# บทที่ 2

# ทฤษฎี

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับความรู้พื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ ซึ่งจะแบ่งเป็นข้อย่อย ดังนี้

2.1 ระบบแหล่งสะสมพลังงานแบบเก็บโดยน้ำแข็ง (ice storage)
2.2 โปรแกรมวิเคราะห์การใช้พลังงาน (energy simulation)
2.3 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

## 2.1 ระบบแหล่งสะสมพลังงานแบบเก็บโดยน้ำแข็ง (ice storage)

ระบบแหล่งสะสมพลังงานแบบเก็บโดยน้ำแข็ง (ice storage) คือ อุปกรณ์ที่ใช้เก็บเอาความเย็นไว้ชั่วคราวในรูปของน้ำแข็ง เพื่อนำออกมาใช้ภายหลังในเวลาที่ต้องการความเย็น จากคุณสมบัติข้างต้นเราสามารถทำความเย็นในช่วงที่อัตราค่าไฟฟ้าถูก แล้วนำความเย็นนั้นมาใช้ในช่วงที่อัตราค่าไฟฟ้าแพงได้ (ซึ่งทำให้เสียค่าไฟฟ้าลดลง) สำหรับอาคาร ปตท. เป็นอาคารประเภทอาคารพาณิชย์ที่มีช่วงเวลาทำงานบางช่วงที่ต้องเสียอัตราค่าความต้องการพลังไฟฟ้าแพง ฉะนั้นระบบ Ice Storage จึงเป็นอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่งที่ช่วยทำให้ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าลดลง

สำหรับความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวกับระบบ Ice Storage จะขอกล่าวโดยแบ่งเป็นข้อย่อย ดังนี้

2.1.1 ระบบ Ice Storage แบบต่าง ๆ
2.1.2 การออกแบบระบบ Ice Storage

### 2.1.1 ระบบ Ice storage แบบต่าง ๆ

ระบบ Ice Storage ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีด้วยกันหลายระบบ โดยแต่ละระบบจะมีการพัฒนาอุปกรณ์สำหรับเก็บน้ำแข็งในรูปแบบที่ต่างกัน ระบบ Ice storage ที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันมีดังนี้

- ระบบ Ice-on-coil
- ระบบ Ice Tank (solid ice brine coil)
- ระบบ Ice Container (ice in rectangular container หรือ ice ball)
- ระบบ Ice Harvester

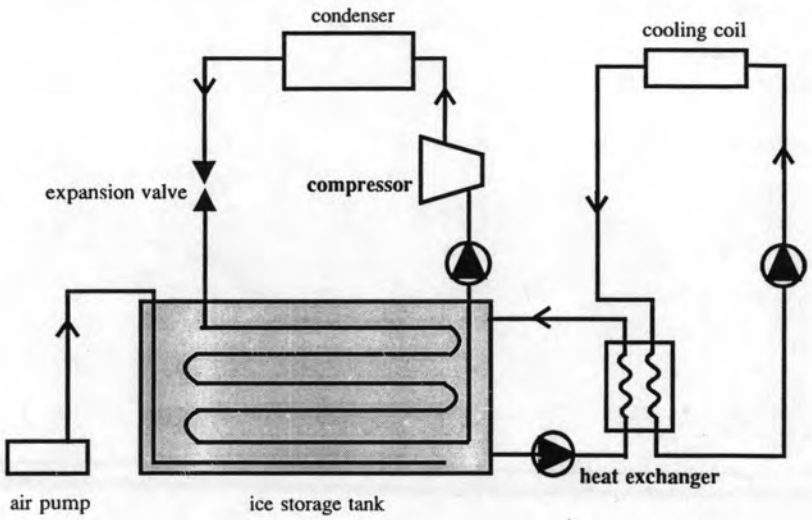
#### 1) ระบบ Ice-on-coil

ระบบแบบนี้ประกอบไปด้วยท่อน้ำยาขดไปมาในถังที่มีน้ำบรรจุไว้เกือบเต็มดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2 โดยที่ท่อน้ำยาทำหน้าที่เป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นที่ไหลภายในท่อกับน้ำภายนอกท่อ ทำให้เกิดน้ำแข็งเกาะที่ผิวนอกท่อ

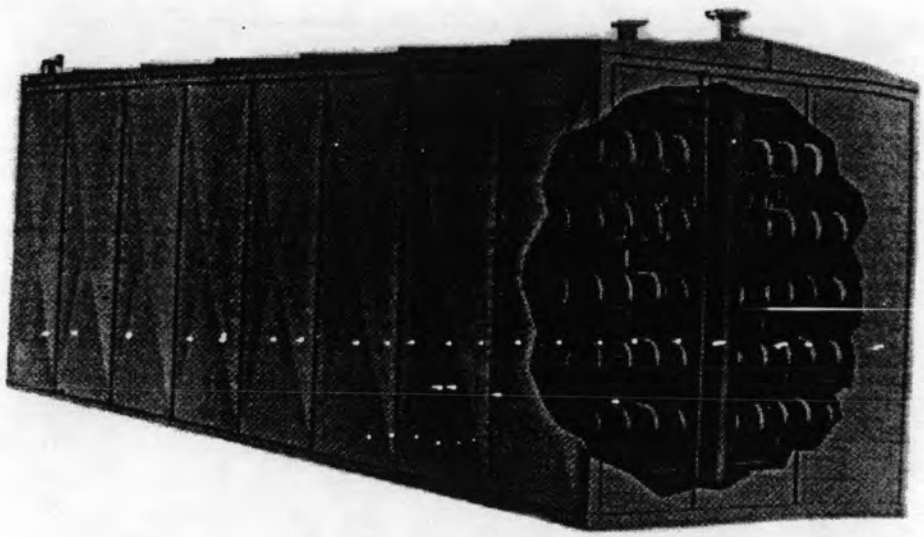
การสร้างน้ำแข็งสามารถทำได้โดยนำน้ำยาที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำไหลภายในท่อน้ำยาที่ขดไปมาในถัง ทำให้น้ำในถังค่อย ๆ เป็นน้ำแข็งเกาะที่ผิวนอกท่อโดยธรรมดาแล้วน้ำแข็งจะมีความหนาประมาณ 40 ถึง 65 มม. ความหนาของน้ำแข็งที่ต้องการจะเป็นตัวกำหนดอุณหภูมิของสารทำความเย็น เช่น ถ้าต้องการน้ำแข็งหนา 40 มม. จะต้องใช้สารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิประมาณ -7 ถึง -3 °C และถ้าต้องการน้ำแข็งหนา 65 มม. จะต้องใช้สารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิประมาณ -12 ถึง -9 °C เป็นต้น เมื่อระบบทำน้ำแข็งได้ความหนาตามที่ต้องการ ระบบควบคุมจะหยุดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ถังเก็บน้ำแข็งนี้ก็พร้อมที่จะนำไปใช้งานได้ เมื่อถึงเวลาที่ต้องการความเย็นจากถังเก็บน้ำแข็งระบบควบคุมปั๊มน้ำเย็นก็จะสั่งให้ปั๊มน้ำเย็นทำงานทำให้เกิดการไหลเวียนของระบบน้ำเย็นรอบน้ำแข็งที่เกาะตามผิวนอกท่อ น้ำแข็งจะละลายถ่ายเทความเย็นให้แก่ระบบน้ำเย็นพร้อมที่จะนำไปจ่ายความเย็นให้แก่เครื่องจ่ายลมเย็นตามที่ต้องการ

ในการกำหนดความหนาของน้ำแข็งจะถูกควบคุมให้มีความหนาที่เหมาะสมโดยอัตโนมัติ เพื่อให้ระบบทำความเย็นมีประสิทธิภาพสูงสุด ถ้าน้ำแข็งมีความหนามากขึ้นประสิทธิภาพการทำความเย็นจะลดลง วิธีที่ดีสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็นวิธีหนึ่งคือ พยายามสร้างน้ำแข็งแต่เพียงบาง ๆ และเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความเย็นให้มากขึ้น การเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับทำน้ำแข็งทำได้โดยการเพิ่มจำนวนขดท่อน้ำยาในถังให้มากที่สุด

ปัญหาที่ตามมาจากการเพิ่มจำนวนท่อน้ำยาก็คือการเชื่อมต่อกันของน้ำแข็งระหว่างท่อทำให้น้ำเย็นที่ไหลหมุนเวียนโดยรอบไม่สามารถไหลไปตามช่องว่างระหว่างขดท่อได้ ซึ่งจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการละลายของน้ำแข็งลดลงฉะนั้นในระบบแบบนี้จึงต้องมีเครื่องอัดอากาศเพื่อสร้างฟองอากาศขึ้นในถัง ฟองอากาศที่สร้างขึ้นนี้จะทำให้น้ำเย็นมีการไหลหมุนเวียน และทำให้การสร้างน้ำแข็งเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ




รูปที่ 2.1 รูปแสดงวงจรการทำงานของระบบ Ice-on-coil



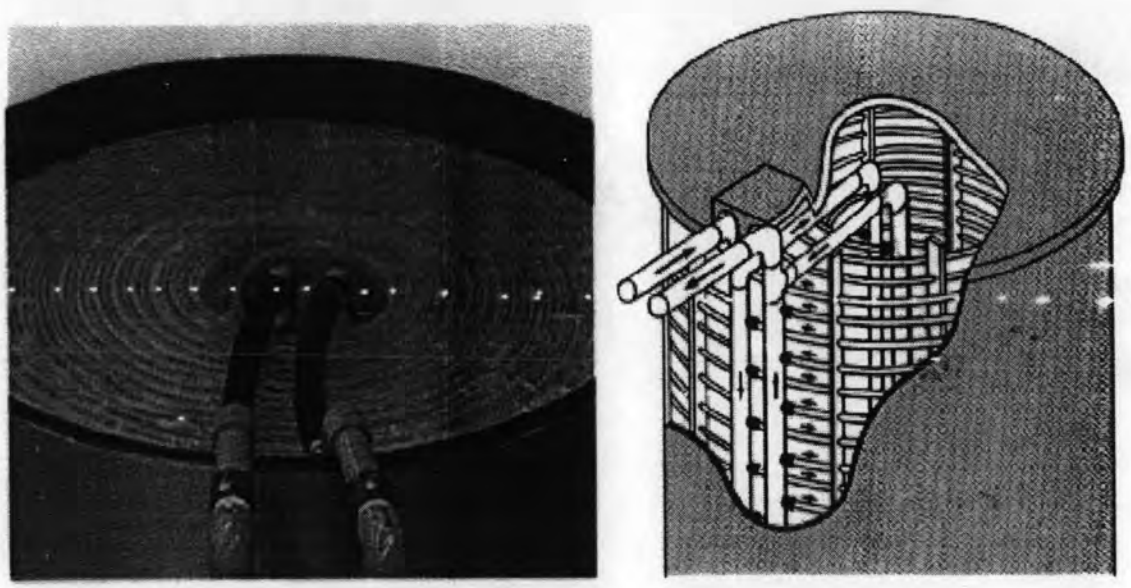
รูปที่ 2.2 รูปแสดงถังเก็บน้ำแข็งแบบ Ice-on-coil

**2) ระบบ Ice Tank (Solid Ice Brine Coil)**

ระบบแบบนี้ประกอบด้วยท่อพลาสติก และแผ่นพลาสติกหนาขดอยู่ในถังน้ำรูปทรงกระบอกดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยที่ท่อและแผ่นพลาสติกจะใช้พื้นที่ประมาณ 10% ของปริมาตรถัง เนื้อที่อีก 10% จะเป็นที่ว่างเพื่อสำหรับการขยายตัวของน้ำในขณะที่น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็ง และเนื้อที่ส่วนที่เหลือจะใส่น้ำไว้

การสร้างน้ำแข็งจะใช้สารส่งถ่ายความเย็นที่มีชื่อว่าสารละลาย Brine ซึ่งประกอบด้วย Ethylene Glycol 25% และน้ำ 75% ไหลภายในท่อเพื่อทำน้ำแข็ง โดยที่สารละลาย Brine จะรับความเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็นแล้วไหลภายในท่อพลาสติกทำให้น้ำในถังกลายเป็นน้ำแข็ง น้ำแข็งที่สร้างขึ้นจะมีความหนาประมาณ 10-13 มม. โดยปกติสารละลาย Brine ที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นจะมีอุณหภูมิประมาณ -3.5 °C และเมื่อไหลผ่านถังแล้วกลับมายังเครื่องทำน้ำเย็นสารละลาย Brine จะมีอุณหภูมิประมาณ -1 °C การทำน้ำแข็งจะทำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งปริมาณน้ำแข็งในถังมีประมาณ 90% เครื่องทำน้ำเย็นจะหยุดทำงานถังเก็บน้ำแข็งนี้ก็พร้อมที่จะนำไปใช้งานได้

การวัดปริมาณน้ำแข็งในถังสามารถทำได้โดยทำการตรวจสอบระดับของน้ำในถังในขณะที่น้ำในถังเป็นน้ำแข็งมากขึ้นเรื่อย ๆ ระดับน้ำจะค่อย ๆ สูงขึ้น เพราะน้ำแข็งมีปริมาตรต่อมวลมากกว่าน้ำ 9%



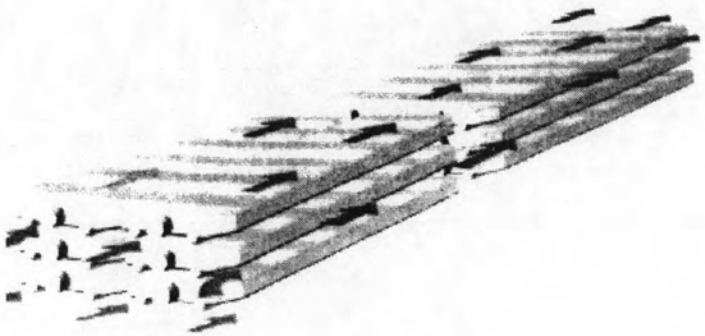
รูปที่ 2.3 รูปแสดงถังเก็บน้ำแข็งแบบ Ice Tank

### 3) ระบบ Ice Container (Ice in Rectangular Container หรือ Ice Ball )

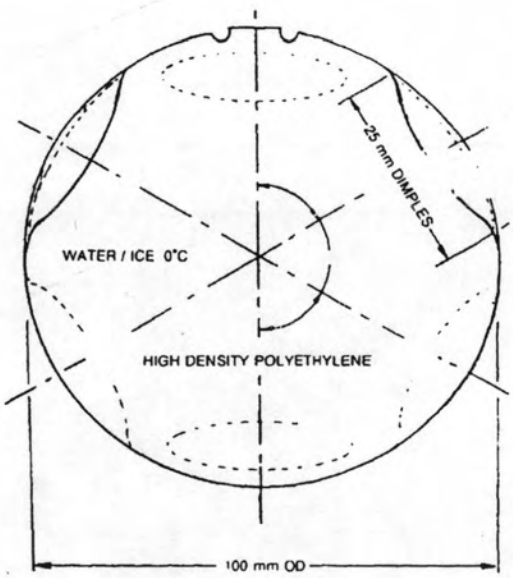
ระบบแบบนี้ประกอบด้วยภาชนะพลาสติกที่มีรูปร่างเหลี่ยม หรือ ทรงกลม ภายในบรรจุด้วย Deionized Water ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และ 2.5 ภาชนะรูปทรงกลมหรือที่มีชื่อเรียกว่า Ice Ball มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 100 มม. ส่วนภาชนะรูปเหลี่ยมจะมีขนาดประมาณ 55 มม. x 500 มม. x 760 มม. Ice Ball หรือภาชนะรูปเหลี่ยมจะถูกเก็บไว้ในถังเก็บน้ำแข็งได้หลายแบบ ดังนี้ ถังอัดความดันที่ทำด้วยเหล็ก ถังคอนกรีตที่เปิดสู่บรรยากาศ และถังที่ทำจาก Fiber Glass หรือ Polyethylene การใช้ระบบแบบนี้ Ice Ball หรือภาชนะรูปเหลี่ยมสามารถบรรจุในถังเก็บน้ำแข็งแบบใดก็ได้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งานของอาคาร

การสร้างน้ำแข็งสามารถทำได้โดยส่งสารละลาย Brine ที่ได้จากเครื่องทำน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิประมาณ -6 ถึง -3 °C ไหลผ่านถังเก็บน้ำแข็งทำให้ Deionized Water ภายใน Ice Ball หรือภาชนะรูปเหลี่ยม เปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็ง วัสดุที่ใช้ทำ Ice Ball และภาชนะรูปเหลี่ยมจะต้องได้รับการออกแบบให้มีความยืดหยุ่นเพียงพอที่จะสามารถรับการขยายตัวของน้ำกลายเป็นน้ำแข็ง โดยที่ภาชนะแต่ละแบบจะมีการออกแบบที่ต่างกัน ดังนี้ Ice Ball จะถูกออกแบบให้มีการขยายตัวที่รอยบุ๋มรอบผิวทรงกลม ส่วนภาชนะรูปเหลี่ยมจะถูกออกแบบให้มีการขยายตัวทางด้านข้าง เมื่อต้องการความเย็นจากถังเก็บน้ำแข็ง สารละลาย Brine จะไหลมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับ Ice Ball หรือภาชนะรูปเหลี่ยม ทำให้สารละลาย Brine มีอุณหภูมิต่ำลงพร้อมที่จะนำไปส่งความเย็นให้กับระบบจ่ายลมเย็นตามที่ต้องการ

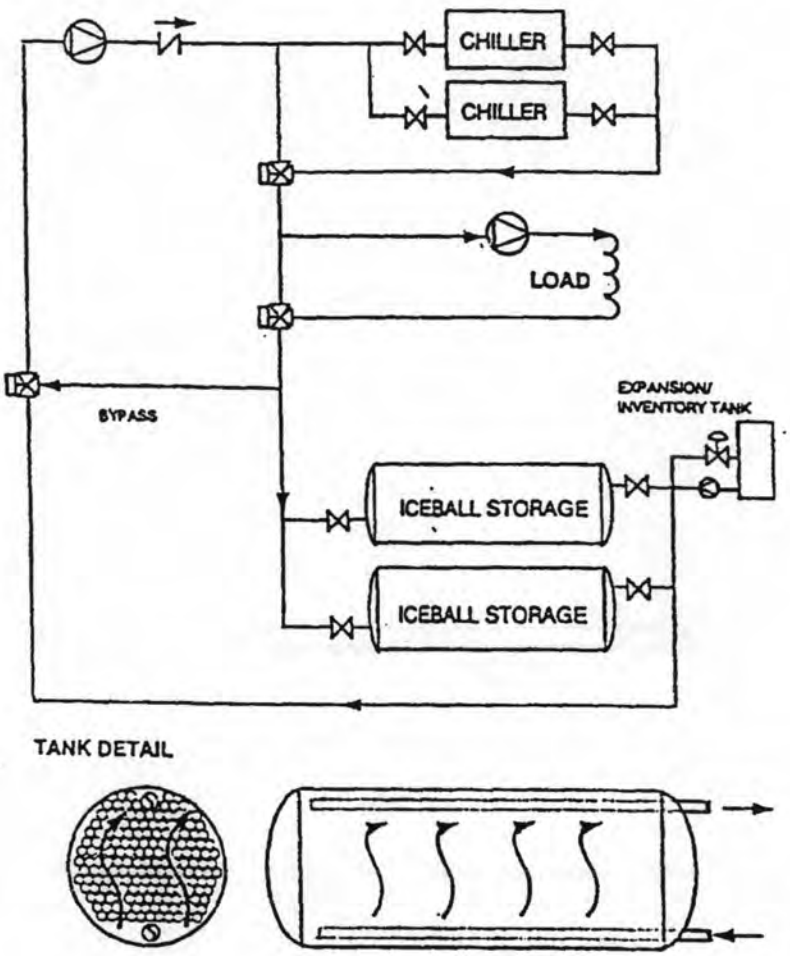
การวัดและควบคุมปริมาณน้ำแข็งที่เกิดขึ้นของ Ice Ball หรือ ในภาชนะรูปเหลี่ยมสามารถทำได้โดยการตรวจสอบปริมาณสารละลาย Brine ใน Expansion/Inventory Tank ดังแสดงในรูปที่ 2.6 สาเหตุที่ระดับของสารละลาย Brine ใน Expansion Tank เปลี่ยนไปได้ก็เพราะผิวของ Ice Ball หรือผิวข้างของภาชนะรูปเหลี่ยมมีลักษณะเป็นปุ่มที่หุบเข้าออกได้ เมื่อ Deionized Water กลายเป็นน้ำแข็งปุ่มนี้จะพองตัวดันให้สารละลาย Brine ไหลเข้าไปยัง Expansion Tank/Inventory Tank



รูปที่ 2.4 รูปแสดงระบบ Ice Container แบบ Ice in Rectangular Container




รูปที่ 2.5 รูปแสดงระบบ Ice Container แบบ Ice Ball



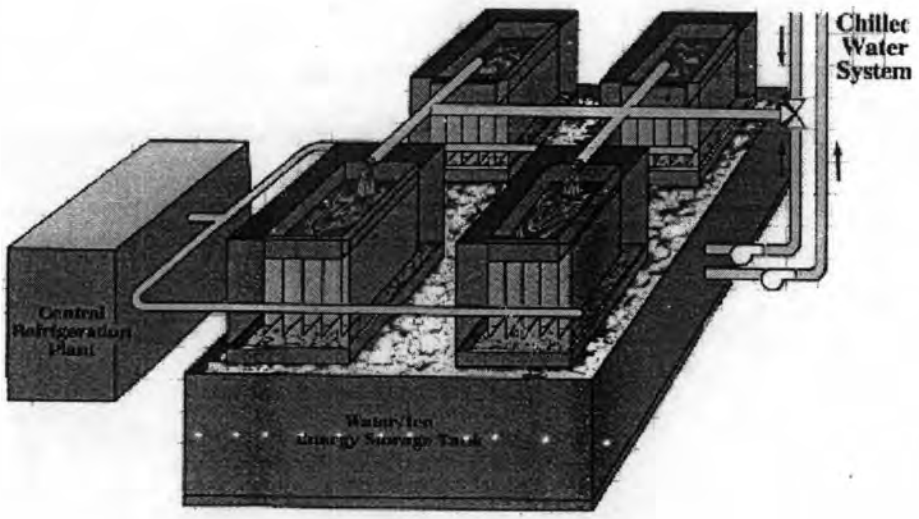

รูปที่ 2.6 รูปแสดงวงจรการทำงานของระบบ Ice Container

**4) ระบบ Ice Harvester**

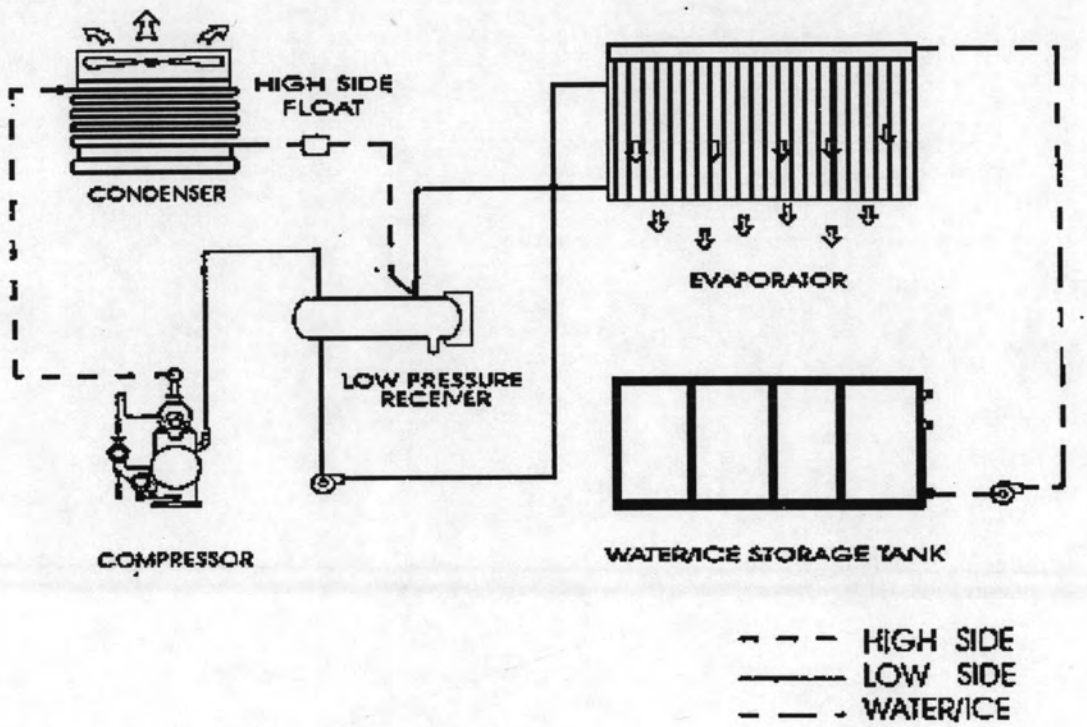
ระบบแบบนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนผลิตน้ำแข็ง และส่วนเก็บน้ำแข็ง (ice/cold water storage) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และ 2.8 แต่ละส่วนมีระบบควบคุมการทำงานของตนเอง ส่วนผลิตน้ำแข็งประกอบด้วยส่วนประกอบ ดังนี้ Multiple Plate หรือ Cylindrical Evaporator, Compressor, Condenser, Expansion Valve และ ปั๊มไหลเวียนน้ำ และส่วนเก็บน้ำแข็ง (ice/cold water storage) จะเป็นภาชนะรูปเหลี่ยมทำด้วยคอนกรีต

การสร้างน้ำแข็งสามารถทำได้โดยการปั๊มน้ำจากถังเก็บน้ำแข็งผ่านภายนอกแผ่นอีแวปพอเรเตอร์ (evaporator plate) ที่มีสารทำความเย็นไหลอยู่ภายใน น้ำจะกลายเป็นน้ำแข็งเกาะที่ผิวนอก เมื่อน้ำแข็งมีความหนาประมาณ 6 ถึง 10 มม. น้ำแข็งจะถูกละลายออกด้วยการพ่น hot gas เข้าไปยังแผ่นอีแวปพอเรเตอร์ น้ำแข็งจะตกลงมายังถังเก็บน้ำแข็ง กระบวนการนี้จะถูกทำซ้ำอีกจนกระทั่งมีน้ำแข็งเต็มถังเก็บน้ำแข็ง เครื่องทำน้ำเย็นจึงจะหยุดทำงาน และถังเก็บน้ำแข็งนี้ก็พร้อมที่จะนำไปใช้งานได้

ข้อดีของระบบแบบนี้ คือ เครื่องทำความเย็นของระบบแบบนี้อุณหภูมิทำงานของอีแวปพอเรเตอร์จะสูงกว่าอุณภูมิทำงานของอีแวปพอเรเตอร์ระบบ Ice-on-coil ซึ่งจะทำให้เครื่องทำน้ำเย็นทำงานที่ประสิทธิภาพสูงกว่า อีกประการหนึ่ง คือ อุณหภูมิของน้ำเย็นที่นำไปใช้งานจะมีอุณหภูมิที่ต่ำ และคงที่ เนื่องมาจากเป็นการละลายของน้ำแข็งที่ลอยอยู่ในน้ำทำให้การละลายซึ่งเป็นการถ่ายความเย็นให้แก่น้ำได้ดีกว่าการละลายของน้ำแข็งของระบบแบบอื่น ข้อเสียของระบบนี้ คือ ถังเก็บน้ำแข็งจะมีขนาดใหญ่กว่าถังเก็บน้ำแข็งของระบบ Ice-on-coil และการละลายน้ำแข็งให้ตกลงมาด้วย Hot Gas จะเป็นการคายความร้อนให้กับระบบ




รูปที่ 2.7 รูปแสดงระบบ Ice Harvester




รูปที่ 2.8 รูปแสดงวงจรการทำงานของระบบ Ice Harvester

### 2.1.2 การออกแบบระบบ Ice Storage

การออกแบบระบบ Ice Storage ที่ดีจะต้องมีระยะเวลาคุ้มทุนที่สั้นที่สุด ปัจจัยที่มีผลต่อความคุ้มทุนที่สำคัญ คือค่า TOD Rate ฉะนั้น ในการออกแบบจะต้องพิจารณาค่า TOD Rate ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการศึกษาความคุ้มทุนของระบบ Ice Storage การออกแบบระบบ Ice Storage สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนได้ ดังนี้

- คำนวณภาระความร้อนรายชั่วโมง (cooling load)
- กำหนดกลยุทธ์การทำงาน (control strategy)
- กำหนดวัฏจักรการทำน้ำแข็ง (charging cycle)
- หาขนาดของถังเก็บน้ำแข็ง
- เลือกระบบ Ice Storage และอุปกรณ์ต่างๆ
- หาค่าความคุ้มทุน

#### 1) คำนวณภาระความร้อนรายชั่วโมง (cooling load)

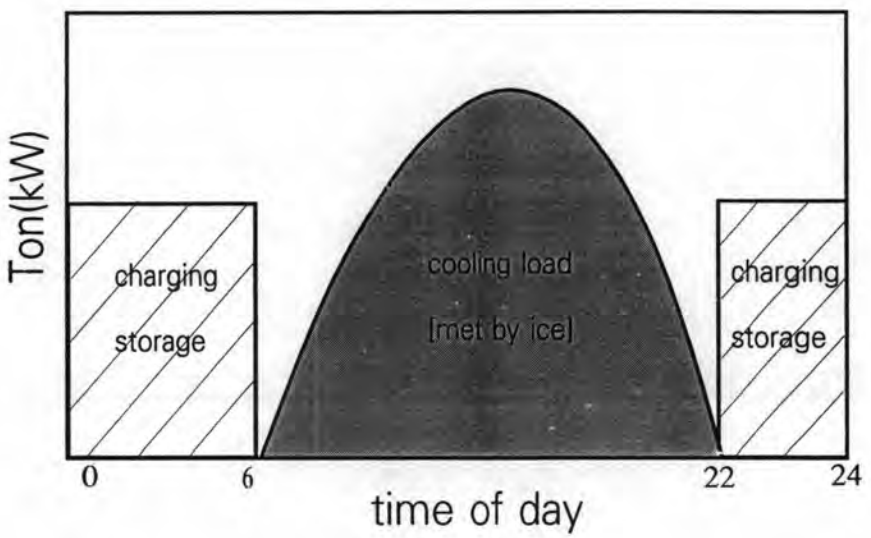
การคำนวณภาระความร้อนรายชั่วโมงสำหรับอาคารที่ต้องการออกแบบระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Storage จะต้องทำการคำนวณตลอด 24 ชั่วโมงของวันที่ทำการออกแบบ (design day) การคำนวณภาระความร้อนรายชั่วโมงจะทำการคำนวณด้วยวิธีการที่เหมือนกับการคำนวณภาระความร้อนสำหรับระบบปรับอากาศแบบเดิม การคำนวณภาระความร้อนรายชั่วโมงจะทำการคำนวณตามคำแนะนำของ ASHRAE ซึ่งวิธีการคำนวณดังกล่าวได้เขียนไว้ในหนังสือ ASHRAE Handbook-Fundamentals

#### 2) กำหนดกลยุทธ์การทำงาน (control strategy)

การเลือกกลยุทธ์การทำงานของระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Storage จะส่งผลต่อขนาดถังเก็บน้ำแข็ง และขนาดเครื่องทำน้ำเย็น การออกแบบระบบ Ice Storage สามารถออกแบบให้ระบบการเก็บน้ำแข็งทำงานด้วยลักษณะการเก็บน้ำแข็ง 2 แบบ ดังนี้

- Full Ice Storage
- Partial Ice Storage

ก. Full Ice Storage คือ ระบบ Ice Storage ที่มีการทำความเย็นเก็บไว้ในรูปน้ำแข็งในช่วงเวลาที่ไม่มีภาระความร้อน โดยปกติช่วงเวลาดังกล่าวจะเป็นช่วงที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าต่ำ (off peak period) ความเย็นที่ถังเก็บไว้จะมีปริมาณมากพอที่จะนำมาใช้ในช่วงเวลาที่มีภาระความร้อน โดยไม่ต้องนำความเย็นเพิ่มจากเครื่องทำน้ำเย็น กลยุทธ์การทำงานแบบนี้เป็นกลยุทธ์การทำงานที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ที่มีเวลาการใช้ความเย็นในช่วงเวลาที่สั้นเมื่อเทียบกับช่วงเวลาที่ใช้ในการทำน้ำแข็ง ลักษณะการทำงานของเครื่องทำน้ำแข็งที่ทำงานด้วยระบบแบบนี้แสดงในรูปที่ 2.9




รูปที่ 2.9 รูปแสดงกลยุทธ์การทำงานแบบ Full Storage

ข. Partial Ice Storage คือ ระบบ Ice Storage ที่มีการทำความเย็นเก็บไว้ในรูปน้ำแข็งในช่วงเวลาที่ไม่มีภาระความร้อน โดยปกติช่วงเวลาดังกล่าวจะเป็นช่วงที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าต่ำ แล้วนำความเย็นมาใช้ในช่วงที่มีภาระความร้อน โดยในช่วงที่มีภาระความร้อนความเย็นจะได้มาจากทั้งเครื่องทำน้ำเย็น และถังเก็บน้ำแข็ง การทำความเย็นด้วยกลยุทธ์การทำงานแบบนี้จะทำให้เครื่องทำน้ำเย็นมีขนาดเล็กกว่าระบบทำความเย็นที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็นเพียงอย่างเดียวการเก็บน้ำแข็งแบบนี้เราสามารถจัดการกับการทำงานของส่วนต่างๆ ได้หลายวิธี ดังนี้

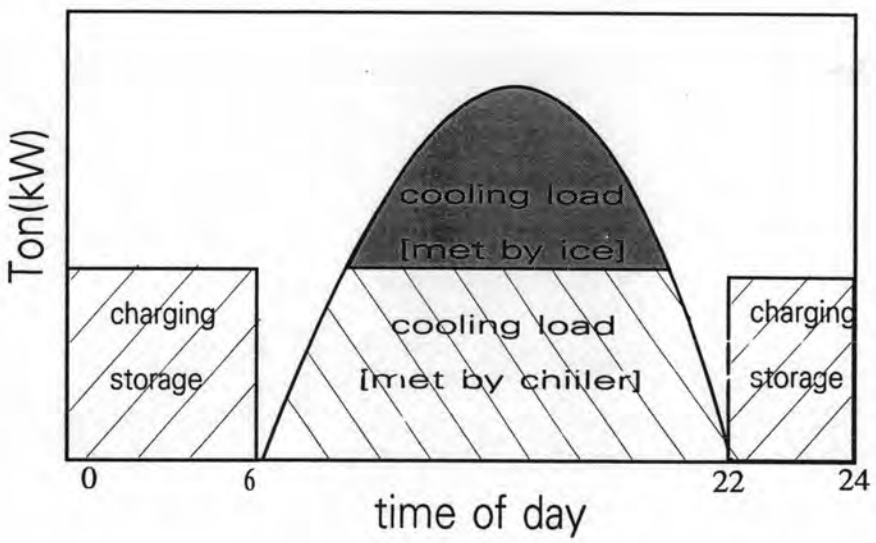
- การใช้พลังงานไฟฟ้า
- การทำงานของเครื่องทำความเย็น
- การวางตำแหน่งของเครื่องทำความเย็นและถังเก็บน้ำแข็ง

1. การใช้พลังงานไฟฟ้า

กลยุทธ์การทำงานแบบ partial ice storage สามารถจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารโดยแบ่งออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

- Load-leveling System
- Demand-limiting System

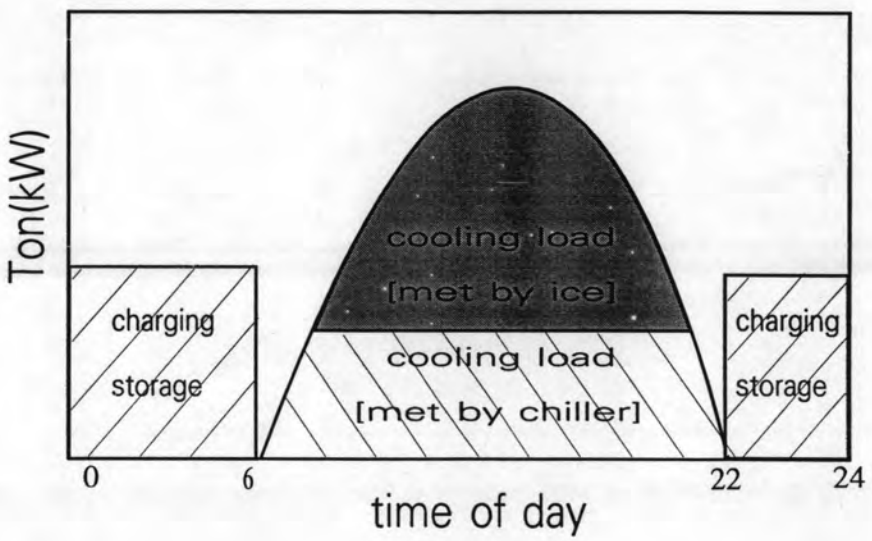
1.1 Load-leveling System ระบบแบบนี้เครื่องทำน้ำเย็นจะทำงานที่เต็มความสามารถ (full load) ตลอดเวลาการทำงาน การทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นอาศัยหลักการที่ว่าถ้าเวลาใดปริมาณความเย็นที่ต้องการของอาคารมีค่าน้อยกว่าปริมาณความเย็นที่ได้รับจากเครื่องทำน้ำเย็น ความเย็นส่วนที่เกินจะถูกเก็บไว้ที่ถังเก็บน้ำแข็ง และถ้าเวลาใดที่ปริมาณความเย็นที่ต้องการของอาคารมีค่ามากกว่าปริมาณความเย็นที่ได้รับจากเครื่องทำน้ำเย็น ความเย็นส่วนที่ขาดจะนำมาจากถังเก็บน้ำแข็ง ลักษณะการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ทำงานด้วยระบบแบบนี้แสดงในรูปที่ 2.10 การทำงานด้วยระบบแบบนี้จะทำให้เครื่องทำน้ำเย็น และถังเก็บน้ำแข็งมีขนาดเล็กลง




รูปที่ 2.10 รูปแสดงการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบ Load-leveling System

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 Demand-limiting System วัตถุประสงค์หลักที่สำคัญของการดำเนินงานด้วยระบบแบบนี้ คือ เพื่อจำกัดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าสูง ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีอัตราค่าความต้องการพลังไฟฟ้าแพง การลดความต้องการพลังไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสามารถทำได้โดยที่จะนำความเย็นที่ต้องการบางส่วนมาจากถังเก็บน้ำแข็งแทนที่จะนำความเย็นทั้งหมดมาจากเครื่องทำน้ำเย็นเพียงอย่างเดียว ลักษณะการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ทำงานด้วยระบบแบบนี้แสดงในรูปที่ 2.11 ระบบการทำความเย็นแบบนี้แตกต่างจากการทำความเย็นด้วยระบบแบบ Load-leveling System ตรงที่จะมีการนำความเย็นจากถังเก็บน้ำแข็งมาใช้เฉพาะในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าสูงเท่านั้น



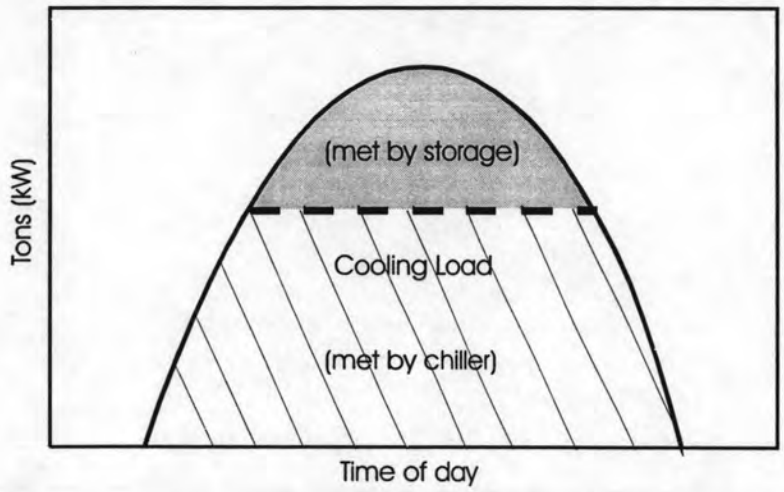

รูปที่ 2.11 รูปแสดงการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบ Demand-limiting System

2. การทำงานของเครื่องทำความเย็น

การทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Storage ที่ใช้การเก็บน้ำแข็งแบบ Partial Ice Storage สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

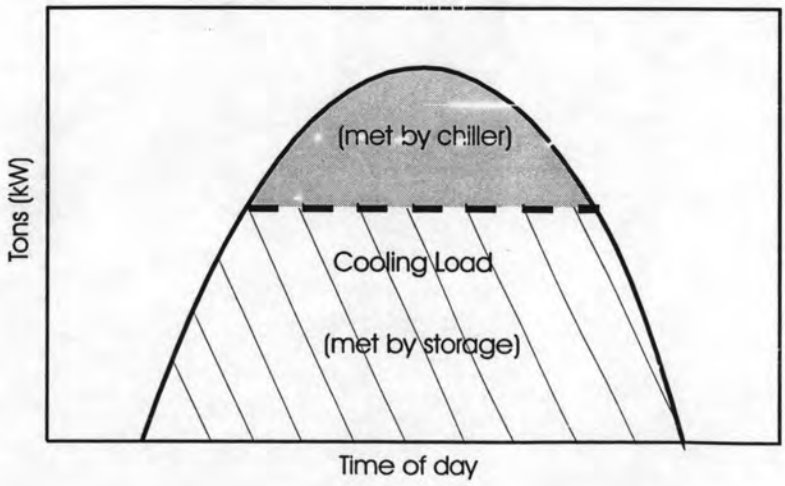
- Chiller Priority
- Ice Priority

2.1 Chiller Priority คือ ระบบทำความเย็นที่เครื่องทำน้ำเย็นทำงานที่ความสามารถสูงสุดเท่าที่จะทำได้ตลอดช่วงเวลาที่อาคารต้องการความเย็น ถ้าในเวลาใดปริมาณความเย็นที่ได้รับจากเครื่องทำน้ำเย็นไม่เพียงพอต่อความต้องการความเย็นของอาคาร ความเย็นส่วนที่ขาดจะนำมาจากถังเก็บน้ำแข็ง การทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบนี้แสดงไว้ในรูปที่ 2.12




รูปที่ 2.12 รูปแสดงการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบ Chiller Priority

2.2 Ice Priority คือ ระบบทำความเย็นที่ถังเก็บน้ำแข็งจะส่งความเย็นให้กับอาคารเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งตลอดช่วงเวลาที่อาคารต้องการความเย็น ถ้าเวลาใดความต้องการความเย็นจากอาคารมีค่ามากกว่าปริมาณความเย็นที่ได้จากถังเก็บน้ำแข็ง เครื่องทำน้ำเย็นทำงานช่วยส่งความเย็นมาเสริมส่วนที่ขาด การทำงานด้วยเครื่องทำน้ำเย็นแบบนี้แสดงไว้ในรูปที่ 2.13




รูปที่ 2.13 รูปแสดงการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบ Ice Priority

เมื่อทำการเปรียบเทียบระบบ Ice Storage ที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็นที่มีการทำงานแบบ Chiller Priority กับแบบ Ice Priority จะมีข้อแตกต่างที่สำคัญ 2 ข้อ คือ

ก) ขนาดของเครื่องทำน้ำเย็นของระบบ Ice Storage ที่มีการทำงานแบบ Chiller Priority จะมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของเครื่องทำน้ำเย็นของระบบ Ice Storage ที่มีการทำงานแบบ Ice Priority

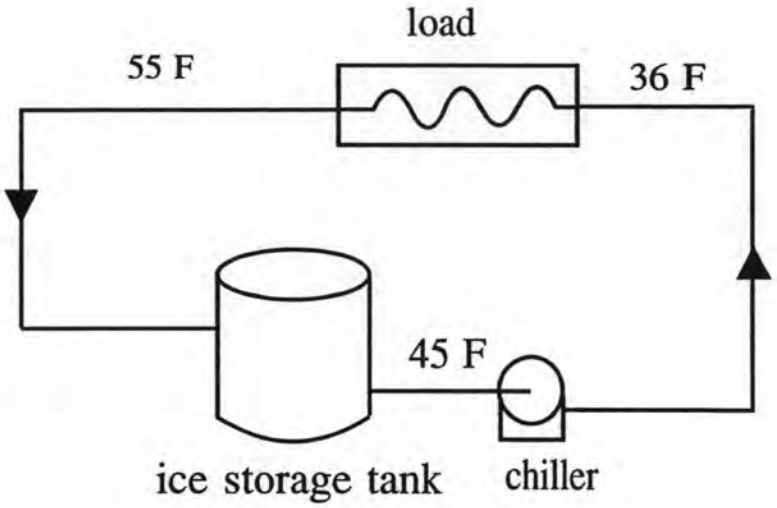
ข) ถังเก็บน้ำแข็งของระบบ Ice Storage ที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็นที่มีการทำงานแบบ Chiller Priority จะมีขนาดเล็กกว่าถังเก็บน้ำแข็งของระบบ Ice Storage ที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็นที่มีการทำงานแบบ Ice Priority

3. การวางตำแหน่งของเครื่องทำน้ำเย็น และถังเก็บน้ำแข็ง

การวางตำแหน่งเครื่องทำน้ำเย็น และถังเก็บน้ำแข็งของระบบปรับอากาศที่ใช้ระบบ Ice Storage จะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น และลักษณะการทำงานของถังเก็บน้ำแข็ง การวางตำแหน่งเครื่องทำน้ำเย็น และถังเก็บน้ำแข็งแบ่งได้เป็น 3 แบบ ดังนี้

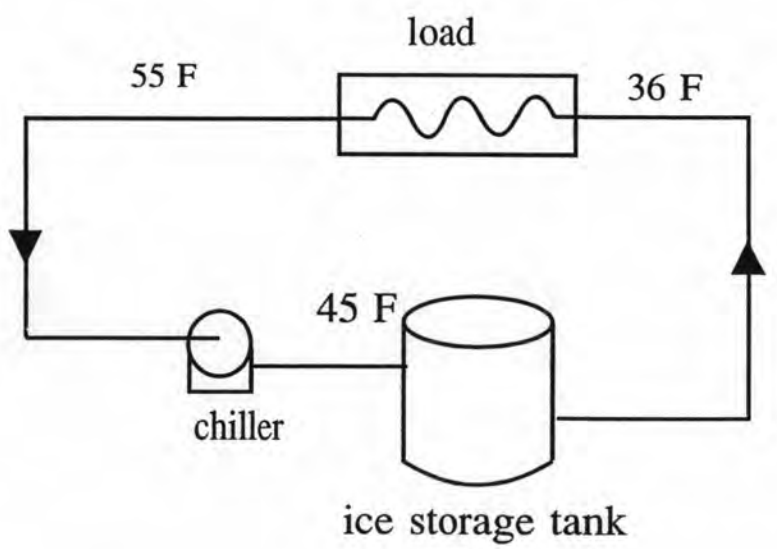
- Chiller Down Stream
- Chiller Up Stream
- Parallel

3.1 Chiller Down Stream การวางเครื่องทำน้ำเย็นแบบนี้ คือ การวางตำแหน่งของถังเก็บน้ำแข็ง และเครื่องทำน้ำเย็น ในลักษณะ ดังนี้ เมื่อเริ่มพิจารณาจากน้ำเย็นไหลกลับจากเครื่องจ่ายลมเย็น น้ำเย็นจะไหลผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามลำดับ ดังนี้ ขั้นแรกไหลผ่านถังเก็บน้ำแข็งขั้นต่อมาไหลผ่านเครื่องทำน้ำเย็น และขั้นสุดท้ายจะไหลไปจ่ายความเย็นให้กับอาคารที่เครื่องจ่ายลมเย็น วงจรการทำน้ำเย็นแบบนี้แสดงไว้ในรูปที่ 2.14 การทำงานด้วยระบบแบบนี้เครื่องทำน้ำเย็นจะทำงานที่อุณหภูมิต่ำกว่าการทำงานตามปกติ ซึ่งเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นลดลง



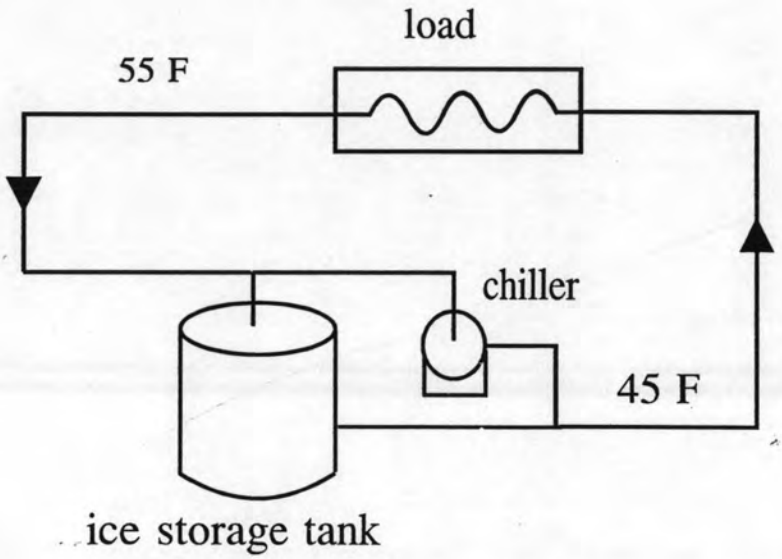

รูปที่ 2.14 รูปแสดงการวางตำแหน่งของเครื่องทำน้ำเย็นแบบ Chiller Down Stream

3.2 Chiller Up Stream การวางเครื่องทำน้ำเย็นแบบนี้ คือ การวางตำแหน่งของถังเก็บน้ำแข็ง และเครื่องทำน้ำเย็น ในลักษณะ ดังนี้ เมื่อเริ่มพิจารณาจากน้ำเย็นไหลกลับจากเครื่องจ่ายลมเย็น น้ำเย็นจะไหลผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามลำดับ ดังนี้ ขั้นแรกไหลผ่านเครื่องทำน้ำเย็นขั้นต่อมาไหลผ่านถังเก็บน้ำแข็ง และขั้นสุดท้ายจะไหลไปจ่ายความเย็นให้กับอาคารที่เครื่องจ่ายลมเย็นอีกครั้ง วงจรการทำน้ำเย็นแบบนี้แสดงไว้ในรูปที่ 2.15 การวางถังเก็บน้ำแข็งแบบนี้เครื่องทำน้ำเย็นทำงานที่ประสิทธิภาพสูงกว่าการวางเครื่องทำน้ำเย็นแบบ Chiller Down Stream




รูปที่ 2.15 รูปแสดงการวางตำแหน่งของเครื่องทำน้ำเย็นแบบ Chiller Up Stream

3.3 Parallel การวางถังเก็บน้ำแข็งแบบนี้ คือ การวางตำแหน่งของถังเก็บน้ำแข็ง และเครื่องทำน้ำเย็น ในลักษณะ ดังนี้ เมื่อเริ่มพิจารณาจากน้ำเย็นที่ไหลกลับจากเครื่องจ่ายลมเย็นน้ำเย็นจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งไหลผ่านเครื่องทำน้ำเย็น อีกส่วนหนึ่งไหลผ่านถังเก็บน้ำแข็ง เมื่อน้ำเย็นไหลผ่านอุปกรณ์ทั้งสองดังที่กล่าวมาข้างต้น น้ำเย็นจะไหลมารวมกันก่อนที่จะนำไปจ่ายความเย็นให้กับอาคารที่เครื่องจ่ายลมเย็นต่อไป วงจรการทำน้ำเย็นแบบนี้แสดงไว้ในรูปที่ 2.16 การทำงานแบบนี้ไม่ค่อยมีการใช้ เพราะระบบควบคุมการทำงานยุ่งยากกว่าระบบทั้งสองที่กล่าวมาข้างต้น



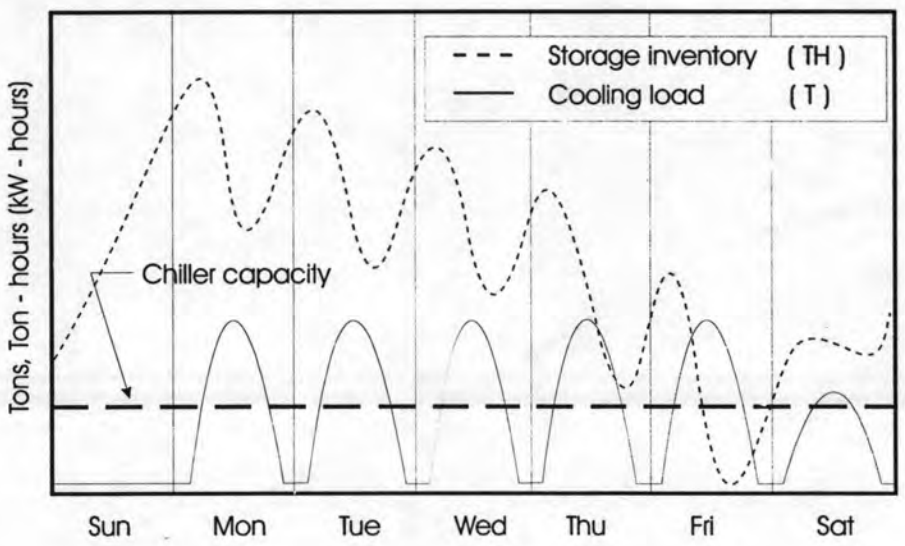

รูปที่ 2.16 รูปแสดงการวางตำแหน่งของเครื่องทำน้ำเย็นแบบ Parallel

**3) กำหนดวัฏจักรการทำน้ำแข็ง (charging cycle)**

การกำหนดวัฏจักรการทำน้ำแข็ง (charging cycle) สำหรับระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Storage จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยหลายประการเพื่อให้ได้ระบบการทำงานที่เหมาะสม วัฏจักรการทำน้ำแข็งที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีด้วยกัน 2 แบบ ดังนี้

- แบบทำน้ำแข็งทุกสัปดาห์ (weekly)
- แบบทำน้ำแข็งทุกวัน (daily)

ก. แบบทำน้ำแข็งทุกสัปดาห์ (weekly) วัฏจักรการทำน้ำแข็งของเครื่องทำน้ำเย็นแบบนี้เหมาะสำหรับใช้งานกับอาคารที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่มีอัตราค่าธรรมเนียมความต้องการพลังไฟฟ้าถูกในช่วงวันหยุด ระบบทำความเย็นที่มีการทำน้ำแข็งแบบนี้จะทำให้เครื่องทำน้ำเย็นมีขนาดเล็กลง แต่ขนาดของถังเก็บน้ำแข็งจะมีขนาดใหญ่กว่าการทำน้ำแข็งทุกวัน ในส่วนของการทำน้ำแข็งเครื่องทำน้ำเย็นของระบบแบบนี้จะทำการสร้างน้ำแข็งตลอดเวลาในช่วงวันหยุดและทำน้ำแข็งบางส่วนในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าต่ำของวันทำงาน การทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่มีวงรอบการทำน้ำแข็งแบบนี้แสดงในรูปที่ 2.17




รูปที่ 2.17 รูปแสดงวัฏจักรการทำน้ำแข็งแบบทำน้ำแข็งทุกสัปดาห์ (weekly)

ข. แบบทำน้ำแข็งทุกวัน (daily) เครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้วัฏจักรการทำน้ำแข็งแบบนี้จะทำการสร้างน้ำแข็งในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าต่ำของทุกวัน การทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้วัฏจักรการทำน้ำแข็งแบบนี้จะทำให้ขนาดของถังเก็บน้ำแข็งมีขนาดเล็กกว่าถังเก็บน้ำแข็งของเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้วัฏจักรการทำน้ำแข็งแบบทำน้ำแข็งทุกสัปดาห์

**4) การหาขนาดถังเก็บน้ำแข็ง**

ขนาดของถังเก็บน้ำแข็งสามารถหาได้จากกราฟภาระความร้อนรายชั่วโมงของอาคารในวันที่ทำการออกแบบ (design day) ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการหาขนาดของถังเก็บน้ำแข็งก็คือ การเลือกแบบการเก็บน้ำแข็ง การหาขนาดถังเก็บน้ำแข็งของการเก็บน้ำแข็งแต่ละแบบมีวิธีการ ดังนี้

ก. การหาขนาดถังเก็บน้ำแข็งของกลยุทธ์การทำงานแบบ Full Storage

จากกราฟภาระความร้อนรายชั่วโมงของวันที่ทำการออกแบบ (design day) นำมาหาพื้นที่ใต้กราฟจะได้ปริมาณภาระความร้อนรวมของวันที่มีหน่วยเป็น BTU หรือ TON-HOUR ขนาดของถังเก็บน้ำแข็งจะมีขนาดเท่ากับ ค่าปริมาณภาระความร้อนรวมที่ได้นำมาคิดเผื่อ ค่าสูญเสียความร้อนประมาณ 1-5% และค่าตัวประกอบความปลอดภัย (safety factor) ประมาณ 10 %

ข. การหาขนาดถังเก็บน้ำแข็งของกลยุทธ์การทำงานแบบ Partial Storage

การหาขนาดถังเก็บน้ำแข็งของการเก็บน้ำแข็งแบบนี้มีวิธีคำนวณเหมือนกับการหาขนาดถังเก็บน้ำแข็งของกลยุทธ์การทำงานแบบ Full Storage จะต่างกันตรงที่ขนาดของถังเก็บน้ำจะคิดจากปริมาณภาระความร้อนในเฉพาะส่วนที่ต้องการความเย็นจากถังเก็บน้ำแข็งเท่านั้น ขนาดของถังเก็บน้ำแข็งจะมีขนาดเท่ากับ ค่าปริมาณภาระความร้อนรวมที่ได้นำมาคิดเผื่อ ค่าสูญเสียความร้อนประมาณ 1-5% และค่าตัวประกอบความปลอดภัยประมาณ 10 %

**5) เลือกระบบ Ice Storage และอุปกรณ์ต่าง ๆ**

การออกแบบระบบปรับอากาศที่ใช้ระบบ Ice Storage จะต้องเลือกระบบ Ice Storage และอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้เหมาะสม เพื่อให้เกิดความคุ้มทุนเร็วที่สุด การเลือกส่วนประกอบทั้งสองที่กล่าวมาข้างต้น จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ หลายประการด้วยกัน ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงรายละเอียดของทั้งสองส่วน ดังนี้

- ระบบ Ice Storage
- อุปกรณ์

ก. ระบบ Ice Storage

การเลือกระบบ Ice Storage จะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ เช่น พื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้ง แบบการเก็บน้ำแข็ง เป็นต้น สำหรับแบบของระบบ Ice Storage ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.1.1

ข. อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้กับระบบปรับอากาศที่ใช้ระบบแหล่งสะสมพลังงานแบบเก็บโดยน้ำแข็ง จะประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก คือ อุปกรณ์ทำความเย็น (refrigeration equipment) และถังเก็บน้ำแข็ง สำหรับส่วนประกอบแต่ละส่วนมีรายละเอียด ดังนี้

1. อุปกรณ์ทำความเย็น ส่วนประกอบที่สำคัญของอุปกรณ์ทำความเย็น สำหรับระบบแหล่งสะสมพลังงานแบบเก็บโดยน้ำแข็ง คือ เครื่องทำน้ำเย็น คอนเดนเซอร์ (condenser) และสารทำความเย็น (refrigerant) การเลือกอุปกรณ์ที่กล่าวมาข้างต้นต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายประการดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิทำงาน ( operating temparature ) ของแต่ละอุปกรณ์
- ความสามารถในการทำงานของแต่ละอุปกรณ์
- ประสิทธิภาพการทำงานของแต่ละอุปกรณ์
- ราคาของแต่ละอุปกรณ์

ในส่วนของรายละเอียดของแต่ละอุปกรณ์ที่กล่าวมาข้างต้นจะขอกล่าวดังต่อไปนี้

1.1 เครื่องทำน้ำเย็น (chiller) เครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีด้วยกันหลายแบบ เช่น แบบ Reciprocating , แบบ Rotary , แบบ Screw , แบบ Centrifugal , แบบ Scroll และ แบบ Absorption ปัจจัยที่ต้องพิจารณาถึงลำดับแรกสำหรับการเลือกแบบของเครื่องทำน้ำเย็น สำหรับทำงานกับระบบปรับอากาศที่ใช้ระบบแหล่งสะสมพลังงานแบบเก็บโดยน้ำแข็งก็คือ อุณหภูมิทำงานของอีแวปพอเรเตอร์ (evaparator) ต้องอยู่ในช่วงที่สามารถสร้างน้ำแข็งได้ซึ่งจะอยู่ระหว่าง -12 °C ถึง -4 °C (10 °F ถึง 25 °F) และปัจจัยอีกอย่างหนึ่งต้องพิจารณาถึง คือ ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นแต่ละแบบจะแสดงในตารางที่ 2.1 เมื่อนำเครื่องทำน้ำเย็นแบบต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้นมาทำน้ำแข็ง อุณหภูมิทำงานของอีแวปพอเรเตอร์จะต่ำกว่าการทำงานปกติ ซึ่งจะส่งผลให้ค่า COP ของเครื่องทำน้ำเย็นลดลงไปจากภาวะการทำความเย็นปกติ นั่นคือ การใช้พลังงานไฟฟ้า kW/TR ของเครื่องทำน้ำเย็นที่ผลิตน้ำแข็งจะมีค่าสูงขึ้น สำหรับเครื่องทำน้ำเย็นแต่ละแบบจะมีค่า COP และ ค่า kW/TR ที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.2

เครื่องทำน้ำเย็นที่เลือกมาใช้กับระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Storage จะทำความเย็นได้เพียงประมาณ 60-70 % ของขนาดทำความเย็นปกติ (nominal capacity) เท่านั้น ฉะนั้นการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นควรคำนึงถึงขนาดทำความเย็นที่แท้จริงของเครื่องทำน้ำเย็นด้วย

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงช่วงความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นแบบต่าง ๆ

| Type | Capacity Range | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Models Available | | Typical Selection Range | |
| | Tons | kW | Tons | kW |
| Reciprocating | <25-450 | <90-1,600 | <25-150 | <90-530 |
| Screw | 25-1,250 | 90-4,400 | 50-500 | 180-1,800 |
| Centrifugal | 80-10,000 | 280-35,000 | 200-2,000 | 700-7,000 |
| Scroll | <20-60 | <70-1,600 | 20-60 | 70-210 |

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงค่า COP และ ค่า kW/TR ของเครื่องทำน้ำเย็นแต่ละแบบ

| Type | chiller mode | | ice mode | |
|---|---|---|---|---|
| | COP | kW/TR | COP | kW/TR |
| Reciprocating | 4.1-5.4 | 0.65-0.85 | 2.9-3.9 | 0.9-1.2 |
| Screw | 4.1-5.4 | 0.65-0.85 | 2.9-3.9 | 0.9-1.2 |
| Centrifugal | 5-5.9 | 0.6-0.7 | 3.5-4.1 | 0.85-1.0 |
| Scroll | 3.1-4.1 | 0.85-1.15 | 2.7-2.9 | 1.2-1.3 |

1.2 คอนเดนเซอร์ (condenser) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนจากสารทำความเย็นออกสู่บรรยากาศ คอนเดนเซอร์ที่ใช้กับระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Storage ก็จะเหมือนกับที่ใช้กับระบบปรับอากาศแบบเดิม ซึ่งสามารถใช้ได้หลายแบบ ดังนี้

- คอนเดนเซอร์แบบใช้น้ำหล่อเย็น (water-cooled)
- คอนเดนเซอร์แบบใช้อากาศหล่อเย็น (air-cooled)
- คอนเดนเซอร์แบบการหล่อเย็นด้วยการระเหย (evaperative cooling)

การเลือกแบบของคอนเดนเซอร์ควรจะคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ หลายประการ ดังนี้ พื้นที่ที่ใช้ติดตั้งอุปกรณ์ เช่น ถ้าในอาคารนั้นมีพื้นที่ที่ค่อนข้างน้อยควรใช้คอนเดนเซอร์แบบใช้อากาศหล่อเย็น (air-cooled) หรือ คอนเดนเซอร์แบบการหล่อเย็นด้วยการระเหย (evaperative cooling) และ มีความเหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน เช่น ถ้าบริเวณที่ตั้งอาคารนั้นไม่ต้องการความชื้นในบรรยากาศสูงควรใช้คอนเดนเซอร์แบบใช้อากาศหล่อเย็น (air-cooled)

1.3 สารทำความเย็น (refrigerant) สารทำความเย็นที่ใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Storage ก็คือสารทำความเย็นชนิดเดียวกันกับสารทำความเย็นที่ใช้กับระบบปรับอากาศแบบเดิม สารทำความเย็นที่ใช้จะแตกต่างตามแบบของเครื่องทำน้ำเย็น ดังนี้ เครื่องทำน้ำเย็นแบบ Positive Displacement ต้องใช้สารทำความเย็นที่สามารถทำงานที่ความดันสูง โดยปกติแล้วจะใช้ HCFC-22 หรือ R-717 (แอมโมเนีย) เป็นสารทำความเย็น และ เครื่องทำน้ำเย็นแบบ Centrifugal โดยปกติแล้วจะใช้ HFC-134a หรือ HCFC-123 เป็นสารทำความเย็น

2. ถังเก็บน้ำแข็ง ถังเก็บน้ำแข็งที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะมีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ หรือ ทรงกระบอก วัสดุที่ใช้ทำตัวถังจะต้องมีคุณสมบัติต่าง ๆ ที่เหมาะสมดังนี้

- มีความแข็งแรงพอที่จะรับแรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อผนัง เช่น แรงเนื่องจากความดันน้ำ แรงดันจากดินข้างผนัง (ในกรณีที่ถังฝังดิน) และ ถ้าในกรณีที่บริเวณเหนือถังเก็บน้ำแข็ง (ice storage tank) ใช้เพื่อทำประโยชน์อื่น เช่น ลานจอดรถ สนามเทนนิส ลานจอดเฮลิคอปเตอร์ เป็นต้น การออกแบบถังจะต้องคำนึงแรงกระทำจากสิ่งเหล่านี้ด้วย
- ทนการสึกกร่อน
- ป้องกันการรั่วซึมได้
- ค่าสภาพการนำความร้อนต่ำ

การหาขนาดถังเก็บน้ำแข็งจะต้องพิจารณาถึงการสูญเสียความร้อนของถังด้วย โดยปกติแล้วการออกแบบขนาดถังเก็บน้ำแข็งจะคิดค่าสูญเสียความร้อนมีค่าประมาณ

1-5 % ของขนาดถังเก็บน้ำแข็ง ถ้าต้องคำนวณอย่างละเอียดสามารถคำนวณโดยใช้สูตรพื้นฐานของการถ่ายเทความดังแสดงในสมการ (2.1)

$$Q=UA(t_{out}-t_{in}) \quad \text{.....} \quad (2.1)$$

Q = การสูญเสียความร้อนจากการนำความร้อน (Btu/h,W)

A = พื้นที่ผิวของถังเก็บน้ำแข็ง ($ft^2$,$m^2$)

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของถังเก็บน้ำแข็ง [Btu/($^{\circ}F.h.ft^2$),W/($m^2.K$)]

$t_{out}$ = อุณหภูมิสภาวะภายนอกถังเก็บน้ำแข็ง ($^{\circ}F$,$^{\circ}C$)

$t_{in}$ = อุณหภูมิของสารที่เก็บในถังเก็บน้ำแข็ง ($^{\circ}F$,$^{\circ}C$)

6) หาค่าความคุ้มทุน

การหาความคุ้มทุนของอาคารที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Storage สามารถทำเป็นขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนแรก ใช้โปรแกรมวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคารประมาณค่าการใช้พลังงานของอาคารที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบเดิมและอาคารที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Storage ขั้นตอนต่อมา นำค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารของระบบปรับอากาศทั้ง 2 แบบ มาคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOD Rate และขั้นตอนสุดท้าย นำค่าไฟฟ้าที่ได้มาคิดความคุ้มทุนของระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Storage (รายละเอียดการหาระยะเวลาคืนทุนกล่าวไว้ในหัวข้อ 2.3)

## 2.2 โปรแกรมวิเคราะห์การใช้พลังงาน (energy simulation)

โปรมแกรมวิเคราะห์การใช้พลังงาน คือ โปรแกรมที่ใช้ประมาณค่าการใช้พลังงานในส่วนต่าง ๆ ของอาคาร ในส่วนนี้จะกล่าวถึงโปรแกรมวิเคราะห์การใช้พลังงานแต่ละโปรแกรม โดยจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

- โปรแกรมวิเคราะห์การใช้พลังงานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน
- โปรแกรมวิเคราะห์การใช้พลังงานที่ใช้สำหรับประมาณค่าการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานใหญ่การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย

### 2.2.1 โปรแกรมวิเคราะห์การใช้พลังงานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

โปรแกรมวิเคราะห์การใช้พลังงานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีด้วยกันหลายโปรแกรม โดยแต่ละโปรแกรมมี ขั้นตอนการคำนวณ วัตถุประสงค์ของการเขียนโปรแกรม และรายละเอียดในส่วนต่างๆ ที่ต่างกัน โปรแกรมที่ใช้กันอยู่พอจะสรุปได้ ดังนี้

- โปรแกรม COMFIE
- โปรแกรม CASAMO
- โปรแกรม TRACE
- โปรแกรม DOE

1) โปรแกรม COMFIE

โปรแกรม COMFIE คือ โปรแกรมประมาณค่าการใช้พลังงานในอาคารที่เหมาะสมสำหรับช่วยในการออกแบบลักษณะของทางสถาปัตยกรรม เพื่อให้อาคารที่ทำการออกแบบประหยัดพลังงานโดยอาศัยโครงสร้างของอาคารในการบังเงาแสงแดด และช่วยในการควบคุมภาวะความสุขสบาย (thermal comfort) ในอาคาร

โปรแกรมนี้ถูกสร้างขึ้นโดยหน่วยงานที่ชื่อว่า L'ECOLE DE MINES DE PARIS ประเทศฝรั่งเศส สำหรับโปรแกรมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน คือ โปรแกรม COMFIE Version 3.3

ในส่วนของการคำนวณภาระความร้อน โปรแกรมนี้จะทำการคำนวณภาระความร้อนแบบรายชั่วโมงตลอดปี (8760 ชั่วโมง) โดยใช้การคำนวณด้วยวิธี Finite Different สำหรับหลายโซน ข้อมูลอากาศที่ใช้จะต้องอยู่ในรูปแบบมาตรฐาน Short Reference Years (SRY)หรือ Test Reference Years (TRY) ในส่วนของการแสดงผลโปรแกรมนี้จะแสดงเฉพาะค่าภาระความร้อนของอาคาร

2) โปรแกรม CASAMO

โปรแกรม CASAMO คือ โปรแกรมประมาณค่าการใช้พลังงานในอาคารที่สร้างขึ้นเพื่อช่วยในการปรับปรุงภาวะความสุขสบายของสภาวะอากาศภายในอาคาร โดยพยายามจำกัดค่าใช้จ่ายในการลงทุนเพิ่ม และค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงาน

โปรแกรมนี้ถูกสร้างขึ้นโดยหน่วยงานที่ชื่อว่า AFME ประเทศฝรั่งเศส ในปี พ.ศ. 2531 เริ่มแรกโปรแกรม CASAMO ถูกเขียนเป็นโปรแกรมภาษาฝรั่งเศส ต่อมาในปี พ.ศ. 2537 ได้มีการว่าจ้างให้ทางสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (Asian Institute of Technology) แปลจากโปรแกรมภาษาฝรั่งเศสเป็นโปรแกรมภาษาอังกฤษ สำหรับโปรแกรมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นโปรแกรม CASAMO Version 2.0

ในส่วนของการคำนวณภาระความร้อน โปรแกรมนี้จะใช้การคำนวณภาระความร้อนแบบรายชั่วโมงของวันที่เป็นตัวแทนที่ดีของทุกวัน (typical day) โดยใช้การคำนวณด้วยวิธี Finite Different สำหรับโซนเดียว ข้อมูลอากาศที่ใช้จะเป็นตัวแทนข้อมูลของวันที่ต้องการคำนวณภาระความร้อน ในส่วนของการแสดงผลโปรแกรมนี้จะแสดงเฉพาะค่าภาระความร้อนของอาคาร

3) โปรแกรม TRACE

โปรแกรม TRACE คือ โปรแกรมประมาณค่าการใช้พลังงานในอาคารที่ถูกสร้างขึ้น เพื่อใช้ประมาณค่าการใช้พลังงาน และวิเคราะห์ถึงความคุ้มทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ของอาคาร โดยไม่คำนึงถึงภาวะความสุขสบายภายในอาคาร

โปรแกรมนี้ถูกสร้างขึ้น และพัฒนาโดยบริษัท TRANE จำกัด โปรแกรมที่ใช้กันอยู่มีด้วยกันหลายรุ่น รุ่นที่มีการคำนวณ และแสดงผลที่ค่อนข้างละเอียดกว่ารุ่นอื่น คือ TRACE-600

ในส่วนของการคำนวณภาระความร้อน โปรแกรมนี้จะใช้การคำนวณภาระความร้อนแบบรายชั่วโมงของวันที่เป็นตัวแทนที่ดี (typical day) 6 วัน ของแต่ละเดือนตลอดปี วันที่ทำการคำนวณภาระความร้อนทั้ง 6 วันของแต่ละเดือน ได้แก่ วันที่ทำการออกแบบ (design day), วันจันทร์, วันทำงาน, วันหยุด, วันเสาร์ และวันอาทิตย์ สำหรับวิธีการคำนวณภาระความร้อนโปรแกรม TRACE สามารถใช้วิธีการคำนวณได้หลายวิธี เช่น TFM, CLTD/CLF และ TETD/TA ข้อมูลอากาศที่ใช้จะต้องเป็นข้อมูลอากาศรายชั่วโมงของวันที่เป็นตัวแทนที่ดีของแต่ละเดือน ฉะนั้นจะต้องทำการใส่ข้อมูลอากาศทั้งสิ้น 12 วัน สำหรับการประมาณค่าการใช้พลังงานของอาคารตลอดปี การคำนวณด้วยโปรแกรมนี้จะทำการคำนวณแยกเป็นส่วนตามลำดับ ดังนี้ ขั้นแรกคำนวณภาระความร้อน ขั้นต่อมาทำการคำนวณในส่วนของระบบจ่ายลมเย็น (fan system) และ ขั้นสุดท้ายทำการคำนวณในส่วนของระบบเครื่องทำความเย็น (plant system) ในส่วนของการแสดงผลโปรแกรมนี้จะแสดงผลทั้งค่าภาระความร้อน และค่าพลังงานที่ใช้ในส่วนต่าง ๆ ของอาคาร

4) โปรแกรม DOE

โปรแกรม DOE คือ โปรแกรมประมาณค่าการใช้พลังงานในอาคารที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์การใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในอาคาร และยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ เพื่อช่วยในการออกแบบอาคารให้ประหยัดพลังงาน

โปรแกรมนี้ได้รับการพัฒนาโดยหน่วยงานที่ชื่อว่า The Simulation Research Group ตั้งอยู่ที่ Lawrence Berkeley Laboratory โดยได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานที่ชื่อว่า The US. Department of Energy โปรแกรม DOE ที่ทำการศึกษา คือ โปรแกรม DOE Version 2.1E หรือ เรียกชื่อย่อว่า FTIDOE

ในส่วนของการคำนวณภาระความร้อนโปรแกรมนี้จะทำการคำนวณภาระความร้อนแบบรายชั่วโมงตลอดปี (8760 ชั่วโมง) โดยใช้การคำนวณด้วยวิธี Thermal Responese Factors (Weighting Factor) สำหรับหลายโซน ข้อมูลอากาศที่ใช้จะต้องเก็บในรูปแบบมาตรฐาน ดังนี้ TRY (Test Reference Year), TMY (Test Meteological Year) และ 1440 Format การคำนวณด้วยโปรแกรมนี้จะทำการคำนวณแยกเป็นส่วนตามลำดับ ดังนี้

I 17434580

ขั้นแรกคำนวณภาระความร้อน ขั้นต่อมาทำการคำนวณในส่วนของระบบจ่ายลมเย็น (fan system) และ ขั้นสุดท้ายทำการคำนวณในส่วนของระบบเครื่องทำความเย็น (plant system) ในส่วนของการแสดงผลโปรแกรมนี้จะแสดงผลทั้งค่าภาระความร้อน และค่าพลังงานที่ใช้ในส่วนต่าง ๆ ของอาคาร

### 2.2.1 โปรแกรมวิเคราะห์การใช้พลังงานที่ใช้ประมาณค่าการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานใหญ่การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย

โปรแกรมวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคารที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ โปรแกรมที่มีชื่อว่า The Building Load Analysis & System Thermodynamics Program หรือ เรียกชื่อย่อว่า BLAST โปรแกรม BLAST ถูกสร้างขึ้นในปี พ.ศ. 2523 โดยหน่วยงานที่ชื่อว่า U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory (USACER) ภายใต้การสนับสนุนของกองทัพอากาศ กระทรวงกลาโหม สหรัฐอเมริกา ในช่วงเวลาที่ผ่านมาโปรแกรม BLAST ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจากหลายหน่วยงาน สำหรับโปรแกรมม BLAST ที่ใช้งานวิจัยนี้ คือ โปรแกรม BLAST Version 3.1 โปรแกรม BLAST Version 3.1 ได้รับการพัฒนาโดยหน่วยงานที่ชื่อว่า BLAST Support Office , Department of Mechanical & Industrial Engineering University of Illinois at Urbana-Champaign U.S.A. ด้วยความสนับสนุนจาก USACER

โปรแกรม BLAST คือ โปรแกรมที่ใช้สำหรับประมาณค่าการใช้พลังงานในอาคาร ของทั้งอาคารที่ออกแบบใหม่ และอาคารเก่าที่ต้องการการปรับปรุง โปรแกรมนี้สามารถประมาณค่าการใช้พลังงานของอาคารได้ละเอียดเป็นรายชั่วโมงได้ตลอดทั้งปี ในส่วนของการแสดงผลโปรแกรมนี้สามารถแสดงค่าการใช้พลังงานในส่วนต่าง ๆ ของอาคารที่ทำการประมาณค่าการใช้พลังงานได้หลายรูปแบบ ดังนี้ การใช้พลังงานรายชั่วโมง การใช้พลังงานรายเดือน และการใช้พลังงานรายปี

โปรแกรม BLAST มีความเหมาะสมที่จะใช้สำหรับประมาณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร ปตท. เพื่อทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Storage ในอาคาร ปตท. ด้วยเหตุผลหลายประการ ดังนี้

- โปรแกรมนี้มีโปรแกรมย่อยสำหรับประมาณค่าการใช้พลังงานในอาคารของอาคารที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบแหล่งสะสมพลังงานแบบเก็บโดยน้ำแข็ง (Ice Storage) ครบทั้ง 4 แบบ ได้แก่ ระบบ Ice-on-coil, ระบบ Ice Tank, ระบบ Ice Container และ ระบบ Ice Harvester

- โปรแกรมนี้สามารถใช้ข้อมูลอากาศจริงของประเทศไทยเพื่อใช้ในการประมาณค่าการใช้พลังงานในอาคาร ปตท.

- โปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมที่มี Source Code ของโปรแกรม ซึ่งเอื้ออำนวยต่อการปรับปรุงโปรแกรมให้เหมาะสำหรับการประมาณค่าการใช้พลังงานในอาคาร

สำหรับรายละเอียดในส่วนต่าง ๆ ของโปรแกรม BLAST จะขอกล่าวโดยแบ่งเป็นส่วน ๆ ดังนี้

- การดำเนินการของโปรแกรม BLAST
- โปรแกรมย่อยที่ช่วยในการทำงานของโปรแกรม BLAST
- ข้อจำกัดสำหรับการดำเนินงานของโปรแกรม BLAST

1) การดำเนินการของโปรแกรม BLAST

การดำเนินการของโปรแกรม BLAST จะประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินงานและส่วนประกอบอื่น ๆ อีกมากมาย ซึ่งจะสรุปเป็นขั้นตอนที่สำคัญ 3 ขั้นตอน ดังนี้

ก. ขั้นตอนการใส่ข้อมูล (input)
ข. ขั้นตอนการคำนวณ (calculation)
ค. ขั้นตอนการแสดงผล (output)

ก. ขั้นตอนการใส่ข้อมูล (input) คือ ขั้นตอนที่จำเป็นสำหรับการทำงานของโปรแกรม ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับโปรแกรมประกอบด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วน ดังนี้

- ข้อมูลอาคาร (input file)
- ข้อมูลอากาศ (weather data)

1. ข้อมูลอาคาร (input file) คือส่วนที่สำคัญที่จะบอกถึงคุณลักษณะต่าง ๆ ของอาคารสำหรับกำหนดการทำงานของโปรแกรม ในที่นี้จะขอกล่าวโดยแบ่งเป็น 4 ส่วนย่อย ดังนี้

- ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับโปรแกรม (load input)
- รายละเอียดของอาคาร (building description)
- ระบบจ่ายลมเย็น (fan system)
- ระบบเครื่องทำน้ำเย็น (central plant)

1.1 ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับโปรแกรม (load input) เป็นคำสั่งเริ่มต้นของข้อมูลอาคารคำสั่งในส่วนนี้จะเป็นคำสั่งที่บอกให้โปรแกรมทราบถึงข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการทำงานของโปรแกรม ดังนี้

- หน่วยที่ใช้ใน Input File และ Output File
- ผลลัพธ์ที่ต้องการให้โปรแกรมแสดงใน Output File
- กำหนดที่ตั้งของอาคาร
- กำหนดข้อมูลอากาศของวัน Design Day
- กำหนดคุณสมบัติของวัสดุก่อสร้างที่ใช้เป็นส่วนประกอบของอาคาร
- กำหนดว่ากำแพง พื้น หลังคา และผนัง ประกอบด้วยวัสดุใดบ้าง
- กำหนดตารางการปิด-เปิดของอุปกรณ์ต่าง ๆ
- กำหนดการควบคุมอุณหภูมิของแต่ละ Zone
- อุณหภูมิของน้ำ และอุณหภูมิของดินของแต่ละเดือน

1.2 รายละเอียดของอาคาร (building description) คำสั่งในส่วนนี้จะเป็นคำสั่งแสดงให้โปรแกรมทราบถึงลักษณะของอาคาร และการแบ่งโซน ซึ่งมีรายละเอียดพอสรุปได้ ดังนี้

- ทิศทางการหันผนังเข้ารับแสงของอาคาร
- ตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร
- ตำแหน่งที่ตั้งของแต่ละโซนในอาคาร
- ส่วนประกอบต่าง ๆ ของแต่ละโซน เช่น ผนัง หน้าต่าง ประตู เฉลียงบังแดด พื้น เพดาน หลังคา เป็นต้น
- อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในแต่ละโซน เช่น ไฟฟ้าแสงสว่าง อุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้า เป็นต้น
- จำนวนคนในแต่ละโซน
- การควบคุมอุณหภูมิในแต่ละโซน
- การระบายอากาศของแต่ละโซน

1.3 ระบบจ่ายลมเย็น (fan system) ในส่วนนี้จะเป็นคำสั่งที่แสดงให้โปรแกรมทราบถึงลักษณะเฉพาะของระบบจ่ายลมเย็น เช่น ชนิดของระบบจ่ายลมเย็น ขนาดของระบบจ่ายลมเย็น ลักษณะการจ่ายลมเย็นให้กับโซนต่าง ๆ และคุณสมบัติเฉพาะระบบจ่ายลมเย็นแต่ละตัว

1.4 ระบบเครื่องทำน้ำเย็น (central plant) ในส่วนนี้จะเป็นคำสั่งที่แสดงให้โปรแกรมทราบถึงลักษณะเฉพาะของระบบเครื่องทำน้ำเย็น เช่น อุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบเครื่องทำน้ำเย็น ขนาดของอุปกรณ์แต่ละชนิด ลักษณะการจ่ายน้ำเย็นให้กับระบบจ่ายลมเย็นต่าง ๆ และคุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์แต่ละตัวในระบบเครื่องทำน้ำเย็น

2. ข้อมูลอากาศ (weather data) เนื่องด้วยโปรแกรม BLAST เป็นโปรแกรมประมาณค่าการใช้พลังงานของอาคารแบบรายชั่วโมงตลอดปี ข้อมูลอากาศที่ใช้จะต้องเป็นข้อมูลอากาศแบบรายชั่วโมงของตลอดปีด้วย ข้อมูลอากาศที่ใช้จะประกอบด้วยค่าต่าง ๆ ดังนี้

- มีฝน หรือหิมะ หรือไม่
- อุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature)
- อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry bulb temperature)
- ความดันบรรยากาศ (barometric pressure)
- อัตราส่วนความชื้น (humidity ratio)
- ความเร็วและทิศทางลม (wind speed และ wind direction)
- พลังงานแสงอาทิตย์แบบตรง (direct solar radiation)
- พลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจาย (diffuse solar radiation)

โปรแกรม BLAST สามารถอ่านค่าข้อมูลอากาศที่ถูกจัดให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐานดังนี้ คือ 1440, TRY, TMY, SOLMET, DASAV, BEASPS และ BLAST ASCII FORMAT

ข. ขั้นตอนการคำนวณ (calculation) ในขั้นตอนนี้โปรแกรมจะทำการคำนวณในส่วนต่าง ๆ เพื่อประมาณค่าการใช้พลังงานในอาคาร โดยโปรแกรมจะทำการคำนวณในส่วนต่าง ๆ ตามลำดับ ดังนี้

- การประมาณค่าภาระความร้อนในโซน (zone load simulation)
- การประมาณค่าในระบบจ่ายลมเย็น (fan system simulation)
- การประมาณค่าในระบบเครื่องทำน้ำเย็น (central plant simulatin)

1. การประมาณค่าความร้อนในโซน (zone load simulation) การคำนวนในขั้นตอนนี้โปรแกรมจะทำการคำนวนค่าภาระความร้อนรายชั่วโมงของแต่ละโซนตลอดทั้งปี โดยใช้การคำนวณด้วยวิธี Transfer Function ปัจจัยที่พิจารณาถึงในการคำนวณภาระความร้อนมีดังนี้

- ที่ตั้งของอาคาร
- ลักษณะ รูปร่าง และส่วนประกอบต่าง ๆ ของอาคาร
- ภาระความร้อนจากแสงแดด (solar load)
- ภาระความร้อนจากภายในห้อง (internal load)
- ภาระความร้อนจากการระบายอากาศ (ventilation load)
- ภาระความร้อนจากการรั่วซึมของอากาศ (infiltration load)
- ภาระความร้อนจากความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละโซน

2. การประมาณค่าในระบบจ่ายลมเย็น (fan system simulation) การคำนวณในส่วนนี้จะทำการประมาณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบจ่ายลมเย็น โดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้มีดังนี้ ค่าภาระความร้อนรายชั่วโมง และ คุณสมบัติเฉพาะของระบบจ่ายลมเย็นแต่ละตัว

3. การประมาณค่าในระบบเครื่องทำน้ำเย็น (central plant simulation) การคำนวณในส่วนที่จะทำการประมาณค่าการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบเครื่องทำน้ำเย็น เช่น เครื่องทำน้ำเย็น, เครื่องทำน้ำร้อน (boiler), เครื่องสูบน้ำ, หอผึ่งลม (cooling tower) เป็นต้น ปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณค่าการใช้พลังงานมี ดังนี้ ค่าปริมาณความเย็นที่ต้องการจากระบบจ่ายลมเย็น และคุณสมบัติเฉพาะของแต่ละอุปกรณ์

ค. ขั้นตอนการแสดงผล (output) โปรแกรม BLAST สามารถแสดงผลที่ได้จากการใช้โปรแกรมประมาณค่าการใช้พลังงานในอาคาร โดยแบ่งออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

- การแสดงผลแบบสรุปรายเดือน หรือรายปี
- การแสดงผลแบบรายชั่วโมง

1. การแสดงผลแบบสรุปรายเดือน หรือรายปี การแสดงผลแบบนี้สามารถแสดงผลได้ทันทีเมื่อโปรแกรมทำการประมาณค่าการใช้พลังงานในอาคารทำงานเสร็จ โปรแกรมสามารถแสดงผลลัพธ์โดยแบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้ คือ ภาระความร้อนในแต่โซน ภาระความร้อนและการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละระบบจ่ายลมเย็น และ ภาระความร้อนและการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบเครื่องทำน้ำเย็น

2. การแสดงผลแบบรายชั่วโมง การแสดงผลแบบนี้จะต้องใช้โปรแกรมย่อยที่ชื่อว่า Report Writer จัดการกับผลที่ได้จากโปรแกรม เพื่อให้ได้ผลลัพธ์แบบรายชั่วโมงตามที่ต้องการ โปรแกรมนี้สามารถแสดงผลลัพธ์ได้ดังนี้ คือ ค่าภาระความร้อน และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนต่าง ๆ ของอาคารแบบรายชั่วโมง

### 2) โปรแกรมย่อยที่ช่วยในการทำงานของโปรแกรม BLAST

การทำงานของโปรแกรม BLAST จะต้องใช้โปรแกรมย่อยช่วยในการทำงาน เพื่ออำนวยความสะดวกในการทำงาน และความถูกต้องของโปรแกรม โปรแกรมย่อยที่ใช้กันอยู่มีดังนี้

ก. โปรแกรม BTEXT
ข. โปรแกรม WIFE
ค. โปรแกรม CHILLER
ง. โปรแกรม WRHRPT
จ. โปรแกรม Writer Report
ฉ. โปรแกรม RWFGEN

ก. โปรแกรม BTEXT

โปรแกรม BTEXT มีชื่อเต็มว่า The BLAST Text Preprocesser โปรแกรมนี้ถูกเขียนขึ้นเพื่อช่วยในการทำแฟ้มข้อมูลอาคาร (input file) สำหรับใช้ในการทำงานของโปรแกรม BLAST เมื่อใช้โปรแกรม BTEXT แล้วจะได้แฟ้มข้อมูลอาคารที่อยู่ในรูปแบบของ Text File ซึ่งสามารถแก้ได้ด้วย Text Editor ใดก็ได้

ข. โปรแกรม WIFE

โปรแกรม WIFE มีชื่อเต็มว่า The Weather Information File Encoder Program โปรแกรมนี้ถูกเขียนขึ้นเพื่อช่วยทำแฟ้มข้อมูลอากาศ (weather files) สำหรับใช้ในการทำงานของโปรแกรม BLAST โปรแกรม WIFE สามารถอ่านข้อมูลอากาศจากรูปแบบมาตรฐานต่าง ๆ ดังนี้ TDF-14, TMY, TRY, SOLMET, SOLAT 280, ETAC-DATSAVE และ BLAST ASCII FORMAT

ค. โปรแกรม CHILLER

โปรแกรม CHILLER คือ โปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อช่วยหาค่าคุณสมบัติของเครื่องทำน้ำเย็น สำหรับใช้ในการทำงานของโปรแกรม BLAST ในขั้นตอนการประมาณค่าการใช้พลังงานในส่วนของระบบเครื่องทำน้ำเย็น

ง. โปรแกรม WRHRPT

โปรแกรม WRHRPT มีชื่อเต็มว่า Weather File Reporting Program โปรแกรมนี้เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการรวบรวม และสรุปข้อมูลอากาศแสดงผลในรูปแบบมาตราฐานของรายเดือนและค่าเฉลี่ยรายวัน

จ. โปรแกรม Writer Report

โปรแกรม Writer Report คือ โปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการจัดการกับผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้โปรแกรมประมาณค่าการใช้พลังงานในอาคาร ให้แสดงผลแบบรายชั่วโมง

ฉ. โปรแกรม RWFGEN

โปรแกรม RWFGEN มีชื่อเต็มว่า The Report Writer File Generator Program โปรแกรมนี้เขียนขึ้นเพื่อใช้สร้างคำสั่งที่ใช้ควบคุมการทำงานของโปรแกรม Writer Report เพื่อให้โปรแกรมแสดงผลจากการคำนวนแบบรายชั่วโมงของแต่ละอุปกรณ์ในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามที่ต้องการ

### 3) ข้อจำกัดสำหรับการดำเนินงานของโปรแกรม BLAST

โปรแกรมวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคารโดยทั่วไปจะมีข้อจำกัดที่แตกต่างกันในแต่ละโปรแกรม สำหรับโปรแกรม BLAST จะมีข้อจำกัดในการทำงาน ดังนี้

ก. จำนวน ผนัง หน้าต่าง ประตู พื้น เพดาน หลังคา และผนังกั้นห้อง รวมกันไม่เกิน 240 ชิ้นต่ออาคาร หรือ ต่อโซน

ข. จำนวนโซนไม่เกิน 20 โซนต่ออาคาร

ค. จำนวนโซนไม่เกิน 20 โซนต่อหนึ่งระบบจ่ายลมเย็น (fan system)

ง. จำนวนระบบจ่ายลมเย็น (fan system) ไม่เกิน 100 ระบบต่อหนึ่งระบบเครื่องทำน้ำเย็น (central plant)

## 2.3 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

ในส่วนนี้จะขอกล่าวถึงพื้นฐานความรู้ที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์สำหรับการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้ระบบแหล่งสะสมพลังงานแบบเก็บโดยน้ำแข็ง (Ice Storage) ในอาคารพาณิชย์ ดังนี้

- ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์
- ค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

### 2.3.1 ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่จำเป็นสำหรับวิทยานิพนธ์นี้มี ดังนี้

- ค่าลงทุนของระบบปรับอากาศแบบเดิม และระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Storage
- ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของระบบปรับอากาศทั้งสองแบบ

1) ค่าลงทุนของระบบปรับอากาศแบบเดิม และระบบปรับอากาศแบบใช้ Ice Storage ค่าลงทุนของระบบทั้งสองมีความแตกต่างกันในส่วนต่าง ๆ พอสรุปเป็นข้อได้ ดังนี้

ก. ค่าลงทุนในการซื้ออุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบทั้งสองจะประกอบด้วยอุปกรณ์ในส่วนต่างๆ ทั้งที่เหมือนและแตกต่างกัน ดังมีรายละเอียดของอุปกรณ์ของระบบปรับอากาศแต่ละแบบ ดังนี้

1. ระบบปรับอากาศแบบเดิม อุปกรณ์ที่สำคัญมีดังนี้ เครื่องทำความเย็น, เครื่องเป่าลมเย็น, หอผึ่งลม (cooling tower), เครื่องสูบน้ำเย็น และเครื่องสูบน้ำหล่อเย็น (chilled water pump และ condenser water pump), อุปกรณ์ควบคุม , ระบบท่อส่งน้ำเย็น และระบบท่อลม

2. ระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Storage อุปกรณ์ที่สำคัญมีดังนี้ เครื่องทำความเย็นที่สามารถส่งน้ำป้อนได้อุณหภูมิต่ำ (ice chiller), ถังเก็บน้ำแข็ง, เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger), เครื่องเป่าลมเย็น , หอผึ่งลม, เครื่องสูบน้ำเย็น และเครื่องสูบน้ำหล่อเย็น , อุปกรณ์ควบคุม, ระบบท่อส่งน้ำเย็น และระบบท่อลม

ข. ค่าลงทุนในการออกแบบ การออกแบบของระบบปรับอากาศทั้งสองแบบย่อมมีความแตกต่างกัน ในระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Storage จะต้องมีระบบควบคุมการทำงานที่ซับซ้อนกว่าระบบควบคุมของระบบปรับอากาศแบบเดิม ฉะนั้นค่าออกแบบของระบบปรับอากาศทั้งสองแบบจะต่างกันด้วย

ค. ค่าติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ระบบปรับอากาศทั้งสองแบบจะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ต่างกัน ฉะนั้นค่าติดตั้งของอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบปรับอากาศทั้งสองระบบย่อมมีราคาต่างกันด้วย

ง. ค่าลงทุนในการใช้พื้นที่ที่ต่างกันของระบบทั้งสอง การติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ของทั้งสองระบบจะใช้พื้นที่ต่างกัน การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์มีความจำเป็นต้องพิจารณาถึงการใช้พื้นที่ติดตั้ง โดยเฉพาะการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของอาคารที่มีการให้เช่าพื้นที่

2) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของระบบทั้งสอง การดำเนินงานของระบบปรับอากาศทั้งสองแบบจะมีค่าใช้จ่ายในส่วนต่าง ๆ ที่ต่างกัน ค่าใช้จ่ายที่สำคัญของระบบทั้งสองมีดังนี้

ก. ค่าไฟฟ้า การคิดค่าไฟฟ้าสำหรับอาคารธุรกิจขนาดใหญ่โดยปกติแล้วจะถูกเก็บค่าไฟฟ้าแบบ TOD Rate วิธีการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOD Rate จะแบ่งการคิดค่าไฟฟ้าเป็นสองส่วน ดังนี้

- ค่าพลังไฟฟ้า (kW-hour)
- ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (demand charge)

1. ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW-hour) การคิดค่าพลังงานไฟฟ้าในส่วนนี้จะทำการคิดจากจำนวน หรือปริมาณพลังงานไฟฟ้า (มีหน่วยเป็น ยูนิต หรือ กิโลวัตต์-ชั่วโมง) ที่ใช้ใน 1 เดือน โดยทางการไฟฟ้าคิดในอัตรา ยูนิต หรือ กิโลวัตต์-ชั่วโมง ละ 1.07 บาท ทุกช่วงเวลา

2. ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (demand charge) คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์ เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดของแต่ละช่วงเวลาในรอบเดือน เศษของกิโลวัตต์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไปให้คิดเป็น 1 กิโลวัตต์ ค่าธรรมเนียมความต้องการพลังงานไฟฟ้าคิดตามช่วงเวลาของวันดังนี้

เวลา 18.30 - 21.30 น. (on peak) คิดกิโลวัตต์ละ 305 บาท
เวลา 08.00 - 18.30 น. (partial peak) คิดกิโลวัตต์ละ 63 บาท
(คิดเฉพาะความต้องการพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เกินจากช่วง on peak)
เวลา 21.30 - 08.00 น. (off peak) ไม่คิดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า

ข. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ ในการดำเนินงานของระบบปรับอากาศทั้งสองจะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบที่ต่างกัน ฉะนั้นค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบย่อมต่างกันด้วย

### 2.3.2 ค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ระยะเวลาคืนทุน (pay-back period)เป็นค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบแหล่งสะสมพลังงานแบบเก็บโดยน้ำแข็ง(ice storage) ในอาคาร ปตท.

การหาระยะเวลาคืนทุน (pay-back period) คือ ระยะเวลาที่ต้องการเพื่อทำให้การลงทุนเริ่มต้นได้รับการคืนทุน ซึ่งเราสามารถหาได้จากสมการ (2.2 )

ระยะเวลาคืนทุน = รายจ่ายจากการลงทุนระบบ (incremental initial cost) หารด้วย
รายรับสุทธิประจำปี (incremental operating cost) (2.2)

การหาระยะเวลาในการคืนทุนของระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Storage สำหรับอาคาร ปตท. เป็นการหาระยะเวลาคืนทุนของระบบปรับอากาศที่ใช้ระบบ Ice Storage เทียบกับระบบปรับอากาศแบบเดิม ดังนั้นเราจะแทนค่าในตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

รายจ่ายจากการลงทุนระบบ (incremental initial cost) คือ ค่าลงทุนของระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Storage ลบด้วยค่าลงทุนของระบบปรับอากาศแบบเดิม

รายรับสุทธิประจำปี (incremental operating cost) คือ รายจ่ายประจำปีสำหรับระบบปรับอากาศแบบเดิมลบด้วยรายจ่ายประจำปีสำหรับระบบปรับอากาศแบบใช้ระบบ Ice Storage