

บทที่ 5

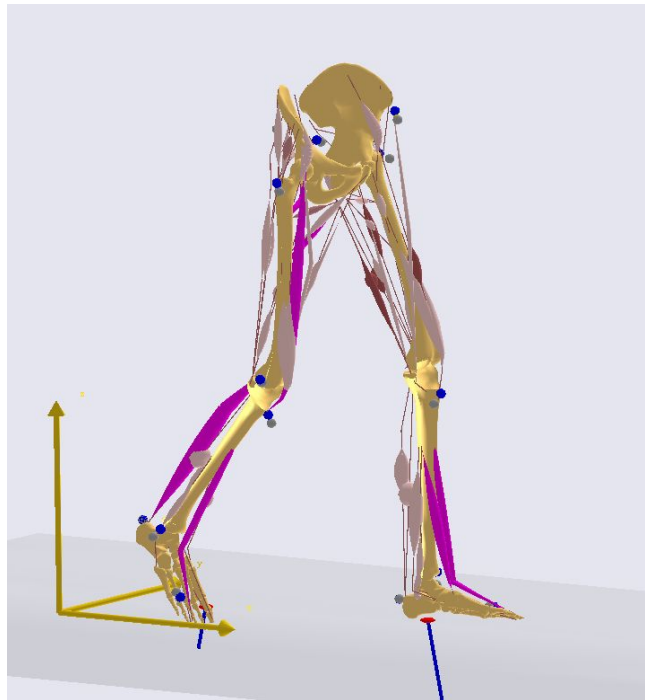
ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระดูกขา เอ็นหัวเข่า และการเคลื่อนไหวในท่าเดิน

ในบทนี้จะอธิบายถึงขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของขา ซึ่งสำหรับในงานวิจัยนี้จะมีด้วยกัน 2 เทคนิค คือ เทคนิคการวัดจากภาพถ่าย (Optical measurement) และเทคนิคของการประมวลผลภาพ (Image processing) โดยทั้ง 2 วิธีนี้จะได้แบบจำลองออกมาเป็นโมเดล 3 มิติเหมือนกันแต่จะมีข้อแตกต่างซึ่งจะอธิบายต่อไป และการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเอ็นไขว้หน้า จะมีทั้งเอ็น 1 Bundle และ 2 Bundles รวมทั้งการหาข้อมูลของการเคลื่อนไหวในท่าเดินมาใช้ในการจำลองการเคลื่อนไหวขณะเดิน

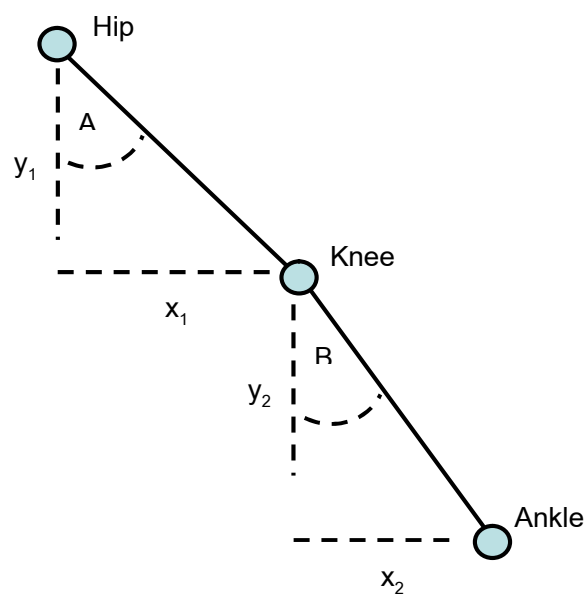
5.1 สร้างการเคลื่อนไหวในท่าเดิน

การสร้างการเคลื่อนไหวในท่าเดิน จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเป็นการทดลองใช้เครื่องวิเคราะห์ท่าเดิน (Gait analysis) ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องนี้จะเป็นการส่งสัญญาณทางไฟฟ้าผ่านกล้ามเนื้อ เพื่อดูการตอบสนองของกล้ามเนื้อเมื่อออกแรงเคลื่อนไหว สัญญาณทางไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลง และในขณะเดียวกันจะมีกล้องความไวสูงคอยจับภาพในการเคลื่อนไหวในท่วงท่าการเดินต่าง ๆ โดยใช้เทคนิคของการประมวลผลภาพ (Image processing) เพื่อหาตำแหน่งการเคลื่อนไหวในท่าเดิน ณ จุดต่าง ๆ บนร่างกาย แต่สำหรับงานวิจัยนี้เพื่อความรวดเร็วในการวิจัย จึงใช้โปรแกรมช่วยในการหาตำแหน่ง ณ จุดต่าง ๆ ในท่าเดินซึ่งผลที่ได้จะใกล้เคียงกับความเป็นจริงเช่นกัน

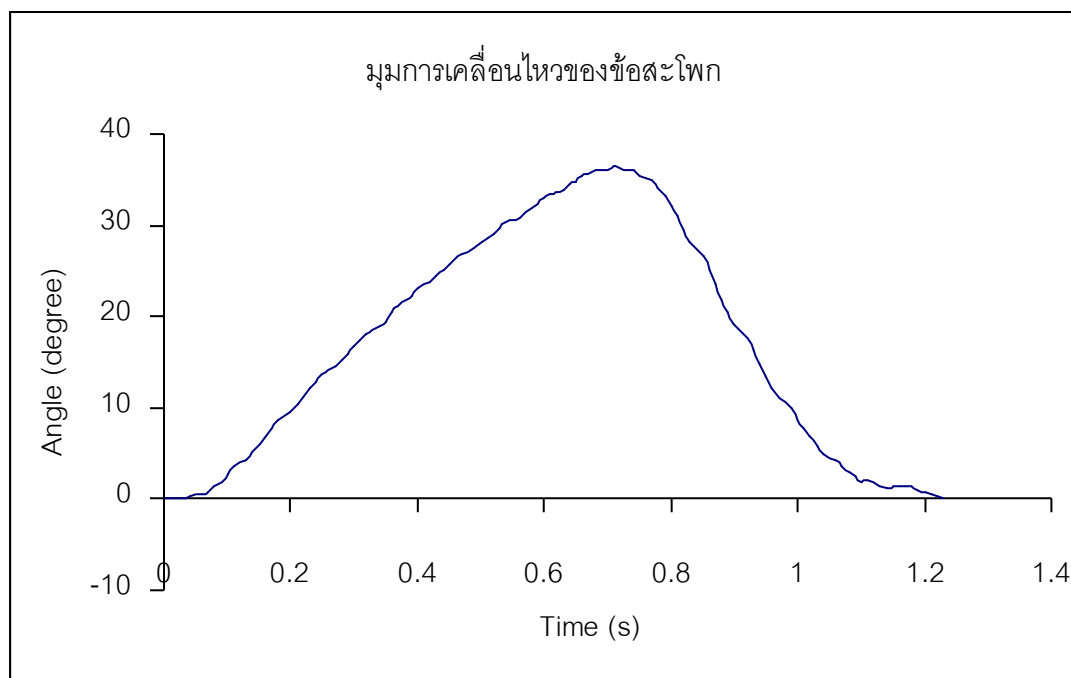
จากโปรแกรมคำนวณการเคลื่อนไหว ทำให้ทราบตำแหน่งของการเคลื่อนไหวในพิกัด x, y ทุก ๆ เลี้ยววินาทีของ ข้อสะโพก (Hip) ข้อเข่า (Knee) และข้อเท้า (Ankle) ซึ่งจะสามารถคำนวณออกมาเป็น มุม A และมุม B ณ เวลาใด ๆ ได้ซึ่งเมื่อนำมุม A และ B มาคำนวณ ก็จะสามารถหาลักษณะการเคลื่อนไหวจริงของขามนุษย์ขณะเดินได้



ภาพที่ 5.1
จำลองการเคลื่อนไหวในท่าเดิน

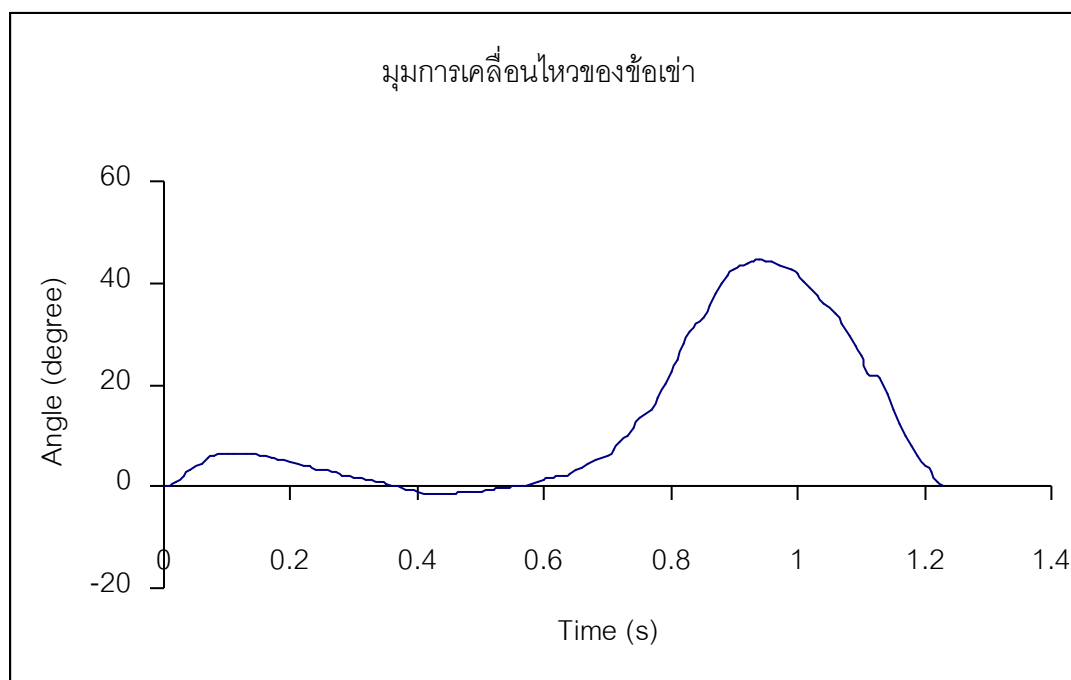


ภาพที่ 5.2
ตำแหน่งจุดหมุนของขา



ภาพที่ 5.3

มุมการเคลื่อนไหวของข้อสะโพกในท่าเดิน



ภาพที่ 5.4

มุมการเคลื่อนไหวของข้อเข่าในท่าเดิน

มุมที่ได้จากการเคลื่อนไหวในท่าเดินจะนำไปใส่ในโปรแกรมจำลองการเคลื่อนไหว เพื่อวิเคราะห์หาแรงที่เกิดขึ้นในเอ็นข้อเข่า

5.2 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของขาด้วยเทคนิคการวัดจากภาพถ่าย (Optical measurement)

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระดูกด้วยวิธี การวัดจากภาพถ่าย (Optical measurement) จะเป็นการวัดด้วยกล้องที่มีความละเอียดสูง ถ่ายไปยังชิ้นงานที่ต้องการ จะสร้างโมเดลในทิศทางต่าง ๆ แล้วนำภาพถ่ายแต่ละภาพซึ่งมีจุดอ้างอิงที่เรากำหนดไว้ในตัว ชิ้นงานมาซ้อนกันได้จนกลายเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ข้อดีของวิธีนี้คือ สามารถสร้างโมเดลได้ง่าย และมีความละเอียดสูง ข้อเสียคือ ต้อง นำกระดูกจริงมาสแกน ซึ่งถ้าจะนำกระดูกจริงมาสแกนจะต้องเป็นกระดูกอาจารย์ใหญ่ และกระดูก อาจารย์ใหญ่ที่มีตามมหาวิทยาลัยที่นักศึกษาไว้ใช้เรียนกันมักจะเป็นกระดูกผู้สูงอายุ ซึ่งจะมี ลักษณะที่ไม่สมบูรณ์ เช่น ข้อเข่าเสื่อม

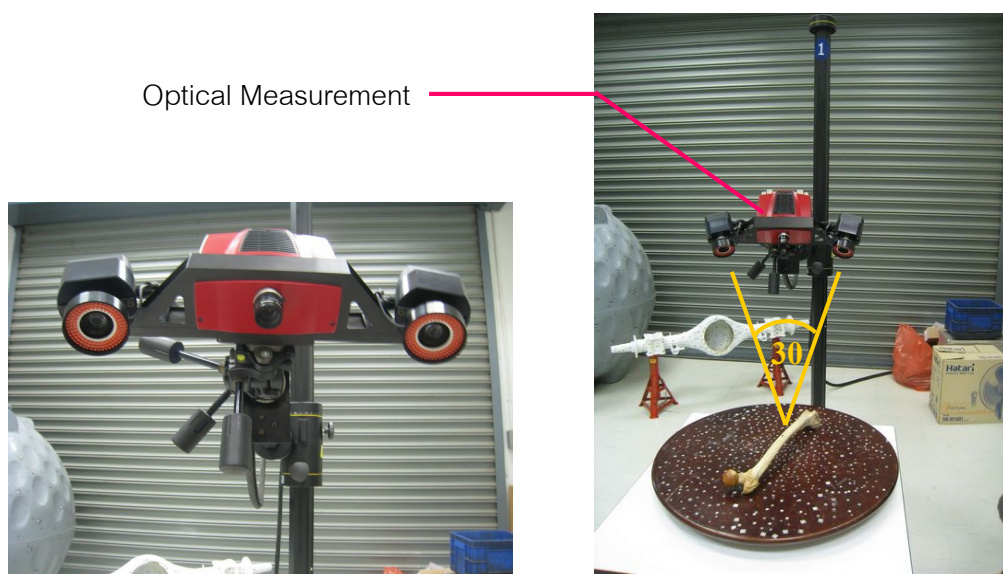


ภาพที่ 5.5

กระดูกอาจารย์ใหญ่นำมาสแกน

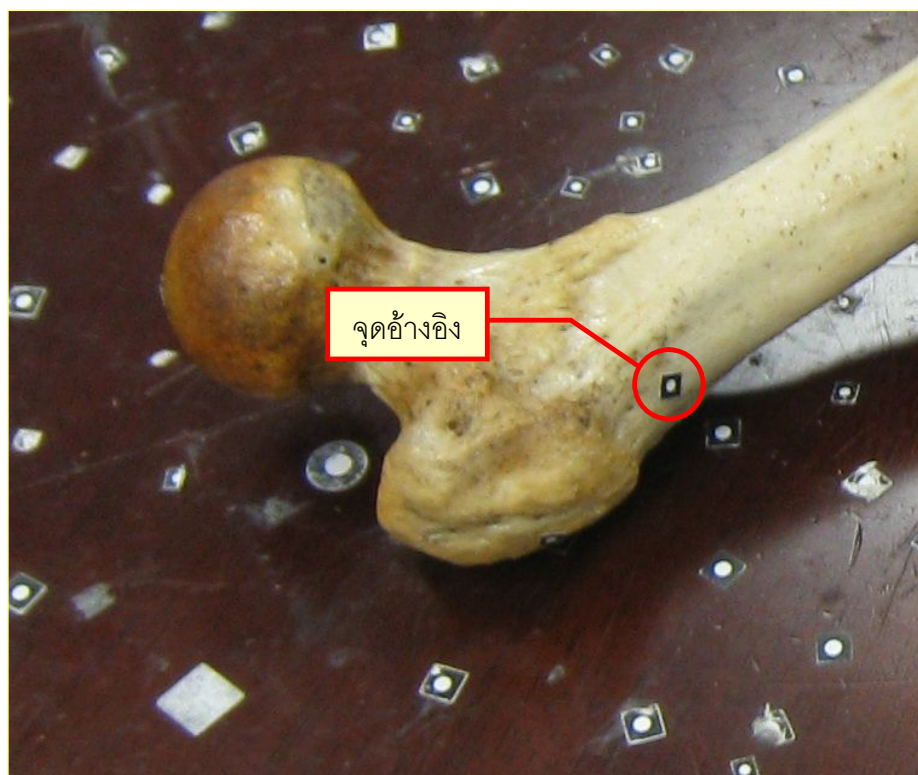
ขั้นตอนการสแกนกระดูกจะมีด้วยกัน 8 ขั้นตอนดังนี้

1. เลือกขึ้นกระดูกอาจารย์ใหญ่ที่จะสแกน
2. ตัดจุดอ้างอิง ดังภาพที่ 5.7
3. สแกนด้านหน้า (Anterior) โดยจะหมุนชิ้นงานแล้วถ่ายภาพทีละภาพแล้วนำภาพที่ได้มารวมกัน
4. สแกนด้านหลัง (Posterior) โดยจะหมุนชิ้นงานแล้วถ่ายภาพทีละภาพแล้วนำภาพที่ได้มารวมกัน
5. นำภาพด้านหน้า (Anterior) ที่รวมกันจากข้อ 3 และด้านหลัง (Posterior) ที่รวมกันจากข้อ 4 มารวมกันอีกที
6. ได้เป็นไฟล์ภาพสามมิติที่เกือบจะสมบูรณ์จะเหลือเพียงแต่บางส่วนที่กล้องไม่สามารถเก็บภาพได้เพราะอยู่ในมุมที่มองไม่เห็น จากนั้นสั่งให้โปรแกรมสร้างเนื้อในส่วนที่ยังขาดหายไปของชิ้นงานโดยใช้คำสั่งเติมเนื้อ ให้ได้ไฟล์ภาพที่สมบูรณ์ซึ่งโปรแกรมจะสามารถทำได้
7. ส่งไฟล์ภาพที่ได้ออกมาจากโปรแกรมเป็นนามสกุลต่าง ๆ ตามที่ต้องการ เช่น .STL
8. ใช้โปรแกรมสร้างผิวของชิ้นงานให้สามารถสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ได้

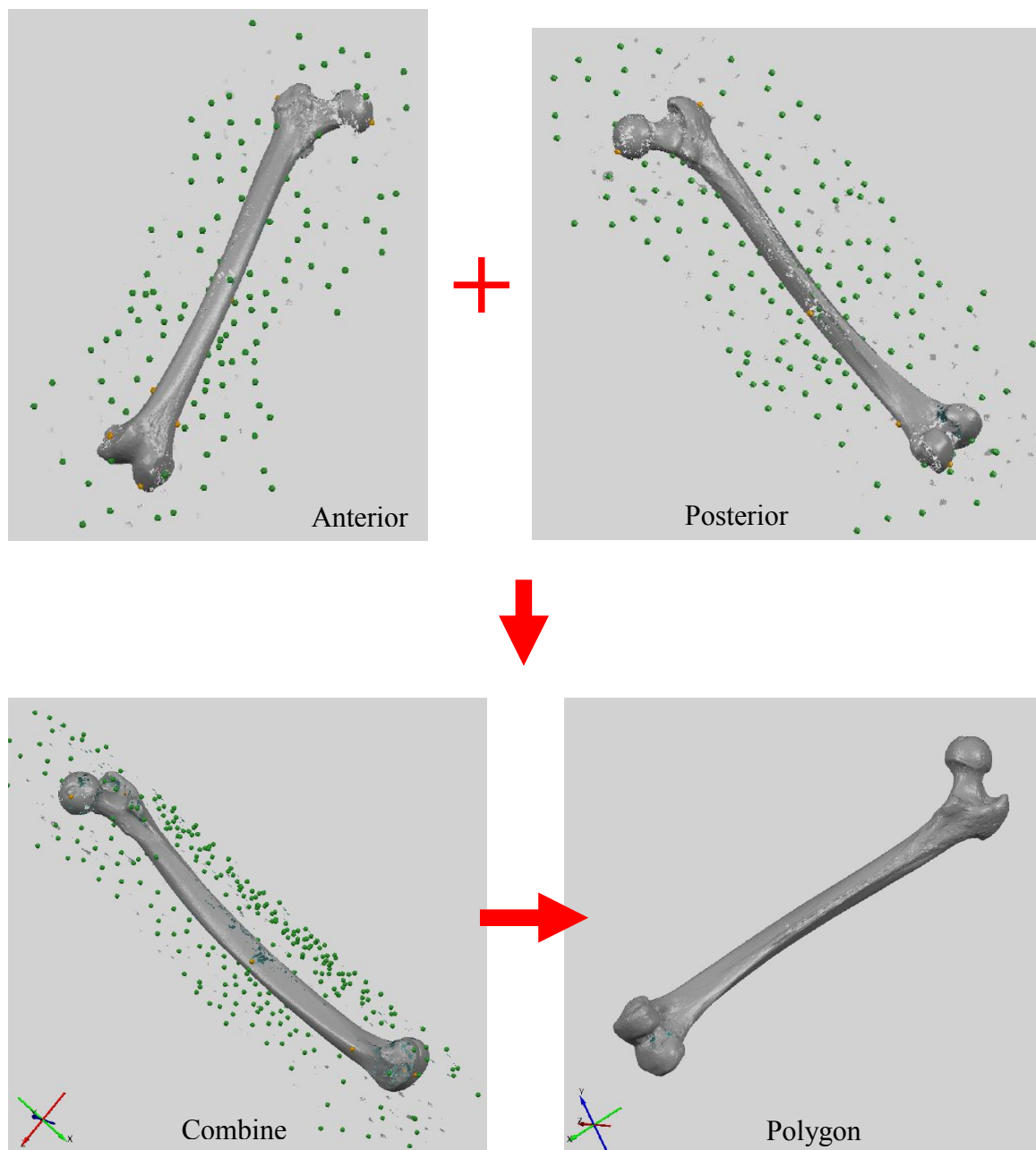


ภาพที่ 5.6

เครื่อง Optical measurement machine



ภาพที่ 5.7
ลักษณะการติดตั้งจุดอ้างอิง



ภาพที่ 5.8

โมเดลสามมิติที่ได้จากเครื่องสแกนภาพ

5.3 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของขา ด้วยเทคนิคของการประมวลผลภาพ (Image processing)

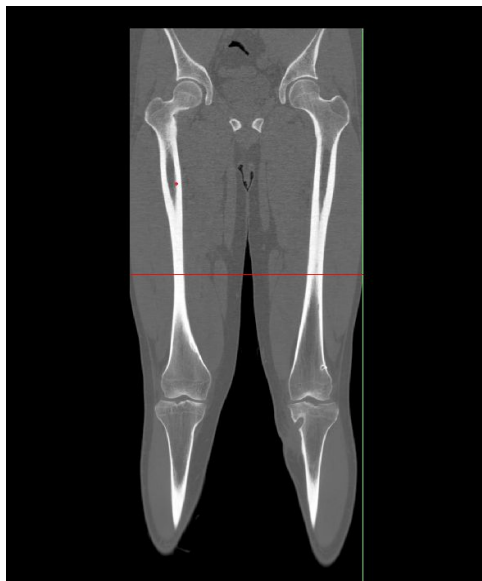
การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระดูกด้วยเทคนิคของการประมวลผลภาพ (Image processing) จะเป็นการนำภาพจากเครื่อง CT scan มาผ่านโปรแกรมประมวลผลภาพ ซึ่งโปรแกรมมีความสามารถแยกความแตกต่างของกระดูก กับกล้ามเนื้อออกจากกันได้โดยใช้ความแตกต่างกันของสีขาวดำในภาพ CT scan จากนั้นจะต้องมีการปรับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในตัวโปรแกรมเพื่อให้ได้โมเดลที่สมบูรณ์ที่สุด

ข้อดีของเทคนิคนี้คือ จะได้โมเดลที่มีความสมบูรณ์ตามความต้องการ เพราะสามารถหาได้จากผู้ป่วยทั่วไปโดยใช้เพียงภาพจากเครื่อง CT scan และโมเดลที่ได้ก็มีความละเอียดสูง แต่ทั้งนี้ก็ต้องขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่อง CT scan ว่ามีความละเอียดมากน้อยแค่ไหน ส่วนข้อเสียคือ เทคนิคนี้จะใช้ระยะเวลาในการสร้างโมเดลที่นานกว่า และมีความละเอียดน้อยกว่าเทคนิคการวัดจากภาพถ่าย (Optical measurement) ในงานวิจัยนี้ได้เลือกวิธีการนำภาพจากเครื่อง CT scan และนำภาพที่ได้ไปสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ต่อเพื่อให้ผลงานวิจัยใกล้เคียงกับผู้ป่วยที่ประสบปัญหาเกี่ยวกับข้อเข่ามากที่สุด เพราะเป็นโมเดลที่ไม่มีการสีก่อนบริเวณข้อเข่า

ขั้นตอนการสร้างโมเดลกระดูกจะมีด้วยกัน 7 ขั้นตอนดังนี้

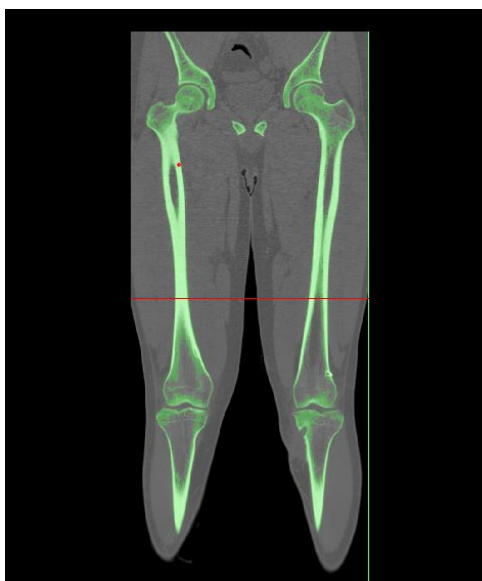
1. ใช้เครื่อง CT scan สแกนส่วนที่ต้องการจะสร้างโมเดล ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ของผู้ป่วยที่มีปัญหาเอ็นไขว้หน้าขา อายุ 36 ปี เพศชาย
2. นำภาพจาก CT scan ที่เป็นไดคอมไฟล์ นามสกุล .dcm ไปเปิดในโปรแกรมสร้างโมเดลกระดูก แล้วทำการปรับพารามิเตอร์ความแตกต่างของสีขาวดำเพื่อให้เกิดการแยกความแตกต่างของกระดูก และกล้ามเนื้อที่ชัดเจนดังภาพที่ 5.10
3. คัดเลือกเฉพาะส่วนขา
4. ปรับแต่งความละเอียดของเส้นขอบของกระดูกในหน้าต่างต่าง ๆ เพื่อให้ได้ภาพที่สมบูรณ์ดังภาพที่ 5.11
5. เมื่อได้ภาพที่สมบูรณ์แล้วก็สั่งสร้างโมเดล 3 มิติ
6. ส่งไฟล์ภาพที่ได้ออกมาจากโปรแกรมเป็นนามสกุลต่าง ๆ ตามที่ต้องการ เช่น .STL
7. ใช้โปรแกรมสร้างผิวของชิ้นงานตกแต่งผิวให้สามารถสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ได้

ขั้นตอนที่ต้องใช้เวลานานคือขั้นตอนที่ 3 และ 4 ยิ่งถ้าใช้ไดคอมไฟล์ที่มีความละเอียดสูงมากก็จะต้องใช้เวลาในการทำขั้นตอนที่ 3 และ 4 นานขึ้น



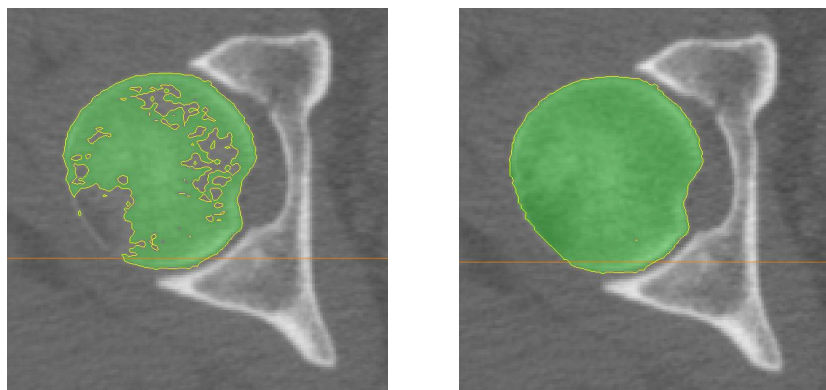
ภาพที่ 5.9

ภาพจาก CT scan ที่ใช้ในการสร้างโมเดลกระดูกขา



ภาพที่ 5.10

แยกกระดูกออกจากกล้ามเนื้อ

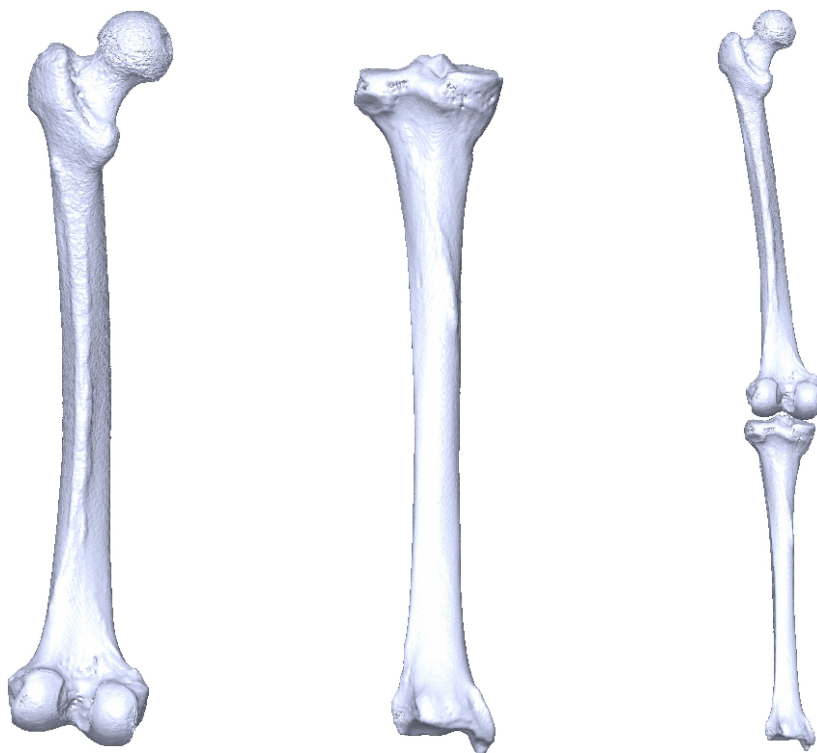


ภาพที่ 5.11

เติมผิวของกระดูกให้สมบูรณ์ (ภาพในระนาบแนวนอน)

(ก) ก่อนแต่งผิวกระดูก

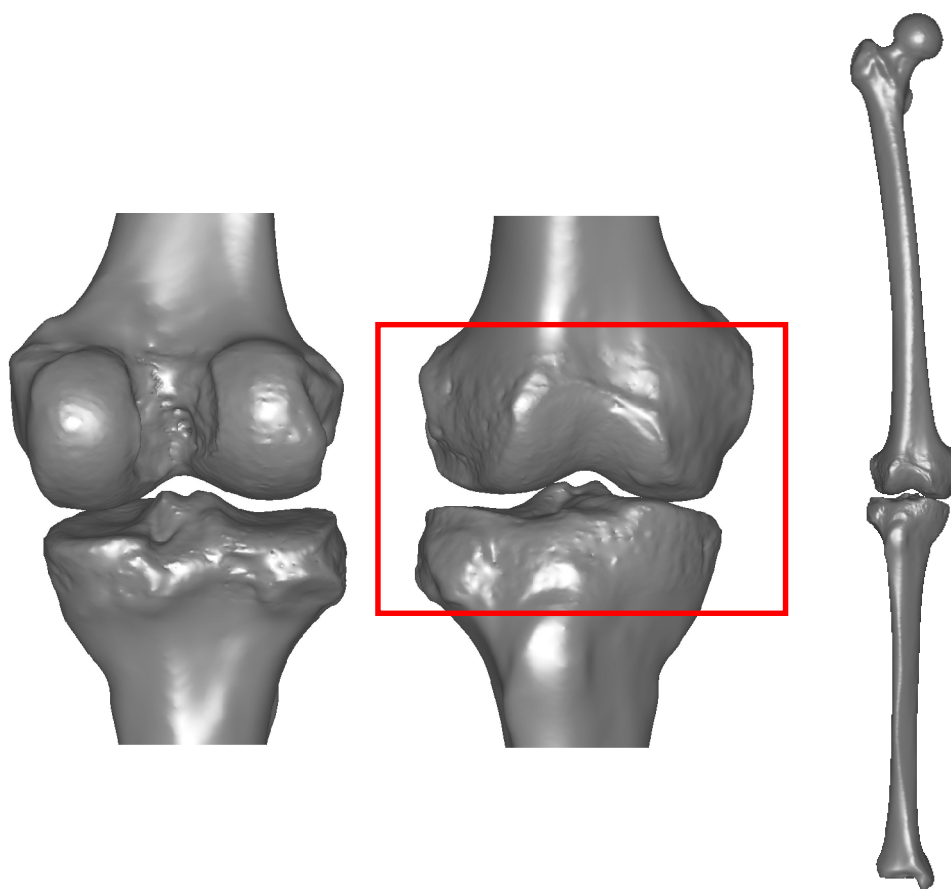
(ข) หลังแต่งผิวกระดูก



ภาพที่ 5.12

โมเดลกระดูกขาที่สแกน

ภาพที่ 5.12 เป็นโมเดลที่กระดูกที่ผ่านการสร้างขึ้นโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ (Image processing) แต่ผิวของกระดูกยังมีความขรุขระอยู่ในบางส่วนซึ่งจะต้องผ่านกระบวนการแต่งผิว และป้อนผิวชิ้นงานต่อไป



ภาพที่ 5.13
แต่งผิวกระดูก

กระบวนการแต่งผิวชิ้นงาน และป้อนผิวชิ้นงาน ภาพที่ 5.13 กระดูกตรงส่วนบริเวณอื่น ๆ จะมีลักษณะผิวที่เรียกว่าตรงบริเวณข้อต่อ (ในกรอบสี่เหลี่ยม) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากได้ผ่านกระบวนการปรับปรุงผิวชิ้นงานเพื่อให้โมเดลกระดูกมีขนาดไฟล์ที่ลดลง และนำไปสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ดีขึ้น

5.4 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเอ็นบริเวณข้อเข่า

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของขาจะมีด้วยกัน 2 เทคนิค ซึ่งเทคนิคแรกการวัดจากภาพถ่าย (Optical measurement) จะได้โมเดลกระดูกที่มีข้อเข่าที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากกระดูกอาจารย์ใหญ่ที่นำมาสแกนจะเป็นผู้สูงอายุจึงไม่ควรนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ด้วยเหตุนี้จึงได้ใช้เทคนิคที่สอง คือเทคนิคของการประมวลผลภาพ (Image processing) ซึ่งเทคนิคนี้จะสามารถสร้างโมเดลกระดูกที่ได้จากคนที่ยังมีชีวิตอยู่ซึ่งจะมีความสมบูรณ์ของข้อเข่ามากกว่า



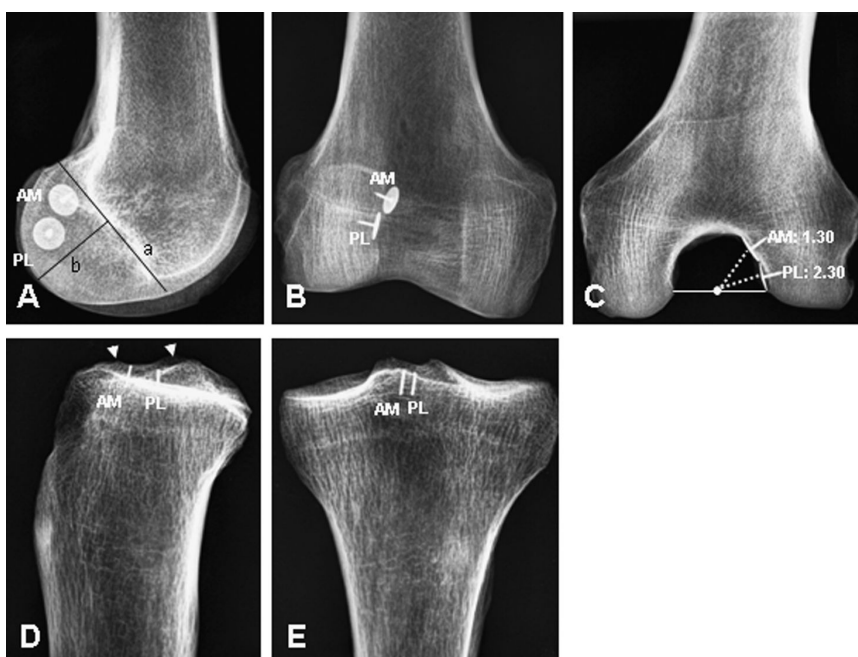
ภาพที่ 5.14

กระดูกขาที่นำมาสร้างเอ็น

ภาพที่ 5.14 โมเดลกระดูกขาที่ได้จากเทคนิคการประมวลผลภาพ (Image processing) ซึ่งจะต้องนำมาปรับตำแหน่งของข้อเข่าให้มีลักษณะงอเข่าเป็นมุม 30 องศา เพราะเป็นมุมที่แพทย์ใช้ในการเปลี่ยนเอ็นไขว้หน้าทดแทนลงไป และตรึงสกรูยึดเอ็นไขว้หน้าเข้ากับกระดูกขา ด้วยเหตุนี้จึงใช้มุม 30 องศาในการสร้างโมเดลของเอ็นไขว้หน้าเช่นกัน

การติดตั้งตำแหน่งของเอ็นไขว้หน้าทดแทนลงบนกระดูกซึ่งเอ็นไขว้หน้าจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อย ๆ คือ Anteromedial bundle (AM) และ Posterolateral bundle (PL) โดยในภาพที่ 5.15 จะเป็นภาพจากเครื่อง CT scan ซึ่งจะเป็นตำแหน่งติดตั้งจริงที่สามารถนำมาอ้างอิงถึงตำแหน่งที่จะนำไปสร้างโมเดล 3 มิติเพื่อที่จะสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ได้

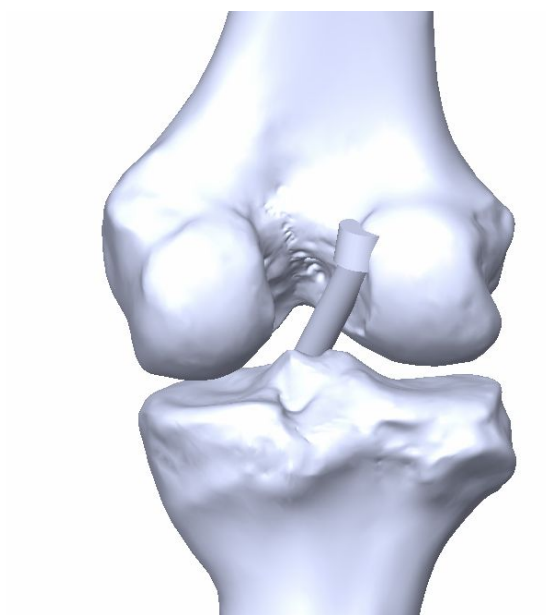
จากการศึกษาผู้เชี่ยวชาญทางด้านหัวเข่า และเอกสารอ้างอิงลักษณะของการผ่าตัดเปลี่ยนเอ็นไขว้หน้าจะแบ่งเป็น 2 เทคนิค เทคนิคแรก คือ ติดตั้งเอ็นไขว้หน้าโดยติดตั้งทั้ง 2 เส้นเลย โดยใช้ตำแหน่งดังภาพที่ 5.15 เทคนิคที่ 2 คือนำตำแหน่งเอ็นทั้งสองเส้นมาหาจุดกึ่งกลางแล้ว ติดตั้งเอ็นทดแทนเส้นเดียว



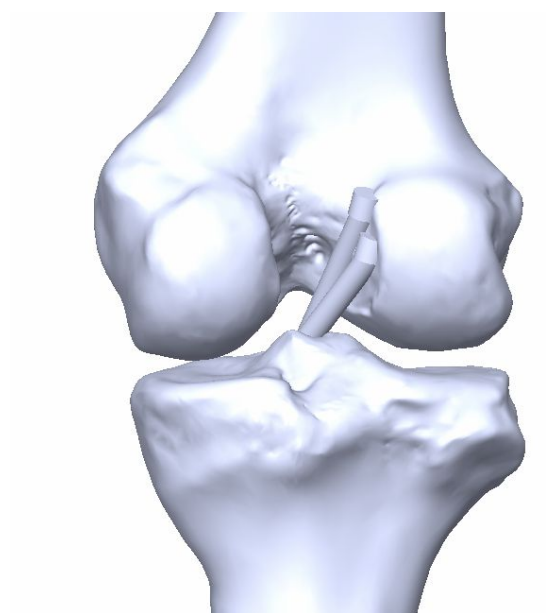
ภาพที่ 5.15

ภาพเอ็กซเรย์ ตำแหน่งการติดตั้งเอ็นไขว้หน้า

ภาพที่ 5.16 และ 5.17 จะเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของขา และเอ็นไขว้หน้าแบบ 1 Bundle มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.12 มิลลิเมตร พื้นที่หน้าตัด 39.8 ตารางมิลลิเมตร และ 2 Bundles มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในแต่ละ Bundle 5.06 มิลลิเมตร พื้นที่หน้าตัด 20.1 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งจะไปสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยจะกล่าวในบทถัดไป



ภาพที่ 5.16
สร้างเอ็นไขว้หน้า 1 Bundle



ภาพที่ 5.17
สร้างเอ็นไขว้หน้า 2 Bundles