# ฟิสิกส์ของความร้อนและแสงทางกายภาพบำบัด

*สมชาย รัตนทองคำ*
*ภาควิชากายภาพบำบัด*
*คณะเทคนิคการแพทย์ ม.ขอนแก่น*

---

ความร้อนและแสงจัดเป็นพลังงานรูปหนึ่งซึ่งมีความถี่อยู่ในย่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีย่านความถี่ระหว่างคลื่นไมโครเวฟและรังสีเอกซ์ ทางกายภาพบำบัดได้นำคลื่นความร้อนและแสงสำหรับการบำบัดรักษา เครื่องมือกายภาพบำบัดในปัจจุบันที่ให้พลังงานในรูปคลื่นแสง ได้แก่ เครื่องอัลตราไวโอเลต และเครื่องเลเซอร์กำลังต่ำ ส่วนเครื่องมือที่ให้ผลทั้งความร้อนและแสงได้แก่ เครื่องอินฟราเรด

## 1. ทบทวนฟิสิกส์ของแสง

### 1.1 ธรรมชาติของแสง

แหล่งกำเนิดของแสงในธรรมชาติ คือดวงอาทิตย์ แสงเดินทางเป็นเส้นตรงจากแหล่งกำเนิด เมื่อผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันก็จะเกิดการหักเห และจะสะท้อนได้ดีเมื่อกระทบวัตถุผิวเรียบเป็นมัน Newton ผู้ค้นพบกฎเกณฑ์สำคัญทางกลศาสตร์ ซึ่งกล่าวว่าแสงเป็นอนุภาคที่ส่งติดต่อกันออกมาคล้ายลูกปืนที่ยิงติดต่อกัน เมื่ออนุภาคเหล่านั้นเข้าสู่นัยน์ตา ทำให้เกิดความรู้สึกในการมองเห็นภาพต่างๆ และสามารถอธิบาย กฎการสะท้อนและหักเหของแสง โดยใช้ทฤษฎีที่ว่า**แสงเป็นอนุภาค**

ในปี ค.ศ. 1670 Huygens ได้แสดงให้เห็นว่า กฎการสะท้อนและการหักเหของแสงสามารถอธิบายได้ โดยใช้ทฤษฎีคลื่นแสง ในปี ค.ศ. 1830 Young พบคุณสมบัติของคลื่นแสง Fresnel เป็นผู้ทดลองให้เห็นว่า แสงเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง และ Grimaldi ยังพบว่า แสงสามารถเลี้ยวเบนได้ ซึ่งเป็น**คุณสมบัติเฉพาะของคลื่น**

ในศตวรรษที่ 19 ได้มีการทดลองหลายอย่าง ที่แสดงให้เห็นว่าแสงมีคุณสมบัติเป็นคลื่น ในปี ค.ศ. 1873 Maxwell ได้ค้นพบทฤษฎี คลื่น แม่เหล็กไฟฟ้า และยังพบว่าความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าดังกล่าว มีความเร็วเท่ากับ ความเร็ว แสง (3x108 เมตร/วินาที) จากการศึกษาของ Maxwell นี้ ก็เป็นข้อสนับสนุนที่สำคัญว่า แสงก็เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง

ในปี ค.ศ.1887 Hertz นักวิทยาศาสตร์ ชาวเยอรมัน ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้พบปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริกเป็นครั้งแรกโดยบังเอิญ พบว่า เมื่อฉายแสงความถี่เดียว เช่น รังสีอัลตราไวโอเลต ให้ตกกระทบผิวโลหะ จะสามารถทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากผิวโลหะ พบว่า ถ้าใช้แสงความถี่เดียว ที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่ขีดเริ่มเปลี่ยน (threshold frequency) คือ ค่าความถี่ของแสงที่น้อยที่สุด ที่สามารถทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากผิวโลหะ ฉายไปยังโลหะนี้จะไม่มีอิเล็กตรอนหลุดออกมา ซึ่งปรากฏการณ์ที่แสงช่วยให้อิเล็กตรอนหลุดจากผิวโลหะได้นี้เรียกว่า ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก (photoelectric effect) และเรียกอิเล็กตรอนที่หลุดออกนี้ว่า โฟโตอิเล็กตรอน (photoelectrons) นักวิทยาศาสตร์หลายท่านที่ทำการศึกษาทดลอง ต่างก็ได้ผลสรุปอย่างเดียวกัน ดังนี้

1.พลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอน ไม่ขึ้นกับความเข้มของแสง แต่ขึ้นกับความถี่ของแสง โดยเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความถี่ของแสง และถ้าแสงมีความถี่ต่ำกว่าความถี่ขีดเริ่มเปลี่ยนจะไม่มีโฟโตอิเล็กตรอนเกิดขึ้น

2.ถ้าแสงมีความถี่สูงกว่าความถี่ขีดเริ่มเปลี่ยน จำนวนอิเล็กตรอนที่หลุดจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มของแสง

จากผลการทดลองข้อที่ 1 ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (โดยมองแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า) ไม่สามารถอธิบายได้ เพราะตามทฤษฎีคลื่นนั้น แสงที่มีความเข้มสูงจะมีพลังงานมากกว่า และเมื่อฉายไปกระทบโลหะ จึงควรให้โฟโตอิเล็กตรอน ซึ่งมีพลังงานสูงกว่า ไม่ว่าแสงจะมีความถี่สูงหรือต่ำ ซึ่งขัดแย้งกับผลการทดลอง

ต่อมาในปี ค.ศ. 1895 Einstein ได้เสนอทฤษฎี โฟตอนของแสง และสามารถอธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริกได้สำเร็จ โดยใช้แนว ความคิดเกี่ยวกับการแผ่รังสี เป็นกลุ่มควอนตัมที่ Planck ใช้อธิบายการแผ่รังสีจากวัตถุดำร้อน Einstein กล่าวว่า แสงประกอบด้วยกลุ่มก้อนพลังงาน เรียกว่า โฟตอน (photon) ซึ่งโฟตอนของแสง ที่มีความถี่ (n) จะมีพลังงานเท่ากับ hn เมื่อ h คือ ค่าคงตัวของพลังค์

แสงมีลักษณะเป็นอนุภาคที่ประกอบด้วย ก้อนพลังงานเล็กๆ เมื่อฉายไปกระทบโลหะ พลังงาน hn ของโฟตอนจะถ่ายให้กับอิเล็กตรอนในโลหะตัวต่อตัว และในการที่อิเล็กตรอนจะหลุดจากอะตอมของผิวโลหะ โฟตอนจะต้องจ่ายพลังงานให้กับอะตอมของโลหะ เท่ากับค่าฟังก์ชั่นงาน (work function) ซึ่งเป็นพลังงานยึดเหนี่ยว อิเล็กตรอนไว้กับอะตอมนั้น ส่วนพลังงานที่เหลือ จะปรากฏเป็นพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอน เขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$h\nu = W+(Ek)_{max} \qquad .....(1)$$

$(Ek)_{max}$ คือ พลังงานจลน์สูงสุดของ โฟโตอิเล็กตรอน

W คือ เป็นค่าฟังก์ชันงานของโลหะมีค่าต่างกัน แล้วแต่ชนิดของโลหะ

h คือ ค่าคงตัวของพลังค์

$\nu$ คือ ความถี่ของแสง

จากสมการที่ 1 จะเห็นว่า แสงที่มีความถี่สูง โฟตอนจะมีพลังงานสูง เมื่อฉายไปยังโลหะ โฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดก็จะมีพลังงานจลน์สูง และถ้าความถี่ของแสงที่ฉายมีค่าน้อยลง พลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอน ก็จะน้อยลง ตามลำดับ ถ้าความถี่ของแสงมีค่าสูงพอที่จะให้โฟตอนมีพลังงานพอดี เพียงทำให้ อิเล็กตรอนหลุดจากผิวโลหะเท่านั้น แต่ไม่มีพลังงานจลน์ ค่าความถี่ดังกล่าวเรียกว่า ความถี่ขีดเริ่มเปลี่ยน ดังนั้น ถ้าฉายแสงที่มีความถี่น้อยกว่า ความถี่ขีดเริ่มเปลี่ยนของโลหะ ก็จะไม่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากผิวโลหะ ไม่ว่าจะใช้ความเข้มของแสงสูงเพียงใดก็ตาม แต่ถ้าฉายแสงที่มีความถี่สูงกว่า ความถี่ขีดเริ่มเปลี่ยนของโลหะนั้น ก็จะสามารถทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากผิวโลหะ จะเกิดโฟโตอิเล็กตรอน จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจะขึ้นกับความเข้มของแสงที่ฉาย ถ้าแสงที่มีความเข้มสูงจะเกิดโฟโตอิเล็กตรอนจำนวนมาก

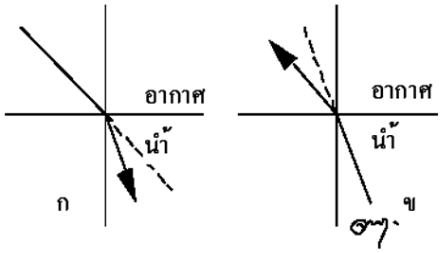
### 1.2.คุณสมบัติของแสง

แสงเดินทางเป็นเส้นตรงจากแหล่งกำเนิดโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง เมื่อเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันก็จะเกิดการหักเห ถ้าแสงเดินทางกระทบวัตถุผิวเรียบเป็นมัน จะเกิดการสะท้อน ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของแสง

#### 1.2.1 การหักเหของแสง

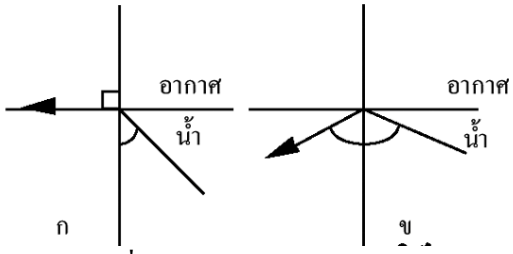
เมื่อแสงเดินทางกระทบตัวกลางโปร่งแสง บางส่วนจะสะท้อน และบางส่วนจะเดินทางผ่านตัวกลางนั้น ถ้าตัวกลางใหม่นั้นมีความหนาแน่นต่างไปจากตัวกลางเดิมจะเกิดปรากฏการณ์ ที่เรียก

ว่า การหักเหของแสง (refraction) ตัวอย่าง เช่น เมื่อแสงเดินทางจากอากาศ ซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าไปยังน้ำ ซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่า ความเร็วของแสงในตัวกลางอากาศ ซึ่งโปร่งกว่า จะมีความเร็วสูงกว่าในน้ำ ซึ่งทึบกว่า หรือหนาแน่นกว่า และทิศทางจะเบนเข้าหาเส้นปกติ ดังรูปที่ 1ก ในทางกลับกัน ถ้าแสงเดินทาง จากตัวกลางที่ทึบกว่าไปยังตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า จะเกิดการหักเหออกจากเส้นปกติ ดังรูปที่ 1ข



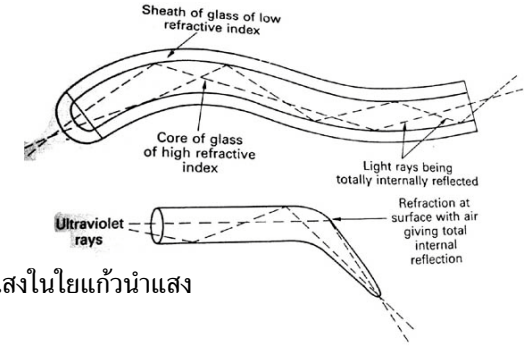

รูปที่ 1 แสดงการหักเหของแสง ก)จากตัวกลางที่เป็นอากาศสู่น้ำ, ข)จากตัวกลางที่เป็นน้ำสู่อากาศ

แสงเดินทางจากตัวกลางที่ทึบกว่า มายังตัวกลางที่โปร่งกว่า จะหักเหออกจากเส้นปกติ ถ้าแสงตกกระทบ ทำมุมโตเกินมุมที่เรียกว่า มุมวิกฤต (critical angle) จะทำให้แสงที่ผ่านไปยังตัวกลางที่โปร่งใสกว่านั้นทำมุม 90 องศา หรือขนานไปกับผิวรอยต่อของตัวกลางทั้งสองนั้น (รูปที่ 2) และเมื่อมุมที่แสงตกกระทบนั้นโตยิ่งขึ้น ก็จะไม่มีแสงเดินผ่านไปยังตัวกลางที่โปร่งกว่าเลย การเกิดปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การสะท้อนกลับหมดภายในตัวกลางนั้น




รูปที่ 2 แสดงการหักเหของแสงที่เกิดจากมุมของแสงตกกระทบเป็นมุมวิกฤติ ทำให้ลำแสงตกกระทบขนานไปกับระนาบหรือทำมุม 90 องศากับเส้นปกติ (ก) และ ข)หากมุมตกกระทบโตมากกว่ามุมวิกฤตจะเกิดการสะท้อนกลับหมด

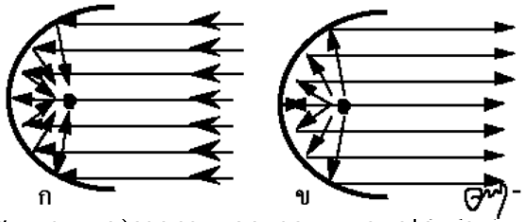
ในปัจจุบันได้มีการนำคุณสมบัติการหักเหของแสงในการส่งผ่านลำแสงในใยแก้วนำแสง (optic fiber) ไปได้ระยะไกลเพื่อการสื่อสาร เครื่องมือทางกายภาพบำบัดที่ใช้คุณสมบัติดังกล่าวได้แก่ ตัวสะท้อนคลื่นมือถือของเครื่องรังสีอัลตราไวโอเลตที่สอดใส่เข้าไปในส่วนของร่างกาย (internal reflection) รูปที่ 3




รูปที่ 3 แสดงการสะท้อนของแสงในใยแก้วนำแสง

**1.2.2 การสะท้อนของแสง**

แสงเมื่อเดินทางกระทบวัตถุผิวเรียบเป็นมัน จะเกิดการสะท้อน โดยมีมุมตกกระทบ (มุมที่แสงตกกระทบทำมุมกับเส้นที่ลากตั้งฉากกับแนวระนาบ) เท่ากับมุมสะท้อน ถ้าแหล่งกำเนิดแสงอยู่ตรงกับจุดศูนย์กลางความโค้งของวัตถุผิวเรียบเป็นมัน จะเกิดการสะท้อนที่ผิววัตถุนั้น และกลับไปยังจุดศูนย์กลางความโค้ง ดังรูปที่ 4 แต่ถ้าแสงขนานจากภายนอก มากระทบกับผิววัตถุโค้งผิวเรียบเป็นมัน จะสะท้อน ไปรวมที่จุดจุดหนึ่ง ที่อยู่กึ่งกลางระหว่างผิววัตถุ กับจุดศูนย์กลางความโค้ง จุดจุดนี้เรียกว่า จุดโฟกัส ในทางกลับกัน ถ้าให้แหล่งกำเนิดแสงอยู่ที่จุดโฟกัสของวัตถุโค้งผิวเรียบเป็นมัน ก็จะเกิดการสะท้อนเป็นลำแสงขนานออกไป ซึ่งหลักการนี้ นำมาใช้ทำตัวสะท้อนคลื่น (reflector) เพื่อใช้ในการรักษา




รูปที่4 แสดงลำแสงขนาน ก)จากภายนอกมากระทบวตถุโคงผวเรียบซึ่งจะสะท้อนรวมที่จุดโฟกัส ข)หากแหล่งกำเนิดแสงอยู่ตรงตำแหน่งจุดดังกล่าวจะสะท้อนให้ลำแสงขนานออกเช่นกัน

## 2. การรักษาด้วยแสง

หลายท่านอาจสงสัยว่า แสงสามารถนำมารักษาโรคได้จริงหรือ? ความเป็นจริงซึ่งเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าแสงแดดสามารถกระตุ้นในร่างกายสร้างวิตามินดี และการใช้แสงเพื่อการบำบัดรักษานั้นก็มีมาตั้งแต่โบราณแล้ว ในประเทศทางยุโรปได้เรียกศาสตร์ด้านการรักษาด้วยแสงว่า actinotherapy ซึ่งคำว่า "actinotherapy" มาจากภาษากรีก "altis" แปลว่าแสง และ "therapia" แปลว่าการซ่อมแซม ดังนั้น "actinotherapy" จึงหมายถึง การรักษาโดยใช้แสง ในทางกายภาพบำบัด จะหมายถึง การรักษาด้วยแสงอินฟราเรดและรังสีอัลตราไวโอเลต

การใช้แสงเพื่อการรักษานั้น มีมาตั้งแต่สมัยยุคหินแล้ว สมัยนั้นมนุษย์ถ้ำได้สังเกตว่าเมื่อนอนตากแดดบนก้อนหินที่ร้อนจากดวงอาทิตย์ สามารถช่วยให้ร่างกายหายจากการปวดเมื่อยและอ่อนล้า ทำให้ร่างกายรู้สึกแข็งแรงขึ้น จากความไม่รู้ของมนุษย์หิน ได้มีการแบ่งการรักษาด้วยความร้อนจากแสงอาทิตย์ออกเป็น การรักษาแบบ luminous heat ซึ่งหมายถึง การใช้แสงอาทิตย์ส่องโดยตรง (ตากแดด) และการรักษาแบบ non-luminous heat คือ การอบ หรือประคบ ด้วยก้อนหินที่ร้อนจากการถูกแดดเผา

การบูชาและนับถือดวงอาทิตย์เป็นพระเจ้ากระทำกันมาตั้งแต่สมัยโบราณ จนกระทั่งศตวรรษที่ 2 แพทย์ชาวกรีก ชื่อ Herodotus ซึ่งมีชื่อเสียงในการรักษาโรคด้วยแสงอาทิตย์ (heliotherapy) ได้กล่าวถึง ความสำคัญของแสงแดดต่อร่างกายมนุษย์ และในศตวรรษที่ 17 เริ่มมีการใช้แสงอาทิตย์ ในการรักษาบาดแผล ตลอดจนมีบทความเกี่ยวกับ ผลของแสงแดดต่อร่างกายมนุษย์ ในศตวรรษที่ 18 Ritter JW ได้สังเกตว่า รังสีที่มีความถี่มากกว่าแสงสีม่วงเป็นรังสีที่มองไม่เห็น แต่สามารถทำให้ AgCl เปลี่ยนเป็นสีดำ จึงตั้งชื่อรังสีนี้ว่า อัลตราไวโอเลต (ultraviolet) ซึ่งมีความหมายว่ารังสีเหนือม่วง ในเวลาต่อมา Davy H เป็นบุคคลแรกที่สามารถ สร้างรังสีอัลตราไวโอเลตจากแหล่งกำเนิด ที่ไม่ใช่ธรรมชาติ โดยผ่านกระแสไฟฟ้าศักย์สูงไปยังขั้วคาร์บอน

ทั้งสอง แล้วแยกขั้วทั้งสองออกจากกันทันที จะทำให้เกิดประกายไฟขึ้น ซึ่งขณะนั้นก็ยังไม่ทราบว่าเกิดรังสีอัลตราไวโอเลตในประกายไฟดังกล่าว

ในศตวรรษที่ 19 Finsen N ได้รับรางวัล โนเบล จากผลงาน การใช้อัลตราไวโอเลตในการรักษาผู้ป่วยที่มีปัญหาวัณโรคผิวหนัง และเครื่องอัลตราไวโอเลตได้ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นเรื่อย ๆ และมีรายงานเกี่ยวกับการรักษาด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตต่อเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต ตีพิมพ์ออกมามากมาย จนกระทั่ง หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 การรักษาด้วยแสงได้รับความสนใจลดลง เนื่องจากมีการวิจัยเรื่องยาและวิชาแพทย์แผนใหม่เริ่มมีบทบาทมากขึ้น

ปลายศตวรรษที่ 19 ได้มีการค้นพบ เลเซอร์ ต่อมารังสีเลเซอร์ได้ถูกพัฒนาขึ้นใช้ ในวงการอุตสาหกรรม และทางการแพทย์ อย่างรวดเร็ว ในสมัยแรก ๆ รังสีเลเซอร์มักถูกใช้แทนมีดในการทำผ่าตัด และต่อมาได้มีการพัฒนา ใช้สำหรับกายภาพบำบัด

## 3.ทบทวนฟิสิกส์ของความร้อน

### 3.1 ธรรมชาติของความร้อน

ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่ไหลหรือถ่ายเทจากที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ไปยังที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้น ความร้อนจึงมีลักษณะเป็นพลวัต คำกล่าวที่ว่า ร่างกายของเรามีความร้อนจึงเป็นคำกล่าวที่ผิด เพราะ ความร้อนจะเกิดขึ้นได้ เมื่อมีการไหลของพลังงานเท่านั้น เราจึงไม่อาจบอกว่า วัตถุกักเก็บความร้อน แต่เราจะใช้คำว่า พลังงานภายใน (internal energy) แทน ซึ่งพลังงานภายในนี่เองที่สามารถเปลี่ยนเป็นความร้อนได้ บางครั้งเราจึงเรียกพลังงานภายในนี้เองว่า พลังงานความร้อน (Thermal Energy) (6) พลังงานภายใน หรือ พลังงานความร้อน เกิดขึ้นจากพลังงานจลน์อันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของอะตอม/โมเลกุล อันเป็นองค์ประกอบของวัตถุ รวมกับพลังงานศักย์ซึ่งเกิดขึ้นจากแรงกระทำระหว่างอะตอม/โมเลกุล (molecular interactions)

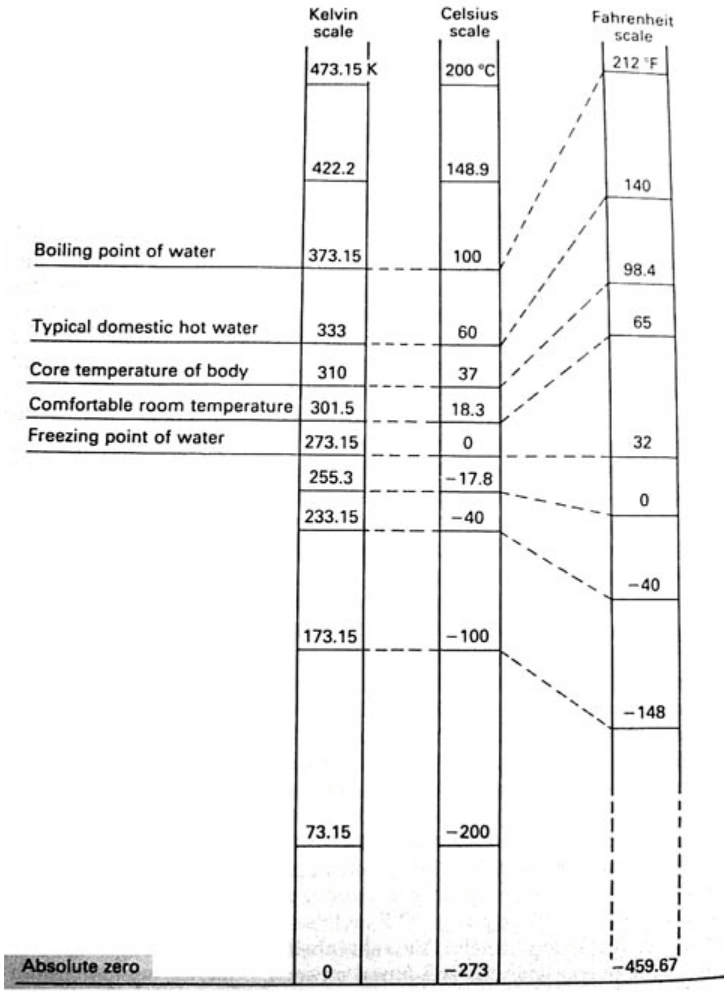
หากพิจารณาพลังงานความร้อนของสสารที่เป็นก๊าซ โดยอิงความรู้ในเรื่องทฤษฎีอะตอม พลังงานความร้อนดังกล่าวนี้เป็นผลมาจาก การเคลื่อนที่ไปมาของอะตอมของก๊าซนั่นเอง กล่าวคือ ถ้าก๊าซเป็นก๊าซอะตอมเดี่ยว เช่น ก๊าซเฉื่อยทั้งหลาย อย่างเช่น ฮีเลียม หรือ นีออน พลังงานจลน์นั้นมาจากการเคลื่อนที่เชิงเส้น (translational motion) ของอะตอม แต่ถ้าก๊าซเป็นก๊าซอะตอมคู่ หรือ อาจมีจำนวนอะตอมมากกว่าสองขึ้นไป พลังงานความร้อนนั้นมาจากพลังงานจลน์อันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่เชิงเส้น (translational motion) ร่วมกับการหมุน (rotational motion) และ การสั่น (vibrational motion) และ ยังรวมถึง พลังงานศักย์อันเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอีกด้วย ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าสสารที่มีการเคลื่อนที่ของอะตอมย่อมเกิดพลังงานความร้อน

เมื่อสสารถูกทำให้ร้อนจึงเป็นการส่งผ่านพลังงานความร้อนให้กับพลังงานภายในของสสารนั้น ไปยังอะตอมของโมเลกุลในสสารนั้น ซึ่งส่งผลต่อแรงยึดเหนี่ยวภายในโมเลกุลของสสาร หากพลังงานดังกล่าวมีมากพอ อาจทำให้สสารเกิดการเปลี่ยนสถานะ เช่น จากของแข็ง เป็นของเหลว จากของเหลวเป็นก๊าซ ซึ่งแรงยึดเหนี่ยวภายในโมเลกุลโมเลกุลของสสารลดลงตามลำดับ

### 3.2 อุณหภูมิและหน่วยวัด

อุณหภูมิหมายถึงระดับปริมาณความร้อนของสสาร ซึ่งเป็นปริมาณสัมพัทธ์เปรียบกันระหว่างอุณหภูมิของสสาร หน่วยของอุณหภูมินิยมวัดเป็น องศา โดยกำหนดไว้ว่า อุณหภูมิ ณ จุดที่น้ำเดือด หรือจุดเดือด คือ 100 องศาเซลเซียส และจุดที่น้ำเกิดการแข็งตัว หรือจุดเยือกแข็ง คือ 0 องศาเซลเซียส ซึ่งสเกล เซลเซียส ดังกล่าว Andreas Celsius (ค.ศ. 1701–1744) นักดาราศาสตร์ชาวสวิสต์ เป็นผู้คิดค้น ในปี ค.ศ. 1742

เครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิเรียกว่า เทอร์โมมิเตอร์ ที่นิยมใช้คือ แท่งแก้วเล็กบรรจุสารปรอทซึ่งไวต่อการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับพลังงานความร้อน ซึ่งเทอร์โมมิเตอร์ชนิดที่เป็นแท่งแก้วบรรจุปรอทนี้ประดิษฐ์ขึ้นเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ.1714 โดย Gabriel Fahrenheit (ค.ศ. 1686-1736) ซึ่งใช้จุดเยือกแข็งของน้ำทะเลเป็นจุด 0 และใช้อุณหภูมิปกติของร่างกายมนุษย์ เป็นจุดคงที่ แบ่งสเกลได้ 96 ช่อง ดังนั้น จุดเยือกแข็ง มีค่า 32 องศาฟาเรนไฮต์ และจุดเดือดมีค่า 212 องศาฟาเรนไฮต์ ตามลำดับ โดยอุณหภูมิร่างกายปกติมีค่า 98.4 องศาฟาเรนไฮต์ อย่างไรก็ตามในปัจจุบัน หน่วยวัดอุณหภูมิที่เป็นองศาฟาเรนไฮต์มักไม่ได้รับความนิยมแล้ว




รูปที่ 4 แสดงตารางเปรียบเทียบอุณหภูมิในหน่วยต่าง ๆ

หากพิจารณาความร้อนเกิดจากพลังงานภายในของสสาร เมื่ออะตอมในโมเลกุลของสสารเกิดการเคลื่อนที่ย่อมเกิดความร้อน ในธรรมชาติอะตอมของสสารจะมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา ของแข็งอะตอมจะมีการยึดเหนี่ยวอย่างแข็งแรงที่สุดดังนั้นถึงมีสถานะที่เสถียรที่สุด ส่วนของเหลวและก๊าซมีภาวะเสถียรน้อยลงตามลำดับเนื่องจากอะตอมมีการเคลื่อนไหวมากกว่า เชื่อว่าหากอะตอมของสสารไม่มีการเคลื่อนที่เลยสสารนั้นจะมีอุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ (absolute zero) ซึ่งจะมีอุณหภูมิเท่ากับ -273 องศาเซลเซียส หรือ 0 องศาเคลวิน (ตามระบบ SI เคลวิน เป็นหน่วยวัดของอุณหภูมิ ซึ่งคิดขึ้นครั้งแรกโดย Lord Kelvin ค.ศ.1824-1907) ตารางเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างองศาเซลเซียส องศาฟาเรนไฮต์ และองศาเคลวิน ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4 ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนหน่วยวัดได้ดังสมการ

$$C = 5/9\ F-32 \qquad \text{หรือ} \qquad F = 9/5\ C+32 \ldots\ldots\ldots(2)$$

**3.3 ปริมาณความร้อนและหน่วยวัด**

ดังได้กล่าวมาแล้วความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่งซึ่งเกิดจากพลังงานภายในของสสาร สสารที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ย่อมมีพลังงานภายในมากกว่าสสารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม ปริมาณความร้อนของสสารทั้งหมดยังขึ้นอยู่กับปริมาณมวลรวมของสสารนั้นด้วย สสารที่มีอุณหภูมิเท่ากันแต่มีมวลมากกว่าย่อมมีปริมาณความร้อนมากกว่า ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า อุณหภูมิเป็นการวัดปริมาณพลังงานจลน์เฉลี่ย (average kinetic energy) ของอะตอมของสสาร ส่วนปริมาณความร้อนจะเป็นการกล่าวถึงการวัดพลังงานสุทธิ (total energy) ของสสารทั้งก้อน

เนื่องจากความร้อนและพลังงานความร้อนเป็นรูปแบบหนึ่งของพลังงาน จึงมีหน่วยเดียวกับ พลังงาน ซึ่งตามระบบ SI มีหน่วยเป็น จูล นั่นเอง ในทางปฏิบัติ พลังงานความร้อนที่มีหน่วยเป็น จูล นั้นกลับไม่ค่อยมีผู้นิยมใช้ อาจเนื่องมาจาก หน่วย จูล ถูกนิยามจากกลศาสตร์ ซึ่งพลังงาน 1 จูล มีค่าเท่ากับ 1 นิวตันเมตร นั่นคือ การออกแรงกระทำกับวัตถุด้วยแรงขนาด 1 นิวตัน เป็นระยะทาง 1 เมตร หน่วยที่ได้รับความนิยมใช้กับพลังงาน โดยเฉพาะการวัดปริมาณพลังงานความร้อนก็คือ คาลอรี (calorie) ตัวย่อว่า cal ซึ่งนิยามว่าเป็นปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 กรัม (ที่อุณหภูมิ 14.5-15.5 องศาเซลเซียส) มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส โดยมีค่าเท่ากับ 4.18 กิโลจูล ค่าดังกล่าวนี้อาจเรียกว่า เป็นค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (specific heat หรือ specific heat capacity) แนวคิดเรื่องค่าความร้อนจำเพาะของสสารถูกกล่าวถึงครั้งแรกโดยนักเคมีชาวสกอตส์ชื่อ Joseph Black ในปี ค.ศ.1760 ดังตารางที่ 1 น้ำจะมีค่าความร้อนจำเพาะสูงเมื่อเทียบกับสสารชนิดอื่นๆ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการที่จะทำให้น้ำ 1 กรัม ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศา เซลเซียส จะต้องให้ปริมาณความร้อนมากกว่าสสารชนิดอื่นๆ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของสสารยังขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ เช่น ความดัน ปริมาตร และความเป็นเนื้อเดียวกันของสารนั้นๆ การเปรียบเทียบปริมาณความร้อนเฉพาะจึงจำเป็นต้องควบคุมปัจจัยดังกล่าว ตัวอย่างเช่น ให้ปริมาณความร้อนกับสสารที่เป็นก๊าซเกิดการเปลี่ยนแปลงความดัน หรือในกล้ามเนื้อมีน้ำเป็นองค์ประกอบมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ค่าความร้อนจำเพาะจึงใกล้เคียงกับน้ำ นอกจากนั้น ยังมีระบบไหลเวียนเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ปริมาณความร้อนที่ให้อาจถูกถ่ายเทจากระบบไหลเวียนทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไม่มาก พบว่า อาจต้องใช้ปริมาณความร้อนอย่างต่อเนื่องถึง 178 กิโลคาลอรี เพื่อทำให้อุณหภูมิของหญิงน้ำหนัก 50 กิโลกรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้นเพียง 1 องศาเซลเซียส ธรรมชาติร่างกายมนุษย์สามารถเผาผลาญสารอาหารให้เกิดพลังงานความร้อนให้กับร่างกาย ปริมาณ/อัตราความร้อนที่ร่างกายสร้างขึ้นขณะพัก (เพื่อใช้สำหรับความอยู่รอด) เรียกว่า ″resting basal metabolic rate″ ในทางปฏิบัติหน่วยคาลอรี มักถูกใช้กับศาสตร์ทางโภชนาการว่าให้คาลอรีสูงหรือต่ำ ซึ่งความหมายในทางโภชนาการนั้น หน่วยคาลอรี (1 Cal) สังเกตว่า ตัว C เป็นตัวพิมพ์ใหญ่ มีค่าเท่ากับ 1000 cal 1 Cal = 1000 cal = 1 kcal

ตารางที่ 1 แสดงความร้อนจำเพาะของสสาร (7)

| ชนิดของสสาร | ความร้อนจำเพาะ ($kj\ kg^{-1}\ ^oC^{-1}$) |
|---|---|
| น้ำ | 4.185 |
| อากาศ | 1.01 |
| อลูมิเนียม | 0.904 |
| ทองแดง | 0.402 |
| ปรอท | 0.14 |
| ก๊าซ | 0.77 |
| ขี้ผึ้งพาราฟิน | ประมาณ 2.7 |
| ยาง | 2.01 |
| ร่างกายมนุษย์ (ทั้งตัว) | 3.56 |
| ผิวหนัง | 3.77 |
| ไขมัน | 2.3 |
| กล้ามเนื้อ | 3.75 |
| กระดูก | 1.59 |
| เลือด | 3.64 |

ดังนั้นความร้อนจำเพาะจึงหมายถึงปริมาณความร้อนที่ทำให้สสารมีอุณหภูมิสูงขึ้น สสารต่างชนิดกัน มีคุณสมบัติต่างกันย่อมต้องใช้ปริมาณความร้อนต่างกัน ตัวอย่างเช่น ผิวหนังมีค่าความร้อนจำเพาะสูงกว่ากระดูก และน้ำมีค่าความร้อนจำเพาะสูงกว่าอากาศ หากต้องการเพิ่มอุณหภูมิให้กับเนื้อเยื่อที่ค่าใด ๆเนื้อเยื่อที่มีค่าความร้อนจำเพาะสูงย่อมต้องใช้ปริมาณความร้อนมากกว่าเนื้อเยื่อที่มีค่าความร้อนจำเพาะต่ำ เป็นต้น

### 3.4 ความร้อนทำให้สสารขยายตัว

เมื่อให้ปริมาณความร้อนกับสสารปริมาณความร้อนจะส่งผลต้องโครงสร้างของสสารนั้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสสาร ทำให้สสารเกิดการขยายตัวปริมาตรเพิ่มขึ้นในทุกทิศทาง โดยเฉพาะสสารที่เป็นก๊าซและของเหลวจะเห็นได้ชัดเจน เมื่อให้ความร้อนกับสสารต่อไปเรื่อยจะส่งผลให้สสารเหล่านั้นเปลี่ยนสถานะ จากของแข็ง เป็นของเหลวและจากของเหลวเป็นก๊าซตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า พลังงานความร้อนที่ให้กับสสาร พลังงานดังกล่าวจะไปเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับอะตอมภายในโมเลกุลของสาร ทำให้อะตอมเกิดการเคลื่อนที่ได้มากขึ้นทำให้พลังงานยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลลดลง

**พลังงานความร้อนสามารถเปลี่ยนรูปได้**

### 3.5 ความร้อนแฝง

ดังได้กล่าวมาแล้ว เมื่อให้พลังงานความร้อนกับสสารอย่างเพียงพอจะทำให้สสารเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว และจากของเหลวเป็นก๊าซ ปริมาณพลังงานที่ให้กับสสารจนทำให้สสารเปลี่ยนสถานะขณะที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยน ปริมาณพลังงานความร้อนดังกล่าวเรียกว่า ความร้อนแฝง ตัวอย่างเช่น เมื่อให้พลังงานความร้อนกับน้ำแข็ง 1 กรัม ซึ่งมีอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส จนทำให้น้ำแข็งนั้นเปลี่ยนสถานะกลายเป็นน้ำทั้งหมดที่ 0 องศาเซลเซียส พลังงานจำนวนดังกล่าวเรียกว่า ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว เป็นต้น ปรากฏการณ์ดังกล่าว ถูกค้นพบโดย นักเคมี

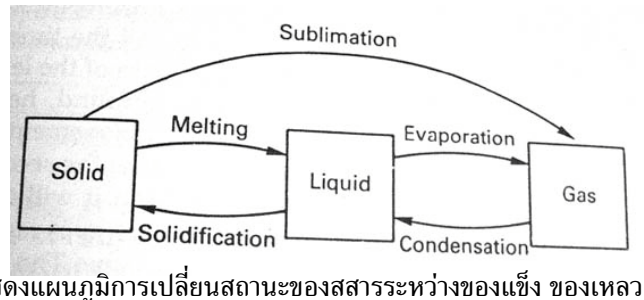
ชาวสก๊อตชื่อ Joseph Black (1728-1799) เชื่อว่า พลังงานดังกล่าวจะไปมีส่วนไปสลายพันธะระหว่างโมเลกุลของน้ำแข็ง จนเปลี่ยนสถานะกลายเป็นของเหลว ค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลวและการกลายเป็นไอของสสารได้แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลวและการกลายเป็นไอของสสาร (7)

| ชนิดของสสาร | ความร้อนแฝง | |
|---|---|---|
| | การหลอมเหลว (kj $kg^{-1}$) | การกลายไปไอ (kj $kg^{-1}$) |
| คาร์บอนไดออกไซด์ | 189 | 932 |
| ปรอท | 11 | 296 |
| ทังสเตน | 192 | 4350 |
| ทองแดง | 205 | 4790 |
| น้ำ | 333 | 2260 |

### 3.6 การระเหิดกลายเป็นไอ

เป็นที่ทราบแล้วว่าพลังงานจลน์ที่เป็นพลังยึดเหนี่ยวของแต่ละโมเลกุลของสสารไม่เท่ากัน ดังนั้นหากกล่าวถึงพลังงานจลน์ของโมเลกุลจึงเป็นค่าเฉลี่ยของสสารแต่ละชนิด หากพลังงานยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสสารที่มีไม่มาก (โดยเฉพาะโมเลกุลบริเวณผิวรอบนอกของสสาร) ถึงแม้สสารนั้นจะอยู่ในสภาวะของแข็งเมื่อได้รับพลังงานที่พอเหมาะอาจทำลายพันธะของแรงยึดเหนี่ยวจนเกิดการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งไปเป็นก๊าซ (โดยไม่เปลี่ยนเป็นของเหลวก่อน) ซึ่งเรียกกระบวนการดังกล่าวว่า การระเหิด เช่น การกลายระเหิดของลูกเหม็น การระเหิดของน้ำแข็งแห้ง เป็นต้น ดังรูปที่ 5




รูปที่ 5 แสดงแผนภูมิการเปลี่ยนสถานะของสสารระหว่างของแข็ง ของเหลว และก๊าซ

จากรูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนสถานะของของแข็งเมื่อได้รับพลังงานความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนสถานะจากของแข็ง เป็นของเหลว และจากของเหลวเป็นก๊าซ และในทางกลับกัน เมื่อก๊าซเกิดการปลดปล่อยพลังงานจะเกิดการเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว และจากของเหลวเป็นของแข็งตามลำดับ

### 3.7 การระเหย

การระเหยคือการที่สสารเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ซึ่งจำเป็นต้องใช้พลังงาน ซึ่งพลังงานดังกล่าวสสารจะดูดซับจากบริเวณรอบ ๆในรูปของความร้อน จึงทำให้บริเวณรอบ ๆ ของสสารที่เกิดการระเหยกลายเป็นไอมีอุณหภูมิลดลง จากหลักการดังกล่าวทางกายภาพบำบัดได้

นำมาใช้ในการรักษา เช่น การฉีดสเปรย์ ในการลดปวดและระงับการบาดเจ็บเพิ่มเติมในนักกีฬา หรือกลไกลการระบายความร้อนของร่างกายที่มีอุณหภูมิสูงโดยการหลั่งเหงื่อ เป็นต้น

**3.8 การเปลี่ยนรูปของพลังงาน**

จากกฎการคงที่ของพลังงาน ที่กล่าวว่า ที่ระบบปิดพลังงานจะไม่สูญหายไปไหน จะเกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงาน เช่น พลังงานกล-ความร้อน เคมี-ความร้อน ไฟฟ้า-ความร้อน เป็นต้น ในทางกายภาพบำบัดได้ส่งผ่านความร้อนให้กับเนื้อเยื่อ โดยใช้พลังงานรูปแบบอย่างหลากหลายได้แก่ การใช้คลื่นเสียงความถี่สูง การใช้เครื่องชอตเวฟไดอะเธอร์มีย์ ไมโครเวฟไดอะเธอร์มีย์ หรือการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งการส่งผ่านลักษณะดังกล่าวจะไม่ใช่เป็นการส่งผ่านพลังงานเข้าสู่เนื้อเยื่อในลักษณะความร้อนโดยตรง แต่จะส่งผ่านในรูปของพลังงานอื่น ๆ เช่น คลื่นเสียงความถี่สูงจะส่งผ่านในรูปของคลื่นเสียงเพื่อให้เกิดการสั่นเสทือนโมเลกุลของเนื้อเยื่อจนเกิดความร้อน เครื่องชอตเวฟไดอะเธอร์มีย์ จะเป็นการส่งผ่านสนามไฟฟ้าเข้าสู่เนื้อเยื่อเพื่อเหนียวนำให้โมเลกุลในเนื้อเยื่อเกิดการเคลื่อนที่เพื่อจัดเรียงตัวกันใหม่ ผลการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเนื้อเยื่อนั้นจะแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนในระดับลึก เป็นต้น ซึ่งในรายละเอียดจะไม่ขอกล่าวในที่นี้

**3.9 การส่งผ่านความร้อน**

พลังงานความร้อนมักจะถ่ายเทจากที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ไปยังที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอจนกระทั่งเข้าสู่ระดับสมดุล (ระดับอุณหภูมิทั้งสองแหล่งเท่ากัน) ลักษณะการส่งผ่านความร้อนสามารถแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ การนำ การพา และการแผ่รังสีความร้อน

**3.9.1 การนำความร้อน**

ดังได้กล่าวมาแล้วพลังงานความร้อนมักถ่ายเทจากที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่ามายังที่ที่มีอุณภูมิต่ำกว่าเสมอ ซึ่งการนำความร้อนเป็นการส่งผ่านความร้อนโดยการเชื่อมต่อโมเลกุลของสสารทั้งสองโดยตรง ดังนั้นแหล่งความร้อนทั้งสองจึงสัมผัสกันโดยตรง โดยปริมาณความร้อนจะถ่ายเทจากแหล่งที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โมเลกุลของสสารที่มีอุณหภูมิสูงกว่ามีการเคลื่อนที่เร็วกว่าจะส่งผ่านพลังงานให้กับโมเลกุลของสสารที่มีอุณภูมิต่ำกว่าทำให้มีโมเลกุลมีพลังงานสูงขึ้นและอุณภูมิสูงขึ้นตามลำดับ กระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสสารทั้งสองมีพลังงานภายในเท่ากันและมีอุณหภูมิที่เท่ากัน สสารที่เป็นของแข็งสามารถนำความร้อนได้ดีกว่าของเหลว และของเหลวสามารถนำความร้อนได้ดีกว่าก๊าซตามลำดับ หลักการนำความร้อนที่ถูกนำมาใช้ในการรักษาทางกายภาพบำบัดได้แก่ การประคบด้วยแผ่นร้อน การแช่ขี้ผึ้งพาราฟินเป็นต้น การวางแผ่นร้อนให้กับผู้ป่วย พลังงานความร้อนจากแผ่นร้อนซึ่งมีอุณภูมิสูงกว่า จะถูกส่งผ่านไปยังผิวหนังผู้ป่วยที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ในไม่ช้าอุณหภูมิที่ผิวหนังของผู้ป่วยจะสูงขึ้น ในทำนองเดียวกันหากผู้ป่วยนั้นมีอุณหภูมิร่างกายสูง (มีไข้สูง) การใช้ผ้าชุบน้ำเช็ดตัวผู้ป่วยก็จะเป็นการส่งผ่านความร้อนหรือถ่ายเทปริมาณความร้อนในตัวผู้ป่วยมายังผ้าที่ชุบน้ำอุณหภูมิในตัวผู้ป่วยจึงลดลง ดังนั้น การใช้ผ้าชุบน้ำเช็ดตัวผู้ป่วยที่มีไข้สูงบ่อย ๆจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ลดไข้ให้กับผู้ป่วยที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน นอกจากนั้น ยังสามารถใช้น้ำแข็งหรือน้ำเย็นประคบส่วนของร่างกายที่ได้รับบาดเจ็บชนิดเฉียบพลัน เช่น ข้อแพลง เนื้อเยื่อฟกช้ำ เพื่อลดอุณหภูมิและเนื้อเยื่อที่บาดเจ็บ เป็นการลดภาวะบาดเจ็บเพิ่มเติม และลดอาการปวดในเนื้อเยื่อ ซึ่งได้ใช้หลักการนำความร้อนเช่นกัน

อัตราการส่งผ่านความร้อนด้วยการพาระหว่างสสารสองชนิดขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆได้แก่ 1) ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของสสารทั้งสอง 2)ความสามารถในการนำความร้อนของสสารนั้น

3)ความกว้างของพื้นที่ผิวที่สัมผัสกัน และ 4)ความหนาของผิวหนัง ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{อัตราการส่งผ่านความร้อน} = \frac{\text{พื้นที่ที่สัมผัส} \times \text{ความสามารถนำความร้อน} \times \text{ความต่างของอุณหภูมิ}}{\text{ความหนาของเนื้อเยื่อ}}$$

1) ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของสสารทั้งสอง

สสารทั้งสองที่สัมผัสกันมีอุณหภูมิต่างกันมากจะเกิดการถ่ายเทความร้อนที่รวดเร็ว ดังนั้นการวางแผ่นร้อนที่ตัวผู้ป่วย ระยะแรกของการวางผู้ป่วยจะรู้สึกร้อนอย่างรวดเร็ว และค่อย ๆลดลงตามลำดับจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่ อย่างไรก็ตามควรระวังในการวางแผ่นร้อนในผู้ป่วยที่มีอุณภูมิต่างกันมาก ๆ เช่น ผิวหนังที่เย็นมาก ๆ อาจทำให้ความร้อนถ่ายเทรวดเร็วมากจนอาจเกิดการไหม้พองได้

2) ความสามารถในการนำความร้อนของสสาร

สสารที่เป็นโลหะซึ่งเป็นตัวนำความร้อนย่อมสามารถส่งผ่านและนำความร้อนได้เร็วกว่าสสารที่เป็นผ้าหรือไม้ซึ่งเป็นฉนวนความร้อน (ตารางที่ 6-2) เงินมีคุณสมบัติในการนำความร้อนสูงที่สุด น้ำปานกลาง และอากาศมีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำที่สุด ดังนั้นการประยุกต์ใช้คุณสมบัติดังกล่าว ได้แก่ ในกรณีที่อุณภูมิของแผ่นร้อนและผิวหนังผู้ป่วยแตกต่างกันมากควรลดความสามารถในการถ่ายเทความร้อน โดยการใช้ผ้าเช็ดตัวซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนหุ้มห่อ เพื่อให้ลดความสามารถในการถ่ายเทความร้อน ให้ร่างกายรู้สึกค่อย ๆร้อนนั่นเอง นอกจากนั้นก่อนที่จะวางแผ่นร้อนหรือใช้ความร้อนใด ๆให้กับผู้ป่วยควรแนะนำให้ผู้ป่วยถอดเครื่องประดับหรืออุปกรณ์ที่เป็นโลหะก่อน เนื่องจากโลหะดังกล่าวจะร้อนเร็วจนอาจเกิดการไหม้พองได้

3)ความกว้างของพื้นที่ผิวที่สัมผัสกัน

สสารที่สัมผัสกันเป็นบริเวณกว้างย่อมสามารถถ่ายเทความร้อนได้มากการสัมผัสที่เป็นบริเวณแคบ ดังนั้นจะได้รับความร้อนมากใช้เวลาน้อย ดังนั้นหากต้องการใช้ความร้อนกับพื้นที่ผิวของร่างกายเป็นบริเวณกว้างควรวางแผ่นร้อนที่แผ่นใหญ่กว่า หรือหากต้องการเพิ่มอุณหภูมิของร่างกายอาจใช้วิธีแช่ตัวในน้ำอุ่น หรือจุ่มส่วนของร่างกายลงในน้ำอุ่นหรือขี้ผึ้งฟาราฟินมากกว่าที่จะใช้แผ่นร้อน เป็นต้น

4)ความหนาของชั้นผิวหนัง

อัตราการส่งผ่านความร้อนจะแปรผกผันกับความหนาของสสารที่ส่งผ่าน ดังนั้น การประยุกต์ใช้แผ่นร้อนจึงเหมาะกับเนื้อเยื่อในชั้นตื้น ๆ ไม่เหมาะสำหรับเนื้อเยื่อที่อยู่ในชั้นลึก

### 3.9.2 การพาความร้อน

การพาความร้อนเป็นการส่งผ่านความร้อนที่ต้องอาศัยตัวกลางโดยแหล่งความร้อนนั้นไม่จำเป็นต้องสัมผัสกัน ของไหลซึ่งได้แก่ของเหลวและก๊าซสามารถพาความร้อนได้ดี หลักการพาความร้อนที่นำมาประยุกต์ใช้ทางกายภาพบำบัดได้แก่ การอบไอน้ำ การอบซาวนา whirlpools และ fluidotherapy ความแตกต่างระหว่างการประยุกต์ใช้ความร้อนให้กับผู้ป่วยด้วยเทคนิคการนำและการพาความร้อนก็คือ การนำความร้อนจะประยุกต์แหล่งกำเนิดความร้อนโดยการสัมผัสและวางอยู่นิ่งเพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อน ส่วนการใช้เทคนิคการพาความร้อนคือการประยุกต์แหล่งความร้อนซึ่งมีลักษณะของไหลถ่ายเทปริมาณความร้อน/ความเย็นมายังผู้ป่วยโดยไม่จำเป็นต้องสัมผัสซึ่งความร้อนนั้นจะมีการเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดมายังผู้ป่วยโดยไม่ต้องมีการสัมผัส ซึ่งการส่งผ่านความร้อนด้วยการพาความร้อนนั้นจะทำให้เนื้อเยื่อ/สสารที่ได้รับความร้อนนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นรวด

เร็วกว่าการนำความร้อน ทั้งนี้ขึ้นกับความเร็วของของไหลที่เป็นแหล่งกระจายความร้อนนั้น อากาศมีความสามารถในการพาความร้อนที่ดี ดังนั้นขณะประยุกต์ใช้ความร้อนใด ๆให้กับผู้ป่วย ห้องที่ทำการรักษาควรมีอากาศที่ถ่ายเทดีจะช่วยลดความอึดอัดให้กับผู้ป่วย นอกจากนั้นในร่างกายของมนุษย์ระบบไหลเวียนโลหิตมีความสามารถในการพาความร้อนที่ดี การให้ความร้อนเฉพาะที่ที่ส่วนของร่างกายอาจทำให้อุณหภูมิสูงไม่มาก (ทั้ง ๆที่ให้ปริมาณความร้อนไปมาก) ทั้งนี้เพราะระบบไหลเวียนของร่างกายพยายามรักษาสมดุลและป้องกันการไหม้พองของเนื้อเยื่อ โดยการพาความร้อนออกจากบริเวณดังกล่าวนั่นเอง

**3.9.3 การแผ่รังสีความร้อน**

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการส่งผ่านความร้อนที่ไม่จำเป็นต้องสัมผัสหรืออาศัยตัวกลางใด ๆ แหล่งกำเนิดความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงสามารถส่งผ่านไปยังที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในระยะไกลโดยไม่ต้องผ่านตัวกลาง เช่น การแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ การแผ่รังสีความร้อนจากเหล็กที่เผาจนร้อน หลักการแผ่รังสีความร้อนที่ถูกนำมาใช้ทางกายภาพบำบัดได้แก่ การใช้รังสีอินฟราเร็ด ความสามารถในการส่งผ่านความร้อนโดยการแผ่รังสีขึ้นกับ 1)ความเข้ม/ความแรงของแหล่งกำเนิดความร้อน ร้อนมากหรือแรงมากกจะแผ่ปริมาณความร้อนได้มาก 2)ระยะห่างของแหล่งกำเนิดความร้อน หากห่างจากแหล่งความร้อนมากปริมาณความร้อนจะลดลง 3)บริเวณที่ได้รับความร้อน หากความร้อนกระจายเป็นบริเวณกว้างปริมาณความร้อนจะลดลง เครื่องอิเลคโทรนิกส์ทางกายภาพที่ใช้หลักการแผ่รังสีความร้อนได้แก่ เครื่องอินฟราเรด

## เอกสารอ้างอิง .

1. สมชาย รัตนทองคำ ไฟฟ้าแสงเสียงและแม่เหล็กทางกายภาพบำบัด. ขอนแก่น: ภาควิชากายภาพบำบัด คณะเทคนิคการแพทย์, 2536.

1.พรชัย พัชรินทร์ตนะกุล. ฟิสิกส์ควอนตัม. ใน: พรชัย พัชรินทร์ตนะกุล. บรรณาธิการ: ฟิสิกส์ 2, รุ่นที่ 2. กรุงเทพ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532: 377-98.

2.พิศิษฐ์ รัตนวรารักษ์. แสง. ใน: พรชัย พัชรินทร์ตนะกุล. บรรณาธิการ: ฟิสิกส์ 2, รุ่นที่ 2. กรุงเทพ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532: 270-81.

3.Licht S. History of ultraviolet therapy, chapter 5. In: Stillwell GK ed. Therapeutic electricity and ultraviolet radiation, 3rd edition. Baltimore: Williams and Wilkins, 1983: 174-90.

4.Scott PM. Clayton's electrotherapy and actinotherapy, 5th edition. London: Bailliere, Tindall and Cassell, 1965: 332-5.

5.Ward AR. Electromagnetic waves for therapy: Electricity, fields, and waves in therapy. Marrickville 2204: Sciences Press, 1976: 182-3.

6. http://einstein.sc.mahidol.ac.th/nanotech/thermoweb/gen/index.htm

7. Low J, Reed A. Physical principles explained. London: Butterworth Heinemann, 1994.

8. Shankar K, Randal KD. Therapeutic physical modalities. Philadelphia: Hanley and Belfus, 2002.

9. Kitchen S, Bazin S. Electrotherapy evidence-based practice. London: Churchill Livingstone, 2002.