# บทที่ 2
# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องนี้เป็นสิ่งสำคัญที่ใช้การศึกษาและจัดทำโครงงานการศึกษาการผลิตไฟด้วยเตาชีวมวลในภาคครัวเรือนชิ้นนี้จึงมีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

## 2.1 พลังงานชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) คือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ สารอินทรีย์เหล่านี้ได้มาจากพืชและสัตว์ต่างๆ เช่น เศษไม้ ขยะ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร การใช้งานชีวมวลเพื่อทำให้ได้พลังงานอาจทำโดย นำมาเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าทดแทนพลังงานฟอสซิล เช่นน้ำมันซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดและอาจหมดลงได้ชีวมวลเหล่านี้มีแหล่งที่มาต่างๆกันอาทิ พืชผลทางการเกษตร (Agricultural Crop) ไม้และเศษไม้ (Wood and Wood Residues) หรือของเหลือจากอุตสาหกรรมและชุมชน ตัวอย่างเช่น

-แกลบได้จากการสีข้าวเปลือก
-ชานอ้อยได้จากการผลิตน้ำตาลทราย
-เศษไม้ได้จากการแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่และบางส่วนได้จากสวนป่าที่ปลูกไว้
-กากปาล์มได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออกจากผลปาล์มสด
-กากมันสำปะหลังได้จากผลิตแป้งมันสำปะหลัง
-ซังข้าวโพดได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดออก
-กาบและกะลามะพร้าวมาปลอกเปลือกออกเพื่อนำเนื้อมะพร้าวไปผลิตกะทิและน้ำมันมะพร้าว
-ส่าเหล้าได้จากการผลิตแอลกอฮอล์เป็นต้น

## 2.2 เตาชีวมวล[1]

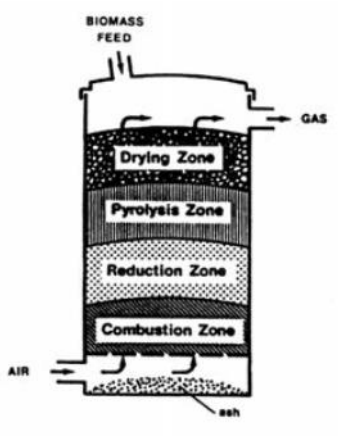
เตาชีวมวลเป็นเตาที่ทำให้เกิดกระบวนการ “เผาไหม้ไม่สมบูรณ์” เป็นการจำกัดออกซิเจนในการเผาไหม้น้อยกว่าการเผาไหม้สมบูรณ์ 30-40% ทำให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซมีเทน ($CH_4$) ที่ติดไฟ เปลวไฟที่ได้จะแรงและมีค่าความร้อนสูงเช่นเดียวกับก๊าซหุงต้ม ระบบเตายังเก็บกักความร้อนได้ดี อุณหภูมิสูงถึง 400 องศาเซลเซียส สามารถติดตั้งพัดลมเติมอากาศ สามารถปรับไฟเบาหรือแรงได้เหมือนเตาแก๊สหุงต้มทั่วไป มากไปกว่านี้เตาแก๊สชีวมวลยังปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยเมื่อเปรียบกับเตาชนิดอื่นๆอีกด้วย

### 2.2.1 หลักการของเทคโนโลยีเตาแก๊สชีวมวล[2]

เตาแก๊สชีวมวลแบบใช้ฟืนและแบบใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงจะใช้หลักการของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น หรือจำกัดอากาศให้เหมาะสมกับเชื้อเพลิง โดยกระบวนการนี้จะเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ไม้ ถ่านไม้ ถ่านหิน แกลบ และขี้เลื่อย และวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรที่สามารถติดไฟได้ ให้กลายเป็นแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้ โดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงในที่ๆมีออกซิเจนอยู่อย่างจำกัด ซึ่งแก๊สที่ได้มีส่วนประกอบหลักคือ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน ($H_2$) แก๊สมีเทน ($CH_4$) และพวกสารระเหยต่างๆ ซึ่งแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้นี้เรียกว่า โปรดิวเซอร์แก๊ส (Producer Gas) ซึ่งประสิทธิภาพของการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส ขึ้นกับกระบวนการผลิตและคุณภาพของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตเป็นหลัก ทั้งนี้เตาแก๊สชีวมวลโดยทางวิชาการแล้วแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ แบบ Up-draft Gasifier แบบ Cross-draft Gasifier และแบบ Down-draft Gasifier โดยมีรายละเอียดของเตาแต่ละประเภทดังนี้

### 2.2.2 Updraft Gasifier

อากาศจะถูกป้อนเข้าทางด้านล่างไหลขึ้นด้านบนในขณะที่เชื้อเพลิงจะเคลื่อนที่ลงด้านล่าง ลักษณะสวนทางกัน หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Counter Current Gasifier ชั้นของปฏิกิริยาจะแบ่งเป็นลำดับ จากระดับอุณหภูมิสูงใน Combustion Zone ไปสู่ระดับอุณหภูมิต่ำใน Drying Zone



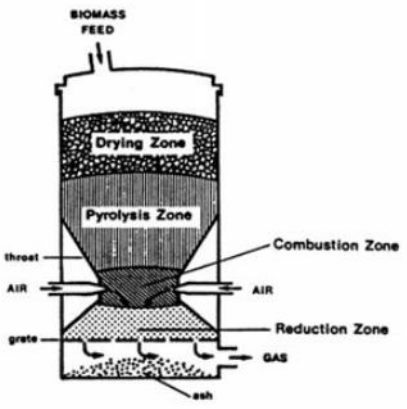

**ภาพที่ 2.1** แสดงการทำงานเตาผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สแบบไหลขึ้น(Up-draft Gasifier)

เนื่องจากแก๊สร้อนที่เกิดจาก Combustion Zone ไหลผ่านชั้นเชื้อเพลิง ความร้อนสัมผัสจะถูกถ่ายเทให้กับเชื้อเพลิงก่อนไหลลงสู่ Reduction Zone และ Pyrolysis Zone ต่อไป ฉะนั้น Updraft Gasifier จึงมีประสิทธิภาพทางความร้อนสูง แต่เมื่อแก๊สออกจากเตาผลิตแก๊ส อุณหภูมิโปรดิวเซอร์แก๊ส จะลดลง Tar และ Oil จะกลั่นตัวเป็นของเหลว ดังนั้นโปรดิวเซอร์แก๊สจึงมีสิ่งปนเปื้อนสูง การผลิตแก๊สด้วยวิธีนี้อาจจะป้อนไอน้ำช่วยในการทำปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มปริมาณ $H_2$ , COและช่วยควบคุมอุณหภูมิ Combustion Zone กรณีเชื้อเพลิงมีความชื้นสูงไม่จำเป็นต้องป้อนไอน้ำ พารามิเตอร์ที่สำคัญประกอบด้วย วิธีการป้อนอากาศ ตำแหน่งแก๊สไหลออก ชนิดและขนาดของตะแกรงการบุฉนวนความหนาของชั้นเชื้อเพลิงและค่า Specific Gasification Rate (SGR) SGR (Specific Gasification Rate) หมายถึง อัตราส่วนของปริมาณเชื้อเพลิงที่ทำปฏิกิริยา ผลิตแก๊สในเวลา 1 ชั่วโมง (kg/hr) ต่อพื้นที่หน้าตัดของตะแกรง ($m^2$) ขึ้นอยู่กับ ชนิดเชื้อเพลิง การออกแบบและการทำงานของ Gasifier ค่า SGR ของการผลิตแก๊สด้วยวิธีนี้อยู่ระหว่าง 100-300 Kg/hr-$m^2$

### 2.2.3 Downdraft Gasifier

อากาศไหลลงทิศทางเดียวกับการไหลเลื่อนของเชื้อเพลิงจึงอาจเรียกว่า Co-current Gasifier เตาชนิดนี้มีจุดประสงค์ให้ผลิตภัณฑ์จาก Pyrolysis Zone ไหลผ่าน Combustion Zone ซึ่งมีอุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการแตกตัวเป็นแก๊สก่อนที่จะไหลออกจากเตาผลิตแก๊สโปรดิวเซอร์แก๊สจึงมี Tar ต่ำ

แต่โปรดิวเซอร์แก๊สจะมีอุณหภูมิสูงถึง 300-500 องศาเซลเซียส จุดสำคัญของ Downdraft Gasifier คือลักษณะ Combustion Zone รูปแบบตะแกรงและวิธีการ ป้อนอากาศ



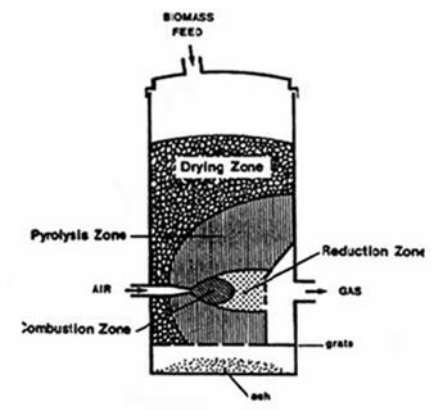

**ภาพที่ 2.2** แสดงการทำงานเตาผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สแบบไหลลง(Down-draft Gasifier)

ลักษณะรูปร่างของ Combustion Zone จะออกแบบให้เล็กลงโดยการลดพื้นที่หน้าตัดและปรับลักษณะการป้อนอากาศเพื่อทำให้อุณหภูมิชั้นเผาไหม้มีค่าสูงเพียงพอในการสลาย Tar แต่ถ้าเชื้อเพลิงที่มีเถ้าสูงกว่า 6% และมีความชื้นสูงกว่า 20% จะไม่เหมาะกับ Downdraft Gasifier เนื่องจากเถ้าอาจหลอมละลายติดกับคอคอดขัดขวางการไหลของเชื้อเพลิงและแก๊สอัตราการผลิตแก๊สที่เหมาะสมมีค่า SGR อยู่ระหว่าง 2,900-3,900 kg/hr-$m^2$

### 2.2.4 Crossdraft Gasifier

เป็นระบบที่อากาศไหลขวางกับทิศทางของการไหลเลื่อนของเชื้อเพลิงดังชั้นปฏิกิริยาโดยเฉพาะ Combustion Zone และ Reduction Zone จะอยู่ใกล้ชิดกันมาก ดังนั้นจะผลิตแก๊สได้อย่างรวดเร็วและแปรผันง่าย ปกติบริเวณการเผาไหม้จะอยู่กึ่งกลางของเตาผลิตแก๊ส แต่ขอบเขตของการเผาไหม้อาจขยายกว้างขึ้นเมื่อความเร็วอากาศสูงขึ้น จุดสำคัญของ Crossdraft คือการออกแบบรูปร่างของ Tuyeres มีความสำคัญต่อความเร็วของอากาศเมื่อเข้าทำปฏิกิริยาและขอบเขตของ Combustion Zone ซึ่งปกติความเร็วอากาศจะมีค่าสูงและเกิดการเผาไหม้สูงโปรดิวเซอร์แก๊สที่ออกจากเตาผลิตแกสมีอุณหภูมิสูงและสิ่งปนเปื้อนสูงปกติ Reduction Zone มีขนาดเล็กจึงทำให้มี Residence Time สั้นการเปลี่ยนรูป $CO_2$ ไปเป็น CO ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นโปรดิวเซอร์แก๊สจะมีค่า

ความร้อนต่ำแต่เมื่อป้อนอากาศที่ความเร็วสูงมากจะมีผลต่อองค์ประกอบโปรดิวเซอร์แก๊ส โดยอัตราการเปลี่ยน $CO_2$ ไปเป็น CO สูงเนื่องจากปฏิกิริยา เข้าใกล้ภาวะสมดุล




**ภาพที่ 2.3** แสดงการทำงานเตาผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สแบบไหลขวาง(Cross-draft)

**2.2.5 การแบ่งประเภทของเตาแก๊สชีวมวล**

โดยส่วนใหญ่ที่ใช้ในภาคครัวเรือนแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

**2.2.6 เตาแก๊สชีวมวลแบบใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง**

เตาแก๊สชีวมวลที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง และที่ศูนย์วิจัยพลังงานได้ออกแบบไว้นั้นจากเตาเป็นเตาแก๊สซิไฟเออชนิด Inverted Down-draft คือจะมีการเผาไหม้อยู่ด้านบนของเตาทำโดยทำให้โปรดิวเซอร์แก๊สที่ได้มีความสะอาดขึ้นเนื่องจากแก๊สชีวมวลที่ได้ผ่านชั้นของการเผาไหม้ (Combustion) ทำให้น้ำมันดินที่อยู่ในแก๊สชีวมวลเกิดการแตกตัวกลายเป็นก๊าซซึ่งแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้สารมารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงในการประกอบอาหารในครัวเรือนได้ซึ่งลักษณะการเผาไหม้ของแก๊สที่ได้จะคล้ายกับการใช้แก๊สหุงต้มปริมาณการใช้เชื้อเพลิง 1.5kg ใช้ได้ประมาณ30-45นาที

คุณสมบัติของเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง

- ใช้งานง่ายให้เปลวไฟเหมือนแก๊ส LPG
- ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง
- แกลบ1.5กิโลกรัมใช้ได้ประมาณ30-45นาที
- สารมารถต้มน้ำให้เดือดภายใน5 นาที ที่อุณหภูมิของน้ำ85-98 องศาเซลเซียสโดยเตามีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ32%

**ภาพที่ 2.4** เตาแก๊สชีวมวลแบบใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง

**2.2.7 เตาแก๊สชีวมวลแบบใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง**

เตาแก๊สแบบชีวมวลที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการออกแบบจะเป็นเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลขึ้น (Up-draft-Gasifler) โดยมีลักษณะเป็นเตาผนัง 2 ชั้น ซึ่งชั้นที่ 1 จะเป็นส่วนห้องเผาไหม้ ชั้นที่ 2 เป็นช่องสำหรับใช้อากาศผ่านและมีช่องสำหรับอากาศไหลออกอยู่ด้านบนของเตา โดยแก๊สชีวมวลที่ผลิตได้นั้นจะลอยขึ้นสู่ด้านบนและเกิดการลุกกไหม้บริเวณด้านบนของเตาโดยอาศัยอากาศร้อนที่ถูกบังคับให้ไหลจากด้านล่างสู่ด้านบนของเตาเข้าสู่ชั้นที่ 2 โดยการแลกเปลี่ยนความร้อนจากห้องเผาไหม้และไหลออกทางช่องทางออกด้านบนของเตาและเมื่ออากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้เกิดการติดไฟของแก๊สชีวมวลโดยจะสังเกตได้จากเปลวไฟที่ได้นั้นจะมีลักษณะเป็นลำพุ่งออกจากช่องทางออกของอากาศซึ่งความเป็นจริงนั้นคืออากาศร้อนที่ไหลออกมาทำปฏิกิริยากับแก๊สเชื้อเพลิงและการเกิดการลุกไหม้โดยสามารถใช้เศษไม้กิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิงและสามารถเติมเชื้อเพลิงได้อย่างต่อเนื่องซื้อประสิทธิภาพทางความร้อนที่ได้จากการนำ Boiling Test จะมีค่าอยู่ประมาณ 31.9%

คุณสมบัติของเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง

- ใช้วัสดุเหลือทิ้งได้แก่ เศษไม้ กิ่งไม้ขนาดเล็ก เปลือกทะลายปาล์ม กะลามะพร้าวเหง้ามันสำปะหลัง ซังข้าวโพด และ ชานอ้อย เป็นต้น

- ใช้เชื้อเพลิงจากกิ่งไม้ขนาด 1-1.2 กิโลกรัมสารมารถใช้งานได้ประมาณ 30-40 นาที อุณหภูมิเฉลี่ยของเตาอยู่ในช่วง800-900องศาเซลเซียส

**ภาพที่ 2.5** เตาแก๊สชีวมวลแบบใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง

**2.2.8 เตาแก๊สชีวมวลแบบใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงขนาดกลาง**

เตาแก๊สชีวมวลแบบใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงชนิดนี้จะเป็นเตาแบบ Down draft Gasifier โดยข้อดีของเตาชนิดนี้สามารถเติมเชื้อเพลิงได้อย่างต่อเนื่องและได้ออกแบบหัวเตาเป็น 2 หัวสำหรับใช้งานในชุมชนซึ่งหลักการคือการเปลี่ยนเชื้อเพลิงชีวมวลไปเป็นโปรดิวเซอร์แก๊ส โดยเตาชนิดนี้จะใช้เชื้อเพลิง 2 ชนิดในเบื้องต้น คือ ถ่านไม้ (Charcoal) และเศษไม้กิ่งไม้ (Wood) โดยสามารถเติมเชื้อเพลิงได้อย่างต่อเนื่อง

คุณสมบัติของเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เชื้อเพลิงขนาดกลาง

- ใช้เชื้อเพลิง ถ่านไม้ 3 กิโลกรัม/ชั่วโมง
- ใช้เชื้อเพลิง ไม้ 4 กิโลกรัม/ชั่วโมง
- สามารถเติมเชื้อเพลิงได้อย่างต่อเนื่อง
- ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 80%

**ภาพที่ 2.6** เตาแก๊สชีวมวลแบบใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงขนาดกลาง

## 2.3 การถ่ายเทความร้อน

กระบวนการถ่ายเทความร้อนเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายถ่ายเทและเปลี่ยนพลังงานความร้อนซึ่งอยู่ในขอบเขตของกฎข้อที่หนึ่งและข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ที่ว่าพลังงานต่างๆไม่ถูกสร้างขึ้นหรือถูกทำลายได้แต่สามารถเปลี่ยนจากรูปหนึ่งของพลังงานไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้และไม่มีกระบวนการใดๆที่จะเคลื่อนย้ายถ่ายเทพลังงานจากอุณหภูมิต่ำกว่าไปยังอุณหภูมิที่สูงกว่าวิทยาศาสตร์ทางการถ่ายเทความร้อนกล่าวถึงหลักการที่ว่าความร้อนจะเคลื่อนที่จากแหล่งที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่แหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าซึ่งเป็นหลักการเดียวกันอัตราการ ถ่ายเทความร้อนมีความสำคัญมากต่อการออกแบบเครื่องมือนั้นๆการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีต่างๆที่กล่าวแล้วแต่ละวิธีของการกระบวนการถ่ายเทความร้อนอาจแบ่งแยกออกเป็นประเภทได้ตาม สภาวะการถ่ายเทสัณฐานภายนอกและจำนวนมิติที่เกิดการถ่ายเท

1. การถ่ายเทความร้อนในสภาวะสม่ำเสมอ (Steady State) เป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่ออัตราการเคลื่อนไหลของความร้อนในระบบหรือในกระบวนการไม่เปลี่ยนแปลงไปกับ

เวลาที่เปลี่ยนไป เช่นเมื่อเวลาคงที่หรือเมื่อพิจารณาหาค่าการถ่ายเทความร้อนที่เวลาใดเวลาหนึ่ง อุณหภูมิที่จุดต่างๆจะคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

2. การถ่ายเทความร้อนในสภาวะไม่สม่ำเสมอ (Unsteady or Transient State) การถ่ายเทความร้อนในสภาวะนี้เกิดขึ้นอุณหภูมิที่จุดต่างๆในระบบเปลี่ยนไปตามเวลาที่เปลี่ยนอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปนี้แสดงให้เห็นถึงการเกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานภายในระบบ

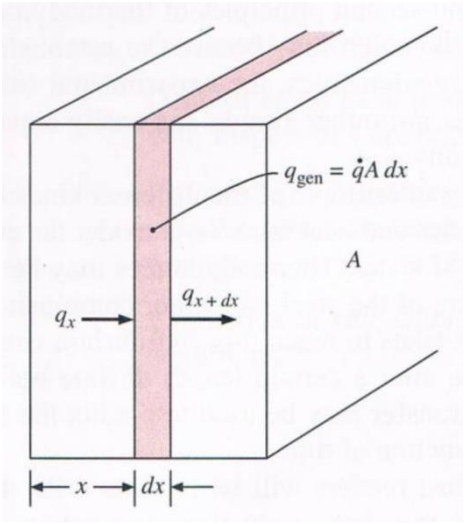
3. การถ่ายเทความร้อนตามลักษณะสัณฐานภายนอก (Configuration) การถ่ายเทความร้อนในลักษณะนี้อาจเป็นไปตามรูปลักษณะทรงเรขาคณิตศาสตร์ เช่น การถ่ายเทความร้อนของวัตถุรูปผนังแผ่นเรียบ รูปทรงกระบอก รูปท่อและรูปแผ่นขนาน หรือเป็นไปตามลักษณะการวางของวัตถุ เช่น การถ่ายเทความร้อนในแนวดิ่งหรือแนวตั้ง ในแนวราบหรือแนวนอน และในแนวเอียงลาด เป็นต้น หรือเป็นไปตามลักษณะการไหลของของเหลวหรือก๊าซผ่านไปตามวัตถุแข็ง เช่น การถ่ายเทความร้อนในลักษณะการไหลผ่านภายในและการไหลผ่านภายนอก เป็นต้น

4. การถ่ายเทความร้อนตามจำนวนมิติการถ่ายเท (Number of Diamension) การถ่ายเทความร้อนอาจมีทิศทางไปทางเดียวเรียกว่าการถ่ายเทความร้อนหนึ่งมิติ เช่น การถ่ายเทความร้อนของท่อที่ ฝังอยู่ใต้พื้นดิน หรือมีทิศทางไปสามทางเป็นการถ่ายเทความร้อนสามมิติ เช่น การถ่ายเทความร้อนจากท่อที่ยื่นออกมาจากตึก เป็นต้น

### 2.3.1 วิธีการถ่ายเทความร้อน

ความร้อนหรือพลังงานความร้อนจะเคลื่อนย้ายถ่ายเทได้ 3 วิธีด้วยกันคือการนำ (Conduction) การพา (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation) แม้จะมีการแบ่งแยกวิธีการเคลื่อนย้ายถ่ายเทความร้อนและการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายถ่ายเท ความร้อนออกเป็น 3 วิธี ดังกล่าว แต่การถ่ายเทความร้อนส่วนมากในสภาพทั่วไปความร้อนจะไม่เคลื่อนย้ายโดยวิธีใดวิธีหนึ่งเพียงวิธีเดียวแต่จะถ่ายเทโดยหลายวิธีที่กล่าวมาพร้อมกันในการแก้ปัญหาจะพิจารณาถึงวิธีการที่ความร้อนเคลื่อนย้ายถ่ายเทไปมากที่สุดเป็นวิธีการที่ความร้อนใช้ในการถ่ายเทความร้อนโดยไม่คำนึงถึงวิธีการอื่นๆที่ความร้อนใช้ในการถ่ายเทแต่ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทโดยวิธีนั้นๆน้อยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหานั้น

1. การถ่ายเทความร้อนโดยการนำเป็นกระบวนการที่ความร้อนเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าภายในตัวกลาง (ของแข็งของเหลวหรือก๊าซ) หรือวัตถุ



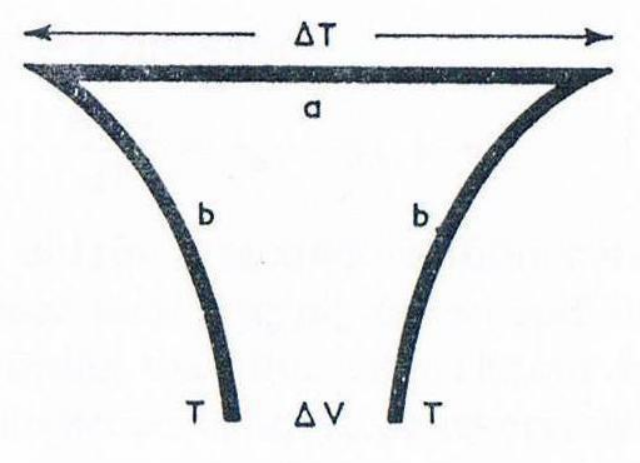

**ภาพที่ 2.7** การถ่ายเทความร้อนโดยจากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ

2. การถ่ายเทความร้อนโดยการพาเป็นกระบวนการถ่ายความร้อนระหว่างผิวของวัตถุแข็งกับของเหลวหรือก๊าซกระบวนการถ่ายเทความร้อนไม่มีเฉพาะความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างวัตถุเพียงอย่างเดียว แต่มีองค์ประกอบอื่นๆอีกที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อกระบวนการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีการพานี้ เช่นลักษณะการเคลื่อนที่ของเหลวหรือก๊าซ เป็นต้น อย่างไรก็ตามการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีนี้ก็ให้ผลเหมือนกับการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีอื่นๆคือมีการเคลื่อนย้ายพลังงานเกิดขึ้นและเคลื่อนย้ายไปตามอุณหภูมิที่ลดต่ำลง (Temperature Gradient) การถ่ายเทความร้อนโดยวิธีการพานี้เป็นกระบวนการที่สำคัญมาก เพราะความร้อนจะถูกนำพาไปด้วยพลังงานจะถูกสะสมและเคลื่อนย้ายด้วยวิธีต่างๆปนกันไป (Mixing Motion) การพาความร้อนจึงอาจแบ่งแยกออกเป็นประเภท ย่อยตามลักษณะต่างๆ

3. การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่เป็นกระบวนการที่ความร้อนเคลื่อนจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยที่วัตถุนั้นอยู่ห่างจากกันและแม้ว่าระยะห่างนั้นจะเป็นบริเวณสุญญากาศก็ตามการแผ่ความร้อนโดยทั่วไปหมายถึงกระบวนการถ่ายทอดหรือส่งพลังงานออกไปโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าการกระจายของคลื่นแม่เหล็กที่เกิดจากผลต่างของอุณหภูมิและทำให้พลังงานเคลื่อนย้ายเรียกว่าการแผ่ความร้อน (Thermal Radiation) ซึ่งต่างกับการแผ่กระจายของแสง (Light Radiation) ที่ช่วงความยาวคลื่น (Wave Length) ต่างกัน

## 2.4 เทอร์โมอิเล็กทริก[3]

เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นอุปกรณ์ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้าและอุณหภูมิหลักการคือการผันความร้อนไปเป็นพลังงานไฟฟ้าหรืออาจผันไฟฟ้าเป็นความร้อนและความเย็นซึ่งการนำเอาปลายของสารกึ่งตัวนำต่างกันสองชนิดมาเชื่อมต่อกันเมื่อจุดเชื่อมทั้งสองข้างถูกกระตุ้นด้วยความร้อนและความเย็นจะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นในระบบพบว่าหากอุณหภูมิของจุดเชื่อมทั้งสองมีค่าแตกต่างกันมากเท่าไร อัตราผลิตไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย




**ภาพที่ 2.8** แสดงปรากฏการณ์ซีเบ็ค

ในปี ค.ศ. ค. 1821 นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน Thomas Seebeck พบว่าเมื่อนำขดลวดโลหะ 2 เส้น ที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองด้านเข้าด้วยกัน ถ้าปลายจุดต่อทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกัน จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเส้นลวดทั้ง 2 นี้ตามภาพที่ 2.8 ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้านี้เปลี่ยนได้ตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง และถ้าเปิดปลายจุดต่อ ด้านหนึ่งออกจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ปลายด้านเปิดแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้เรียกว่า “ซีเบ็คโวลต์เตจ” (Seebeck Voltage)

$$\Delta V = \alpha_{ab(T_H - T_C)} \qquad (2.1)$$

$\Delta V$ = ค่าแรงดัน

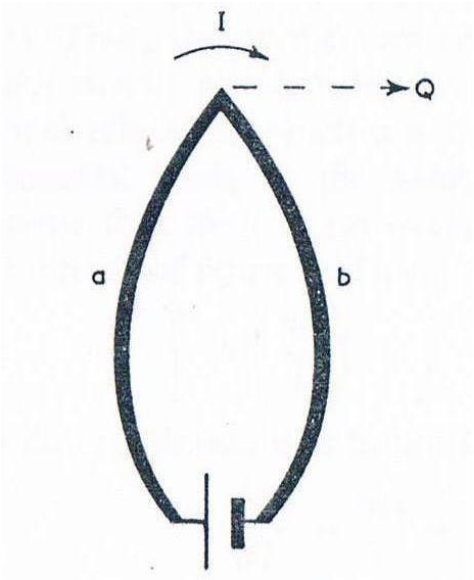
$\alpha_{ab}$ = ค่าสัมประสิทธิ์ของรอยต่อระหว่างสองวัสดุ

$T_H$ = ค่าอุณหภูมิด้านร้อน

$T_C$ = ค่าอุณหภูมิด้านเย็น

สำหรับความแตกต่างกันของอุณหภูมิน้อยๆความสัมพันธ์ข้างต้นจะเป็นแบบเชิงเส้นและนิยามสัมประสิทธิ์ซีเบ็คคือ $\alpha_{ab}$ สำหรับรอยต่อนั้นดังนั้นสัมประสิทธิ์ของซีเบ็คของรอยต่อระหว่างสองวัสดุ a และ b เท่ากับความแตกต่างระหว่างสัมประสิทธิ์สมบูรณ์ของสองวัสดุนั้น นั่นคือ

$$\alpha_{ab} = \alpha_a - \alpha_b \tag{2.2}$$




**ภาพที่ 2.9** แสดงปรากฏการณ์เพลเทียร์

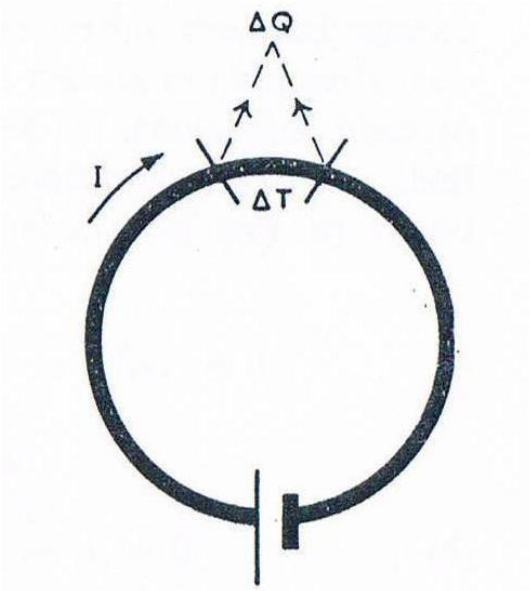
ต่อมาในปี ค.ศ. 1834 Jean C.A. Peltier พบว่าเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในวงจรลักษณะเดียวกันที่ซีเบ็คสร้างขึ้นโดยใช้ลวดด้านหนึ่งทำจากบิสมัสและอีกด้านหนึ่งทำจากแอนติโมนีจะทำให้ เกิดอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อที่แตกต่างกัน โดยปลายข้างหนึ่งจะร้อนขึ้นและปลายอีกข้างหนึ่งจะเย็นลง วงจรการทดลองของเพลเทียร์เป็นดังภาพที่ 2.8 ปรากฏการณ์นี้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการทำระบบ หล่อเย็นจากการผันความร้อนจากไฟฟ้า (Thermoelectric Refrigeration) ในที่นี้อัตราของการดูดซับความร้อนแบบกลับได้ (Rate of Reversible Heat Absorption, Q) ซึ่งส่งมาพร้อมกับการผ่านของกระแส I ผ่านรอยต่อ คือ

$$\mathcal{Q} = \pi_{ab} I \tag{2.3}$$

โดยที่ $\mathcal{Q}$ คือ อัตราของการดูดซับความร้อน

$\pi_{ab}$ คือ สัมประสิทธิ์ของเพลเทียร์ของรอยต่อ

I คือ ค่ากระแส




**ภาพที่ 2.10** แสดงปรากฏการณ์ทอมสัน

ปรากฏการณ์ผันไฟฟ้าจากความร้อนอันสุดท้ายคือปรากฏการณ์ทอมสันซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับอัตราของการแพร่ความร้อนแบบกลับได้ $\mathcal{Q}$ ซึ่งเกิดขึ้นมาเนื่องจากการผ่านของกระแสไปตามตัวนำเดี่ยวอันหนึ่งเมื่อมีเกรเดียนต์อุณหภูมิ $\Delta T$ ถ้าให้เกรเดียนต์อุณหภูมิมีค่าน้อยๆจะได้ว่า

$$\mathcal{Q} = \beta I(\Delta T) \tag{2.4}$$

โดย $\beta$ คือ สัมประสิทธิ์ของทอมสัน

I คือ ค่ากรแส

$\Delta T$คือ ค่าผลต่างของอุณหภูมิ

สัมประสิทธิ์ของการผันไฟฟ้าจากความร้อนมีความสัมพันธ์กันตามความสัมพันธ์ของ เคลวิน (Kelvin Relationships)

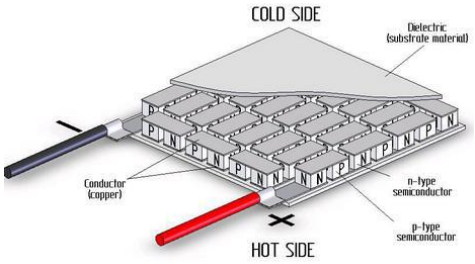
$$Q_{ab} = \frac{\pi_{ab}}{T} \tag{2.5}$$

$$\frac{d\alpha_{ab}}{dT} = \frac{\beta_a - \beta_b}{T} \tag{2.6}$$

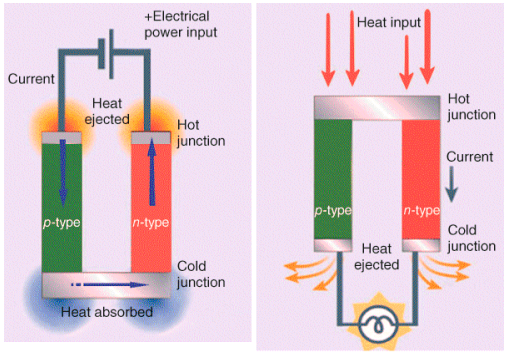
สมการที่ 2.5 เป็นจริงสำหรับวัสดุผันไฟฟ้าจากความร้อนจำนวนมาก และใช้ได้กับทุกวัสดุซึ่งถูกนำมาใช้ในการประยุกต์ทางการผันไฟฟ้าจากความร้อนให้สังเกตว่าทั้งสัมประสิทธิ์ของซีเบ็คและสัมประสิทธิ์ของเพลเทียรถูกนิยามขึ้นในรูปของสมบัติต่างๆของรอยต่อในขณะที่สัมประสิทธิ์ของทอมสันเป็นสมบัติของตัวนำเดี่ยว

สมการที่ 2.6 ทำให้เราสามารถหาสัมประสิทธิ์ของซีเบ็คของวัสดุเดี่ยวได้คือ

$$\alpha = \int_0^T \frac{\beta}{T} dT \tag{2.7}$$




ก.แสดงโครงสร้างภาพในเทอร์โมอิเล็กทริกโดยมีสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็นเรียงกันอยู่




ข.แสดงทิศทางการไหลของกระไฟฟ้าและสารกึ่งตัวนำ

**ภาพที่ 2.11** เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

**2.4.1 หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล**

จากภาพที่ 2.11 การเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าจะเกิดขึ้นเมื่อป้อนความร้อนเข้าทางด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกและควบคุมให้อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าต่ำกว่า โดยอาจจะใช้ฮีทซิงค์ (Heat Sink) เป็นตัวระบายความร้อน (อุณหภูมิทางด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกต้อง สูงกว่าอุณหภูมิทางด้านเย็น) ซึ่งจะเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ เมื่อนำภาระทางไฟฟ้ามาต่อกับเทอร์โมอิเล็กทริกจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลจากสารกึ่งตัวนำชนิด P-type ไปยังสารกึ่งตัวนำชนิด N-type ลักษณะการเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำชนิด N-type และ P-type จะมีลักษณะการต่อเป็นคู่ๆแบบอนุกรมและแบบขนาน โดยหากต้องการใช้งานทางด้านไฟฟ้าก็นำมาต่อเป็นแบบอนุกรมหรือขนานเพื่อให้ได้ขนาดของพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมตามความต้องการ

เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลนอกจากผลิตไฟฟ้าแล้วยังสามารถทำให้เกิดอุณหภูมิร้อนและเย็นได้ โดยการป้อนไฟฟ้าเข้าไปยังเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล จะทำให้เกิดความร้อนด้านหนึ่งและความเย็นอีก ด้านหนึ่ง อุณหภูมิความเย็นจะเย็นหรือร้อนอยู่ได้ในระยะเวลานานจะต้องมีอุปกรณ์ระบายความร้อน หรือ ระบายความเย็น ให้แก่ด้านร้อนหรือด้านเย็น เมื่อมีการจ่ายไฟฟ้าและมีอุปกรณ์ระบายความร้อนหรือระบายความเย็นที่เหมาะสมแล้วก็จะได้ความร้อนหรือความเย็นตามต้องการ

**2.4.2 ประเภทของเทอร์โมอิเล็กทริก**

เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลสามารถแบ่งตามลักษณะได้ 2 แบบคือ

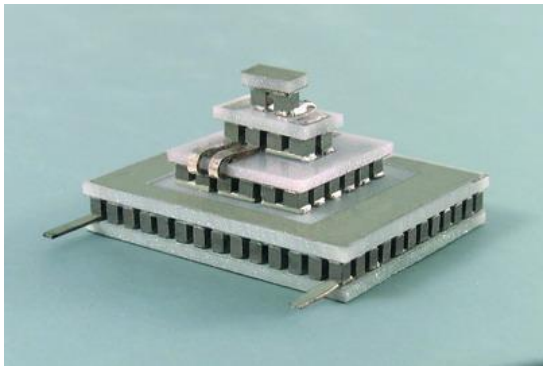
1.เทอร์โมอิเล็กทริกแบบชั้นเดียว (Single Stage Module) เป็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนกับด้านเย็นในการใช้งานไม่สูงมากซึ่งมีค่าประมาณ 67 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นผลต่างของอุณหภูมิขณะที่ไม่มีภาระความร้อนลักษณะของเทอร์โมอิเล็กทริกมีหลายรูปแบบทั้งขนาดและรูปร่างอีกทั้งมีสมบัติหลายอย่างให้เลือกตามลักษณะการใช้งานเช่น ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันและความสามารถในการถ่ายเทความร้อน โดยสามารถสรุปลักษณะและสมบัติได้ดังนี้

- ขนาดพื้นที่ผิวหน้าเซรามิค 1.8 x 3.4 ตารางมิลลิเมตร ถึง 62 x 62 ตาราง มิลลิเมตร
- ขนาดความสูงตั้งแต่ 2.54 มิลลิเมตร ถึง 5.8 มิลลิเมตร
- ค่ากรถ่ายเทความร้อนสูงสุดตั้งแต่ 0.2 ถึง 125 วัตต์
- ค่ากระแสสูงสุดตั้งแต่ 0.8 ถึง 60 แอมแปร์
- ค่ำแรงดันสูงสุดตั้งแต่ 0.4 ถึง 15.4 โวลต์

**ภาพที่ 2.12** เทอร์โมอิเล็กทริกแบบชั้นเดียว (Single stage Module)

2.เทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้น (Multistage Module) เป็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีการต่อตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไป ลักษณะและสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้นที่สำคัญคือ

- พื้นที่ผิวด้านเย็นมีขนาดตั้งแต่ 3.2 x 3.2 ตารางมิลลิเมตรถึง 62 x 62 ตารางมิลลิเมตร และมีพื้นที่ผิวด้านร้อนขนาดตั้งแต่ 3.8 x 3.8 ตารางมิลลิเมตร ถึง 62 x 62 ตารางมิลลิเมตร
- ขนาดความสูงตั้งแต่ 3.8 มิลลิเมตร ถึง 21.4 มิลลิเมตร
- ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดตั้งแต่ 0.39 ถึง 59 วัตต์
- ค่ากระแสสูงสุดตั้งแต่ 0.7 ถึง 9.5 แอมแปร์
- ค่าแรงดันสูงสุดตั้งแต่ 0.8 ถึง 14 โวลต์ซึ่งจำนวนชั้นของเทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้นมีการเชื่อมต่อตั้งแต่ 2 ชั้น ถึง 6 ชั้น



**ภาพที่ 2.13** เทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้น (Multistage Module)

**2.4.3 ทฤษฎีของเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าจากความร้อน**

เมื่อโหลดความต้านทาน $R_L$ ถูกต่อไว้ระหว่างปลายด้านเย็นที่แขนของเทอร์โมคัปเปิล a พลังงานความร้อนที่ให้เข้าไปที่รอยต่อร้อนจะขับกระแสผ่านวงจรและส่งกำลังไปยัง $R_L$ ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าถูกกำหนดโดยความสัมพันธ์

$$\eta = \frac{\text{กำลังที่ใช้กับโหลด } R_L}{\text{ความร้อนดูดซับที่รอยต่อ}} \tag{2.8}$$

ถ้าสมมติให้สภาพนำไฟฟ้าสภาพนำความร้อนและสัมประสิทธิ์ของซีเบ็คของตัวนำ a และ b มีค่าคงที่และไม่คิดความต้านทานสัมผัสที่รอยต่อร้อนและเย็นแล้วประสิทธิภาพสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\eta = \frac{I^2 R_L}{\alpha I T_H + \lambda p (T_H - T_C) - \frac{1}{2} I^2 R} \tag{2.9}$$

โดยที่ $\lambda_p$ คือ การนำความร้อนของ a และ b แบบขนาน และ R คือความต้านทานรวมของ a และ b ในวัสดุผันไฟฟ้าจากความร้อน $\sigma, \lambda$ และ $\alpha$ จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ อย่างไรก็ตาม สมการที่ 2.8 ยังสามารถใช้ได้ถ้าค่าเฉลี่ยที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆที่พิจารณาในช่วงอุณหภูมิที่สนใจถูกนำมาพิจารณาด้วย

สมการความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความร้อนที่เราให้แก่ด้านร้อน

$$Q = IT_H + K\Delta T - \frac{1}{2} RI^2 \tag{2.10}$$

เมื่อ $Q$ = ปริมาณความร้อนที่ให้แก่ด้านร้อน (จูล)

$\alpha$ = สัมประสิทธิ์ของซีเบ็ค (โวลต์ต่อเคลวิน)

$\Delta T$ = ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็น (เคลวิน)

$R$ = ความต้านทานภายในของเทอร์โมอิเล็กทริก (โอห์ม)

$I$ = กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

$T_h$ = อุณหภูมิด้านความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (เคลวิน)

$K$ = ค่าการนำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (วัตต์ต่อเซนติเมตรเคลวิน)

เราได้กำลังไฟฟ้าจ่ายออกมาคือ

$$P_{out} = I^2 R_L \tag{2.11}$$

เมื่อ $R_L$ = ค่าความต้านทานของโหลดทางไฟฟ้า

ค่าแรงดันไฟฟ้าใช้งานจะออกมาในรูป See Beck Effect คือ

$$v = \alpha\Delta T = (R + R_L)I$$

$$\therefore I = \frac{\alpha\Delta T}{R + R_L}$$

$$\therefore P_{out} = R_L \frac{(\alpha\Delta T)^2}{(R+R_L)} \tag{2.12}$$

## 2.4 การระบายความร้อน

การระบายความร้อนเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นถ้าการระบายความร้อนไม่เหมาะสมจะส่งผลให้วัตถุได้รับความเสียหายอันเนื่องจากความร้อนเกินขีดจำกัดที่วัตถุจะทนได้ ทำให้การทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่างๆ ไม่สามารถทำงานตามปกติ ปัจจุบันอุปกรณ์ต่างๆ มีการพัฒนาอย่างมาก โดยเฉพาะอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการปลดปล่อยพลังงานความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงขึ้นทำให้กลไกการถ่ายเทความร้อนปกติไม่สามารถระบายความร้อนได้ทันกับการปลดปล่อยพลังงานความร้อนของอุปกรณ์เหล่านั้นทำให้มีการพัฒนาเทคนิคต่างๆเพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยจำแนกเป็น

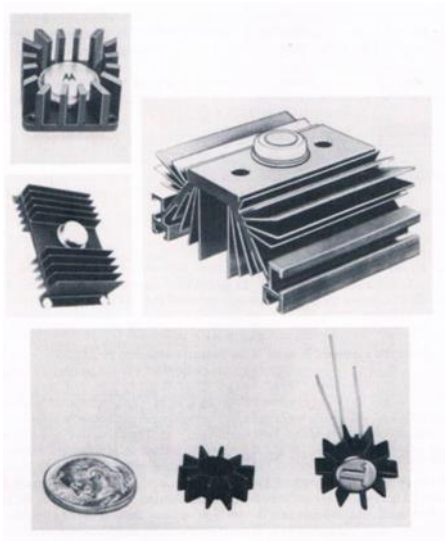
### 2.4.1 การเพิ่มพื้นที่ผิว

การเพิ่มพื้นที่ผิวในการและเปลี่ยนความร้อนโดยติดตั้งครีบระบายความร้อนดังแสดงในรูปที่ 2.14 เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวบทแหล่งความร้อนพลังงานความร้อนจะส่งผ่านมายังอุปกรณ์ส่งผลให้มีพื้นผิวที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนกับของไหลเพิ่มขึ้นโดยทั่วไป ครีบระบายความร้อนแบ่งตาม รูปร่างของครีบได้ดังต่อไปนี้

1.Plate-fin Heat Sink ครีบระบายความร้อนมีลักษณะเป็นแผ่นเพราะสามารถผลิตได้ง่าย วิธีการผลิตมีหลายแบบได้แก่การฉีดขึ้นรูปครีบระบายความร้อนจะเป็นเนื้อเดียวกันหรือแยก

ผลิตส่วนครีบและส่วนฐานแล้วนำมาประกอบภายหลังโดยการเชื่อมการอัดยึดด้วยสกรูและวิธีใช้การขยายตัว-หดตัวของโลหะ

2.Pin-fin Heat Sink ครีบระบายความร้อนมีลักษณะเป็นแท่งเนื่องจากมีครีบจำนวนมากส่งผลทำให้มีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนมากแต่ต้นทุนการผลิตสูงกว่า Plate-fin Heat Sink



**ภาพที่ 2.14** แผงระบายความร้อน

### 2.4.2 ฮีทไปป์

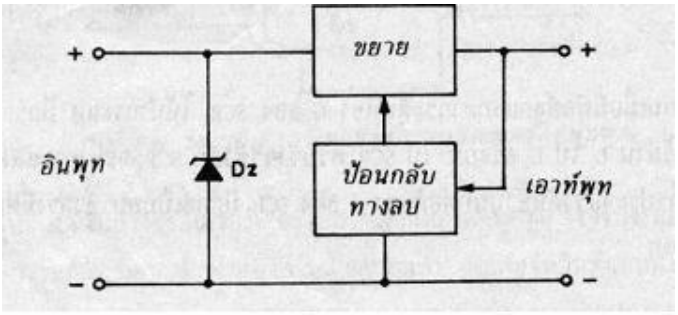
ฮีทไปป์ (Heat Pipe) คือ อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนชนิดพิเศษ ซึ่งสามารถถ่ายเทความร้อนได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพแม้ในสภาพอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตัวฮีตไปป์เป็นท่อโลหะมักทำเป็นทองแดงซึ่งทำให้ภายในสุญญากาศแล้วบรรจุของเหลวคุณสมบัติพิเศษซึ่งในแวดวงปรับอากาศตอนสารปรับอากาศหรือ Refrigerant ฟรีออน22ก่อนจะปิดผนึกหัวท้ายเนื่องจากฮีทไปป์ถ่ายเทความร้อนโดยหลักการระเหยและการกลั่นตัวของของเหลวจึงไม่มีความจำเป็นต้องใช้เครื่องกลไกหรือพลังงานจากผายนอกใดในการทำงานหลักการทำงานของฮีทไปป์นั้นง่ายมากโดยที่โครงสร้างพื้นฐานของฮีทไปป์เป็นท่อทองแดงปิดหัวปิดท้ายภายในบรรจุด้วยสารทำความเย็นเช่นฟรีออน แอมโมเนีย ออดซิเจน มีเทน และน้ำ สารที่บรรจุภายในท่อเมื่อได้รับความร้อนจะระเหยเป็นไอและเคลื่อนไปสู่ปลายอีกด้านหนึ่งในระหว่างการเคลื่อนตัวนี้จะคายความร้อนและกลายเป็นของเหลวที่บริเวณภายในของท่อและไหลกลับไปสู่ปลายท่อที่รับความร้อนที่อยู่ต่ำกว่า

## 2.5 วงจรเพิ่มแรงดัน

วงจรเพิ่มแรงดันหรือชอปเปอร์เป็นวิธีการทำแรงดันไฟตรงจากค่าหนึ่งเป็นอีกค่าหนึ่งนิยมใช้ในการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟตรงให้ได้ตามต้องการซึ่งจะกล่าวแนะนำหลักการวิธีการและรูปแบบต่างๆ เป็นพื้นฐาน จะกล่าวรายละเอียดในแต่ละลักษณะดังนี้

### 2.5.1 เร็กกูเลเตอร์ไฟตรง

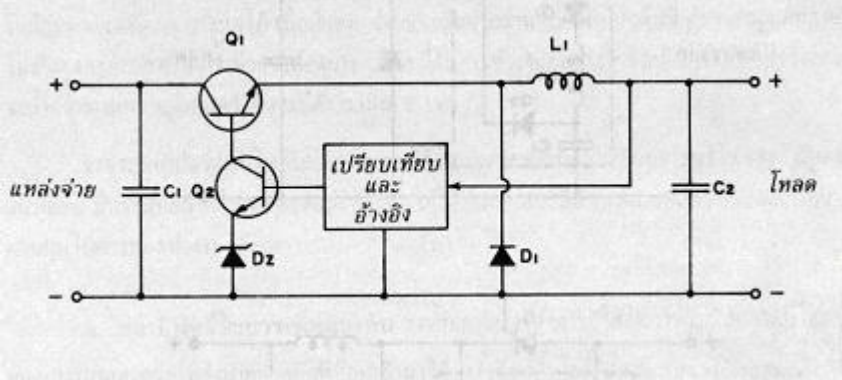
การจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟตรงไปยังโหลดสามารถที่จะกำหนดค่าให้มีประสิทธิภาพสูงๆได้โดยต่อสวิตซ์อันดับกับวงจรเพื่อทำหน้าที่เปิดและปิดวงจรอย่างต่อเนื่อง ด้วยวิธีการตัดต่อกระแสที่ไหลระหว่างแหล่งจ่ายและโหลด ดังนั้นเร็กกูเลเตอร์ไฟตรงจึงมักถูกเรียกว่าชอปเปอร์สามารถควบคุมการทำงานให้บรรลุผลได้โดยทำงานสัมพันธ์กับเวลาหรือสัมพันธ์กับค่าดิวตี้ไซเกิล ซึ่งค่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้โดยเวลาทำงานและเวลาหยุดทำงานของวงจร ถือว่าเป็นหลักการควบคุมการทำงานของวงจรเร็กกูเลเตอร์เบื้องต้น




**ภาพที่ 2.15** วงจรเร็กกูเลเตอร์ไฟตรง

จากภาพที่2.15 เป็นบล็อกไดอะแกรมของวงจรเร็กกูเลเตอร์วงจรประกอบด้วยซีเนอร์ไดโอดจะกำหนดแรงดันอ้างอิงป้อนเข้ามาส่งผ่านไปยังวงจรขยายเพื่อกำหนดการจ่ายทั้งแรงดันและกระแสที่ถูกต้องออกเอาท์พุท ทางเอาท์พุทจะมีวงจรป้อนกลับทางลบ เพื่อกำหนดระดับแรงดันไฟตรงที่ถูกต้องออกเอาท์พุท

### 2.5.2 ชอปเปอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตซ์

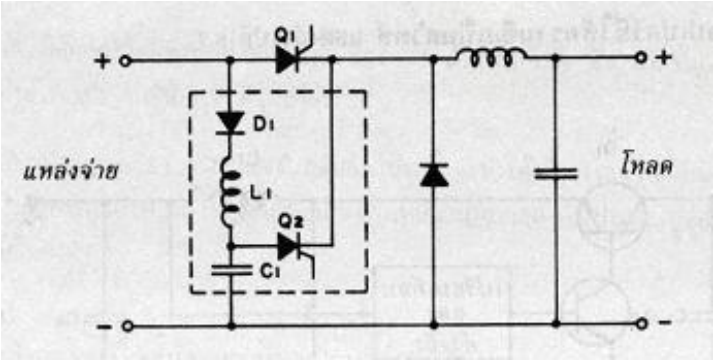



**ภาพที่ 2.16** วงจรชอปเปอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์

ภาพที่ 2.16 ชอปเปอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตซ์ควบคุมการจ่ายแรงดันออกเอาท์พุท วงจรประกอบด้วย C1 เป็นตัวเก็บประจุทำหน้าที่ฟิลเตอร์ทางอินพุท ทรานซิสเตอร์ Q1 เป็นสวิตซ์ ทรานซิสเตอร์ควบคุมระดับแรงดันและกระแสออกเอาท์พุท ทรานซิสเตอร์ Q2 เป็นตัวขับกำลังไปควบคุม Q1 ซีเนอร์ไดโอด Dz กำหนดแรงดันเอาท์พุท วงจรเปรียบเทียบและอ้างอิงเป็นตัวควบคุมระดับแรงดันให้คงที่ไปท าให้ Q1 จ่ายแรงดันออกมาถูกต้อง ไดโอด D1 ก าจัดสัญญาณยอดแหลมที่อาจเกิดขึ้น L1,C2 เป็นฟิลเตอร์ของวงจรชอปเปอร์ เพื่อลดแรงดันริพเปิลที่จะออกเอาท์พุท ความถี่ที่สวิตซ์ทรานซิสเตอร์ทำงานขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการออกแบบและขนาด ความถี่เพิ่มขึ้น ขนาดของฟิลเตอร์จะลดลง แต่เกิดการสูญเสียในการทำหน้าที่เป็นสวิตซ์ทรานซิสเตอร์และไดโอดมากขึ้น ประสิทธิภาพจะลดลง และต้องการแผ่นระบายความร้อนมากขึ้น ทรานซิสเตอร์ที่นำมาใช้เป็นชอปเปอร์ ทำงานที่ความถี่ในย่าน 1 ถึง 4 kHz ในบางครั้งอาจนำไปประยุกต์ใช้งานกับกำลังไฟฟ้าต่ำมีขนาดเล็กสุด และคำนึงถึงน้ำหนักเป็นสำคัญ สามารถใช้กับความถี่ได้ถึง 20 kHz

### 2.5.3 ชอปเปอร์ที่ใช้ไทริสเตอร์

หลักการทำงานของชอปเปอร์ชนิดไทริสเตอร์จะมีพื้นฐานเหมือนกับแบบชอปเปอร์ชนิดทรานซิสเตอร์ เว้นแต่การใช้ของไทรริสเตอร์ จะนำไปใช้กับงานที่ต้องการเปลี่ยนแปลงแรง การใช้วงจรเปลี่ยนแปลงทำได้หลายชนิด วงจรชอปเปอร์ที่ใช้ไทรริสเตอร์แสดงดังภาพที่ 2.17

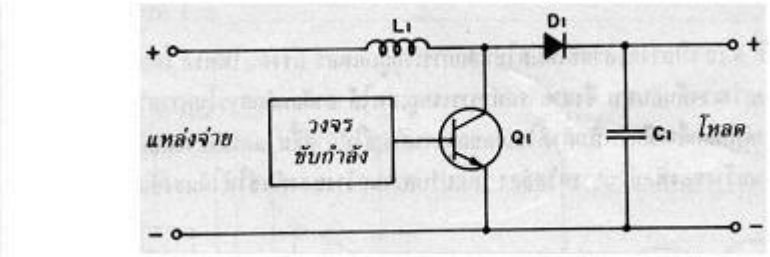



**ภาพที่ 2.17** ชอปเปอร์แบบใช้ไทรริสเตอร์ในการเปลี่ยนแปลงแรงดัน

ค่ากระแสสูงสุดที่สามารถควบคุมวงจรชอปเปอร์ชนิดไทรริสเตอร์ขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจรในการประยุกต์ใช้งานจะต้องทำให้มีกระแสไหลผ่านวงจรมากพอที่จะทำให้หยุดทำงานตัวไทรริสเตอร์จะต้องทนแรงดันและกระแสได้เมื่อมีแหล่งจ่ายแรงดันจ่ายผ่านไปยังโหลดเต็มที่ค่าทนกระแสของตัวไทรริสเตอร์จะต้องมากกว่าที่วงจรต้องการ ความถี่ในการทำงานของวงจรชอปเปอร์แบบไทรริสเตอร์จะต่ำกว่าแบบทรานซิสเตอร์ ซึ่งจะมีค่าไม่เกิน 2 KHz วงจรชอปเปอร์แบบไทรริสเตอร์จะพบได้ในวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรงมีความสม่ำเสมอ มีประสิทธิภาพในการหยุดและทำงาน ใช้ได้กับมอเตอร์ที่พันลวดแบบอันดับหรือแบบขนานควบคุมในการหยุดทำงานได้ง่าย

### 2.5.4 ชอปเปอร์ในการเพิ่มแรงดัน

วงจรชอปเปอร์สามารถใช้ในการกำเนิดแรงดันไฟตรงออกเอาท์พุทสูงกว่าแหล่งจ่ายแรงดันที่ป้อนเข้ามาได้ วงจรชอปเปอร์ในการเพิ่มแรงดันแสดงดังภาพที่ 2.18




**ภาพที่ 2.18** วงจรชอปเปอร์แบบเพิ่มแรงดัน

จากรูปที่ 2.18 เป็นวงจรชอปเปอร์แบบเพิ่มแรงดัน การทำงานเมื่อจ่ายแรงดันจากแหล่งจ่ายเข้ามา ทรานซิสเตอร์ Q1จะนำกระแส เมื่อมีกระแสไหลผ่าน L1 ทำให้ L1 เกิดสนามแม่เหล็กพองตัวออกเมื่อทรานซิสเตอร์ Q1 หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็กใน L1 ยุบตัวลงตัดผ่านตัวมันเองเกิดเป็นแรงเคลื่อนชักนำขึ้นมา มีศักย์ตกคร่อม L1 ขวาบวกซ้ายลบ เสริมกับแรงดันจากแหล่งจ่าย จ่ายผ่าน D1 ไปประจุที่ C1 มีศักย์ตกคร่อมมากกว่าแหล่งจ่ายแรงดันที่ป้อนเข้ามาวงจรจะเสมือนเป็นหม้อแปลงชนิดเพิ่มแรงดัน วงจรนี้จะเหมาะสมสำหรับการเพิ่มกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟตรง เพื่อใช้เพิ่มประสิทธิภาพการหยุดหมุนของมอเตอร์ไฟตรง