บทที่ 1

บทนำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ความต้านทานไฟฟ้า

ความต้านทานไฟฟ้าคือความต้านทานของสารที่มีต่อการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจร ตัวนำที่ดีต้องมีสมบัติยอมให้กระแสผ่านได้ง่ายคือมีความต้านทานไฟฟ้าต่ำ ฉนวนที่ดีต้องมีสมบัติยอมให้กระแสผ่านได้ยากคือมีความต้านทานไฟฟ้าสูง ส่วนสารกึ่งตัวนำมีความต้านทานไฟฟ้าน้อยกว่าฉนวนแต่มากกว่าตัวนำ ในวงจรไฟฟ้าจำนวนกระแสที่ไหลขึ้นกับความต่างศักย์และความต้านทานไฟฟ้าในส่วนที่กำลังพิจารณา เนื่องจากส่วนกลับของความต้านทานไฟฟ้าคือ [1] ความนำไฟฟ้า (electric conductance) ดังนั้นการกล่าวถึงความนำไฟฟ้าย่อมเกี่ยวโยงถึงความต้านทานไฟฟ้าด้วย

1.1 <u>การนำไฟฟ้าในของแข็ง</u> [1] ของแข็งที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าผ่านได้นั้นส่วนมากเป็นโลหะ การนำไฟฟ้าของโลหะขึ้นอยู่กับความสามารถของอิเลกตรอนอิสระ สมมติตัวนำของแข็งยาว l พื้นที่หน้าตัด A คงที่สม่ำเสมอ ρ เป็นสภาพต้านทาน (resistivity) มีความต่างศักย์ที่ปลายทั้งสองเป็น V กระแสผ่านเป็น I จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$V = \rho \frac{l}{A} I \qquad (1.1)$$

ให้ $R = \rho \frac{l}{A}$ เรียกว่าความต้านทานไฟฟ้า

ดังนั้น สมการ (1.1) เขียนได้เป็น

$$V = RI \qquad (1.2)$$

จากสมการ (1.2) หน่วยของ V , R และ I เป็นโวลต์ (volt) โอห์ม (ohm) และแอมแปร์ (ampere) ตามลำดับ และเห็นได้ว่าความต่างศักย์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นกฎของโอห์ม (Ohm's law) ดังได้กล่าวมาแล้วว่าส่วนกลับของความต้านทานคือความนำไฟฟ้า (S) ดังนั้น $S = \frac{1}{R}$ มีหน่วยเป็นซีเมนส์ (siemens) ความนำไฟฟ้า 1 ซีเมนส์ คือ ค่าความนำไฟฟ้าของตัวนำซึ่งมีความต้านทาน 1 โอห์ม

สมมติให้ตัวนำยาว x วางขนานตามแกน x มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ A มีสภาพต้านทาน ρ มีสนามไฟฟ้าขนานกับแกน x มีขนาด E_x และกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำขนานกับแกน x เป็น I_x จาก $V = El$ และสมการ (1.1) จะได้ความสัมพันธ์คือ

$$\rho \frac{x}{A} I_x = E_x x$$

หรือ
$$J_x = \frac{1}{\rho} E_x \qquad (1.3)$$

$\frac{1}{\rho}$ เรียกว่า สภาพนำไฟฟ้า (conductivity "r")

สมการ (1.3) เขียนได้เป็น

$$J_x = rE_x$$

ดังนั้น สูตรทั่วไปของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า คือ

$$\bar{J} = r\bar{E} \qquad (1.4)$$

1.2 <u>การนำไฟฟ้าในสารละลาย</u> [1,2] สารละลายประกอบด้วยตัวถูกละลาย (solute) ซึ่งได้แก่สารประกอบเคมีต่าง ๆ และตัวทำละลาย (solvent) เช่น น้ำ การนำไฟฟ้าของสารละลายมีไอออนเป็นตัวเคลื่อนที่ซึ่งต่างจากการนำไฟฟ้าในของแข็ง เรียกการนำไฟฟ้าแบบนี้ว่า การนำไฟฟ้าแบบไอออน (ionic conduction)

ในสารละลายเช่นกรณีของเกลือแกงกับน้ำ เกลือแกงมีโมเลกุลเป็นขั้ว (polar molecule) ภายในโมเลกุลมีการจัดตัวของประจุไฟฟ้าโดยมีประจุบวกอยู่ข้างหนึ่งและประจุลบอยู่อีกข้างหนึ่ง เกลือแกงหนึ่งโมเลกุลประกอบด้วยโซเดียมหนึ่งอะตอมและคลอรีนหนึ่งอะตอม วาเลนซ์อิเลกตรอนในอะตอมของโซเดียมซึ่งมีตัวเดียวจะเข้าไปอยู่ในวงโคจรของอิเลกตรอนวงนอกสุดของคลอรีนอะตอม ทำให้โซเดียมอะตอมขาดประจุลบไป จึงแสดงสภาพเป็นไอออนบวก (anion) ส่วนคลอรีนนั้นจะมีประจุไฟฟ้าลบเกินมา จึงแสดงสภาพเป็นไอออนลบ (cation) ทำให้โมเลกุลเกลือแกงมีประจุบวกข้างหนึ่ง ประจุลบอีกข้างหนึ่ง เมื่อเกลือแกงรวมกับน้ำ แรงดึงดูดระหว่างไอออนด้วยกันเองในโมเลกุลของเกลือมีน้อยกว่าแรงดึงดูดระหว่างน้ำกับไอออนของเกลือและโมเลกุลของน้ำมีขนาดเล็กกว่าของเกลือจึงสามารถแทรกเข้าไปทำให้โมเลกุลของเกลือแตกออกเป็นโซเดียมไอออนและคลอรีนไอออน เมื่อเกลือแกงถูกแยกตัวออกเป็นสภาพไอออนแล้ว ก็จะถูกโมเลกุลของน้ำล้อมรอบทันที ถ้าโมเลกุลของน้ำมีมากกว่า ไอออนก็จะถูกล้อมอย่างหนาแน่น โอกาสที่ไอออนจะพบกันเองมีน้อย ดังนั้น สารละลายที่เจือจางจึงมีการแยกเป็นไอออนได้มาก เมื่อนำขั้วไฟฟ้าบวกและลบที่มีความต่างศักย์มาจุ่มลงในสารละลาย เกิดมีสนามไฟฟ้าระหว่างขั้วไอออนบวกจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วลบส่วนไอออนลบจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วบวกเกิดการนำไฟฟ้าขึ้น สารละลายที่นำไฟฟ้าได้นี้เรียกว่า สารละลายไฟฟ้า (electrolyte)

กระแสไฟฟ้าในสารละลายเกิดจากการเคลื่อนที่ของไอออนบวกและไอออนลบ จากความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (J) มีขนาดเป็น

$$J = Qnv \qquad (1.5)$$

Q เป็นประจุไฟฟ้า

n เป็นจำนวนตัวของประจุต่อหน่วยปริมาตร

v เป็นอัตราเร็วเฉลี่ยของประจุเมื่อถูกแรงกระทำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมมติให้ไอออนบวกมีประจุ Q_+ เคลื่อนที่ไปยังขั้วลบด้วยความเร็ว v_+ ไอออนลบประจุ Q_- เคลื่อนที่ไปยังขั้วบวกด้วยความเร็ว v_- n_+ และ n_- เป็นจำนวนไอออนบวกต่อปริมาตรของสารละลายและจำนวนไอออนลบต่อปริมาตรของสารละลายตามลำดับ จากสมการ (1.5) จะได้ว่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าทั้งหมดมีขนาดเป็น

$$J = Q_+ n_+ v_+ + Q_- n_- v_- \qquad (1.6)$$

อัตราส่วนระหว่างอัตราเร็วต่อความเข้มสนามไฟฟ้า เรียกว่า สภาพเคลื่อนที่ได้ (mobility "b") นั่นคือ

$$b = \frac{v}{E} \qquad (1.7)$$

จากสมการ (1.6) และ (1.7) จะได้

$$J = Q_+ n_+ b_+ E + Q_- n_- b_- E$$

ดังนั้น $$J = Z_+ en_+ b_+ E + Z_- en_- b_- E \qquad (1.8)$$

ในเมื่อ Z_+ และ Z_- เป็นวาเลนซีของไอออนบวกและลบตามลำดับ

e เป็นประจุไฟฟ้าของอิเลกตรอน

นั่นคือ สมการ (1.8) จะเป็น

$$J = (Z_+ n_+ b_+ + Z_- n_- b_-)eE \qquad (1.9)$$

เทียบสมการ (1.9) กับสมการ (1.4) จะได้สภาพนำไฟฟ้าของสารละลายเป็น

$$r = (Z_+ n_+ b_+ + Z_- n_- b_-)e \qquad (1.10)$$

จากสมการ (1.10) แสดงให้เห็นว่าสภาพนำไฟฟ้าของสารละลายขึ้นกับวาเลนซีของไอออน จำนวนไอออนต่อปริมาตร และสภาพเคลื่อนที่ได้ของไอออน

1.3 การนำไฟฟ้าในก๊าซ (1) ก๊าซจะนำไฟฟ้าได้ก็ต่อเมื่อมีการแตกตัวเป็นไอออนเสียก่อน ไอออนที่เกิดขึ้นจะประกอบด้วยไอออนบวกและอิเลกตรอนก๊าซมีโมเลกุลอยู่ห่าง ๆ กัน ดังนั้น เมื่อเกิดเป็นไอออนแล้ว อิเลกตรอนและไอออนบวกจะมีโอกาสมารวมกันเป็นโมเลกุลของก๊าซชนิดเดิมได้ง่าย

สมมติมีก๊าซจำนวนหนึ่งปริมาตร V มีจำนวนโมเลกุลเป็น N ความเข้มข้นของโมเลกุลคิดเป็น $C = \frac{N}{V}$ ให้ก๊าซนี้มีโมเลกุลที่เกิดเป็นไอออนคิดเป็นจำนวน N_{ion} โมเลกุลต่อหน่วยเวลา ดังนั้น จะมีอัตราการเกิดไอออนบวก N_{ion} ตัวต่อหน่วยเวลาและอัตราการเกิดอิเลกตรอน N_{ion} ตัวต่อหน่วยเวลาเช่นกัน ซึ่งต่างก็มีความเข้มข้นเท่ากันเป็น $C_{ion} = \frac{N_{ion}}{V}$ ดังนั้น C_{ion} จึงเป็นอัตราการเกิดไอออนคู่ต่อหน่วยปริมาตรของก๊าซ อัตราส่วนระหว่างจำนวนไอออนชนิดเดียวกันต่อจำนวนโมเลกุลทั้งหมด เรียกว่า สัมประสิทธิ์ของการเกิดไอออน (ionization coefficient) $\alpha = \frac{N_{ion}}{N} = \frac{C_{ion}}{C}$ ถ้ามีรังสีชนิดหนึ่งฉายเข้ามายังก๊าซดังกล่าวข้างต้นในเวลา Δt สามารถทำให้เกิดไอออนจำนวน ΔN_{ion} ดังนั้นจะได้ว่า

$$\Delta N_{ion} = N_{ion} \Delta t = \alpha N \Delta t = \alpha C V \Delta t \qquad (1.11)$$

ในขณะที่มีไอออนเกิดขึ้น จะมีการรวมตัวกันเป็นโมเลกุลอย่างเดิมเกิดขึ้นทันทีให้ในเวลา Δt ที่มีรังสีผ่าน ไอออนบวกและอิเลกตรอนรวมกันเป็นโมเลกุลอย่างเดิมมีจำนวน ΔN_{rec} ทำให้ไอออนคู่ในขณะนั้นมีจำนวนลดลงเป็น N_{pair} การรวมตัวกันเป็นโมเลกุลจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับจำนวนไอออนคู่ขณะนั้นกำลังสอง เวลา Δt และเป็นปฏิภาคผกผันกับปริมาตร

$$\Delta N_{rec} \propto \frac{N_{pair}^2 \Delta t}{V}$$

$$\Delta N_{rec} = \beta C_{pair}^2 V \Delta t \qquad (1.12)$$

β เป็นสัมประสิทธิ์ของการรวมตัว (recombination coefficient)

C_{pair} เป็นจำนวนไอออนคู่ต่อหน่วยปริมาตรของก๊าซ

ให้ก๊าซบรรจุในหลอดรูปทรงกระบอกที่มีแผ่นขนานสองแผ่นที่ปลายหลอดและต่อกับความต่างศักย์ เมื่อเกิดมีไอออนขึ้น ไอออนบวกและอิเลกตรอนต่างก็อยู่ในสนามไฟฟ้า การลดจำนวนไอออนในหลอดมีสาเหตุ 2 ประการ คือ ประการแรกเกิดจากการรวบรวมประจุไฟฟ้าที่ขั้ว เกิดเป็นกระแสไฟฟ้า ให้อัตราการสูญเสียโดยวิธีนี้เป็น $\frac{\Delta N_{cur}}{\Delta t}$ ซึ่งเท่ากับกระแสไฟฟ้าต่อหน่วยประจุไฟฟ้าอิเลกตรอน $\frac{I}{e}$ ประการที่สอง เกิดจากไอออนบวกรวมกับอิเลกตรอนเกิดโมเลกุลที่เป็นกลาง ให้อัตราการสูญเสียโดยวิธีนี้เป็น $\frac{\Delta N_{rec}}{\Delta t}$

ดังนั้น
$$\frac{\Delta N_{ion}}{\Delta t} = \frac{\Delta N_{cur}}{\Delta t} + \frac{\Delta N_{rec}}{\Delta t} \qquad (1.13)$$

จากสมการ (1.11),(1.12) และ (1.13) จะได้ว่า

$$\alpha_{CV} = \frac{I}{e} + \beta\, C^2_{pair}\, V$$

นั่นคือ
$$I = \alpha_{CeV} - \beta\, C^2_{pair} eV \qquad (1.14)$$

จากสมการ (1.14) บอกให้ทราบถึงกระแสในหลอดก๊าซ

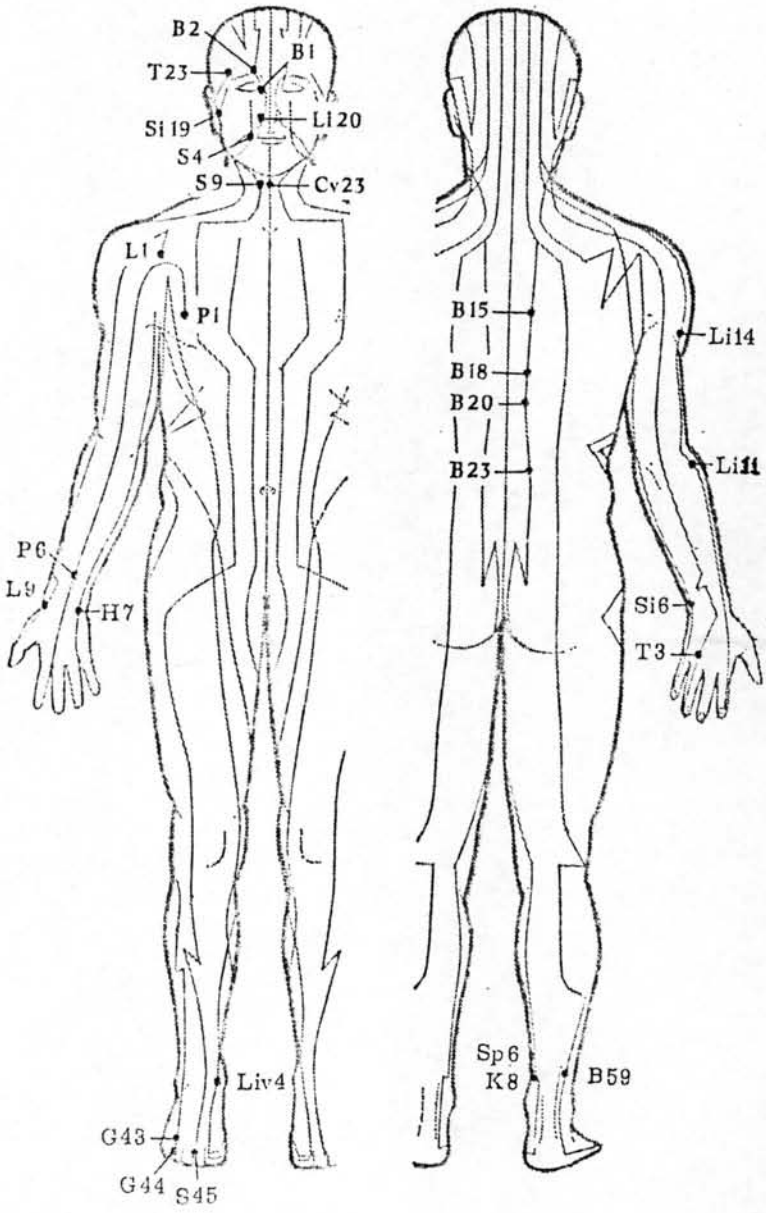
2. การฝังเข็ม

การฝังเข็ม (acupuncture) อาจเรียกว่า การจิ้มเข็ม หรือการแทงเข็ม คือ [3] การใช้เข็มปลายแหลมทำด้วยวัสดุที่มีชนิดและรูปร่างต่าง ๆ กัน แทงเข้าไปตามจุดบนผิวหนังของร่างกาย การรักษาโรคโดยใช้เข็มแทงนี้มีมานานแล้ว จนในภาษาอังกฤษมีคำเรียกว่า acupuncture ซึ่งมีรากศัพท์มาจากภาษาลาติน (acus แปลว่าเข็ม punctura แปลว่า แทง) แหล่งเดิมของเวชกรรมแผนนี้อยู่ในประเทศจีน

การใช้เข็มแทงเพื่อรักษาโรคเป็นวิธีการที่เล่าเรียนสืบต่อ ๆ กันมา มีทฤษฎีที่ไม่มีการพิสูจน์กล่าวว่า [4,5] ในโลกนี้มีของที่เป็นคู่กันอยู่สองอย่างคือ ยินและยาง

ทั้งสองอย่างนี้มีอำนาจตรงกันข้าม โดยยินเป็นฝ่ายมืดและเป็น "ลบ" ส่วนยางเป็นฝ่ายสว่างและเป็น "บวก" เมื่อทั้งยินและยางสมดุลกันความสงบสุขก็เกิดขึ้น ในร่างกายของคนเราก็เช่นกันก็มีทั้งยินและยาง อวัยวะในร่างกายซึ่งกล่าวไว้ว่ามีที่สำคัญ ๆ อยู่ 12 อวัยวะ ได้ถูกแบ่งออกเป็นฝ่ายยินและยาง เช่น ตับ หัวใจ และม้ามเป็นฝ่ายยิน ส่วนถุงน้ำดี ลำไส้เล็ก และกระเพาะอาหาร เป็นฝ่ายยาง เป็นต้น นอกจากนี้แล้วยังมีสิ่งที่ถูกเรียกว่า พลังของชีวิต (4) หรือ พลังงานของชีวิต (7) (vital energy) ซึ่งมีชื่อว่า (6) "ชี" (Qi) วิ่งไปตามร่างกายจากอวัยวะหนึ่งไปยังอีกอวัยวะหนึ่ง วิ่งไปตามช่องหรือคลองซึ่งเรียกว่า "ชิงโล" (อาจเรียกว่า meridians) แต่ละข้างของร่างกายมีชิงโลอยู่ 12 สาย ซึ่งเท่ากับอวัยวะที่สำคัญทั้ง 12 นอกจากนี้ยังมีชิงโลอีก 2 สาย สายหนึ่งอยู่กึ่งกลางทางด้านหน้า อีกสายหนึ่งอยู่ทางด้านหลัง ชิงโลทั้งหมดจะเชื่อมโยงกันเป็นร่างแหทั่วร่างกาย ทฤษฎีนี้กล่าวว่า เมื่อมีความไม่สมดุลเกิดขึ้นระหว่างยินกับยาง ชีก็วิ่งหรือไหลไปไม่สะดวก ยังผลให้เกิดเป็นโรคขึ้น สำหรับการแก้ไขตามตำรามีจุดอยู่ตามสายของชิงโล 397 จุด (8) อยู่ตามผิวหนังทั่วร่างกาย แต่ละจุดมีความหมายรักษาโรคได้ จุดเหล่านี้เรียกว่า จุดฝังเข็ม (acupuncture points) จะเห็นได้จากรูปที่ 1.1 ถ้าเลือกแทงให้ถูกก็จะทำให้เกิดความสมดุลของยินและยาง ทำให้ชีวิ่งไปได้สะดวกและเป็นผลให้หายจากโรค แต่ทั้งนี้ผู้แทงจะต้องเรียนรู้อย่างละเอียด และจะต้องระวังไม่แทงถูกบางจุดบนร่างกายซึ่งอาจเป็นอันตรายถึงชีวิตได้

กล่าวกันว่า การใช้เข็มแทงนี้รักษาโรคได้หลายอย่าง เป็นต้นว่า ปวดศีรษะ แผลในกระเพาะอาหาร หืด ปวดหลัง และเรื่องที่น่าสนใจมากได้แก่การย่าตัดที่ใช้เข็มแทงแทนการวางยาสลบ ส่วนเข็มที่ใช้แทงเดี๋ยวนี้นิยมใช้เหล็กไม่เป็นสนิม ในสมัยก่อนเคยใช้เข็มทำด้วยหิน กระดูก เงิน หรือทอง มีความยาวตั้งแต่กึ่งนิ้วขึ้นไปจนถึงหลาย ๆ นิ้ว ในการแทง ถ้าแทงตรงจุดแล้วผู้ถูกแทงจะรู้สึกหน่วงและชา (8) สำหรับวิธีใช้เข็มแทงจะต่างกันไปโดยขึ้นกับจุดที่ถูกแทง



รูปที่ 1.1 จุดฝังเข็มและแนวเมอริเดียน

3. ความสัมพันธ์ระหว่างจุดฝังเข็มกับจุดความต้านทานไฟฟ้าต่ำสุด

ได้มีผู้วัดความต้านทานไฟฟ้าของผิวหนังพบว่า (6) ที่จุดฝังเข็มมีความต้านทานต่ำกว่าบริเวณข้างเคียง หรือจุดฝังเข็มเป็นจุดที่มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำสุดนั่นเอง ในที่นี้จุดความต้านทานไฟฟ้าต่ำสุดหมายถึงจุดที่มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำกว่าจุดข้างเคียงโดยรอบ

4. วัตถุประสงค์

ในการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดหาจุดที่มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำสุดตามแขนและขาส่วนล่างของผู้วิจัย แล้วนำมาเปรียบเทียบกับตำแหน่งของจุดฝังเข็ม โดยปกติการฝังเข็มควรจะกระทำโดยผู้มีความรู้อย่างละเอียดหรือโดยแพทย์ผู้ชำนาญ ดังนั้นถ้าจุดความต้านทานไฟฟ้าต่ำสุดที่ได้ตรงกับจุดฝังเข็มแล้ว ประโยชน์ที่ได้รับคือ การหาจุดฝังเข็มเพื่อรักษาโรคอาจทำได้โดยการหาจุดความต้านทานไฟฟ้าต่ำสุดแทน

5. วิธีดำเนินงาน

1. กำหนดจุดบนแขนและขาส่วนล่างของผู้วิจัย โดยให้แต่ละจุดห่างกัน 1 เซนติเมตร ตามความยาวของแขนและขา วัดความต้านทานไฟฟ้าตรงจุดที่กำหนดโดยใช้มัลติมิเตอร์ (multimeter) แบบ SANWA 360 – YTR ปลายขั้วไฟฟ้า (electrode) ของเครื่องวัดทำด้วยทองเหลืองมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.450 เซนติเมตร วัดจุดที่กำหนดเหล่านี้เพื่อดูว่าจุดใดมีความต้านทานไฟฟ้าต่ำสุดและเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดที่ได้กับตำแหน่งของจุดฝังเข็ม

2. วัดความต้านทานบนผิวหนังของแขนและขาส่วนล่างของผู้วิจัยโดยมิได้กำหนดจุดที่จะวัดไว้ก่อน เป็นการใช้เครื่องวัดหาจุดความต้านทานไฟฟ้าต่ำสุดตามแขนและขาส่วนล่างโดยทั่ว แล้วนำตำแหน่งของจุดที่ได้มาเปรียบเทียบกับจุดฝังเข็ม

3. กำหนดจุดฝังเข็มตามแขนและขาส่วนล่างของผู้วิจัย แล้วทำการวัดความต้านทานไฟฟ้าที่จุดเหล่านี้ เพื่อพิจารณาหาจุดความต้านทานไฟฟ้าต่ำสุด