บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มุ่งศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเร็วของลูกเสิร์ฟในการแข่งขันเทนนิส ซึ่งเป็นการศึกษาวิจัยโดยการสังเกต (นbservational research design) ในการศึกษาวิจัยนักกีฬาเทนนิสจำนวน 2 คน ที่สนามเทนนิสของกระทรวงการท่องเที่ยวและการกีฬา เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของลูกเทนนิสตั้งแต่ขณะลอยสูงสุดถึงขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้และความเร็วของลูกเสิร์ฟในการแข่งขันเทนนิส ตลอดจนศึกษาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของผู้เสิร์ฟที่มีผลต่อความเร็วในการเสิร์ฟเทนนิส

ประชากร

ประชากร คือ การเสิร์ฟในการแข่งขันเทนนิส โดยนักเทนนิสมีความชำนาญในการตีเทนนิส (National Tennis Rating Program: NTRP) ในระดับไม่ต่ำกว่า 5.0

กลุ่มตัวอย่าง คือ การเสิร์ฟในการแข่งขันเทนนิส โดยนักเทนนิสที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกเข้ามาศึกษาจำนวน 2 คน

เกณฑ์การคัดเลือกเข้ามาศึกษา (inclusion criteria)

1. การเสิร์ฟที่เกิดจาก
   - นักเทนนิสไทยเพศชาย
   - นักเทนนิสเล่นเทนนิสอย่างน้อยสัปดาห์ละ 3 ครั้งในเวลา 3 เดือนที่ผ่านมา
   - นักเทนนิสที่มีความชำนาญในการตีเทนนิส (NTRP) อยู่ในระดับไม่ต่ำกว่า 5.0
   - นักเทนนิสที่สมัครใจและลงลายมือชื่อยินยอมเข้าร่วมในการศึกษาวิจัย
2. การเสิร์ฟเป็นลูกเสิร์ฟระหว่างการแข่งขัน

เกณฑ์การคัดออกจากการศึกษา (exclusion criteria)

1. การเสิร์ฟในการแข่งขันที่มีผู้เล่นประสบอุบัติเหตุระหว่างการศึกษา และไม่สามารถแข่งขันเทนนิสจนจบแมทช์ได้
2. การเสิร์ฟที่ลูกเสิร์ฟกระทบตาข่าย

3. การเสิร์ฟที่มีการโยนลูกแล้วไม่เสิร์ฟ

4. การเสิร์ฟที่ลูกไม่ตกลงในแดนเสิร์ฟ (service line)

5. กรรมการขานว่า "เล็ท" ในการเสิร์ฟครั้งนั้นและให้เสิร์ฟลูกในแต้มนั้นใหม่

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1.1 เครื่องมือสำหรับการสร้างกรอบของจุดอ้างอิง

1.1.1 กล้องสำรวจ Leica (Leica electronic total stations) รุ่น TCR 703

1.1.2 ไม้วัดระดับ (staff) 5 อัน

1.1.3 ขาตั้งกล้องสำรวจ 1 อัน

1.1.4 ขาตั้งไม้วัดระดับ (bipod) จำนวน 5 อัน

1.2 เครื่องมือสำหรับบันทึกภาพการเคลื่อนไหว

1.2.1 เครื่องบันทึกเทปวีดีโอ Panasonic NV-SD320 จำนวน 4 เครื่อง

1.2.2 เครื่อง Synchronized Unit ยี่ห้อ Peak Technology Colorado ผลิตที่ประเทศสหรัฐอเมริกา จำนวน 2 เครื่อง

1.2.3 เครื่องกำหนดเวลาบนภาพ (Time code) Herta SD-50 จำนวน 4 เครื่อง

1.2.4 กล้องถ่ายภาพวีดีโอ Panasonic ที่มีความถี่ 50 Hz ตั้ง Shutter speed ที่ 1/500 วินาที พร้อมขาตั้งกล้อง Monfrotto จำนวน 4 ชุด

1.2.5 จอภาพ Fujiyama CA 688 ขนาด 9 นิ้ว จำนวน 2 เครื่อง

1.2.6 จอภาพ Panasonic BT=S1-460Y ขนาด 14 นิ้ว จำนวน 1 เครื่อง

1.2.7 สายเคเบิลสำหรับต่อพ่วงอุปกรณ์ในการบันทึกภาพ

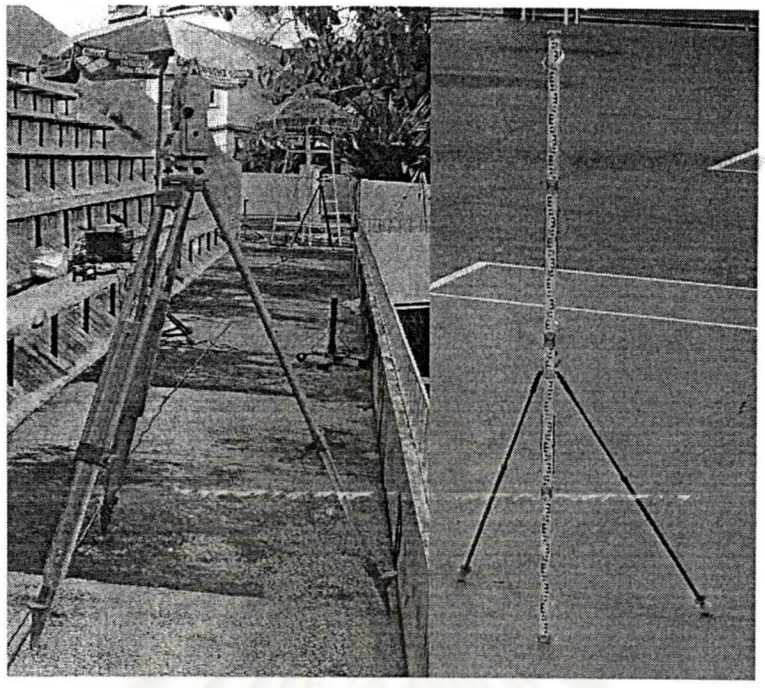
1.2.8 วีดีโอเทประบบ Super VHS รุ่น TDK XP120 จำนวน 10 ม้วน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว

2.1 คอมพิวเตอร์และซอฟแวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว ภายใต้เครื่องหมายการค้า Peak Performance Technologies, Motus 2000 ประเทศสหรัฐอเมริกา

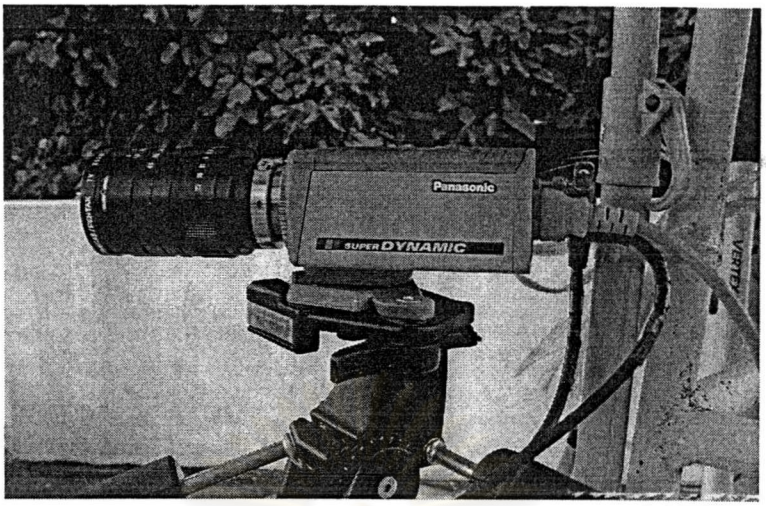
2.2 เครื่องบันทึกภาพและอ่านภาพวีดีโอ Panasonic AG 7350

2.3 จอภาพ Panasonic BT=S1-460Y ที่ใช้ร่วมกับเครื่องบันทึกภาพและอ่านภาพวีดิโอ

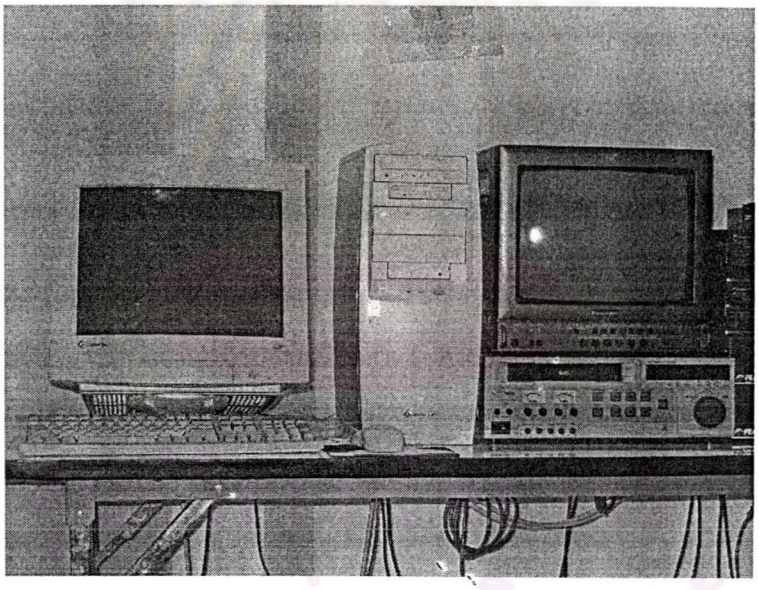


ภาพที่ 3.1 แสดงเครื่องมือสำหรับการสร้างกรอบของจุดอ้างอิง ประกอบด้วย กล้องสำรวจ รุ่น TRC 703 พร้อมขาตั้งกล้อง(ด้านซ้าย) และไม้วัดระดับพร้อมขาตั้ง(ด้านขวา)

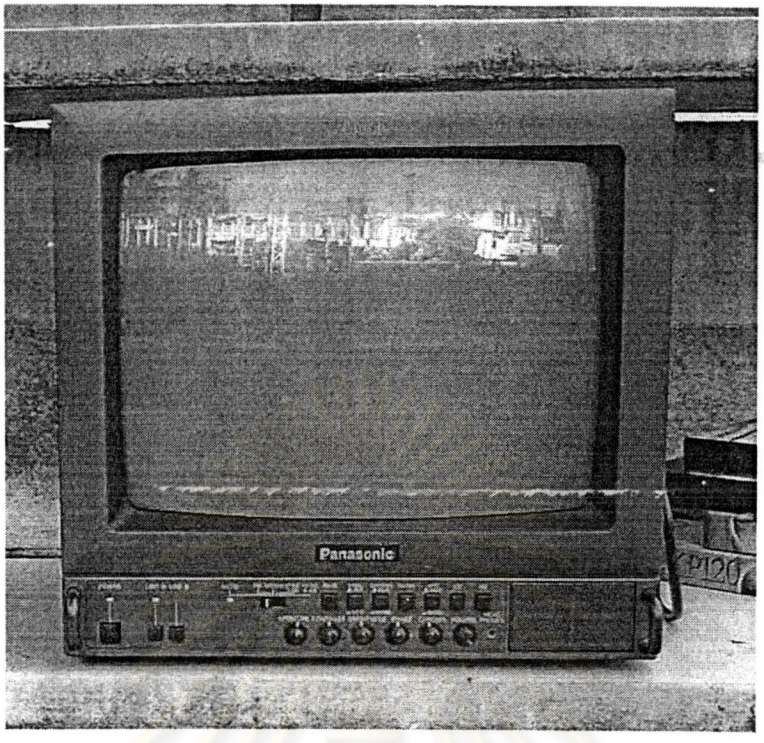
ภาพที่ 3.2 แสดงเครื่องมือสำหรับบันทึกภาพการเคลื่อนไหว ได้แก่ 1.) วีดีโอเทประบบ Super VHS รุ่น TDK XP120 2.) เครื่องกำหนดเวลาบนภาพ (Time code) Herta SD-50จำนวน 2 เครื่อง 3.) เครื่องบันทึกเทปวีดีโอ Panasonic NV-SD320 จำนวน 2 เครื่อง 4.) เครื่อง Synchronized Unit ยี่ห้อ Peak Technology ผลิตที่รัฐ Colorado ประเทศสหรัฐอเมริกา



ภาพที่ 3.3 แสดงกล้องถ่ายภาพวีดีโอ Panasonic ที่มีความถี่ 50 Hz และตั้ง shutter speed ที่ 1/500 วินาที ขณะถ่ายภาพการแข่งขันเทนนิส



ภาพที่ 3.4 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว ได้แก่ คอมพิวเตอร์และซอฟแวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว ภายใต้เครื่องหมายการค้า Peak Performance Technologies, Motus 2000 ประเทศสหรัฐอเมริกา (ด้านซ้าย), เครื่องบันทึกภาพและอ่านภาพวีดีโอ Panasonic AG 7350 (ด้านขวาล่าง) และ จอภาพ Panasonic BT=S1- 460Y (ด้านขวาบน)



ภาพที่ 3.5 แสดงจอภาพ Panasonic BT=S1- 460Y ขนาด 14 นิ้ว

หลักการในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว (21, 22)

ในการศึกษาทางชีวกลศาสตร์นั้นเป็นการเคลื่อนไหวที่มากกว่า 1 ระนาบ หรือ 2 แกน ดังนั้นจึงต้องใช้เครื่องมือวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ โดยวิธีการของ direct linear transformation method (DLT) ที่สำคัญ คือ ใช้เทคนิคการถ่ายภาพแบบความเร็วสูง โดยการใช้กล้องถ่ายภาพความเร็วสูง 2 ตัวขึ้นไป ถ่ายภาพจุดต่างๆที่ทราบค่าพิกัด เป็นจุดอ้างอิง(control points)และที่ไม่ทราบค่าพิกัด (spital coordinates) โดยกำหนดจุดอ้างอิง (control points) อย่างน้อย 6 จุด (ภาพที่ 3.6 ด้านซ้าย) ซึ่งเป็นตัวแปร (parameter) เพื่อนำข้อมูลของจุดอ้างอิงมาคำนวณหาตำแหน่งจุดที่เราไม่ทราบค่าต่างๆเพื่อให้ได้ข้อมูลตำแหน่งที่แม่นยำของวัตถุที่ไม่ทราบค่า (ภาพที่ 3.6 ด้านขวา) โดยการกำหนดตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์ DLT 11 ตัว หรือที่เรียกว่า ตัวแปรคงที่ของกล้อง โดยการหาค่าตัวแปรอิสระ 2 ตัวจากสมการเชิงเส้น (23) คือ

$$Umn = \frac{Axn + Byn + Czn + D}{Exn + Fyn + Gzn + 1}$$

$$Vmn = \frac{Hxn + Jyn + Kzn + L}{Exn + Fyn + Gzn + 1}$$

โดยที่ m แทน จำนวนของกล้อง m = 1,2,....,6

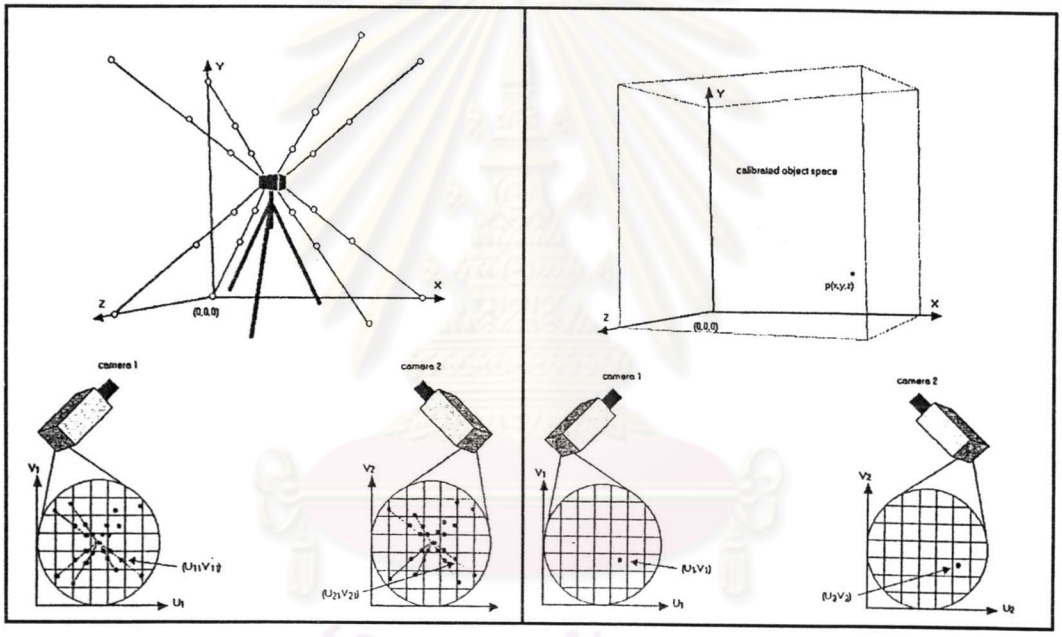
n แทน จำนวนของจุดอ้างอิง n = 1,2,...,n

Umn แทน การเบี่ยงเบนของกล้องในแนวราบ (horizontal camera orientation)

Vmn แทน การเบี่ยงเบนของกล้องในแนวดิ่ง (vertical camera orientation)

A - L แทน ค่าตัวแปรของ DLT หรือ ค่าตัวแปรคงที่ของกล้อง

x, y, z แทน ค่าของพิกัดแบบ 3 มิติของวัตถุ



ภาพที่ 3.6 แสดง วิธีการของ direct linear transformation Method โดยการถ่ายภาพจุดอ้างอิง (ด้านซ้าย) เพื่อนำมาคำนวณหาตำแหน่งของจุดที่ไม่ทราบค่า (ด้านขวา)

หลักการของการคัดกรองข้อมูล (smoothing data technique) (24, 25)

ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของนักกีฬาเทนนิสด้วยแบบสามมิตินั้น ข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้เป็นข้อมูลดิบ (raw data) ข้อมูลดิบที่วิเคราะห์ได้อาจจะมีสิ่งรบกวนหรือข้อมูลที่คลาดเคลื่อน (error) แฝงอยู่ในข้อมูลที่กำลังต้องการศึกษา เช่น ความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณแทรกในอุปกรณ์ไฟฟ้า ความคลาดเคลื่อนของการกำหนดจุดพิกัด (coordinate) ในระหว่าง

ขั้นตอนการบันทึกภาพ พิกัดที่ได้อาจไม่สอดคล้องกับข้อมูลที่ควรจะเป็น ดังนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำและเชื่อถือได้ จึงจำเป็นต้องกำจัดข้อผิดพลาดคลาดเคลื่อนเหล่านั้นออกหรือทำให้มีปริมาณน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สนใจศึกษา โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการปรับค่าข้อมูลดิบให้ออกมาเป็นข้อมูลที่ปรับค่าใหม่ โดยอาศัยพื้นฐานของข้อตกลงที่ว่าลักษณะธรรมชาติของสัญญาณจริงของการเคลื่อนไหวของมนุษย์จะเกิดขึ้นที่ส่วนปลายล่างของความถี่ที่ต่ำ และอีกส่วนหนึ่งจะปะปนอยู่กับสัญญาณที่ไม่จริง (noise) ซึ่งจะเกิดในบริเวณที่มีความถี่สูง ดังนั้นเมื่อนำข้อมูลดิบที่ประกอบด้วยสัญญาณจริงและสัญญาณไม่จริงมาผ่านการคัดกรองด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ โดยการกำหนดค่าความถี่ของขบวนการคัดกรองให้อยู่ในระดับที่สอดคล้องและเหมาะสมกับสัญญาณการเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นจริง เพื่อเป็นข้อมูลที่ปรับค่าใหม่ที่ได้กำจัดข้อผิดพลาดคลาดเคลื่อนออกแล้ว

ความจำเป็นของหาความถี่ที่เหมาะสมเพื่อที่จะมาคัดกรองข้อมูลที่ไม่ต้องการออกไป ก็คือถ้ากำหนดค่าความถี่ของกระบวนการกรองไว้สูงเกินไปจะทำให้สัญญาณไม่จริง(noise) ผ่านได้สะดวก ในทางตรงกันข้ามถ้ากำหนดความถี่ของกระบวนการกรองไว้ต่ำเกินไป จะทำให้สัญญาณไม่จริงผ่านไปไม่ได้หรือหากผ่านไปได้ก็จะถูกตัดทอนปริมาณให้น้อยลง ส่วนสัญญาณจริงนั้นจะผ่านไปได้เป็นอย่างดี แต่จะเป็นสัญญาณที่บิดเบือน (distortion)

ในการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้วิธี Butterworth digital filter เนื่องจากเป็นเทคนิคและวิธีการปรับค่าหรือการขจัดสัญญาณไม่จริงที่ให้ผลเชื่อถือได้สูง โดยมีสมการดังต่อไปนี้

$$X'(nT) = a_0X(nT) + a_1X(nT-T) + a_2X(nT-2T) + b_1X'(nT-T) + b_2X'(nT-2T)$$

โดยที่ X' แทน ค่าพิกัดที่ได้จากการผ่านการคัดกรองข้อมูลแล้ว (filtered output coordinate)

X แทน ค่าพิกัดที่ยังไม่ได้ผ่านการคัดกรองข้อมูล (unfiltered coordinate data)

nT แทน ข้อมูลตัวอย่างลำดับที่ n

(nT-T) แทน ข้อมูลตัวอย่างลำดับที่ (n – 1)

(nT-2T) แทน ข้อมูลตัวอย่างลำดับที่ (n – 2)

a0,..., b2,... แทน สัมประสิทธิ์ของการคัดกรองข้อมูล

ในการศึกษาครั้งนี้ความถี่ของข้อมูลที่เก็บ (f_s) คือ 50 Hz และหาค่าความถี่ของกระบวนการกรองโดยวิธี Residual Analysis โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหวเพื่อคำนวณเพื่อหาสัมประสิทธิ์ของการคัดกรองข้อมูลโดยใช้วิธี Butterworth filter จะมีขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

$$\omega_c = \tan\left(\frac{\pi f_c}{f_s}\right)$$

$$K_1 = \sqrt{2}\omega_c$$

$$K_2 = \frac{\omega_c^2}{2a_0}$$

$$K_3 = K_2$$

$$a_0 = \frac{K_2}{(1 + K_1 + K_2)}$$

$$a_2 = a_0$$

$$a_1 = 2a_0,\ a_2 = a_0$$

$$b1 = -2a_0 + K_3$$

$$b_2 = 1 - 2a_0 - K_3 \text{ หรือ}$$

$$b_2 = 1 - a_0 - a_1 - a_2 - b_1$$

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ขั้นตอนการประสานงานและขอความร่วมมือต่างๆ

1.1 ติดต่อขอความร่วมมือในการใช้สนามเทนนิส ณ กระทรวงการท่องเที่ยวและการกีฬา

1.2 ติดต่อขอความอนุเคราะห์เครื่องมือต่างๆ

1.2.1 เครื่องมือสำหรับบันทึกและวิเคราะห์ภาพการเคลื่อนไหวชุดแรก ได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักวิทยาศาสตร์การกีฬา กระทรวงการท่องเที่ยวและการกีฬา และ

1.2.2 เครื่องมือสำหรับบันทึกภาพการเคลื่อนไหวชุดที่ 2 ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1.2.3 กล้องสำรวจ ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท อีเอสอาร์ไอ (ประเทศไทย) จำกัด

1.2.4 ขาตั้งกล้องสำรวจ ไม้วัดระดับ และขาตั้งไม้วัดระดับได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 ติดต่อนักกีฬาเทนนิสรุ่นเดียวกันที่มีฝีมือใกล้เคียงกันจำนวน 2 คน อธิบายให้นักกีฬาที่เข้าร่วมในโครงการทราบถึงรายละเอียดของโครงการวิจัยอย่างละเอียด และลงนามยินยอมในการเข้าร่วมโครงการศึกษาวิจัย จากนั้นทำการซักประวัติและตรวจร่างกายตามเกณฑ์การคัดเข้าของการศึกษาวิจัย พร้อมทั้งอธิบายวัตถุประสงค์และประโยชน์ที่จะได้รับจากการเข้าร่วมโครงการศึกษาวิจัยให้ผู้เข้าร่วมศึกษาวิจัยทุกคนตระหนักและเข้าใจในการเข้าร่วมศึกษาอย่างละเอียด

1.4 ติดต่อขอความร่วมมือคณะกรรมการตัดสินการแข่งขัน

2. จัดเตรียมสถานที่ และการแข่งขัน

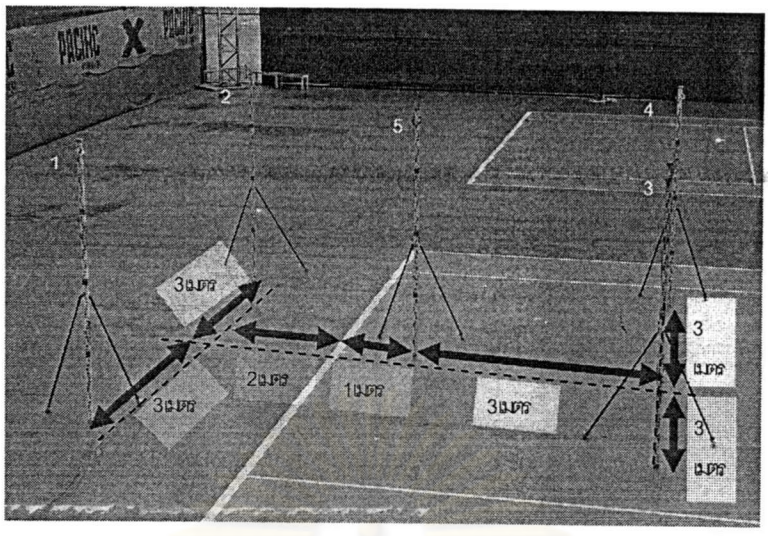
นำผ้าสีเขียวไปขึงไว้รอบบริเวณสนามเทนนิสเพื่อความชัดเจนในการเก็บภาพลูกเทนนิส

3. สร้างกรอบของจุดอ้างอิง

3.1 กำหนดจุดอ้างอิงบนไม้วัดระดับที่มีความยาว 3 เมตร โดยที่ไม้วัดระดับแต่ละอันได้มีการกำหนดจุดอย่างชัดเจน 5 จุด ห่างกันจุดละ 75 เซนติเมตร

3.2 นำไม้วัดระดับพร้อมขาตั้งจำนวน 5 ชุด ไปตั้งไว้ในสนามเทนนิสเพื่อให้คลอบคลุมบริเวณที่ใช้ในการเสิร์ฟ ระหว่างช่วงที่มีการแข่งขันเทนนิส เพื่อใช้เป็นกรอบอ้างอิง (calibration frame) ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับ 6 x 6 x 3 ลูกบาศก์เมตร โดยที่ ไม้วัดระดับพร้อมขาตั้งชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ตั้งไว้ที่ด้านหลังเส้นท้ายสนาม 2 เมตร โดยที่ทั้งสองชุด อยู่ห่างจากจุดกึ่งกลางท้ายสนาม (centre mark) ข้างละ 3 เมตร ส่วนไม้วัดระดับพร้อมขาตั้งชุดที่ 3 และชุดที่ 4 ตั้งอยู่ระหว่างเส้นท้ายสนามและตาข่าย ซึ่งห่างจากเส้นท้ายสนาม 4 เมตร และตั้งอยู่ในแนวเดียวกันกับไม้วัดระดับชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2 ส่วนไม้วัดระดับพร้อมขาตั้งชุดที่ 5 จะตั้งอยู่กึ่งกลางระหว่างไม้วัดระดับทั้ง 4 ชุด ที่กล่าวมา (ภาพที่ 3.7)

3.3 วิศวกรสำรวจใช้กล้องสำรวจวัดระยะทางและมุม เพื่อคำนวณหาตำแหน่งพิกัดแบบสามมิติของจุดอ้างอิงทั้ง 25 จุด



ภาพที่ 3.7 แสดงตำแหน่งของการวางไม้วัดระดับเพื่อใช้เป็นกรอบอ้างอิง

4. บันทึกภาพกรอบของจุดอ้างอิง

4.1 อุปกรณ์สำหรับการบันทึกภาพแต่ละชุด ประกอบด้วย กล้องถ่ายภาพวีดีโอพร้อมขาตั้ง 2 ชุด (ภาพที่ 3.3) เครื่องเล่นเทปวีดีโอ 2 เครื่อง เครื่องกำหนดเวลาบนภาพ 2 เครื่อง และเครื่อง Synchronized Unit (ภาพที่ 3.2) ซึ่งนำไปติดตั้งไว้ที่ด้านหนึ่งของสนามเทนนิส ไม้วัดระดับพร้อมขาตั้งจำนวน 5 ชุด ตั้งไว้ในสนามเทนนิสเพื่อให้คลอบคลุมบริเวณที่ใช้ในการเสิร์ฟ ระหว่างช่วงที่มีการแข่งขันเทนนิส เพื่อใช้เป็นกรอบอ้างอิง (calibration frame) ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับ 6 x 6 x 3 ลูกบาศก์เมตร โดยที่ ไม้วัดระดับพร้อมขาตั้งชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2 ตั้งไว้ที่ด้านหลังเส้นท้ายสนาม 2 เมตร โดยที่ทั้งสองชุด อยู่ห่างจากจุดกึ่งกลางท้ายสนาม (centre mark) ข้างละ 3 เมตร ส่วนไม้วัดระดับพร้อมขาตั้งชุดที่ 3 และชุดที่ 4 ตั้งอยู่ระหว่างเส้นท้ายสนามและตาข่าย ซึ่งห่างจากเส้นท้ายสนาม 4 เมตร และตั้งอยู่ในแนวเดียวกันกับไม้วัดระดับชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2 ส่วนไม้วัดระดับพร้อมขาตั้งชุดที่ 5 จะตั้งอยู่กึ่งกลางระหว่างไม้วัดระดับทั้ง 4 ชุด ที่กล่าวข้างต้น

4.2 ตั้งกล้องทั้งสองไว้บนอัฒจรรย์ ซึ่งสูงจากพื้นสนามเทนนิสประมาณ 3 เมตร โดยที่กล้องทั้งสองตัวทำมุมกันประมาณ 70 องศา (ภาพที่ 3.8)

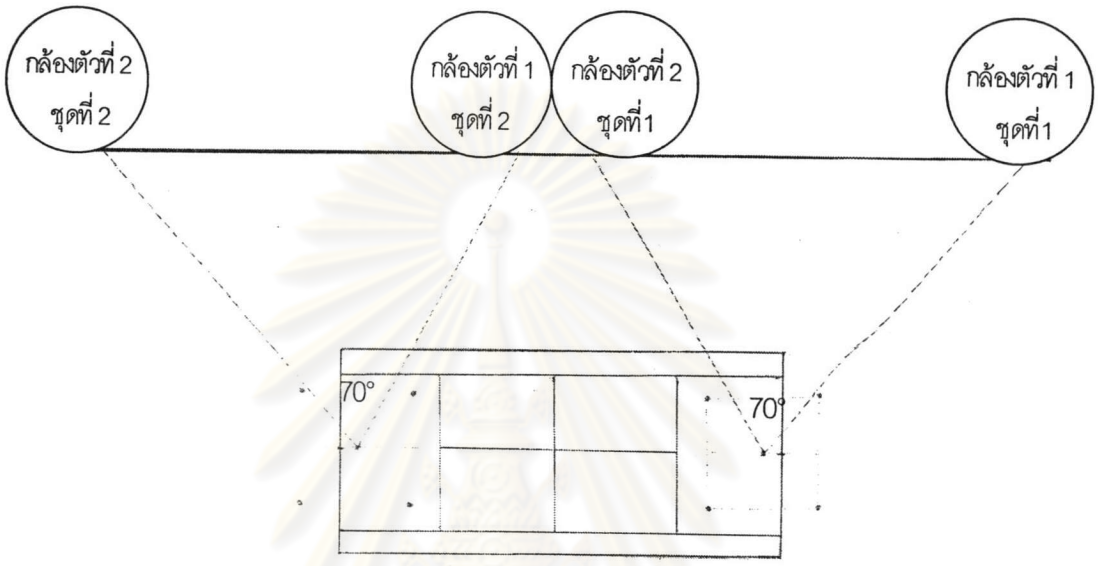
4.3 ต่อเชื่อมสายเคเบิลของกล้องเข้ากับเครื่องกำหนดเวลาบนภาพ (Time code) Herta SD-50 และเครื่อง Synchronized Unit (ภาคผนวก ค)

4.4 ปรับการซูม โฟกัส และแสงของกล้องถ่ายภาพวีดีโอ Panasonic ทั้งสอง ที่มีความถี่ 50 Hz และมี shutter rate 1/500 วินาที ให้ได้ภาพคมชัดที่สุด

4.5 บันทึกภาพกรอบของจุดอ้างอิงประมาณ 5 นาที แล้วนำกรอบของจุดอ้างอิงไปติดตั้งที่อีกด้านหนึ่งของสนามเทนนิส

4.6 บันทึกภาพตลอดช่วงของการแข่งขัน โดยไม่มีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งเครื่องมือในการบันทึกภาพตลอดช่วงของการเก็บข้อมูล

4.7 ติดตั้งอุปกรณ์อีกชุดหนึ่งไว้ที่อีกด้านหนึ่งของสนามแล้วทำการบันทึกกรอบของจุดอ้างอิงเช่นเดียวกับชุดแรก



ภาพที่ 3.8 แสดงตำแหน่งการตั้งกล้อง

5. บันทึกภาพของการเสิร์ฟจากทั้งสองด้านของสนามเทนนิสตลอดการแข่งขัน

6. นำภาพที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหว ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

6.1 วิเคราะห์หาตัวแปรคงที่โดยวิธีการของ Direct Linear Transformation Method

6.1.1 นำข้อมูลของกรอบอ้างอิง ที่ได้จากการคำนวณค่าพิกัดแบบสามมิติของจุดอ้างอิงทั้ง 25 จุด บันทึกในหน่วยความจำของโปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหว

6.1.2 นำภาพวีดีโอกรอบของกรอบอ้างอิงจากกล้องตัวที่ 1 และ 2 ของแต่ละชุดเครื่องมือไปบันทึกภาพบันทึกลงในหน่วยความจำของโปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหว

6.1.3 กำหนดพิกัด (digitize) ของกรอบอ้างอิงทั้ง 25 จุดบนภาพที่ปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์จากกล้องตัวที่ 1 และ ตัวที่ 2

6.1.4 โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะคำนวณเพื่อหาค่าตัวแปรคงที่ของกล้อง จากวิธีการของ direct linear transformation method ซึ่งมีความละเอียดของภาพ 1 พิกเซลเท่ากับ 1.6 เซนติเมตร

6.2 วิเคราะห์หาพิกัดของส่วนที่ต้องการศึกษา

6.2.1 ทำการสร้างโมเดลของการเคลื่อนไหว โดยกำหนดจุดทั้งหมด 23 จุด ดังนี้ ปลายเท้า ส้นเท้า ข้อเท้า ข้อเข่า ข้อสะโพก ข้อไหล่ ข้อศอก ข้อมือ มือ คอของไม้เทนนิส จุดบนสุดของไม้เทนนิส จุดด้านข้างทั้งสองของไม้เทนนิส และลูกเทนนิส (ภาพที่ 3.9) เพื่อใช้ในการกำหนดจุดพิกัดบนภาพ

6.2.2 นำเทปวีดีโอที่บันทึกภาพการแข่งขันใส่ในเครื่องเล่นวีดีโอเพื่อแสดงภาพ จากนั้น นำภาพวีดีโอของกล้องที่ 1 และกล้องที่ 2 ของการเสิร์ฟแต่ละครั้งบันทึกลงในหน่วยความจำของโปแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหวตามลำดับการบันทึกภาพ

6.2.3 กำหนดจุดต่างๆตามลำดับของโมเดลที่สร้างไว้ทีละฟิลด์ โดยเริ่มกำหนดจุดแรกตั้งแต่เริ่มมีการโยนลูกเทนนิสและกำหนดจุดไปจนกว่าจะเห็นลูกเทนนิสที่กระทบหน้าไม้แล้วพ้นออกนอกกรอบของภาพไป (ภาพที่ 3.9)

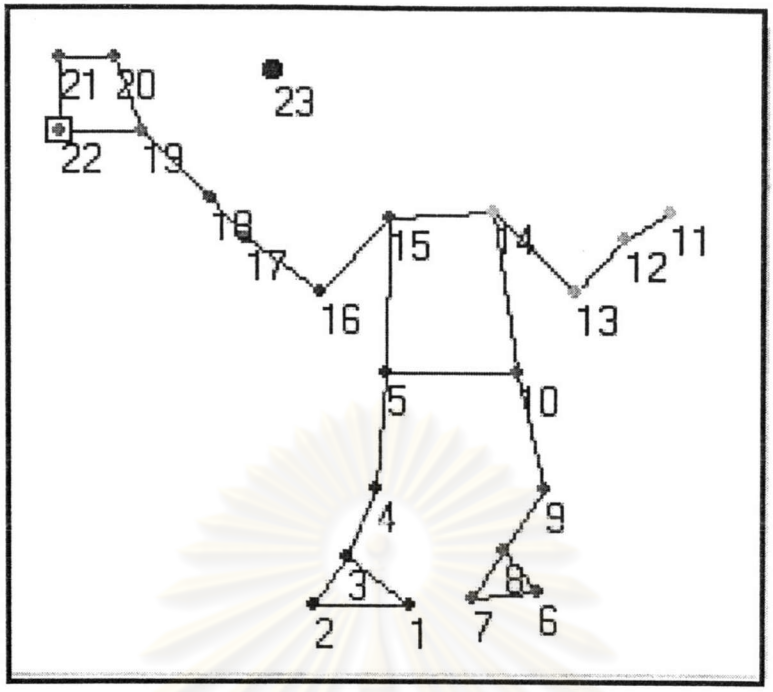
6.2.4 คำนวณหาค่าพิกัดทั้งสามแกน (x, y, z) ทั้ง 23 ตำแหน่งในแต่ละฟิลด์ของภาพ โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหว

6.2.5 นำค่าพิกัดทั้งสามแกนที่ได้ (x, y, z) มาผ่านกระบวนการกรองข้อมูลโดยใช้วิธี Butterworth filter

6.2.6 คัดลอกไฟล์ค่าพิกัด (x, y, z) ทั้งหมดคือ ทั้งข้อมูลดิบ และ ข้อมูลที่ผ่านการกรอง บันทึกลงในแผ่นดิสเก็ตในรูปแบบของ ASCII FILE แล้วนำไปเปิดในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อใช้ข้อมูลดิบในการคำนวณหาระยะเวลาตั้งแต่ขณะลูกลอยสูงสุดถึงลูกกระทบหน้าไม้, ความเร็วของลูกเสิร์ฟ และใช้ข้อมูลที่ผ่านการกรองด้วยวิธี Butterworth filter ในการคำนวณหาความเร็วของไม้เทนนิส และความเร็วเชิงมุมของข้อต่อต่าง ๆ

6.2.7 กำหนดข้อมูลของเวลาลงในโปรแกรม Microsoft Excel โดยกำหนดเวลาในภาพแรก เท่ากับ 0 และเนื่องจากกล้องมีความถี่ 50 Hz ดังนั้นเวลาของพิกัดในแต่ละภาพจึงห่างกัน 0.02 วินาทีตามลำดับของภาพ

I 22031728



ภาพที่ 3.9 แสดงการสร้างโมเดลของการเคลื่อนไหว

ภาพที่ 3.10 แสดงการกำหนดจุดพิกัดบนภาพตามลำดับของการสร้างโมเดล

7. คำนวณหาความเร็วของลูกเสิร์ฟ

7.1 นำข้อมูลดิบพิกัดของลูกเทนนิสในแนวแกน X มาคำนวณหาความเร็วในแกน X โดยการคำนวณจาก

$$V_{xi} = \frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad \text{.....สมการที่ 3.1}$$

โดยที่ V_{xi} แทน ความเร็ว ณ ตำแหน่งที่ xi

x_{i+1} แทน ค่าพิกัดในแกน X ที่ตำแหน่ง i+1

x_{i-1} แทน ค่าพิกัดในแกน X ที่ตำแหน่ง i-1

t_{i+1} แทน เวลา ณ ตำแหน่งของค่าพิกัดในแกน X ที่ตำแหน่ง i + 1

t_{i-1} แทน เวลา ณ ตำแหน่งของค่าพิกัดในแกน X ที่ตำแหน่ง i - 1

$t_{i+1} - t_{i-1}$ แทน ผลต่างของระยะเวลา ณ ตำแหน่งของค่าพิกัดในแกน X ที่ตำแหน่ง i + 1 และ i – 1 มีค่าเท่ากับ 0.04 วินาที

7.2 คำนวณหาค่าความเร็วของลูกเทนนิสในแนวแกน Y และแกน Z เช่นเดียวกับข้อ 7.1

7.3 นำค่าความเร็วของลูกเทนนิสในแกน X, Y และ Z มาคำนวณหาความเร็วรวมของลูกเทนนิส โดยคำนวณจาก

$$V_{Ri} = \sqrt{V_{xi}^2 + V_{yi}^2 + V_{zi}^2} \quad \text{.....สมการที่ 3.2}$$

โดยที่ V_{Ri} แทน ความเร็วรวมของทั้งสามแกนที่ตำแหน่ง i

V_{xi} แทน ความเร็วในแนวแกน X ที่ตำแหน่ง i

V_{yi} แทน ความเร็วในแนวแกน Y ที่ตำแหน่ง i

V_{zi} แทน ความเร็วในแนวแกน Z ที่ตำแหน่ง i

7.4 หาค่าความเร็วรวมของลูกเทนนิสที่มีค่ามากที่สุดซึ่งถือว่าเป็นค่าความเร็วของลูกเสิร์ฟในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8. คำนวณหาระยะเวลาของลูกเทนนิสตั้งแต่ขณะลอยสูงสุดถึงขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้

8.1 การหาเวลาขณะที่ลูกลอยสูงสุด

8.1.1 นำข้อมูลดิบพิกัด (x, y, z) ของลูกเทนนิสมาหาตำแหน่งที่ลูกลอยสูงสุด คือ ค่าพิกัดที่มากที่สุดในแนวดิ่ง (ค่าในแนวแกน z)

8.1.2 นำค่าพิกัดที่ได้ไปเทียบกับเวลาว่าอยู่ ณ ตำแหน่งเวลาใดของภาพ ซึ่งถือว่าเป็น เวลาขณะที่ลูกลอยสูงสุด

8.1.3 คำนวณหาเวลาขณะที่ลูกลอยสูงสุดใหม่ เนื่องจากเวลาที่ได้จากข้อ 8.1.2 อาจไม่ใช่เวลาขณะที่ลูกลอยสูงสุด เนื่องจากช่วงเวลาขณะที่ลูกลอยสูงสุด ลูกจะมีการเคลื่อนที่เพียงเล็กน้อย และภาพที่เห็นมีความละเอียดไม่มากนัก จึงอาจทำให้การกำหนดจุดพิกัดบนภาพคลาดเคลื่อน ดังนั้นถ้าลูกเทนนิสมีการเคลื่อนที่แล้วเพียงเล็กน้อย แต่ไม่สามารถเห็นการเคลื่อนที่ได้จากภาพที่บันทึกไว้ ดังนั้นจึงทำการคำนวณเพื่อหาเวลาขณะที่ลูกลอยสูงสุด ตามวิธีการดังต่อไปนี้

8.1.3.1 คำนวณหาตำแหน่งที่ลูกกำลังลอยขึ้นและลูกกำลังตกลงมาตามแรงโน้มถ่วงของโลกลูกซึ่งอยู่ห่างจากจุดที่ลอยสูงสุดประมาณ 0.30 วินาที (เป็นช่วงเวลาที่ห่างจากจุดที่ลูกลอยสูงสุดก่อนที่ลูกจะกระทบหน้าไม้) ทั้งก่อนและหลังเวลาขณะที่ลูกลอยสูงสุด โดยคำนวณจาก

$$S = \frac{1}{2} gt^2 \quad \text{.....สมการที่ 3.3}$$

$$= \frac{1}{2} (9.8) (0.30)^2 = 0.441 \text{ เมตร}$$

โดยที่ S แทน ระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างจุดที่ลูกลอยสูงสุดกับจุดที่ลูกอยู่ห่างจากจุดสูงสุดประมาณ 0.30 วินาที

g แทน แรงดึงดูดของโลก มีค่าประมาณ 9.8 เมตร/วินาที^{2}

t แทน ระยะเวลา 0.30 วินาที

8.1.4 นำค่าที่ได้เทียบกับตำแหน่งพิกัดในแกน Z ว่าเวลาในขณะที่ลูกห่างจากตำแหน่งที่ลอยสูงสุดประมาณ 0.30 วินาที ตรงกับช่วงเวลาใดเทียบกับค่าที่ได้จากโปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหว นำค่าที่กำหนดพิกัดลูกขณะลอยสูงสุดบนภาพได้ไปลบ 0.441 เมตร ได้เท่าไร คำนวณหาเวลาที่ลูกอยู่ระดับนั้น ทั้งก่อนและหลังลูกอยู่ระดับสูงสุด โดยวิธีถ่วงน้ำหนัก (weight average) ระหว่างช่วงเวลาที่ลูกอยู่สูงและต่ำกว่าระดับนั้น ทั้งขาขึ้นและกลับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8.1.5 คำนวณหาค่าเวลาของลูกขณะลอยสูงสุด ซึ่งเท่ากับผลบวกของเวลาที่คำนวณได้จากข้อ 8.1.4 หารสอง แล้วนำไปเทียบกับเวลาที่ตารางว่าใกล้ค่าเวลาในภาพใดที่สุด จึงเลือกค่านั้น เป็นค่าใช้ในการวิเคราะห์เวลาที่ลูกอยู่สูงสุด

8.2 หาเวลาขณะที่ลูกเทนนิสกระทบหน้าไม้ โดยที่ เวลาที่ลูกเทนนิสกระทบหน้าไม้ คือ เวลา ณ ตำแหน่งที่ลูกเทนนิสมีความเร็วรวมสูงสุด

8.3 ดังนั้นระยะเวลาตั้งแต่ขณะที่ลูกลอยสูงสุดถึงขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้ คือ การนำเวลาขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้ มาลบด้วย เวลาขณะที่ลูกลอยสูงสุด

9. คำนวณหาความเร็วของไม้เทนนิส

ความเร็วของไม้เทนนิส คือ ความเร็วรวมสูงสุดของจุดศูนย์กลางของไม้เทนนิส โดยทำตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

9.1 นำข้อมูลพิกัด (x, y, z) ของคอของไม้เทนนิส จุดบนสุดของไม้เทนนิส จุดด้านข้างทั้งสองของไม้เทนนิส ที่ผ่านการกรองโดยวิธี Butterworth filter มาหาค่าพิกัดของจุดศูนย์กลางของหน้าไม้โดย นำค่าพิกัดในแต่ละแกนของจุดทั้งสี่มาบวกกัน แล้วหารด้วย 4

9.2 นำค่าพิกัดของจุดศูนย์กลางของหน้าไม้เทนนิสมาคำนวณหาความเร็วในแต่ละแกนตามวิธีในสมการที่ 3.1

9.3 คำนวณหาความเร็วรวมของจุดศูนย์กลางของไม้เทนนิส ด้วยวิธีการเดียวกันกับการหาความเร็วของลูกเสิร์ฟ

9.4 หาความเร็วรวมสูงสุดของจุดศูนย์กลางของไม้เทนนิส

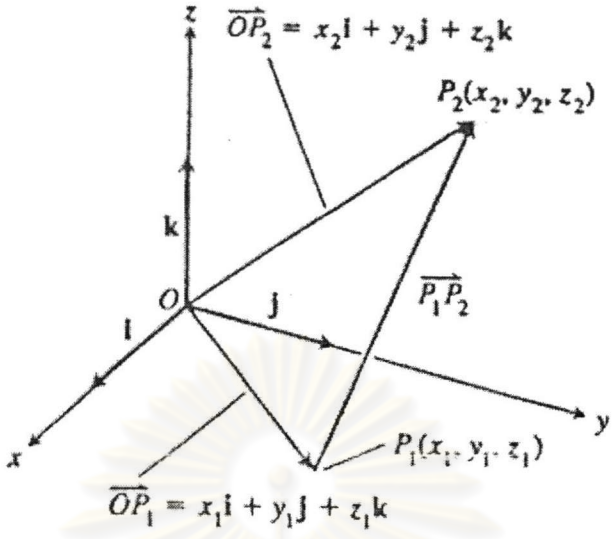
10. คำนวณหาความเร็วเชิงมุมของส่วนต่าง ๆของร่างกาย

ในการคำนวณหาความเร็วเชิงมุม (26) นั้น จะใช้การคำนวณแบบเวกเตอร์ (27) แต่เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวนั้นเป็นจุดพิกัด (x, y, z) ดังนั้นถ้าต้องการหาเวกเตอร์จากจุด P_1 (x_1, y_1, z_1) ไปยังจุด P_2 (x_2, y_2, z_2) (ภาพที่ 3.11) คือ

$$\overrightarrow{P_1P_2} = (x_2 - x_1)\,\hat{i} + (y_2 - y_1)\,\hat{j} + (z_2 - z_1)\,\hat{k} \qquad \text{.....สมการที่ 3.4}$$

ซึ่งขนาดของเวกเตอร์ P_1P_2 ซึ่งก็คือ ความยาวของส่วนต่างๆที่ต้องการศึกษา เขียนแทนด้วย $\left|\overrightarrow{P_1P_2}\right|$

$$\left|\overrightarrow{P_1P_2}\right| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \qquad \text{.....สมการที่ 3.5}$$



ภาพที่ 3.11 แสดงเวกเตอร์ระหว่างจุดสองจุด (ศรีบุตร แววเจริญ และ ชนศักดิ์ บ่ายเที่ยง **การวิเคราะห์เวกเตอร์และอนุกรมอนันต์** กรุงเทพฯ บ. วงตะวัน จำกัด 2521 หน้า 120)

กำหนดส่วนต่างๆของร่างกายให้เป็นปริมาณเวกเตอร์ (ภาพที่ 3.12)

โดยที่ $\vec{S}$ แทน เวกเตอร์ที่อยู่ระหว่างข้อไหล่ทั้งสองข้าง

$\vec{U}$ แทน เวกเตอร์ของแขนขวาท่อนบน

$\vec{F}$ แทน เวกเตอร์ของแขนขวาท่อนล่าง

$\vec{H}$ แทน เวกเตอร์ของมือขวา

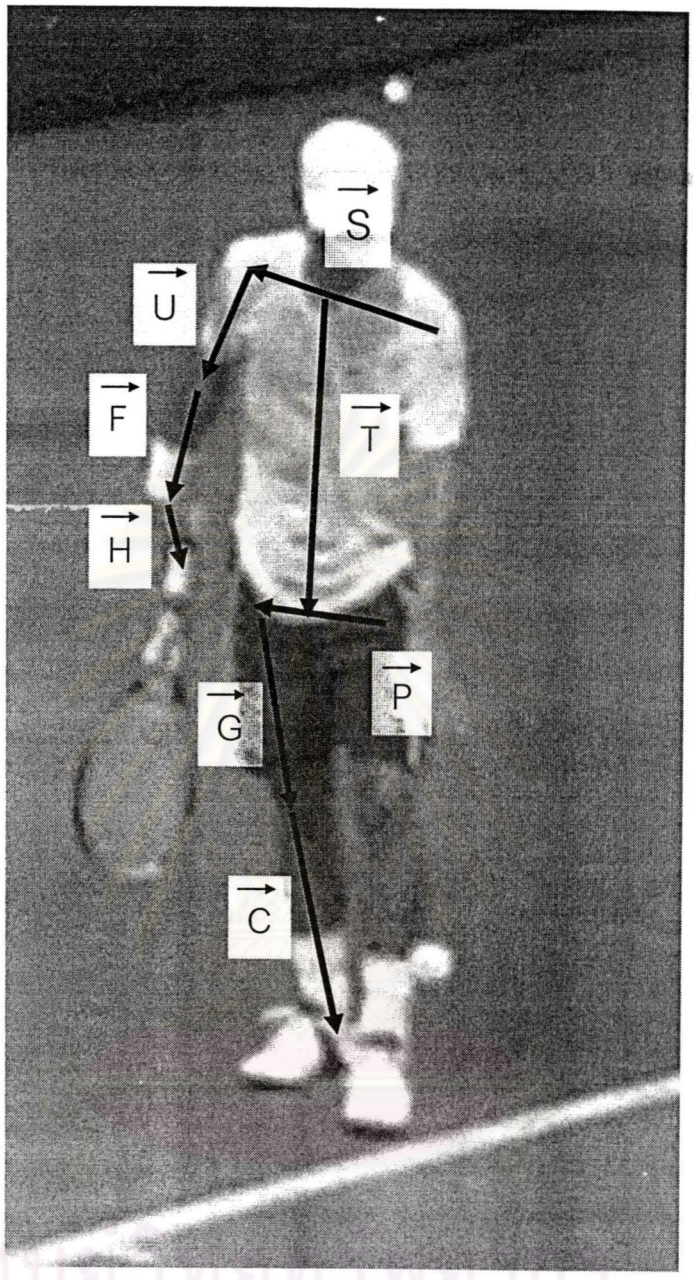
$\vec{P}$ แทน เวกเตอร์ที่อยู่ระหว่างข้อสะโพกทั้งสองข้าง

$\vec{T}$ แทน เวกเตอร์ที่ลากจากจุดกึ่งกลางของ $\vec{S}$ ไปยังจุดกึ่งกลางของ $\vec{P}$

$\vec{G}$ แทน เวกเตอร์ของขาขวาท่อนบน

$\vec{C}$ แทน เวกเตอร์ของขาขวาท่อนล่าง

จากนั้นอาศัยความรู้พื้นฐานของผลคูณสกาลาร์ (Scalar Product หรือ Dot Product) **การครอสเวกเตอร์** (Cross Product) และเวกเตอร์ภาพฉาย (Vector Projection) **เพื่อคำนวณหาความเร็วเชิงมุมต่อไป**



ภาพที่ 3.12 แสดงการกำหนดส่วนต่างๆของร่างกายให้เป็นปริมาณเวกเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลคูณสกาลาร์ (Scalar Product)

ในงานวิจัยนี้ใช้การคูณสกาลาร์ในการหามุมระหว่างสองเวกเตอร์ เพื่อนำไปหาความเร็วเชิงมุมต่อไป โดยที่ผลคูณสกาล่าร์ของเวกเตอร์ A และ B เขียนแทนด้วย $\vec{A} \cdot \vec{B}$

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}| \cos\theta \quad \text{.....สมการที่ 3.6}$$

เมื่อ θ เป็นมุมระหว่าง $\vec{A}$ และ $\vec{B}$, $0 \leq \pi$

$|\vec{A}|$ เป็นขนาดของเวกเตอร์ A

$|\vec{B}|$ เป็นขนาดของเวกเตอร์ B

ดังนั้นมุมระหว่าง เวกเตอร์ A และเวกเตอร์ B คือ

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{\vec{A}\cdot\vec{B}}{|\vec{A}||\vec{B}|}\right) \quad \text{.....สมการที่ 3.7}$$

10.1 การหาความเร็วเชิงมุมของการหมุนลำตัว

10.1.1 คำนวณหามุมของการหมุนของลำตัว ซึ่งเป็นมุมระหว่างเวกเตอร์ที่อยู่ระหว่างข้อไหล่ทั้งสองข้าง ($\vec{S}$) กับเวกเตอร์ที่อยู่ระหว่างข้อสะโพกทั้งสองข้าง ($\vec{P}$) ของแต่ละภาพ (ภาพที่ 3.13) โดยการแทนค่าในสมการที่ 3.7

10.1.2 นำมุมของการหมุนของลำตัวที่คำนวณได้ มาคำนวณหาความเร็วเชิงมุมของแต่ละภาพ จาก

$$\omega_i = \frac{\theta_{i+1} - \theta_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad \text{.....สมการที่ 3.8}$$

โดยที่ ω_i แทน ความเร็วเชิงมุมของภาพที่ i

θ_{i+1} แทน มุม ณ ตำแหน่งภาพที่ i+1

θ_{i-1} แทน มุม ณ ตำแหน่งภาพที่ i-1

$t_{i+1} - t_{i-1}$ แทน ระยะเวลาระหว่างภาพที่ i+1 และ i-1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.04 วินาที

10.1.3 หาความเร็วเชิงมุมของการหมุนของลำตัวสูงสุด เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติต่อไป

10.2 การหาความเร็วเชิงมุมของการงอและเหยียดข้อศอก

10.2.1 คำนวณหามุมของข้อศอก ซึ่งเป็นมุมระหว่างเวกเตอร์ของแขนขวาท่อนบน ($\vec{U}$) กับเวกเตอร์ของแขนขวาท่อนล่าง ($\vec{F}$) ของแต่ละภาพ (ภาพที่ 3.14) โดยการแทนค่าในสมการที่ 3.7

10.2.2 นำมุมของข้อศอกที่คำนวณได้ มาคำนวณหาความเร็วเชิงมุมของแต่ละภาพ โดยการแทนค่าในสมการที่ 3.8

10.2.3 หาความเร็วเชิงมุมของการเหยียดข้อศอกสูงสุด เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติต่อไป

10.3 การหาความเร็วเชิงมุมของการงอและเหยียดเข่า

10.3.1 คำนวณหามุมของข้อเข่า ซึ่งเป็นมุมระหว่างเวกเตอร์ของขาขวาท่อนบน ($\vec{G}$) กับเวกเตอร์ของขาขวาท่อนล่าง ($\vec{C}$) ของแต่ละภาพ (ภาพที่ 3.15) โดยการแทนค่าในสมการที่ 3.7

10.3.2 นำมุมของข้อเข่าที่คำนวณได้ มาคำนวณหาความเร็วเชิงมุมของแต่ละภาพ โดยการแทนค่าในสมการที่ 3.8

10.3.3 หาความเร็วเชิงมุมของการเหยียดข้อเข่าสูงสุด เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติต่อไป

10.4 การหาความเร็วเชิงมุมของการงอและเหยียดข้อมือ

10.4.1 คำนวณหามุมของข้อมือ ซึ่งเป็นมุมระหว่างเวกเตอร์ของแขนขวาท่อนล่าง ($\vec{F}$) กับเวกเตอร์ของมือ ($\vec{G}$) ของแต่ละภาพ (ภาพที่ 3.16) โดยการแทนค่าในสมการที่ 3.7

10.4.2 นำมุมของข้อมือที่คำนวณได้ มาคำนวณหาความเร็วเชิงมุมของแต่ละภาพ โดยการแทนค่าในสมการที่ 3.8

10.4.3 หาความเร็วเชิงมุมของการงอข้อมือสูงสุด เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติต่อไป

10.5 การหาความเร็วเชิงมุมของการหมุนเข้าและหมุนออกของข้อไหล่

10.5.1 การหามุมของการหมุนเข้าและหมุนออกของข้อไหล่นั้นจะคำนวณจากมุมระหว่าง $\vec{F}$-p1 (คือเวกเตอร์ภาพฉายของเวกเตอร์แขนขวาท่อนล่าง ($\vec{F}$) ไปยังระนาบที่ตั้งฉากกับแนวของแกน (longitudinal axis) ของแขนท่อนบน: ภาพที่ 3.17) กับเวกเตอร์ UT ซึ่งเวกเตอร์ UT คือeการครอสเวกเตอร์ (cross-product) ระหว่าง เวกเตอร์ U และเวกเตอร์ T ดังนั้นการคำนวณหามุมการหมุนเข้าและหมุนออกของข้อไหล่จึงทำตามขั้นตอนดังนี้

10.5.1.1 คำนวณหาเวกเตอร์ UT ซึ่งเวกเตอร์ UT เป็นผลลัพธ์ของการครอสเวกเตอร์

$$\vec{UT} = \vec{U} \times \vec{T} \quad \text{.....สมการที่ 3.9}$$

ซึ่งถ้าเวกเตอร์ U และ เวกเตอร์ T ตั้งอยู่บนระนาบเดียวกัน ผลลัพธ์ของ $\vec{U} \times \vec{T}$ จะอยู่ในแนวตั้งฉากกับระนาบนี้ ทิศทางของ $\overrightarrow{UT}_1$ จะเป็นไปตามกฎมือขวา และส่วนประกอบของเวกเตอร์ UT บนระนาบพิกัด (x, y, z) คือ

$$\begin{aligned} UTx &= UyTz - UzTy \\ UTy &= UzBx - UxTz \\ UTz &= UxBy - UyTx \end{aligned} \quad \text{.....สมการที่ 3.10}$$

10.5.1.2 คำนวณหาระนาบที่ตั้งฉากกับเวกเตอร์ของแขนท่อนล่าง (F) โดยการครอสเวกเตอร์ระหว่าง $\overrightarrow{UT}$ กับ $\vec{U}$ ตามวิธีการครอสเวกเตอร์ดังที่กล่าวมาข้างต้น จะได้เวกเตอร์ UT_2 ซึ่งเป็นเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับเวกเตอร์ UT_1 และเวกเตอร์ U

10.5.1.3 คำนวณหาเวกเตอร์ภาพฉายของเวกเตอร์แขนขวาท่อนล่าง $(\vec{F})$ บนเวกเตอร์ UT_1 ซึ่งเวกเตอร์ภาพฉายของ $\vec{F}$ บน $\overrightarrow{UT}_1$ เขียนแทนด้วย $\text{Proj}_{\vec{F}} \overrightarrow{UT}_1$

$$\text{Proj}_{\vec{F}} \overrightarrow{UT}_1 = \left(\frac{\vec{F} \cdot \overrightarrow{UT}_1}{\vec{A} \cdot \vec{A}} \right) \overrightarrow{UT}_1 \quad \text{.....สมการที่ 3.11}$$

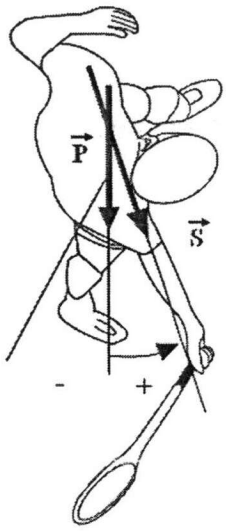
10.5.1.4 คำนวณหาเวกเตอร์ภาพฉายของเวกเตอร์แขนขวาท่อนล่างบนเวกเตอร์ UT_2 โดยแทนค่าในสมการที่ 3.11

10.5.1.5 หาผลบวกของ $\text{Proj}_{\vec{F}} \overrightarrow{UT}_1$ และ $\text{Proj}_{\vec{F}} \overrightarrow{UT}_2$ จะได้ $\vec{F}$-p1

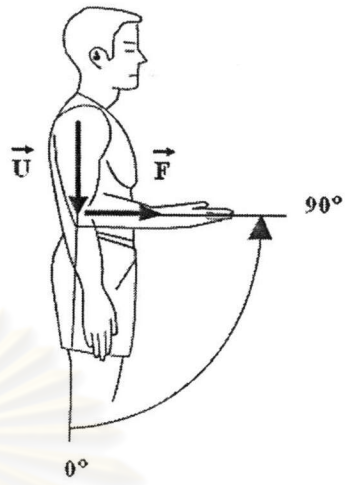
10.5.1.6 คำนวณหามุมของการหมุนเข้าและหมุนออกของข้อไหล่ ซึ่งเป็นมุมระหว่าง $\vec{F}$-p1 กับ $\overrightarrow{UT}$ จองแต่ละภาพ โดยการแทนค่าในสมการที่ 3.7

10.5.2 นำมุมของการหมุนเข้าและหมุนออกของข้อไหล่ที่คำนวณได้ มาคำนวณหาความเร็วเชิงมุมของแต่ละภาพ โดยการแทนค่าในสมการที่ 3.8

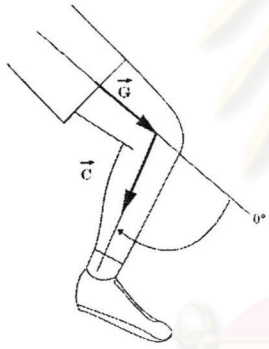
10.5.3 หาความเร็วเชิงมุมของการหมุนเข้าในของข้อไหล่สูงสุด เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติต่อไป



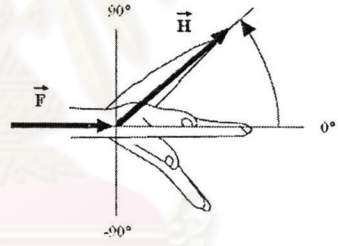
ภาพที่ 3.13 แสดงการหมุนของลำตัว



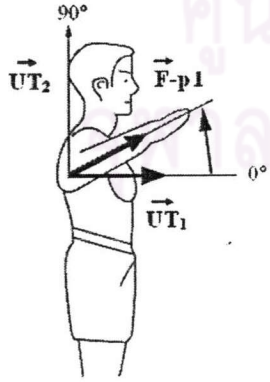
ภาพที่ 3.14 แสดงการงอและเหยียดข้อศอก



ภาพที่ 3.15 แสดงการงอและเหยียดข้อเข่า



ภาพที่ 3.16 แสดงการงอและเหยียดข้อมือ



ภาพที่ 3.17 แสดงการหมุนเข้าและหมุนออกของข้อไหล่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. แสดงผลด้วยเปอร์เซ็นต์ของการเสิร์ฟ
2. แสดงความเร็วของลูกเสิร์ฟด้วยค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
3. หาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของลูกเทนนิสตั้งแต่ขณะลอยสูงสุดถึงขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้และความเร็วของลูกเสิร์ฟ ด้วย Pearson Correlation Coefficient
4. หาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความเร็วของลูกเสิร์ฟ ด้วย Multiple regression (ตัวแปรอิสระ คือ ความเร็วเชิงมุมของการหมุนของลำตัว, การหมุนเข้าของข้อไหล่, การเหยียดข้อศอก, การเหยียดข้อเข่า และการงอข้อมือ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย