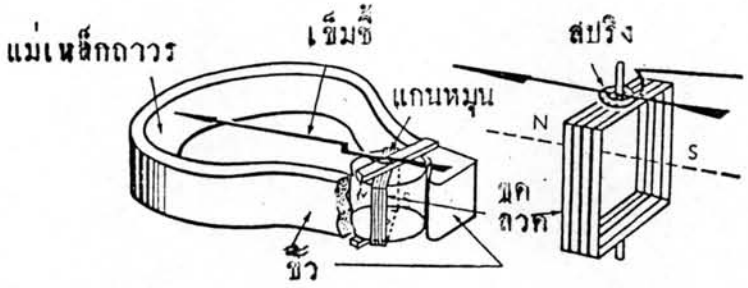
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

โอห์มมิเตอร์ ผิวหนัง และข้อควรศึกษาเกี่ยวกับจุดฝังเข็ม

1. โอห์มมิเตอร์

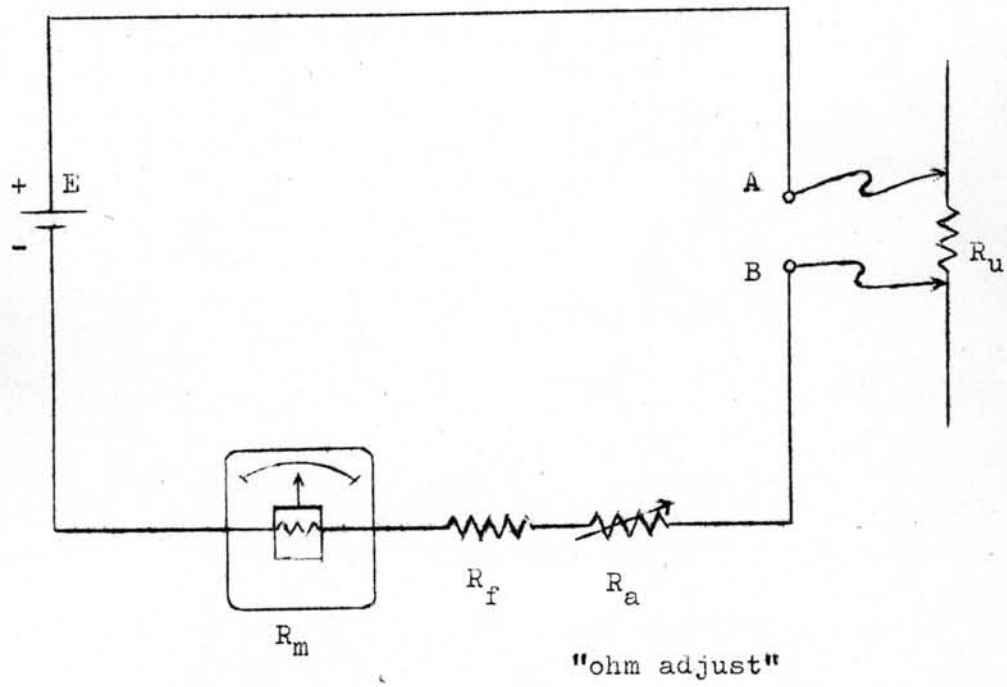
โอห์มมิเตอร์ [9] (ohmmeter) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความต้านทานไฟฟ้าซึ่งอ่านได้โดยตรง มีส่วนประกอบที่สำคัญคือเครื่องวัดแบบขดลวดเคลื่อนที่ [10] (moving-coil meter หรือ D'Arsonval moving-coil meter) ซึ่งสามารถเปลี่ยนปริมาณทางไฟฟ้าเป็นการเคลื่อนที่ของเข็มชี้ ดังรูปที่ 2.1 ในเครื่องวัดแบบขดลวดเคลื่อนที่ประกอบด้วยขดลวดพันเป็นกรอบรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากรอบแกนเหล็กอยู่ระหว่างขั้วของแม่เหล็กถาวร ขดลวดนี้จะหมุนได้รอบแกน เข็มชี้สำหรับบอกค่าจะถูกติดกับขดลวดและมีสปริงเพื่อดึงเข็มให้หยุดนิ่ง เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดซึ่งอยู่ในสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร จะเกิดโมเมนต์ของแรงคู่ควบขึ้นและทำให้ขดลวดหมุน มุมที่ขดลวดหมุนจะบอกขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านและสามารถสังเกตได้จากเข็มชี้ที่ติดไว้



รูปที่ 2.1 เครื่องวัดแบบขดลวดเคลื่อนที่

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1 โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมอย่างง่าย[9,10,11] (Simple series-type ohmmeter) ในโอห์มมิเตอร์แบบนี้ นอกจากจะมีเครื่องวัดแบบขดลวดเคลื่อนที่ซึ่งมีความต้านทานไฟฟ้าเป็น R_m แล้ว ยังประกอบด้วยตัวต้านทานไฟฟ้า R_f และ R_a และแบตเตอรี่ซึ่งมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า E ต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน R_u ที่ต้องการวัด ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมอย่างง่าย

กระแสไฟฟ้าที่ไหลจะขึ้นกับความต้านทานที่ไม่ทราบค่า R_u ดังนั้น สามารถคำนวณกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเครื่องวัดเป็นตัวบอกค่าความต้านทานนี้ได้ ก่อนที่จะวัดความต้านทานต้องให้ปลาย A และ B แตะกัน (short circuit) และปรับความต้านทาน R_a จนกระทั่งเข็มของเครื่องวัดชี้สุดขอบซึ่งหมายความว่าเข็มชี้เต็มมาตราส่วน (full scale) ตำแหน่งนี้บอกให้ทราบว่า ความต้านทานภายนอกที่กำลังวัดเป็น " 0 " ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่

ขอบขวาสุดของโอห์มมิเตอร์ ส่วนขอบซ้ายสุดจะแสดงค่าความต้านทานเป็น "∞" ดังนั้น เมื่อใช้โอห์มมิเตอร์วัดความต้านทานค่าต่าง ๆ เข็มชี้จะแสดงค่าอยู่ระหว่าง "0" กับ "∞"

ความต้านทานไฟฟ้าที่ต้องการวัด (R_u) อาจหาได้โดยอาศัยกฎของโอห์ม ตามรูปที่ 2.2 ถ้า A แตะกับ B ($R_u = 0$) จะมีกระแสไฟฟ้า I_1 ไหลผ่านวงจร ทำให้เข็มของเครื่องวัดชี้เต็มมาตราส่วน เมื่อต่อความต้านทาน R_u เข้ากับปลาย A และ B แล้ว จะทำให้กระแสไฟฟ้าลดลงเป็น I_2 ถ้าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่เป็น E จากกรณีทั้งสองจะได้ว่า

$$I_1(R_m+R_f+R_a) = E \qquad (2.1)$$

และ $$I_2(R_m+R_f+R_a)+I_2R_u = E \qquad (2.2)$$

จากสมการ (2.1)และ (2.2) จะได้ว่า

$$(I_2-I_1)(R_m+R_f+R_a)+I_2R_u = 0$$

$$I_2R_u = (I_1-I_2)(R_m+R_f+R_a)$$

$$R_u = \left(\frac{I_1}{I_2} - 1\right)(R_m+R_f+R_a) \qquad (2.3)$$

สมมติกระแสที่ทำให้เครื่องวัดชี้เต็มมาตราส่วนเป็น 1 มิลลิแอมแปร์และแบตเตอรี่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็น 1.5 โวลต์ ดังนั้น ความต้านทานทั้งหมด $R_m+R_f+R_a$ ที่ทำให้เข็มชี้เต็มมาตราส่วนมีค่าเป็น 1500 โอห์ม และจากสมการ (2.3) จะได้ว่า

$$R_u = \left(\frac{I_1}{I_2} - 1\right)1500 \qquad (2.4)$$

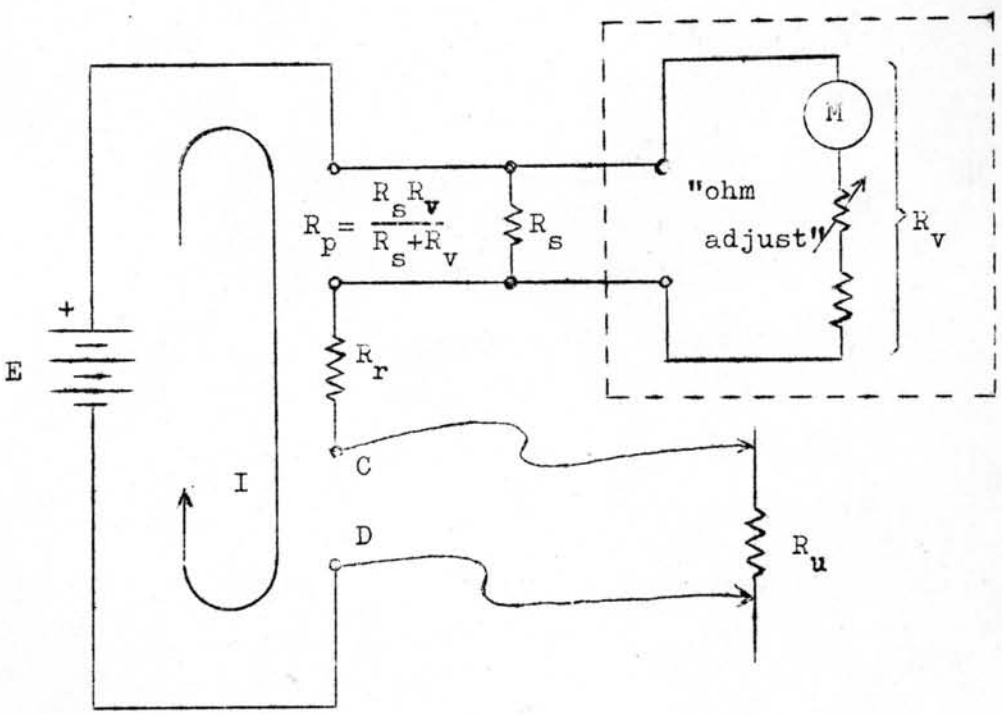
ถ้าให้ $I_2 = \frac{1}{2}I_1$ คือ กระแสที่ทำให้เข็มชี้ครึ่งมาตราส่วน (half-seale deflection) ความต้านทาน R_u จะมีค่าเป็น

$$R_u = (2-1)1500 = 1500 \quad \text{โอห์ม}$$

ถ้าให้ $I_2 = \frac{1}{3} I_1$ จะได้ R_u = 3000 โอห์ม แสดงว่ามาตราส่วนของความต้านทานไม่เป็นแบบเชิงเส้น (nonlinear) กล่าวคือความต้านทานภายนอก R_u = 1500 โอห์ม ที่ได้นี้เท่ากับความต้านทานภายในคือ ($R_m + R_f + R_a$) และทำให้กระแสไฟฟ้าในวงจรลดลงไปครึ่งหนึ่ง ให้ความต้านทาน R_u ที่กล่าวนี้เป็น R_h ดังนั้น กระแสไฟฟ้าขณะเต็มมาตราส่วนจะเท่ากับ $\frac{E}{R_h}$ และขณะครึ่งมาตราส่วนเป็น $\frac{E}{2R_h}$ ความต้านทาน R_h = 1500 โอห์มนี้ อาจทำให้เพิ่มเป็น 15 กิโลโอห์มได้ โดยเพิ่มแบตเตอรี่เป็น 15 โวลต์ และความต้านทาน $R_m + R_f + R_a$ เป็น 15 กิโลโอห์ม

1.2 <u>โอห์มมิเตอร์แบบโวลมิเตอร์</u> [9,10] (voltmeter-type ohmmeter)

หลักการทำงานของโอห์มมิเตอร์แบบนี้นิยมใช้ในโอห์มมิเตอร์ทั่วไป สาเหตุที่เรียกว่าเป็นโอห์มมิเตอร์แบบโวลมิเตอร์ เพราะเป็นการวัดความต่างศักย์ของความต้านทานซึ่งต่ออนุกรมกับความต้านทานที่ไม่ทราบค่า R_u ดังรูปที่ 2.3 จากรูปความต้านทานรวมภายในกรอบ



รูปที่ 2.3 โอห์มมิเตอร์แบบโวลมิเตอร์

สี่เหลี่ยมมีค่าเป็น R_v ซึ่งขนานกับ R_s ทำให้ได้ความต้านทานเป็น $R_p = \frac{R_s R_v}{R_s + R_v}$ R_p ต่อนุกรมกับ R_r และ R_u ที่ต้องการวัด เมื่อ C และกับ D จะมีกระแสไฟฟ้า I_1 ผ่านความต้านทาน $R_p + R_r$ และเมื่อต่อ R_u เข้าในวงจรจะมีกระแสไฟฟ้าลดลงเป็น I_2 จากกฎของโอห์มในกรณีทั้งสองจะได้ว่า

$$I_1 R_p + I_1 R_r = E \qquad (2.5)$$

และ $$I_2 R_p + I_2 R_r + I_2 R_u = E \qquad (2.6)$$

จากสมการ (2.5) และ (2.6) ได้

$$(I_2 - I_1)(R_p + R_r) + I_2 R_u = 0$$

$$I_2 R_u = (I_1 - I_2)(R_p + R_r)$$

$$R_u = \left(\frac{I_1}{I_2} - 1\right)(R_p + R_r) \qquad (2.7)$$

สมการ (2.7) แสดงว่า R_u ขึ้นกับกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเครื่องวัดทั้งขณะเข็มมาตราส่วนและขณะวัด R_u เพราะกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเครื่องวัดได้สัดส่วนกับกระแส I_1 และ I_2 เมื่อจัดให้เครื่องวัดอ่านเข็มมาตราส่วนโดยปลาย C และ D แตะกันแล้ว จะได้ว่า ถ้า $I_2 = \frac{1}{2} I_1$ ค่า R_u จะเป็น $R_p + R_r$ นั่นคือ $R_h = R_p + R_r$ และถ้า $I_2 = \frac{1}{3} I_1$ ค่า R_u เป็น $2(R_p + R_r)$

สมมติ $R_p = 11.5$ โอห์ม และ $R_r = 1.0$ โอห์ม ดังนั้น $R_h = R_p + R_r = 12.5$ โอห์ม ซึ่งเครื่องวัดจะถูกจัดให้อ่านค่าความต้านทานได้โดยตรง ถ้า $R_p + R_r$ เพิ่มขึ้นเป็น 1250 โอห์มหรือเพิ่มขึ้น 100 เท่า โดยใช้เครื่องวัดแบบขดลวดเคลื่อนที่เดิม จะได้ว่าค่าความต้านทานที่วัดจะถูกต้องโดยเท่ากับค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดคูณด้วย 100 ในกรณีนี้ $R_u = 1250$ โอห์ม ทำให้กระแสไฟฟ้าในวงจรลดลงไปครึ่งหนึ่ง หรือ $R_h = 1250$ โอห์ม นั่นเอง กระแสไฟฟ้าในวงจรจะลดลงขณะที่ความต้านทาน

$R_p + R_r$ เพิ่มขึ้นเพื่อให้วัด R_u เพิ่มขึ้น ดังนั้น เศษส่วนของกระแสในวงจรที่ผ่านทางสายของเครื่องวัดจะต้องเพิ่มขึ้นเพื่อให้เครื่องวัดอ่านได้เต็มมาตราส่วน ขณะ $R_u = 0$ สวิทช์ (switch) ที่ใช้เปลี่ยนพิสัย (range) จึงไม่เพียงแต่เปลี่ยนค่ารวมของ $R_p + R_r$ ให้เป็นค่าความต้านทานตามต้องการเท่านั้น แต่ยังเปลี่ยนค่าสัมพัทธ์ (relative values) ของ R_s และ R_v อีกด้วย ดังเช่น ตามรูปที่ 2.3 ถ้าแบตเตอรี่มีค่า E = 12.5 โวลท์ และเครื่องวัดจะอ่านได้เต็มมาตราส่วนถ้ากระแสไหลผ่านสาย ของ R_v ได้ I_v 1 มิลลิแอมแปร์ I_s เป็นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน R_s ดังนั้นถ้า $R_p + R_r$ = 12.5 โอห์ม จะได้กระแสไฟฟ้าในวงจรเป็น

$$I = \frac{12.5}{12.5} = 1 \quad \text{แอมแปร์}$$

$$= 10^3 \quad \text{มิลลิแอมแปร์}$$

จาก $I_s R_s = I_v R_v$

$$(1000 - 1)R_s = 1 \times R_v$$

จะได้

$$\frac{R_s}{R_v} = \frac{1}{999} \qquad (2.8)$$

และถ้า $R_p + R_r$ = 1250 โอห์ม จะได้กระแสไฟฟ้าในวงจรเป็น

$$I = \frac{12.5}{1250} = 0.01 \quad \text{แอมแปร์}$$

$$= 10 \quad \text{มิลลิแอมแปร์}$$

จาก $I_s R_s = I_v R_v$

$$(10-1)R_s = 1 \times R_v$$

จะได้

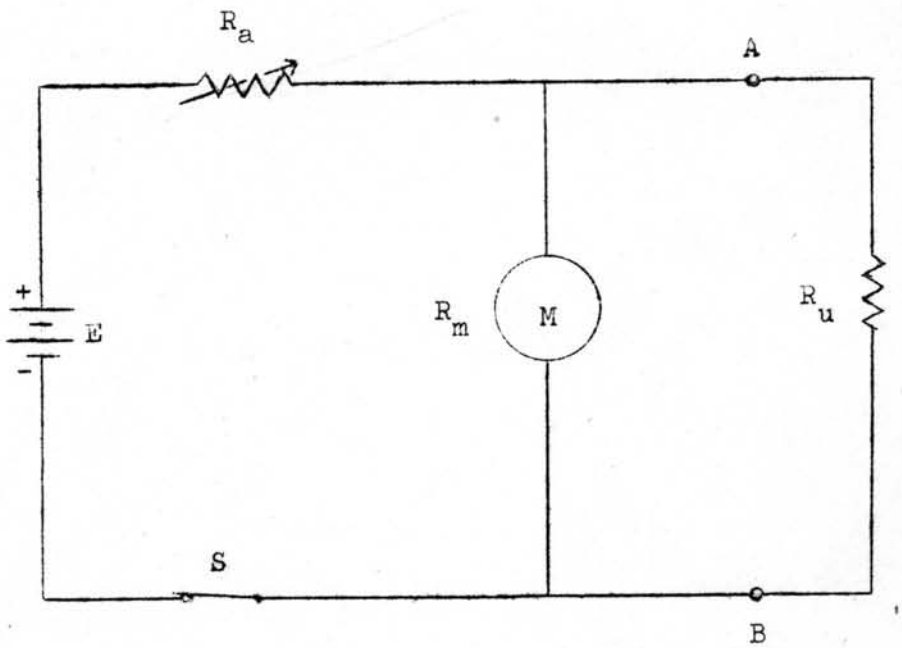
$$\frac{R_s}{R_v} = \frac{1}{9} \qquad (2.9)$$

จากสมการ (2.8) และ (2.9) แสดงให้เห็นตามที่ได้กล่าวแล้วว่า สวิทช์เปลี่ยนพิสัยไม่เพียงแต่เปลี่ยน $R_p + R_r$ เท่านั้น แต่ยังเปลี่ยนค่าสัมพัทธ์ของ R_s และ R_v ด้วย

แต่สำหรับการวัดความต้านทานที่สูงขึ้นมาก การปิดสวิตช์จะช่วยให้วงจรทำงานโดยแบตเตอรี่ที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้มีกระแสไฟฟ้าผ่านเครื่องวัดได้เพียงพอ วงจรไฟฟ้าของโอห์มมิเตอร์ทั่วไปจึงอาศัยหลักการของโอห์มมิเตอร์ชนิดนี้

1.3 โอห์มมิเตอร์แบบชันท์ (9,11) (shunt-type ohmmeter)

โอห์มมิเตอร์อาจใช้วัดความต้านทานโดยเอาความต้านทานที่ต้องการวัด (R_u) มาต่อกับเครื่องวัดดังรูปที่ 2.4 ซึ่งมีสวิตช์ S ทำให้วงจรเปิด (open circuit) ขณะไม่ใช้โอห์มมิเตอร์ ถ้าปลาย A และ B แตะกัน ($R_u = 0$) จะได้ว่ากระแสที่ผ่านเครื่องวัดเป็นสูญ ($I_m = 0$) แต่จะมีกระแสผ่านเครื่องวัดมากขึ้นถ้าเอา R_u ออกจากวงจร และให้กระแสเต็มมาตราส่วนได้โดยเลือกความต้านทาน R_a ให้พอเหมาะ โอห์มมิเตอร์แบบนี้จึงมี "0" อยู่ทางซ้าย และ "∞" อยู่ทางขวาของมาตราส่วนซึ่งต่างจากโอห์มมิเตอร์ที่ได้กล่าวมาแล้ว ถ้า E และ R_m เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่และความ



รูปที่ 2.4 โอห์มมิเตอร์แบบชันท์

ต้านทานของเครื่องวัดตามลำดับ เทมรูปที่ 2.4 จะได้ว่า

ขณะไม่มี R_u $$I_{FS} = \frac{E}{R_a + R_m} \qquad (2.10)$$

โดย I_{FS} เป็นกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรซึ่งผ่านเครื่องวัด ทำให้เครื่องวัดอ่านได้เต็มมาตราส่วน

ขณะวัดความต้านทาน R_u $$I = \frac{E}{R_a + \frac{R_m R_u}{R_m + R_u}}$$

โดย I เป็นกระแสไฟฟ้าในวงจรที่ผ่าน R_a ขณะวัด R_u ขณะเดียวกันถ้าให้ I_m เป็นกระแสที่ไหลผ่านเครื่องวัด จะได้ว่า

$$I_m R_m = \frac{E}{R_a + \frac{R_m R_u}{R_m + R_u}} \times \frac{R_m R_u}{R_m + R_u}$$

$$I_m = \frac{E}{R_a + \frac{R_m R_u}{R_m + R_u}} \cdot \frac{R_u}{R_m + R_u} \qquad (2.11)$$

จากสมการ (2.10) และ (2.11) ได้ว่า

$$\frac{I_m}{I_{FS}} = \frac{R_u (R_a + R_m)}{R_a (R_m + R_u) + R_m R_u}$$

$$= \frac{R_u (R_a + R_m)}{R_a R_m + R_a R_u + R_m R_u}$$

$$= \frac{R_u (R_a + R_m)}{R_a R_m + R_u (R_a + R_m)}$$

$$= \frac{R_u}{\frac{R_a R_m}{R_a + R_m} + R_u} \qquad (2.12)$$

ถ้าให้ $R_p = \frac{R_a R_m}{R_a + R_m}$

ดังนั้นสมการ (2.12) จะเป็น

$$\frac{I_m}{I_{FS}} = \frac{R_u}{R_p + R_u} \qquad (2.13)$$

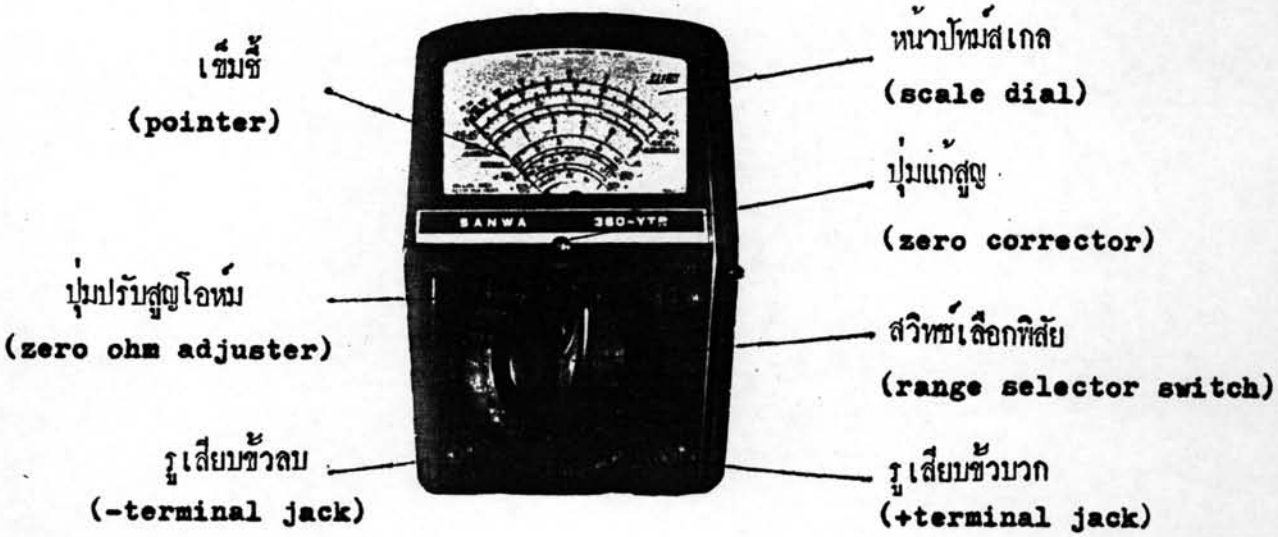
จากสมการ (2.13) ได้ว่า $R_u = \frac{I_m R_p}{I_{FS} - I_m}$

นั่นคือ $$R_u = \frac{R_p}{\frac{I_{FS}}{I_m} - 1} \qquad (2.14)$$

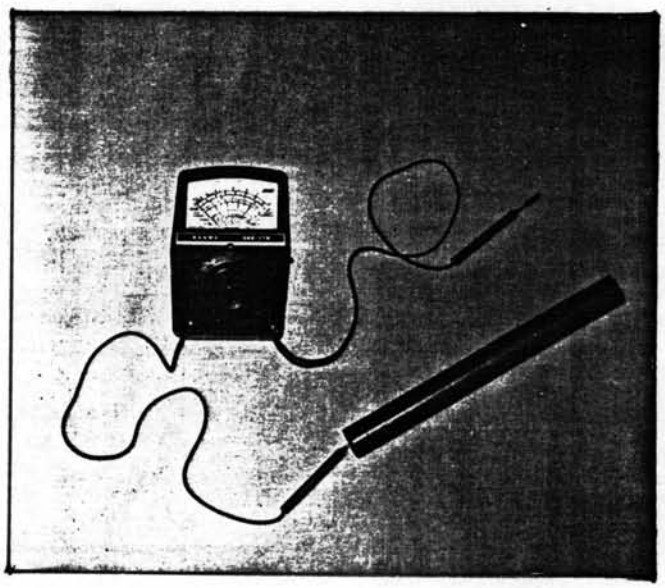
พิจารณาสมการ (2.14) จะเห็นว่า ถ้า $R_u = R_p$ กระแสที่ผ่านเครื่องวัดจะชี้ครึ่งมาตราส่วนเต็ม นอกจากนี้ ยังสามารถเปลี่ยนโอห์มมิเตอร์ให้วัดความต้านทานพิสัยอื่นได้ด้วย

1.4 <u>โอห์มมิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้</u> เครื่องมือที่ใช้วัดความต้านทานไฟฟ้าของผิวหนังในงานวิจัยนี้เป็นมัลติมิเตอร์ของ SANWA 360-YTR ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ก. สำหรับการปรับให้มัลติมิเตอร์เป็นโอห์มมิเตอร์เพื่อวัดความต้านทานไฟฟ้า จะต้องบิดสวิตช์เลือกพิสัยไปที่ช่วงโอห์ม นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ที่ช่วยในการวัด คือ ขั้วไฟฟ้าและแท่งทองเหลือง ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ข.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

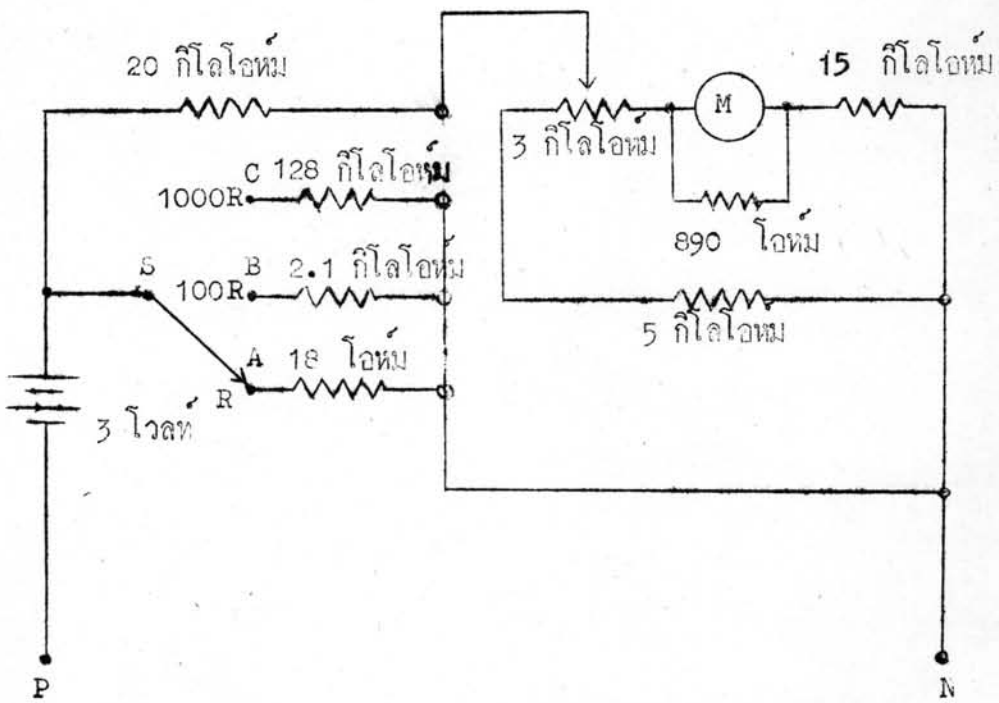


รูปที่ 2.5 ก. มัลติมิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

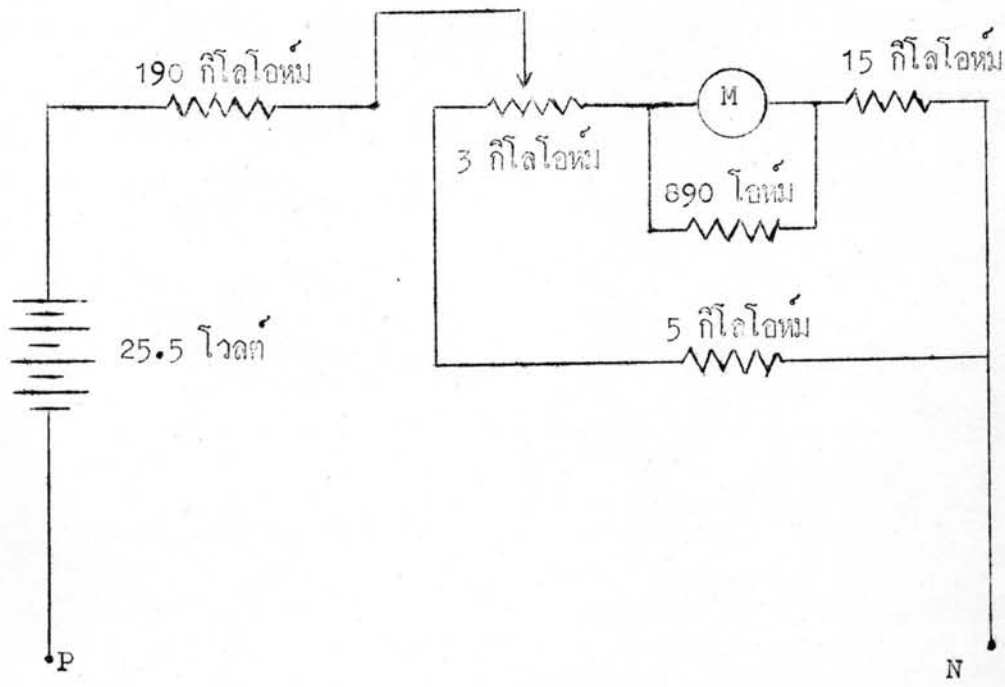


รูปที่ 2.5 ข. เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความต้านทานไฟฟ้า

โอห์มมิเตอร์ที่ใช้นี้มีวงจรคล้ายกับโอห์มมิเตอร์แบบโวลมิเตอร์และอาศัยหลักการเดียวกัน แต่มีความต้านทานขนาดต่าง ๆ ขนานกับความต้านทานที่มีลักษณะคล้ายกับแบบโวลมิเตอร์ ทั้งนี้เพื่อให้โอห์มมิเตอร์มีหลาย ๆ พิสัย ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 2.6 ซึ่งความต้านทานที่ต้องการวัดจะอยู่ระหว่าง P และ N ตามรูปที่ 2.6 ก. ถ้าหมุนสวิตช์ให้ S ไปที่ A หรือ B หรือ C แล้ว จะเป็นวงจรสำหรับความต้านทาน R หรือ 100R หรือ 1000R ตามลำดับ ซึ่งหมายความว่า ความต้านทานที่เข็มชี้ขณะวัดความต้านทานหนึ่ง ๆ จะต้องคูณด้วย 1 หรือ 100 หรือ 1000 ตามสวิตช์ที่หมุนจึงจะเป็นความต้านทานที่ถูกต้องนั่นเอง ส่วนรูปที่ 2.6 ข. เป็นวงจรสำหรับความต้านทาน 10000 R หรือ 10^4 R ดังนั้น ถ้าหมุนสวิตช์มาที่ 10000 R ความต้านทานที่เข็มชี้จะต้องคูณด้วย 10^4 จึงจะเป็นค่าความต้านทานที่ถูกต้อง เมื่อ P แตะกับ N



รูปที่ 2.6 ก. วงจรของโอห์มมิเตอร์สำหรับความต้านทาน R 100R และ 1000R



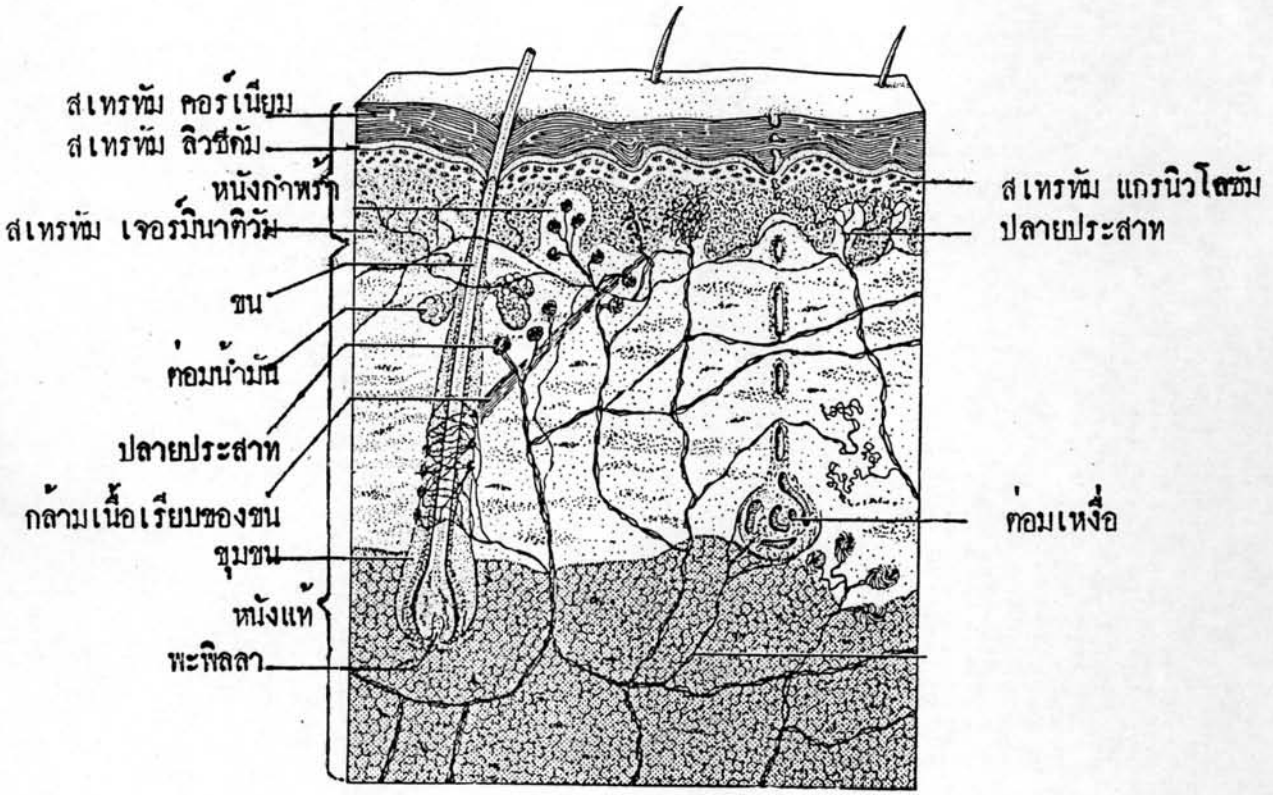
รูปที่ 2.6 ข. วงจรของโอห์มมิเตอร์สำหรับความต้านทาน 10000R

ความต้านทานของวงจรขณะสวิตช์อยู่ที่ R 100R 1000R และ 10000R จะเป็น 0.018 กิโลโอห์ม 1.9 กิโลโอห์ม 20.5 กิโลโอห์ม และ 194.7 กิโลโอห์ม ตามลำดับ

2. หนังของคน

ผิวหนังหรือหนัง (skin) ของคนและสิ่งอื่นที่เปลี่ยนแปลงมาจากหนัง เช่น ขน ผม เล็บ ต่อมเหงื่อ และต่อมน้ำมัน เหล่านี้จัดอยู่ในระบบเครื่องห่อหุ้มร่างกาย (integumentary system) ซึ่งเป็นระบบหนึ่งในโครงร่างของร่างกาย ระบบเครื่องห่อหุ้มร่างกายมีหน้าที่สำคัญหลายอย่าง ได้แก่ ป้องกันการกระทบกระเทือนจากภายนอก ควบคุมอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ และรับความรู้สึก เป็นต้น ในที่นี้ จะกล่าวถึงหนังและสิ่งอื่นที่เกี่ยวข้องกับหนังตามแขนและขาของคน

2.1 <u>ส่วนประกอบของหนัง</u> (12,13,14) หนังของคนประกอบด้วยเยื่อ 2 ชั้น คือ หนังกำพร้า (**epidermis**) และหนังแท้ (**dermis** หรือ **corium**) ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ภาพตัดตามขวางของหนังคน

2.1.1 <u>หนังกำพร้า</u> หนังกำพร้าเป็นเยื่อคลุมตัวชั้นนอกสุด หนาประมาณ 0.07 – 0.12 มิลลิเมตร ตามฝ่ามือ ฝ่าเท้าหนาที่สุดประมาณ 0.8 – 1.4 มิลลิเมตร หนังกำพร้าประกอบด้วยเยื่อบุผิวเรียงซ้อน ๆ กัน 4 ชั้น คือ

2.1.1.1 สเทรทัม เจอร์มินาติวัม (stratum germinativum) เป็นเยื่อชั้นในสุด ประกอบด้วยเซลเรียงตัวกันหลายชั้น เยื่อชั้นนี้เป็นผู้สร้างส่วนอื่น ๆ ของหนังกำพร้าทั่วตัว รวมทั้งขน ผม และเล็บ เซลที่แบ่งตัวออกจากเยื่อชั้นนี้จะค่อย ๆ เขยิบออกมาข้างนอกอยู่เสมอ และขณะที่เลื่อนออกมานั้นรูปร่างของเซลจะเปลี่ยนไปด้วย โดยเฉพาะจะแบนลงทุกที ประกอบขึ้นด้วย 2 ชั้น ย่อย ๆ คือ

2.1.1.1.1 สเทรทัม เบเซล (stratum basale) อยู่ในสุด และเป็นเซลรูปร่างทรงสูง (columnar) แถวเดียว ชั้นนี้เป็นเซลที่กำลังแบ่งตัว (mitosis) เพื่อเจริญไปเป็นเยื่อชั้นถัดออกไป นอกจากนี้ยังมีเมลาโนไซท (melanocyte) ซึ่งเป็นเซลที่มีรงควัตถุพวกเมลานิน (melanin) และทำให้ผิวของคนมีสีน้ำตาลหรือดำ เมลาโนไซทอาจกระจายไปจนถึงชั้นถัดออกมาด้วย ก็ได้สำหรับคนที่มีผิวสีเข้มมาก ๆ

2.1.1.1.2 สเทรทัม สไปโนซัม (stratum spinosum) อยู่ถัดออกมาและประกอบด้วยเซลรูปร่างหลายเหลี่ยมซ้อนกันหลายชั้น ในชั้นนี้มีการแบ่งตัวด้วย และเซลชั้นนอก ๆ มักจะแบนกว่า

2.1.1.2 สเทรทัม แกรนิวโลซัม (stratum granulosum) เป็นเยื่อชั้นที่อยู่ถัดออกมาข้างนอก ประกอบด้วยเซลแบน ๆ 2 – 3 แถว ซึ่งจะเห็นได้ตามฝ่ามือและฝ่าเท้า ภายในไซโตพลาสซึม (cytoplasm) มีเม็ดที่มองเห็นเป็นจุดทึบกว่าส่วนอื่น ๆ นิวเคลียสของเซลในเยื่อชั้นนี้จะเริ่มจางและแตกสลาย

2.1.1.3 สเทรทัม ลิวซีดัม (stratum lucidum) เป็นเยื่อชั้นที่อยู่ถัดจากสเทรทัม แกรนิวโลซัมออกมาข้างนอกอีก เยื่อชั้นนี้ครั้งหนึ่งเคยเป็นสเทรทัม แกรนิวโลซัมมาก่อน ซึ่งเมื่อเปลี่ยนมาเป็นชั้นใหม่ เม็ดที่เป็นจุดทึบในสเทรทัม แกรนิวโลซัมจะเปลี่ยนไปเป็นสารเคราติอีกอย่างหนึ่งมีลักษณะกึ่งของเหลวใส ทำให้เยื่อชั้นนี้ใสสว่างกว่าเยื่อชั้นอื่น ๆ ชั้นนี้ไม่มีอยู่เสมอไป นอกจากตรงที่หนังหนามาก ๆ เล็บเป็นที่พิเศษแห่งเดียวที่ประกอบด้วยสเทรทัม ลิวซีดัมเกือบล้วน ๆ

2.1.1.4 สเทรทัม คอร์เนียม (stratum corneum) เป็นเยื่อชั้นนอกสุดและหนามาก ประกอบด้วยเซลที่ตายแล้ว และเยื่อชั้นนอก ๆ จะหลุดออกมาเป็นขี้ไคลอยู่เสมอ สิ่งที่หลุดออกมานี้มีสารพวกโปรตีนเป็นส่วนประกอบอยู่มาก เมื่อเซลของสเทรทัม คอร์เนียม ตายและหลุดไป เซลของสเทรทัม เจอร์มินาติวัม จะแบ่งตัวเจริญมาแทนที่เสมอ

ในขณะที่เซลชั้นสเทรทัม เจอร์มินาติวัมเขยิบออกมาข้างนอกอยู่เสมอนั้น เซลจะมีรูปร่างเปลี่ยนไปโดยผนังหนาขึ้นและนิวเคลียสแตกลง ตัวเซลจะอัดกันแบนเข้า พร้อมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ จนในที่สุดก็ตายไปกลายเป็นขี้ไคลออกจากร่างกาย แต่ในเวลาเดียวกันเซลใหม่ ๆ ที่อยู่ข้างล่างก็เพิ่มขึ้นมาแทนอยู่เสมอ การที่หนังกำพร้าชั้นนอก ๆ ตายไปเพราะว่าขาดอาหาร เนื่องจากเส้นเลือดฝอยมักจะไม่แทงทะลุขึ้นมาจนถึงหนังกำพร้า ดังนั้น อาหารจึงต้องซึมผ่านชั้นหนังแท้ออกมาอีกทีหนึ่ง ส่วนปลายเส้นประสาทรับความรู้สึกก็เหมือนกับเส้นเลือด กล่าวคือ มาหมดปลายอยู่เพียงบนผิวของหนังแท้ แต่เพราะหนังกำพร้าบาง ทำให้รู้สึกคล้ายกับว่าปลายเส้นประสาทรับความรู้สึกอยู่นอก ๆ

2.1.2 หนังแท้ ตามฝ่ามือ ฝ่าเท้าจะมีหนังแท้หนามากประมาณ 2 – 4 มิลลิเมตร แถบริเวณหนังตาจะบางมาก หนังแท้เป็นชั้นที่อยู่ถัดจากหนังกำพร้าเข้าไปข้างใน และเป็นชั้นที่หนาและแข็งกว่า แบ่งออกเป็น 2 ชั้นย่อย ๆ คือ

2.1.2.1 พะพิลละรี่ เลเออ (papillary layer) เป็นชั้นที่อยู่ถัดหนังกำพร้าเข้าไปข้างใน มีลักษณะเป็นคลื่น ที่คลื่นนี้จะมีปลายประสาท เส้นเลือด และท่อน้ำเหลืองมาเลี้ยง นอกจากนี้ ยังมีขุมขน (hair follicle) ต่อมน้ำมัน (sebaceous gland) และกล้ามเนื้อเรียบของขน (erector muscle) ซึ่งเมื่อหดตัวจะทำให้ขนลุกตั้งได้

2.1.2.2 รีทิกคิวละ เลเออ (reticular layer) อยู่ถัดจากพะพิลละรี เลเออ เข้าไปอีก มีเยื่อมัน (adipose tissue) ปนอยู่มาก นอกจากนี้ ยังมีเส้นเลือด เส้นประสาท ต่อมเหงื่อ (sweat gland) และอื่น ๆ อีก

2.2 สิ่งที่เปลี่ยนแปลงและเกี่ยวข้องกับหนัง (12,13,14) ได้กล่าวแล้วว่ามีส่วนประกอบหลายอย่างในหนัง ดังนั้น การวัดความต้านทานไฟฟ้าของผิวหนังอาจเกี่ยวข้องกับส่วนประกอบเหล่านี้ ซึ่งจะได้กล่าวถึงเป็นลำดับต่อไป

2.2.1 ต่อมเหงื่อ เป็นต่อมมีท่อ (exocrine gland หรือ duct gland) เกิดจากหนังกำพร้าชั้นสไตรทัม เจอร์มินาติวัม และฝังลงไปอยู่ในหนังแท้ แล้วมีช่องเปิดอยู่บนผิวหนัง ต่อมเหงื่อประกอบด้วยเซลหลายเซล หรือเป็นกลุ่มของเซลซึ่งมีเลือดมาเลี้ยงอย่างบริบูรณ์ มีส่วนที่ทำหน้าที่สร้างสารและส่วนที่เป็นท่อซึ่งเป็นหลอดยาว ตอนล่างของหลอดยาวมากขดกันอยู่เพื่อไม่ให้เปลืองที่ ตอนบนของหลอดบิดเป็นเกลียวเล็กน้อยและมีหน้าที่นำเหงื่อมาออกบนผิวหนัง คนมีต่อมเหงื่อประมาณห้าล้านกว่าหรือ 60 – 80 ต่อม ต่อเนื้อที่ผิว 1 ตารางเซนติเมตรและทุก ๆ ต่อมมีทางออกของตัวเอง ในบริเวณฝ่ามือและฝ่าเท้ามีต่อมเหงื่อหนาแน่นกว่าที่อื่น คือ ประมาณ 400 ต่อม ต่อ 1 ตารางเซนติเมตร และต่อมในช่องรักแร้มีขนาดใหญ่ที่สุด ตามปกติคนจะมีเหงื่อออกประมาณวันละกว่าลิตรถึง 1 ลิตร แต่อากาศร้อนอาจจะมีเหงื่อออกมาได้ถึง 2 – 3 ลิตร

2.2.2 ต่อมน้ำมัน เป็นต่อมมีท่อและเปลี่ยนแปลงมาจากหนังเช่นกัน แต่ส่วนที่ทำหน้าที่สร้างสารของต่อมมีลักษณะเป็นกระปุกหรือพองออกเป็นกระเปาะและมีแขนงแตกเป็นกระปุกเล็กดังรูปที่ 2.7 ต่อมน้ำมันมักอยู่ข้าง ๆ ขน แต่ที่อยู่ตามลำพังไม่เกี่ยวข้องกับขนก็มี เช่น ต่อมน้ำมันบริเวณริมฝีปากและบนจมูก ซึ่งไม่มีขนและจะเห็นรูเล็ก ๆ ที่เป็นทางออกของน้ำมันได้ชัด ประโยชน์ของต่อมน้ำมันตามปกติมี 2 อย่าง คือ ทำให้ขนไม่เปราะและทำให้หนังมีน้ำมันไม่แห้งแตกง่าย

2.2.3 ขน เป็นสิ่งที่เปลี่ยนแปลงมาจากหนัง ขนเป็นเส้นของหนังกำพร้าที่แทงออกมาจากแอ่งในหนัง ดังรูปที่ 2.7 ส่วนของขนที่ฝังอยู่ในแอ่งเป็นราก (hair root) ตอนล่างสุดของรากมีรูปเป็นกระเปาะซึ่งส่วนนี้มีเซลของสไตรทัม เจอร์มินาติวัม อยู่มาก เป็นที่สำหรับสร้างขน ใต้กระเปาะมีหนังแท้ยื่นเข้ามาจุกอยู่เรียกว่า พะพิลลา (papilla) ซึ่งเป็นที่ที่มีปลายเส้นประสาทและเส้นเลือดมารวมกันอยู่มาก เหมาะสำหรับบำรุงเลี้ยงรากขน ในแอ่งของขุมขนจะมีท่อของต่อมน้ำมันหลายต่อม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มาเปิดออก ถ้าตัดเส้นขนตามขวางจะเห็นเซลเรียงซ้อนกันอยู่ 3 ชั้น ถึงแม้ว่าขนจะฝังลึกลงไปอยู่ในหนังแท้ แต่ส่วนประกอบของขนก็เป็นหนังกำพร้าล้วน ๆ นอกจากปะพิลลา ซึ่งเป็นผู้ให้อาหารเท่านั้นที่เป็นหนังแท้ ขนทุกเส้นมีกล้ามเนื้อเรียบ (erector muscle) กำกับอยู่ด้วยเสมอ เมื่อกล้ามเนื้อเรียบหดตัวก็ดึงโคนขนเข้ามาทำให้ขนตั้งชัน การควบคุมการเจริญหรือการร่วงของขนนั้นขึ้นอยู่กับฮอร์โมนบางอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งฮอร์โมนเพศ

ได้กล่าวถึงต่อมเหงื่อ ต่อมน้ำมัน และขน ซึ่งทั้งหมดเป็นสิ่งที่เปลี่ยนแปลงมาจากหนัง ต่อไปนี้จะกล่าวถึงสิ่งที่เกี่ยวข้องกับหนัง ได้แก่ เลือด (blood) น้ำเหลือง (lymph) ฮอร์โมน (hormone) และเส้นประสาท

2.2.4 <u>เลือด</u> ก่อนจะกล่าวถึงเลือดและระบบของเลือด จะขอกล่าวถึงเรื่องของเหลวในร่างกาย (body fluid) เสียก่อน ของเหลวในร่างกายช่วยควบคุมหรือรักษาสมดุล ในร่างกายของคนเรามีของเหลวประมาณ 60 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักตัว แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ของเหลวที่อยู่ภายในเซลและของเหลวที่อยู่นอกเซล ของเหลวที่อยู่นอกเซลแบ่งเป็น 2 ส่วนย่อย ๆ คือ น้ำเลือดซึ่งอยู่ภายในเส้นเลือดและของเหลวที่อยู่ระหว่างเซล (และอยู่นอกเส้นเลือดด้วย) ซึ่งรวมน้ำเหลืองและของเหลวที่อาบอยู่รอบเซล (tissue fluid) ด้วย

เลือดทำหน้าที่สำคัญ ๆ หลายอย่างในร่างกาย เช่น นำออกซิเจนจากปอดไปให้เซลทั่วร่างกาย และนำคาร์บอนไดออกไซด์จากเซลนั้น ๆ มายังปอด เพื่อขับออกนอกร่างกาย เลือดทำหน้าที่ลำเลียงสารอาหารอนุเล็กที่ย่อยแล้วจากลำไส้ไปยังเซลทั่วร่างกายและเวลากลับก็พาเอาของเสียจากที่นั้น ๆ ไปยังส่วนของร่างกายที่มีหน้าที่ส่งของเหล่านี้ออกสู่ภายนอก นอกจากนี้ เลือดยังนำฮอร์โมนจากต่อมไร้ท่อต่าง ๆ ไปควบคุมการทำงานของอวัยวะในร่างกายให้เป็นปกติ เลือดในร่างกายของคนที่โตเต็มที่มีประมาณ 75 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.040 – 1.055 มีความหนืดประมาณ 5 – 6 เท่าของน้ำและมีฤทธิ์เป็นด่างอ่อน ๆ เลือดของคนประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

ก. ส่วนที่เป็นของเหลวเรียกว่า น้ำเลือด (plasma) มีประมาณ 55 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตรของเลือดทั้งหมด มีความถ่วงจำเพาะ 1.024–1.038 น้ำเลือดประกอบด้วยน้ำ เกลือแร่ และโปรตีน ได้แก่ โปรตีนที่เรียกว่า โปรทรอมบิน (prothrombin) และไฟบริโนเจน (fibrinogen) ซึ่งเกี่ยวกับการแข็งตัวของเลือด นอกจากนี้ยังมีสารอื่น ๆ อีก เช่น กลูโคส ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น

ข. ส่วนที่เป็นเซลล์ลอยอยู่ในน้ำเลือดเรียกว่า เม็ดเลือด (corpuscle) มีประมาณ 45 เปอร์เซนต์โดยปริมาตรของเลือดทั้งหมดและมีความถ่วงจำเพาะ 1.09 เมื่อเป็นผู้ใหญ่แล้วเม็ดเลือดจะเกิดจากไขกระดูก เม็ดเลือดมีอยู่ 3 ชนิดคือ เม็ดเลือดแดง (erythrocyte) ซึ่งมีรูปกลม เมื่อโตเต็มที่แล้วกรงกลางเซลจะแฟบเข้าหากันแบบเลนซ์เว้า เพราะข้างในไม่มีนิวเคลียส เม็ดเลือดแดงมีหน้าที่สำคัญในการลำเลียงออกซิเจนไปให้เซลของร่างกายโดยอาศัยสีแดงของเม็ดเลือด ซึ่งเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งคือ ฮีโมโกลบิน (haemoglobin) นอกจากเม็ดเลือดแดงแล้วยังมีเม็ดเลือดขาว (leucocyte) ซึ่งมีนิวเคลียสตลอดชีวิตและมีขนาดเพลทเลท (blood platelet) ซึ่งมีหน้าที่เกี่ยวกับการให้เลือดเป็นก้อนแข็ง

เลือดทำหน้าที่ลำเลียงและถ่ายเทสิ่งต่าง ๆ ได้ต้องอาศัยเส้นเลือดหรือหลอดเลือด (blood vessel) และหัวใจ (heart) โดยหัวใจทำหน้าที่รับเลือดเสียจากส่วนต่าง ๆ ของร่างกายซึ่งผ่านทางเส้นเลือดแล้วส่งให้ปอดฟอกเมื่อปอดฟอกแล้วจะส่งเลือดมาหัวใจ เพื่อให้หัวใจส่งต่อไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย จะเห็นว่าเซลทุกเซลได้รับอาหาร น้ำ และอากาศจากเส้นเลือดที่นำมา ดังนั้นเส้นเลือดจะต้องมีทั้งเส้นเลือดใหญ่และเล็ก โดยเส้นเลือดแดงที่อยู่ใกล้หัวใจมีขนาดใหญ่และไกลออกไปจะเล็กลงทุกทีจนกลายเป็นเส้นเลือดฝอย (capillary) ส่วนเส้นเลือดดำเป็นเส้นที่เริ่มต้นด้วยเส้นเลือดฝอย แล้วจึงค่อย ๆ ใหญ่ขึ้นทุกทีและเส้นที่อยู่ใกล้หัวใจจะใหญ่ที่สุดเช่นกัน เส้นเลือดฝอยมีขนาดเล็กมากจนเม็ดเลือดต้องเรียงเม็ดไหลไปช้า ๆ ขณะนี้เม็ดเลือดจะจ่ายอาหารและออกซิเจนและเก็บของเสียต่าง ๆ ออกมา พ้นนี้โดยที่รอบ ๆ เซลของร่างกายจะมีของเหลว (tissue fluid) ทำหน้าที่หล่อเลี้ยงเซล

และเป็นตัวกลางระหว่างเส้นเลือดฝอยกับเซลของร่างกายในการแลกเปลี่ยนอาหาร ก๊าซ และของเสีย นอกจากนี้แล้วเม็ดเลือดขาวอาจจะแทรกช่องว่างของผนังเส้นเลือดฝอยเล็ดลอดออกไปยังของเหลวระหว่างเซลได้ เพื่อต่อต้านหรือกำจัดสิ่งไม่ต้องการที่เข้ามาในร่างกาย เช่น เชื้อโรค ในหนังของคนที่มีชีวิตอยู่ก็เช่นกัน เซลทุกเซลมีการแลกเปลี่ยนอาหาร ก๊าซ และของเสียโดยผ่านเส้นเลือดฝอยและของเหลวระหว่างเซล

2.2.5 น้ำเหลือง น้ำเหลืองต่างกับเลือดตรงที่ไม่มีเม็ดเลือดแดงและบลัดเพลทเลทเท่านั้น หมายความว่าเซลที่ลอยอยู่ในน้ำเหลืองเป็นเม็ดเลือดขาวทั้งสิ้น คือ เป็นเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซท์ (lymphocyte) ประมาณ 99 เปอร์เซนต์ นอกนั้นเป็นกรานูโลไซท์ (granulocyte) ส่วนประกอบของน้ำเหลืองก็คล้ายกับเลือดแทบทุกอย่าง ต่างกันที่อาจมีสารเคมีละลายอยู่มากน้อยกว่ากัน เป็นต้นว่าของเสียต่าง ๆ ในร่างกายละลายมาอยู่ในน้ำเหลืองมากกว่าเลือดและมีโปรตีน เช่น ไฟบริโนเจนน้อยกว่าเลือด จึงทำให้น้ำเหลืองที่ปากแผลเป็นก้อนแข็งช้ากว่าเลือด น้ำเหลืองเป็นของเหลวอยู่ในท่อน้ำเหลือง (lymphatic vessel) ทั่วร่างกาย เกิดจากน้ำเลือดซึมออกจากเส้นเลือดฝอยมาอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลของเนื้อเยื่อเพื่อหล่อเลี้ยงเซลไว้แล้วจึงซึมเข้าสู่ท่อน้ำเหลืองกลายเป็นน้ำเหลืองไป น้ำใส ๆ ระหว่างเซลและน้ำเหลืองนี้ถ้าซึมกลับเข้าเส้นเลือดอย่างเดิมก็กลายเป็นน้ำเลือดไป การซึมของของเหลวจากเส้นเลือดไปได้แสดงว่าเส้นเลือดนั้นชำรุด แต่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงว่ามีการทำงานตามปกติของผนังเส้นเลือดฝอยทั่ว ๆ ไป เพราะมิฉะนั้นแล้วเซลต่าง ๆ ของร่างกายที่อยู่ภายนอกหรือไกลจากเส้นเลือดก็จะไม่มีทางรับสารละลายที่เป็นอาหารจากระบบเลือดหรือปล่อยสารละลายที่เป็นของเสียสู่ระบบเลือดได้ ท่อน้ำเหลืองเป็นท่อปลายตันเมื่ออยู่ทั่วร่างกายและมีขนาดต่าง ๆ กัน เล็กที่สุดมีขนาดกล้ายเส้นเลือกฝอย ท่อน้ำเหลืองมักจะทอดขนานไปกับเส้นเลือด แต่ไม่มีทางเปิดเข้าหากัน นอกจากบริเวณใกล้ ๆ หัวใจ ทิศทางไหลของน้ำเหลืองได้แต่ไปสู่หัวใจเท่านั้น เพราะท่อน้ำเหลืองมีลิ้นกอยกั้นไม่ให้ไหลกลับได้ ส่วนต่อมน้ำเหลือง (lymph node หรือ lymph gland) มีอยู่ทั่วไปในร่างกาย ต่อมน้ำเหลืองมีหน้าที่กรองน้ำเหลืองให้สะอาด ทำลายบักเตรี ทำลายเม็ดเลือดขาวที่หมดอายุและเป็นที่เกิด

ของเม็ดเลือดขาวทางชนิด นอกจากนี้ยังมีอวัยวะน้ำเหลืองซึ่งคล้ายกับต่อมน้ำเหลือง แต่โดยมากมีขนาดใหญ่กว่าเพราะรวมกันอยู่เป็นกลุ่มก้อน เช่น ม้าม (spleen) เยื่อไขกระดูก (bone marrow) เป็นต้น

2.2.6 ฮอร์โมน ต่อมไร้ท่อหรือต่อมไม่มีท่อ (ductless gland หรือ endocrine gland) เป็นต่อมทำหน้าที่สร้างสารประกอบที่เรียกว่าฮอร์โมน ฮอร์โมนนี้ปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้นก็สามารถไปมีผลต่ออวัยวะหรือเนื้อเยื่อที่อยู่ห่างไกล ฮอร์โมนอย่างหนึ่งมักจะออกฤทธิ์โดยเฉพาะกับอวัยวะเดียวหรือเรื่องเดียวเท่านั้น แม้จะมากกว่าอวัยวะเดียวก็มักไม่เกิน 2 หรือ 3 อวัยวะ ฮอร์โมนในร่างกายของคนจะถูกลำเลียงไปสู่อวัยวะหรือเนื้อเยื่อต่าง ๆ ได้โดยอาศัยเลือดพาออกไป เพราะต่อมที่สร้างฮอร์โมนไม่มีท่อที่จะพาไปได้อย่างต่อมธรรมดาทั่วไปในร่างกาย เป็นที่น่าสังเกตว่าแต่เดิมเข้าใจว่าอวัยวะสร้างฮอร์โมนเป็นต่อมนั้น แท้จริงแล้วฮอร์โมนอาจสร้างขึ้นมาจากเซลหรือเนื้อเยื่อหรือส่วนใดก็ได้ ไม่จำเป็นต้องเป็นต่อมเสมอไป เช่น มาสท์เซล (mast cell) ซึ่งมีอยู่ทั่วร่างกาย และเกิดจากไขกระดูกสามารถสร้างสารฮอร์โมนได้ถึง 3 ชนิด ซึ่งมีผลต่อระบบเลือดและหัวใจ

2.2.7 เส้นประสาท การทำงานของอวัยวะและส่วนต่าง ๆ ในร่างกายคนจะดำเนินไปอย่างราบรื่นเป็นปกติสุขได้ต้องมีการควบคุมและติดต่อประสานงานโดยอาศัยอวัยวะภายในสำคัญ ๆ ในร่างกายที่มีความเกี่ยวข้องต่อเนื่องกันอยู่ 2 ระบบด้วยกันคือ ระบบประสาทและระบบต่อมไร้ท่อ ระบบทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดและร่วมทำหน้าที่ด้วยกัน โดยปลายเส้นประสาทจะขับสารเคมี (neurohumor) ที่มีฤทธิ์ต่อกล้ามเนื้อหรืออวัยวะ ทำให้ส่วนนั้นทำงาน ระบบประสาทจึงเป็นระบบในร่างกายที่มีหน้าที่เกี่ยวกับการสั่งงาน การติดต่อเชื่อมโยงกับสิ่งแวดล้อม การรับคำสั่งและการปรับระบบต่าง ๆ ในร่างกายให้ประพฤติตัวได้ถูกต้องต่อความเป็นอยู่ภายนอก ตัวการสำคัญของระบบงานนี้คือ เซลประสาท (neuron) ซึ่งเมื่อต่อกันเข้าเป็นจำนวนพอเพียงก็จะทำงานให้เป็นประโยชน์แก่ร่างกายได้ เซลประสาทมีรูปร่างไม่เหมือนกับเซลธรรมดาทั่วไป เซลประสาททำหน้าที่ได้หลายอย่างคือ รับความรู้สึก เหนี่ยวนำให้กระแสความรู้สึกผ่านไปมาได้ และทำงานด้วยตัวเองซึ่งเป็นลักษณะสำคัญที่สุด เซลประสาทประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

ตัวประสาท (cell body) แอกซัน (axon) และเด็นไดรท์ (dendrite) ทั้งแอกซันและเด็นไดรท์เป็นส่วนที่ยื่นไปจากตัวประสาท จึงเรียกว่า ใยประสาท (nerve fibre) ตัวประสาทประกอบด้วยนิวเคลียสและไซโตปลาสซึมหรือเรียกว่า นิวโรปลาสซึม (neuroplasm) แอกซันเป็นส่วนของตัวประสาทที่ยื่นออกไปเป็นเส้นยาวเส้นเดียว มักไม่มีกิ่งหรือแขนงเลยนอกจากตรงปลาย ก็มีก็มักจะแยกออกไปเป็นมุมฉากกับเส้นเดิม ในคนแอกซันยาวได้ถึง 2 – 3 ฟุต แอกซันนี้เป็นเสมือนสายที่นำกระแสความรู้สึกหรือคำสั่งออกจากตัวประสาทและไปหมดปลายที่กล้ามเนื้อหรือต่อม ส่วนเด็นไดรท์เป็นส่วนของตัวประสาทที่ยื่นออกไปและอยู่ตรงข้ามกับแอกซัน มักเป็นเส้นสั้น ๆ แต่ใหญ่กว่าแอกซัน และแตกกิ่งสาขาได้ เด็นไดรท์เป็นเสมือนสายที่นำกระแสความรู้สึกเข้าสู่ตัวประสาท เซลประสาทในร่างกายอาจเชื่อมหรือติดต่อกันได้โดยที่ปลายของแอกซันกับปลายของเด็นไดรท์มาสัมผัสหรือต่อกัน บริเวณนี้เรียกว่า ซินแนพซ์ (synapse) ทำให้กระแสประสาท (nerve impulse) จากเด็นไดรท์ผ่านตัวประสาทและแอกซันของเซลหนึ่ง ไปยังเด็นไดรท์ผ่านตัวประสาทและแอกซันของอีกเซลหนึ่งได้ การเดินทางของกระแสประสาทซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าระหว่างภายในและภายนอก เซลนี้จะเดินไปทางเดียวตลอด ไม่สามารถที่จะย้อนกลับได้ เพราะเมื่อกระตุ้นใยประสาทจะเกิดสารเคมีพวกฮอร์โมนซึ่งสลายตัวเร็วมากขึ้นที่ปลายแอกซันเท่านั้น และมันจะช่วยพากระแสประสาทข้ามซินแนพซ์ไปยังปลายเด็นไดรท์ของอีกเซลหนึ่ง ส่วนปลายเด็นไดรท์เองไม่สามารถสร้างสารเคมีขึ้นได้ แต่ปลายเด็นไดรท์เป็นบริเวณที่ไวต่อสารเคมีนี้มากที่สุด เซลประสาทมักจะมีตัวประสาทและเด็นไดรท์อยู่ในสมองและไขสันหลังเป็นส่วนใหญ่ นอกนั้นก็อยู่ตามปมประสาท (ganglion) ต่าง ๆ ส่วนเส้นประสาทที่เห็นเป็นเส้น ๆ นั้นส่วนใหญ่เป็นแอกซัน

อวัยวะรับความรู้สึกบนผิวหนังมีหลายชนิด ได้แก่ อวัยวะรับการสัมผัส อวัยวะรับความรู้สึกร้อน หนาว และอวัยวะรับความรู้สึกเจ็บปวด อวัยวะรับการสัมผัสเป็นเครื่องรับความรู้สึกทุกชนิดที่ทำให้รู้ว่ามีก๊าซ ของเหลว หรือของแข็งมาถูกตัว เครื่องรับการสัมผัสชนิดง่ายเป็นแบบเส้นประสาทมีหมดปลายลอย ๆ (free nerve ending) อยู่ในระหว่างเซลของผิวหนัง ชนิดที่ซับซ้อนกว่านี้จะมีเด็นไดรท์มีหมดปลายเป็นแบบต่าง ๆ เช่น มีปลายเด็นไดรท์เป็นรูปเหมือนถ้วยกรวยอยู่ใกล้เซลผิวหนัง เมื่อมีอะไร

มาถูกเซลนี้ เซลก็จะกดลงไปบนปลายเด็นไดรท์ ทำให้เกิดความรู้สึกได้ เครื่องรับความรู้สึกร้อนหนาวมักเป็นชนิดที่ปลายเส้นประสาทมาแตกฝอยอยู่ระหว่างเซลในหนัง ส่วนเครื่องรับความรู้สึกที่มีอยู่ทั่วไปบนผิวหนัง คือ เครื่องรับความรู้สึกเจ็บปวดซึ่งให้ประโยชน์แก่ร่างกายมาก เครื่องรับความรู้สึกชนิดนี้มีจำนวนมากกว่าชนิดอื่น ๆ เมื่อเกิดความเจ็บปวด กระแสความรู้สึกจะถูกส่งไปไขสันหลังและสมองเพื่อรับความรู้สึกเจ็บปวดนั้น

2.3 <u>ความต้านทานไฟฟ้าของหนัง</u>[15, 16, 17] หนังกำพร้ามีความต้านทานไฟฟ้าสูง แต่ของเหลวภายในร่างกายซึ่งประกอบด้วยเกลือและโมเลกุลอื่น ๆ สามารถแตกออกเป็นไอออนบวกและลบได้ ทำให้ของเหลวภายในร่างกายนำไฟฟ้าได้ก่อนข้างดี ดังนั้น ถ้าเอาหนังกำพร้าออกจะทำให้ความต้านทานไฟฟ้าของร่างกายลดลงมาก มีผู้พบว่าความต้านทานไฟฟ้าบนผิวหนังของคนจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับเฉพาะบุคคล นอกจากนี้ ความหนาของหนังกำพร้าและการกระตุ้นทางจิตใจจะมีผลต่อความต้านทานไฟฟ้าด้วย บนฝ่ามือและฝ่าเท้าพบว่าการทำงานของต่อมเหงื่อจะมีผลอย่างมากต่อความต้านทานไฟฟ้า ซึ่งต่อมเหงื่อบริเวณฝ่ามือและฝ่าเท้านี้จะมีปฏิกิริยาต่อความรู้สึกของจิตใจ แต่ต่อมเหงื่อบริเวณอื่นจะมีปฏิกิริยาต่อการกระตุ้นด้วยความร้อนมากกว่าการกระตุ้นด้วยจิตใจ นอกจากนี้ การขับเหงื่อออกมามากหรือน้อยในบริเวณที่มีความต้านทานไฟฟ้าต่างกันจะทำให้การเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าต่างกันด้วย

3. <u>ข้อควรศึกษาเกี่ยวกับจุดฝังเข็ม</u>

เนื่องจากงานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับจุดฝังเข็มโดยตรง จึงสมควรกล่าวถึงข้อศึกษาของจุดฝังเข็มไว้ด้วย ดังได้กล่าวแล้วว่าจุดฝังเข็มเป็นจุดบนผิวหนัง ดังนั้น จุดเหล่านี้ย่อมเกี่ยวข้องกับผิวหนังและระบบที่มาหล่อเลี้ยงผิวหนัง มีผู้รายงานและแสดงข้อคิดเห็นต่าง ๆ เกี่ยวกับจุดฝังเข็มมากมาย ได้กล่าวถึงจุดฝังเข็มว่าเป็น [6, 8] จุดที่นุ่ม (tender spots) และพบว่า [18] มีท่อเล็ก ๆ อยู่ที่จุดฝังเข็มเรียกว่าท่อบองฮัน (Bonghan ducts) ยังมีรายงานอีกว่า [3] จุดฝังเข็มอาจเป็นรูเหงื่อที่ติดต่อไปยังต่อมเหงื่อ ซึ่งในระยะก่อนและระหว่างการขับเหงื่อจะมีผลต่อความต้านทานไฟฟ้าของ

ผิวหนัง นอกจากนี้ยังกล่าวเพิ่มเติมอีกว่า[6] ชีที่ไหลตามแนวชิงโลเปรียบเหมือนกระแสประสาทที่ไปตามเส้นประสาทและเรียกปลายประสาท (nerve endings) ว่าจุดฝังเข็ม จากการวิจัยมีรายงานสรุปว่า[8] ชิงโลซึ่งอาจเรียกว่า ช่อง (channels) นี้ เกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับระบบประสาท หลอดเลือด และของเหลวในร่างกาย ส่วน[8]กลไกสำคัญในการฝังเข็มรักษาโรคนั้นเกี่ยวข้องกับการเพิ่มความต้านทานโรคให้ร่างกาย โดยเพิ่มจำนวนเม็ดเลือดขาว และเพิ่มความสามารถในการกินเชื้อโรคของเม็ดเลือดขาว นอกจากนี้ [3 ,7] การฝังเข็มยังมีผลต่อเม็ดเลือดแดงและฮอร์โมนด้วย