

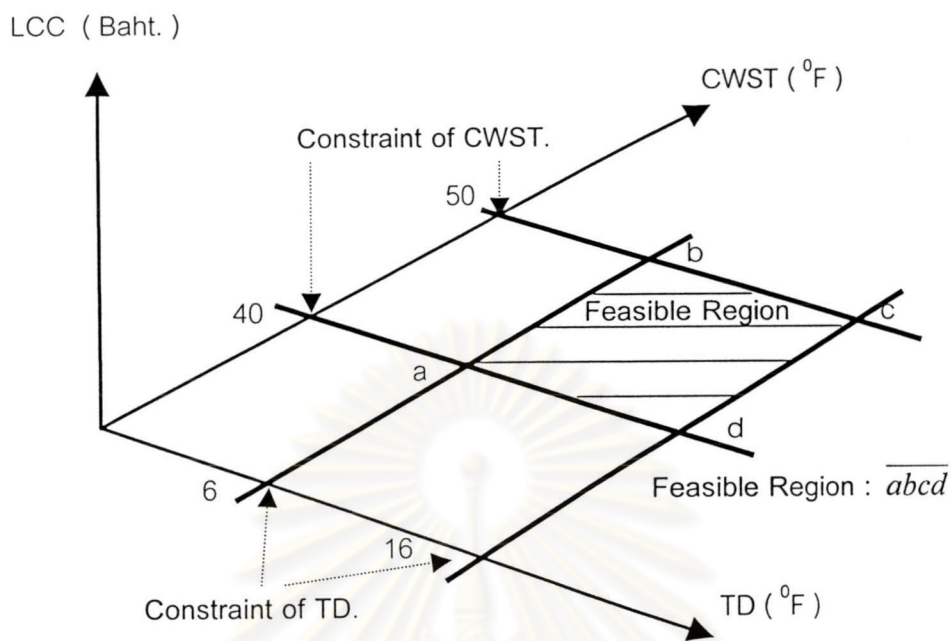
บทที่ 3

แนวทางการออกแบบที่เหมาะสมสำหรับระบบวงจรด้านน้ำเย็น

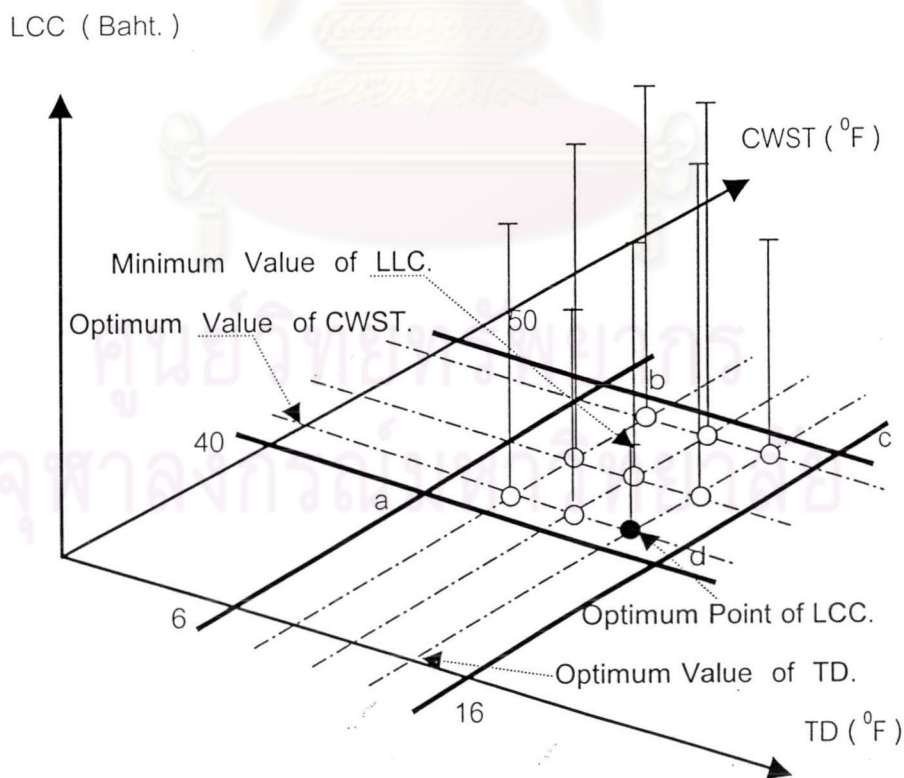
เนื่องจากสภาพที่มีอยู่อย่างจำกัดของทรัพยากร จึงทำให้เกิดการแย่งชิงเพื่อนำทรัพยากรต่างๆ มาตอบสนองความต้องการของมนุษย์ อย่างไรก็ตามมนุษย์ก็ควรที่จะใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดนี้ให้มีประสิทธิภาพที่สุด ซึ่งในทางปฏิบัติพบว่าจะมีแนวทางการเลือกใช้ทรัพยากรอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่จะมีทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด (Optimum) อยู่เพียงทางเดียวเท่านั้น โดยความเหมาะสมดังกล่าวนี้จะขึ้นอยู่กับกฎเกณฑ์ หรือข้อกำหนดที่ใช้เป็นเงื่อนไขในการพิจารณาด้วยเช่นกัน และจากจุดนี้เองถือเป็นจุดเริ่มต้นของงานวิจัยเพื่อการออกแบบที่เหมาะสมสำหรับระบบวงจรด้านน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบทำความเย็นจากส่วนกลาง

ซึ่งจุดประสงค์ที่สำคัญของงานวิจัยชิ้นนี้ คือ การมุ่งเน้นวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) ทั้ง 2 ค่า ได้แก่ ค่าอุณหภูมิน้ำเย็นจ่าย (Chilled Water Supply Temperature, CWST) และค่าอุณหภูมิแตกต่าง (Temperature Different, TD) โดยจะพิจารณาจากค่าต่ำที่สุด (Minimum) ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจทั้งสองค่า และแสดงอยู่ในรูปของค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของระบบวงจรด้านน้ำเย็น (Life Cycle Cost of Chilled Water Side Loop System, LCC) ของระบบปรับอากาศแบบทำความเย็นจากส่วนกลางที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ ซึ่งการพิจารณาค่าที่เหมาะสมของตัวแปรตัดสินใจทั้งสองข้างต้นนี้ จะพิจารณาภายใต้ขอบเขตของเงื่อนไขบังคับ (Constraint) ที่กำหนดขึ้น คือ $40^{\circ}\text{F} \leq \text{CWST} \leq 50^{\circ}\text{F}$ และ $6^{\circ}\text{F} \leq \text{TD} \leq 16^{\circ}\text{F}$ ตามลำดับ

โดยแนวคิดของการศึกษาการออกแบบที่เหมาะสมสำหรับระบบวงจรด้านน้ำเย็น จะเริ่มต้นจากการพิจารณารูปที่ 3.1 และเมื่อมีการนำเงื่อนไขบังคับที่กำหนดขึ้นมาพิจารณาร่วมกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ก็จะเกิดบริเวณซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับ โดยบริเวณดังกล่าวนี้จะถูกเรียกว่าบริเวณที่เป็นไปได้ (Feasible Region: \overline{abcd}) ซึ่งทุกๆ จุดของค่า CWST และ TD ที่ตกอยู่ในบริเวณนี้จะถูกต้องตามเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นเพียงแต่ว่าจุดใดจะเป็นจุดที่เหมาะสมที่สุดนั้นจะต้องทำการวิเคราะห์ต่อไป ส่วนบริเวณที่อยู่นอกเหนือจากพื้นที่ดังกล่าวนี้ เรียกว่าบริเวณที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible Region) ซึ่งจะไม่นำมาพิจารณา



รูปที่ 3.1 แสดงบริเวณที่เป็นไปได้ (Feasible Region : \overline{abcd}) ของการออกแบบที่เหมาะสม



รูปที่ 3.2 แสดงจุดที่เหมาะสมที่สุดของค่า CWST และ TD ที่ทำให้ LCC ของระบบมีค่าต่ำที่สุด

ต่อมาให้พิจารณารูปที่ 3.2 ซึ่งแสดงค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ได้จากการแทนค่าของตัวแปรตัดสินใจทั้งสอง โดยเมื่อพิจารณาแล้วจะพบว่า มีเพียงจุดเดียวเท่านั้นของตัวแปรตัดสินใจภายใต้ขอบเขตของเงื่อนไขบังคับ ที่ทำให้ค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าต่ำที่สุด ดังนั้นเราจะสรุปได้ว่าที่จุดดังกล่าวนี้เป็นจุดที่ทำให้ตัวแปรตัดสินใจทั้งสองนี้มีค่าเหมาะสมที่สุด

3.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับ (Objective Function and Constrain)

สิ่งแรกที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบที่เหมาะสมสำหรับระบบวงจรมอเตอร์น้ำเย็น ได้แก่ การสร้างฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่แสดงถึงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งาน (LCC) ของระบบให้อยู่ในรูปของตัวแปรตัดสินใจ CWST และ TD โดยที่ค่าของตัวแปรตัดสินใจทั้งสองนี้จะถูกพิจารณาภายใต้ขอบเขตของเงื่อนไขบังคับที่กำหนดขึ้น ซึ่งการออกแบบที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้จะเริ่มจากการสร้างสมการแทนคุณลักษณะของสมรรถนะ (Performance Characteristic Equation) หรือสร้างแบบจำลอง (Model) ของอุปกรณ์ต่างๆ ให้อยู่ในรูปของตัวแปรตัดสินใจ ด้วยวิธีการสร้างสมการจากข้อมูลที่มีอยู่ (Equation Fitting) หรืออาศัยกฎเกณฑ์ต่างๆ ทางกายภาพ แล้วจึงนำแบบจำลองที่ได้มาประกอบเข้าด้วยกัน (Integrated Modeling System) กลายเป็นแบบจำลองขนาดใหญ่ หลังจากนั้นจึงทำการจำลองระบบ (System Simulation) ภายใต้เงื่อนไขบังคับด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้น เพื่อค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของ CWST และ TD โดยการพิจารณาเปรียบเทียบจากค่าที่ต่ำที่สุดของค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของระบบ

ซึ่งค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของระบบวงจรมอเตอร์น้ำเย็นที่นำมาใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้ จะพิจารณาจากค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ 3 ส่วน ดังนี้ คือ ค่าใช้จ่ายเบื้องต้น ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (ค่าพลังงานไฟฟ้า) และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบ โดยค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ ที่เกิดขึ้นนี้จะพิจารณาจากค่าใช้จ่ายของเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ เครื่องส่งลมเย็นและระบบการกระจายน้ำเย็น (เครื่องสูบน้ำเย็น ท่อน้ำ ข้อต่อ วาล์ว วาล์วควบคุมและฉนวน) เป็นหลัก

และสำหรับค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานตลอดอายุการใช้งานของระบบนั้น จะพิจารณาจากค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทำงานของคอมเพรสเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็น มอเตอร์พัดลมของเครื่องส่งลมเย็น และมอเตอร์เครื่องสูบน้ำเย็นของระบบการกระจายน้ำเย็นเท่านั้น ส่วนค่าใช้จ่าย

จ่ายในการบำรุงรักษาก็สมมติให้มีค่าเท่ากับ 5 % ของค่าใช้จ่ายเบื้องต้นทั้งหมด และกำหนดให้ค่าใช้จ่ายทั้ง 2 ส่วนนี้เป็นไปตามความสัมพันธ์ของ USPWf ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2

ดังนั้น ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของระบบวงจรด้านน้ำเย็นที่แสดงอยู่ในรูปของค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของระบบ จึงสามารถสร้างความสัมพันธ์ ได้ดังนี้

$$LCC = f\{CWST, TD\} \quad (3.1)$$

$$LCC = LCC_{CH} + LCC_{AHU} + LCC_{DIS} \quad (3.2)$$

โดยที่

$$LCC_{CH} = IC_{CH} + OC_{CH} + MC_{CH}$$

$$LCC_{AHU} = IC_{AHU} + OC_{AHU} + MC_{AHU}$$

$$LCC_{DIS} = IC_{DIS} + OC_{PUMP} + MC_{PUMP} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} LCC = & \left\{ \sum_{i=1}^j IC_{CH} + \left(\sum_{i=1}^j EC_{CH} \right) \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] + \left(\sum_{i=1}^j IC_{CH} \right) \left(\frac{5}{100} \right) \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \right\} \\ & + \left\{ \sum_{k=1}^l IC_{AHU} + \left(\sum_{k=1}^l EC_{AHU} \right) \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] + \left(\sum_{k=1}^l IC_{AHU} \right) \left(\frac{5}{100} \right) \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \right\} \\ & + \left\{ \sum_{o=1}^p IC_{DIS} + \left(\sum_{q=1}^r EC_{PUMP} \right) \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] + \left(\sum_{o=1}^p IC_{DIS} \right) \left(\frac{5}{100} \right) \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \right\} \quad (3.4) \end{aligned}$$

และจากสมการที่ 3.4 นี้ ในแต่ละเทอมจะเป็นฟังก์ชันของ CWST และ TD โดยที่เงื่อนไขบังคับ (Constrain) ของตัวแปรทั้งสอง คือ $40^{\circ}F \leq CWST \leq 50^{\circ}F$ และ $6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$ ตามลำดับ

ซึ่งสามารถที่จะแสดงให้เห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายในแต่ละเทอมนั้น สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของตัวแปรตัดสินใจ ได้ดังนี้

3.2 เครื่องทำน้ำเย็น (Water Chiller)

เครื่องทำน้ำเย็นที่นำมาศึกษาในแบบจำลองของงานวิจัยชิ้นนี้ คือ Water - Cooled Centrifugal Liquid Chiller (380 V / 3 ph / 50 Hz) ขนาดการทำคามเย็น 450 TON จำนวนทั้งสิ้น 4 เครื่อง ซึ่งพิจารณาเลือกจากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปของบริษัทเอกชนแห่งหนึ่ง โดยการเปลี่ยนแปลงค่าของ CWST และ TD ให้อยู่ภายใต้ขอบเขตที่กำหนดไว้ คือ $40^{\circ}\text{F} \leq \text{CWST} \leq 50^{\circ}\text{F}$ และ $6^{\circ}\text{F} \leq \text{TD} \leq 16^{\circ}\text{F}$ ตามลำดับ ส่วนค่าการออกแบบทางด้านน้ำหล่อเย็น (Condenser Water Side) นั้นพิจารณาให้อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นจ่าย (Condenser Water Supply Temperature, CDWST) มีค่า 90°F และอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นกลับ (Condenser Water Return Temperature, CDWRT) มีค่า 100°F ซึ่งก็คือ การกำหนดให้อุณหภูมิแตกต่างทางด้านน้ำหล่อเย็นมีค่าเท่ากับ 10°F (อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นมีค่า $3 \text{ GPM} / \text{TON}$)

และเนื่องจากในแต่ละครั้งเมื่อป้อนค่าของตัวแปรตัดสินใจ CWST และ TD (สภาวะการออกแบบ) ลงในโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับเลือกเครื่องทำน้ำเย็น ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมดังกล่าวนี้จะแสดงข้อมูลของเครื่องทำน้ำเย็นออกมาหลายๆ รุ่น (ซึ่งแต่ละรุ่นที่แสดงออกมานั้นก็สามารถที่จะนำมาใช้กับสภาวะการออกแบบที่กำหนดขึ้นได้) แต่สำหรับในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเลือกเครื่องทำน้ำเย็นเพียง 1 รุ่นต่อ 1 สภาวะการออกแบบ เท่านั้น โดยมีเงื่อนไขว่าเครื่องทำน้ำเย็นที่ถูกเลือกนั้นจะต้องเป็นเครื่องที่มีค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุด (ผลรวมของค่าใช้จ่ายเบื้องต้น ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องต่ำที่สุด)

ในการวิเคราะห์หาค่าที่ต่ำที่สุดของค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานนั้น จะพิจารณาพร้อมกับข้อกำหนดต่างๆ ที่ตั้งขึ้นเพื่อใช้ประกอบในการคำนวณหาค่าใช้จ่ายในแต่ละส่วนดังนี้ คือ กำหนดให้อัตราค่าแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศมีค่าเท่ากับ 43 บาท / 1 ดอลลาร์ และให้ในแต่ละเดือนระบบปรับอากาศทำงานตั้งแต่วันจันทร์ถึงวันศุกร์ เป็นจำนวนทั้งสิ้น 20 วัน ทำงานในวันเสาร์ เป็นจำนวนทั้งสิ้น 4 วัน โดยในแต่ละวันระบบทำงานทั้งสิ้น 10 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 07:00 น.-17:00 น. อัตราค่าไฟฟ้าเป็นแบบ TOU (แรงดันปานกลาง : 24 kV) อายุของโครงการมีค่าเท่ากับ 15 ปี และอัตราดอกเบี้ยเท่ากับ 2% ต่อปี

และเครื่องทำน้ำเย็นทุกเครื่องที่เลือกใช้ในแต่ละสภาวะการออกแบบของงานวิจัยนี้จะมีค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็น ไม่เกิน $0.70 \text{ kW} / \text{Ton}$ ที่ภาระเต็มพิกัด (Full Load) ซึ่งเป็นไป

ตามพระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ. 2538 สำหรับเครื่องทำน้ำเย็นแบบหอยโข่งชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาดเกินกว่า 250 Ton ถึง 500 Ton ที่ติดตั้งในอาคารใหม่ (อาคารที่ยื่นของก่อสร้างหลังวันที่พระราชกฤษฎีกากำหนดให้อาคารนั้นเป็นอาคารควบคุม มีผลบังคับใช้)

ซึ่งผลลัพธ์ของการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าที่ต่ำที่สุดของค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของเครื่องมาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจนั้น แสดงอยู่ใน ตารางที่ 3.1 – 3.11 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงผลการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=40^{\circ}F : 6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST (° F)	TD (° F)	KW	kw/Ton	H _{CH} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
40	6	274	0.609	24.17	7,019,557
	8	278	0.618	14.77	6,852,050
	10	277	0.616	10.08	7,042,239
	12	277	0.616	7.37	7,042,239
	14	274	0.609	7.45	7,429,282
	16	274	0.609	5.92	7,429,282

ตารางที่ 3.2 แสดงผลการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=41^{\circ}F : 6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST (° F)	TD (° F)	KW	kw/Ton	H _{CH} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
41	6	269	0.598	24.05	7,019,557
	8	271	0.602	14.7	7,019,557
	10	270	0.600	10.03	7,019,557
	12	271	0.602	7.33	7,019,557
	14	271	0.602	5.62	7,019,557
	16	271	0.602	4.46	7,019,557

ตารางที่ 3.3 แสดงผลการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=42^{\circ}F : 6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST (° F)	TD (° F)	KW	kw/Ton	H _{CH} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
42	6	261	0.580	23.93	6,829,368
	8	261	0.580	14.63	7,019,557
	10	262	0.582	9.98	7,019,557
	12	263	0.584	7.3	7,019,557
	14	263	0.584	5.59	6,997,713
	16	264	0.587	4.44	6,997,713

ตารางที่ 3.4 แสดงผลการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม เมื่อ CWST=43°F : 6°F ≤ TD ≤ 16°F

CWST (° F)	TD (° F)	kW	kw/Ton	H _{CH} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
43	6	254	0.564	23.82	6,997,713
	8	255	0.567	14.56	6,997,713
	10	255	0.567	9.93	6,997,713
	12	256	0.569	7.26	6,997,713
	14	258	0.573	5.57	6,807,524
	16	258	0.573	4.42	6,807,524

ตารางที่ 3.5 แสดงผลการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม เมื่อ CWST=44°F : 6°F ≤ TD ≤ 16°F

CWST (° F)	TD (° F)	kW	kw/Ton	H _{CH} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
44	6	248	0.551	23.7	6,997,713
	8	250	0.556	14.49	6,997,713
	10	247	0.549	13.02	7,407,438
	12	247	0.549	11.79	7,280,932
	14	249	0.553	7.31	7,217,249
	16	248	0.551	5.81	7,407,438

ตารางที่ 3.6 แสดงผลการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม เมื่อ CWST=45°F : 6°F ≤ TD ≤ 16°F

CWST (° F)	TD (° F)	kW	kw/Ton	H _{CH} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
45	6	242	0.538	23.59	6,997,713
	8	245	0.544	14.42	6,807,524
	10	246	0.547	9.84	6,807,524
	12	245	0.544	7.19	6,997,713
	14	245	0.544	5.52	6,997,713
	16	242	0.538	5.78	7,407,438

ตารางที่ 3.7 แสดงผลการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม เมื่อ CWST=46°F : 6°F ≤ TD ≤ 16°F

CWST (° F)	TD (° F)	kW	kw/Ton	H _{CH} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
46	6	238	0.529	23.48	6,997,713
	8	238	0.529	14.35	6,997,713
	10	239	0.531	9.79	6,997,713
	12	239	0.531	7.16	6,997,713
	14	239	0.531	5.49	6,997,713
	16	239	0.531	4.36	6,997,713

ตารางที่ 3.8 แสดงผลการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม เมื่อ CWST=47°F : 6 °F≤TD≤ 16 °F

CWST (° F)	TD (° F)	KW	kw/Ton	H _{CH} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
47	6	232	0.516	23.37	6,997,713
	8	233	0.518	14.29	6,997,713
	10	235	0.522	9.75	6,807,524
	12	231	0.513	9.4	7,407,438
	14	231	0.513	7.21	7,407,438
	16	234	0.520	4.34	6,997,713

ตารางที่ 3.9 แสดงผลการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม เมื่อ CWST=48°F : 6 °F≤TD≤ 16 °F

CWST (° F)	TD (° F)	KW	kw/Ton	H _{CH} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
48	6	228	0.507	23.26	6,807,524
	8	228	0.507	14.22	6,997,713
	10	230	0.511	9.7	6,807,524
	12	231	0.513	7.1	6,807,524
	14	232	0.516	12.07	6,631,933
	16	232	0.516	9.59	6,631,933

ตารางที่ 3.10 แสดงผลการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม เมื่อ CWST=49°F : 6 °F≤TD≤ 16 °F

CWST (° F)	TD (° F)	KW	kw/Ton	H _{CH} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
49	6	227	0.504	23.15	6,577,710
	8	228	0.507	14.16	6,577,710
	10	223	0.496	12.72	7,177,625
	12	223	0.496	11.52	7,051,119
	14	226	0.502	5.42	6,767,899
	16	225	0.500	5.68	6,987,436

ตารางที่ 3.11 แสดงผลการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม เมื่อ CWST=50°F : 6 °F≤TD≤ 16 °F

CWST (° F)	TD (° F)	KW	kw/Ton	H _{CH} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
50	6	221	0.491	23.05	6,577,710
	8	222	0.493	14.1	6,577,710
	10	223	0.496	9.62	6,577,710
	12	223	0.496	11.47	6,673,127
	14	222	0.493	8.8	6,863,316
	16	225	0.500	4.29	6,530,561

ข้อมูลในตารางที่ 3.1 -3.11 นี้ ประกอบไปด้วยข้อมูลในส่วนของราคาเครื่องทำน้ำเย็น (ไม่คิดค่าติดตั้ง) ซึ่งเป็นราคาที่นำเสนอในช่วงเดือนตุลาคม 2545 ค่าเสตดสูญเสียของเครื่องทำน้ำเย็น และค่ากำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์รวมไปถึงค่า KW /TON

ซึ่งจากข้อมูลจะเห็นได้ว่าเครื่องทำน้ำเย็นบางรุ่นนั้นมีช่วงการทำงานที่กว้างมาก กล่าวคือเมื่อสภาวะค่าการออกแบบเปลี่ยนแปลงไป แต่ในบางกรณีเครื่องทำน้ำเย็นรุ่นเดิมก็ยังเป็นเครื่องที่เหมาะสมที่สุด (LCC ต่ำที่สุด) ทำให้ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนรุ่นของเครื่องทำน้ำเย็นเมื่อสภาวะการออกแบบเปลี่ยนแปลงไป (สังเกตได้จากราคาของเครื่องมีค่าเท่าเดิม)

และจากการเปรียบเทียบค่าต่างๆ ในตารางที่ 3.1 – 3.11 จะพบว่าที่ค่า TD เดียวกัน เมื่อ CWST มีค่าลดต่ำลง กิโวลต์ตี่ของคอมเพรสเซอร์จะแนวโน้มที่สูงขึ้น ส่วนที่ค่า CWST เดียวกันเมื่อ TD มีค่าลดลง ค่าเสตดสูญเสียของเครื่องทำน้ำเย็นจะมีแนวโน้มที่สูงขึ้น และในบางกรณี เช่น ที่สภาวะการออกแบบกำหนดให้ CWST เท่ากับ 46 °F และ TD เท่ากับ 6 – 16 °F จะพบว่าเครื่องที่เหมาะสมที่สุดในทุกๆ กรณีจะเป็นเครื่องเดียวกัน (ไม่มีการเปลี่ยนรุ่นของเครื่อง) เป็นต้น

3.2.1 ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของเครื่องทำน้ำเย็น (Initial Cost of Water Chiller)

จากข้อมูลในตารางข้างต้นนี้ จะเห็นได้ว่าเป็นเรื่องที่ยากในการสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของเครื่องทำน้ำเย็น (ราคาเครื่อง) ให้อยู่ในรูปฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจทั้งสองได้อย่างชัดเจน แต่สำหรับในงานวิจัยนี้จะพิจารณาให้ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของเครื่องทำน้ำเย็นนั้น มีความสอดคล้องกับตัวแปรตัดสินใจ ดังนี้ คือ

เมื่อสภาวะการออกแบบเปลี่ยนแปลงไป (CWST หรือ TD เปลี่ยนค่าไป ภายใต้ขอบเขตที่กำหนด) ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของเครื่องทำน้ำเย็นก็จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะการออกแบบด้วย โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับค่าที่แสดงอยู่ในตารางที่ 3.1-3.11 ดังนั้นจึงสามารถที่จะกล่าวได้ว่าความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของเครื่องทำน้ำเย็นนี้อยู่ในรูปของฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจทั้งสองค่านี้ได้ ดังนี้

$$IC_{CH} = f\{CWST, TD\} \quad (3.5)$$

3.2.2 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของเครื่องทำน้ำเย็น (Operating Cost of Water Chiller)

สำหรับค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ จะใช้หลักการพิจารณาเช่นเดียวกันกับการพิจารณาค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของเครื่องทำน้ำเย็น โดยกำหนดให้ เมื่อสภาวะการออกแบบเปลี่ยนแปลงไป (CWST หรือ TD เปลี่ยนค่าไป ภายใต้ของเขตที่กำหนด) กำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ (kW_{CH}) ก็จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะการออกแบบด้วย โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับค่าที่แสดงอยู่ในตารางที่ 3.1-3.11 ดังนั้นจึงสามารถที่จะกล่าวได้ว่า kW_{CH} นี้อยู่ในรูปของฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจทั้งสองค่านี้ได้ ดังนี้

$$kW_{CH} = f\{CWST, TD\} \quad (3.6)$$

และจากความสัมพันธ์ของสมการที่ 3.6 ส่งผลทำให้สมการที่ 2.30 เป็นฟังก์ชันของ CWST และ TD ตามไปด้วย ดังนั้นเมื่อแทน kW ในสมการที่ 2.30 ด้วย kW_{CH}

$$\begin{aligned} NOP &= (kW_{CH}) \\ UNOP &= (kW_{CH})(HNOP)(DNOP) \\ UOFP &= (kW_{CH})(HOFP1)(DOFP1) + (kW_{CH})(HOFP2)(DOFP2) \end{aligned} \quad (3.7)$$

แทนสมการที่ 3.7 ลงในสมการที่ 2.32 [(อัตราค่าไฟฟ้ารายเดือน : TOU Tariff ของการไฟฟ้านครหลวง (ตุลาคม 2453 สำหรับกิจการขนาดใหญ่ 24 kV)] จะได้

$$\begin{aligned} EC_{CH} &= (kW_{CH})\{ 132.93+2.695(HNOP)(DNOP)+1.1914[(HOFP1)(DOFP1)+(HOFP2)(DOFP2)] \\ &+ (FT)[(HNOP)(DNOP)+(HOFP1)(DOFP1)+(HOFP2)(DOFP2)] \} \left(1 + \frac{VAT}{100}\right) \end{aligned} \quad (3.8)$$

และเมื่อพิจารณาสมการที่ 3.8 ร่วมกับสมการที่ 3.6 แล้ว ก็จะพบว่าการใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นนั้นสามารถที่จะแสดงความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจได้เช่นเดียวกับค่าใช้จ่ายเบื้องต้น ดังนี้

$$EC_{CH} = f\{CWST, TD\} \quad (3.9)$$

3.2.3 ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องทำน้ำเย็น (Maintenance Cost of Water Chiller)

จากที่ได้ทราบมาก่อนหน้านี้แล้วว่าสำหรับในงานวิจัยชิ้นนี้ จะกำหนดให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษามีค่าเท่ากับ 5 % ของค่าใช้จ่ายเบื้องต้นทั้งหมด ดังนั้น เมื่อค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของเครื่องทำน้ำเย็นเป็นฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจแล้ว ก็สามารถกล่าวได้ว่าค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องทำน้ำเย็นนั้นก็เป็นฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจเช่นเดียวกัน ดังนี้

$$MC_{CH} = f\{CWST, TD\} \quad (3.10)$$

3.3 เครื่องส่งลมเย็นแบบใช้น้ำเย็น (Chilled Water Air Handling Unit)

สำหรับเครื่องส่งลมเย็นที่นำมาศึกษาเพื่อใช้เป็นแบบจำลองสำหรับงานวิจัยนี้ คือ Floor - Type Air Handling Unit มีจำนวนทั้งสิ้น 26 เครื่อง โดยแบ่งเป็น 2 ขนาด คือ ขนาดความเย็น 66 TON จำนวน 20 เครื่อง และขนาดความเย็น 80 TON จำนวน 6 เครื่อง (มอเตอร์ที่ใช้ขับพัดลม : 380V / 3 ph / 50 Hz) ซึ่งพิจารณาเลือกจากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปของบริษัทเอกชนแห่งหนึ่ง โดยการเปลี่ยนแปลงค่า CWST และ TD อยู่ภายใต้เงื่อนไข คือ $40^{\circ}\text{F} \leq \text{CWST} \leq 50^{\circ}\text{F}$ และ $6^{\circ}\text{F} \leq \text{TD} \leq 16^{\circ}\text{F}$ ตามลำดับ ส่วนค่าการออกแบบทางด้านอากาศ (Air Side) นั้นพิจารณาให้อุณหภูมิของอากาศกลับเข้า AHU (Return Air Temperature , RAT) มีค่าคงที่เท่ากับ 80 FDB / 67 FWB ในทุกกรณี

นอกจากนี้ยังกำหนดให้ Face Velocity เท่ากับ 2.73 m/s (535.17 FPM) อัตราการไหลของอากาศโดยปริมาตร มีค่าเท่ากับ 22,740 CFM สำหรับเครื่องขนาด 66 TON ส่วนเครื่องขนาด

80 TON นั้น จะกำหนดให้ Face Velocity มีค่าเท่ากับ 2.52 m/s (497.71 FPM) และอัตราการไหลของอากาศโดยปริมาตร มีค่าเท่ากับ 24,000 CFM ตามลำดับ

และเช่นเดียวกันกับโปรแกรมเลือกเครื่องทำน้ำเย็น คือ ในแต่ละครั้งเมื่อป้อนค่าของตัวแปรตัดสินใจ CWST และ TD (สภาวะการออกแบบ) ลงในโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับเลือกเครื่องส่งลมเย็น ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมดังกล่าวนี้จะแสดงข้อมูลของเครื่องส่งลมเย็นออกมาหลายๆ รุ่น แต่สำหรับในงานวิจัยนี้จะเลือกเครื่องส่งลมเย็นที่พิจารณาแล้วว่าจะมีความเหมาะสมที่สุดมาเพียงรุ่นเดียวเท่านั้น (1 รุ่นต่อ 1 สภาวะการออกแบบ) โดยการพิจารณาเลือกเครื่องส่งลมเย็นนั้น จะพิจารณาเลือกจากเครื่องที่มีค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุดเป็นเกณฑ์ (ผลรวมของค่าใช้จ่ายเบื้องต้น ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องต่ำที่สุด)

และสำหรับข้อกำหนดต่างๆ ที่นำมาใช้ในการคำนวณหาค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ นั้นจะพิจารณาเหมือนกับเครื่องทำน้ำเย็นทุกประการ

ซึ่งผลลัพธ์ของการเลือกเครื่องส่งลมเย็น โดยอาศัยค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของระบบมาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเพื่อเลือกเครื่องที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ในแบบจำลองระบบวงจรด้านน้ำเย็นของงานวิจัยนี้ แสดงอยู่ในตารางที่ 3.12 – 3.22 สำหรับเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 66 TON และในตารางที่ 3.23 – 3.33 สำหรับเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 80 TON ตามลำดับ

ตารางที่ 3.12 แสดงผลการเลือก AHU 66 TON ที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=40^{\circ}F$: $6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST (°F)	TD (°F)	LAT (FDB/FWB)	ROW	KW	H _{AHU} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
40	6	58.20 / 55.88	2	22.38	11.87	211,586
	8	57.49 / 55.89	4	22.38	5.8	239,837
	10	56.82 / 55.88	4	22.38	3.8	244,661
	12	57.51 / 55.89	4	22.38	4.96	243,862
	14	57.13 / 55.88	4	22.38	3.82	246,106
	16	56.78 / 55.88	4	22.38	3.06	249,022

ตารางที่ 3.13 แสดงผลการเลือก AHU 66 TON ที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=41^{\circ}F$: $6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST (°F)	TD (°F)	LAT (FDB/FWB)	ROW	kW	H _{AHU} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
41	6	56.98 / 55.29	4	22.38	10.19	235,838
	8	57.23 / 55.88	4	22.38	5.78	241,385
	10	56.61 / 55.88	4	22.38	3.79	247,061
	12	57.25 / 55.88	4	22.38	4.95	245,229
	14	56.89 / 55.88	4	22.38	3.81	247,990
	16	56.57 / 55.88	4	22.38	3.05	251,447

ตารางที่ 3.14 แสดงผลการเลือก AHU 66 TON ที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=42^{\circ}F$: $6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST (°F)	TD (°F)	LAT (FDB/FWB)	ROW	kW	H _{AHU} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
42	6	57.60 / 55.90	4	22.38	9.97	239,837
	8	57.00 / 55.90	4	22.38	5.77	243,268
	10	56.40 / 55.90	4	22.38	3.78	249,821
	12	57.00 / 55.90	4	22.38	4.93	247,138
	14	56.70 / 55.90	4	22.38	3.8	250,415
	16	56.40 / 55.90	4	22.38	3.04	254,362

ตารางที่ 3.15 แสดงผลการเลือก AHU 66 TON ที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=43^{\circ}F$: $6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST (°F)	TD (°F)	LAT (FDB/FWB)	ROW	kW	H _{AHU} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
43	6	57.30 / 55.90	4	22.38	9.93	240,508
	8	56.70 / 55.90	4	22.38	5.76	245,513
	10	57.10 / 55.90	4	22.38	6.76	246,261
	12	56.80 / 55.90	4	22.38	4.92	249,383
	14	56.50 / 55.90	4	22.38	3.79	253,175
	16	56.40 / 55.90	6	22.38	7.76	265,766

ตารางที่ 3.16 แสดงผลการเลือก AHU 66 TON ที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=44^{\circ}F$: $6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST (°F)	TD (°F)	LAT (FDB/FWB)	ROW	kW	H _{AHU} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
44	6	57.10 / 55.90	4	22.38	9.93	242,597
	8	56.50 / 55.90	4	22.38	5.75	248,093
	10	56.90 / 55.90	4	22.38	6.74	248,325
	12	56.20 / 55.90	4	22.38	3.46	271,829
	14	56.20 / 55.90	6	22.38	3.67	277,866
	16	56.20 / 55.60	6	22.38	7.74	269,378

ตารางที่ 3.17 แสดงผลการเลือก AHU 66 TON ที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=45^{\circ}F$: $6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST (°F)	TD (°F)	LAT (FDB/FWB)	ROW	kW	H _{AHU} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
45	6	54.48 / 53.83	4	22.38	9.92	244,816
	8	56.32 / 55.88	4	22.38	5.74	251,369
	10	56.62 / 55.88	4	22.38	6.72	250,931
	12	56.33 / 55.88	4	22.38	4.9	255,239
	14	55.97 / 55.87	6	22.38	3.66	282,536
	16	56.09 / 55.87	6	22.38	7.72	273,790

ตารางที่ 3.18 แสดงผลการเลือก AHU 66 TON ที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=46^{\circ}F$: $6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST (°F)	TD (°F)	LAT (FDB/FWB)	ROW	kW	H _{AHU} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
46	6	56.90 / 55.90	4	22.38	9.9	247,577
	8	56.70 / 55.90	4	22.38	9.96	249,899
	10	56.40 / 55.90	4	22.38	6.71	254,027
	12	56.00 / 55.90	6	22.38	3.45	282,433
	14	56.00 / 55.90	6	22.38	3.65	288,470
	16	56.00 / 55.90	6	22.38	7.7	279,724

ตารางที่ 3.19 แสดงผลการเลือก AHU 66 TON ที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=47^{\circ}F$: $6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST (°F)	TD (°F)	LAT (FDB/FWB)	ROW	kW	H _{AHU} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
47	6	56.40 / 55.90	4	22.38	9.88	250,853
	8	56.40 / 55.90	6	22.38	7.33	268,217
	10	56.10 / 55.90	6	22.38	4.83	276,499
	12	56.00 / 55.90	6	22.38	4.73	284,600
	14	56.00 / 55.90	6	22.38	9.81	277,660
	16	56.10 / 5.90	8	22.38	4.67	311,148

ตารางที่ 3.20 แสดงผลการเลือก AHU 66 TON ที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=48^{\circ}F$: $6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST (°F)	TD (°F)	LAT (FDB/FWB)	ROW	kW	H _{AHU} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
48	6	56.50 / 55.90	6	22.38	12.52	266,411
	8	56.20 / 55.90	6	22.38	7.31	272,603
	10	56.00 / 55.90	6	22.38	4.82	283,207
	12	56.00 / 55.90	8	22.38	3.53	311,380
	14	56.10 / 55.90	8	22.38	5.84	310,451
	16	56.00 / 55.90	8	22.38	4.66	325,570

ตารางที่ 3.21 แสดงผลการเลือก AHU 66 TON ที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=49^{\circ}F$: $6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST (°F)	TD (°F)	LAT (FDB/FWB)	ROW	kW	H _{AHU} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
49	6	56.30 / 55.90	6	22.38	12.49	270,023
	8	56.00 / 55.90	6	22.38	7.29	278,563
	10	56.00 / 55.90	6	22.38	6.46	287,954
	12	56.00 / 55.90	8	22.38	3.52	321,726
	14	56.00 / 55.90	8	22.38	5.82	325,235
	16	56.00 / 55.90	8	29.84	4.64	350,519

ตารางที่ 3.22 แสดงผลการเลือก AHU 66 TON ที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=50^{\circ}F$: $6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST (°F)	TD (°F)	LAT (FDB/FWB)	ROW	kW	H _{AHU} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
50	6	55.97 / 55.87	6	22.38	12.42	275,209
	8	56.01 / 55.87	6	22.38	9.58	285,632
	10	55.97 / 55.87	8	22.38	4.93	316,205
	12	55.97 / 55.87	8	29.84	7.58	340,508
	14	55.97 / 55.87	8	29.84	5.81	350,519
	16	55.97 / 55.87	12	29.84	6.4	391,128

ตารางที่ 3.23 แสดงผลการเลือก AHU 80 TON ที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=40^{\circ}F$: $6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST (°F)	TD (°F)	LAT (FDB/FWB)	ROW	kW	H _{AHU} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
40	6	55.49 / 53.95	4	22.38	15.11	256,426
	8	55.08 / 54.01	4	22.38	8.69	259,367
	10	54.62 / 54.00	4	22.38	5.7	264,863
	12	55.01 / 54.01	4	22.38	7.45	264,502
	14	54.72 / 54.00	4	22.38	5.69	267,830
	16	54.48 / 54.00	4	22.38	4.52	271,932

ตารางที่ 3.24 แสดงผลการเลือก AHU 80 TON ที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=41^{\circ}F$: $6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST (°F)	TD (°F)	LAT (FDB/FWB)	ROW	kW	H _{AHU} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
41	6	55.43 / 54.01	4	22.38	14.97	257,020
	8	54.86 / 54.00	4	22.38	8.68	261,535
	10	54.45 / 54.00	4	22.38	5.69	267,985
	12	54.80 / 54.00	4	22.38	7.43	266,849
	14	54.54 / 54.00	4	22.38	5.67	270,771
	16	54.29 / 54.00	6	22.38	4.39	299,280

ตารางที่ 3.25 แสดงผลการเลือก AHU 80 TON ที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=42^{\circ}F$: $6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST ($^{\circ}F$)	TD ($^{\circ}F$)	LAT (FDB/FWB)	ROW	kW	H _{AHU} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
42	6	55.11 / 54.01	4	22.38	14.95	258,980
	8	54.66 / 54.00	4	22.38	8.66	264,269
	10	54.89 / 54.00	4	22.38	10.24	265,869
	12	54.61 / 54.00	4	22.38	7.41	269,584
	14	54.38 / 54.00	4	22.38	5.66	274,099
	16	54.17 / 54.00	6	22.38	4.38	303,976

ตารางที่ 3.26 แสดงผลการเลือก AHU 80 TON ที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=43^{\circ}F$: $6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST ($^{\circ}F$)	TD ($^{\circ}F$)	LAT (FDB/FWB)	ROW	kW	H _{AHU} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
43	6	54.88 / 54.00	4	22.38	14.92	261,328
	8	54.84 / 54.00	4	22.38	8.65	267,391
	10	54.68 / 54.00	4	22.38	10.22	268,423
	12	54.44 / 54.00	4	22.38	7.39	272,912
	14	54.10 / 54.00	6	22.38	3.98	304,208
	16	54.10 / 54.00	6	22.38	4.36	310,142

ตารางที่ 3.27 แสดงผลการเลือก AHU 80 TON ที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=44^{\circ}F$: $6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST ($^{\circ}F$)	TD ($^{\circ}F$)	LAT (FDB/FWB)	ROW	kW	H _{AHU} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
44	6	54.67 / 54.00	4	22.38	14.89	264,063
	8	54.76 / 54.00	4	22.38	15.23	267,443
	10	54.49 / 54.00	4	22.38	10.19	271,751
	12	54.16 / 54.00	6	22.38	5.29	298,325
	14	54.14 / 54.00	6	22.38	5.48	306,323
	16	54.13 / 54.00	6	22.38	11.93	298,119

ตารางที่ 3.28 แสดงผลการเลือก AHU 80 TON ที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=45^{\circ}F$: $6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST ($^{\circ}F$)	TD ($^{\circ}F$)	LAT (FDB/FWB)	ROW	kW	H _{AHU} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
45	6	54.48 / 54.00	4	22.38	14.87	267,391
	8	54.49 / 54.00	6	22.38	11.23	286,870
	10	54.24 / 54.00	6	22.38	7.41	294,223
	12	54.10 / 54.00	6	22.38	5.28	305,085
	14	54.10 / 54.00	8	22.38	4.07	340,999
	16	54.10 / 54.00	6	22.38	13.46	302,557

ตารางที่ 3.29 แสดงผลการเลือก AHU 80 TON ที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=46^{\circ}F$: $6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST ($^{\circ}F$)	TD ($^{\circ}F$)	LAT (FDB/FWB)	ROW	kW	H _{AHU} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
46	6	54.60 / 54.00	6	22.38	19.16	286,303
	8	54.32 / 54.00	6	22.38	11.2	291,282
	10	54.13 / 54.00	6	22.38	7.39	300,106
	12	54.10 / 54.00	6	22.38	7.13	317,546
	14	54.10 / 54.00	8	22.38	4.06	350,777
	16	54.10 / 54.00	8	22.38	7.11	347,320

ตารางที่ 3.30 แสดงผลการเลือก AHU 80 TON ที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=47^{\circ}F$: $6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST ($^{\circ}F$)	TD ($^{\circ}F$)	LAT (FDB/FWB)	ROW	kW	H _{AHU} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
47	6	54.40 / 54.00	6	22.38	19.12	288,934
	8	54.18 / 54.00	6	22.38	11.18	296,855
	10	54.13 / 54.00	6	22.38	9.83	314,915
	12	54.10 / 54.00	8	22.38	5.39	345,281
	14	54.10 / 54.00	8	22.38	8.94	346,933
	16	54.10 / 54.00	8	29.84	7.08	372,010

ตารางที่ 3.31 แสดงผลการเลือก AHU 80 TON ที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=48^{\circ}F$: $6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST ($^{\circ}F$)	TD ($^{\circ}F$)	LAT (FDB/FWB)	ROW	kW	H _{AHU} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
48	6	54.24 / 54.00	6	22.38	19.08	301,654
	8	54.10 / 54.00	6	22.38	11.15	311,922
	10	54.10 / 54.00	8	29.84	7.54	357,046
	12	54.10 / 54.00	8	29.84	11.69	362,206
	14	54.10 / 54.00	8	29.84	8.91	372,010
	16	54.10 / 54.00	10	29.84	7.12	410,297

ตารางที่ 3.32 แสดงผลการเลือก AHU 80 TON ที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=49^{\circ}F$: $6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST ($^{\circ}F$)	TD ($^{\circ}F$)	LAT (FDB/FWB)	ROW	kW	H _{AHU} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
49	6	54.12 / 54.00	6	29.84	19.04	323,971
	8	54.10 / 54.00	8	29.84	11.40	354,698
	10	54.10 / 54.00	8	29.84	7.52	369,172
	12	54.10 / 54.00	8	29.84	11.66	372,397
	14	54.10 / 54.00	10	29.84	8.96	409,317
	16	54.10 / 54.00	12	29.84	9.85	432,924

ตารางที่ 3.33 แสดงผลการเลือก AHU 80 TON ที่เหมาะสม เมื่อ $CWST=50^{\circ}F$: $6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$

CWST (°F)	TD (°F)	LAT (FDB/FWB)	ROW	KW	H _{AHU} (Ft. of WG.)	Price List (Baht)
50	6	54.10 / 54.00	8	29.84	19.44	353,512
	8	54.10 / 54.00	8	29.84	11.37	366,824
	10	54.10 / 54.00	8	29.84	16.08	373,558
	12	54.10 / 54.00	10	29.84	11.72	410,297
	14	54.10 / 54.00	12	29.84	12.40	435,865
	16	54.10 / 54.00	12	29.84	61.52	453,100

ข้อมูลในตารางที่ 3.12 -3.33 นี้ ประกอบไปด้วยข้อมูลในส่วนของราคาเครื่องส่งลมเย็น (ไม่คิดค่าติดตั้ง) ซึ่งเป็นราคาที่นำเสนอในช่วงเดือนตุลาคม 2545 ค่าเฮดสูญเสียของเครื่องส่งลมเย็น และค่ากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์พัดลม อุณหภูมิของอากาศออกจากเครื่อง (Leaving Air Temperature : LAT) และจำนวน Row ของ Coil เมื่อสภาวะการออกแบบเปลี่ยนไป

ซึ่งจากข้อมูลในตารางข้างต้น จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเครื่องส่งลมเย็นแต่ละรุ่นนั้นมีความสามารถในช่วงการทำงานที่แคบกว่าเครื่องทำน้ำเย็นมาก กล่าวคือ เมื่อสภาวะค่าการออกแบบเปลี่ยนแปลงไป เครื่องส่งลมเย็นรุ่นที่เหมาะสมที่สุด (LCC ต่ำที่สุด) ก็จะต้องเปลี่ยนไปด้วย

จากการเปรียบเทียบค่าต่างๆ ในตารางที่ 3.12-3.33 จะพบว่าเมื่อ CWST และ TD มีค่าลดต่ำลง ราคาของเครื่องส่งลมเย็นจะมีแนวโน้มลดต่ำลงตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องมีขนาดเล็กลง [ขนาดและพื้นที่ Coil รวมไปถึงจำนวน Row จะลดลง แต่สำหรับขนาดของมอเตอร์พัดลมนั้นอาจจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงก็ได้ ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วพบว่ามอเตอร์พัดลมจะมีใช้เพียง 2 ขนาด คือ 22.38 kW และ 29.38 kW ตามลำดับ (เปลี่ยนแปลงเฉพาะในส่วนของขนาด Blower)]

ส่วนที่ CWST เดียวกัน ถ้า TD มีค่าลดต่ำลงจะมีผลทำให้ค่าเฮดสูญเสียในเครื่องส่งลมเย็นมีแนวโน้มที่สูงขึ้น โดยที่สภาวะเดียวกันแนวโน้มของค่าเฮดสูญเสียของเครื่องขนาด 80 TON จะมีค่าสูงกว่าเครื่องขนาด 60 TON แต่ไม่มากนัก ยกเว้นในกรณี $CWST = 50^{\circ}F$ และ $TD = 16^{\circ}F$ เฮดสูญเสียของเครื่องขนาด 80 TON จะมีค่าสูงกว่ามาก และสำหรับค่า LAT (FDB / FWB) สำหรับเครื่องขนาด 66 TON นั้น จะมีค่าสูงกว่าเครื่องขนาด 80 TON เพียงเล็กน้อย (แตกต่างกันไปเล็กน้อย)

และเมื่อพิจารณาจำนวน Row ของเครื่องส่งลมเย็น ก็พบว่าจะมีค่า 2-6 แถว เมื่อ CWST มีค่าอยู่ในช่วง 40-45 °F แต่จำนวน Row จะมีเพิ่มขึ้นเป็น 6-12 แถว เมื่อ CWST มีค่าอยู่ในช่วง 46-50 °F โดยที่จำนวนของ Row จะมีค่าแนวโน้มเพิ่มขึ้นถ้า CWST หรือ TD มีค่าสูงขึ้น และที่สภาวะการออกแบบเดียวกันจำนวน Row ของเครื่องขนาด 80 TON จะมีแนวโน้มที่มากกว่าเครื่องขนาด 66 TON

3.3.1 ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของเครื่องส่งลมเย็น (Initial Cost of AHU)

เช่นเดียวกับกับค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของเครื่องทำน้ำเย็น คือ จากข้อมูลในตารางไม่สามารถที่จะสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของเครื่องส่งลมเย็นให้อยู่ในรูปฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจทั้งสองได้อย่างชัดเจน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้หลักการพิจารณาเดียวกันกับค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของเครื่องทำน้ำเย็น กล่าวคือ กำหนดให้มีค่าใช้จ่ายเบื้องต้นมีค่าเท่ากับค่าที่แสดงอยู่ในตารางที่ 3.12-3.33 เมื่อสภาวะการออกแบบเปลี่ยนไป ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของเครื่องส่งลมเย็นอยู่ในรูปของฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจทั้งสองค่านี้ได้ ดังนี้

$$IC_{AHU} = f\{CWST, TD\} \quad (3.11)$$

3.3.2 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของเครื่องส่งลมเย็น (Operating Cost of AHU)

พิจารณาเช่นเดียวกันกับการค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของเครื่องทำน้ำเย็น กล่าวคือ กำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ (kW_{CH}) จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะการออกแบบ โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับค่าที่แสดงอยู่ในตารางที่ 3.12-3.33 ดังนั้นจึงสามารถที่จะกล่าวได้ว่า kW_{CH} นี้อยู่ในรูปของฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจทั้งสองค่านี้ได้ ดังนี้

$$kW_{AHU} = f\{CWST, TD\} \quad (3.12)$$

และจากความสัมพันธ์ของสมการที่ 3.12 ก็จะส่งผลทำให้สมการที่ 2.30 เป็นฟังก์ชันของ CWST และ TD ตามไปด้วย ดังนั้นเมื่อแทน kW ในสมการที่ 2.30 ด้วย kW_{AHU} จะได้

$$\begin{aligned}
 \text{NOP} &= (\text{kW}_{\text{AHU}}) \\
 \text{UNOP} &= (\text{kW}_{\text{AHU}})(\text{HNOP})(\text{DNOP}) \\
 \text{UOFP} &= (\text{kW}_{\text{AHU}})(\text{HOFP1})(\text{DOFP1}) + (\text{kW}_{\text{AHU}})(\text{HOFP2})(\text{DOFP2})
 \end{aligned}
 \tag{3.13}$$

แทนสมการที่ 3.13 ลงในสมการที่ 2.32 [(อัตราค่าไฟฟ้ารายเดือน : TOU Tariff ของการไฟฟ้านครหลวง (ตุลาคม 2453 สำหรับกิจการขนาดใหญ่ 24 kV)] จะได้

$$\begin{aligned}
 \text{EC}_{\text{AHU}} &= (\text{kW}_{\text{AHU}}) \{ 132.93 + 2.695(\text{HNOP})(\text{DNOP}) + 1.1914[(\text{HOFP1})(\text{DOFP1}) + (\text{HOFP2})(\text{DOFP2})] \\
 &+ (\text{FT})[(\text{HNOP})(\text{DNOP}) + (\text{HOFP1})(\text{DOFP1}) + (\text{HOFP2})(\text{DOFP2})] \} \left(1 + \frac{\text{VAT}}{100}\right)
 \end{aligned}
 \tag{3.14}$$

และเมื่อพิจารณาสมการที่ 3.14 ร่วมกับสมการที่ 3.12 แล้ว ก็จะพบว่าการใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องส่งลมเย็นนั้นสามารถที่จะแสดงความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจได้เช่นเดียวกับค่าใช้จ่ายเบื้องต้น ดังนี้

$$\text{EC}_{\text{AHU}} = f\{\text{CWST}, \text{TD}\}
 \tag{3.15}$$

3.2.3 ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องส่งเย็น (Maintenance Cost of Water Chiller)

จากที่ได้ทราบมาก่อนหน้านี้แล้วว่าสำหรับในงานวิจัยชิ้นนี้ จะกำหนดให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษามีค่าเท่ากับ 5 % ของค่าใช้จ่ายเบื้องต้นทั้งหมด ดังนั้น เมื่อค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของเครื่องส่งลมเย็นเป็นฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจแล้ว ก็สามารถกล่าวได้ว่าค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องส่งเย็นนั้นก็เป็นฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจเช่นเดียวกัน ดังนี้

$$\text{MC}_{\text{AHU}} = f\{\text{CWST}, \text{TD}\}
 \tag{3.16}$$

3.4 ระบบการกระจายน้ำเย็น (Chilled Water Distribution System)

ระบบการกระจายน้ำเย็นที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ มีรูปแบบคล้ายคลึงกับที่แสดงในรูปที่ 2.2 กล่าวคือ เป็นระบบกระจายน้ำเย็นแบบนำน้ำเย็นหมุนเวียนกลับโดยตรง (Direct Return) ใช้วาล์วควบคุมชนิด 2 ทาง (Two – Way Modulating Valve Control) ในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำเย็น แต่ในการวิเคราะห์เพื่อหาค่าการออกแบบที่เหมาะสมของ CWST และ TD ในงานวิจัยชิ้นนี้นั้น เพื่อให้ระบบที่ใช้พิจารณาไม่ซับซ้อนมากนัก จึงกำหนดให้ระบบทำงานที่ Full Load ตลอดเวลา (การเปลี่ยนแปลงภาระความร้อนไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบ) ซึ่งก็หมายความว่า น้ำเย็นในระบบจะไหลด้วยอัตราที่คงที่ตลอดเวลา ดังนั้น แบบจำลองของระบบกระจายน้ำเย็นนี้จึงไม่จำเป็นต้องมี By Pass หรือ Common Pipe

3.4.1 ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของระบบกระจายน้ำเย็น (Initial Cost of Chilled Water Distribution)

ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของระบบกระจายน้ำเย็นนี้ ประกอบไปด้วยค่าใช้จ่ายของในส่วนท่อ น้ำ ข้อต่อ วาล์ว วาล์วควบคุม ฉนวนและเครื่องสูบน้ำเย็น ดังแสดงในสมการที่ 3.17

$$IC_{DIS} = IC_{PIPE} + IC_{FITTING} + IC_{VALVE} + IC_{CV} + IC_{INSULATION} + IC_{PUMP} \quad (3.17)$$

3.4.1.1 ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของท่อ (Initial Cost of Pipe)

ราคาของท่อน้ำ (ไม่คิดค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง) ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นราคาในช่วงเดือนกรกฎาคม 2545 และค่าใช้จ่ายในส่วนนี้สามารถสร้างให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) ด้วยวิธีกำลังสองต่ำที่สุด (Method of Least Square) โดยอาศัยข้อมูลจากตารางที่ 3.34 ซึ่งเป็นตารางแสดงความสัมพันธ์ของราคาท่อเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Carbon Steel : ASTM A53 Schedule 40.Seamless) ในรูปของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาว 1 เมตร

ตารางที่ 3.34 แสดงราคาของท่อเหล็กกล้าต่อความยาว 1 เมตร

D (inch)	Price List : 6 m (Baht)	Price List / m. (Baht)
¾	774	129
1	936	156
1 ¼	1,224	204
1 ½	1,440	240
2	1,548	258
2 ½	2,430	405
3	3,222	537
3 ½	3,888	648
4	4,536	756
5	6,156	1,026
6	7,920	1,320
8	11,988	1,998
10	17,100	2,850
12	22,446	3,741
14	31,068	5,178
16	40,500	6,750
18	106,704	17,784
20	125,880	20,980
24	174,534	29,089

และสมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของท่อน้ำต่อความยาว 1 เมตร ไม่คิดค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ ก.1 ภาคผนวก ก. ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้ คือ

$$D = \frac{3}{4}'' - 16'' :$$

$$IC_{PIPE} = 0.8109(D)^3 + 2.209(D)^2 + 181.2(D) - 44.756 \quad : R^2=0.9996$$

$$D = 18'' - 24'' :$$

$$IC_{PIPE} = 71.542(D)^2 - 1120.6(D) + 14775 \quad : R^2 = 1.0 \quad (3.18)$$

โดยที่ R^2 คือ สัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R-Squared) เป็นตัวบ่งชี้ ที่มีค่าตั้งแต่ 0 - 1 ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความใกล้เคียงของค่าประมาณของเส้นแนวโน้มที่สอดคล้องกับข้อมูลจริง ถ้า R^2 มีค่าใกล้เคียงกับ 1 จะมีความน่าเชื่อถือมาก

จากความสัมพันธ์ของสมการที่ 3.16 ถ้าต้องการทราบค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของท่อน้ำเย็นในแต่ละช่วงออกแบบก็ให้คุณด้วยยาวของท่อน้ำเย็น (L_{PIPE}) ดังนี้

$$D = 3/4" - 16" : IC_{PIPE} = [0.8109(D)^3 + 2.209(D)^2 + 181.2(D) - 44.756](L_{PIPE})$$

$$D = 18" - 24" : IC_{PIPE} = [71.542(D)^2 - 1120.6(D) + 14775](L_{PIPE}) \quad (3.19)$$

ดังนั้น จากความสัมพันธ์ของสมการที่ 3.19 จึงสามารถที่จะกล่าวได้ว่า ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของท่อน้ำเย็นเป็นฟังก์ชันของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อน้ำเย็น ดังนี้

$$IC_{PIPE} = f\{D\} \quad (3.20)$$

และในการออกแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำเย็นนั้น จะพิจารณาเลือกจากค่าของ GPM ตามตารางที่ 2.3 และ 2.4 ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ดังนั้น จึงสามารถระบุได้ว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อน้ำเย็นเป็นฟังก์ชันของ GPM ดังนี้

$$D = f\{GPM\} \quad (3.21)$$

จากความสัมพันธ์ของสมการที่ 2.5 จะพบว่า GPM เป็นฟังก์ชันของ TD เมื่อกำหนดให้ต้นความเย็น (TON) มีค่าคงที่ ดังนี้

$$GPM = f\{TD\} \quad (3.22)$$

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของสมการที่ 3.22 ร่วมกับสมการที่ 3.21 ก็จะได้ว่า

$$D = f\{TD\} \quad (3.23)$$

และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของสมการที่ 3.23 ร่วมกับสมการที่ 3.20 แล้วจะพบว่าค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของท่อน้ำเย็นนั้น สามารถที่จะแสดงความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจได้ ดังนี้

$$IC_{PIPE} = f\{TD\} \quad (3.24)$$

3.4.1.2 ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของอุปกรณ์ประกอบและวาล์ว (Initial Cost of Fitting and Valve)

อุปกรณ์ประกอบระบบท่อกระจายน้ำเย็นที่นำไปใช้ในระบบการกระจายน้ำเย็นของงานวิจัยนี้ จะพิจารณาเฉพาะในส่วนของ ข้อต่ออ่อน (Flexible Joint) ข้องอ 90° มาตรฐาน (90° STD) ข้อต่อตัวที (Tee) โกลีบวาล์ว (Globe Valve) วาล์วประตูน้ำ (Gate Valve) วาล์วผีเสื้อ (Butterfly Valve) วาล์วกันกลับชนิดยกแนวตั้ง (Lift Check Valve) และวาล์วสเตรนเนอร์ (Y - Type Strainer) เท่านั้น

ราคาของอุปกรณ์ต่างๆ (ไม่คิดค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง) ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นราคาในช่วงเดือนกรกฎาคม 2545 และค่าใช้จ่ายในส่วนนี้สามารถสร้างให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) ด้วยวิธีกำลังสองต่ำที่สุด (Method of Least Square) โดยอาศัยข้อมูลจากตารางที่ 3.35. ซึ่งเป็นตารางแสดงราคาของ ข้อต่ออ่อน ข้องอ 90° มาตรฐาน ข้อต่อตัวที โกลีบวาล์ว วาล์วประตูน้ำ วาล์วผีเสื้อ วาล์วกันกลับชนิดยกแนวตั้งและวาล์วสเตรนเนอร์ ตามขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง

และสมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของอุปกรณ์ประกอบระบบท่อ และวาล์วชนิดต่างๆ ที่เป็นฟังก์ชันของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ไม่คิดค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ ก.2 - ก.8 ภาคผนวก ก. ซึ่งมีค่าต่างๆ ดังนี้ คือ

ตารางที่ 3.35 แสดงราคาของ Valve และ Fitting ที่ใช้ในงานวิจัย

D (inch)	Price List (Baht)							
	Gate Valve	Globe Valve	Butterfly Valve	Check Valve	90-STD	Y - Type Strainer	Equal Tee	Flexible Joint
¼	651	465	-	-	42	444	197.4	-
1	915	579	-	-	45	615	210	-
1 ¼	1,221	834	-	-	48	864	219	-
1 ½	1,845	1,065	-	6,810	57	1,209	255	780
2	2,610	1,560	-	7,614	75	1,710	300	930
2 ½	8,070	3,885	-	8,700	123	4,659	429	1,200
3	10,335	4,665	-	10,935	183	6,945	546	1,380
4	12,450	-	4,650	15,315	300	9,285	780	1,980
5	20,064	-	5,634	21,714	573	16,047	1,191	2,700
6	25,050	-	6,144	25,485	738	18,759	1,608	3,330
8	35,625	-	8,964	39,135	1,515	27,330	3,039	5,790
10	58,929	-	15,570	57,879	2,724	62,004	5,295	7,800
12	78,495	-	18,975	93,000	3,828	84,720	7,326	9,390
14	-	-	36,045	-	7,320	-	12,600	-
16	-	-	44,130	-	9,540	-	-	-
18	-	-	56,364	-	12,540	-	-	-
20	-	-	68,604	-	15,540	-	-	-
24	-	-	110,670	-	25,500	-	-	-

เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (D) มีขนาดใหญ่ขึ้น Butterfly Valve ขนาดใหญ่จะถูกนิยมนำมาใช้กับงานในระบบปรับอากาศเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมีราคาถูกกว่า Globe Valve มาก ดังนั้น ในกรณีของ D = 4 " - 24 " กำหนดให้ใช้ Butterfly Valve แทน Globe Valve

FLEXIBLE JOINT (TWIN)

D = 1.5"–12" :

$$IC_{\text{FLEX}} = -7.9163(D)^3 + 188.9(D)^2 - 435.77(D) + 1130.4 : R^2 = 0.9986 \quad (3.25)$$

90° STD (ASTM A234 SEAMLESS)

D = ¾"–16" :

$$IC_{\text{90STD}} = 2.0905(D)^3 + 2.7884(D)^2 + 28.782(D) + 11.042 : R^2 = 0.9939 \quad (3.26)$$

NO REDUCTION TEE (ASTM A234 SEAMLESS) :

D = ¾"–14" :

$$IC_{\text{TEE}} = 5.3565(D)^3 - 31.557(D)^2 + 281.19(D) - 99.108 : R^2 = 0.9959 \quad (3.27)$$

GLOBE VALVE (DUCTILE IRON VALVE)

D = ¾"–3" :

$$IC_{\text{GLOBE}} = -414.42(D)^3 + 3051.3(D)^2 - 4677.2(D) + 2545.7 : R^2 = 0.9693 \quad (3.28)$$

GATE VALVE (DUCTILE IRON VALVE)

D = ¾"–2" :

$$IC_{\text{GATE}} = -1402.9(D)^3 + 6024(D)^2 - 6502.1(D) + 2744.6 : R^2 = 0.9965$$

D = 2 ½"–12" :

$$IC_{\text{GATE}} = 2.4123(D)^3 + 434.43(D)^2 + 713.14(D) + 3778.6 : R^2 = 0.9959 \quad (3.29)$$

BUTTERFLY VALVE (DUCTILE IRON VALVE)

D = 4"–24" :

$$IC_{\text{BUT}} = 1.7802(D)^3 + 179.09(D)^2 - 973.72(D) + 5321 : R^2 = 0.9960 \quad (3.30)$$

LIFT CHECK VALVE (DUCTILE IRON VALVE)

D = 1 ½"–12" :

$$IC_{\text{CHECK}} = 74.569(D)^3 - 801.12(D)^2 + 6850.2(D) - 3349.8 : R^2 = 0.9983 \quad (3.31)$$

Y – TYPE STRAINER (DUCTILE IRON VALVE)

D=3/4"– 2" :

$$IC_{\text{STRAIN}} = -1473.4(D)^4 + 11059(D)^3 - 27590(D)^2 + 28603(D) - 9774.1 : R^2 = 0.9941$$

D=4"–12" :

$$IC_{\text{STRAIN}} = -150.33(D)^4 + 4682.2(D)^3 - 51047(D)^2 + 237172(D) - 384066 : R^2 = 0.9995$$

(3.32)

ดังนั้น จากความสัมพันธ์ของสมการที่ 3.25 - 3.32 จึงสามารถที่จะกล่าวได้ว่า ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของอุปกรณ์ประกอบระบบท่อและวาล์วเป็นฟังก์ชันของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ดังนี้

$$IC_{\text{FITTING}} = f\{D\} \text{ และ } IC_{\text{VALVE}} = f\{D\} \quad (3.33)$$

ในการทำงานเดียวกันกับการพิจารณาท่อน้ำเย็น กล่าวคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ประกอบระบบท่อและวาล์วชนิดต่างๆ นั้นเป็นฟังก์ชันของค่า TD

$$D = f\{TD\} \quad (3.34)$$

และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของสมการที่ 3.34 ร่วมกับสมการที่ 3.33 แล้วจะพบว่าค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในส่วนนี้ สามารถที่จะแสดงความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปของฟังก์ชัน TD ได้ ดังนี้

$$IC_{\text{FITTING}} = f\{TD\} \text{ และ } IC_{\text{VALVE}} = f\{TD\} \quad (3.35)$$

ถ้าปรากฏว่าเมื่อทำการออกแบบแล้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) ของอุปกรณ์แต่ละชนิดนั้น มีค่านอกเหนือไปจากขนาดของ D ที่กำหนดให้ข้างต้น ก็ให้แทนค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาดดังกล่าวนั้นลงในสมการที่ 3.25 - 3.32 เพื่อคำนวณหาค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของอุปกรณ์นั้นๆ ได้เลย (ประมาณค่า ด้วยการ Extrapolation)

ส่วนค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของข้อต่อตรงเพิ่ม/ลดนั้นจะไม่นำมาพิจารณา แต่ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของข้อต่อตัวที่เพิ่ม/ลดในที่นี่กำหนดให้มีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของ No Reduction Tee ในสมการที่ 3.27

3.4.1.3 ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของวาล์วควบคุมชนิด 2 ทาง (Initial Cost of 2 Way Control Valve)

ราคาของวาล์วควบคุมชนิด 2 ทางพร้อมด้วยชุดควบคุม Actuator ไม่คิดค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นราคาในช่วงเดือนธันวาคม 2545 ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 3.36

ตารางที่ 3.36 แสดงข้อมูลพื้นฐานของวาล์วควบคุม 2 ทิศทางและ Actuator

Model		Type	Size (inch)	Valve Spec.		Price List (Baht)
Valve	Actuator			Body	Cv	
V2BM-15	M400	On / Off Control	0.5	Bronze	4.62	5,985
V2BM-20	M400	On / Off Control	0.75	Bronze	7.28	6,125
V2BM-25	M400	On / Off Control	1	Bronze	11.56	6,545
V2BM-32	M800	On / Off Control	1.25	Bronze	18.50	8,540
V2BM-40	M800	On / Off Control	1.5	Bronze	28.90	9,310
V2BM-50	M800	On / Off Control	2	Bronze	46.24	9,800
V221-65	M800	Proportional Control	2.5	Cast Iron	72.83	24,850
V221-80	M800	Proportional Control	3	Cast Iron	115.61	27,650
V221-100	M800	Proportional Control	4	Cast Iron	184.98	38,290
V221-125	M800	Proportional Control	5	Cast Iron	289.03	45,850
V221-150	M800	Proportional Control	6	Cast Iron	416.20	54,460

ซึ่งขนาดของวาล์วควบคุมนิยมบอกเป็นขนาดของข้อต่อท่อ ทั้งนี้เพื่อที่จะสามารถนำไปต่อกับเข้ากับท่อในระบบการกระจายน้ำเย็นได้ แต่สำหรับการเลือกหาขนาดของวาล์วนั้นจะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การไหล (C_v) ซึ่งค่า C_v ของวาล์วแต่ละบริษัทผู้ผลิตที่มีขนาดเท่ากันจะมีค่าไม่เท่ากัน ทั้งนี้เพราะค่า C_v จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ๆ ให้น้ำไหลผ่านปาวาล์ว และลักษณะการไหลในตัววาล์ว

จากสมการที่ 2.23 ให้พิจารณาโดยการจัดรูปเสียใหม่ ก็จะสามารถหาค่า C_v ได้ ดังแสดงในสมการที่ 3.36

$$C_v = \frac{(GPM)}{\sqrt{0.4335(H_{cv})}} \quad (3.36)$$

และจากข้อมูลในตารางที่ 3.36 นี้ จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของวาล์วพร้อมด้วย Actuator นั้น เป็นฟังก์ชันของ C_v

$$IC_{cv} = f\{C_v\} \quad (3.37)$$

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของสมการที่ 3.36 ก็สามารถกล่าวได้ว่า C_v เป็นฟังก์ชันของ GPM และเป็นที่ยอมรับกันดีก่อนหน้านี้ว่า GPM เป็นฟังก์ชันของ TD ดังนั้น ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของวาล์วพร้อมด้วย Actuator สามารถที่จะแสดงความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจได้ ดังนี้

$$IC_{cv} = f\{TD\} \quad (3.38)$$

ขั้นตอนในการเลือกขนาดของวาล์วควบคุม

1. คำนวณหาค่า GPM ที่ไหลผ่าน AHU ของวงจรที่สนใจ ด้วยสมการที่ 2.5
2. คำนวณหาค่าเฮดสูญเสีย (H_{LOOP}) ในแต่ละวงจรของ AHU ซึ่งก็คือ ผลรวมของเฮดสูญเสียของท่อ อุปกรณ์ประกอบระบบท่อ วาล์ว เครื่องทำความเย็นและเครื่องส่งลมเย็นในแต่ละวงจรที่พิจารณา (ซึ่งค่าของ H_{LOOP} นี้ยังไม่รวมค่าของเฮดสูญเสียของวาล์วควบคุม, H_{cv})
3. คำนวณหาค่าเฮดสูญเสียสูงสุด (H_{MAX}) ด้วยการคูณค่า H_{LOOP} ของวงจรที่มีค่าสูงสุดที่ได้มาจากขั้นตอนที่ 2 ด้วย 1.5 – 2 ซึ่งค่า H_{MAX} ที่ได้จากการคูณค่าดังกล่าวนี้ได้เผื่อค่า H_{cv} ไว้แล้ว
5. คำนวณหาค่า H_{cv} จากผลต่างของค่า H_{MAX} และค่า H_{LOOP} ของวงจรที่สนใจ
6. คำนวณหาค่า C_v ด้วยการแทนค่า GPM และ H_{cv} ลงในสมการที่ 3.36
7. นำค่า C_v ไปเลือกขนาดวาล์วจากตารางที่ 3.36

8. ถ้าค่า C_v ตรงตามทีระบุในตารางก็ให้เลือกใช้วาล์วรุ่นนั้น แต่ถ้าค่าไม่ตรงตามทีระบุในตาราง ให้พิจารณาว่าค่า C_v ตกอยู่ในระหว่างค่าใดในตาราง แล้วจึงนำค่า C_v ของวาล์วที่มีขนาดเล็กกว่าและค่า C_v ของวาล์วที่มีขนาดใหญ่กว่ามาคำนวณหา H_{CV} ของวาล์วทั้งสอง จากสมการที่ 2.23

9. นำค่า H_{CV} ของวาล์วทั้งสองที่ได้มาจากขั้นตอนที่ 8 บวกเข้ากับ H_{LOOP} ของวงจรถัดไป

10. เปรียบเทียบค่าผลรวมของ H_{CV} และ H_{LOOP} ที่ได้มาจากขั้นตอนที่ 9 ว่าผลรวมของวาล์วตัวใดมีค่าไม่เกิน H_{MAX} ให้เลือกวาล์วตัวนั้น (แต่ถ้าผลรวมของวาล์วทั้งสองมีค่าไม่เกิน H_{MAX} ทั้งคู่ ให้พิจารณาเลือกวาล์วที่มีขนาดเล็กกว่า เพื่อที่จะได้มีค่า H_{CV} สูงกว่า)

การเลือกวาล์วที่มีขนาดใหญ่ไปจะทำให้การควบคุมไม่ดี เพราะค่า H_{CV} จะมีค่าน้อย เมื่อ H_{CV} เปลี่ยนไปจะมีผลต่อการไหลของน้ำเย็นผ่าน AHU น้อย แต่เมื่อมองในแง่ของการใช้พลังงาน H_{CV} น้อยจะทำให้การสิ้นเปลืองพลังงานน้อยด้วย ดังนั้นในการเลือกวาล์วจึงต้องคำนึงถึงทั้งความเที่ยงตรงในการควบคุมและการสิ้นเปลืองพลังงาน

โดยปกติแล้ว ในการเลือกวาล์วควบคุมควรพิจารณาเลือกวาล์วที่มีค่า H_{CV} ไม่ต่ำกว่า 5 Psi และควรมีค่า Valve Authority อยู่ที่ 25 – 50 % ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าวาล์วควบคุมตัวที่ถูกเลือกนั้นจะสามารถหรือเพื่อควบคุมอัตราการไหลของน้ำเย็นในกรณีที่มีภาระความร้อนน้อยๆ ได้ดี

3.4.1.4 ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของฉนวน (Initial Cost of Insulation)

ฉนวนสำหรับหุ้มท่อน้ำเย็นและอุปกรณ์อื่นๆ ที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ เป็นฉนวนชนิด เซลปิด (Closed Cell) น้ำหนักเบา (4 - 6 ปอนด์ / ลบ.ฟุต) มีการแทรกซึมความชื้นต่ำ ภายในเซลล์อิสระบรรจุด้วยก๊าซแห้ง (N_2 และ CO_2) ทำให้มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนอยู่ในระดับต่ำตลอดเวลาใช้งาน (0.25 – 0.27 BTU.in / ft².hr.⁰F) เป็นผลทำให้มีประสิทธิภาพสูงในการลดการสูญเสียความเย็นและป้องกันการเกิดหยดเหงื่อ (Condensation) และมีส่วนผสมสารเคมีที่ทำให้มีคุณสมบัติไฟดับได้เอง (Self Extinguish) ทั้งนี้ยังไม่ก่อให้เกิดการลามของไฟ (Flame Spread)

การกำหนดความหนาของฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความเย็น และป้องกันการเกิดหยด
 เหลื่อนั้น พิจารณาจากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับเลือกฉนวนของบริษัทเอกชนแห่งหนึ่ง โดย
 กำหนดให้ อุณหภูมิทำงานของน้ำเย็น (Operating Temperature) มีค่า 40 - 66 °F ซึ่งครอบคลุม
 ทั้งในส่วนของอุณหภูมิน้ำเย็นจ่าย (CWST) และอุณหภูมิน้ำเย็นกลับ (CWRT) ภายใต้
 ขอบเขตที่กำหนดไว้ คือ $40^{\circ}\text{F} \leq \text{CWST} \leq 50^{\circ}\text{F}$ และ $6^{\circ}\text{F} \leq \text{TD} \leq 16^{\circ}\text{F}$ (ข้อ
 สังเกต $\text{CWRT} = \text{CWST} + \text{TD}$) สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวนมีค่าคงที่
 $0.2510 \text{ BTU.in} / \text{ft}^2.\text{hr.}^{\circ}\text{F}$ สภาพอากาศโดยรอบ มีอุณหภูมิ 86 °F ความชื้นสัมพัทธ์
 80% RH และมีการถ่ายเทอากาศปานกลาง กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการ
 พา (Convection Coefficient of Air) มีค่า $1.5 \text{ BTU} / \text{ft}^2.\text{hr.}^{\circ}\text{F}$ (ซึ่งสภาพอากาศที่กำหนด
 นี้ เป็นสภาพของอากาศที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้เป็นข้อกำหนดในการหุ้มท่อน้ำเย็นในระบบ
 ปรับอากาศของอาคารธุรกิจ ศูนย์การค้าและโรงแรม หรืออาคารทั่วไปในเขตร้อนชื้น)

ผลลัพธ์ของการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเลือกฉนวนตามข้อกำหนดข้างต้นนี้ แสดงอยู่ในตา
 รางที่ 3.37 –3.63 ซึ่งรายละเอียดของข้อมูลในตาราง คือ ราคาฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็นที่ความหนา
 ต่างๆ ต่อความยาว 1 เมตร เป็นราคาในช่วงเดือนกรกฎาคม 2545 ไม่คิดค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง

ตารางที่ 3.37 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 40 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)
40	Tube L = 1.83 m. t = 0.75 "	¾	180	98
		1	210	115
		1 ¼	280	153
		1 ½	320	175
		2	380	208
	Tube L = 1.83 m. t = 1"	2 ½	570	311
		3	670	366
		3 ½	730	399
		4	790	432
		5	850	464
	Sheet L = 1.22 m. t = 1"	6	690	566
		8	820	672
		10	960	787
		12	1,200	984
		14	1,320	1,082
		16	1,500	1,230
18		1,650	1,352	
	20	1,850	1,516	
	24	2,160	1,770	

ตารางที่ 3.38 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 41 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)
41	Tube L = 1.83 m. t = 0.75 "	3/4	180	98
		1	210	115
		1 1/4	280	153
		1 1/2	320	175
		2	380	208
		2 1/2	470	257
	Tube L = 1.83 m. t = 1"	3	670	366
		3 1/2	730	399
		4	790	432
		5	850	464
	Sheet L = 1.22 m. t = 1"	6	690	566
		8	820	672
		10	960	787
		12	1,200	984
		14	1,320	1,082
		16	1,500	1,230
		18	1,650	1,352
		20	1,850	1,516
		24	2,160	1,770

ตารางที่ 3.39 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 42 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)
42	Tube L = 1.83 m. t = 0.75 "	3/4	180	98
		1	210	115
		1 1/4	280	153
		1 1/2	320	175
		2	380	208
		2 1/2	470	257
	Tube L = 1.83 m. t = 1"	3	670	366
		3 1/2	730	399
		4	790	432
		5	850	464
	Sheet L = 1.22 m. t = 1"	6	690	566
		8	820	672
		10	960	787
		12	1,200	984
		14	1,320	1,082
		16	1,500	1,230
		18	1,650	1,352
		20	1,850	1,516
		24	2,160	1,770

ตารางที่ 3.40 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 43 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)
43	Tube L = 1.83 m. t = 0.75 "	3/4	180	98
		1	210	115
		1 1/4	280	153
		1 1/2	320	175
		2	380	208
		2 1/2	470	257
		3	570	311
		3 1/2	630	344
	Tube : L = 1.83 m. : t = 1"	4	790	432
		5	850	464
	Sheet L = 1.22 m. t = 1"	6	690	566
		8	820	672
		10	960	787
		12	1,200	984
		14	1,320	1,082
		16	1,500	1,230
		18	1,650	1,352
		20	1,850	1,516
		24	2,160	1,770

ตารางที่ 3.41 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 44 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)
44	Tube L = 1.83 m. t = 0.75 "	3/4	180	98
		1	210	115
		1 1/4	280	153
		1 1/2	320	175
		2	380	208
		2 1/2	470	257
		3	570	311
		3 1/2	630	344
	Tube : L = 1.83 m. : t = 1"	4	700	383
		5	850	464
	Sheet L = 1.22 m. t = 1"	6	690	566
		8	820	672
		10	960	787
		12	1,200	984
		14	1,320	1,082
		16	1,500	1,230
		18	1,650	1,352
		20	1,850	1,516
		24	2,160	1,770

ตารางที่ 3.42 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 45 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)
45	Tube L = 1.83 m. t = 0.75 "	3/4	180	98
		1	210	115
		1 1/4	280	153
		1 1/2	320	175
		2	380	208
		2 1/2	470	257
		3	570	311
		3 1/2	630	344
		4	700	383
		5	790	432
		Sheet : L = 1.22 : t = 0.75"	6	500
	Sheet L = 1.22 m t = 1"	8	820	672
		10	960	787
		12	1,200	984
		14	1,320	1,082
		16	1,500	1,230
		18	1,650	1,352
		20	1,850	1,516
		24	2,160	1,770

ตารางที่ 3.43 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 46 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)
46	Tube L = 1.83 m. t = 0.75 "	3/4	180	98
		1	210	115
		1 1/4	280	153
		1 1/2	320	175
		2	380	208
		2 1/2	470	257
		3	570	311
		3 1/2	630	344
		4	700	383
		5	790	432
		Sheet :L=1.22m. : t = 0.75"	6	500
	Sheet L = 1.22 m. t = 1"	8	820	672
		10	960	787
		12	1,200	984
		14	1,320	1,082
		16	1,500	1,230
		18	1,650	1,352
		20	1,850	1,516
		24	2,160	1,770

ตารางที่ 3.44 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 47 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)	
47	Tube L = 1.83 m. t = 0.75 "	3/4	180	98	
		1	210	115	
		1 1/4	280	153	
		1 1/2	320	175	
		2	380	208	
		2 1/2	470	257	
		3	570	311	
		3 1/2	630	344	
		4	700	383	
		5	790	432	
	Sheet L = 1.22 m. t = 0.75"	6	500	410	
		8	620	508	
		10	720	590	
		12	900	738	
		14	1,000	820	
		16	1,130	926	
		18	1,250	1,025	
		20	1,400	1,148	
		Sheet : L = 1.22 m : t = 1"	24	2,160	1,770

ตารางที่ 3.45 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 48 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)	
48	Tube L = 1.83 m. t = 0.75 "	3/4	180	98	
		1	210	115	
		1 1/4	280	153	
		1 1/2	320	175	
		2	380	208	
		2 1/2	470	257	
		3	570	311	
		3 1/2	630	344	
		4	700	383	
		5	790	432	
	Sheet L = 1.22 m. t = 0.75"	6	500	410	
		8	620	508	
		10	720	590	
		12	900	738	
		14	1,000	820	
		16	1,130	926	
		18	1,250	1,025	
		20	1,400	1,148	
		Sheet : L = 1.22 m : t = 1"	24	1,650	1,352

ตารางที่ 3.46 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 49 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)
49	Tube L = 1.83 m. t = 0.75 "	3/4	180	98
		1	210	115
		1 1/4	280	153
		1 1/2	320	175
		2	380	208
		2 1/2	470	257
		3	570	311
		3 1/2	630	344
		4	700	383
		5	790	432
	Sheet L = 1.22 m. t = 0.75"	6	500	410
		8	620	508
		10	720	590
		12	900	738
		14	1,000	820
		16	1,130	926
		18	1,250	1,025
		20	1,400	1,148
		24	1,650	1,352

ตารางที่ 3.47 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 50 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)
50	Tube L = 1.83 m. t = 0.75 "	3/4	180	98
		1	210	115
		1 1/4	280	153
		1 1/2	320	175
		2	380	208
		2 1/2	470	257
		3	570	311
		3 1/2	630	344
		4	700	383
		5	790	432
	Sheet L = 1.22 m. t = 0.75"	6	500	410
		8	620	508
		10	720	590
		12	900	738
		14	1,000	820
		16	1,130	926
		18	1,250	1,025
		20	1,400	1,148
		24	1,650	1,352

ตารางที่ 3.48 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 51 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)
51	Tube : L = 1.83 m. : t = 0.5"	3/4	105	57
	Tube L = 1.83 m. t = 0.75"	1	210	115
		1 1/4	280	153
		1 1/2	320	175
		2	380	208
		2 1/2	470	257
		3	570	311
		3 1/2	630	344
		4	700	383
		5	790	432
		Sheet L = 1.22 m. t = 0.75"	6	500
	8		620	508
	10		720	590
	12		900	738
	14		1,000	820
	16		1,130	926
	18		1,250	1,025
	20		1,400	1,148
	24		1,650	1,352

ตารางที่ 3.49 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 52 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)	
52	Tube : L = 1.83 m. : t = 0.5"	3/4	105	57	
		1	120	66	
	Tube L = 1.83 m. t = 0.75"	1 1/4	280	153	
		1 1/2	320	175	
		2	380	208	
		2 1/2	470	257	
		3	570	311	
		3 1/2	630	344	
		4	700	383	
		5	790	432	
		Sheet L = 1.22 m. t = 0.75"	6	500	410
			8	620	508
	10		720	590	
	12		900	738	
	14		1,000	820	
	16		1,130	926	
	18		1,250	1,025	
	20		1,400	1,148	
	24		1,650	1,352	

ตารางที่ 3.50 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อไอน้ำเย็น : Operating Temperature = 53 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)
53	Tube L = 1.83 m. t = 0.5"	3/4	105	57
		1	120	66
		1 1/4	140	77
	Tube L = 1.83 m. t = 0.75"	1 1/2	320	175
		2	380	208
		2 1/2	470	257
		3	570	311
		3 1/2	630	344
		4	700	383
		5	790	432
	Sheet L = 1.22 m. t = 0.75"	6	500	410
		8	620	508
		10	720	590
		12	900	738
		14	1,000	820
		16	1,130	926
		18	1,250	1,025
		20	1,400	1,148
	24	1,650	1,352	

ตารางที่ 3.51 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อไอน้ำเย็น : Operating Temperature = 54 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)
54	Tube L = 1.83 m. t = 0.5"	3/4	105	57
		1	120	66
		1 1/4	140	77
		1 1/2	150	82
	Tube L = 1.83 m. t = 0.75"	2	380	208
		2 1/2	470	257
		3	570	311
		3 1/2	630	344
		4	700	383
	Sheet L = 1.22 m. t = 0.75"	5	790	432
		6	500	410
		8	620	508
		10	720	590
		12	900	738
		14	1,000	820
		16	1,130	926
		18	1,250	1,025
		20	1,400	1,148
		24	1,650	1,352

ตารางที่ 3.52 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 55 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)
55	Tube L = 1.83 m. t = 0.5"	3/4	105	57
		1	120	66
		1 1/4	140	77
		1 1/2	150	82
		2	210	115
	Tube L = 1.83 m. t = 0.75"	2 1/2	470	257
		3	570	311
		3 1/2	630	344
		4	700	383
		5	790	432
	Sheet L = 1.22 m. t = 0.75"	6	500	410
		8	620	508
		10	720	590
		12	900	738
		14	1,000	820
		16	1,130	926
		18	1,250	1,025
		20	1,400	1,148
		24	1,650	1,352

ตารางที่ 3.53 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 56 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)	
56	Tube L = 1.83 m. t = 0.5"	3/4	105	57	
		1	120	66	
		1 1/4	140	77	
		1 1/2	150	82	
		2	210	115	
		2 1/2	290	158	
		3	340	186	
		3 1/2	380	208	
		Tube : L=1.83 m. : t=0.75"	4	700	383
			5	790	432
	Sheet L = 1.22 m. t = 0.75"	6	500	410	
		8	620	508	
		10	720	590	
		12	900	738	
		14	1,000	820	
		16	1,130	926	
		18	1,250	1,025	
		20	1,400	1,148	
		24	1,650	1,352	

ตารางที่ 3.54 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 57 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)
57	Tube L = 1.83 m. t = 0.5"	3/4	105	57
		1	120	66
		1 1/4	140	77
		1 1/2	150	82
		2	210	115
		2 1/2	290	158
		3	340	186
		3 1/2	380	208
		4	420	230
		5	480	262
	Sheet : L = 1.22 m. : t = 0.5"	6	340	279
	Sheet L = 1.22 m. t = 0.75"	8	620	508
		10	720	590
		12	900	738
		14	1,000	820
		16	1,130	926
		18	1,250	1,025
		20	1,400	1,148
		24	1,650	1,352

ตารางที่ 3.55 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 58 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)
58	Tube L = 1.83 m. t = 0.5"	3/4	105	57
		1	120	66
		1 1/4	140	77
		1 1/2	150	82
		2	210	115
		2 1/2	290	158
		3	340	186
		3 1/2	380	208
		4	420	230
		5	480	262
	Sheet L = 1.22 m. t = 0.5"	6	340	279
		8	420	344
		10	480	393
		12	600	492
		14	680	557
		16	760	623
		18	850	697
		20	950	779
		24	1,140	934

ตารางที่ 3.56 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อไอน้ำเย็น : Operating Temperature = 59 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)
59	Tube L = 1.83 m. t = 0.5"	3/4	105	57
		1	120	66
		1 1/4	140	77
		1 1/2	150	82
		2	210	115
		2 1/2	290	158
		3	340	186
		3 1/2	380	208
		4	420	230
		5	480	262
	Sheet L = 1.22 m. t = 0.5"	6	340	279
		8	420	344
		10	480	393
		12	600	492
		14	680	557
		16	760	623
		18	850	697
		20	950	779
		24	1,140	934

ตารางที่ 3.57 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อไอน้ำเย็น : Operating Temperature = 60 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)	
60	Tube :L= 1.83 m: t = 0.375"	3/4	72	39	
		1	84	46	
	Tube L = 1.83 m. t = 0.5"	1 1/4	140	77	
		1 1/2	150	82	
		2	210	115	
		2 1/2	290	158	
		3	340	186	
		3 1/2	380	208	
		4	420	230	
		5	480	262	
		Sheet L = 1.22 m. t = 0.5"	6	340	279
			8	420	344
	10		480	393	
	12		600	492	
	14		680	557	
	16		760	623	
	18		850	697	
	20		950	779	
	24		1,140	934	

ตารางที่ 3.58 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อไอน้ำ : Operating Temperature = 61 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)
61	Tube L = 1.83 m. t = 0.375"	3/4	72	39
		1	84	46
		1 1/4	110	60
		1 1/2	120	66
	Tube L = 1.83 m. t = 0.5"	2	210	115
		2 1/2	290	158
		3	340	186
		3 1/2	380	208
		4	420	230
	Sheet L = 1.22 m. t = 0.5"	5	480	262
		6	340	279
		8	420	344
		10	480	393
		12	600	492
		14	680	557
		16	760	623
		18	850	697
	20	950	779	
	24	1,140	934	

ตารางที่ 3.59 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อไอน้ำ : Operating Temperature = 62 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)
62	Tube L = 1.83 m. t = 0.375"	3/4	72	39
		1	84	46
		1 1/4	110	60
		1 1/2	120	66
		2	160	87
	Tube L = 1.83 m. t = 0.5"	2 1/2	200	109
		3	340	186
		3 1/2	380	208
		4	420	230
	Sheet L = 1.22 m. t = 0.5"	5	480	262
		6	340	279
		8	420	344
		10	480	393
		12	600	492
		14	680	557
		16	760	623
		18	850	697
		20	950	779
	24	1,140	934	

ตารางที่ 3.60 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 63 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)
63	Tube L = 1.83 m. t = 0.375"	3/4	72	39
		1	84	46
		1 1/4	110	60
		1 1/2	120	66
		2	160	87
		2 1/2	200	109
		3	240	131
	Tube L = 1.83 m. t = 0.5"	3 1/2	380	208
		4	420	230
		5	480	262
	Sheet L = 1.22 m. t = 0.5"	6	340	279
		8	420	344
		10	480	393
		12	600	492
		14	680	557
		16	760	623
		18	850	697
		20	950	779
	24	1,140	934	

ตารางที่ 3.61 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 64 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)
64	Tube L = 1.83 m t = 0.375"	3/4	72	39
		1	84	46
		1 1/4	110	60
		1 1/2	120	66
		2	160	87
		2 1/2	200	109
		3	240	131
	Tube L = 1.83 m t = 0.5"	3 1/2	380	208
		4	420	230
		5	480	262
	Sheet L = 1.22 m t = 0.5"	6	340	279
		8	420	344
		10	480	393
		12	600	492
		14	680	557
		16	760	623
		18	850	697
		20	950	779
	24	1,140	934	

ตารางที่ 3.62 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 65 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)
65	Tube L = 1.83 m t = 0.375"	3/4	72	39
		1	84	46
		1 1/4	110	60
		1 1/2	120	66
		2	160	87
		2 1/2	200	109
		3	240	131
	Tube L = 1.83 m t = 0.5"	3 1/2	380	208
		4	420	230
		5	480	262
	Sheet L = 1.22 m t = 0.5"	6	340	279
		8	420	344
		10	480	393
		12	600	492
		14	680	557
		16	760	623
		18	850	697
		20	950	779
		24	1,140	934

ตารางที่ 3.63 แสดงราคาของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น : Operating Temperature = 66 °F

Operating Temp. (°F)	Insulation Description	D (inch)	Price List (Baht)	Price / m. (Baht)
66	Tube L = 1.83 m. t=0.375"	3/4	72	39
		1	84	46
		1 1/4	110	60
		1 1/2	120	66
		2	160	87
		2 1/2	200	109
		3	240	131
	Tube L = 1.83 m. t = 0.5"	3 1/2	380	208
		4	420	230
		5	480	262
	Sheet L = 1.22 m. t = 0.5"	6	340	279
		8	420	344
		10	480	393
		12	600	492
		14	680	557
		16	760	623
		18	850	697
		20	950	779
		24	1,140	934

ในตารางที่ 3.37-3.63 นี้ ประกอบไปด้วยราคาของฉนวนยางชนิดท่อ (Tube) สำหรับหุ้มท่อขนาด $\frac{3}{4}$ " – 5 " และราคาของฉนวนยางชนิดแผ่นตัดสำเร็จ (Pre-Cut Sheet) ซึ่งผลิตขึ้นมาเพื่อความสะดวกในการใช้งาน ตัดให้พอดีสำหรับหุ้มท่อขนาด 6" – 24"

โดยที่ ฉนวนยางชนิดท่อสำหรับหุ้มท่อขนาด $\frac{3}{4}$ " – 5 " มีความยาว (L) เท่ากับ 1.83 เมตร และความหนา (t) ที่มีขาย คือ $\frac{1}{4}$ " , $\frac{3}{8}$ " , $\frac{3}{4}$ " , $\frac{1}{2}$ " , 1" , $1\frac{1}{4}$ " , $1\frac{1}{2}$ " และ $2\frac{3}{8}$ ส่วน ฉนวนยางชนิดแผ่นตัดสำเร็จสำหรับหุ้มท่อขนาด 6" – 24" มีความยาว (L) เท่ากับ 1.22 เมตร และความหนา (t) ที่มีขาย คือ $\frac{1}{2}$ " , $\frac{3}{4}$ " , 1" , $1\frac{1}{4}$ " , $1\frac{1}{2}$ " และ 2" ตามลำดับ

จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าเมื่อเปลี่ยนค่าอุณหภูมิทำงานของน้ำเย็น (CWST และ CWRT) ให้ อยู่ภายใต้ขอบเขตที่กำหนด ราคาของฉนวนก็จะเปลี่ยนแปลงไป โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ อุณหภูมิทำงานของน้ำเย็นลดลง อีกทั้งราคาของฉนวนยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเดินผ่านศูนย์กลางท่อเพิ่มขึ้นอีกด้วย แต่ในบางกรณีราคาฉนวนก็ไม่เปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิทำงาน เปลี่ยนไปแต่ฉนวนที่ใช้มีความหนาคงเดิม เช่น ในกรณีที่ น้ำมีอุณหภูมิ 45°F และ 46°F เป็นต้น ดังนั้น จึงเป็นเรื่องยากที่จะสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของฉนวน (ราคาฉนวน) ให้อยู่ในรูปฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจทั้งสองได้อย่างชัดเจน แต่สำหรับในงานวิจัย นี้จะพิจารณาให้ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นดังกล่าวนี้ มีความสอดคล้องกับตัวแปรตัดสินใจ ดังนี้ คือ

เมื่อสภาวะการออกแบบเปลี่ยนแปลงไป (CWST หรือ TD เปลี่ยนค่าไป ภายใต้ของเขตที่กำหนด) ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของฉนวนก็จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะการออกแบบด้วย โดย กำหนดให้มีค่าเท่ากับค่าที่แสดงอยู่ในตารางที่ 3.37-3.63 ดังนั้นจึงสามารถที่จะกล่าวได้ว่าความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของฉนวนนี้อยู่ในรูปของฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจทั้งสองค่านี้ได้ ดังนี้

$$IC_{\text{INSULATION}} = f\{\text{CWST, TD}\} \quad (3.39)$$

และสำหรับแนวทางการคิดค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็นนี้มีดังนี้ คือ กำหนดให้ CWST และ CWRT มีค่าคงที่ตลอดเวลา ความยาวของท่อด้านน้ำเย็นจ่ายมีค่าเท่ากับ ความยาวของท่อด้านน้ำเย็นกลับในแต่ละช่วงที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งก็หมายความว่าในแต่ละช่วงที่พิจารณาความยาวของฉนวนหุ้มท่อด้านน้ำเย็นจ่ายมีค่าเท่ากับความยาวของฉนวนหุ้มท่อด้าน

น้ำเย็นกลับด้วยเช่นกัน ส่วนค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของการหุ้มฉนวนของอุปกรณ์ประกอบระบบท่อ วาล์ว วาล์วควบคุม เครื่องทำน้ำเย็นและเครื่องสูบน้ำเย็นหรืออุปกรณ์อื่นๆ จะพิจารณาให้มีค่าเป็น 10 % ของค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของการหุ้มฉนวนในส่วนของท่าน้ำเย็น

3.4.1.5 ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของเครื่องสูบน้ำเย็น (Initial Cost of Chilled Water Pump)

เครื่องสูบน้ำเย็นที่นำมาศึกษาเพื่อใช้เป็นแบบจำลองสำหรับงานวิจัยนี้ คือ Horizontal Split Case Centrifugal Pump (มอเตอร์ที่ใช้ขับเครื่องสูบน้ำ : 380 V / 3 ph / 50 Hz ; 1450 RPM) มีจำนวนทั้งสิ้น 4 เครื่อง เพื่อรองรับเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 450 ตัน (4 เครื่อง) ซึ่งการเลือกเครื่องสูบน้ำนี้จะพิจารณาเลือกจากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปของบริษัทเอกชนแห่งหนึ่ง โดยกำหนดให้เฮดสูญเสียของเครื่องสูบน้ำ (H_{PUMP}) มีค่าคงที่เท่ากับ 140 FT. of WG. แต่เปลี่ยนแปลงค่าของ GPM ให้เป็นตามค่า TD ที่เปลี่ยนไปภายใต้ขอบเขตที่กำหนดไว้ คือ $6^{\circ}F \leq TD \leq 16^{\circ}F$ โดยอาศัยความสัมพันธ์ของสมการที่ 2.5 และผลลัพธ์ของการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเลือกเครื่องสูบน้ำเย็นตามข้อกำหนดข้างต้นนี้ แสดงอยู่ในตารางที่ 3.64 ดังนี้

ตารางที่ 3.64 แสดงผลการเลือก Horizontal Split Case Centrifugal Pump ที่เหมาะสม

TD ($^{\circ}F$)	FLOW (GPM)	H_{PUMP} (FT.of WG.)	Price List (Baht)		MOTOR		EFFICENCY (%)		Total Price (Baht)
			Pump	Motor	HP	Kw	Motor	Pump	
6	1800.00	140	265,000	78,600	100	74.60	93.0	82.8	343,600
8	1350.00	140	205,000	58,000	75	55.95	92.5	75.8	263,000
10	1080.00	140	132,000	47,000	60	44.76	92.3	75.5	179,000
12	900.00	140	132,000	47,000	60	44.76	92.3	75.8	179,000
14	771.43	140	132,000	47,000	60	44.76	92.3	74.0	179,000
16	675.00	140	132,000	40,500	50	37.30	92.0	70.0	172,500

ในตารางดังกล่าวนี้ จะเป็นข้อมูลราคาของเครื่องสูบน้ำเย็น (ผลรวมของราคามอเตอร์ที่ใช้ขับและราคาของตัวเรือนเครื่องสูบน้ำ) ในช่วงเดือนธันวาคม 2545 ไม่คิดค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง

ซึ่งเมื่อพิจารณาข้อมูลในตารางแล้วจะพบว่าราคาของชุดเครื่องสูบน้ำเย็น (ผลรวมของเครื่องสูบน้ำกับมอเตอร์) และกิโลวัตต์ของมอเตอร์จะมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเมื่อค่า TD ลดต่ำลง (แต่

ในบางช่วงของค่า TD ก็ไม่ส่งผลกระทบต่อราคาเครื่องและกิโลวัตต์ของมอเตอร์ เช่น ที่ TD มีค่าในช่วง 10-14 °F เป็นต้น) ดังนั้น จึงไม่สามารถสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของเครื่องสูบน้ำเย็นให้อยู่ในรูปฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจได้อย่างชัดเจน แต่สำหรับในงานวิจัยนี้จะพิจารณาให้ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นดังกล่าวนี้ มีความสอดคล้องกับตัวแปรตัดสินใจ ดังนี้ คือ

เมื่อสภาวะการออกแบบเปลี่ยนแปลงไป (TD เปลี่ยนค่าไป ภายใต้ของเขตที่กำหนด) ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของเครื่องสูบน้ำก็จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะการออกแบบด้วย โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับค่าที่แสดงอยู่ในตารางที่ 3.64 ดังนั้น จึงสามารถที่จะกล่าวได้ว่าความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในส่วนนี้อยู่ในรูปของฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจทั้งสองค่านี้ได้ ดังนี้

$$IC_{PUMP} = f\{TD\} \quad (3.40)$$

3.4.2 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของระบบการกระจายน้ำเย็น (Operating Cost of Chilled Water Distribution System)

สำหรับการพิจารณาค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของระบบกระจายน้ำเย็น ก็พิจารณาเหมือนกับค่าใช้จ่ายเบื้องต้น กล่าวคือ กำหนดให้ กำลังไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำเย็น (kW_{PUMP}) มีค่าเป็นไปตามข้อมูลในตารางที่ 3.64 ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำเย็นเป็นฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจ ดังนี้

$$kW_{PUMP} = f\{TD\} \quad (3.41)$$

จากความสัมพันธ์ของสมการที่ 3.41 ส่งผลทำให้สมการที่ 2.30 เป็นฟังก์ชันของ TD ตามไปด้วย ดังนั้นเมื่อแทน kW ในสมการที่ 2.30 ด้วย kW_{PUMP} จะได้

$$\begin{aligned} NOP &= (kW_{PUMP}) \\ UNOP &= (kW_{PUMP})(HNOP)(DNOP) \\ UOFP &= (kW_{PUMP})(HOPF1)(DOFP1) + (kW_{PUMP})(HOPF2)(DOFP2) \end{aligned} \quad (3.42)$$

แทนสมการที่ 3.42 ลงในสมการที่ 2.32 [(อัตราค่าไฟฟ้ารายเดือน : TOU Tariff ของการไฟฟ้านครหลวง (ตุลาคม 2453 สำหรับกิจการขนาดใหญ่ 24 kV)] จะได้

$$EC_{PUMP} = (kW_{CH}) \{ 132.93 + 2.695(HNOP)(DNOP) + 1.1914[(HOF1)(DOF1) + (HOF2)(DOF2)] + (FT)[(HNOP)(DNOP) + (HOF1)(DOF1) + (HOF2)(DOF2)] \} \left(1 + \frac{VAT}{100}\right) \quad (3.43)$$

และเมื่อพิจารณาสมการที่ 3.43 ร่วมกับสมการที่ 3.41 แล้ว ก็จะพบว่าการใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำเย็นนั้น สามารถที่จะแสดงความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจได้เช่นเดียวกับค่าใช้จ่ายเบื้องต้น ดังนี้

$$EC_{PUMP} = f\{TD\} \quad (3.44)$$

3.4.3 ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบการกระจายน้ำเย็น (Maintenance Cost of Chilled Water Distribution System)

จากที่ได้ทราบมาก่อนหน้านี้แล้วว่าสำหรับในงานวิจัยชิ้นนี้ จะกำหนดให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษามีค่าเท่ากับ 5 % ของค่าใช้จ่ายเบื้องต้นทั้งหมด ดังนั้น เมื่อค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของระบบการกระจายน้ำเย็นเป็นฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจแล้ว ก็สามารถกล่าวได้ว่าค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบการกระจายน้ำเย็นนั้นก็เป็นฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจเช่นเดียวกัน ดังนี้

$$MC_{DIS} = f\{CWST, TD\} \quad (3.45)$$

3.5 เฮดสูญเสียของระบบการกระจายน้ำเย็น (Head Loss of Chilled Water Distribution System)

เฮดสูญเสียของระบบกระจายน้ำเย็นในระบบปรับอากาศแบบทำความเย็นจากส่วนกลาง คือ เฮดสูญเสียของเครื่องสูบน้ำเย็น ซึ่งเป็นผลรวมของเฮดสูญเสียที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบวงจรด้านน้ำเย็น โดยเริ่มต้นพิจารณาจากด้านส่งจนไปถึงด้านดูดของเครื่องสูบน้ำเย็น ซึ่งค่าเฮดสูญเสียในแต่ละอุปกรณ์นั้นสามารถที่จะคำนวณได้ดังนี้

3.5.1 เฮดสูญเสียในท่อ (Head Loss in Pipe)

เฮดสูญเสียในท่อน้ำเย็น (H_p) สามารถที่จะคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของ Wazen - Williams ดังแสดงในสมการที่ 2.17 แต่เพื่อให้ง่ายสำหรับการนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ จำเป็นต้องแปลงสมการให้อยู่ในรูปของตัวแปรตัดสินใจ โดยเริ่มต้นจากความสัมพันธ์ของอัตราการไหล ดังนี้

$$Q = (A)(V) = \frac{\pi}{4} \left(\frac{D}{12} \right)^2 (V) \quad (3.46)$$

จัดรูปใหม่

$$V = \frac{576(Q)}{\pi(D)^2} \quad (3.47)$$

โดยที่ Q = อัตราการไหลโดยปริมาตร (ft^3 / s)
 A = พื้นที่หน้าตัดของท่อน้ำ (ft^2)
 D = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำ (in)
 V = ความเร็วของน้ำในท่อน้ำ (ft / s)

จากสมการที่ 3.47 พิจารณาอัตราการไหลโดยปริมาตรให้อยู่ในหน่วยของ gallons / min

$$V = \frac{(576)(2.22909 \times 10^{-3})(\text{GPM})}{\pi(D)^2} \quad (3.48)$$

แทนสมการที่ 3.48 ในสมการที่ 2.17 (Wazen - Williams Equation) จะได้

$$H_{\text{PIPE}} = 3.022(L) \left[\frac{(576)(2.22909 \times 10^{-3})(\text{GPM})}{(\pi)(C)(D)^2} \right]^{1.852} \left(\frac{12}{D} \right)^{1.167} \quad (3.49)$$

จัดรูปสมการใหม่ จะได้

$$H_{\text{PIPE}} = 10.47157(L) \left[\frac{(\text{GPM})}{(C)(D)^2} \right]^{1.852} \left(\frac{1}{D} \right)^{1.167} \quad (3.50)$$

จากสมการที่ 3.50 พิจารณาความยาวของท่อน้ำจากหน่วยฟุตให้อยู่ในหน่วยของเมตร ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ จะได้

$$H_{\text{PIPE}} = 10.47157[3.280839(L_{\text{PIPE}})]\left[\frac{(\text{GPM})}{(C)(D)^2}\right]^{1.852}\left(\frac{1}{D}\right)^{1.167} \quad (3.51)$$

จัดรูปสมการใหม่ จะสมการของค่า H_{PIPE} ได้

$$H_{\text{PIPE}} = 34.3556[(L_{\text{PIPE}})]\left[\frac{(\text{GPM})}{(C)(D)^2}\right]^{1.852}\left(\frac{1}{D}\right)^{1.167} \quad (3.52)$$

ซึ่งความสัมพันธ์ของสมการที่ 3.52 นี้ กำหนดให้ค่า C มีค่าเท่ากับ 140 (ท่อเหล็กใหม่) และค่าของ L และ D มีค่าคงที่ในแต่ละช่วงของท่อที่พิจารณา ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า H_{PIPE} เป็นฟังก์ชันของ GPM ดังนี้

$$H_{\text{PIPE}} = f\{\text{GPM}\} \quad (3.53)$$

และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของสมการที่ 3.22 ร่วมกับสมการที่ 3.53 จะได้ว่าค่าของ H_{PIPE} นั้นเป็นฟังก์ชันของ TD ดังแสดงในสมการที่ 3.54

$$H_{\text{PIPE}} = f\{\text{TD}\} \quad (3.54)$$

3.5.2 เฮดสูญเสียในอุปกรณ์ประกอบท่อและวาล์ว (Head Loss in Fitting and Valve)

เฮดสูญเสียที่เกิดขึ้นใน ข้อต่ออ่อน (Flexible Joint) ข้องอ 90° มาตรฐาน (90° STD) ข้อต่อตัวที (Tees : Straight – Thru Flow) โกลีบวาล์ว (Globe Valve) วาล์วประตูน้ำ (Gate Valve) วาล์วผีเสื้อ (Butterfly Valve) วาล์วกันกลับชนิดยกแนวตั้ง (Lift Check Valve) ข้อเพิ่ม (Sudden Enlargement) ข้อลด (Sudden Contraction) และวายสเตรนเนอร์ (Y – Type Strainer) นั้น สามารถที่จะคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของสมการที่ 3.50 โดยการแทนความ

ยาวของท่อตรง (L) ด้วยความยาวสมมูล (Equivalent Length , L_E) ของอุปกรณ์ประกอบท่อ และวาล์วชนิดต่างๆ ที่แสดงอยู่ในตารางที่ 2.5 – 2.7

ทั้งนี้กำหนดให้ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเดียวกันความยาวสมมูลของข้อต่ออ่อน และวาล์วปีกผีเสื้อมีค่าเท่ากับความยาวสมมูลของวาล์วประตูน้ำ ส่วนความยาวสมมูลของวาล์วกันกลับชนิดยกแนวตั้งมีค่าเท่ากับความยาวสมมูลของโกลีวาล์ว $60^\circ - Y$ และสำหรับความยาวสมมูลของวาล์วสเตรเนอร์ , Sudden Enlargement และ Sudden Contraction จำเป็นต้องสร้างสมการให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) ด้วยวิธีกำลังสองต่ำที่สุด โดยอาศัยข้อมูลในตารางที่ 2.5 - 2.7 ดังแสดงในรูปที่ ข.1 – ข.7 ภาคผนวก ข. ทั้งนี้เนื่องจากค่าความยาวสมมูลในตารางมีค่าไม่ครบตามขนาดของ D ที่ระบุไว้

ดังนั้น เมื่อนำ L_E ที่ได้จากราย และสมการที่สร้างขึ้นแทนลงในสมการที่ 3.50 จะได้ค่าเฮดสูญเสียของอุปกรณ์ประกอบท่อและวาล์วชนิดต่างๆ มีค่าดังนี้ คือ

Equivalent Length (L_E) of Fitting & Valve

FLEXIBLE JOINT : $D = \frac{3}{4}'' - 24''$ (กำหนดให้ $L_{FLEX} = L_{GATE}$)

$$H_{FLEX} = 10.47157(L_{FLEX}) \left[\frac{(GPM)}{(C)(D)^2} \right]^{1.852} \left(\frac{1}{D} \right)^{1.167} \quad (3.55)$$

90° STD : $D = \frac{3}{4}'' - 24''$

$$H_{90STD} = 10.47157(L_{90STD}) \left[\frac{(GPM)}{(C)(D)^2} \right]^{1.852} \left(\frac{1}{D} \right)^{1.167} \quad (3.56)$$

NO REDUCTION TEE (Straight – Thru Flow) : $D = \frac{3}{4}'' - 24''$

$$H_{TEENO} = 10.47157(L_{TEENO}) \left[\frac{(GPM)}{(C)(D)^2} \right]^{1.852} \left(\frac{1}{D} \right)^{1.167} \quad (3.57)$$

GLOBE VALVE : $D = \frac{3}{4}'' - 24''$

$$H_{GLOBE} = 10.47157(L_{GLOBE}) \left[\frac{(GPM)}{(C)(D)^2} \right]^{1.852} \left(\frac{1}{D} \right)^{1.167} \quad (3.58)$$

GATE VALVE : $D = \frac{3}{4}'' - 24''$

$$H_{\text{GATE}} = 10.47157(L_{\text{GATE}}) \left[\frac{(\text{GPM})}{(C)(D)^2} \right]^{1.852} \left(\frac{1}{D} \right)^{1.167} \quad (3.59)$$

BUTTERFLY VALVE : $D = \frac{3}{4}'' - 24''$ (กำหนดให้ $L_{\text{BUT}} = L_{\text{GATE}}$)

$$H_{\text{BUT}} = 10.47157(L_{\text{BUT}}) \left[\frac{(\text{GPM})}{(C)(D)^2} \right]^{1.852} \left(\frac{1}{D} \right)^{1.167} \quad (3.60)$$

LIFT CHECK VALVE : $D = \frac{3}{4}'' - 24''$ (กำหนดให้ $L_{\text{CHECK}} = L_{60-Y}$)

$$H_{\text{CHECK}} = 10.47157(L_{\text{CHECK}}) \left[\frac{(\text{GPM})}{(C)(D)^2} \right]^{1.852} \left(\frac{1}{D} \right)^{1.167} \quad (3.61)$$

Y-TYPE STRAINER (Method of Least Square : $D = \frac{3}{4}'' - 14''$)

$$L_{\text{STRAIN}} = 0.0455(D)^4 - 1.1759(D)^3 + 10.29(D)^2 - 12.708(D) + 8.8444 : R^2 = 0.9990 \quad (3.62)$$

$$H_{\text{STRAIN}} = 10.47157(L_{\text{STRAIN}}) \left[\frac{(\text{GPM})}{(C)(D)^2} \right]^{1.852} \left(\frac{1}{D} \right)^{1.167} \quad (3.63)$$

Equivalent Length (L_E) of Sudden Enlargement & Sudden Contraction

SUDDEN ENLARGEMENT : $d/D = \frac{1}{4}$ (Method of Least Square : $d = \frac{3}{4}'' - 6''$)

$$L_{\text{ENL}1/4} = 0.0003(d)^3 + 0.1932(d)^2 + 3.7757(d) - 0.4646 : R^2 = 0.9980 \quad (3.64)$$

$$H_{\text{ENL}1/4} = 10.47157(L_{\text{ENL}1/4}) \left[\frac{(\text{GPM})}{(C)(d)^2} \right]^{1.852} \left(\frac{1}{d} \right)^{1.167} \quad (3.65)$$

SUDDEN ENLARGEMENT : $d/D = \frac{1}{2}$ (Method of Least Square : $d = \frac{3}{4}'' - 12''$)

$$L_{\text{ENL}1/2} = -0.0027(d)^3 + 0.0758(d)^2 + 2.9427(d) - 1.1158 : R^2 = 0.9922 \quad (3.66)$$

$$H_{\text{ENL}1/2} = 10.47157(L_{\text{ENL}1/2}) \left[\frac{(\text{GPM})}{(C)(d)^2} \right]^{1.852} \left(\frac{1}{d} \right)^{1.167} \quad (3.67)$$

SUDDEN ENLARGEMENT : $d/D = 3/4$ (Method of Least Square : $d = 3/4" - 18"$)

$$L_{ENL3/4} = -0.0014(d)^3 + 0.0412(d)^2 + 0.8338(d) - 0.1822 : R^2 = 0.9994 \quad (3.68)$$

$$H_{ENL3/4} = 10.47157(L_{ENL3/4}) \left[\frac{(GPM)}{(C)(d)^2} \right]^{1.852} \left(\frac{1}{d} \right)^{1.167} \quad (3.69)$$

SUDDEN CONTRACTION : $d/D = 1/4$ (Method of Least Square : $d = 3/4" - 6"$)

$$L_{CON1/4} = 0.0006(d)^3 + 0.0987(d)^2 + 1.9438(d) - 0.3313 : R^2 = 0.9997 \quad (3.70)$$

$$H_{CON1/4} = 10.47157(L_{CON1/4}) \left[\frac{(GPM)}{(C)(d)^2} \right]^{1.852} \left(\frac{1}{d} \right)^{1.167} \quad (3.71)$$

SUDDEN CONTRACTION : $d/D = 1/2$ (Method of Least Square : $d = 3/4" - 12"$)

$$L_{CON1/2} = 0.0007(d)^3 + 0.0255(d)^2 + 1.7071(d) - 0.4364 : R^2 = 0.9997 \quad (3.72)$$

$$H_{CON1/2} = 10.47157(L_{CON1/2}) \left[\frac{(GPM)}{(C)(d)^2} \right]^{1.852} \left(\frac{1}{d} \right)^{1.167} \quad (3.73)$$

SUDDEN CONTRACTION : $d/D = 3/4$ (Method of Least Square : $d = 3/4" - 18"$)

$$L_{CON3/4} = -0.0014(d)^3 + 0.0412(d)^2 + 0.8338(d) - 0.1822 : R^2 = 0.9994 \quad (3.74)$$

$$H_{CON3/4} = 10.47157(L_{CON3/4}) \left[\frac{(GPM)}{(C)(d)^2} \right]^{1.852} \left(\frac{1}{d} \right)^{1.167} \quad (3.75)$$

แต่สำหรับการคำนวณหาค่าเสดสูญเสียของข้อต่อตัวที (Tee) ในงานวิจัยนี้ จะพิจารณาจากทิศทางของเส้นทางการไหล (Direction of Flow Path) เป็นสำคัญ ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะของทิศทางของเส้นทางการไหลในข้อต่อตัวทีได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การไหลผ่านโดยตรง (Straight – Through Flow) และการไหลเข้าสาขา (Flow into Branch)

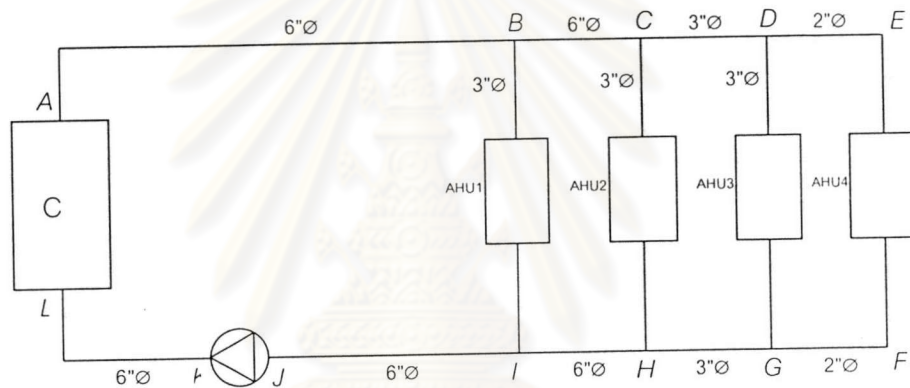
ทั้งนี้การไหลในแต่ละลักษณะที่กล่าวมาข้างต้น ยังสามารถแบ่งย่อยออกไปได้อีก 3 รูปแบบ คือ

1. การไหลที่ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อไม่เปลี่ยนแปลง (Flow with No Diameter Change)

2. การไหลที่ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อลดลง (Flow with a Reduction in Diameter)

3.การไหลที่ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเพิ่มขึ้น (Flow with a Increase in Diameter)

ซึ่งการไหลที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อลดลงหรือเพิ่มขึ้นนั้น ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาให้เป็นเสมือนกับ Sudden Enlargement และ Sudden Contraction ตามลำดับ ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการอธิบายถึงวิธีการหาค่าเสดสูญเสี่ยของข้อต่อตัวทีในลักษณะการไหลแบบต่างๆ ให้พิจารณา รูปที่ 3.3 ประกอบ



รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างระบบวงจรรกระจายน้ำเย็นสำหรับหาค่าเสดสูญเสี่ยของข้อต่อตัวที

จากรูปที่ 3.4 เราจะพบว่าจุด B, C, D, G, H และ I นั้นคือ ข้อต่อตัวที ซึ่งค่าเสดสูญเสี่ยของข้อต่อตัวทีที่จุดต่างๆ นี้ สามารถใช้เป็นตัวอย่างในการอธิบายการหาค่าเสดสูญเสี่ยของข้อต่อตัวทีได้เป็นอย่างดี ดังนี้

เริ่มต้นจากการพิจารณา Section A-B เราจะพบข้อต่อตัวทีที่จุด B ซึ่งมีลักษณะการไหล 2 รูปแบบ คือ การไหลผ่านโดยตรงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อไม่เปลี่ยนแปลง (Straight – Through Flow with No Diameter Change) และการไหลเข้าสาขานขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อลดลง (Branch Flow with a Reduction in Diameter) จาก 6” ไปเป็น 3 “ ดังนั้นถ้าเรากำลังสนใจการไหลผ่านโดยตรงเข้าไปสู่ Section B-C แล้ว ค่าเสดสูญเสี่ยของข้อต่อตัวทีที่จุด B ก็จะมีค่าเท่ากับสมการที่ 3.57 (No Reduction Tee : Straight – Thru Flow แทนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6”) แต่ถ้าเรากำลังสนใจการไหลเข้าสาขาเพื่อไปสู่เครื่อง AHU1 แล้ว ค่าเสดสูญ

เสียของข้อต่อตัวที่จุด B ก็จะมีค่าเท่ากับผลรวมของสมการที่ 3.56 (90° STD แทนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6") กับสมการที่ 3.73 (Sudden Contraction : $d/D = 1/2$ แทนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3") และสำหรับ Section B-C การพิจารณาค่าเสดสูญเสียบของข้อต่อตัวที่จุด C นั้น ก็ทำในทำนองเดียวการหาค่าที่จุด B

พิจารณา Section C-D เราจะพบข้อต่อตัวที่จุด D ซึ่งมีลักษณะการไหล 2 รูปแบบ คือ การไหลผ่านโดยตรงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อลดลง (Straight – Through Flow with a Reduction in Diameter) จาก 3" ไปเป็น 2" และการไหลเข้าสาขาขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อไม่เปลี่ยนแปลง (Branch Flow with No Diameter Change) ดังนั้นถ้าเรากำลังสนใจการไหลผ่านโดยตรงเข้าไปสู่ Section D-E แล้ว ค่าเสดสูญเสียบของข้อต่อตัวที่จุด D ก็จะมีค่าเท่ากับผลรวมของสมการที่ 3.57 (No Reduction Tee : Straight – Thru Flow แทนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3") กับสมการที่ 3.75 (Sudden Contraction : $d/D = 3/4$ แทนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2") แต่ถ้าเรากำลังสนใจการไหลเข้าสาขาเพื่อไปสู่เครื่อง AHU4 แล้ว ค่าเสดสูญเสียบของข้อต่อตัวที่จุด B ก็จะมีค่าเท่ากับสมการที่ 3.56 (90° STD แทนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3")

พิจารณา Section F-G เราจะพบข้อต่อตัวที่จุด G แต่จะมีลักษณะการไหลเพียงรูปแบบเดียวเท่านั้น คือ การไหลผ่านโดยตรงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น (Straight – Through Flow with a Increase in Diameter) จาก 2" ไปเป็น 3" ดังนั้น ค่าเสดสูญเสียบของข้อต่อตัวที่จุด G ก็จะมีค่าเท่ากับผลรวมของสมการที่ 3.57 (No Reduction Tee : Straight – Thru Flow แทนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2") กับสมการที่ 3.69 (Sudden Enlargement : $d/D = 3/4$ แทนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2") ข้อสังเกตน้ำที่มาจาก Section F-G นี้ จะไม่ไหลเข้า AHU3 โดยเด็ดขาด

พิจารณา Section C-H เราจะพบข้อต่อตัวที่จุด H แต่จะมีลักษณะการไหลเพียงรูปแบบเดียวเท่านั้น คือ การไหลเข้าสาขาขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น (Straight – Through Flow with a Increase in Diameter) จาก 3" ไปเป็น 6" ดังนั้น ค่าเสดสูญเสียบของข้อต่อตัวที่จุด H ก็จะมีค่าเท่ากับผลรวมของสมการที่ 3.56 (90° STD แทนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3") กับสมการที่ 3.67 (Sudden Enlargement : $d/D = 1/2$ แทนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3") ข้อสังเกตน้ำที่มาจาก Section C-H นี้ จะไม่ไหลเข้า Section H-G โดยเด็ดขาด

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ค่าเฮดสูญเสียของข้อต่อตัวที่ถ้าพิจารณาให้การไหลเป็นการไหลผ่านโดยตรงแล้ว เราสามารถสร้างความสัมพันธ์เพื่อหาค่าเฮดสูญเสียของข้อต่อตัวที่ได้ 3 รูปแบบ ดังนี้ คือ

การไหลผ่านโดยตรงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อไม่เปลี่ยนแปลง จะกำหนดให้มีค่าเฮดสูญเสียเท่ากับเฮดสูญเสียของ No Reduction Tee : Straight – Through Flow ในสมการที่ 3.57

การไหลผ่านโดยตรงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางลดลง จะกำหนดให้มีค่าเฮดสูญเสียเท่ากับผลรวมของเฮดสูญเสียของ No Reduction Tee : Straight – Through Flow (ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางใน Section ที่พิจารณา) ในสมการที่ 3.57 กับ Sudden Contraction (ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางท่อเล็ก) ในสมการที่ 3.71 , 3.73 หรือ 3.75 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า d/D

การไหลผ่านโดยตรงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น จะกำหนดให้มีค่าเฮดสูญเสียเท่ากับผลรวมของเฮดสูญเสียของ No Reduction Tee : Straight – Through Flow (ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางใน Section ที่พิจารณา) ในสมการที่ 3.57 กับ Sudden Enlargement (ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางท่อเล็ก) ในสมการที่ 3.65 , 3.67 หรือ 3.69 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า d/D

และสำหรับค่าเฮดสูญเสียของข้อต่อตัวที่พิจารณาให้การไหลเป็นการไหลเข้าสาขาแล้ว เราสามารถสร้างความสัมพันธ์เพื่อหาค่าเฮดสูญเสียของข้อต่อตัวที่ได้ 3 รูปแบบเช่นกัน ดังนี้ คือ

การไหลเข้าสาขานขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อไม่เปลี่ยนแปลง จะกำหนดให้มีค่าเฮดสูญเสียเท่ากับเฮดสูญเสียของ 90° STD ในสมการที่ 3.56

การไหลเข้าสาขานขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางลดลง จะกำหนดให้มีค่าเฮดสูญเสียเท่ากับผลรวมของเฮดสูญเสียของ 90° STD (ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางใน Section ที่พิจารณา) ในสมการที่ 3.56 กับ Sudden Contraction (ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางท่อเล็ก) ในสมการที่ 3.71 , 3.73 หรือ 3.75 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า d/D

การไหลเข้าสาขาขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น จะกำหนดให้มีค่าเฮดสูญเสียเท่ากับผลรวมของเฮดสูญเสียของ 90° STD (ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางใน Section ที่พิจารณา) ในสมการที่ 3.56 กับ Sudden Enlargement (ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางท่อเล็ก) ในสมการที่ 3.65 , 3.67 หรือ 3.69 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า d/D

ซึ่งการเลือกใช้สมการของ Sudden Enlargement และ Sudden Contraction นั้น ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้มีข้อกำหนด ดังต่อไปนี้ คือ ให้ใช้สมการของ $d/D = 1/4$ เมื่อพิจารณาแล้วพบว่า $0 < d/D \leq 0.33$ ให้ใช้สมการของ $d/D = 1/2$ เมื่อพิจารณาแล้วพบว่า $0.33 < d/D \leq 0.66$ และให้ใช้สมการของ $d/D = 3/4$ เมื่อพิจารณาแล้วพบว่า $0.66 < d/D < 1$ ตามลำดับ

จากความสัมพันธ์ของสมการที่ใช้คำนวณค่าเฮดสูญเสียของอุปกรณ์ประกอบระบบท่อและวาล์วทั้งหมดข้างต้น นำมาพิจารณาร่วมกับสมการที่ 3.22 และ 3.23 (ความยาวสมมูลจะมีค่าคงที่ในแต่ละอุปกรณ์และในแต่ละช่วงที่ทำการพิจารณา) ดังนั้นจึงสามารถที่จะกล่าวได้ว่าค่าเฮดสูญเสียของอุปกรณ์ประกอบระบบท่อและวาล์วทั้งหมดข้างต้นล้วนแล้วแต่เป็นฟังก์ชันของ TD ทั้งสิ้น ดังนี้

$$H_{\text{FITTING}} = f\{TD\} \quad \text{และ} \quad H_{\text{VALVE}} = f\{TD\} \quad (3.76)$$

3.5.3 เฮดสูญเสียในวาล์วควบคุมชนิด 2 ทาง (Head Loss in 2 Way Control Valve)

เฮดสูญเสียในวาล์วควบคุม (H_{cv}) สามารถที่จะคำนวณได้จากสมการที่ 2.23 ดังนี้

$$H_{cv} = 2.3068 \left(\frac{\text{GPM}}{C_v} \right)^2 \quad (3.77)$$

และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของสมการที่ 3.22 ร่วมกับสมการที่ 3.77 ก็สามารรถที่จะแสดงได้ว่าค่าเฮดสูญเสียของวาล์วควบคุมนั้นเป็นฟังก์ชันของ TD ดังแสดงในสมการที่ 3.78

$$H_{cv} = f\{TD\} \quad (3.78)$$

3.5.4 เฮดสูญเสียในเครื่องทำน้ำเย็น (Head Loss in Water Chiller)

เฮดสูญเสียของเครื่องทำน้ำเย็น (H_{CH}) ในระบบวงจรด้านน้ำเย็นนั้น พิจารณาจากข้อมูลในตารางที่ 3.1-3.11 ทั้งนี้เนื่องจากในตารางดังกล่าวนี้จะมีข้อมูลในส่วนของ H_{CH} เมื่อเปลี่ยนค่า CWST และ TD ภายใต้ขอบเขตที่กำหนด ดังนั้นจึงสามารถที่จะกล่าวได้ว่าความสัมพันธ์ของ H_{CH} เป็นฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจทั้งสองค่านี้ ดังนี้

$$H_{CH} = f\{CWST, TD\} \quad (3.79)$$

3.5.5 เฮดสูญเสียในเครื่องส่งลมเย็น (Head Loss in AHU)

เฮดสูญเสียของเครื่องส่งลมเย็น (H_{AHU}) นั้น พิจารณาจากข้อมูลในตารางที่ 3.12-3.33 ทั้งนี้เนื่องจากในตารางดังกล่าวนี้จะมีข้อมูลในส่วนของ H_{AHU} เมื่อเปลี่ยนค่า CWST และ TD ภายใต้ขอบเขตที่กำหนด ดังนั้นจึงสามารถที่จะกล่าวได้ว่าความสัมพันธ์ของ H_{AHU} เป็นฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจทั้งสองค่านี้ ดังนี้

$$H_{AHU} = f\{CWST, TD\} \quad (3.80)$$

3.5.6 เฮดของเครื่องสูบน้ำเย็น (Head of Chilled Water Pump)

เฮดของเครื่องสูบน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบทำความเย็นจากส่วนกลาง คือ ผลรวมของค่าเฮดสูญเสียที่เกิดขึ้นในท่อ อุปกรณ์ประกอบระบบท่อ วาล์ว วาล์วควบคุม เครื่องทำความเย็นและเครื่องส่งลมเย็นของระบบวงจรด้านน้ำเย็น โดยเริ่มต้นพิจารณาจากด้านส่งจนถึงด้านดูดของเครื่องสูบน้ำเย็นเป็นหลัก ซึ่งค่าเฮดของเครื่องสูบน้ำเย็นนั้นจะพิจารณาเลือกจากเส้นทางของวงจรการกระจายน้ำเย็นที่มีค่าของผลรวมของค่าเฮดสูญเสียเนื่องจากอุปกรณ์ต่างๆ สูงที่สุด (ส่วนมากแล้วจะเป็นเส้นทางที่มีระยะการเดินท่อที่ยาวที่สุด) ดังแสดงในสมการที่ 3.81

$$H_{PUMP} = H_{PIPE} + H_{FITTING} + H_{VALVE} + H_{CV} + H_{CH} + H_{AHU} \quad (3.81)$$

และเมื่อนำเฮดของเครื่องสูบน้ำที่ได้นี้แทนลงในสมการที่สมการที่ 2.11 จะได้

$$kW_P = \frac{(GPM)(H_{PUMP})}{5308(\eta_m)(\eta_p)} \quad (3.82)$$

และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของสมการที่ 3.22 ร่วมกับสมการที่ 3.82 ก็สามารถที่จะกล่าวได้ว่า กำลังไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำนั้นเป็นฟังก์ชันของ TD ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ในสมการที่ 3.41

3.6 วิธีการค้นหา (Search Method)

เราจะพบเสมอว่าปัญหาทางวิศวกรรม ในบางครั้งไม่สามารถเขียน ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และ / หรือเงื่อนไขบังคับ ให้อยู่ในรูป ฟังก์ชันชัดเจน (Explicit Function) ของตัวแปรตัดสินใจ หรือบางทีปัญหาก็ซับซ้อนเกินกว่าที่จะใช้วิธีทางแคลคูลัส (Calculus Method) หาคำตอบออกมาได้ ทั้งนี้เนื่องจากวิธีดังกล่าวจะใช้กับ ฟังก์ชันที่ต่อเนื่อง (Continuous Function) หรือฟังก์ชันที่สามารถหาอนุพันธ์ได้ (Differentiable Function) ส่วนเงื่อนไขบังคับต้องเป็นเงื่อนไขสมภาพ (Equality Constraint) เท่านั้น และคำตอบค่าหนึ่งของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่เหมาะสมที่สุดจะหาออกมาได้ในขั้นตอนสุดท้ายหลังจากรู้ค่าของตัวแปรตัดสินใจที่เหมาะสมที่สุดทุกตัวแล้ว

และสำหรับการศึกษาเพื่อหาค่าอุณหภูมิน้ำเย็นจ่าย (CWST) และแตกต่าง (TD) ที่เหมาะสมสำหรับระบบปรับอากาศในระบบวงจรด้านน้ำเย็นของงานวิจัยชิ้นนี้ ก็เป็นปัญหาหนึ่งที่ไม่สามารถสร้างฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับ ให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันที่ต่อเนื่องหรือฟังก์ชันที่สามารถหาอนุพันธ์ได้ จึงไม่สามารถนำวิธีทางแคลคูลัสมาแก้ปัญหานี้ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำวิธีการค้นหา (Search Method) ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดวิธีหนึ่งมาช่วยในการวิเคราะห์ โดยวิธีการค้นหาจะถูกพิจารณาด้วยการนำค่าของตัวแปรตัดสินใจทั้ง CWST และ TD แทนลงในสมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (LCC) และในการระหว่างการดำเนินการจะได้ค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (LCC) ออกมาหลายๆค่า หลังจากนั้นจึงสรุปเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดอย่างแท้จริง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ข้างต้น