การสร้างสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเนื้อเยื่อในการสอดเข็มเวเรสส์เพื่อการพัฒนาระบบแฮปติกส์

Mathematical Model of Soft Tissue in Veress Needle Insertion for Haptics Implementation

คณิน เปี่ยมงาม ธนวัฒน์ วงศ์บุษยมาส นฏกร กล้าหาญ วรุตม์ แก่นหิน สิปปณัฐ อาชวนันทดิษฐ์ นันทิดา นิลหุต และชลลดาวัลล์ มูลใจตา
ภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ศูนย์เครือข่ายวิจัยประยุกต์ทางเทคโนโลยีหุ่นยนต์และชีวการแพทย์ (BART LAB) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
25/25 ถ.พุทธมณฑล สาย 4 ศาลายา นครปฐม 73130 โทร 02-889-2138 ต่อ 6446
Corresponding Author อีเมล์ choladawan.moo@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษากระบวนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเนื้อเยื่อ ซึ่งอาศัยข้อมูลจากการวัดแรงขณะการสอดเข็มเวเรสส์ (Veress Needle) ในแนวตั้งฉากกับเนื้อเยื่อหมูเป็นตัวอย่างข้อมูลแรงที่สนใจ โดยขั้นตอนสามารถจำแนกได้เป็น 4 ขั้นตอนคือ 1). การเก็บแรงในขณะทดลองสอดเข็มในเนื้อเยื่อโดยคนปกติ 2). การเก็บแรงในขณะทดลองสอดเข็มในเนื้อเยื่อโดย Robotics Needle Insertion 3). สร้างสมการจำลองทางคณิตศาสตร์ 4).ทำการทดสอบสมการจำลองทางคณิตศาสตร์โดยวิธีทางสถิติ

ซึ่งผลการทดลองพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเนื้อเยื่อที่ทดสอบโดยระบบหุ่นยนต์และคนปกติอยู่ในระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 เมื่อตรวจสอบด้วยวิธีทางสถิติ t-test โดยผลการศึกษาที่ได้สามารถนำมาพัฒนาต่อยอด และประยุกต์ใช้กับงานด้านอื่นๆ เช่น การสร้างภาพจำลองเสมือนจริงของเนื้อเยื่อต่างๆด้วยระบบคอมพิวเตอร์ การประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีการรับรู้แรงสัมผัสเสมือนจริงแฮปติกส์ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการพัฒนาทางด้านการแพทย์ นอกจากนี้ยังสามารถนำแนวคิดและวิธีการจากการทดลองดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับเนื้อเยื่อหรืออุปกรณ์เครื่องมืออื่นอีกด้วย

คำสำคัญ: Robotic Needle Insertion, Veress Needle, Laparoscopic Surgery, Biomechanics of muscle, Perception

1. บทนำ

การรับรู้และการรู้สึกเป็นกระบวนการในการรับรู้ข้อมูลจากสิ่งเร้าภายนอกผ่านอวัยวะรับสัมผัส เช่น ตารับความรู้สึกในการมองเห็น หูรับรู้การได้ยินเสียง จมูกรับสัมผัสกลิ่น ลิ้นรับรส ความรู้สึกที่รับเข้ามาจะถูกวิเคราะห์ตีความหมายเกี่ยวกับสิ่งเร้านั้นทั้งภายนอกและภายในร่างกาย โดยอาศัยประสบการณ์และการเรียนรู้ ทำให้มีการหลั่งสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดการตอบสนองต่อสิ่งเร้า การรู้สึกและการรับรู้จึงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของการเกิดพฤติกรรม ถ้าการรู้สึกและการรับรู้บกพร่องย่อมส่งผลให้พฤติกรรมของอินทรีย์ผิดไปจากปกติ

ในทางการแพทย์โดยเฉพาะในเรื่องของการผ่าตัดนั้น แพทย์ผู้ทำการผ่าตัดจะทำหัตถการด้วยความเคยชิน เพราะฉะนั้นการรับรู้จากประสาทสัมผัสด้วยมือจึงมีส่วนที่สำคัญที่เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์หรือรักษาของแพทย์ หากแพทย์ขาดประสาทรับรู้เชิงสัมผัสไป ก็จะส่งผลต่อการวินิจฉัยนั้นได้หรือทำให้แพทย์ต้องเพิ่มทักษะที่มากขึ้นตามด้วย

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางการผ่าตัดนั้นได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการผ่าตัดที่มีขนาดใหญ่ มาสู่การผ่าตัดขนาดเล็ก ทำให้ผู้ป่วยมีแผลขนาดเล็กลง ส่งผลให้มีระยะเวลาในการพักฟื้นสั้นลง โดยในการผ่าตัดประเภทนี้จะพบมากในการผ่าตัดบริเวณช่องท้อง ซึ่งแพทย์จะทำการเจาะรูขนาดเล็กที่ผนังหน้าท้องของผู้ป่วย เพื่อสอดอุปกรณ์ในการผ่าตัดเข้าไป การผ่าตัดชนิดนี้แพทย์ผู้ทำ

การผ่าตัดจะไม่เห็นการผ่าตัด และจะไม่สามารถสัมผัสกับอวัยวะที่ทำการผ่าตัดโดยตรง แต่จะดำเนินการผ่านอุปกรณ์ผ่าตัดที่สอดเข้าไปภายในช่องท้องผู้ป่วย และมองเห็นการผ่าตัดภายในผ่านกล้องลาปาโลสโคปเท่านั้น จึงเรียกการผ่าตัดชนิดนี้ว่า "Laparoscopic Surgery"

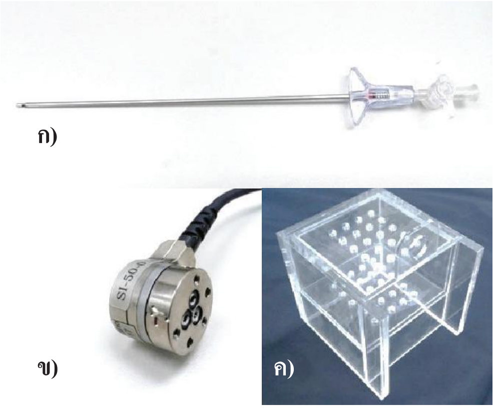
แพทย์ผู้ผ่าตัดโดยวิธีนี้จำเป็นต้องได้รับการฝึกฝนและมีประสบการณ์เฉพาะด้าน ทั้งมุมมองที่จะต้องมองผ่านกล้อง ซึ่งจะแตกต่างจากการมองโดยตรง นอกจากนี้อุปกรณ์ที่มีความจำเพาะนี้ยังเป็นข้อจำกัดให้แพทย์ไม่สามารถรับรู้ความสึกที่เกิดจากการผ่าตัดอีกด้วย ดังนั้นหากอุปกรณ์ผ่าตัดมีการตอบสนองย้อนกลับที่ใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อจริง ก็จะสามารถเพิ่มความรู้สึกสมจริงให้กับในขณะผ่าตัดมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป้าหมายหลักของการทดลองนี้เพื่อแสดงตัวอย่างในการเก็บข้อมูลแรงและสร้างสมการการตอบสนองแรงย้อนกลับของเนื้อเยื่อขณะแทงเข็มเวเรสส์ สำหรับนำไปสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อประโยชน์ในการสร้างภาพจำลองที่เสมือนจริง หรือการนำมาประยุกต์ควบคู่กับอุปกรณ์แฮปติกส์สำหรับฝึกการผ่าตัดส่องกล้อง

N. Nillahoot [1] ได้ทำการศึกษาลักษณะของข้อมูลแรงในขณะสอดเข็มเวเรสส์ (Veress Needle) ในเนื้อเยื่อโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ 1. ทำการทดลองเพื่อหาความถี่สุ่มที่เหมาะในการเก็บข้อมูลในลักษณะนี้ 2. ทำการทดลองเพื่อหาความเร็วในการแทงเข็มในเนื้อเยื่อโดยใช้ความเร็วเฉลี่ยจากการแทงเข็มโดยคนปกติ 3. นำอัตราสุ่มที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 และความเร็วเฉลี่ยในการทดลองที่ 2 มาใช้ในการกำหนดค่าใน Robotics Needle Insertion ที่ได้พัฒนาขึ้นเฉพาะของ BART LAB มาใช้ในการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลแรงจากเนื้อเยื่อไขมัน กล้ามเนื้อ และผนังหน้าท้อง ของเนื้อหมู N. Abolhassani [2] ได้ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของเข็ม การสอดเข็มเข้าไปยังช่องท้อง การเปลี่ยนรูปร่างของเนื้อเยื่อการเบนของเข็ม ฯลฯ เพื่อนำไปสร้างแบบจำลองที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น H.K. Cameron AL [3] ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความปลอดภัยของผู้ป่วยและเปรียบเทียบความยุ่งยากในการแทงเข็มเวเรสส์ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผู้ป่วยในการแทงเข็มเวเรสส์

โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้ต้นแบบแนวคิดในการออกแบบการทดลองจากเอกสารงานวิจัยที่ [1] แต่ได้ทำการการลองและวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองเพิ่มเติม ผู้ศึกษาได้ออกแบบกล่องสำหรับบรรจุเนื้อเยื่อขึ้นใหม่เพื่อให้มีระยะห่างที่เหมาะสมในการสอดเข็มแต่ละครั้ง โดยใช้ทฤษฎีการทดสอบความแข็งของ Brinell [4] (Brinell Hardness test) ว่า "ระยะห่างในการสอดเข็มแต่ละครั้งควรมีค่ามากกว่า 3 เท่าของขนาดเข็ม เพื่อรักษาคุณสมบัติของเนื้อเยื่อและลดความผิดพลาดในการเก็บข้อมูล" และเลือกใช้เนื้อหมูบริเวณสันนอกสำหรับการทดลองนี้ เป้าหมายของการทดลองนี้ เพื่อทดลองเก็บข้อมูลแรงในขณะแทงเข็มเวเรสส์เข้าไปในเนื้อเยื่อ และสร้างสมการจำลองทางคณิตศาสตร์จากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยการสร้างสมการจำลองทางคณิตศาสตร์ของแรงกระทำแบบย้อนกลับของชั้นเนื้อเยื่อในงานวิจัยนี้จะแบ่งเป็นสามขั้นตอนคือ การทดลองสอดเข็มโดยใช้คนปกติ (Handheld) การสอดเข็มด้วยแขนหุ่นยนต์ (Robotics Needle Insertion) และการสร้างสมการจำลองทางคณิตศาสตร์

2. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เข็มเวเรสส์ (รูปที่ 1 ก) เป็นอุปกรณ์ทางการผ่าตัดที่ส่วนมากใช้ในการผ่าตัดทางกล้อง (Laparoscopic Surgery) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มม. และความยาว 150 มม.



รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์ ก) แสดงเข็มเวเรสส์ ข) เซนเซอร์วัดแรงและแรงบิด และ ค) กล่องอะคริลิกสำหรับบรรจุเนื้อเยื่อ

โดยเข็มชนิดนี้มีหน้าที่สำหรับเจาะเข้าไปในช่องท้องผู้ป่วย เพื่อบรรจุแก๊สคาร์บอนไดออกไซค์ทำหน้าท้องผู้ขยายขึ้น ช่วยให้แพทย์สามารถมีมุมมองในการมองช่องท้องได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ขนาดกล่องอะครีลิก (รูปที่ 1 ค) ใช้ในการทดลองมีขนาดกว้าง 8 ซม. ยาว 8 ซม. และสูง 8 ซม. โดยออกแบบให้มีขนาดที่พอดีกับเนื้อเยื่อที่นำมาใช้ในการทดลอง ทั้งนี้ส่วนบนและล่างของกล่องยังเจาะรูขนาด 3 mm. จำนวน 20 ช่องตรงกัน โดยรูทั้งหมดนี้จะมีระยะห่างที่เท่ากันเสมอ สำหรับการทดลองการสอดเข็มโดยใช้มนุษย์จะใช้ผู้ทำการทดลองจำนวน 10 คน ซึ่งแต่ละคนสอดเข็มลงในเนื้อจำนวน 10 ครั้งโดยใช้เซนเซอร์วัดแรงและแรงบิด (รูปที่ 1 ข) สำหรับวัดแรงในสามแกน และใช้การ์ดรวมรวมข้อมูล (16 bit NI PCI 6220 DAQ card) สำหรับประมวลผลเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าความเร็วคงที่ และการสอดเข็มโดย Robotics Needle Insertion นั้น จะใช้แขนหุ่นยนต์ติดตั้งเข็มเวเรสส์ที่พัฒนาโดย BERT LAB ม.มหิดล ซึ่งการควบคุมแขนหุ่นยนต์นั้นควบคุมผ่านผ่านทาง USB controller [5] โดยอาศัยข้อมูลเฉพาะตาม [6] และเซนเซอร์วัดแรงและแรงบิด โดยแสดงระบบการติดตังดังรูปที่ 2 ซึ่งจะนำค่าความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากค่าความเร็วจากการทดลองสอดเข็มโดยคนปกติ มาใช้ในการทดลองด้วย Robotics Needle Insertion เพื่อให้ได้เวลาที่ใกล้เคียงกับเวลาที่มนุษย์ใช้ในการสอดเข็มมากที่สุด หลังจากนั้นนำมาหาแรง ณ ตัวอย่างใดๆ ซึ่งแรงที่ใช้นั้นจะใช้เฉพาะแรงที่อยู่บนแกน z และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้วิธีการถดถอยแบบพหุนาม (Polynomial Regression)

รูปที่ 2 แสดงระบบการติดตั้งเข็มเวเรสส์และเซนเซอร์วัดแรงและแรงบิดเข้ากับแขนหุ่นยนต์

3. ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

3.1 การทดลองสอดเข็มในเนื้อเยื่อโดยคนปกติ

3.1.1 การหาอัตราส่วนความถี่สุ่ม

การหาอัตราส่วนความถี่สุ่มนั้นเราจะหาแต่ละตัวอย่างในเวลาหนึ่งวินาที สำหรับการทดลองนี้พบว่าอัตราส่วนความถี่สุ่มจะได้ 66 ตัวอย่างในหนึ่งวินาที

3.2.2 การหาความเร็ว

การหาความเร็วที่จะนำไปใช้ในการสอดเข็มของระบบหุ่นยนต์นั้น คำนวณได้สูตรหาค่าเฉลี่ย

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \tag{1}$$

โดย $\bar{x}$ คือ เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการสอดเข็ม

x คือ เวลาที่ใช้ในการสอดเข็ม

n คือ จำนวนข้อมูล

ตารางที่ 1 แสดงเวลาในการสอดเข็มและค่าเฉลี่ย

คนที่	เวลา (วินาที)
1	2.8
2	1.7
3	2.9
4	11.0
5	1.0
6	3.8
7	3.4
8	2.3
9	3.6
10	2.4
เฉลี่ย	3.5
±SD	2.78

จากตารางที่ 1 พบว่าค่าเฉลี่ยจากการทดลองสอดเข็มเวเรสส์โดยคนปกติมีค่าเท่ากับ 3.5 วินาที และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 2.78 และเนื้อที่ใช้ในการทดลองมีความสูงเท่ากับ 30 มิลลิเมตร สามารถหาความเร็วในขณะเข็มผ่านเนื้อเยื่อได้จากสูตรหาความเร็ว

$$v = \frac{s}{t} \quad (2)$$

โดย v คือ ความเร็ว

s คือ ความลึก

t คือ เวลา

ซึ่งจะได้ความเร็ว 8.57 มม./วินาที

3.2 การทดลองสอดเข็มในเนื้อเยื่อโดย Robotics Needle Insertion

จำนวนอัตตรา โดยจะใช้จำนวนตัวอย่างเท่ากับ 66 ตัวอย่างต่อหนึ่งวินาที และตั้งค่าเวลาในการสอดเข็มเท่ากับ 3.5 วินาที ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดลองโดยคนปกติจะได้จำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ในการสอดเข็มจะเท่ากับ 231 ±1%

3.3 สร้างสมการจำลองทางคณิตศาสตร์

3.3.1 ทฤษฎีถดถอยแบบพหุนาม

ทฤษฎีถดถอยแบบพหุนามคือการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่คู่อันดับ (x, y) ต่างๆที่ได้จากการทดลองให้อยู่ในรูปของสมการพหุนาม

$$Y(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_nx^n \quad (3)$$

โดยเริ่มจากสมมุติสมการพหุนามขึ้นตามกำลังที่สนใจ(ในที่นี้คือ n) ได้ว่า

$$G(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_nx^n \quad (4)$$

เมื่อนำค่าของข้อมูลที่ x_i มาแทนในสมการ จะทำให้ได้ค่าของ $G(x_i)$ มา ซึ่งค่าดังกล่าวนั้นจะมีความแตกต่างกับค่า Y_i เรียกกำลังสองของผลต่างดังกล่าวว่าค่าความผิดพลาด (Error) E เมื่อหาค่ารวมของค่าความผิดพลาดจากทุกๆคู่อันดับข้อมูล จะได้ว่า

$$\sum_{i=0}^{n} E = \sum_{i=0}^{n} \left(Y_i - G(x_i)\right)^2 \quad (5)$$

สมการพหุนามที่สร้างขึ้นนั้น จะมีค่าใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด หรือมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดนั้นต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขว่า ค่าอนุพันธ์ย่อยของค่าความผิดพลาดเทียบกับสัมประสิทธิ์ใดๆ มีค่าเป็นศูนย์ หรือกล่าวได้ว่า

$$\frac{\partial E}{\partial a_i} = 0 \quad (6)$$

เมื่อประยุกต์เงื่อนไขดังกล่าวเข้ากับสมการ จะทำให้เกิดระบบสมการดังนี้

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=0}^{n} x_i & \cdots & \sum_{i=0}^{n} x_i^n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=0}^{n} x_i^n & \cdots & \sum_{i=0}^{n} x_i^{2n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=0}^{n} y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=0}^{n} x_i^{n-1} y_i \end{bmatrix} \quad (7)$$

เมื่อแก้ระบบสมการดังกล่าวเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ $a_0, a_1, \ldots, a_n$ จึงนำไปแทนในสมการตั้งต้น ได้เป็นสมการถดถอยแบบพหุนาม

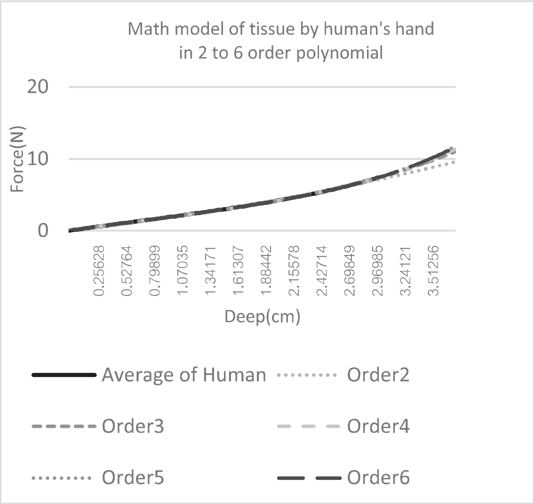
วิธีการสร้างสมการจำลองทางคณิตศาสตร์ของแรงกระทำแบบย้อนกลับ นำผลการทดลองที่ตรวจวัดได้จากเซนเซอร์ตรวจวัดแรงและแรงบิดซึ่งจะได้ค่าเป็นแรงต่อความถี่ เปลี่ยนโดเมนของตัวแปรต้นให้อยู่ในรูปของความลึกของเนื้อเยื่อ จะได้เป็นสมการแรงต่อความลึกของเนื้อเยื่อ จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละความลึกจะได้สมการแรงต่อความลึกของเนื้อเยื่อเฉลี่ย แล้วนำไปสร้างสมการการถดถอยแบบพหุนาม

สมการจำลองทางคณิตศาสตร์ของแรงกระทำย้อนกลับของเนื้อเยื่อเมื่อทำการสอดเข็ม ที่ได้จากการทดลองเป็นสมการพหุนามตั้งแต่กำลัง 2 ถึง 6 ซึ่งแต่ละสมการจะมีแนวโน้มต่างกัน จำเป็นต้องดูแนวโน้มและต้องใกล้เคียงกับข้อมูล

ซึ่งสมการที่ได้อยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างแรง (y, N)และ ความลึก $(x, cm.)$ดังนี้ สมการจำลองทางคณิตศาสตร์ของการสอดเข็มโดยคนปกติ คือ

$$y(x) = -0.00213x^6 + 0.03233x^5 - 0.14175x^4 + 0.37390x^3 - 0.43959x^2 + 2.12101x$$

ดังแสดงในกราฟรูปที่ 3

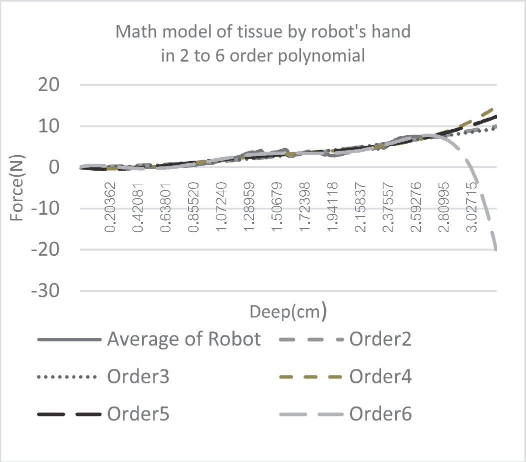


รูปที่ 3 แสดงกราฟสมการจำลองทางคณิตศาสตร์ของแรงกระทำแบบย้อนกลับโดยคนปกติ

สมการจำลองทางคณิตศาสตร์ของการสอดเข็มโดย Robotics Needle Insertion คือ

$$y(x) = -0.26495x^5 + 2.64070x^4 - 8.86511x^3 + 12.57344x^2 - 4.57431x$$

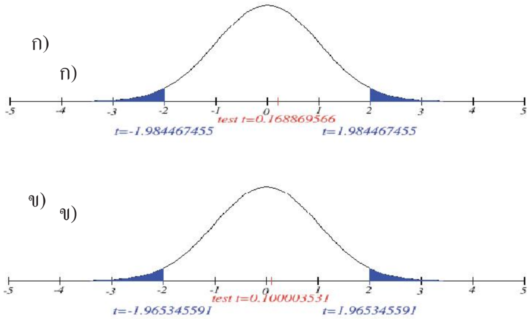
ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงกราฟสมการจำลองทางคณิตศาสตร์ของของแรงกระทำแบบย้อนกลับโดย Robotics Needle Insertion

3.4 ทำการทดสอบสมการจำลองทางคณิตศาสตร์โดยวิธีทางสถิติ

การทดสอบสมการทั้งสองว่าสามารถยอมรับได้หรือไม่โดยใช้วิธีทางสถิติ t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances ตั้งสมมุติฐานหลัก (Null Hypothesis) คือ ค่าแรงเฉลี่ยจากข้อมูลและจากสมการจำลองทางคณิตศาตร์ไม่มีความแตกต่างกันและกำหนดค่า ระดับนัยสำคัญ (level of significance) เท่ากับ 0.05 สมการจำลองทางคณิตศาตร์ของแรงกระทำย้อนกลับโดยคนปกติมีค่าความน่าจะเป็น (P value) เท่ากับ 0.169 และสมการจำลองทางคณิตศาตร์ของแรงกระทำย้อนกลับโดยระบบหุ่นยนต์มีค่าความน่าจะเป็น เท่ากับ 0.920 ซึ่งมากกว่าค่า ระดับนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 5ก และ 5ข ตามลำดับ ดังนั้นสมการจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งสองสมการนั้นสามารถยอมรับได้ เมื่อเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของทั้งสองสมการแล้ว สมการจำลองทางคณิตศาสตร์โดย Robotics Needle Insertion มีความแม่นยำมากกว่าสมการจำลองทางคณิตศาตร์โดยคนปกติ



รูปที่ 5 กราฟแสดงค่า t – test ของ ก) สมการทางคณิตศาสตร์ของเนื้อโดยข้อมูลจากคนปกติ ข) สมการทางคณิตศาสตร์ของเนื้อโดยข้อมูลจาก Robotics Needle Insertion

ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สมการที่ได้จากระเบียบวิธีการถดถอยแบบพหุนามสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาระบบการสอดเข็มเวเรสส์ของ Robotics Needle Insertion ในการจำลองแรงกระทำย้อนกลับที่ใกล้เคียงความจริง

4. การพัฒนาและการนำไปประยุกต์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการทดลองทั้งสองสมการดังกล่าว ซึ่งเป็นค่าของแรงกระทำย้อนกลับของกล้ามเนื้อที่ความลึกต่างๆ สามารถนำไปใช้ในการเขียนโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เพื่อใช้เป็นสมการต้นแบบในการสร้างภาพจำลองเสมือนจริง หรือใช้ประกอบกับอุปกรณ์แฮปติกส์ เพื่อพัฒนาระบบที่สามารถให้แรงย้อนกลับเสมือนจริงได้ นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางในการประยุกต์ระบบจำลองดังกล่าว สำหรับจำลองการฝึกการผ่าตัดแบบ Laparoscopic Surgery รวมไปถึงการผ่าตัดแบบระยะไกลในผู้ป่วยจริงต่อไปในที่สุด

5. ข้อเสนอแนะ

ปัญหาที่เกิดจากการนำชิ้นเนื้อมาทำการทดลองมีหลายปัจจัย กล่าวคือ ขนาดชิ้นเนื้อแต่ละครั้งการทดลองมีขนาดไม่เท่ากัน ทั้งชั้นไขมัน และชั้นกล้ามเนื้อที่มีในเนื้อแต่ละชิ้นที่ไม่เหมือนกัน ส่งผลให้การออกแรงสอดเข็มให้ข้อมูลต่างกันไป ดังนั้น จึงต้องทำการควบคุมปัจจัยเหล่านี้ให้มีสมบัติตรงกัน

นอกจากนี้เนื้อหมูที่ใช้ทำการทดลอง เป็นเพียงการเก็บข้อมูลตัวอย่างเท่านั้น หากต้องการพัฒนาไปใช้จริงกับในมนุษย์ ต้องทำการเก็บผลข้อมูลกับผู้ป่วยจริง และทำการทดลองให้แม่นยำมากขึ้นเพื่อความน่าเชื่อถือของการทดลอง ซึ่งจะนำไปสู่การสร้างระบบการผ่าตัดระยะไกลในที่สุด

6. กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาหัวข้อ "การสร้างสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเนื้อเยื่อในการสอดเข็มเวเรสส์เพื่อการพัฒนาระบบแฮปติกส์" นี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยมหิดล ภายใต้โครงการ "การแพทย์อัจฉริยะบูรณาการคอมพิวเตอร์ วินิจฉัย ศัลยกรรมและฟื้นฟู"

ทั้งนี้คณะผู้ศึกษาใคร่ขอขอบพระคุณ อาจารย์ชลลดาวัลล์ มูลใจตา ที่ได้ให้คำสอน คำปรึกษา และคำแนะนำ ตลอดจนการให้การสนับสนุนตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา ขอขอบคุณ นางสาวนันทิดา นิลหุต ที่ได้ให้คำสอนในการใช้อุปกรณ์เซนเซอร์วัดแรงและแรงบิด การใช้ Robotics Needle Insertion รวมถึงคำแนะนำในการศึกษาการทดลอง รวมถึงขอขอบคุณ ผศ.ดร.จักรกฤษณ์ ศุทธากรณ์ หัวหน้าศูนย์เครือข่ายวิจัยประยุกต์ทางเทคโนโลยีหุ่นยนต์และชีวการแพทย์ (BART LAB) และภาควิชาชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาลัยมหิดล ที่ให้ความอนุเคราะห์ และให้การเอื้อเฟื้อในอุปกรณ์ และสถานที่ตลอดที่ได้ศึกษาครั้งนี้ จนทำให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

7. บรรณานุกรม

[1] N. Nillahoot and J. Suthakorn, "Development of Veress Needle Insertion Robotic System and its experimental study for force acquisition in soft tissue," in *Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2013 IEEE International Conference on*, 2013, pp. 645-650

[2] N. Abolhassani, R. Patel, and M. Moallem, "Needle insertion into soft tissue: A survey," *Medical Engineering & Physics,* vol. 29, pp. 413-431, 5/ 2007.

[3] K. Humphreys, A.L. Cameron, G.J. Maddern, "Veress needle laparoscopic entry technique," *Stepney: Australian Safety and Efficacy Register of New Interventional Procedures - Surgical (ASERNIP-S), Evidence Essential*, Asernip-S Report no. 76. 2010

[4] R. Hill, B. Storakers and A. B. Zdunek, "A Theoretical Study of the Brinell Hardness Test", Proceeding of the Royal Society A: *Mathematic, Physical and Engineering sciences,* vol. 423, no. 1865, pp. 301-330, *6/1989*

[5] Firgelli Technologies Inc., *USB Control and configuration Reference Manual*

[6] Firgelli Technologies Inc., *Miniature Linear Motion Series Reference Manual*