(2)*, 5-11

Kjendlie, P., Olstad, B., & Cabri, J. (2012). Automatic 3D Motion Capture of Swimming: Marker Resistance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*.

König, S. K., Valeri, F., Wild, S., Rosemann, T., Alexander, R. C., & Knechtle, B. (2014). Change of the age and performance of swimmers across World Championships and Olympic Games finals from 1992 to 2013 – a cross-sectional data analysis. *SpringerPlus, 3*(652).

Kreighbaum, E., & Barthels, K. (1996). *A qualitative approach for studying human movement* (4th ed.). Boston, United States of America: Allyn and Bacon.

Kudo, H., & Lee, M. (2009). alidity of underwater motion capture system for swimming. Available from URl: https://isbweb.org/images/conf/2009/data/pdf/125.pdf [2017, Nov 10].

Lyttle, A., & Benjanuvatra, N. (2005). Start Right? A Biomechanical Review of Dive Start Performance.

Lyttle, A., & Keys, M. (2004). The use of computational fluids dynamics to optimize underwater kicking performance. *XXIInd International Symposium on Biomechanics in Sports - ISBS 2004*, 403-411.

Lyttle, A. D., Blanksby, B. A., Elliott, B. C., & Lloyd, D. G. (2000). Net forces during tethered simulation of underwater streamlined gliding and kicking techniques of the freestyle turn. *J Sports Sci, 18*(10), 801-807. doi:10.1080/026404100419856

Maglischo, E. W. (2003). *Swimming Fastest. Champaign Ill.: Human Kinetics.*

Matchisiras G. (2012). *Utilizing flow characteristics to increase performance in swimming*. The University of Edinburgh. Unpublished PhD Thesis.

Melinda, B., László, R., & Péter, H. (2015). *Swimming : History,Technque and Teaching.* Eszterházy Károly College.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Miller, J. A., Hay, J. G., & Wilson, B. D. (1984). Starting techniques of elite swimmers. *Journal of Sports Sciences, 2*(3), 213-223. doi:10.1080/02640418408729718

Miller, M., Allen, D., & Pein, R. (2003). A kinetic and kinematic comparison of the grab and track starts in swimming. *In J. C. Chatard (ed.), Biomechanics and Medicine in Swimming IX. Saint-Étienne: University of Saint-Étienne,*, 231-235.

Morais, J. E., Garrido, N. D., Marques, M. C., Silva, A. J., Marinho, D. A., & Barbosa, T. M. (2013). The Influence of Anthropometric, Kinematic and Energetic Variables and Gender on Swimming Performance in Youth Athletes. *Journal of Human Kinetics, 39*, 203-211. doi:10.2478/hukin-2013-0083

Mori, G., Ren, X., Efros, A. A., & Malik, J. (2004). Recovering human body configurations: combining segmentation and recognition. In IEEE conference on computer vision and pattern recognition (CVPR), vol. 2 (pp. 326–333).

Naemi, R., & Sanders, R. H. (2008). A "Hydrokinematic" Method of Measuring the Glide Efficiency of a Human Swimmer. *Journal of Biomechanical Engineering, 130*(6), 061016-061016-061019. doi:10.1115/1.3002764

Normani, F. (Producer). (2017). The Physics of Swimming. [Online]. 2017. Available from URl: https://www.real-world-physics-problems.com/physics-of-swimming.html [2017,Sep 21].

Pereira, S. M., Ruschel, C., & Araujo, L. G. (2006). Biomechanical analysis of the underwater phase in swimming starts. *Biomechanic*(6(Supl. 2)), 79-81.

Ponsen, A. (2014). How are biomechanical principles reflected in the way we move? [Online]. 2014. Available from URL: https://www.slideshare.net/andrewponsen/11-pdhpe-core-3-cq3-biomechanics-pp [2017, Sep 21].

Pribanic, T., Peharec, S., & Medved, V. (2009). A comparison between 2D plate calibration and wand calibration for 3D kinematic systems. (2), 147-155.

Riewald, S., & Rodeo, S. (2015). Swimming mechanics and technics. In Riewald S. & Rodeo S. (Eds.), *Science of swimming fast* (pp. 3-16). United States of America: Human Kinetics.

Robertson, G., Caldwell, G., Hamill, J., Kamen, G., & Whittlesey, S. (2014). *Research methods in biomechanics* (2nd ed.). United States of America: Human Kinetics.

Rosen, M. W. (1959). Water flow about a swimming fish . China Lake, CA: U.S. Naval Ordnance Test Station.

Ruschel, C., Araujo, L., Pereira, S., & Roesler, H. (2007). Kinematical analysis of the swimming start block, flight and underwater phases. *Paper presented at the XXV ISBS Symposium, Ouro Preto, Brazil*, p.385-388

Salvi, J., Armangué, X., & Batlle, J. (2002). A comparative review of camera calibrating methods with accuracy evaluation. *Pattern Recognition, 35*(7), 1617-1635. doi:https://doi.org/10.1016/S0031-3203(01)00126-1

Sanders, R. (2002). New analysis procedures for giving feedback to swimming coaches and swimmers. Proceedings of XX ISBS–Swimming, Applied Program Swimming. Caceres: University of Extremedura, 1–14.

Sanders, R. (2013). How do asymmetries affect swimming performance? *Journal Swimming Research, 21:1*.

Sanders, R., & Byatt-Smith, J. (2001). Improving feedback on swimming turns and starts exponentially. *In: XIXth International Symposium on Biomechanics in Sports. San Francisco*, 91-94.

Shimojo, H., Sengoku, Y., Miyoshi, T., Tsubakimoto, S., & Takagi, H. (2014). Effect of imposing changes in kick frequency on kinematics during undulatory underwater swimming at maximal effort in male swimmers. *Human Movement Science, 38*, 94–105. doi:10.1016/j.humov.2014.09.001

Sigal, L., Balan, A., O,, & Black, M. J. (2009). HumanEva: Synchronized Video and Motion Capture Dataset and Baseline Algorithm for Evaluation of Articulated Human Motion. *International Journal of Computer Vision, 87*(1-2), 4-27. doi:10.1007/s11263-009-0273-6

Slawson, S., Conway, P., Cossor, J., Chakravorti, N., & West, A. (2013). The categorisation of swimming start performance with reference to force generation on the main block and footrest components of the Omega OSB11 start blocks. *Journal of Sports Sciences, 31(5),* , 468-478.

Strzala, M., & Krezalek, P. (2010). The body angle of attack in front crawl performance in young swimmers. *Human Movement, 11*(1), 23-28. doi:10.2478/v10038-010-0003-5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Taladriz, S., Domínguez, R., Morales, E., & Arellano, A. (2015). Effect of fatigue on kinematics of sprint underwater undulatory swimming. *Presented in 33rd International Conference on Biomechanics in Sports, Poitiers, France 2015*, 1240-1243.

Thow, J. L., Naemi, R., & Sanders, R. H. (2012). Comparison of modes of feedback on glide performance in swimming. *J Sports Sci, 30*(1), 43-52. doi:10.1080/02640414.2011.624537

Timothy, W., Russell, M., & Sean, H. (2015). *Fluid Dynamics, Propulsion and Drag*.

Tiozzo E, Leko G, & Ruzic L. (2009). Swimming bodysuit in all-out and constant-pace trials. *Biology of Sport,*(26:), 149-156.

Tor, E., Pease, D., & Ball, K. (2014a). Characteristics of an elite swimming start. *Paper presented at the Biomechanics and Medicine in Swimming Conference 2014, Canberra*, 257–263. doi:10.13140/2.1.2350.2087

Tor, E., Pease, D. L., & Ball, K. A. (2015c). Comparing three underwater trajectories of the swimming start. *J Sci Med Sport, 18*(6), 725-729. doi:10.1016/j.jsams.2014.10.005

Tourny - Chollet, C., Seifert, L., & Chollet, D. (2009). Effect of force symmetry on coordination in crawl *International Journal of Sports Medicine, 30*, 182-187. doi:10.1055/s-0028-1104581

Toussaint, H. (2011). Biomechanics of drag and propulsion in front crawl swimming. In Seifert L., Chollet D., & Mujika I. (Eds.), *World book of swimming: from science to performance* (pp. 3-20). New York: Nova Science Publishers.

Ungerechts, B., & Arellano, R. (2011). Hydrodynamics in swimming. In Seifert L., Chollet D., & Mujika I. (Eds.), *World book of swimming: from science to performance* (pp. 22-42). New York: Nova Science Publishers.

Ungerechts, B. E. (1987). On the relevance of rotating water flow for the propulsion in swimming. *In B. Jonsson (Ed.), Biomechanics X-B*, 713–716.

Vantorre, J., Chollet, D., & Seifert, L. (2014). Biomechanical Analysis of the Swim-Start: A Review. *Sports Science and Medicine, 13(2)*, 223–231.

Vilas-Boas, J., Costa, L., Fernandes, R., Ribeiro, J., Figueiredo, P., Marinho, D., & Machado, L. (2010). Determination of the Drag Coefficient During the First and Second

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Gliding Positions of the Breaststroke Underwater Stroke. *Journal of Applied Biomechanics, 26*, 324–331.

Wei, G. Q., & Ma, S. D. (1994). Implicit and Explicit Camera Calibration: Theory and Experiments. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., 16*(5), 469-480. doi:10.1109/34.291450

Welcher, R., Hinrichs, R., & George, T. (2008). Front- or rear-weighted track start or grab start: which is the best for female swimmers? *Sports Biomech, 7*(1), 100-113. doi:10.1080/14763140701683247

Woltring, H. J. (1980). Planar control in multi-camera calibration for 3-D gait studies. *Journal of biomechanics, 13*(1), 39-48. doi:https://doi.org/10.1016/0021-9290(80)90006-8

Zhang, Z. (2000). A flexible new technique for camera calibration. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22*(11), 1330-1334. doi:10.1109/34.888718

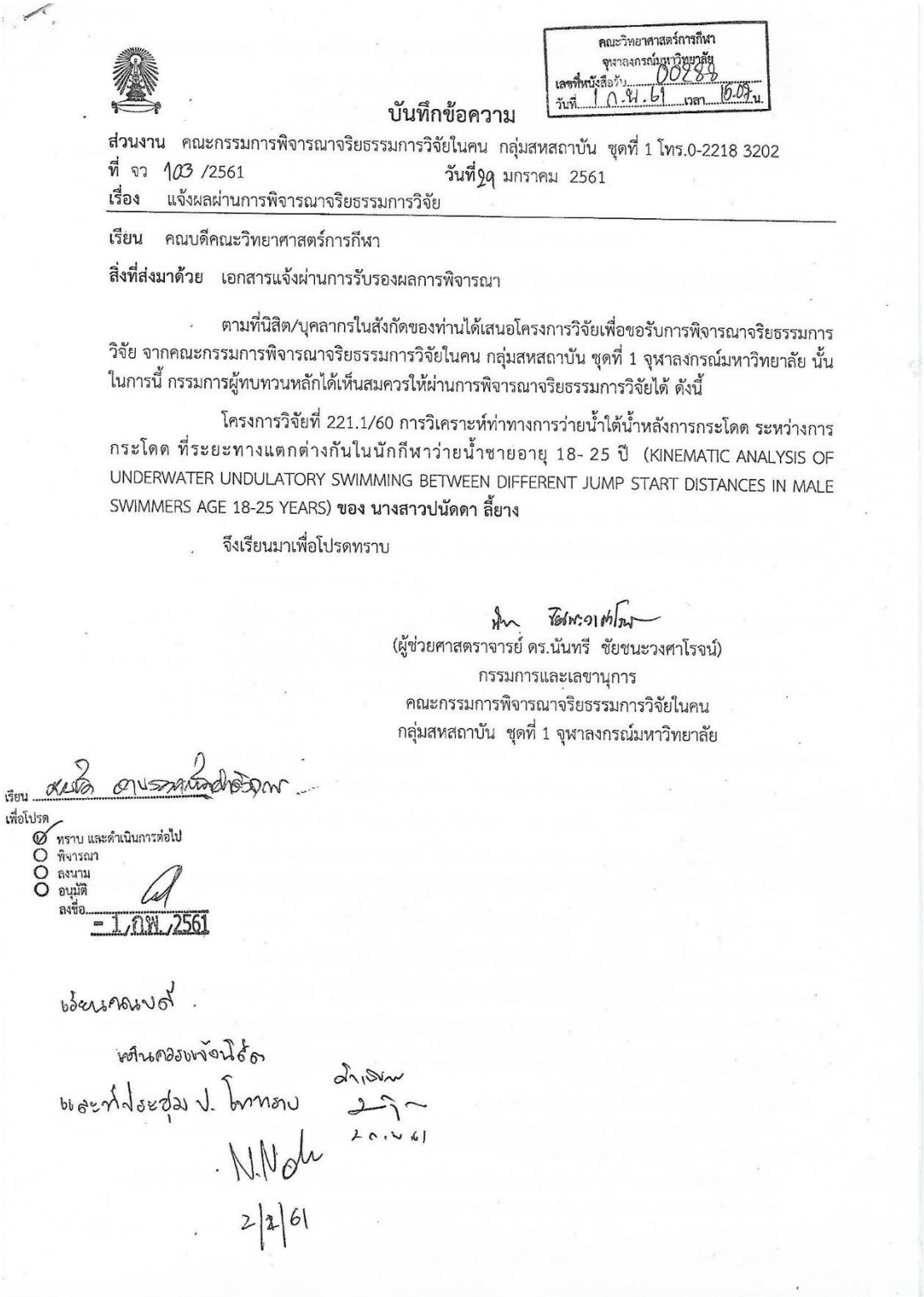
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

ใบรับรองโครงการวิจัยจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน



คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
เลขที่หนังสือรับ 00286
วันที่ 10 ม.ค. 61 เวลา 16.09 น.

บันทึกข้อความ

ส่วนงาน คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 โทร.0-2218 3202
ที่ จว 103 /2561 **วันที่** 9 มกราคม 2561
เรื่อง แจ้งผลผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย

เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา

สิ่งที่ส่งมาด้วย เอกสารแจ้งผ่านการรับรองผลการพิจารณา

ตามที่นิสิต/บุคลากรในสังกัดของท่านได้เสนอโครงการวิจัยเพื่อขอรับการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย จากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย นั้น ในการนี้ กรรมการผู้ทบทวนหลักได้เห็นสมควรให้ผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยได้ ดังนี้

โครงการวิจัยที่ 221.1/60 การวิเคราะห์ท่าทางการว่ายน้ำใต้น้ำหลังการกระโดด ระหว่างการกระโดด ที่ระยะทางแตกต่างกันในนักกีฬาว่ายน้ำชายอายุ 18- 25 ปี (KINEMATIC ANALYSIS OF UNDERWATER UNDULATORY SWIMMING BETWEEN DIFFERENT JUMP START DISTANCES IN MALE SWIMMERS AGE 18-25 YEARS) **ของ นางสาวปนัดดา ลี้ยาง**

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทรี ชัยชนะวงศาโรจน์)
กรรมการและเลขานุการ
คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน
กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เรียน ...
เพื่อโปรด
☑ ทราบ และดำเนินการต่อไป
○ พิจารณา
○ ลงนาม
○ อนุมัติ
ลงชื่อ...
- 1 ก.พ. 2561

AF 01-12

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
254 อาคารจามจุรี 1 ชั้น 2 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์/โทรสาร: 0-2218-3202 E-mail: eccu@chula.ac.th

COA No. 024/2561

ใบรับรองโครงการวิจัย

โครงการวิจัยที่ 221.1/60 : การวิเคราะห์ท่าทางการว่ายน้ำใต้น้ำหลังการกระโดด ระหว่างการกระโดดที่ระยะทางแตกต่างกันในนักกีฬาว่ายน้ำชายอายุ 18- 25 ปี

ผู้วิจัยหลัก : นางสาวปนัดดา ลี้ยาง

หน่วยงาน : คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้พิจารณา โดยใช้หลัก ของ The International Conference on Harmonization – Good Clinical Practice (ICH-GCP) อนุมัติให้ดำเนินการศึกษาวิจัยเรื่องดังกล่าวได้

ลงนาม.....
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ปรีดา ทัศนประดิษฐ)
ประธาน

ลงนาม.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทรี ชัยชนะวงศาโรจน์)
กรรมการและเลขานุการ

วันที่รับรอง : 26 มกราคม 2561 **วันหมดอายุ** : 25 มกราคม 2562

เอกสารที่คณะกรรมการรับรอง

1) โครงการวิจัย
2) ข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยและใบยินยอมของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย
3) ผู้วิจัย
4) แบบสอบถาม

เลขที่โครงการวิจัย 221.1/60
วันที่รับรอง 26 ม.ค. 2561
วันหมดอายุ 25 ม.ค. 2562

เงื่อนไข

1. *ข้าพเจ้ารับทราบว่าเป็นการผิดจริยธรรม หากดำเนินการเก็บข้อมูลการวิจัยก่อนได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยฯ*
2. *หากใบรับรองโครงการวิจัยหมดอายุ การดำเนินการวิจัยต้องยุติ เมื่อต้องการต่ออายุต้องขออนุมัติใหม่ล่วงหน้าไม่ต่ำกว่า 1 เดือน พร้อมส่งรายงานความก้าวหน้าการวิจัย*
3. *ต้องดำเนินการวิจัยตามที่ระบุไว้ในโครงการวิจัยอย่างเคร่งครัด*
4. *ใช้เอกสารข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย ใบยินยอมของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย และเอกสารเชิญเข้าร่วมวิจัย (ถ้ามี) เฉพาะที่ประทับตราคณะกรรมการเท่านั้น*
5. *หากเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ร้ายแรงในสถานที่เก็บข้อมูลที่ขออนุมัติจากคณะกรรมการ ต้องรายงานคณะกรรมการภายใน 5 วันทำการ*
6. *หากมีการเปลี่ยนแปลงการดำเนินการวิจัย ให้ส่งคณะกรรมการพิจารณารับรองก่อนดำเนินการ*
7. *โครงการวิจัยไม่เกิน 1 ปี ส่งแบบรายงานสิ้นสุดโครงการวิจัย (AF 03-12) และบทคัดย่อผลการวิจัยภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น สำหรับโครงการวิจัยที่เป็นวิทยานิพนธ์ให้ส่งบทคัดย่อผลการวิจัย ภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น*

AF 04-07

ข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย การวิเคราะห์ท่าทางการว่ายน้ำใต้น้ำหลังการกระโดดระหว่างการกระโดดที่ระยะทางแตกต่างกันในนักกีฬาว่ายน้ำชาย อายุ 18-25 ปี

ชื่อผู้วิจัย นางสาวปนัดดา ลี้ยาง ตำแหน่ง นิสิตระดับบัณฑิตศึกษา

สถานที่ติดต่อผู้วิจัย (ที่ทำงาน) คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนน พระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพ 10330

(ที่บ้าน) 140/424 ถนน รามคำแหง แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กทม. 10240

โทรศัพท์ (ที่ทำงาน) 02-218-10[illegible]

โทรศัพท์มือถือ 089-9810433

E-mail : thing_boxer@hotmail.com

เลขที่โครงการวิจัย 221.1/60

วันที่รับรอง 26 ม.ค. 2561

วันหมดอายุ 25 ม.ค. 2562

1. ขอเรียนเชิญท่านเข้าร่วมในการวิจัยก่อนที่ท่านจะตัดสินใจเข้าร่วมในการวิจัย มีความจำเป็นที่ท่านควรทำความเข้าใจว่างานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการทำคือ

1.1 เพื่อวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนไหวขณะว่ายน้ำใต้น้ำ หลังกระโดดจากแท่นกระโดดที่ระยะ 1.5 และ 2.0 เท่า ของความสูงของนักกีฬา

1.2 เพื่อเปรียบเทียบท่าทางการว่ายน้ำใต้น้ำหลังการกระโดดที่ระยะทางการกระโดดที่ระยะ 1.5 และ 2.0 เท่า ของความสูงของนักกีฬา

กรุณาใช้เวลาในการอ่านข้อมูลต่อไปนี้อย่างละเอียดรอบคอบ และสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมหรือข้อมูลที่ไม่ชัดเจนได้ตลอดเวลา

2. โครงการนี้เกี่ยวข้องกับการการวิเคราะห์ท่าทางการว่ายน้ำใต้น้ำหลังการกระโดดระหว่างการกระโดดที่ระยะทางแตกต่างกัน โดยใช้การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ

3. รายละเอียดของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

- ลักษณะของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย เกณฑ์การคัดเข้าและเกณฑ์การคัดออกกลุ่มตัวอย่าง คือ นักกีฬาว่ายน้ำชาย อายุระหว่าง 18-25 ปี จำนวน 15 คน

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมงานวิจัย

1. นักกีฬาว่ายน้ำชาย ที่เคยแข่งขัน ในท่าฟรีสไตล์ (Freestyle), ท่ากบ (Breaststroke), ท่าผีเสื้อ (Butterfly) หรือ ท่าเดี่ยวผสม (Individual Medley) ในระดับสมาคม ชมรม มหาวิทยาลัย หรือระดับสูงกว่า ที่มีการจัดการแข่งขันอย่างเป็นทางการอย่างน้อย 1 ครั้ง สังกัดชมรมว่ายน้ำสิงห์ คอร์เปอเรชั่น หรือชมรมว่ายน้ำของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยหรือจากมหาวิทยาลัยอื่นๆ ในกรุงเทพฯ อายุระหว่าง 18-25 ปี

2. มีประสบการณ์ในการว่ายน้ำหรือแข่งขันกีฬาว่ายน้ำมาอย่างน้อย 3 ปี และฝึกซ้อมเป็นประจำอย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์

3. มีความถนัดการออกตัวแบบเท้านำเท้าตาม (Track Start)

4. *เป็นบุคคลที่ไม่มีปัญหาด้านการบาดเจ็บทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อระดับรุนแรง*

จนได้รับการรักษาทางการแพทย์มากกว่าการได้รับยาอนุวต

5. ในกรณีที่มีนักกีฬาที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกมากกว่า 15 คน จะคัดตามสถิติผลการแข่งขันในระยะ 3 ปีที่ผ่านมา 15 คนแรกที่สามารถทำเวลาได้ดีที่สุด

6. มีความสมัครใจในการเข้าร่วมการวิจัยครั้งนี้ และยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

เลขที่โครงการวิจัย 221.1/60

วันที่รับรอง 26 ม.ค. 2561

วันหมดอายุ 25 ม.ค. 2562

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างออกงานวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่างไม่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัยต่อ

2. มีเหตุให้ผู้เข้าร่วมวิจัยไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยได้ครบตามรูปแบบที่กำหนด

เกณฑ์ยุติการเข้าร่วมวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่างเกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยต่อได้ เช่น การบาดเจ็บจากอุบัติเหตุหรือมีอาการเจ็บป่วยกระทันหัน เป็นต้น

- วิธีการได้มาซึ่งกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ผู้วิจัยได้มีหนังสือขอความอนุเคราะห์ถึงชมรมว่ายน้ำสิงห์ คอร์เปอเรชั่น หรือชมรมว่ายน้ำของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยหรือจากมหาวิทยาลัยอื่นๆ ในกรุงเทพฯ เพื่อขอความอนุเคราะห์กลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมงานวิจัยและไปเชิญชวนผู้เข้าร่วมงานวิจัย โดยคัดจาก*ประวัติ*การแข่งขันว่ายน้ำ 15 คน ที่ตรงกับเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมงานวิจัย เพื่อคัดเลือกเข้าร่วมวิจัย

4. กระบวนการการวิจัยที่กระทำต่อกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ผู้วิจัยจะนัดหมายให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยมาทำการทดสอบที่สระว่ายน้ำของโรงเรียนวชิราวุธวิทยาลัย ในช่วงเวลา 09.00 - 16.00 น. โดยในการทดสอบจะใช้เวลาไม่เกิน 60 นาที ซึ่งรวมเวลาที่ใช้สำหรับการอบอุ่นร่างกายและคูลดาวน์ร่างกายแล้ว ผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะได้รับการติดมาร์กเกอร์ (Retro Reflective Marker) ทั้งหมด *8 ตำแหน่ง บริเวณร่างกาย ได้แก่ Vertex of the skull Vertex, Left Acromion process, C7 (Cervical Spine Vertebra 7), T1 0 (Thoracic Spine Vertebra 1 0), Left Anterior Superior Iliac Spine (ASIS), Leteral Malleolus, Calcaneus และ Left Head of the fifih Toe (ด้านซ้ายของร่างกาย)* โดยทำความสะอาดตำแหน่งที่ต้องการติดก่อนด้วยสำลีแอลกอฮอล์ จากนั้นใช้กาวกันน้ำติดมาร์กเกอร์แล้วนำมาติดบริเวณตำแหน่งที่กำหนดไว้ และทำการกระโดดออกตัวแบบเท้านำเท้าตามที่ระยะการกระโดด 1.5 และ 2.0 เท่าของความสูงของตนเอง ± 20 เซนติเมตร ด้วยความเร็วในการกระโดดออกตัวสูงสุด *ทำการปฏิบัติรูปแบบละ 5 ครั้ง* ในการทดสอบแต่ละครั้งจะพักระหว่างครั้งของการกระโดดเป็นเวลา 5 นาที และพักระหว่างระยะการกระโดด 10 นาที

ผู้วิจัยจะทำการเก็บข้อมูลโดยมีกล้องบันทึกภาพการเคลื่อนไหวได้น้ำและเมื่อเสร็จสิ้นการวิจัยแล้วข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยและข้อมูลจากการบันทึกภาพจะถูกลบจากเครื่องเก็บข้อมูลทั้งหมด

5. กระบวนการให้ข้อมูลแก่กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

- ผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะได้รับคำอธิบายรายละเอียดวิธีการวิจัย และจำนวนครั้งที่ต้องมาทดสอบ ข้อดีและข้อเสียของการเข้าร่วม โครงการวิจัย จากนั้นจึงจะขอให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัย

เซ็นยินดีเข้าร่วมโครงการลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

6. ในการคัดกรองผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยด้วยวิธีใดๆ ก็ตาม

- หากพบว่าผู้นั้นไม่อยู่ในเกณฑ์คัดเข้า ได้แก่ ได้รับการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อของส่วนต่างๆ ของร่างกาย ผู้วิจัยจะแนะนำการออกกำลังกายเพื่อป้องกันการบาดเจ็บซ้ำตามความเหมาะสมในแต่ละบุคคล

7. การวิจัยครั้งนี้อาจก่อให้เกิดการบาดเจ็บหรือความเมื่อยล้า เช่น เป็นตะคิว และ*ความเสี่ยงของการแพ้เทปที่ใช้ติดมาร์กเกอร์* ทางผู้วิจัยจึงได้มีการเตรียมผู้ช่วยวิจัยเพื่อช่วยในการดูแลความปลอดภัยของผู้เข้าร่วมงานวิจัย หากเกิดภาวะดังกล่าว ผู้วิจัยจะทำการปฐมพยาบาลเบื้องต้นและนำส่งโรงพยาบาลโดยทันที

8. ประโยชน์ในการเข้าร่วม

- ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย สามารถทราบระยะทางในการกระโดดที่แม่นยำมากขึ้นของตนเองเพื่อส่งต่อไปยังช่วงการเคลื่อนไหวใต้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ

9. การเข้าร่วมในการวิจัยของท่านเป็นโดย**สมัครใจ** และสามารถ**ปฏิเสธ**ที่จะเข้าร่วมหรือถอนตัวจากการวิจัยได้ทุกขณะ โดยไม่ต้องให้เหตุผล

10. หากท่านมีข้อสงสัยให้สอบถามเพิ่มเติมได้โดยสามารถติดต่อผู้วิจัยได้ตลอดเวลา และหากผู้วิจัยมีข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์หรือโทษเกี่ยวกับการวิจัย ผู้วิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบอย่างรวดเร็ว

11. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับท่านจะเก็บเป็นความลับ หากมีการเสนอผลการวิจัยจะเสนอเป็นภาพรวม ข้อมูลใดที่สามารถระบุถึงตัวท่านได้จะไม่ปรากฏในรายงาน*และจะมีการทำลายข้อมูลการบันทึกภาพเมื่อสิ้นสุดการวิจัย*

12. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะได้รับค่าชดเชยการเสียเวลาคนละ 250 บาท นอกจากนี้ผู้วิจัยได้จัดเตรียมน้ำดื่มและอาหารสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

13. "หากท่านไม่ได้รับการปฏิบัติตามข้อมูลดังกล่าวสามารถร้องเรียนได้ที่ *คณะกรรมการ*พิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 254 อาคารจามจุรี 1 ชั้น 2 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์/โทรสาร 0-2218-3202 E-mail: eccu@chula.ac.th"

เลขที่โครงการวิจัย 291.1/60
วันที่รับรอง 26 ม.ค. 2561
วันหมดอายุ 25 ม.ค. 2562

แสดงการติดมาร์กเกอร์บอกตำแหน่ง (Retro reflective marker)

AF05-07

หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

ทำที่.....

วันที่.....เดือน..... ...พ.ศ. .. ..

เลขที่ ประชากรตัวอย่างหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย.....

ข้าพเจ้า ซึ่งได้ลงนามท้ายหนังสือนี้ ขอแสดงความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย การวิเคราะห์ท่าทางการว่ายน้ำได้น้ำหลังการกระโดดระหว่างการกระโดดที่ระยะทางแตกต่างกันในนักกีฬาว่ายน้ำชาย อายุ 18-25 ปี

ชื่อผู้วิจัย นางสาวปนัดดา ลี้ยาง

ที่อยู่ที่ติดต่อ 140/424 ถนน รามคำแหง แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กทม. 10240 โทรศัพท์ 089-9810433

ข้าพเจ้า **ได้รับทราบ**รายละเอียดเกี่ยวกับที่มาและวัตถุประสงค์ในการทำวิจัย รายละเอียดขั้นตอนต่างๆ ที่จะต้องปฏิบัติหรือได้รับการปฏิบัติ ความเสี่ยง/อันตราย และประโยชน์ซึ่งจะเกิดขึ้นจากการวิจัยเรื่องนี้ โดยได้อ่านรายละเอียดในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัยโดยตลอด และ**ได้รับคำอธิบาย**จากผู้วิจัย**จนเข้าใจเป็นอย่างดีแล้ว**

ข้าพเจ้าจึงสมัครใจเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ตามที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย โดยข้าพเจ้ายินยอมเข้าร่วมการทดสอบ โดยติดมาร์กเกอร์จำนวน *8 ตำแหน่ง บริเวณร่างกายได้แก่ Vertex of the skull Vertex, Left Acromion process, C7 (Cervical Spine Vertebra 7), T10 (Thoracic Spine Vertebra 10), Left Anterior Superior Iliac Spine (ASIS), Leteral Malleolus, Calcaneus และ Left Head of the fifth Toe (ด้านซ้ายของร่างกาย)* และทำการกระโดดออกตัวแบบเท้านำเท้าตามที่ระยะการกระโดด 1.5 และ 2.0 เท่าของความสูงของตนเอง ± 20 เซนติเมตร ด้วยความเร็วในการกระโดดออกตัวสูงสุด โดย บันทึกภาพการเคลื่อนไหวใต้น้ำ ในการทดสอบแต่ละครั้งจะพักระหว่างครั้งของการกระโดดเป็นเวลา 5 นาที ทำการปฏิบัติรูปแบบละ 5 ครั้ง และพักระหว่างระยะการกระโดด 10 นาที รวมเวลาทั้งสิ้น ประมาณ 60 นาที

ข้าพเจ้ามีสิทธิ์ถอนตัวออกจากการวิจัยเมื่อใดก็ได้ตามความประสงค์ โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผล ซึ่งการถอนตัวออกจากการวิจัยนั้น จะไม่มีผลกระทบในทางใดๆ ต่อข้าพเจ้าทั้งสิ้น

ข้าพเจ้าได้รับคำรับรองว่า ผู้วิจัยจะปฏิบัติต่อข้าพเจ้าตามข้อมูลที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และข้อมูลใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับข้าพเจ้า ผู้วิจัยจะ**เก็บรักษาเป็นความลับและข้อมูลการบันทึกภาพ จะถูกลบทำลายหลังจากสิ้นสุดการวิจัย** โดยจะนำเสนอข้อมูลการวิจัยเป็นภาพรวมเท่านั้น ไม่มีข้อมูลใดในการรายงานที่จะนำไปสู่การระบุตัวข้าพเจ้า

หากข้าพเจ้าไม่ได้รับการปฏิบัติตรงตามที่ได้ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย ข้าพเจ้าสามารถร้องเรียนได้ที่คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 254 อาคารจามจุรี 1 ชั้น 2 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์/โทรสาร 0-2218-3202

E-mail: eccu@chula.ac.th

เลขที่โครงการวิจัย 221.1/60

วันที่รับรอง 26 ม.ค. 2561

วันหมดอายุ 25 ม.ค. 2562

ข้าพเจ้าได้ลงลายมือชื่อไว้เป็นสำคัญต่อหน้าพยาน ทั้งนี้ข้าพเจ้าได้รับสำเนาเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และสำเนาหนังสือแสดงความยินยอมไว้แล้ว

ลงชื่อ.....
(นางสาวปนัดดา อี่ยาง)
ผู้วิจัยหลัก

ลงชื่อ.....
(.....)
ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

เลขที่โครงการวิจัย 221.1/60
วันที่รับรอง 26 พ.ค. 2561
วันหมดอายุ 25 พ.ค. 2562

ลงชื่อ.....
(.....)
พยาน

ภาคผนวก ก
แบบคัดกรองผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

การวิเคราะห์ท่าทางการว่ายน้ำใต้น้ำหลังการกระโดดระหว่างการกระโดดที่ระยะทางแตกต่างกันในนักกีฬาว่ายน้ำชาย อายุ 18-25 ปี
วันที่...../...../..... รหัสผู้เข้าร่วมวิจัย.....

โปรดกรอกข้อมูลและตอบคำถามต่อไปนี้ตามความเป็นจริง ข้อมูลทั้งหมดในแบบสอบถามจะถูกเก็บเป็นความลับและใช้ในงานวิจัยเท่านั้น

1. ข้อมูลพื้นฐานของผู้เข้าร่วมวิจัย

รหัสผู้เข้าร่วมวิจัย.....
อายุ.....ปี.....เดือน.....วัน
น้ำหนัก.....กิโลกรัม ส่วนสูง.....เซนติเมตร
ดัชนีมวลกาย (BMI) น้ำหนักตัว (กก.)/ส่วนสูง (ม.^{2}).....
ปัจจุบันสังกัด ☐ ชมรมว่ายน้ำสิงห์ คอร์เปอเรชั่น
☐ ชมรมว่ายน้ำจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
☐ ชมรมว่ายน้ำมหาวิทยาลัยอื่น ๆ ในกรุงเทพฯ โปรดระบุ.....
.....

ประเภทที่เคยเข้าร่วมการแข่งขันในระดับสมาคม ชมรม มหาวิทยาลัย หรือระดับสูงกว่า (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)
☐ ฟรีสไตล์ (Freestyle)
☐ กบ (Breaststroke)
☐ ผีเสื้อ (Butterfly)
☐ เดี่ยวผสม (Individual Medley)

ประสบการณ์ในการว่ายน้ำ.....ปี
ปัจจุบัน ฝึกซ้อมว่ายน้ำ.....ครั้ง/สัปดาห์ ประมาณวันละ.....นาที
ผลการแข่งขันสูงสุดในระยะ 3 ปีที่ผ่านมา ได้แก่.....
.....
.....

ความถนัดการออกตัวที่ใช้ในการแข่งขัน ☐ การออกตัวแบบเท้านำเท้าตาม (Track start)
☐ การออกตัวแบบจับแท่น (Grab start)

เลขที่โครงการวิจัย 221.1/60
วันที่รับรอง 26 ม.ค. 2561
วันหมดอายุ 25 ม.ค. 2562

2. ข้อมูลทางด้านสุขภาพของผู้เข้าร่วมวิจัย

2.1 ท่านมีโรคประจำตัวหรือไม่

☐ ไม่มี ☐ มี (โปรดระบุ).....

2.2 ท่านเคยมีประวัติการบาดเจ็บของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อระดับรุนแรงจนได้รับการรักษาทางการแพทย์ที่มากกว่าการได้รับยาถูนวดหรือไม่

☐ ไม่เคย

☐ เคย (โปรดระบุ).....

เมื่อใด (วัน/เดือน/ปี).....

2.3 ปัจจุบันท่านยังมีอาการบาดเจ็บของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อที่ส่งผลต่อการว่ายน้ำอยู่หรือไม่

☐ ไม่มี ☐ มี (โปรดระบุ).....

3. สรุปคุณสมบัติ

☐ ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมงานวิจัย

☐ ไม่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมงานวิจัย

หมายเหตุ ในกรณีผู้วิจัยพบว่าผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยไม่อยู่ในเกณฑ์คัดเข้า และอยู่ในสภาวะที่สมควรได้รับความช่วยเหลือ/แนะนำ ทางผู้วิจัยจะให้คำแนะนำเบื้องต้นเกี่ยวกับการออกกำลังกายเพื่อเสริมสร้างสมรรถภาพทั้งกายและจิตให้แก่ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

เลขที่โครงการวิจัย 221.1/60

วันที่รับรอง 26 ม.ค. 2561

วันหมดอายุ 25 ม.ค. 2562

ผู้ดำเนินการคัดเลือก.....

(นางสาวปนัดดา ลี้ยาง)

ภาคผนวก ข

การศึกษานำร่อง (Pilot Study)

ทำการศึกษานำร่องเพื่อหาระยะกระโดดในนักกีฬากลุ่มเป้าหมาย โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

1. เก็บข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ส่วนสูง
2. วางแผ่นแสดงระยะทางบริเวณขอบสระ ติดตั้งกล้อง Video base จำนวน 1 ตัว บริเวณขอบสระทางด้านซ้ายของแท่นกระโดด โดยให้สามารถบันทึกภาพขณะลงน้ำและแผ่นวัดระยะทางในจอภาพ
3. ทำการอบอุ่นร่างกายโดยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของร่างกายเป็นเวลา 6 นาที (ภาคผนวก ฅ)
4. กลุ่มตัวอย่างยืนบนแท่นกระโดดด้วยตำแหน่งการยืนในท่าเริ่มต้นแบบเท้านำเท้าตาม โดยเท้าข้างหนึ่งวางที่ขอบด้านหน้าของแท่นกระโดดและเท้าอีกข้างหนึ่งวางอยู่บริเวณขอบด้านหลังของแท่นกระโดด ด้วยการจัดตำแหน่งมือทั้งสองจับอยู่ด้านหน้าของแท่นกระโดด (Rutemiller, 1995)
5. ออกคำสั่งปล่อยตัวให้กลุ่มตัวอย่างกระโดดออกตัวแบบเท้านำเท้าตามความถนัดของนักกีฬาแต่ละคน โดยพักระหว่างครั้งของการกระโดดเป็นเวลา 5 นาที กลุ่มตัวอย่างกลับมายืนอยู่บนแท่นกระโดดในท่าเริ่มต้น เพื่อรอคำสั่งปล่อยตัวต่อไป รวมเป็นการกระโดด 5 ครั้ง
6. ทำการคูลดาวน์โดยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของร่างกายเป็นเวลา 6 นาที (ภาคผนวก ฅ)

รูปที่ 23 แสดงระยะทางการกระโดดของนักกีฬา

ตารางที่ 18 ระยะทางที่นักกีฬากระโดดได้จากการศึกษานำร่อง

PILOT STUDY DATA							
รหัสนักกีฬา	ความสูงนักกีฬา (cm)	กระโดดครั้งที่ 1	กระโดดครั้งที่ 2	กระโดดครั้งที่ 3	กระโดดครั้งที่ 4	กระโดดครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
1	173	3.00	3.31	3.31	3.32	3.32	3.25
2	185	3.34	3.33	3.33	3.34	3.34	3.34
3	177	3.32	3.33	3.32	3.32	3.31	3.32
ค่าเฉลี่ย (Mean)	178.33						3.30
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	6.11						0.08

ภาคผนวก ค

แบบคัดกรองผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

การวิเคราะห์ท่าทางการว่ายน้ำใต้น้ำหลังการกระโดดระหว่างการกระโดดที่ระยะทางแตกต่างกันในนักกีฬาว่ายน้ำชาย อายุ 18-25 ปี

วันที่...../...../..... รหัสผู้เข้าร่วมวิจัย.....

โปรดกรอกข้อมูลและตอบคำถามต่อไปนี้ตามความเป็นจริง ข้อมูลทั้งหมดในแบบสอบถามจะถูกเก็บเป็นความลับและใช้ในงานวิจัยเท่านั้น

1. ข้อมูลพื้นฐานของผู้เข้าร่วมวิจัย

รหัสผู้เข้าร่วมวิจัย.....

อายุ.....ปี.....เดือน.....วัน

น้ำหนัก.....กิโลกรัม ส่วนสูง.....เซนติเมตร

ดัชนีมวลกาย (BMI) น้ำหนักตัว (กก.)/ส่วนสูง (ม.^{2}).....

ดัชนีมวลกาย (BMI) น้ำหนักตัว (กก.)/ส่วนสูง (ม.^{2}).....

ปัจจุบันสังกัด ☐ ชมรมว่ายน้ำสิงห์ คอร์เปอเรชั่น

☐ ชมรมว่ายน้ำจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

☐ ชมรมว่ายน้ำมหาวิทยาลัยอื่น ๆ ในกรุงเทพฯ โปรดระบุ.....

ประเภทที่เคยเข้าร่วมการแข่งขันในระดับสมาคม ชมรม มหาวิทยาลัย หรือระดับสูงกว่า (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

☐ ฟรีสไตล์ (Freestyle)

☐ กบ (Breaststroke)

☐ ผีเสื้อ (Butterfly)

☐ เดี่ยวผสม (Individual Medley)

ประสบการณ์ในการว่ายน้ำ.....ปี

ปัจจุบัน ฝึกซ้อมว่ายน้ำ.....ครั้ง/สัปดาห์ ประมาณวันละ.....นาที

ผลการแข่งขันสูงสุดในระยะ 3 ปีที่ผ่านมา

ได้แก่.....

.....

ความถนัดการออกตัวที่ใช้ในการแข่งขัน ☐ การออกตัวแบบเท้านำเท้าตาม (Track start)

☐ การออกตัวแบบจับแท่น (Grab start)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. ข้อมูลทางด้านสุขภาพของผู้เข้าร่วมวิจัย

2.1 ท่านมีโรคประจำตัวหรือไม่

☐ ไม่มี ☐ มี (โปรระบุ).....

2.2 ท่านเคยมีประวัติการบาดเจ็บของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อระดับรุนแรงจนได้รับการรักษาทางการแพทย์ที่มากกว่าการได้รับยาถูนวดหรือไม่

☐ ไม่เคย

☐ เคย (โปรดระบุ).....

เมื่อใด (วัน/เดือน/ปี).....

2.3 ปัจจุบันท่านยังมีอาการบาดเจ็บของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อที่ส่งผลต่อการว่ายน้ำอยู่หรือไม่

☐ ไม่มี ☐ มี (โปรระบุ).....

3. สรุปคุณสมบัติ

☐ ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมงานวิจัย

☐ ไม่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมงานวิจัย

หมายเหตุ ในกรณีผู้วิจัยพบว่าผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยไม่อยู่ในเกณฑ์คัดเข้า และอยู่ในสภาวะที่สมควรได้รับความช่วยเหลือ/แนะนำ ทางผู้วิจัยจะให้คำแนะนำเบื้องต้นเกี่ยวกับการออกกำลังกายเพื่อเสริมสร้างสมรรถภาพทั้งกายและจิตให้แก่ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผู้ดำเนินการคัดเลือก.....

(นางสาวปนัดดา ลี้ยาง)

ภาคผนวก ฅ

การอบอุ่นร่างกาย

กลุ่มตัวอย่างทำการอบอุ่นร่างกายก่อนทำการทดลอง และทำการคูลดาวน์ภายหลังการทดลอง โดยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของร่างกาย ทั้งหมด 6 ท่า ทำท่าละ 1 นาที เป็นเวลา 6 นาที

ท่ายืดเหยียดกล้ามเนื้อหัวไหล่ทำทั้งข้างซ้ายและข้างขวาสลับกัน ข้างละ 30 วินาที ท่าที่ 1

จุฬาลง
CHULALO

ท่ายืดเหยียดกล้ามเนื้อหลังแขนทำทั้งข้างซ้ายและข้างขวาสลับกัน ข้างละ 30 วินาที ท่าที่ 2

ท่ายืดเหยียดกล้ามเนื้อหลัง ท่าที่ 3

ท่ายืดเหยียดกล้ามเนื้อหลังขา ท่าที่ 4

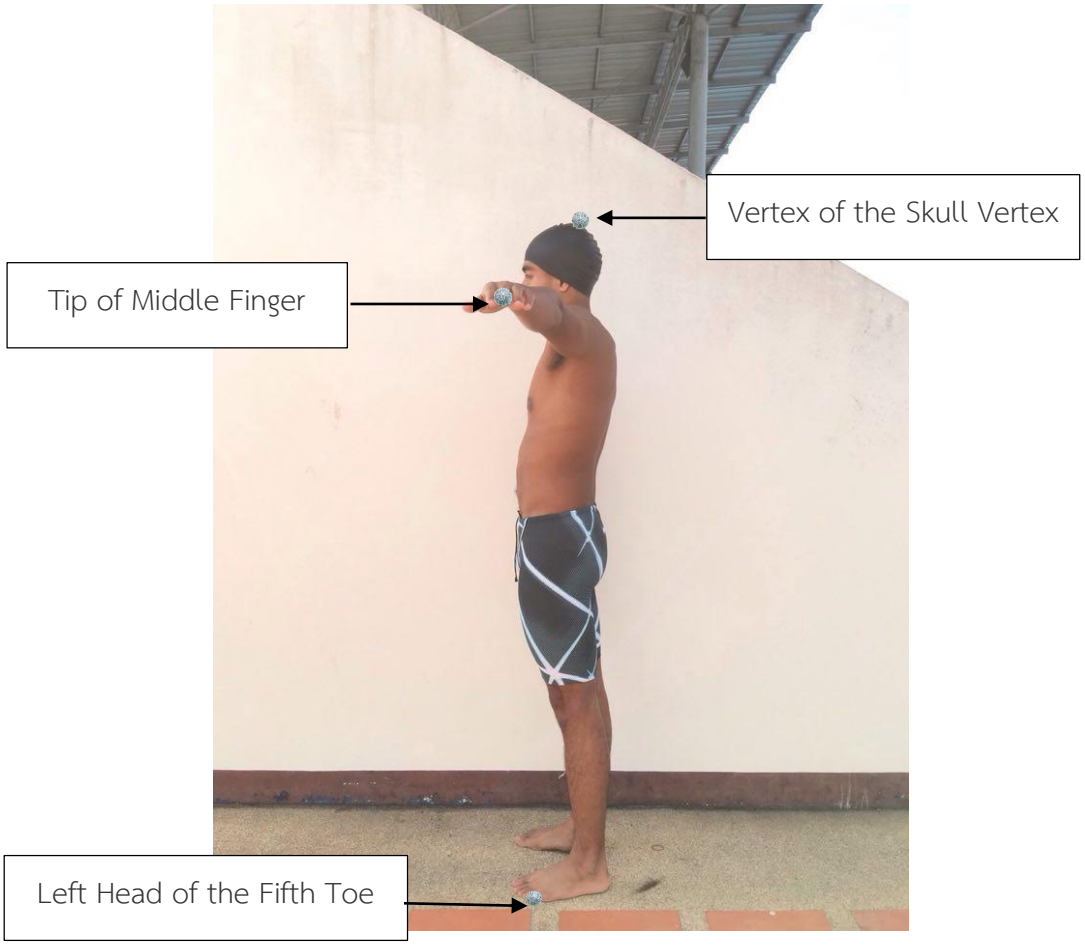
ท่ายืดเหยียดกล้ามเนื้อก้น ขา ไหล่ และแขน ทำทั้งข้างซ้ายและข้างขวาสลับกัน ข้างละ 30 วินาที ท่าที่ 5

ท่ายืดเหยียดกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว ท่าที่ 6

รูปที่ 24 แสดงการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ

ภาคผนวก ฆ

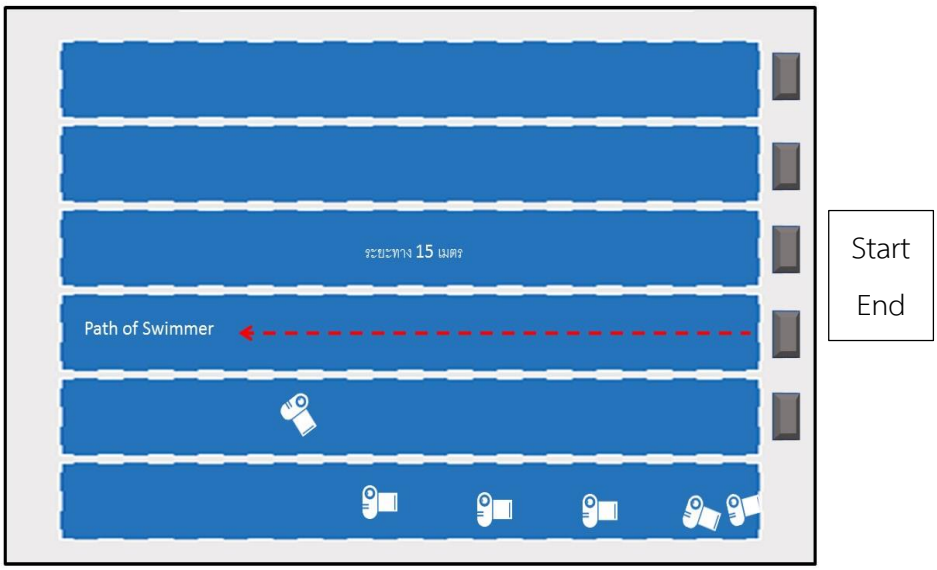
แสดงมาร์กเกอร์บอกตำแหน่ง (Retro Reflective Marker)



รูปที่ 25 แสดงมาร์กเกอร์บอกตำแหน่ง (Retro Reflective Marker)

ภาคผนวก ง

ตำแหน่งการวางกล้องเพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนไหว



รูปที่ 26 แสดงตำแหน่งการวางกล้องเพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนไหว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก จ

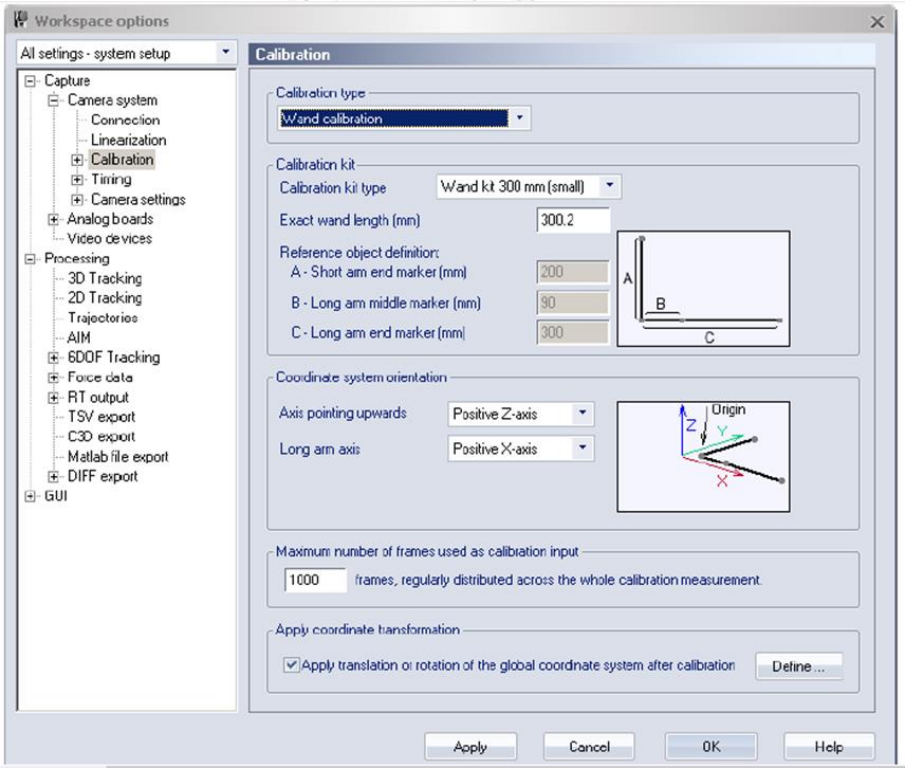
ขั้นตอนการทำ calibration

Calibration of the system

1. วางโครงสร้างการ calibration ใน measurement volume เพื่อให้กล้องทั้งหมดสามารถมองเห็น marker ทั้งสี่ตัวบนโครงสร้างการ calibration ได้

2. ตรวจสอบการตั้งค่าการ Calibration ในปุ่ม Project options โดยคลิก Project options ในเมนู จากนั้นคลิก Calibration ตรวจสอบให้แน่ใจว่าได้ตั้งค่าทั้งหมดไว้ตามภาพดังต่อไปนี้แล้ว จากนั้นคลิก OK เพื่อกลับไปยังหน้าต่างแสดงตัวอย่าง

หมายเหตุ: ความยาวที่แน่นอนของ wand เป็นของแต่ละโครงสร้างการ calibration โดยการตรวจสอบแผ่นบน wand นั้น ก็เพื่อให้ได้ความยาวที่แน่นอนของ wand และเพื่อให้ป้อนค่าได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 27 แสดง Wand Calibration

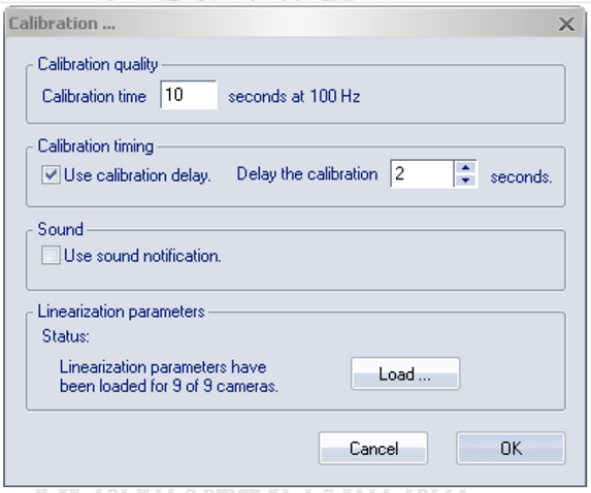
(QTM Qualisys Track Manager User Manual, 2011)

หมายเหตุ: หากแทนที่ด้วย wand 750 การตั้งค่า Calibration kit type จะต้องเปลี่ยนแปลงด้วย

3. คลิกไอคอน Calibration หรือคลิก Calibrate ในเมนู Capture เพื่อเปิดไดอะล็อก Calibration

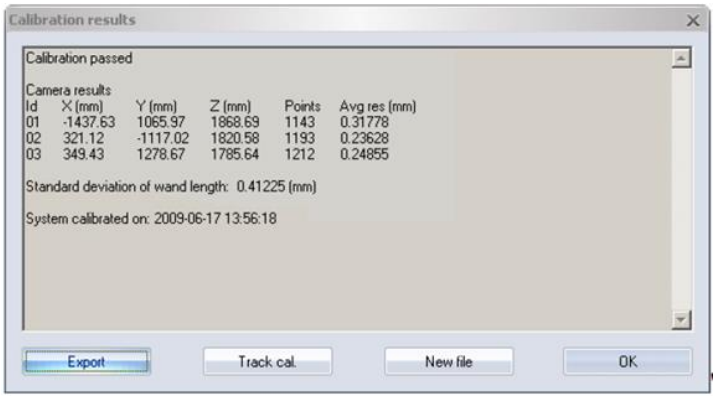
4. ตรวจสอบว่าได้ติดตั้งไฟล์ linearization ของกล้องไว้แล้วหรือไม่ โดยดูที่ส่วนบนของ Linearization parameters หากยังไม่ได้ติดตั้งไฟล์ คลิกที่ Load และทำตามคำแนะนำในบท "Linearization of the camera"

5. ป้อน calibration times 10 วินาทีลงใต้หัวข้อ Calibration quality จากนั้นคลิก OK เพื่อเริ่ม calibration capture สำหรับคำอธิบายเกี่ยวกับวิธีการ calibration ดูได้จากบท "Wand calibration method"



รูปที่ 28 แสดง Calibration Quality
(QTM Qualisys Track Manager User Manual, 2011)

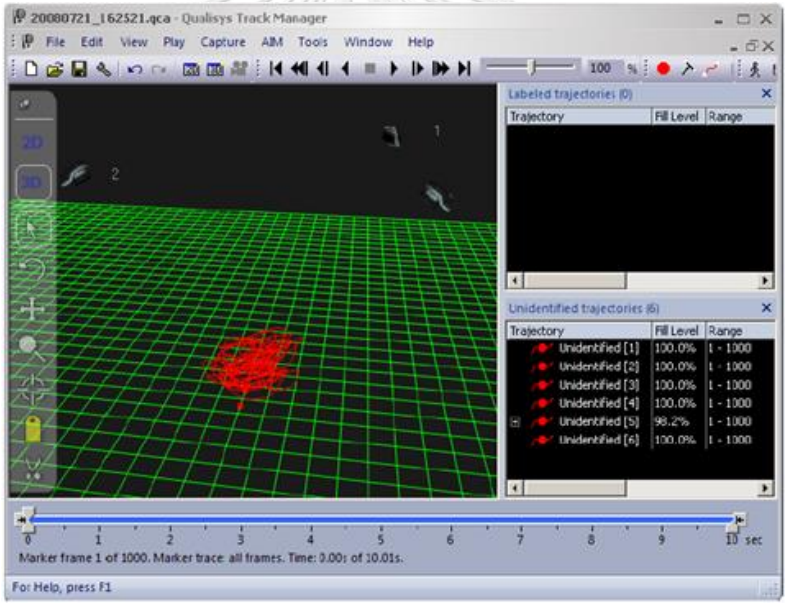
6. เมื่อการ calibration เสร็จสิ้น หน้าต่างที่มีผลการ calibration จะปรากฏขึ้น โดยผลการทดสอบจะแจ้งให้คุณทราบถึง calibration passed และผลการทดสอบบางอย่างของ calibration quality



รูปที่ 29 แสดง Calibration Results

(QTM Qualisys Track Manager User Manual, 2011)

7. นอกจากนี้คุณยังสามารถดู measurement volume ได้โดยคลิก Track cal



รูปที่ 30 แสดง Measurement Volume

(QTM Qualisys Track Manager User Manual, 2011)

8. ปิดไฟล์ calibration โดยการคลิก Close ในเมนู File และ Remove the calibration object ซึ่ง measurement volume จะได้รับการ calibration และการ measurement สามารถนำมาเริ่มต้นใหม่ได้

Calibration

การ Calibration ประกอบด้วยการตั้งค่าการ calibration ที่จำเป็นเพื่อให้เกิด correct calibration ซึ่งข้อมูลที่ถูกป้อนโดยทางอื่นจะทำให้ได้ข้อมูลการจับภาพเคลื่อนไหวที่ไม่มีคุณภาพเท่าที่ควร สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการ calibration

Calibration type

เลือกประเภทการ calibration ที่จะใช้ โดยประเภทการ calibration ที่สนับสนุน ได้แก่ **Wand calibration, Frame calibration** และ **Fixed camera calibration** ซึ่งทั้งสามแบบได้อธิบายไว้ด้านล่างนี้

Wand calibration

Wand calibration ใช้การ calibration 2 แบบเพื่อการ calibration ระบบ หนึ่งคือโครงสร้างอ้างอิงแบบ L-shaped ซึ่งมี marker สี่ตัวติดอยู่ โครงสร้างแบบ stationary L (เรียกว่า reference object below) กำหนดจุดกำเนิดและการวางแนวของระบบในพิกัดที่จะใช้กับระบบกล้อง วัตถุที่ใช้ในการ calibration อื่น ๆ เรียกว่า calibration wand โดยประกอบด้วย marker สองจุดที่อยู่ห่างกัน วัตถุนี้ถูกย้ายไปอยู่ใน measurement volume เพื่อสร้างข้อมูลและกำหนดตำแหน่งทิศทางของกล้อง

Calibration kit

มีการกำหนด calibration kit ซึ่งมีความจำเป็นอย่างมาก โดย calibration kit ใช้สำหรับปรับขนาดและหาพิกัดใน measurement volume จึงจำเป็นต้องใช้วัตถุสองอย่างเพื่อทำการ calibration ระบบ : reference structure และ wand

หมายเหตุ: วัตถุที่ใช้ในการ calibration เป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์การวัดและควรได้รับการดูแลด้วยความระมัดระวัง ข้อผิดพลาดในการปรับขนาดจากการ calibration ที่เสียหายจะแพร่กระจายไปทั่วทั้งการวัดและการวิเคราะห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Calibration kit type

การระบุประเภทของ Calibration kit type ใน drop-down block และการระบุขนาดโครงสร้างอ้างอิงแบบ L-shaped จะมีอัลกอริทึมการ calibration เพื่อหาเครื่องหมายอ้างอิงเมื่อทำการบันทึกการ calibration แล้ว ซึ่งการตั้งค่าสำหรับ calibration kit จะมีสี่ชนิดต่อไปนี้

Wand kit 110 mm

Wand kit 300 mm

Wand kit 750 mm

Kit defined below

Exact wand length

ป้อนระยะห่างระหว่างศูนย์ของ marker ที่สะท้อนแสงบน reference wand ใน Exact wand length ซึ่งได้รับการวัดด้วยความแม่นยำสูงและสามารถพบได้บน plate on the wand

Reference object definition

Reference object definition จะใช้เฉพาะเมื่อ Kit define below เป็นชุด Calibration kit type แล้ว ต้องกำหนดตำแหน่งของ marker ที่สะท้อนบน L-shaped เพื่อระบุเครื่องหมายเฟรมอ้างอิง โดยตำแหน่งจะถูกกำหนดเป็นระยะห่างจาก corner marker (origin marker) ไปยัง marker อื่น ๆ ซึ่งดูจากแถบเครื่องมือ Project options

หมายเหตุ: เมื่อใช้ชุดเครื่องมือมาตรฐาน คำจำกัดความอ้างอิงจะแสดงระยะทางสำหรับชุดอุปกรณ์ที่เลือก

Coordinate system orientation and translation

ภายใต้ Coordinate system orientation เป็นการวางแนวระบบ Coordinate จะมุ่งเน้นไปที่ระบบพิกัดของการจับการเคลื่อนไหวด้วยการเลือกทิศทางของแกน X, Y และ Z ใน measurement volume การวิเคราะห์ที่ตามมาจะเหมือนกันกับที่ใช้สำหรับ reference structure

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Axis pointing upwards และ **Long arm axis** เป็นตัวกำหนดทิศทางของแกน เลือกแกนที่ต้องการในแต่ละการตั้งค่าเพื่อให้ได้ระบบพิกัดที่ต้องการ โดยดูรูปที่อยู่ถัดจากการตั้งค่าเพื่อให้เข้าใจถึงแกนที่ถูกปรับทิศทาง

Maximum number of frames used as calibration input

Maximum number of frames used as calibration input จะจำกัดจำนวนเฟรมที่ใช้ในกระบวนการ calibration ค่าเริ่มต้นคือ 1000 เฟรม หากจำนวนเฟรมในไฟล์การ calibration มีขนาดใหญ่กว่าการตั้งค่านี้เฟรมจะกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้ง measurement เช่น ถ้าเวลาในการ calibration ถูกตั้งไว้ที่ 20 วินาทีจะมีเฟรมประมาณ 2000 เฟรมในไฟล์การ calibration จากนั้นด้วยจำนวนเฟรมเริ่มต้นกรอบทุกวินาทีจะถูกใช้เพื่อ calibration ระบบ

ควรลดค่านี้ลงถ้าคุณมีไดรฟ์ข้อมูลที่คุณสามารถ calibration ได้ภายในประมาณ 10-15 วินาที ซึ่งจะทำให้การคำนวณเร็วขึ้นเล็กน้อย ในทางกลับกันเป็นการดีที่จะเพิ่มกระบวนการนี้โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าไดรฟ์ข้อมูลเป็นไดรฟ์ข้อมูลแบบขยายซึ่งกล้องไม่สามารถดูโครงสร้างอ้างอิงการ calibration ได้ทั้งหมด ในการทดสอบนี้จะทำให้การ calibration และการทดสอบเป็นไปอย่างยาวนานด้วยจำนวนเฟรมสูงสุดที่แตกต่างกันเพื่อดูว่าผลกระทบดังกล่าวมีผลต่อผลการ calibration อย่างไร

Apply Coordinate Transformation

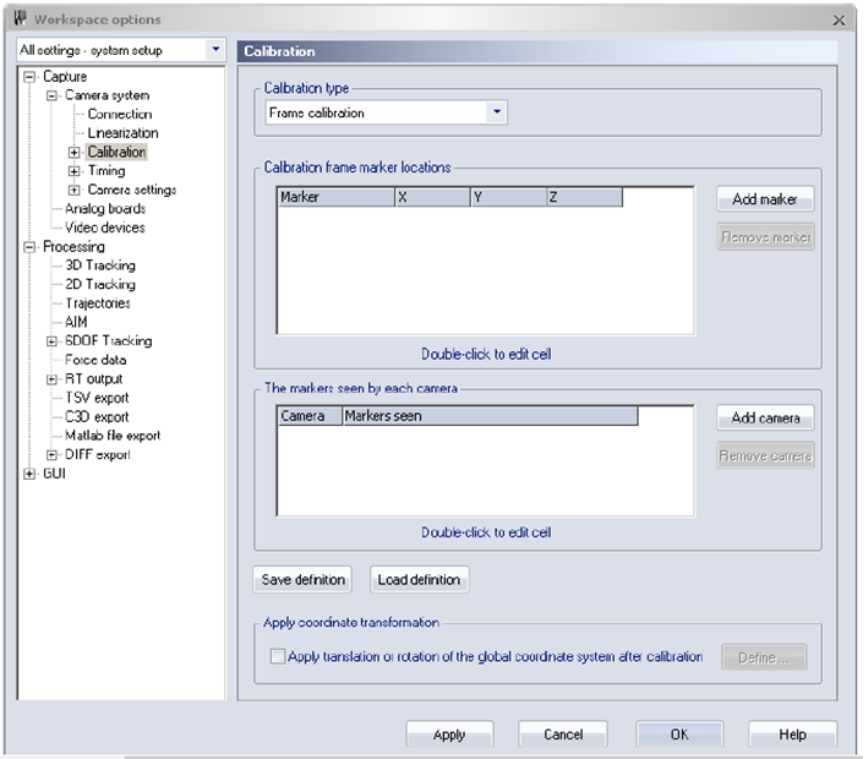
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ด้วยการ Apply coordinate transformation นี้ คุณสามารถแปลและหมุนระบบพิกัดทั้งหมดไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้ โดยเลือก checkbox และจากนั้นคลิก Define เพื่อตั้งค่าการแปลงพิกัดในหน้า Transformation

Frame Calibration

Frame calibration ใช้โครงสร้างที่เข้มงวด (มักเรียกว่า calibration frame) โดยมี marker อย่างน้อยห้าตำแหน่ง ซึ่งจะต้องระบุตำแหน่งที่แน่นอนของ marker ด้วยความแม่นยำสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยจะแนะนำให้วาง marker ไว้ในลักษณะที่ไม่สมมาตร จุดเริ่มต้นและทิศทางของระบบพิกัดของการจับการเคลื่อนไหวจะถูกกำหนดโดยการวางกรอบการ calibration ใช้การ Save definition เพื่อบันทึก current frame definition และโหลดคำจำกัดความที่บันทึกไว้พร้อม Load definition

หมายเหตุ: การ measurement ควรทำภายในไดรฟ์ข้อมูลที่อยู่ภายใน calibration frame เนื่องจากการ measurement ภายนอกนี้ไม่สามารถรับประกันได้ว่ามีความแม่นยำสูง



รูปที่ 31 แสดง Frame Calibration

(QTM Qualisys Track Manager User Manual, 2011)

Calibration Frame Marker Locations

ใช้ปุ่ม Add marker และ Remove marker เพื่อเพิ่มหรือลบเครื่องหมายของ calibration frame จากนั้นดับเบิลคลิกตำแหน่งของแกน X, Y และ Z ของแต่ละ marker เพื่อทำการแก้ไข

หมายเหตุ: ต้องระบุ marker ทั้งหมดเพื่อให้การ calibration frame สำเร็จ

The Markers seen by each Camera

ใช้ปุ่ม Add camera หรือ Remove camera เพื่อปรับจำนวนกล้องในระบบ ป้อนหมายเลขของเครื่องหมายบน calibration frame ที่กล้องแต่ละตัวเห็น (ตัวเลขจะปรากฏในคอลัมน์แรกของคอลัมน์เครื่องหมายปรับเกณฑ์การ calibration) จากนั้นแยกตัวเลขด้วยเครื่องหมายจุลภาค

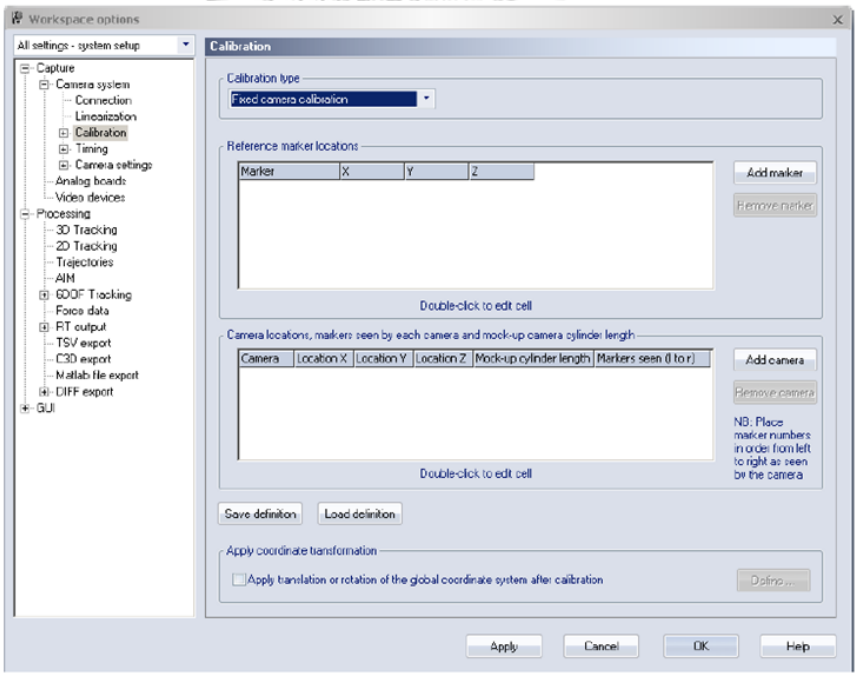
หมายเหตุ: ต้องเพิ่มกล้องเข้าไปทั้งหมดเพื่อให้การ calibration frame สำเร็จ

Apply Coordinate Transformation

การใช้ปุ่ม Apply coordinate transformation ทำให้สามารถแปลและหมุนระบบพิกัดทั้งหมดไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้ เลือก checkbox แล้วจากนั้นคลิก Define เพื่อตั้งค่าการแปลงพิกัดในหน้า transformation

Fixed Camera Calibration

ในหน้าการ calibration สำหรับการ calibration กล้อง ควรป้อนข้อมูลจากการวัดแบบสำรวจ แต่หากไม่สามารถดูหน้าการ calibration นี้ได้ ให้เปลี่ยน Calibration type เป็น Fixed camera calibration สำหรับข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับระบบกล้องถ่วงติดต่อ Qualisys AB เกี่ยวกับคู่มือ QTM - Marine รวมถึงคำอธิบายโดยละเอียดเกี่ยวกับการติดตั้งกล้อง การวัดแบบสำรวจการ calibration กล้องถ่วง การตรวจสอบความถูกต้อง และการใช้งาน 6DOF ในการใช้งานทางทะเล



รูปที่ 32 แสดง Fixed Camera Calibration
(QTM Qualisys Track Manager User Manual, 2011)

ใช้ปุ่ม Save definition และ Load definition เพื่อบันทึกตามลำดับโหลดข้อมูลสำหรับการ calibration กล้อง

หมายเหตุ: ในครั้งแรกที่ป้อนข้อมูล จะต้องป้อนด้วยตนเอง

Reference Marker Locations

Reference marker locations ควรป้อนข้อมูลการสำรวจของตำแหน่งเครื่องหมายอ้างอิง ใช้เครื่องหมาย Add marker และ Remove marker เพื่อเพิ่มหรือลบตำแหน่งเครื่องหมายอ้างอิง และเพิ่มเครื่องหมายตามลำดับทางกายภาพจากซ้ายไปขวา ซึ่งวิธีนี้จะทำให้สามารถป้อนเครื่องหมายที่มองเห็นได้ง่ายขึ้น จากนั้นดับเบิลคลิกตำแหน่งของแกน **X, Y** และ **Z** ในแต่ละเครื่องหมายเพื่อแก้ไข

หมายเหตุ: ต้องป้อนตำแหน่งทั้งหมดของ marker เพื่อทำการ calibration กล้องให้สำเร็จ

Camera locations and markers seen by each camera in order from left to right

Camera locations and markers seen by each camera in order from left to right ควรป้อนข้อมูลการสำรวจของตำแหน่งกล้อง ใช้ปุ่ม Add camera เพื่อเพิ่มกล้องใหม่ในรายการ โดยกล้องจะต้องป้อนตามลำดับเดียวกับระบบกล้องต้นแบบจาก MCU และจะไม่สามารถจัดเรียงกล้องใหม่ได้หลังจากที่เพิ่มกล้องเข้ามาแล้ว ให้ทำการดับเบิลคลิกที่คอลัมน์เพื่อป้อนข้อมูลต่อไปนี้

ตำแหน่งแกน X, ตำแหน่งแกน Y และตำแหน่งแกน Z

การสำรวจ measurement data ของกล้อง

Mock-up Cylinder Length

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ความยาวของ cylinder ที่ใช้ในกล้องถ่ายรูปเมื่อทำ survey measurement

หมายเหตุ: ความยาวนี้เป็นระยะห่างระหว่างแผ่นดิสก์ของกล้องกับด้านด้านหน้าของ cylinder สำหรับ Pro Reflex MCU อยู่เสมอที่ 18 มม.

Markers Seen (l to r)

Marker ที่มองเห็นได้จากกล้อง ป้อนข้อมูลเหล่านี้ตามลำดับจากซ้ายไปขวาตามที่กล้องมองเห็นและแยกด้วยเครื่องหมายจุลภาค (ตัวเลขอ้างอิงถึงคอลัมน์แรกในรายการที่ตั้งของจุดอ้างอิง)

หมายเหตุ: QTM ใช้เครื่องหมายบนสุดในหน้าต่างมุมมอง 2D เป็น reference marker

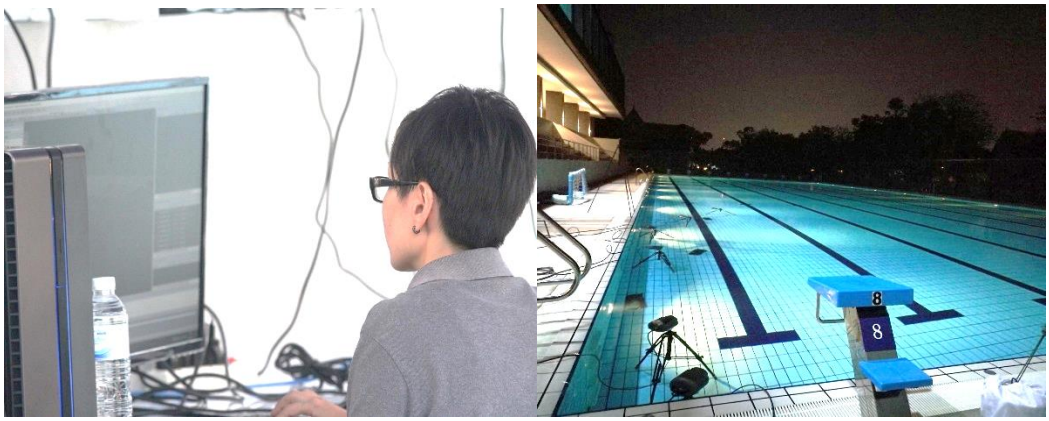
หมายเหตุ: กล้องทั้งหมดจะต้องถูกเพิ่มเข้าไปเพื่อให้การ calibration กล้องสำเร็จ

ภาคผนวก ฉ

รูปภาพการเตรียมความพร้อมก่อนทดลอง และขณะทำการทดสอบ

รูปที่ 33 นักกีฬายืดเหยียดกล้ามเนื้อ

รูปที่ 34 ทำความสะอาดร่างกายก่อนติดมาร์กเกอร์



รูปที่ 35 การวางกล้องและเซ็ทระบบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 36 นักกีฬารอคำสั่งในการปล่อยตัว

รูปที่ 37 ดำเนินการทดลอง

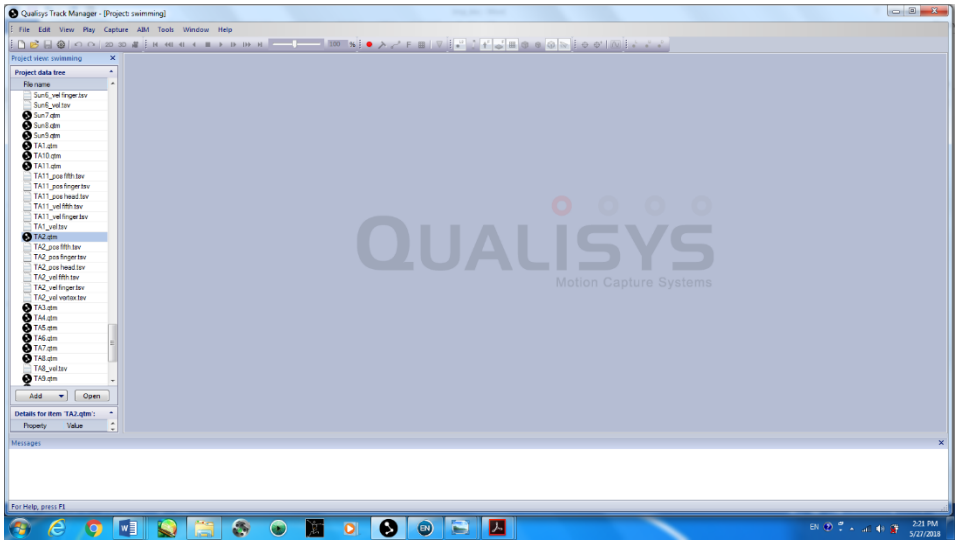
ภาคผนวก ช

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล Visual-3D โดยโปรแกรม Qualisys Motion Capture System

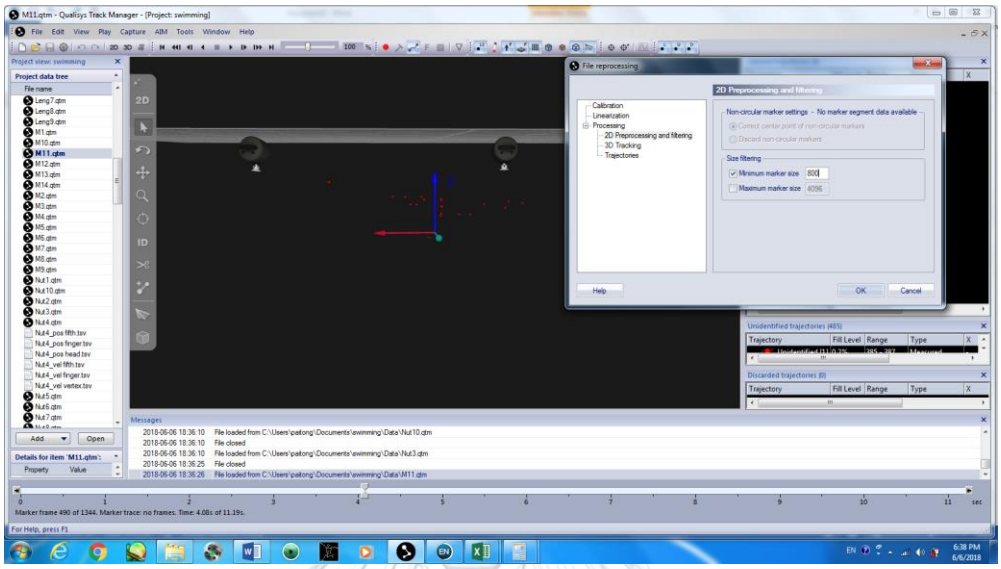
1. เมื่อเปิดโปรแกรม Qualisys Motion Capture System เรียบร้อยแล้ว กดปุ่ม Open data file เพื่อเปิดข้อมูลที่เก็บไว้

2. จากนั้นเลือกคำสั่ง “Open File” เพื่อเปิดข้อมูลการทดสอบการว่ายน้ำของกลุ่มตัวอย่างในแต่ละระยะทาง

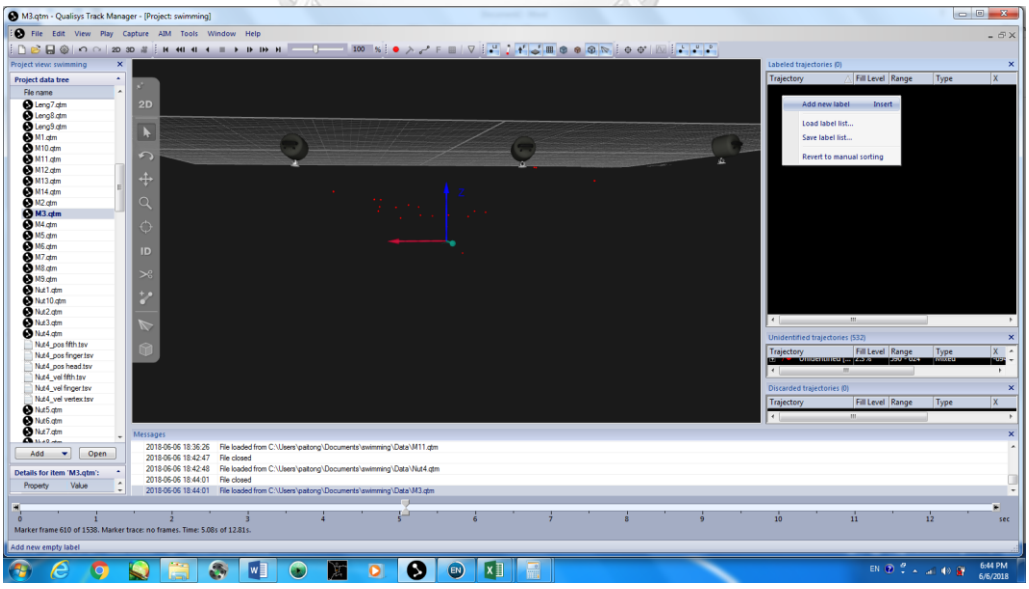
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



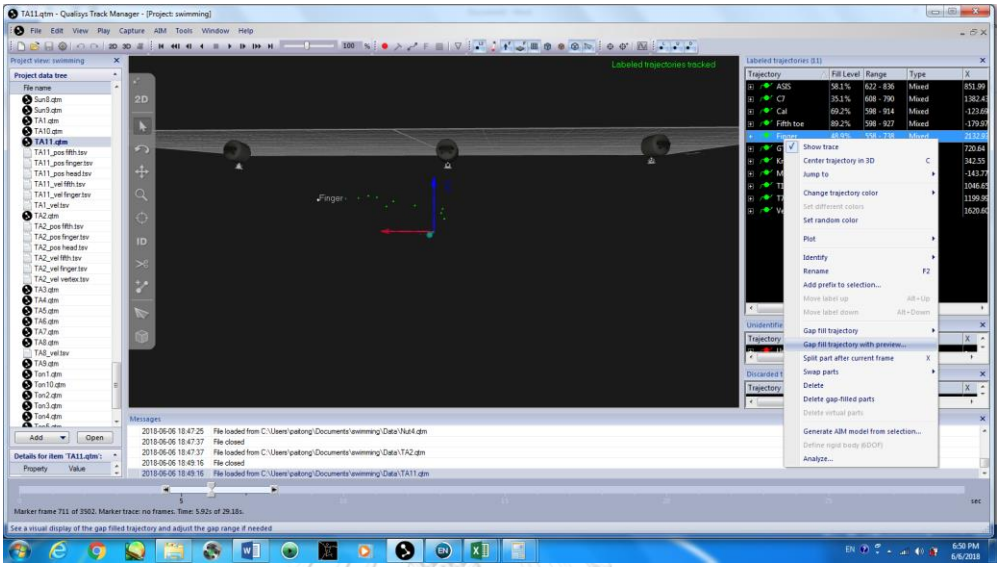
3. ทำการเลือกเฟรมที่เราต้องการจะศึกษาข้อมูล จากนั้นเลือกคำสั่ง “Reprocess” เพื่อปรับความละเอียดของการจับตำแหน่งมาร์กเกอร์ในโปรแกรม



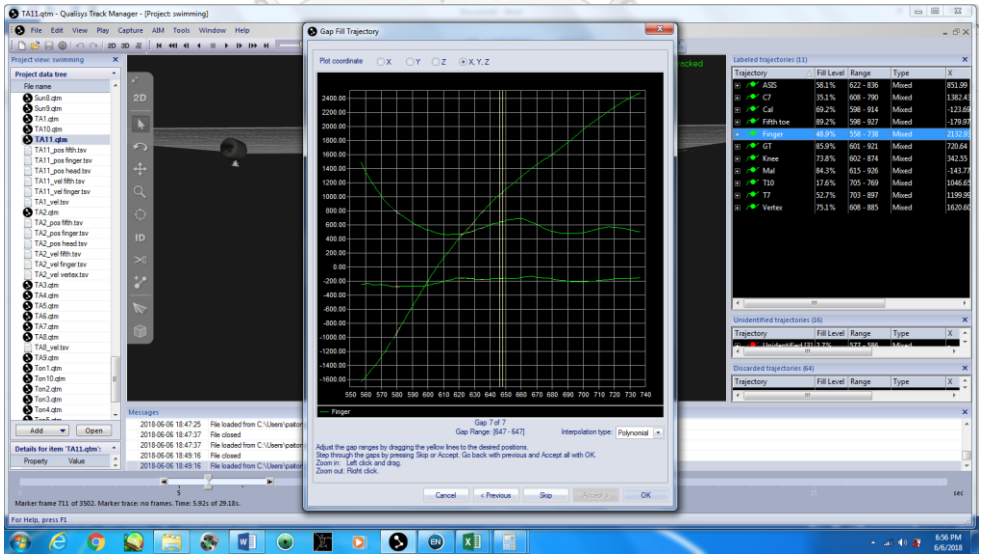
4. ระบุจุดมาร์เกอร์ (Tracking Process) ที่เราต้องการจะศึกษาการเคลื่อนไหวของนักกีฬา



5. ในกรณีที่ไม่สามารถมองเห็นมาร์กเกอร์ในบางเฟรม ให้คลิกเมาส์ด้านขวาบริเวณชื่อมาร์กเกอร์ที่เรากำหนดไว้ จากนั้นเลือกคำสั่ง “Gap Fill Trajectory with Preview”

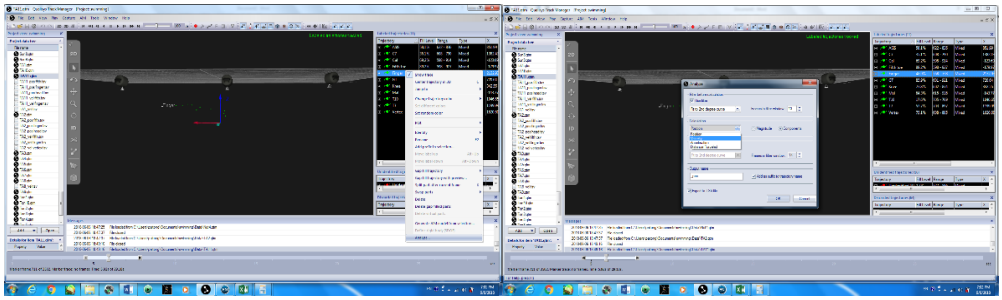


6. เลือกแกน X,Y,Z จากนั้นกดปุ่ม Accept แล้วกดปุ่ม OK



7. เมื่อทำการระบุจุดมาร์เกอร์ (Tracking Process) เรียบร้อยแล้ว ถ้าต้องการวิเคราะห์ข้อมูลให้คลิกเมาส์ด้านขวาบริเวณชื่อมาร์กเกอร์ที่เราต้องการจะวิเคราะห์จากนั้นเลือกคำสั่ง “Analyze” จะปรากฏหน้าต่างดังรูปขวามือ ทำเครื่องหมายติ๊กถูกที่ “Use filter” เลือกคำสั่ง “Calculation” เพื่อ

กำหนดค่าที่ต้องการวิเคราะห์ ถ้าต้องการไฟล์ Excel ให้ทำเครื่องหมายติ๊กถูกที่ช่อง Export to TSV file แล้วกดปุ่ม OK



8. หน้าต่างจะปรากฏกราฟที่เราต้องการออกมาจากนั้นเลือกคำสั่ง “Data Editor” ข้อมูลค่าของแกน X,Y,Z จะปรากฏขึ้น แล้วเลือกข้อมูลนำไปวิเคราะห์ผล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปนัดดา ลี้ยาง เกิดเมื่อวันที่ 05 ตุลาคม 2533 ที่อยู่ปัจจุบัน 140/424 ซอยรามคำแหง 60/3 แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240 โทรศัพท์ 089-9810433 e-mail thing_boxer@hotmail.com

สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสายน้ำผึ้ง ในพระอุปถัมภ์ฯ จังหวัดกรุงเทพฯ ปีการศึกษา 2552 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทายาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา (เกียรตินิยมอันดับ 2) ปีการศึกษา 2556 ปัจจุบัน กำลังศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต แขนงวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในภาคปลาย ปีการศึกษา 2560

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University