บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานนับเป็นปัจจัยหลักสำคัญในการพัฒนาประเทศ ปัจจุบันมีการใช้พลังงานในเชิงอุตสาหกรรมกันอย่างแพร่หลาย ทำให้ความต้องการใช้พลังงานในประเทศเพิ่มสูงขึ้น ขณะเดียวกันแหล่งพลังงานที่มีอยู่ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของปริมาณการผลิต ดังจะเห็นได้จากวิกฤตการณ์พลังงานที่เกิดขึ้นในประเทศไทยหลาย ๆ ครั้งในอดีตที่ผ่านมา [2] ดังนั้นทางรัฐบาลจึงได้ประกาศใช้พระราชบัญญัติการส่งเสริมและการอนุรักษ์พลังงานขึ้น เมื่อปี 2535 [1] เพื่อช่วยบรรเทาปัญหาการขาดแคลนพลังงานของประเทศ วิธีหนึ่งที่สามารถช่วยให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน คือ การนำความร้อนที่เหลือทิ้ง จากกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนต่าง ๆ เช่น ความร้อนจากการเผาไหม้ของหัวเผาหม้อไอน้ำ หรือความร้อนทิ้งจากระบบหล่อเย็น กลับมาใช้ประโยชน์ อุปกรณ์ที่สามารถใช้ในการนี้ได้มีหลายชนิดแต่ชนิดที่สนใจในงานวิจัยนี้ คือ กาลักความร้อน หรือ เทอร์โมไซฟอน (Thermosyphon) [3]

ท่อเทอร์โมไซฟอนที่ใช้กันในปัจจุบัน โดยมากทำมาจากโลหะ เช่น ทองแดง เหล็ก หรืออลูมิเนียม ซึ่งเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการนำความร้อนได้สูง และมีกรรมวิธีการประกอบที่ง่าย แต่ก็ยังคงมีข้อจำกัดบางประการคือ มีน้ำหนักมาก และการเกิดการกัดกร่อนได้ง่ายจากปฏิกิริยาทางเคมีในระบบ

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงได้เสนอวัสดุที่ใช้ในการสร้างท่อเทอร์โมไซฟอนชนิดใหม่คือพลาสติก ทั้งนี้เนื่องจากพลาสติกมีความได้เปรียบเรื่องน้ำหนักที่เบากว่าและความทนทานต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ดีพลาสติกก็ยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องของอุณหภูมิการใช้งาน ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงจะทำการศึกษาในช่วงอุณหภูมิของการใช้งาน ระหว่าง 10°C – 80 °C เท่านั้นเนื่องจากพลาสติกโดยส่วนมากมีความสามารถทนต่ออุณหภูมิในช่วงใช้งานได้ไม่เกิน 100°C [10,15] การเลือกพลาสติกที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้นั้น ใช้หลักในการพิจารณาเลือกอยู่ 3 ประการ คือ ความสะดวกในการหาวัสดุ พลาสติกที่ใช้ต้องมีความสามารถทนความร้อนได้สูง คือช่วงอุณหภูมิการใช้งานต้องสูงถึง 80 ° C และต้องมีความเป็นฉนวนน้อยที่สุด ซึ่งจากการสำรวจตลาดพบว่า ท่อพลาสติกที่มีขายโดยทั่วไปมี 2 ประเภทที่มีลักษณะเหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นวัสดุท่อความร้อน คือ ท่อพลาสติกชนิด โพลีเอทิลีน ที่มีความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene: HDPE) และท่อพลาสติกชนิด โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride: PVC) ซึ่งมีคุณสมบัติดังแสดงในตาราง 1

ตาราง1.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของท่อพลาสติกชนิด HDPE และ PVC [4,5,6]

คุณสมบัติ	HDPE	PVC
ความถ่วงจำเพาะ	0.95	1.43
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($W/m^{\circ}C$)	0.42	0.12-0.14
สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น ($10^{-4}/^{\circ}C$)	1.3-2.0	0.7-0.8
จุดอ่อนตัว($^{\circ}C$)	110-125	75-82
จุดหลอมละลาย($^{\circ}C$)	130-135	100 (สูญเสียโครงสร้างโมเลกุล)
ความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดคลาก (N/cm^2)	>1962	>4905
โมดูลัสของความยืดหยุ่น (N/mm^2)	600	2490
สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น (K^{-1})	2×10^{-4}	7×10^{-5}
ความแข็ง (Rockwell R)	60-65	120

จากข้อมูลที่มีทำให้เลือกใช้ ท่อพลาสติกชนิด HDPE ซึ่งถึงแม้ว่าจะมีความแข็งแรงต่ำกว่าท่อพลาสติกชนิด PVC แต่เมื่อพิจารณาตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ในขั้นต้นแล้วพบว่า HDPE มีความเป็นฉนวนต่ำกว่าและมีความทนทานต่ออุณหภูมิได้สูงกว่าพลาสติกชนิด PVC โดยเมื่อพิจารณาจากจุดอ่อนตัวแล้วพบว่าในช่วงอุณหภูมิใช้งานที่กำหนดไว้ 80°C นั้น PVC จะเกิดการอ่อนตัว ในขณะที่ HDPE มีจุดอ่อนตัวสูงกว่านั้น ซึ่งคุณสมบัติในด้านการนำความร้อนและการทนทานต่อความร้อนสูงนับเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างมากต่อการนำวัสดุประเภทพลาสติกมาใช้ทำท่อเทอร์โมไซฟอน

1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนสองสถานะแบบปิด

Shiraishi et al. [17] ได้ทำการศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนสองสถานะแบบปิด โดยใช้ข้อมูลจากผลการทดสอบควบคู่กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในลักษณะเอ็มพิริคอล (Empirical method) เพื่อศึกษาความสามารถของท่อเทอร์โมไซฟอนที่ใช้น้ำ, เอทธานอล และ R113 เป็นสารทำงาน โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนที่พิจารณา คือ ปริมาณสารทำงาน อุณหภูมิทำงาน ปริมาณความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ และชนิดของสารทำงาน

Shiraishi ได้แยกพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ในเทอร์โมไซฟอนเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนควบแน่น ส่วนที่เป็นแอ่งของเหลว และส่วนเหนือแอ่งของเหลว ที่ส่วนควบแน่นนั้นใช้ทฤษฎีการควบแน่นที่ผนังส่วนควบแน่นของ Nusselt มาเป็นแบบจำลองและนำสมการนี้มา

วิเคราะห์ผลร่วมกับผลจากการทดสอบ ซึ่งทั้งสองวิธีมีผลที่สอดคล้องกันเป็นอย่างดี จากนั้นหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่บริเวณแอ่งของเหลวในระบบปิดซึ่งมีลักษณะคล้ายกับระบบเปิด และใช้สมการจากแบบจำลองร่วมกับข้อมูลการทดสอบ เพื่อทำนายค่าการกระจายอุณหภูมิที่ผิวภายในท่อเทอร์โมไซฟอน ซึ่งพบว่าผลการทดสอบและผลจากแบบจำลองทาง เอ็มพิริคอล ของ Shiraishi ที่ได้ทำการศึกษามานั้น ข้อมูลจากทั้งสองแหล่งมีความสอดคล้องเป็นไปในทางเดียวกันเป็นอย่างดี

1.2.2 ขีดจำกัดการทำงานของเทอร์โมไซฟอนสองสถานะแบบปิด

Shiraishi et al. [18] ได้ทำการศึกษาเชิงทรรศน์เกี่ยวกับ ผลของปริมาณสารทำงานที่มีต่อขีดจำกัดการทำงานของเทอร์โมไซฟอน ซึ่งขีดจำกัดที่พิจารณาคือ ขีดจำกัดการท่วมและขีดจำกัดการแห้ง โดยการทดสอบนั้นใช้เทอร์โมไซฟอนที่ทำจากแก้วและใช้สารทำงานคือ R113 และปรับเปลี่ยนค่าปริมาณการเติมสารทำงาน Shiraishi ได้ทำการเปรียบเทียบขีดจำกัดการทำงานจากผลของการทดสอบกับขีดจำกัดการทำงานที่ได้จากความสัมพันธ์ที่มีอยู่ก่อนแล้ว[9,12,13] โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 กรณี คือ กรณีการเติมสารทำงานน้อย ปานกลางและมาก

ซึ่งความสัมพันธ์ทั้ง 3 นี้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลการทดสอบแล้วได้ข้อสรุปคือ ถ้าเกิดขีดจำกัดการทำงานแล้ว ที่อัตราส่วนการเติมต่ำกว่า 25% จะเกิดขีดจำกัดการเดือด ในขณะที่เมื่ออัตราส่วนการเติมมากกว่า 25% จะเกิดขีดจำกัดการท่วม นั่นหมายความว่า ถ้าอัตราส่วนการเติมน้อย จะเกิดขีดจำกัดการเดือดก่อนขีดจำกัดการท่วม ดังนั้นเพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการเกิดขีดจำกัดการเดือดซึ่งเกิดได้ง่ายกว่า ก็ควรจะใช้ อัตราส่วนการเติมที่มากกว่า 50%

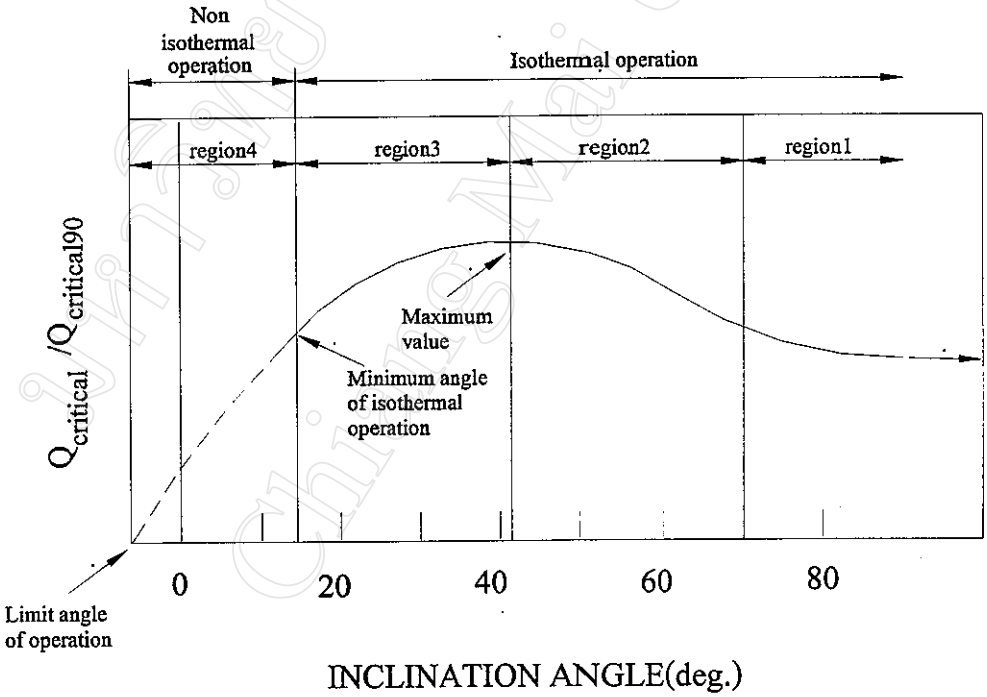
1.2.3 ลักษณะทางกายภาพของส่วนรับความร้อนที่มีต่อขีดจำกัดการทำงาน

Shiraishi [16] ทำการศึกษาผลของลักษณะทางกายภาพของส่วนรับความร้อนที่มีต่อขีดจำกัดการทำงาน โดยใช้เทอร์โมไซฟอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4-14 มิลลิเมตร และรักษาอุณหภูมิไอไว้ที่ $38 \pm 3^{\circ}C$ โดยใช้อัตราส่วนสนทัดคงที่ที่ 12 และอัตราส่วนการเติมอยู่ในเกณฑ์ "มาก"[18] เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบเนื่องจากขีดจำกัดการเดือด โดยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาว่าอัตราส่วนความร้อนวิกฤติมีความสัมพันธ์กับค่าอัตราส่วนสนทัดและค่าตัวเลขของบอนด์อย่างไร ซึ่งพบว่าอัตราส่วนสนทัดของส่วนรับความร้อนที่มากขึ้นจะทำให้ค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติลดลงและพบว่าค่าตัวเลขของบอนด์ก็ยังมีผลต่อการส่งผ่านความร้อนวิกฤติด้วย

จากความสำคัญของอัตราส่วนสนทัดและค่าตัวเลขของบอนด์นี้เองที่เป็นตัวแปรสำคัญที่จะต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบวิธีการวิจัยให้สามารถเปรียบเทียบคุณลักษณะการส่งผ่านความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนกับผลของอัตราส่วนสนทัดและค่าตัวเลขของบอนด์ให้เป็นที่เข้าใจสำหรับทุก ๆ การทดสอบ

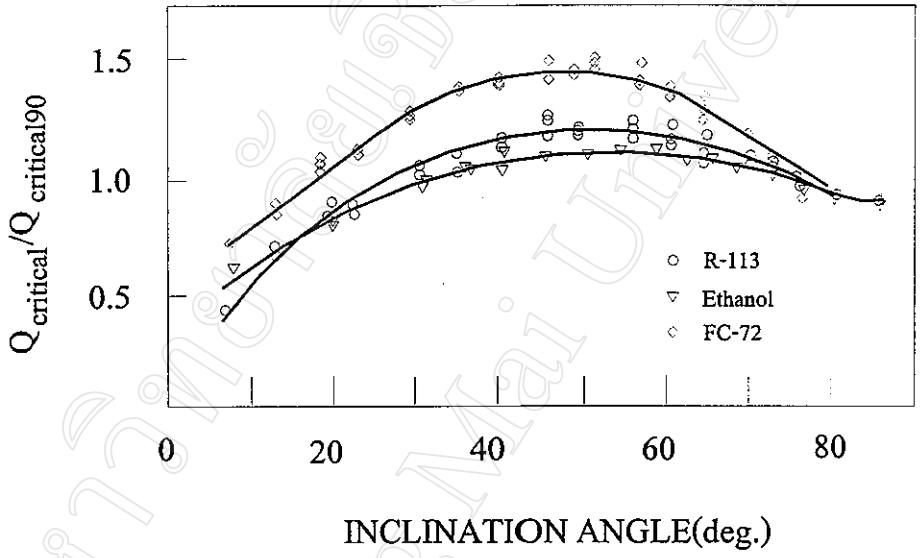
1.2.4 ผลของมุมเอียงที่มีต่อสมรรถนะของเทอร์โมไซฟอน

Terdtoon et al. [19] ได้ทำการศึกษาผลของมุมเอียงที่มีต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนสองสถานะแบบปิดที่ตำแหน่งเอียงที่ทำจากสแตนเลส กับสารทำงาน 3 ชนิดคือ R113 เอทธานอล (Ethanol) และฟรูออริเนอร์ท (Fluorinert) โดยพิจารณาจากการศึกษาก่อนหน้าที่ได้ผลว่าการเอียงท่อเทอร์โมไซฟอนไปจากแนวดิ่งทำให้ได้ผลของการถ่ายเทความร้อนดีกว่า [14] และได้ทำการทดสอบโดยใช้อัตราส่วนการเติม 80%, 50% และ 30% เพื่อพิจารณาผลของมุมเอียงจากการทำงานที่มีต่อสมรรถนะของเทอร์โมไซฟอนภายใต้ช่วงการทำงานที่เป็น ไอโซเทอร์มอล โอเปอร์เรชัน (Isothermal Operation) และแสดงผลใน 2 ลักษณะคือ ผลของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความร้อนวิกฤติ ($Q_{critical}$) ที่ตำแหน่งมุมเอียงกับความร้อนวิกฤติที่ตำแหน่งแนวดิ่ง ($Q_{critical90}$) เทียบกับมุมเอียงต่าง ๆ และผลของค่าความต้านทานความร้อนที่ตำแหน่งมุมเอียงเทียบกับตำแหน่งแนวดิ่ง ซึ่งจากการทดสอบพบว่าผลเนื่องจากมุมเอียงการทำงานนั้นสามารถแบ่งแยกออกได้เป็น 4 ส่วนหลัก ดังแสดงในรูป 1.1



รูป 1.1 แสดงผลของมุมเอียงที่มีต่อสมรรถนะการทำงานแบ่งได้เป็น 4 ช่วงหลัก [19]

โดยจากการทดสอบกับสารทำงานทั้ง 3 ชนิดดูเหมือนจะมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันว่าสมรรถนะการทำงานของเทอร์โมไซฟอนจะสูงสุดเมื่อมุมเอียงการทำงานเปลี่ยนไปถึงช่วงมุมค่าหนึ่ง โดยพิจารณาจากสัดส่วน $Q_{critical}/Q_{critical90}$ โดยค่ามุมดังกล่าวนี้มีค่าประมาณ 50 องศา ทุก ๆ อัตราส่วนการเติมดังแสดงในรูป 1.2 นอกจากนี้จากการทดสอบยังพบว่า อัตราส่วนการเติมนั้นจะส่งผลต่อช่วงการทำงานที่เป็น ไอโซเทอร์มอล โอเปอร์เรชัน กล่าวคือ กรณีที่อัตราส่วนการเติมมาก (80%) จะให้ช่วงการทำงานที่เป็น ไอโซเทอร์มอล โอเปอร์เรชัน ยาวที่สุดในขณะที่กรณีการเติมสารทำงานน้อย (30%) จะให้ช่วงการทำงานที่เป็น ไอโซเทอร์มอล โอเปอร์เรชัน สั้นที่สุด



รูป 1.2 แสดงผลของอัตราส่วน $Q_{critical}/Q_{critical90}$ ของสารทำงานทั้ง 3 ชนิด [19]

ในขณะที่เมื่อพิจารณาค่าความต้านทานความร้อนของเทอร์โมไซฟอนกับมุมเอียงการทำงานที่เปลี่ยนไปก็มีลักษณะเป็นไปในทางที่ส่งผลสอดคล้องผลของค่า $Q_{critical}/Q_{critical90}$ กล่าวคือช่วงมุมเอียงที่ให้ค่า $Q_{critical}/Q_{critical90}$ สูงสุดก็จะให้ค่าความต้านทานความร้อนต่ำสุด จากผลการทดสอบดังกล่าวแสดงให้เห็นผลเด่นชัดว่ามุมเอียงการทำงานที่เปลี่ยนไปจากแนวดิ่งนั้น จะมีผลโดยตรงต่อสมรรถนะการทำงานของเทอร์โมไซฟอน ซึ่งจะมีช่วงมุมเอียงการทำงานช่วงหนึ่งที่จะให้ค่าสมรรถนะการทำงานสูงสุด ในขณะเดียวกันก็จะพบว่าช่วงมุมดังกล่าวจะเป็นช่วงมุมที่ให้ค่าความต้านทานความร้อนต่ำสุด

ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้ทำให้สามารถเลือกอัตราส่วนการเติมที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานท่อความร้อนและสามารถเลือกอัตราส่วนการเติมที่ให้ค่าผลการส่งผ่านความร้อนสูงสุดที่ตำแหน่งมุมเอียงต่าง ๆ ได้

จากการศึกษาวิจัยก่อนหน้านี้จะพบว่าได้มีการศึกษาถึงลักษณะการส่งผ่านความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่ทำจากโลหะมามากแล้ว แต่ยังไม่มีการศึกษาใดที่ได้ทำการศึกษาถึงคุณลักษณะการส่งผ่านความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่ทำจากท่อพลาสติกเลย ซึ่งเป็นที่น่าสนใจว่าถ้าหากคุณลักษณะทางการส่งผ่านความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนที่ทำจากพลาสติกมีผลเป็นที่น่าพอใจแล้วก็จะเป็นแนวทางที่ดีที่จะทำการพัฒนาและออกแบบใช้ท่อเทอร์โมไซฟอนที่ทำจากพลาสติกในระบบงานที่ท่อโลหะมีข้อด้อยอยู่ เช่น การกัดกร่อน จากปฏิกิริยาเคมีในระบบ หรือในงานที่ต้องการลดน้ำหนักของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ดังนั้นในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงมีจุดประสงค์การทดสอบดังนี้

1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่ทำจากพลาสติกชนิด HDPE ภายใต้สภาวะการทำงานปกติที่ตำแหน่งมุมเอียงต่าง ๆ

1.3.2 เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนสนทัดที่มีต่อความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนชนิด HDPE ภายใต้สภาวะการทำงานปกติที่ตำแหน่งมุมเอียงต่าง ๆ

1.3.3 เพื่อศึกษาผลของตัวเลขของบอนด์ที่มีต่อความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนชนิด HDPE ภายใต้สภาวะการทำงานปกติที่ตำแหน่งมุมเอียงต่าง ๆ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาวิจัย

1.4.1ทราบถึงขีดความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่ทำจากพลาสติกชนิด HDPE

1.4.2 สามารถเปรียบเทียบผลการทดสอบกับแบบจำลองทางความร้อน ที่ใช้กับท่อความร้อนที่ทำจากโลหะ

1.4.3ได้แนวความคิดในการนำท่อความร้อนแบบพลาสติกมาใช้กับงานที่เป็นข้อด้อยของท่อความร้อนแบบโลหะ ภายใต้สภาวะการทำงานที่ท่อความร้อนแบบพลาสติกชนิด HDPE สามารถทำงานได้

1.5 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.5.1 ใช้ท่อพลาสติกชนิด HDPE ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 15 , 20 มิลลิเมตรซึ่งมีความหนา 3.3 มิลลิเมตร และ 25 มิลลิเมตร หนา 4.4 มิลลิเมตร

1.5.2 หาความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่ทำจาก HDPE ที่ตำแหน่งมุมเอียงต่าง ๆ 10 ค่า คือ 5°, 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80° และ 90°

1.5.3 ใช้อัตราส่วนสนทัด 10, 20, และ 30

1.5.4 สารทำงานที่ใช้คือ R113 และ R11

1.5.5 อัตราส่วนการเติม 50%

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University