DRC-17

การพัฒนาเครื่องช่วยจัดตำแหน่งสว่านทางการแพทย์แบบโคโอเปอเรทีฟคาร์ทีเซียน

Development of a Cooperative-Cartesian Positioner for Surgical Drill Positioning

ภิญโญ พวงมะลิ*, ฉัตรชัย จรูญพันธ์เกษม, รฐนน โฉมทอง และ วิรุฬห์ อนันตผล

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200
*ติดต่อ: pinyo@dome.cmu.ac.th, 053-944146, 053-944145

บทคัดย่อ

การเจาะวัตถุด้วยสว่านมือ (handheld drill) มีข้อดีในแง่ของความสะดวกในการจัดตำแหน่งและการปรับเปลี่ยนแนวการวางตัวของสว่าน อย่างไรก็ตามก็มีข้อเสียคือทำให้การเจาะมีความคาดเคลื่อนไปได้มาก ซึ่งในทางการแพทย์นั้น การเจาะที่คาดเคลื่อนอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อกระดูกและเนื้อเยื่อที่สำคัญได้ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการเจาะ บทความนี้จึงนำเสนอเครื่องช่วยจัดตำแหน่งสว่านทางการแพทย์ที่สามารถจัดตำแหน่งและปรับเปลี่ยนแนวการวางตัวได้โดยสะดวก (ลักษณะใกล้เคียงกับการใช้งานสว่านมือ) แต่สามารถล็อคตำแหน่งเพื่อให้เกิดเสถียรภาพและความแม่นยำขณะทำการเจาะวัตถุ ทั้งนี้การทำงานของเครื่องอาศัยกลไกแบบคาร์ทีเซียน (Cartesian) 2 ชุดเชื่อมต่อกันด้วยก้านโยงผ่านข้อต่อฮุค (Hooke's joints) บนชิ้นส่วนก้านโยงมีการติดตั้งกลไกขับเคลื่อนเชิงเส้นสำหรับขับเคลื่อนสว่านซึ่งควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จากการทดสอบเครื่องช่วยจัดตำแหน่งสว่านต้นแบบที่พัฒนาขึ้นพบว่า เครื่องสามารถรองรับการปรับเปลี่ยนตำแหน่งตามแนวราบในช่วง +/-30 มิลลิเมตรได้ ส่วนการวางตัวของสว่านสามารถปรับได้ในช่วง +/-35 องศา ระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดของสว่านตามแนวการเจาะคือ 145 มิลลิเมตร

คำหลัก: กลไกวงปิด; สว่านผ่าตัด; เครื่องช่วยจัดตำแหน่งเครื่องมือผ่าตัด

Abstract

Drilling using handheld drill has an advantage in that the manipulation of the drill can be intuitively performed. However, its inferior due to inaccuracy of drilling may cause severe damages, especially those with bones and tissues during surgical treatments. To enhance the effectiveness of drilling, this paper proposes a surgical drill positioner that can be used to assist positioning of the drill. It can stabilize the drill when accurate drilling is required. The main components of the positioner are two sets of Cartesian mechanisms which are linked by a linkage through Hooke's joints. The linkage supports a linear drilling mechanism that drives the drill with the control of a microcontroller. Experimental tests of a prototype showed that the designed positioner can travel horizontally within ranges of +/-30 millimeters. The orientation of the drill can be adjusted within a range of +/-35 degrees. The maximum traveling distance of the drill along the drilling axis is 145 millimeters.

Keywords: Closed-chain mechanism; surgical drill; surgical positioner.

1. บทนำ

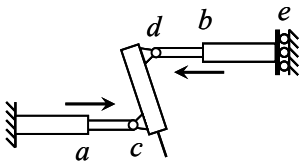
การเจาะวัตถุเป็นกระบวนการพื้นฐานทางวิศวกรรมที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง การเจาะที่เที่ยงตรงในตำแหน่งที่ถูกต้องจำเป็นต้องอาศัยความชำนาญและเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ ในปัจจุบันมีการใช้เครื่องเจาะสำหรับงานทางวิศวกรรมหลายประเภทซึ่งได้แก่ สว่านมือ สว่านแท่น เครื่องเจาะซีเอ็นซี และเครื่องเจาะที่ติดตั้งกับแขนกลอัตโนมัติ เป็นต้น สำหรับในทางการแพทย์ การผ่าตัดที่มีความยุ่งยากซับซ้อน เช่น การผ่าตัดเพื่อเจาะกระดูกสันหลังหรือการผ่าตัดเพื่อเจาะกะโหลกศีรษะ หากการเจาะทำความเสียหายต่อเนื้อเยื่อใกล้เคียงก็อาจเกิดผลเสียที่ทำให้ผู้ป่วยพิการหรือเสียชีวิตได้ [1] ดังนั้นในกรณีเช่นนี้จึงต้องการความแม่นยำในการเจาะค่อนข้างมาก นอกจากนั้นการผ่าตัดกระดูกโดยทั่วไป เช่น การผ่าตัดแก้ไขอาการข้อเข่าเสื่อมและการผ่าตัดยึดตรึงกระดูกที่แตกหักจากการประสบอุบัติเหตุก็ต้องการความแม่นยำสูงเช่นกัน ทั้งนี้เพื่อลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับเส้นเลือดและเส้นประสาทในบริเวณข้างเคียง ด้วยเหตุที่กล่าวมาจึงมีการมุ่งพัฒนาเครื่องช่วยเจาะกระดูกที่มีลักษณะเฉพาะหลายรูปแบบ [1-3] อย่างไรก็ตามในปัจจุบันพบว่าส่วนใหญ่แพทย์ยังคงใช้สว่านมือเป็นอุปกรณ์หลักสำหรับการเจาะกระดูกเนื่องจากมีข้อดีในแง่ของการใช้งานที่สะดวก สามารถปรับเปลี่ยนตำแหน่งและปรับแนวการเจาะได้ง่าย แต่การเจาะด้วยมือทำให้เกิดความผิดพลาดได้มาก [4] เพราะแพทย์ต้องควบคุมทั้งตำแหน่ง แนวการวางตัว แรงกด ความลึก และอัตราเร็วในการเจาะ นอกจากนั้นยังต้องแบกรับน้ำหนักของสว่านไปพร้อมๆ กันอีกด้วย ภาระต่างๆ เหล่านี้ยิ่งทำให้ประสิทธิภาพในการเจาะลดลงเมื่อแพทย์ต้องทำการผ่าตัดเป็นเวลานาน

เพื่อแก้ปัญหาความไม่แม่นยำในการใช้สว่านมือ บทความนี้จึงนำเสนอการออกแบบเครื่องช่วยจัดตำแหน่งสว่านที่มีโครงสร้างแข็งแรงเพียงพอที่จะทำให้การเจาะมีความแม่นยำแต่ยังคงความสะดวกในการใช้มือปรับเปลี่ยนตำแหน่งและแนวการวางตัวของสว่าน (คล้ายกับการถือสว่านมือเพื่อจัดตำแหน่ง) คุณสมบัติเช่นนี้แตกต่างไปจากการจัดตำแหน่งสว่านที่ติดตั้งกับแขนกลอัตโนมัติซึ่งส่วนมากมักจะอาศัยการกดปุ่มที่ยุ่งยากต่อการบังคับให้แขนกลจัดตัวในตำแหน่งที่ต้องการ ดังนั้นการใช้งานเครื่องช่วยจัดตำแหน่งสว่านที่พัฒนาขึ้นนี้นอกจากจะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการผ่าตัดแล้วยังช่วยอำนวยความสะดวกในการผ่าตัดของแพทย์ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการลดความเสี่ยงของการเกิดความผิดพลาดต่างๆ ในกระบวนการผ่าตัด

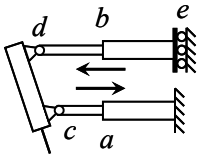
2. ระบบกลไก

2.1 หลักการทำงานของกลไก

การทำงานของเครื่องช่วยจัดตำแหน่งสว่านที่นำเสนอในที่นี้แสดงได้ด้วยแบบจำลองกลไกอย่างง่าย ดังรูปที่ 1 จากรูปจะเห็นได้ว่ากลไกมีลักษณะเป็นแขนยึดสว่าน 2 แขน มุมการวางตัวของสว่านถูกควบคุมด้วยการเคลื่อนที่ของข้อต่อแขน a และ b ตามแนวเชิงเส้นที่มีข้อต่อหมุน c และ d เป็นจุดต่อกับสว่าน นอกจากนี้ยังมีข้อต่อเชิงเส้น e ซึ่งเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระเป็นจุดต่อกับพื้น มุมการวางตัวสูงสุดของสว่าน



(ก)



(ข)

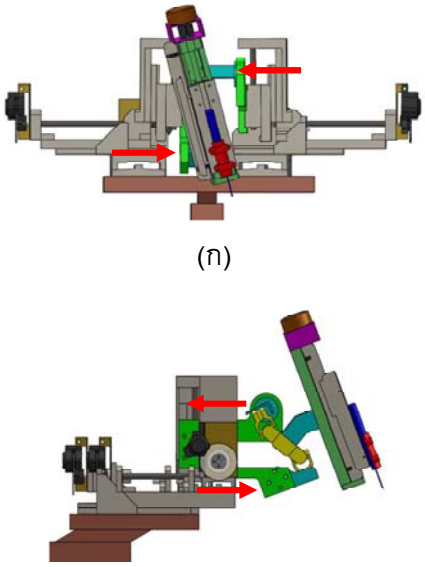
รูปที่ 1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงมุมการวางตัวของสว่าน (ก) สำหรับกลไกที่แขนยึดสว่านอยู่คนละด้าน และ (ข) สำหรับกลไกที่แขนยึดสว่านอยู่ด้านเดียวกัน

ขึ้นอยู่กับขีดจำกัดการหมุนของข้อต่อหมุน c และ d และขอบเขตการขจัดของข้อต่อเชิงเส้น a, b และ e

กลไกดังรูปที่ 1 มีลักษณะเป็นแขนยึดสว่านแบบกลไกวงปิด (closed-chain mechanism) ซึ่งเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าคุณสมบัติเด่นของกลไกแบบนี้คือมีความแกร่ง (stiffness) ค่อนข้างสูง [5] คุณสมบัติดังกล่าวเป็นผลดีอย่างยิ่งต่อเสถียรภาพและความแม่นยำในการเจาะวัตถุที่เป็นของแข็ง เช่น กระดูกมนุษย์

การออกแบบให้เครื่องช่วยจัดตำแหน่งสว่านสามารถทำงานได้ตามหลักการและคุณสมบัติดังที่กล่าวมาข้างต้นอาศัยพื้นฐานแนวคิดในการนำกลไกคาร์ทีเซียน (Cartesian mechanism) ซึ่งเป็นกลไกการเคลื่อนที่เชิงเส้นตามแนวแกนการเคลื่อนที่ 3 องศาอิสระ (3 degree of freedoms) ที่ตั้งฉากกันมาประยุกต์ใช้ กลไกคาร์ทีเซียนมีส่วนประกอบสำคัญคือแกนบอลสกรูความฝืดต่ำ (low-friction ball screw) และแบริ่งเชิงเส้น (linear bearing) ระยะการเคลื่อนที่ของกลไกตามแนวแกนเชิงเส้น x, y และ z คือ 120, 60 และ 65 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อนำกลไกคาร์ทีเซียน 2 ตัวมาเชื่อมโยงเข้าด้วยกันโดยอาศัยข้อต่อหมุนแบบฮุค (Hooke's joints) เป็นตัวเชื่อมต่อจะทำให้ได้ชิ้นส่วนก้านโยงที่มีแนวการวางตัวที่ปรับเปลี่ยนไปได้ (หากพิจารณารูปที่ 1 ข้อต่อฮุค คือ ข้อต่อหมุน c และ d นั่นเอง) ดังนั้นในการใช้งานจึงมีการติดตั้งสว่านและกลไกขับเคลื่อนสว่านเข้ากับชิ้นส่วนก้านโยงดังกล่าว ทั้งนี้เนื่องจากการเคลื่อนที่ของก้านโยงและสว่านมีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของกลไกคาร์ทีเซียนทั้งสอง ดังนั้นจึงเรียกชื่อกลไกนี้ว่า "กลไกโคโอเปอเรทีฟคาร์ทีเซียน (cooperative Cartesian)" การเคลื่อนที่ของกลไกโคโอเปอเรทีฟคาร์ทีเซียนที่การเอียงตัวของสว่านสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของกลไกคาร์ทีเซียนแสดงได้ดังรูปที่ 2

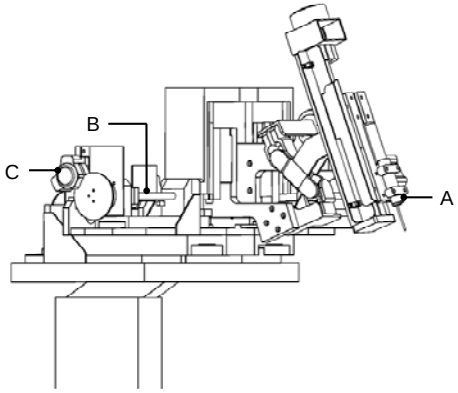
เนื่องจากไม่ต้องการให้ระบบมีความฝืดมากจนทำให้ไม่สะดวกต่อการปรับเปลี่ยนตำแหน่งและแนวการวางตัวของสว่านโดยตรงด้วยมือ (ใช้มือฉุดปรับตำแหน่งหรือปรับหมุนให้ได้มุมเอียงที่ต้องการโดยตรง



(ก)

(ข)

รูปที่ 2 ลักษณะการเคลื่อนที่ของกลไกโคโอเปอเรทีฟคาร์ทีเซียน (ก) มุมมองด้านหน้า (front view) และ (ข) มุมมองด้านข้าง (side view)



รูปที่ 3 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องช่วยจัดตำแหน่งสว่าน (A: สว่าน, B: บอลสกรู และ C: ตัวล็อคบอลสกรู)

คล้ายกับการใช้งานสว่านมือ) จึงมีการเลือกใช้แกนบอลสกรูของกลไกคาร์ทีเซียนที่มีระยะพิตช์ (pitch) ค่อนข้างมาก (10 มิลลิเมตร) ซึ่งทำให้ระบบมีความฝืดต่ำ นอกจากนี้ที่ส่วนปลายของแกนบอลสกรูแต่ละอันบนกลไกคาร์ทีเซียนยังมีตัวล็อคการหมุนแบบจาน (disc lock) ขนาดเล็กควบคุมการทำงานด้วยสวิตช์ไฟฟ้าติดตั้งไว้สำหรับหยุดการหมุนของแกนบอลสกรู (แสดงในรูปที่ 3) เมื่อตัวหยุดการหมุนทำงาน แกน

บอลสกรูจะถูกล็อค ส่งผลให้ตำแหน่งและมุมการวางตัวของสว่านคงตัว ณ ตำแหน่งที่ต้องการ

2.2 การวิเคราะห์กลไก

ในระบบกลไกโคโอเปอเรทีฟคาร์ทีเชียนที่ออกแบบสำหรับการจัดตำแหน่งสว่านนั้น มุมการวางตัวของสว่านมีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ในแนวตรง (linear motion) ของแต่ละส่วนการเคลื่อนที่ในระบบกลไก รูปที่ 4 แสดงการวิเคราะห์กลไกจากมุมมองด้านหน้า (front view) และด้านข้าง (side view) จะเห็นได้ว่าระยะ x_1 และ x_2 ที่ปรากฏในรูปที่ 4(ก) คือ การขจัดเชิงเส้น (linear displacement) ของข้อต่อเชิงเส้นบนกลไกคาร์ทีเชียนแต่ละตัว ในกรณีที่สว่านถูกฉุดให้เคลื่อนที่ตามแนวตรงโดยไม่มีการบิดหมุนให้เอียงตัว ระยะขจัด x_1 และ x_2 จะมีค่าเท่ากัน แต่หากสว่านถูกฉุดให้เกิดการเอียงตัวจากแนวดิ่ง ระยะขจัด x_1 และ x_2 จะมีค่าไม่เท่ากัน ความต่างระหว่าง x_1 และ x_2 (differential displacement) เป็นตัวบ่งชี้ค่ามุมการวางตัวของสว่าน การเคลื่อนที่เชิงเส้นตามแนวแกนและการเอียงตัวของสว่านซึ่งเขียนแทนด้วย x_m และ θ แสดงได้ด้วยสมการ

$$x_m = \frac{x_1 + x_2}{2} \qquad (1)$$

และ $$\theta = \arcsin(\frac{x_1 - x_2}{l}) \qquad (2)$$

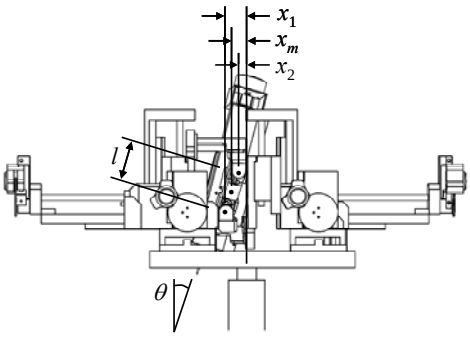
เมื่อ l คือ ความยาวของก้านโยงที่อยู่ระหว่างข้อต่อฮุค

สำหรับการเคลื่อนที่เชิงเส้นและการเอียงตัวของสว่านในระนาบด้านข้างสามารถพิจารณาได้ในทำนองเดียวกันดังรูปที่ 4(ข) ในกรณีนี้ความสัมพันธ์ที่บ่งชี้ถึงการเคลื่อนที่เชิงเส้น y_m และการเอียงตัวของสว่านในระนาบด้านข้าง φ แสดงด้วยสมการ

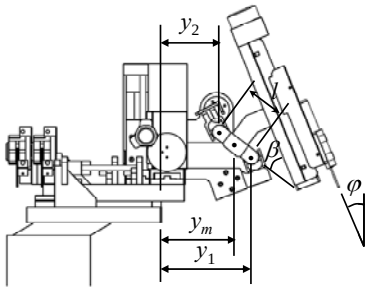
$$y_m = \frac{y_1 + y_2}{2} \qquad (3)$$

และ $$\varphi = \arcsin(\frac{y_1 - y_2}{l}) - \beta \qquad (4)$$

เมื่อ β คือ มุมระหว่างแนวการวางตัวของก้านโยงข้อต่อฮุคกับสว่าน หากพิจารณา (2) และ (4) จะสังเกตได้ว่ามุมการวางตัวสูงสุดของสว่านขึ้นอยู่กับระยะสูงสุดที่ข้อต่อเชิงเส้นเคลื่อนที่ไปได้ ในที่นี้เนื่องจาก



(ก)



(ข)

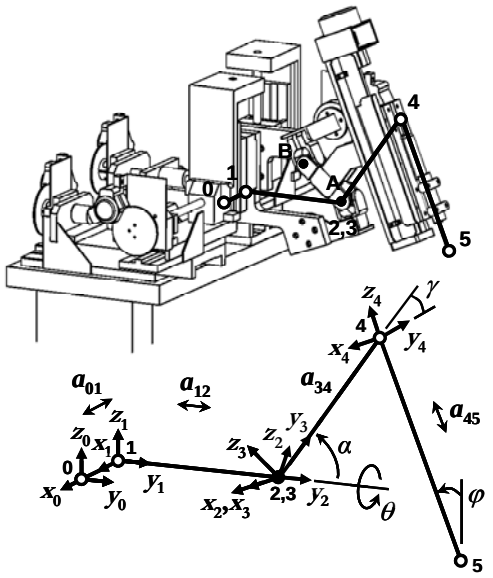
รูปที่ 4 เรขาคณิตของกลไก (ก) มุมมองด้านหลัง (back view) และ (ข) มุมมองด้านข้าง (side view)

กลไกคาร์ทีเชียน 2 ตัวมีขนาดเท่ากันซึ่งค่าสูงสุดของ x_1 กับ x_2 มีค่าเท่ากัน ($|x_{1,max}| = |x_{2,max}| = x_{max}$) และ y_1 กับ y_2 มีค่าเท่ากันเช่นกัน ($|y_{1,max}| = |y_{2,max}| = y_{max}$) ดังนั้นค่ามุมการวางตัวสูงสุดของสว่านสามารถคำนวณได้จาก

$$\theta_{\max} = \arcsin(\frac{2x_{\max}}{l}) \qquad (5)$$

และ $$\varphi_{\max} = \arcsin(\frac{2y_{\max}}{l}) - \beta \qquad (6)$$

นอกจากความสัมพันธ์ระหว่างมุมการวางตัวของสว่านกับระยะการเคลื่อนที่เชิงเส้นแล้ว ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งจุดปลายสว่านกับระยะการเคลื่อนที่เชิงเส้นของกลไกคาร์ทีเชียนก็สามารถหาได้โดยอาศัยการพิจารณาระบบพิกัด (coordinate system) ของแบบจำลองดังรูปที่ 5 ทั้งนี้แบบจำลองประกอบด้วยกรอบพิกัด (coordinate frames) 0 กับ 1 ซึ่งใช้สำหรับอ้างอิงการเคลื่อนที่ตามแนวแกนเชิงเส้นในแนวราบ (แนวแกน x และ y) ส่วนกรอบพิกัด 2 กับ 3



รูปที่ 5 ระบบพิกัดของแบบจำลองการเคลื่อนที่ของระบบกลไกโคโอเปอเรทีฟคาร์ทีเซียน

เป็นกรอบพิกัดหมุน (rotating coordinate frames) ใช้สำหรับอ้างอิงการหมุนของชิ้นส่วนก้านโยงข้อต่อฮุค ซึ่งเป็นได้ทั้งตามแนว θ และ α สุดท้ายคือกรอบพิกัด 4 ใช้สำหรับอ้างอิงการเคลื่อนที่ในแนวตรงของตัวสว่าน เมื่อกำหนดให้กรอบพิกัด 0 ซึ่งเป็นกรอบพิกัดฐาน (base frame) มีตำแหน่งอยู่ที่กึ่งกลางระหว่างฐานกลไกคาร์ทีเซียนทั้งสองและกำหนดให้ข้อต่อฮุค A ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความสูง (แกนบอลสกรูแนวดิ่งของกลไกคาร์ทีเซียนที่เชื่อมต่อกับข้อต่อฮุค A ถูกล็อคไว้ตลอดเวลาและเฉพาะข้อต่อฮุค B เท่านั้นที่เปลี่ยนแปลงความสูงได้อย่างอิสระ) จะทำให้สามารถคำนวณหาระยะขจัดของจุดปลายสว่านเทียบกับกรอบพิกัดฐานดังสมการ

$$R_{05} = R_{01} + R_{12} + A_{12}(A_{23}(R_{34} + A_{34}R_{45})) \quad (7)$$

เมื่อ R_{05} คือ เวกเตอร์ระบุตำแหน่งของจุดปลายสว่านเทียบกับกรอบพิกัดฐานซึ่ง

$$R_{05} = [X_5 \quad Y_5 \quad Z_5]^T,\ R_{05} \in \mathbf{R}^3 \quad (8)$$

R_{01}, R_{12}, R_{34} และ R_{45} คือ เวกเตอร์ระบุตำแหน่งจุดกำเนิด (origin) ของกรอบพิกัดต่างๆ เทียบกันโดยที่

$$R_{01} = [-a_{01} \quad 0 \quad 0]^T \quad (9)$$

$$R_{12} = [0 \quad a_{12} \quad 0]^T \quad (10)$$

$$R_{34} = [0 \quad a_{34} \quad 0]^T \quad (11)$$

และ $$R_{45} = [0 \quad 0 \quad -a_{45}]^T \quad (12)$$

เมื่อ a_{01}, a_{12}, a_{34} และ a_{45} คือ ระยะห่างระหว่างจุดกำเนิดของกรอบพิกัด 0 กับ 1, 1 กับ 2, 3 กับ 4 และ 4 กับ 5 ตามลำดับ ส่วน A_{12}, A_{23} และ A_{34} คือ เมทริกซ์หมุน (rotation matrices) ซึ่ง

$$A_{12} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$A_{23} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \quad (14)$$

และ $$A_{34} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\gamma) & -\sin(-\gamma) \\ 0 & \sin(-\gamma) & \cos(-\gamma) \end{bmatrix} \quad (15)$$

จากการคำนวณพบว่าสมาชิก (elements) ของเวกเตอร์ R_{05} แสดงตำแหน่งของจุดปลายสว่านเทียบกับกรอบพิกัดฐานตามแนวแกน x, y และ z ดังนี้

$$X_5 = -a_{01} + a_{34}\sin\alpha\sin\theta - a_{45}\sin\gamma\sin\alpha\sin\theta - a_{45}\cos\gamma\cos\alpha\sin\theta \quad (16)$$

$$Y_5 = a_{12} + a_{34}\cos\alpha - a_{45}\sin\gamma\cos\alpha + a_{45}\cos\gamma\sin\alpha \quad (17)$$

$$Z_5 = a_{34}\sin\alpha\cos\theta - a_{45}\sin\gamma\sin\alpha\cos\theta - a_{45}\cos\gamma\cos\alpha\cos\theta \quad (18)$$

a_{34} และ γ ไม่ใช่ตัวแปร แต่เป็นค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับขนาดของส่วนประกอบกลไกที่ใช้เชื่อมต่อกลไกคาร์ทีเซียนกับกลไกส่วนปลายสำหรับขับเคลื่อนสว่าน ส่วน a_{01}, a_{12}, a_{45}, θ และ α เป็นตัวแปร ซึ่งในกรณีนี้ a_{01} = x_1 (ในรูปที่ 4(ก)), a_{12} = y_1 (ในรูปที่ 4(ข)), θ มีค่าตามสมการ (2) และ α = $\gamma + \varphi$ ดังนั้นเมื่อแทนค่าต่างๆ เหล่านี้ลงใน (16)-(18) จะได้

$$X_5 = -x_1 + a_{34}\sin(\gamma+\varphi)\sin\theta - a_{45}\sin\gamma\sin(\gamma+\varphi)\sin\theta - a_{45}\cos\gamma\cos(\gamma+\varphi)\sin\theta \quad (19)$$

$$Y_5 = y_1 + a_{34}\cos(\gamma+\varphi) - a_{45}\sin\gamma\cos(\gamma+\varphi) + a_{45}\cos\gamma\sin(\gamma+\varphi) \quad (20)$$

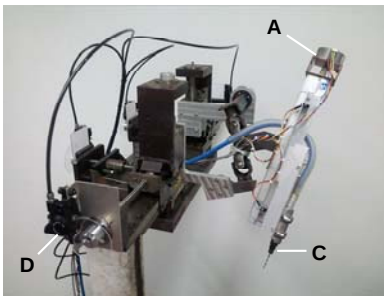
$$Z_5 = a_{34}\sin(\gamma+\varphi)\cos\theta - a_{45}\sin\gamma\sin(\gamma+\varphi)\cos\theta - a_{45}\cos\gamma\cos(\gamma+\varphi)\cos\theta \quad (21)$$

สมการ (19)-(21) มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการคำนวณเพื่อวิเคราะห์และออกแบบระบบกลไกให้สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

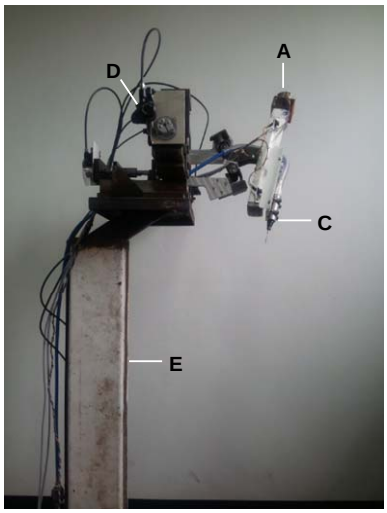
3. เครื่องต้นแบบ

ต้นแบบเครื่องช่วยจัดตำแหน่งสว่านที่พัฒนาขึ้นโดยอาศัยระบบกลไกโคโอเปอเรทีฟคาร์ทีเซียนแสดงดังรูปที่ 6 กลไกและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดถูกติดตั้งบนฐานโครงสร้างที่มีล้อเลื่อนสำหรับอำนวยความสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย ที่ส่วนปลายของระบบกลไกมีการติดตั้งสว่านลมความเร็วสูง (high-speed pneumatic drill) ขับเคลื่อนด้วยชุดขับแนวตรง (linear actuator) ซึ่งประกอบด้วยสเต็ปเปอร์มอเตอร์ (MITSUMI M55SP-1N, 7.5°/step) และบอลสกรู (ระยะพิตช์ 3 มิลลิเมตร) การควบคุมการเคลื่อนตัวของชุดขับแนวตรงอาศัยไมโครคอนโทรเลอร์ (Arduino MEGA 2560 R3) โดยป้อนค่าผ่านแผงปุ่มควบคุมทิศทางและปุ่มตัวเลข (keypad) เพื่อการตั้งค่าความลึกและความเร็วในการเคลื่อนที่ (feed rate) ทั้งนี้สว่านสามารถถูกควบคุมให้เคลื่อนที่ได้ในช่วงการทำงาน 0-145 มิลลิเมตร มีความละเอียด (resolution) ของการเคลื่อนที่ 0.063 มิลลิเมตรและความเร็วในการเคลื่อนที่สูงสุด 2.6 มิลลิเมตรต่อวินาที การคงตำแหน่งการวางตัวของสว่านทำได้โดยอาศัยตัวล็อคที่ติดตั้งกับกลไกคาร์ทีเซียน และเพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายต่อกลไกและอุปกรณ์ขับเคลื่อน ที่ตำแหน่งปลายสุดแต่ละด้านของชุดขับแนวตรงมีเซนเซอร์แสง (optical sensor) ติดตั้งไว้สำหรับป้องกันการเคลื่อนที่เกินช่วง

4. ผลการทดสอบ



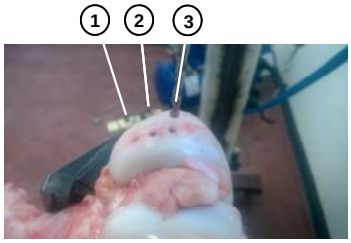
(ก)



(ข)

รูปที่ 6 เครื่องช่วยจัดตำแหน่งสว่านต้นแบบ (ก) ส่วนกลไกโคโอเปอเรทีฟคาร์ทีเซียนและ (ข) ส่วนกลไกและฐาน (A: สเต็ปเปอร์มอเตอร์, B: บอลสกรู, C: สว่านลม, D: ตัวล็อคตำแหน่ง และ E: ฐานโครงสร้าง)

ในเบื้องต้น เครื่องช่วยจัดตำแหน่งสว่านต้นแบบถูกนำไปใช้ในการทดสอบการเจาะกระดูกโดยวัตถุตัวอย่างที่ใช้คือกระดูกหมู (porcine bone) รูปที่ 7 แสดงตำแหน่งและแนวการวางตัวของสว่านสำหรับการเจาะบริเวณข้อกระดูก 3 ตำแหน่งที่มีระยะห่างกันประมาณ 8 มิลลิเมตร โดยแต่ละตำแหน่งใช้ดอกสว่านขนาด 3.5 มิลลิเมตรทำการเจาะในแนวตั้งฉากกับผิวกระดูกด้วยความเร็วประมาณ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ความลึกของการเจาะกำหนดไว้ที่ระดับต่างๆ จนถึงระดับใกล้แกนกลางกระดูก คือ 5, 8 และ 12 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งหลังจากการทดสอบได้ตรวจสอบกระดูก



รูปที่ 7 ตำแหน่งการทดสอบการเจาะกระดูกหมูด้วยเครื่องช่วยจัดตำแหน่งสว่านต้นแบบ

ตัวอย่างพบว่ารูเจาะมีระดับความลึกซึ่งวัดได้ใกล้เคียงกับที่ตั้งค่าการเจาะไว้ ทั้งนี้ค่าความลึกของแต่ละรูมีความคาดเคลื่อนไปจากที่กำหนดไว้น้อยกว่า 1%

5. บทสรุป

เครื่องช่วยจัดตำแหน่งสว่านแบบโคโอเปอเรทีฟคาร์ทีเซียนที่พัฒนาขึ้นเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้การเจาะกระดูกมีความแม่นยำมากกว่าการเจาะด้วยสว่านมือ ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องมีโครงสร้างที่แข็งแรง มีระบบควบคุมที่สามารถควบคุมระดับความลึกและอัตราการเจาะให้เป็นไปได้อย่างแม่นยำ นอกจากนั้นตัวเครื่องยังมีลักษณะพิเศษคือ ผู้ใช้สามารถใช้มือปรับเปลี่ยนตำแหน่งและแนวการวางตัวของสว่านได้โดยง่ายซึ่งทำให้สะดวกต่อการใช้งาน นอกจากนั้นยังมีระบบล็อคกลไกที่ทำให้สว่านสามารถคงตำแหน่งได้อย่างมั่นคงขณะทำการเจาะวัตถุ จากคุณสมบัติดังที่กล่าวมาทำให้เครื่องช่วยจัดตำแหน่งสว่านสามารถใช้เป็นเครื่องมือสำหรับอำนวยความสะดวกในการผ่าตัด การใช้เครื่องมือดังกล่าวอย่างเหมาะสมจะสามารถช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดความผิดพลาดต่างๆ ทำให้กระบวนการผ่าตัดมีความปลอดภัยมากขึ้น

6. ภาคผนวก

คุณสมบัติเฉพาะ (specifications) ของเครื่องช่วยจัดตำแหน่งสว่านต้นแบบสามารถแสดงโดยย่อดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติเฉพาะของเครื่องช่วยจัดตำแหน่งสว่านต้นแบบ

คุณสมบัติเฉพาะ	ขนาด
ช่วงการเคลื่อนที่ของสว่านตามแนวราบซ้าย-ขวา	+/-30 mm
ช่วงการเคลื่อนที่ของสว่านตามแนวราบหน้า-หลัง	+/-30 mm
ช่วงการเคลื่อนที่ของสว่านตามแนวแกน	0-145 mm
ความละเอียดของการเคลื่อนสว่านตามแนวแกน	0.063 mm
ความเร็วต่ำสุดในการเจาะ	0.6 mm/s
ความเร็วสูงสุดในการเจาะ	2.6 mm/s
มุมการวางตัวต่ำสุด (เทียบกับแนวดิ่ง)	-35°
มุมการวางตัวสูงสุด (เทียบกับแนวดิ่ง)	35°
เส้นผ่านศูนย์กลางของดอกสว่าน	≤3.5 mm

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Shoham, M., Burman, M., Zehavi, E., Joskowicz, L., Batkilin, E., and Kunicher, Y. (2003). Bone-Mounted Miniature Robot for Surgical Procedures: Concept and Clinical Applications, *IEEE Transactions on Automatics and Automation*, vol. 19(5), October 2003, pp.893-901.

[2] Louredo, M., Diaz, I., and Gil, J. (2012). DRIBON: A Mechatronic Bone Drilling Tool, *Mechatronics*, vol. 22(8), December 2012, pp. 1060-1066.

[3] Tsai, T. and Hsu, Y. (2007). Development of a Parallel Surgical Robot with Automatic Bone Drilling Carriage for Stereotactic Neurosurgery, *Biomedical Engineering, Applications, Basis, and Communications*, vol.19(4), August 2007, pp. 269-277.

[4] Bertollo, N. and Walsh, W. R. (2011), Drilling of Bone: Practicality, Limitations and Complications Associated with Surgical Drill-Bits, Biomechanics in Applications, September 2011, pp. 53-82.

[5] Nasseri, M. A., Eder, M., Eberts, D., Nair, S., Maier, M., Zapp, D., Lohmann, C. P., and Knoll, A. (2013). Kinematics and Dynamics Analysis of a Hybrid Parallel-Serial Micromanipulator Designed

for Biomedical Applications, paper presented in *the 2013 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, Wollonggong, Australia.