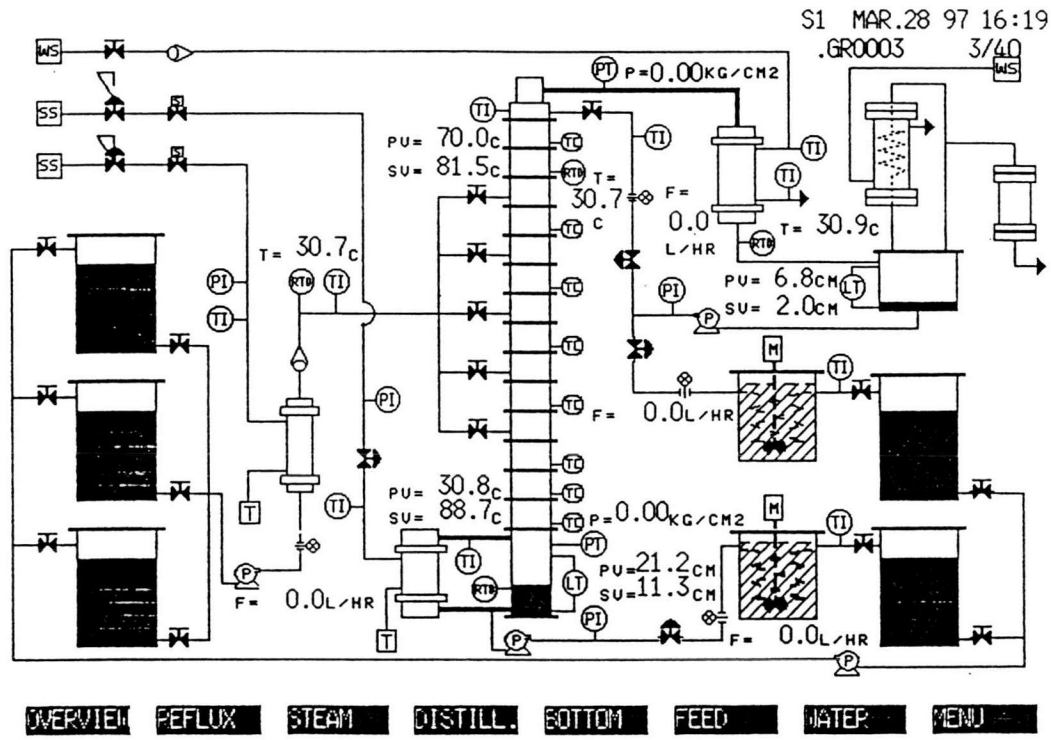
บทที่ 4

โรงงานนำร่องหอกลั่น

4.1 บทนำ

โรงงานนำร่องหอกลั่นที่สร้างขึ้นนี้ มีจุดประสงค์หลักเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ช่วยในการศึกษาพลวัตของการกลั่นและการวิจัยพัฒนาระบบการควบคุมกระบวนการกลั่น หอกลั่นแบบต่อเนื่องทำด้วยเหล็กไร้สนิม จำนวนเทรย์ 15 เทรย์ เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว แต่ละเทรย์สูง 10 นิ้ว โรงงานนำร่องเพื่อการกลั่นสามารถเลือกเทรย์ป้อนได้ 5 ตำแหน่ง ได้แก่ตำแหน่งเทรย์ที่ 4, 6, 8, 10 และ 12 (นับจากยอดหอกลั่นโดยไม่รวมเครื่องควบแน่น) หอกลั่นประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก ได้แก่ เครื่องควบแน่นที่เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ (Shell and Tube Heat Exchanger) หม้อต้มซ้ำแบบเทอร์โมไซฟอน (Thermo-Syphon Reboiler) พรีฮีตเตอร์สายสารป้อน (Feed Preheater) เครื่องควบแน่นแบบน็อคเอาท์ (Knock-Out Condenser) ถังหล่อเย็นสำหรับผลิตภัณฑ์ดิสทิลเลตและผลิตภัณฑ์ก้นหอ (Cooling Tank) และถังเก็บสารป้อนและถังเก็บผลิตภัณฑ์ (Storage Tank) ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ไดอะแกรมแสดงโรงงานนำร่องหอกลั่น

4.2 องค์ประกอบสำคัญของหน่วยหอกลั่น

หน่วยหอกลั่นมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ ชุดเทรย์ที่ประกอบเป็นตัวคอลัมน์ เครื่องควบแน่นที่เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อโดยใช้น้ำเป็นตัวหล่อเย็น หม้อต้มซ้ำแบบเทอร์โมไซฟอน เครื่องให้ความร้อนแก่สารป้อนที่เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ เครื่องควบแน่นแบบน็อคเอาท์ (Knock-Out Condenser) ถังหล่อเย็นสำหรับผลิตภัณฑ์ดิสทิลเลตและผลิตภัณฑ์ก้นหอ ถังเก็บผลิตภัณฑ์ดิสทิลเลตและผลิตภัณฑ์ก้นหอ ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

4.2.1 เทรย์

เทรย์ที่ใช้เป็นเทรย์แบบเจาะรู (Sieve Plate) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป ให้ประสิทธิภาพสูงกว่าเทรย์แบบถ้วย ประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ราคาค่าก่อสร้างจะถูกกว่าเทรย์แบบถ้วย (Marchetti, Jacinto and Luis, 1982) เทรย์แบบแผ่นเจาะรูทำด้วยเหล็กไร้สนิม เส้นผ่านศูนย์กลางเทรย์เท่ากับ 6 นิ้ว ชุดเทรย์ประกอบด้วยท่อดาวน์คัมเมอร์ (Tubular Downcomer) ซึ่งเป็นท่อนำของเหลวไหลลงสู่เทรย์ล่าง โดยแต่ละเทรย์อยู่ห่างกัน 10 นิ้ว บนเทรย์มีฝาย (Wier) สำหรับกั้นของเหลวที่อยู่บนเทรย์ให้มีระดับความสูงที่ระดับหนึ่ง ซึ่งทำให้ของเหลวและไอเกิดการสัมผัสกันบนเทรย์ โดยที่ของเหลวไหลข้ามผ่านบนแผ่นเทรย์ แผ่นเทรย์ถูกยึดติดกับหน้าแปลนเหล็กไร้สนิมที่สามารถถอดออกได้เพื่อความสะดวกในการเปลี่ยนซ่อม แผ่นเทฟลอนถูกติดตั้งระหว่างแผ่นเทรย์กับหน้าแปลนเหล็กไร้สนิมเพื่อทำหน้าที่เป็นปะเก็นกั้นการรั่ว ทั้งหอกลั่นมีจำนวนเทรย์เท่ากับ 15 เทรย์

4.2.2 เครื่องควบแน่น

หน้าที่ของเครื่องควบแน่น คือ การควบแน่นไอที่ออกจากยอดหอกลั่นเพื่อให้ได้ของเหลวควบแน่นสำหรับรีฟลักซ์ ถ้าผลิตภัณฑ์ยอดหอที่ต้องการเป็นของเหลวเครื่องควบแน่นจะควบแน่นไอทั้งหมด ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์ยอดหอเป็นของผสมที่มีจุดเดือดกว้างอาจใช้วิธีการควบแน่นบางส่วน เครื่องควบแน่นแบบบางส่วนนี้จะควบแน่นไอเพื่อให้ได้รีฟลักซ์ที่มีองค์ประกอบที่หนักกว่ารวมอยู่และจะเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวยอดหอด้วย ส่วนของไอที่ไม่ควบแน่นก็จะเป็นผลิตภัณฑ์ไอยอดหอ ลักษณะของการควบแน่นบางส่วนนี้เครื่องควบแน่นจะ

ถูกสมมุติให้เป็นเทรย์ตามทฤษฎีของการแยก มักพบได้ในอุตสาหกรรมน้ำมันทั่วไป สำหรับโรงงานนำร่องเพื่อการกลั่นในงานวิจัยนี้ เครื่องควบแน่นถูกออกแบบให้ไอทั้งหมดควบแน่นเป็นของเหลวควบแน่นอิ่มตัว การติดตั้งเครื่องควบแน่นสำหรับโรงงานนำร่องเพื่อการกลั่นนี้ เครื่องควบแน่นถูกติดตั้งอยู่ด้านข้างส่วนบนของหอกลั่นโดยติดตั้งตามแนวตั้ง ดังรูปที่ 4.1 เรียกว่าการติดตั้งเครื่องควบแน่นระดับพื้นดิน (Ground-Mouted Condenser) (Rose, 1985) เครื่องควบแน่นจะอยู่เหนือถังเก็บรีฟลักซ์ที่มีการควบคุมระดับของเหลว การติดตั้งเครื่องควบแน่นระดับพื้นดินจำเป็นต้องมีปั๊มป์สำหรับส่งรีฟลักซ์กลับเข้าหอและส่งผลิตภัณฑ์ดิสทิลเลตเข้าถังเก็บผลิตภัณฑ์อยู่ด้านล่าง โดยถังเก็บรีฟลักซ์จะอยู่สูงกว่าปั๊มป์พอสมควรเพื่อให้ได้เฮด (Head) ของปั๊มป์ การติดตั้งเครื่องควบแน่นระดับพื้นดินจะมีความมั่นคงแข็งแรงกว่าการติดตั้งเครื่องควบแน่นเหนือหอกลั่นโดยเฉพาะหอกลั่นที่มีขนาดใหญ่และใช้น้ำเป็นตัวหล่อเย็น ซึ่งสามารถควบคุมอัตราการไหลของรีฟลักซ์ได้ง่าย น้ำหล่อเย็นอยู่ภายในเชลล์และสารที่ถูกควบแน่นอยู่ภายในท่อ โดยไอและน้ำไหลจวบกัน (Concurrent Flow) การใช้น้ำเป็นตัวหล่อเย็นค่าการก่อสร้างเครื่องควบแน่นจะถูกกว่าเครื่องควบแน่นที่ใช้อากาศเป็นตัวหล่อเย็นแต่ค่าการปฏิบัติงานจะมีค่าสูงกว่า เครื่องควบแน่นที่ใช้อากาศเป็นตัวหล่อเย็นมักใช้กับเครื่องมือขนาดเล็กและอุณหภูมิของตัวถูกควบแน่นมีค่าสูง (โดยทั่วไปเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส)

4.2.3 หม้อต้มซ้ำ

หน้าที่ของหม้อต้มซ้ำ คือ การทำให้ผลิตภัณฑ์ก้นหอกลายเป็นไอสำหรับการแยกสาร การออกแบบหม้อต้มซ้ำที่ดีควรมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงเพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการ

ปฏิบัติงานต่ำ มีความสามารถในการรักษาพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนได้สะอาดเพื่อป้องกันการเกิดตะกัน และมีเวลาเรสิเดนซ์ต่ำ หม้อต้มซ้ำโดยทั่วไปมีอยู่ 3 แบบ ได้แก่ หม้อต้มซ้ำแบบเคทเทิล (Kettle Reboiler) หม้อต้มซ้ำแบบแคลแลนเดรีย (Callandria Reboiler) และหม้อต้มซ้ำแบบเทอร์โมไซฟอน (Rose, 1985)

หม้อต้มซ้ำแบบเคทเทิลประกอบขดท่อวางเรียงตัวในเชลล์แบบขวางที่บรรจุของเหลวอยู่ครึ่งหนึ่งโดยมีตัวควบคุมระดับของเหลวในหม้อต้มซ้ำ การที่หม้อต้มซ้ำวางขวางมีขนาดใหญ่ทำให้มีเสถียรภาพทางการไหล และพื้นที่ปล่อยไอที่มีขนาดใหญ่สามารถช่วยป้องกันการเกิดเอนเทรนเมนท์ (Entrainment) ของของเหลวกับไอ ผลิตภัณฑ์ของเหลวก้นหอถูกปล่อยออกหลังส่วนการกลายเป็นไอทำให้มีการเพิ่มความเข้มข้น ดังนั้นหม้อต้มซ้ำจึงเสมือนเป็นเทรย์ตามทฤษฎี 1 เทรย์ หม้อต้มซ้ำเคทเทิลมีเวลาเรสิเดนซ์มากซึ่งจะเพิ่มปัญหาในการควบคุม

หม้อต้มซ้ำแบบแคแลนเดรีย ติดตั้งโดยการแขวนตามแนวตั้งไว้ที่ส่วนล่างของหอกลั่น มีปริมาตรความจุของเหลวต่ำ ของเหลวที่ก้นหอส่วนหนึ่งแยกออกเป็นผลิตภัณฑ์ก้นหอและอีกส่วนไหลเข้าหม้อต้มซ้ำ ตัวควบคุมระดับถูกติดตั้งที่ส่วนล่างของหอกลั่นเพื่อควบคุมระดับของเหลวที่ก้นหอ การไหลของของเหลวผ่านหม้อต้มซ้ำครั้งเดียว (One-Through) จะถูกทำให้กลายเป็นไอหมด นั้นคือ ส่วนประกอบไอเท่ากับส่วนประกอบผลิตภัณฑ์ก้นหอจึงไม่มีการเพิ่มความเข้มข้นในหม้อต้มซ้ำ

หม้อต้มซ้ำเทอร์โมไซฟอน มีลักษณะคล้ายหม้อต้มซ้ำแคแลนเดรียแต่จะมีการไหลหมุนเวียนภายในหม้อต้มซ้ำ โดยสารผสมของไอและของเหลวภายในหม้อต้มซ้ำมีความหนาแน่นต่ำ

กว่าของเหลวที่อยู่นิ่งที่ก้นหอชักนำให้เกิดการหมุนเวียน การออกแบบที่ถูกต้องจำเป็นต้องให้ความดันไฮโดรสเตติคของของเหลวที่ก้นหอมีค่ามากกว่าให้ความดันไฮโดรสเตติคของสารผสมสองเฟสในหม้อต้มซ้ำและไอที่ปล่อยออก การหมุนเวียนนี้เป็นการเพิ่มความเร็วของของไหลในหม้อต้มซ้ำซึ่งจะช่วยปรับปรุงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและลดการเกิดตะกัน (Fouling) ส่วนประกอบในไอแตกต่างจากส่วนประกอบในของเหลว โดยอัตราการไหลเวียนที่สูงขึ้นทำให้หม้อต้มเทอร์โมไซฟอนมีคุณลักษณะเข้าใกล้เทรย์ตามทฤษฎีหนึ่งเทรย์ ในทางปฏิบัติต้องควบคุมระดับของเหลวที่ก้นหอและดุลความดันอย่างดีเพื่อให้เกิดอัตราการหมุนเวียนสูงสุด

โรงงานนำร่องเพื่อการกลั่นนี้ติดตั้งหม้อต้มซ้ำแบบเทอร์โมไซฟอน ซึ่งเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่นิยมนำมาใช้เป็นหม้อต้มซ้ำกันมาก ติดตั้งอยู่ด้านข้างส่วนล่างของหอกลั่นดังรูปที่ 4.1 ของเหลวไหลเข้าสู่หม้อต้มซ้ำด้วยท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ไอและของเหลวไหลออกจากหม้อต้มซ้ำกลับเข้าสู่หอกลั่นด้วยท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว การใช้ท่อขนาดใหญ่ดังนี้ก็เพื่อลดความดันตกคร่อมในการหมุนเวียนกลับภายในหม้อต้มซ้ำ

4.2.4 พรีฮีตเตอร์

พรีฮีตเตอร์ซึ่งติดตั้งที่ตำแหน่งสายของสารป้อน มีหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิให้กับสารป้อนเพื่อเพิ่มความสามารถในการผลิตในส่วนไล่สารระเหยของหอกลั่นโดยที่ไม่ต้องเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางของหอกลั่นทั้งคอลัมน์ เป็นการลดภาระในส่วนไล่สารระเหย สภาวะสารป้อนมีผลกระทบต่ออัตราการไหลของของเหลวและอัตราการไหลของไอภายในหอกลั่นทั้งส่วนเหนือ

และใต้เทรย์ป้อน พรีฮีตเตอร์ของสารป้อนนี้เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ ติดตั้งตามแนวตั้ง ไอน้ำที่อยู่ในเชลล์จะไหลลงสู่ด้านล่างและสารป้อนของเหลวที่อยู่ภายในท่อไหลสวนทางขึ้นไปเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน

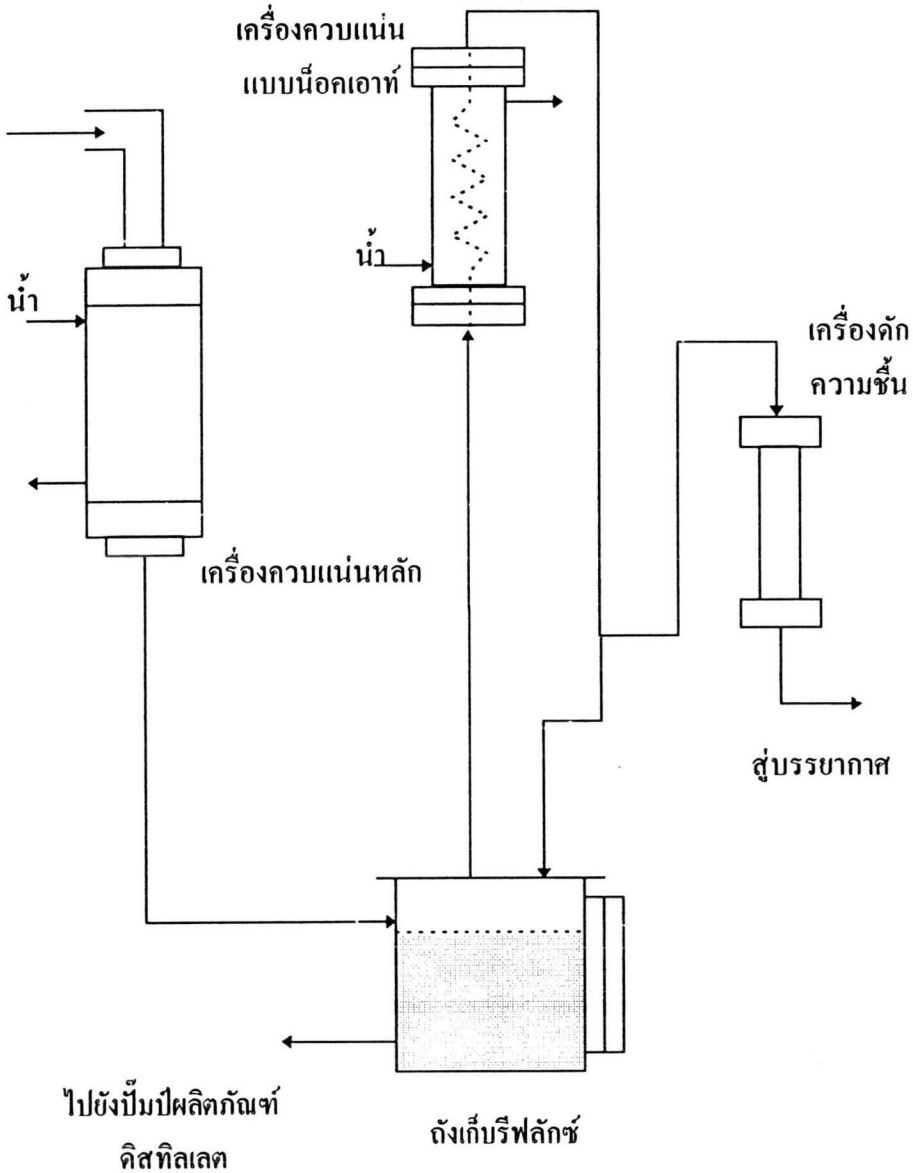
4.2.5 เครื่องควบแน่นแบบน็อคเอาท์

เครื่องควบแน่นแบบน็อคเอาท์ถูกติดตั้งต่อจากถังเก็บรีฟลักซ์เพื่อควบแน่นส่วนของไอที่ยังเหลืออยู่จากการควบแน่นของเครื่องควบแน่นหลักและส่วนของไอที่เกิดการระเหยในถังเก็บรีฟลักซ์ ไอไหลเข้าสู่เครื่องควบแน่นน็อคเอาท์ทางด้านบนผ่านขดท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว โดยมีน้ำอยู่ล้อมรอบเป็นตัวหล่อเย็น ไอจะถูกควบแน่นเป็นของเหลวค่อย ๆ ไหลซึมกลับเข้าสู่ถังเก็บรีฟลักซ์ได้โดยอัตโนมัติ ส่วนไอที่ไม่สามารถควบแน่นได้จะถูกส่งผ่านเครื่องดักความชื้นที่ติดตั้งต่อจากเครื่องควบแน่นแบบน็อคเอาท์ แล้วจึงปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.2

4.2.6 ถังหล่อเย็น

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นทั้งผลิตภัณฑ์ก้นหอและผลิตภัณฑ์ดิสทิลเลตจะมีอุณหภูมิสูง การดึงความร้อนออกจากสารผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะป้อนเข้าไปเก็บอยู่ในถังเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องเป็นสิ่งจำเป็น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อผลิตภัณฑ์นั้นเป็นสารระเหยง่ายหรือมีความดันไอต่ำ ถังหล่อเย็น จำนวน 2 ถัง ประกอบด้วย ขดท่อซึ่งเป็นทางไหลของผลิตภัณฑ์ ทำด้วยเหล็กไร้สนิมทั้งชุด น้ำหล่อเย็นเข้าทางด้านล่างของถัง และไหลออกทางด้านบนของถัง ภายใน

ถังมีใบพัดสำหรับปั่นกวนน้ำเพื่อช่วยในการแลกเปลี่ยนความร้อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะไหลออกมาจากขดท่อเข้าสู่ถังเก็บผลิตภัณฑ์ต่อไป



รูปที่ 4.2 สายปล่อยสารทิ้ง

4.2.7 ถังเก็บ

ถังเก็บสารเป็นถังทรงกระบอกปิดสนิททำจากเหล็กไร้สนิมพร้อมหลอดแก้วบอกระดับของเหลว ขนาด 800 ลิตร จำนวน 4 ถัง ขนาด 500 ลิตร จำนวน 1 ถัง ถังใหญ่ 2 ถัง ใช้ในการเก็บผลิตภัณฑ์ดิสทิลเลตและผลิตภัณฑ์ก้นหอที่ได้จากการกลั่น ส่วนถังใหญ่ที่เหลืออีก 2 ถังใช้ในการเก็บและเตรียมสารป้อน ถังเล็กเป็นถังสำรองสำหรับสารป้อน สามารถใช้ในการช่วยเตรียมความเข้มข้นของสารป้อนได้

4.3 อุปกรณ์ในกระบวนการ

กระบวนการกลั่นสำหรับการทดลองมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการศึกษาพลวัติและการควบคุมหอกลั่น ซึ่งสามารถให้ข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นแก่ผู้ปฏิบัติการกลั่นได้ ซึ่งในส่วนนี้จะแสดงอุปกรณ์ต่าง ๆ และการติดตั้งพอสังเขป ดังนี้

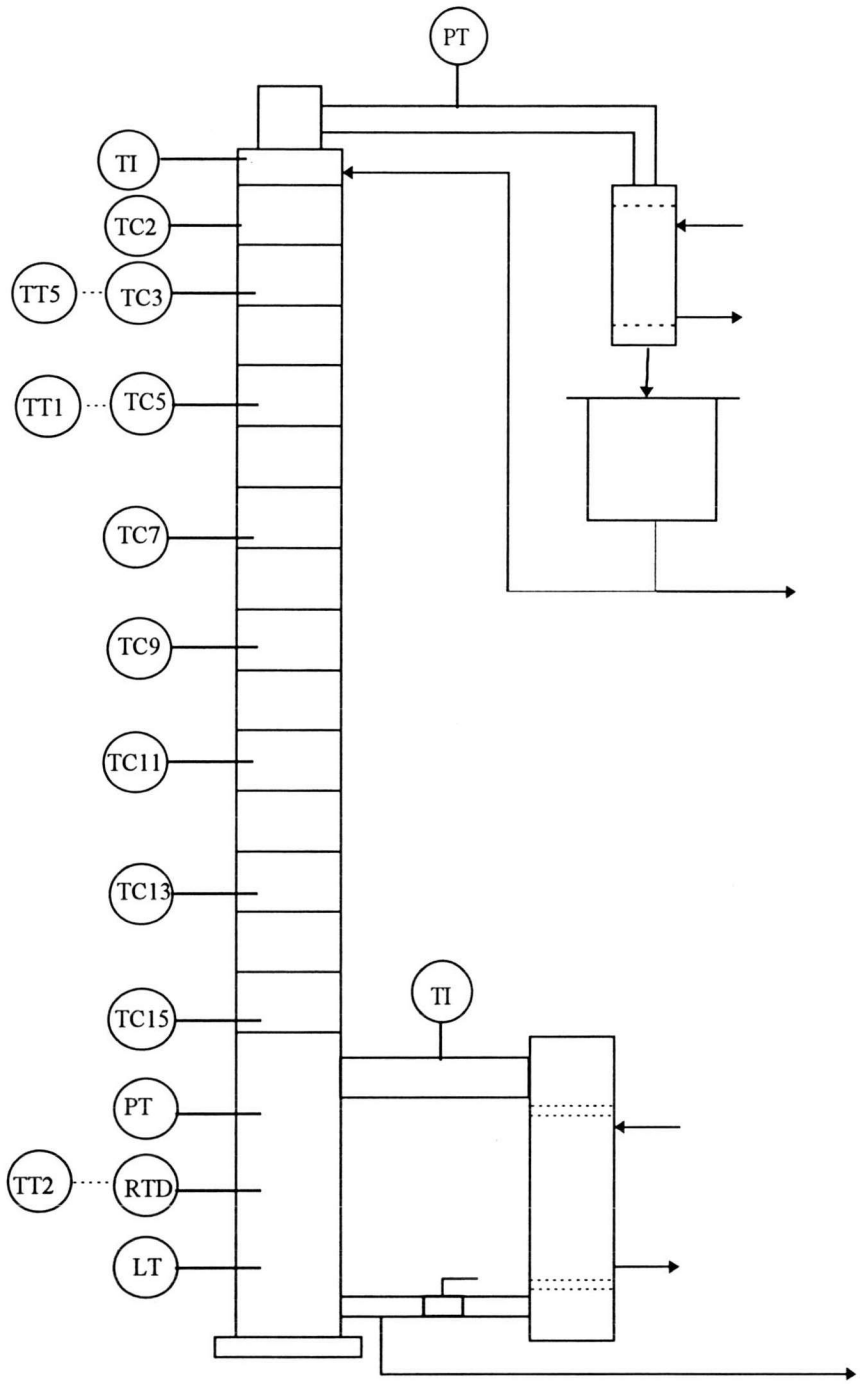
4.3.1 อุปกรณ์ที่ติดตั้งบนหอกลั่น

รูปที่ 4.3 แสดงส่วนหลักของหอกลั่นและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งอยู่บนตัวหอกลั่นเทอร์โมคับเบิลชนิดเคถูกติดตั้งอยู่บนชั้นเทรย์ที่ 2, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 14 และ 15 (นับจากยอดหอไม่รวมเครื่องควบแน่น) เพื่อวัดค่าอุณหภูมิของของเหลวที่อยู่บนชั้นเทรย์นั้น ๆ สัญญาณอุณหภูมิที่วัดได้ด้วยเทอร์โมคับเบิลที่ถูกติดตั้งอยู่บนชั้นเทรย์ที่ 3 และเทรย์ที่ 5 จะถูกส่งไปยังตัวส่งสัญญาณเพื่อแปลงเป็นสัญญาณมาตรฐานส่งให้กับอุปกรณ์อินพุท/เอาท์พุทของหน่วยควบคุมในระบบควบคุมดีซีเอส สัญญาณอุณหภูมิที่ได้จะถูกใช้เพื่อการแสดงผลและเป็นตัวแปร

กระบวนการเพื่อใช้ในการคำนวณค่าการควบคุมในการควบคุมแบบป้อนกลับของอุณหภูมิยอดหอกลั่น อุณหภูมิของเหลวที่ก้นหอกลั่นถูกวัดด้วยตัววัดอุณหภูมิแบบความต้านทานไฟฟ้าและถูกแปลงเป็นสัญญาณมาตรฐานส่งให้กับอุปกรณ์อินพุท/เอาท์พุทของหน่วยควบคุมในระบบควบคุมดีซีเอส สัญญาณอุณหภูมิที่ได้ใช้ในการคำนวณค่าตัวแปรปรับเปลี่ยนเพื่อใช้ในการควบคุมด้วยการควบคุมแบบป้อนกลับของอุณหภูมิก้นหอกลั่น นอกจากนี้ยังมีตัวบอกอุณหภูมิแบบหน้าปัทม์ อีก 2 ตัว ตัวหนึ่งติดตั้งอยู่ที่ด้านบนของหอกลั่น ส่วนอีกตัวหนึ่งติดตั้งอยู่ที่สายป้อนกลับที่ออกจากหม้อต้มซ้ำที่ส่วนล่างของหอกลั่นเพื่อบอกค่าอุณหภูมิที่จุดเดือดของผลิตภัณฑ์ดิสทิลเลตและผลิตภัณฑ์ก้นหอ ตัววัดความดันและตัวส่งสัญญาณความดันจำนวน 2 ตัว ติดตั้งอยู่ที่ตำแหน่งยอดหอและตำแหน่งก้นหอใต้ชั้นเทรย์ที่ 1 เพื่อวัดความดันและความดันตกคร่อมในหอกลั่น เครื่องส่งสัญญาณของการวัดระดับถูกติดตั้งที่ฐานหอกลั่นเพื่อส่งสัญญาณของระดับของเหลวก้นหอและใช้เป็นตัวแปรกระบวนการเพื่อใช้ในการคำนวณค่าการควบคุมในการควบคุมแบบป้อนกลับของการควบคุมระดับที่ก้นหอ

4.3.2 สายกระบวนการ

สายกระบวนการที่จำเป็นสำหรับหอกลั่น มีด้วยกัน 4 สาย คือ สายสารป้อน สายผลิตภัณฑ์ดิสทิลเลต สายผลิตภัณฑ์ก้นหอ และสายรีฟลักซ์ ดังแสดงในรูป 4.4 4.5 และ 4.6 แต่ละสายจะติดตั้งชุดวัดการไหลซึ่งประกอบด้วย ตัวส่งสัญญาณการไหลที่ต่อกับตัววัดการไหลแบบความดันต่างด้วยออริฟิซ วาล์วควบคุม ตัววัดอุณหภูมิแบบความต้านทานไฟฟ้า และตัววัดอุณหภูมิแบบหน้าปัทม์ ตัววัดอุณหภูมิแบบหน้าปัทม์ที่ติดตั้งอยู่ที่สายผลิตภัณฑ์ก้นหอและสาย



รูปที่ 4.3 อุปกรณ์การวัดที่ติดตั้งบนตัวหอกลั่น

ผลิตภัณฑ์ยอดหอมีจุดประสงค์เพื่อบอกอุณหภูมิของสารที่ไหลกลับเข้าถังเก็บ ตัววัดอุณหภูมิที่ติดตั้งอยู่ที่สายรีฟลักซ์จะแสดงสภาวะที่เย็นลงที่ตำแหน่งทางเข้าหอกลั่น และตัวบอกอุณหภูมิแบบหน้าปัทม์ตัวสุดท้ายจะติดตั้งอยู่ที่สายสารป้อน ซึ่งจะให้ข้อมูลของสารป้อนก่อนที่จะเข้าสู่หอกลั่น

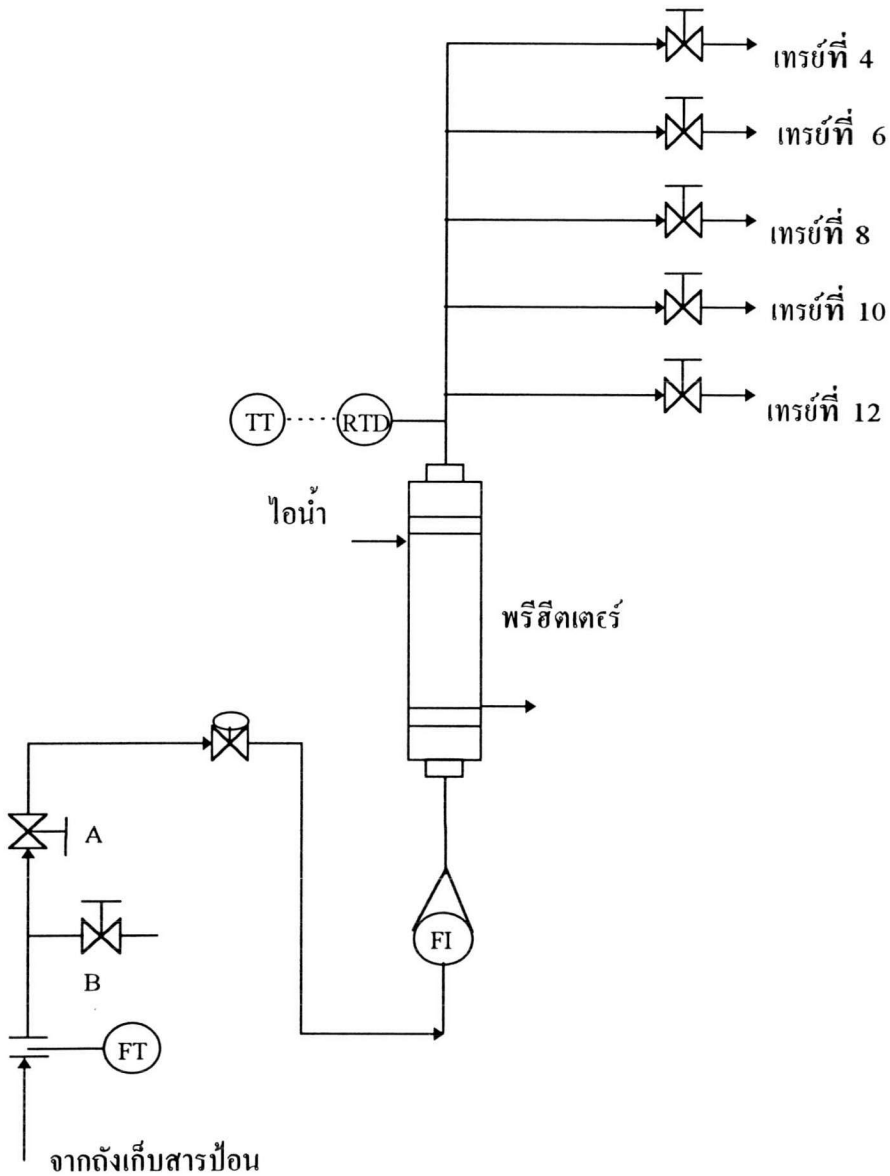
4.3.3 สายไอน้ำ

ไอน้ำจะไหลผ่านสายจ่ายไอน้ำหลักและถูกแยกออกเป็น 2 สาย โดยสายหนึ่ง เพื่อจ่ายไอน้ำให้กับพรีฮีตเตอร์สำหรับสารป้อน ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ เร็คกูเลเตอร์ของความดัน โซลินอยด์วาล์ว เกจวัดความดัน และเกจวัดอุณหภูมิ ก่อนที่ผ่านเข้าสู่พรีฮีตเตอร์สำหรับสารป้อน โดยติดตั้งตัวดักไอน้ำ (Steam Trap) หลังพรีฮีตเตอร์สำหรับสารป้อนเพื่อดักไอน้ำก่อนการปล่อยน้ำทิ้ง อีกสายหนึ่งจ่ายไอน้ำให้กับหม้อต้มซ้ำ ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ เร็คกูเลเตอร์ของความดัน โซลินอยด์วาล์ว วาล์วควบคุม และเกจวัดอุณหภูมิ ก่อนที่ผ่านเข้าสู่หม้อต้มซ้ำ โดยติดตั้งตัวดักไอน้ำหลังหม้อต้มซ้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.7

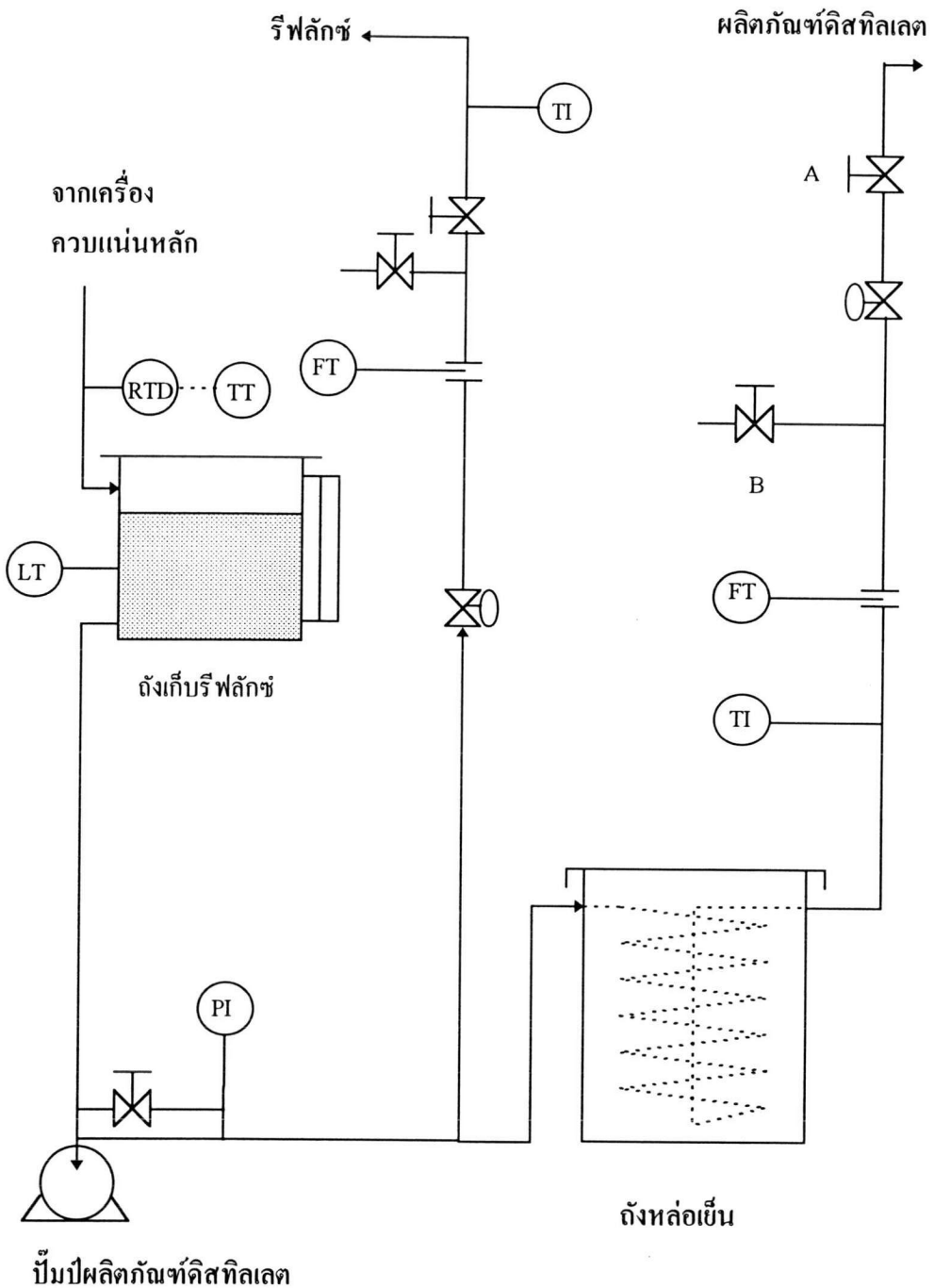
4.3.4 สายน้ำ

น้ำจะถูกใช้เป็นตัวกลางหล่อเย็น สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 4 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ได้แก่ เครื่องควบแน่นหลัก เครื่องควบแน่นแบบน็อคเอาท์ และถังหล่อเย็น 2 ถัง สำหรับผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด เครื่องควบแน่นหลักจะเป็นตัวที่มีความสำคัญต่อกระบวนการ ซึ่งมีผลกระทบต่อสภาวะการปฏิบัติการในหอกลั่นโดยมีผลต่อการควบคุมความดันในหอกลั่น ดังนั้นจึงติดตั้งวาล์วควบคุม โรตามิเตอร์ และตัววัดอุณหภูมิแบบหน้าปัทม์ที่สายน้ำก่อนและหลัง

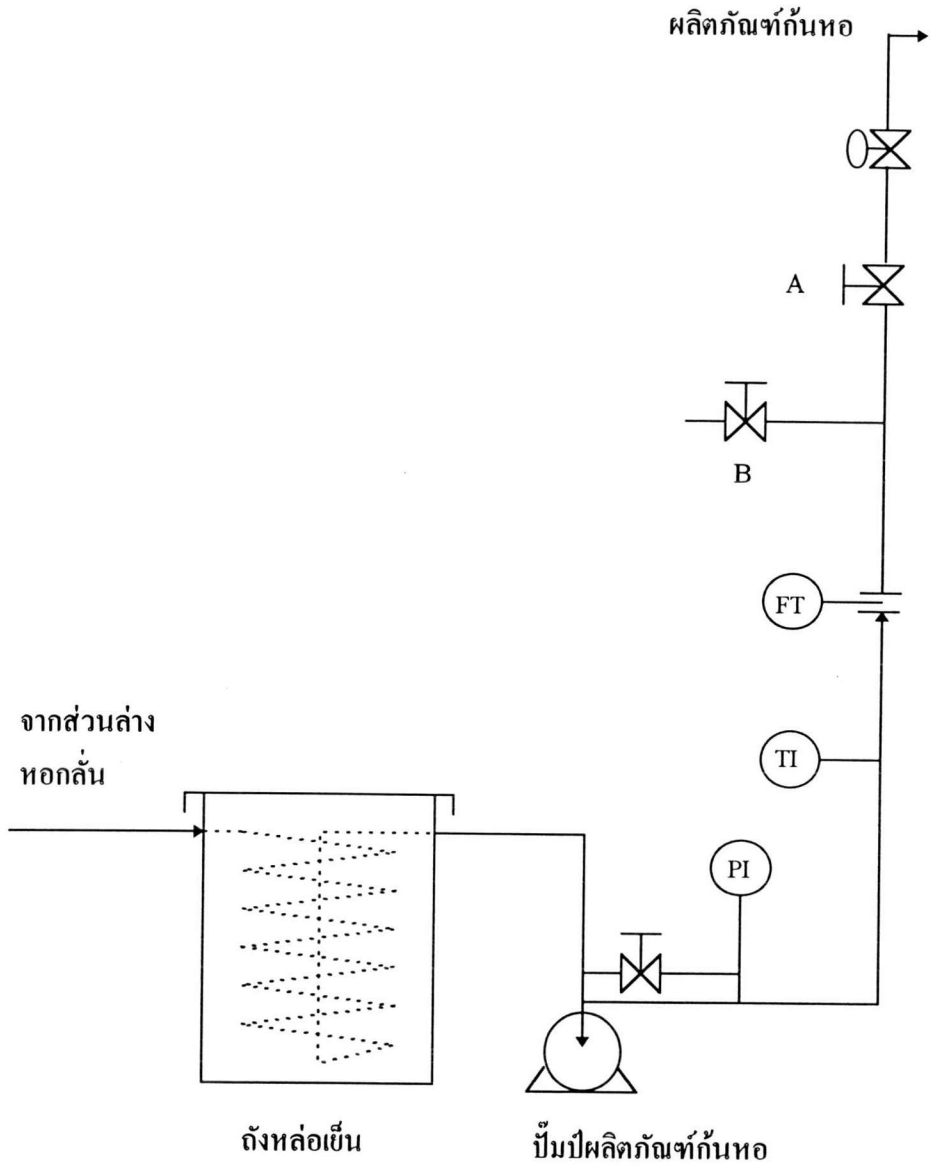
ผ่านเครื่องควบแน่นหลัก เพื่อควบคุมอัตราการไหลของน้ำผ่านเครื่องควบแน่น ส่วนเครื่องแลก เปลี่ยนความร้อน 3 ตัวที่เหลือ ได้แก่ เครื่องควบแน่นแบบน็อคเอาท์ และถังหล่อเย็น 2 ถัง จะมี ประโยชน์ในการช่วยการปฏิบัติการ แต่ไม่มีผลกระทบที่สำคัญต่อกระบวนการ



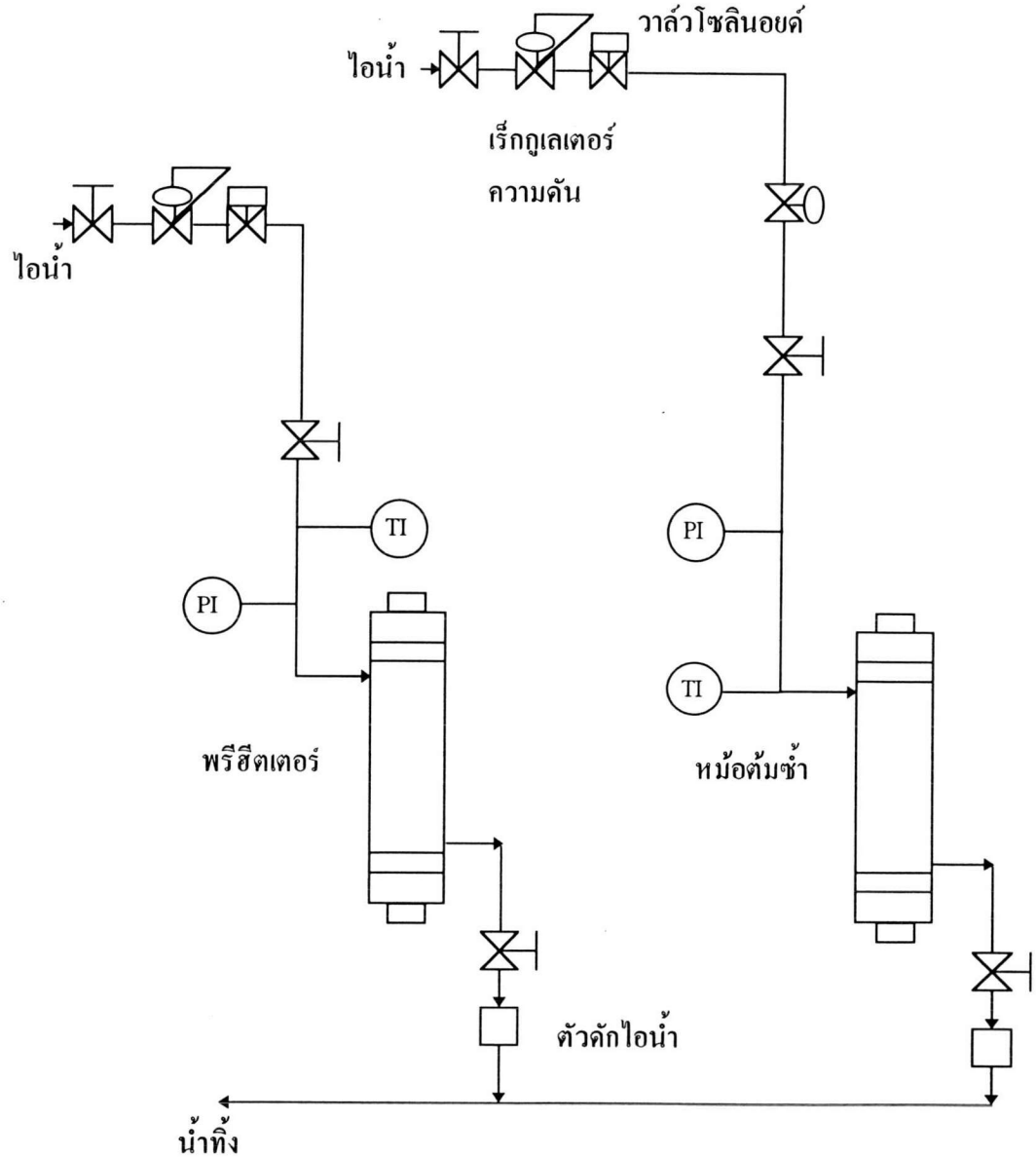
รูปที่ 4.4 สายการป้อน



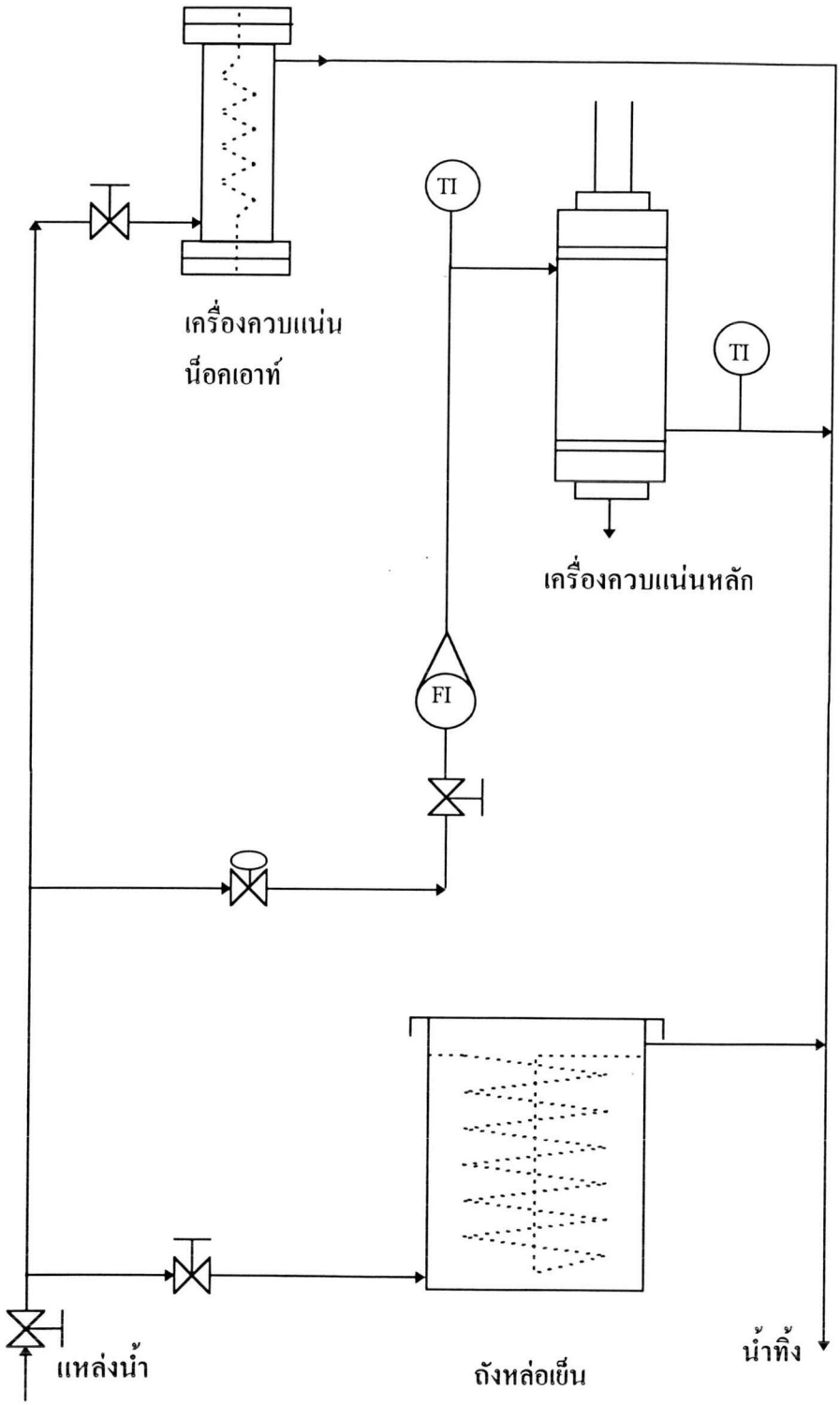
รูปที่ 4.5 สายรีฟลักซ์และผลิตภัณฑ์ดิสทิลเลต



รูปที่ 4.6 สายผลิตภัณฑ์ก้นหอ



รูปที่ 4.7 สายไอน้ำ


TI
TI
FI
เครื่องควบแน่น
น็อคเอาท์
เครื่องควบแน่นหลัก
แหล่งน้ำ
ถังหล่อเย็น
น้ำทิ้ง

รูปที่ 4.8 สายน้ำ

4.4 การติดตั้งอุปกรณ์การวัดและการควบคุมกับระบบดีซีเอส

โรงงานนำร่องเพื่อการกลั่นสำหรับการวิจัยและพัฒนาระบบควบคุมนี้ ประกอบด้วยอุปกรณ์การวัดที่จำเป็นในการศึกษาพลวัติและการควบคุมเพื่อใช้วัดค่าตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิ อัตราการไหล ระดับของของเหลว และความดัน รวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับอัตราการไหล ได้แก่ องค์ควบคุมสุดท้ายหรือวาล์วควบคุม ในส่วนนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ถูกเลือกใช้สำหรับโรงงานนำร่องเพื่อการกลั่น และการต่อสายของอุปกรณ์เหล่านั้นกับหน่วยควบคุมของระบบการควบคุมแบบกระจายส่วน

4.4.1 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

เครื่องมือวัดอุณหภูมิในโรงงานนำร่องเพื่อการกลั่นนี้มีด้วยกัน 3 ชนิด ได้แก่ แบบแถบโลหะคู่ (Bimetal) เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) และอาร์ทีดี (Resistane Temperature Detector: RTD) เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบโลหะคู่ถูกติดตั้งบนโรงงานนำร่องเพื่อการกลั่นโดยไม่มีการนำค่าตัวแปรกระบวนการมาใช้ในหน่วยควบคุมของระบบควบคุมดีซีเอส เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ส่งค่าตัวแปรกระบวนมาใช้ในหน่วยควบคุม คือ เทอร์โมคัปเปิลและอาร์ทีดี

เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้ในโรงงานนำร่องเพื่อการกลั่นนี้เป็นเทอร์โมคัปเปิลแบบเค ซึ่งสายบวกทำจากโลหะผสมระหว่าง นิเกิล 10 % กับ โครเมียม 90 % และสายลบทำจากโลหะผสมระหว่าง นิลเกิล 94 % กับ ส่วนผสมของอลูมิเนียม แมงกานีส และซิลิกอน 6 % เทอร์โมคัปเปิลแบบเคเป็นแบบที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปและสามารถทนอุณหภูมิได้ในช่วง -250 ถึง 1260 °C

อาร์ทีดีที่ใช้ในโรงงานนำร่องเพื่อการกลั่นนี้เป็นอาร์ทีดีแบบพลาตินัมซึ่งเป็นแบบที่ใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรม อาร์ทีดีแบบพลาตินัมที่ใช้มีค่ามาตรฐาน 100 โอมห์ ที่ 0 °C ซึ่งเป็นแบบมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเฉลี่ย 0.385 โอมห์ ต่อ 1 °C อาร์ทีดีแบบพลาตินัมสามารถวัดได้ในช่วงอุณหภูมิกว้าง โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง -258 ถึง 900 °C การต่อวงจรอาร์ทีดีเป็นแบบวงจร 3 สาย ซึ่งเป็นแบบมาตรฐานที่นิยมใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรม สายทั้ง 3 สาย คือ a, b และ c ซึ่งมีความยาวและขนาดเดียวกันต่อจากกระเปาะความต้านทานเข้ากับวงจรบริดจ์ โดยให้ X คือ อาร์ทีดี ซึ่งติดตั้งอยู่ในจุดที่ต้องการวัดอุณหภูมิ และให้ A, B และ C คือ รีซิสเตอร์ ซึ่งอยู่ในอุณหภูมิบรรยากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 วิธีการนี้จะทำให้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความต้านทานของลวดนำสายหมดไป

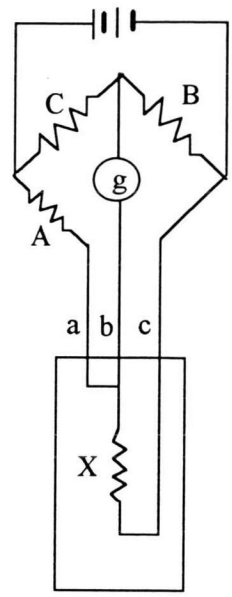
เมื่อบริดจ์อยู่ในภาวะสมดุล จะได้

$$X = \frac{C}{B}A \tag{4.1}$$

ให้ C = B (โดยการออกแบบให้เท่ากัน) และ a = b = c (ใช้สายที่มีขนาดและความยาวเท่ากัน) ดังนั้น

$$X + b = A + a \tag{4.2}$$

ค่าอุณหภูมิของการวัดด้วยอาร์ทีดีแบบ 3 สาย จึงขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของอาร์ทีดี (X) เพียงอย่างเดียว ซึ่งทำให้ได้ความถูกต้องสูง

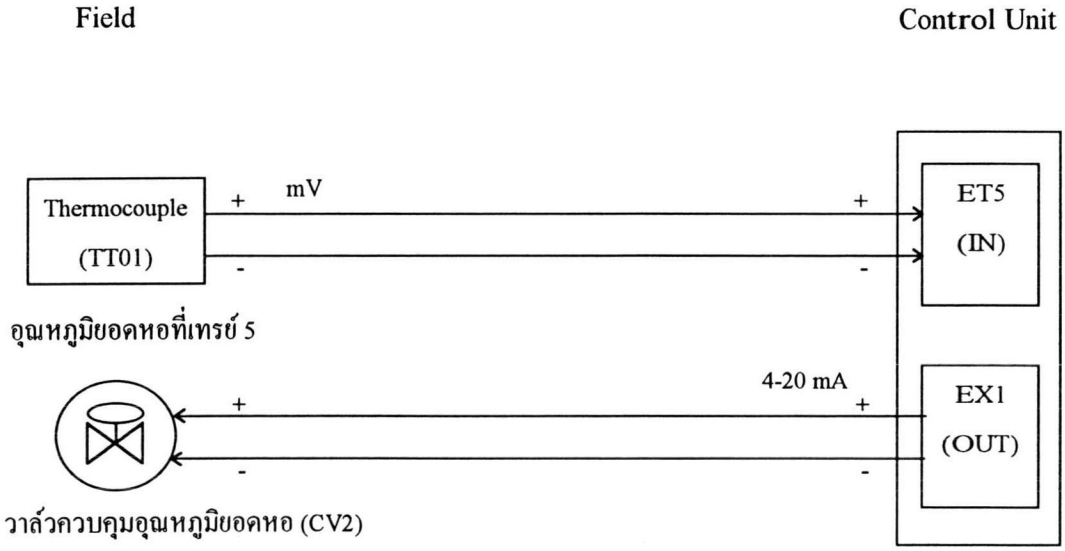


รูปที่ 4.9 วงจรอาร์ทีดีแบบ 3 สาย

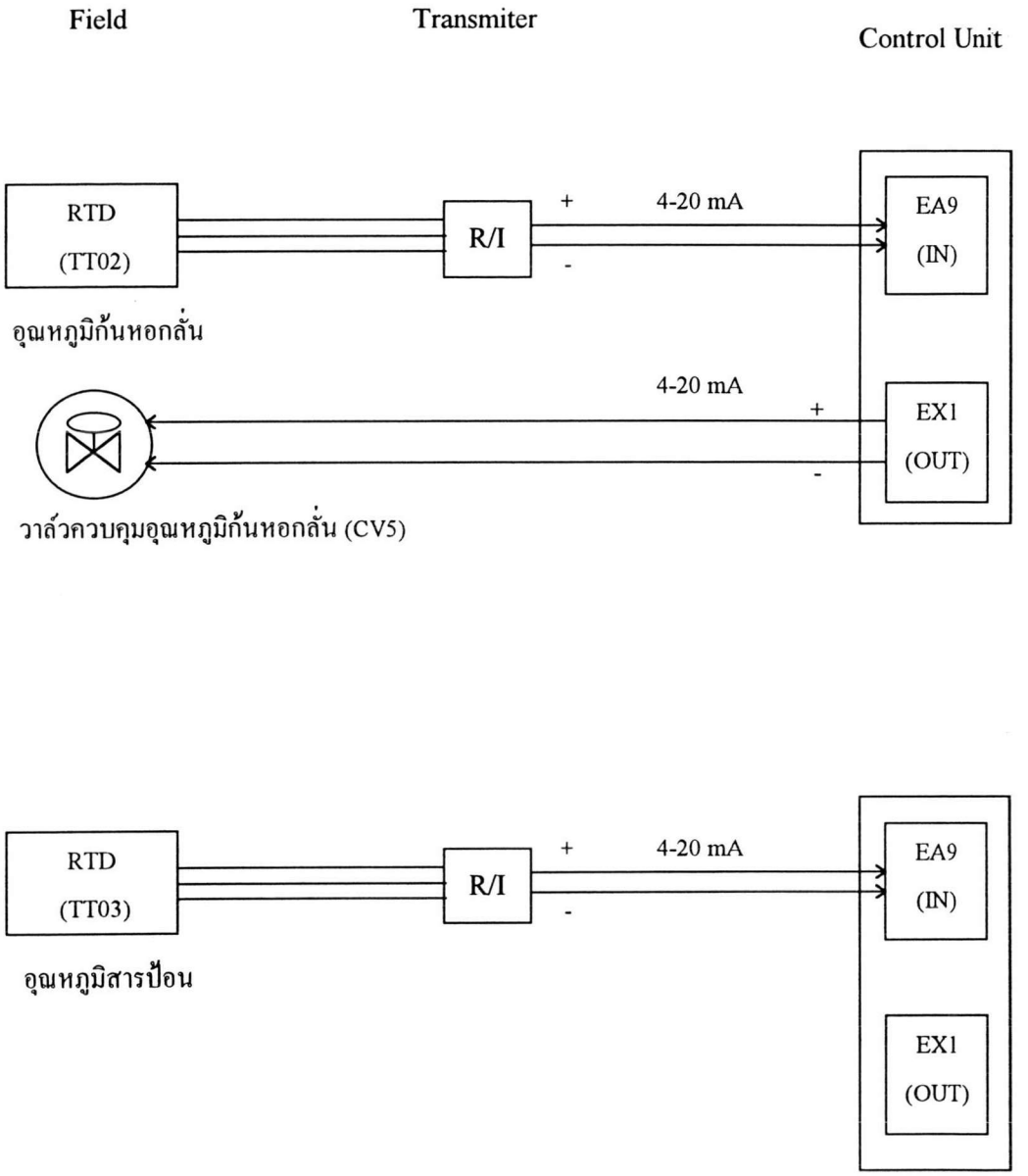
การติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิกับหน่วยควบคุมของระบบดีซีเอส

ค่าตัวแปรอุณหภูมิที่ถูกนำมาใช้เป็นสัญญาณอินพุทให้กับระบบการควบคุมแบบกระจายส่วน ประกอบด้วย อุณหภูมิยอดหอที่เทรย์ 3 อุณหภูมิยอดหอที่เทรย์ 5 อุณหภูมิก้นหอกลั่น อุณหภูมิของสารป้อน และอุณหภูมิของคอนเดนเสท เครื่องมือที่ใช้วัดและส่งสัญญาณอุณหภูมิ ได้แก่ เทอร์โมคัปเปิล และอาร์ทีดี การต่อเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิลกับหน่วยควบคุมของดีซีเอสสามารถทำได้โดยการต่อสายเทอร์โมคับลเปิลเข้ากับการ์ดการแปลงสัญญาณ (ET5) อินพุทของหน่วยควบคุม ซึ่งจะแปลงสัญญาณมิลลิโวลต์ของเทอร์โมคัปเปิลไปเป็นสัญญาณมาตรฐาน 1-5 โวลต์ ให้กับหน่วยควบคุม หน่วยควบคุมจะ

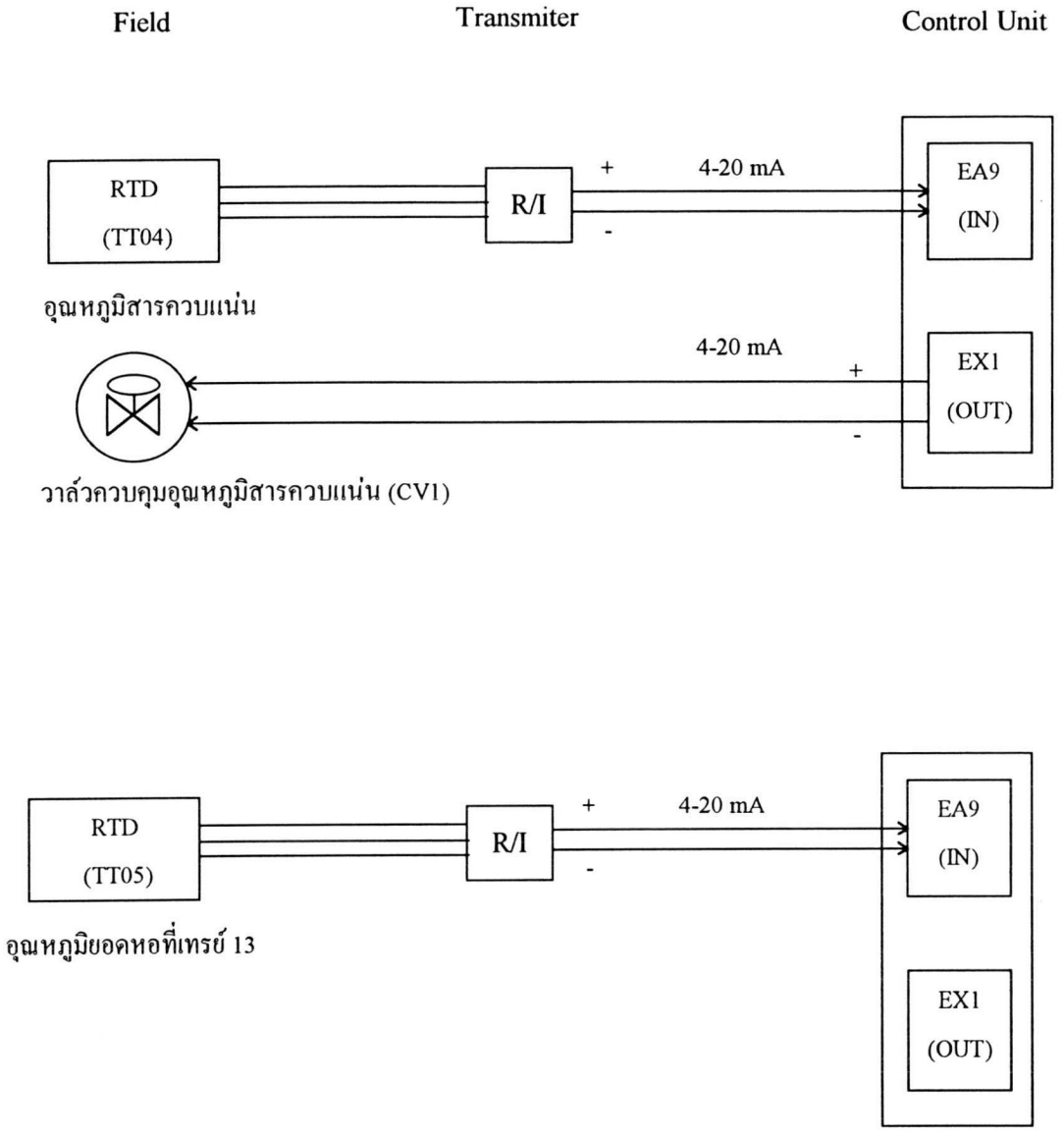
คำนวณสัญญาณเอาท์พุทควบคุมส่งผ่านการ์ดการแปลงสัญญาณเอาท์พุท (EX1) เพื่อส่งสัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA ให้กับวาล์วควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ก. ส่วนการต่อเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบอาร์ทีดีกับหน่วยควบคุมของดีซีเอสสามารถทำได้โดยการต่อสายสัญญาณแบบ 3 สาย เข้ากับอุปกรณ์การแปลงสัญญาณจากความต้านทานเป็นสัญญาณกระแสมาตรฐาน 4-20 mA ที่ตู้คอนโซลกำลัง สัญญาณกระแสมาตรฐานถูกส่งให้กับการ์ดอินพุทของหน่วยควบคุม (EA9) ซึ่งถ้ามีการนำสัญญาณเอาท์พุทควบคุมไปใช้ในการสั่งการทำงานของวาล์วควบคุมจึงจะมีการต่อสายสัญญาณเอาท์พุทที่ขั้วบวกและลบของการ์ดแปลงสัญญาณเอาท์พุท (EX1) ของหน่วยควบคุม ไปยังขั้วบวกและลบของวาล์วควบคุมตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ข.



รูปที่ 4.10 ก. ไดอะแกรมการต่อเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคับเปิลกับหน่วยควบคุมของดีซีเอส



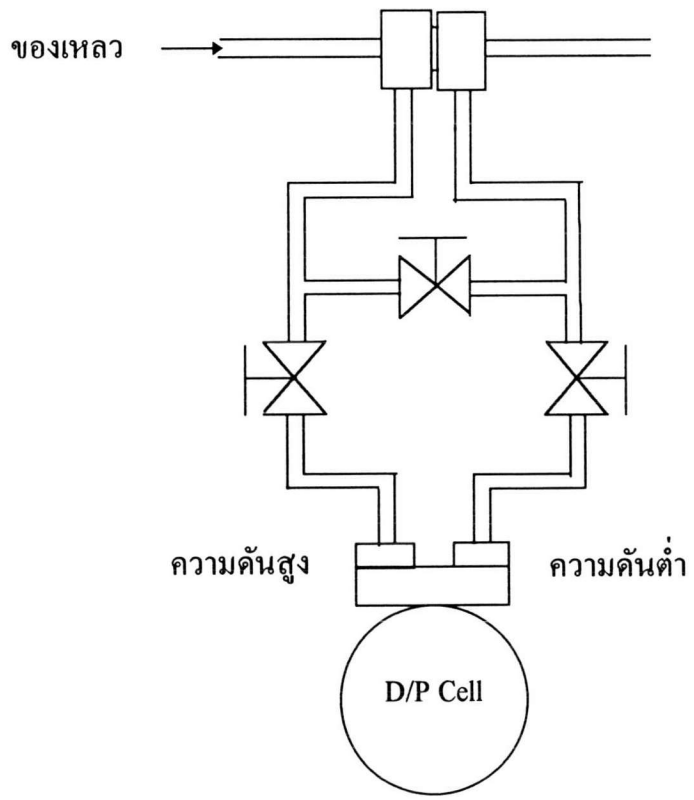
รูปที่ 4.10 ข. ไดอะแกรมการต่อเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบอาร์ทีดีกับหน่วยควบคุมของดีซีเอส



รูปที่ 4.10 ข. (ต่อ) ไดอะแกรมการต่อเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบอาร์ทีดี กับหน่วยควบคุมของดีซีเอส

4.4.2 เครื่องวัดและส่งสัญญาณการไหล

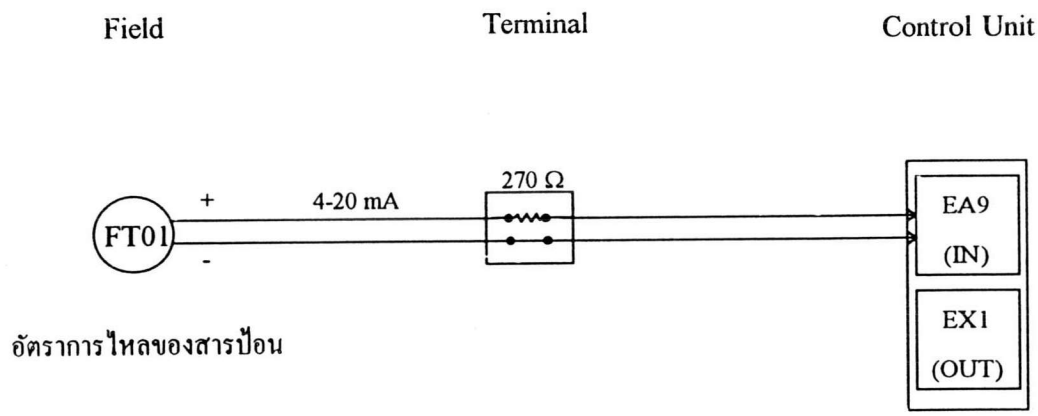
เครื่องมือวัดและส่งสัญญาณการไหลที่ใช้เป็นแบบแรงดันแตกต่างซึ่งประกอบด้วยชุดอุปกรณ์วัดความดันแตกต่างแบบแผ่นออริฟิซ (Orifice Plate) และเครื่องส่งสัญญาณแรงดันแตกต่าง (Differential Pressure Transmitter หรือ D/P Cell) เครื่องส่งสัญญาณแรงดันแตกต่างที่ใช้เป็นเครื่องส่งสัญญาณแบบอีเล็คโทรนิคโดยแปลงค่าแรงดันแตกต่างที่เกิดขึ้นให้เป็นสัญญาณกระแสมาตรฐาน 4-20 mA



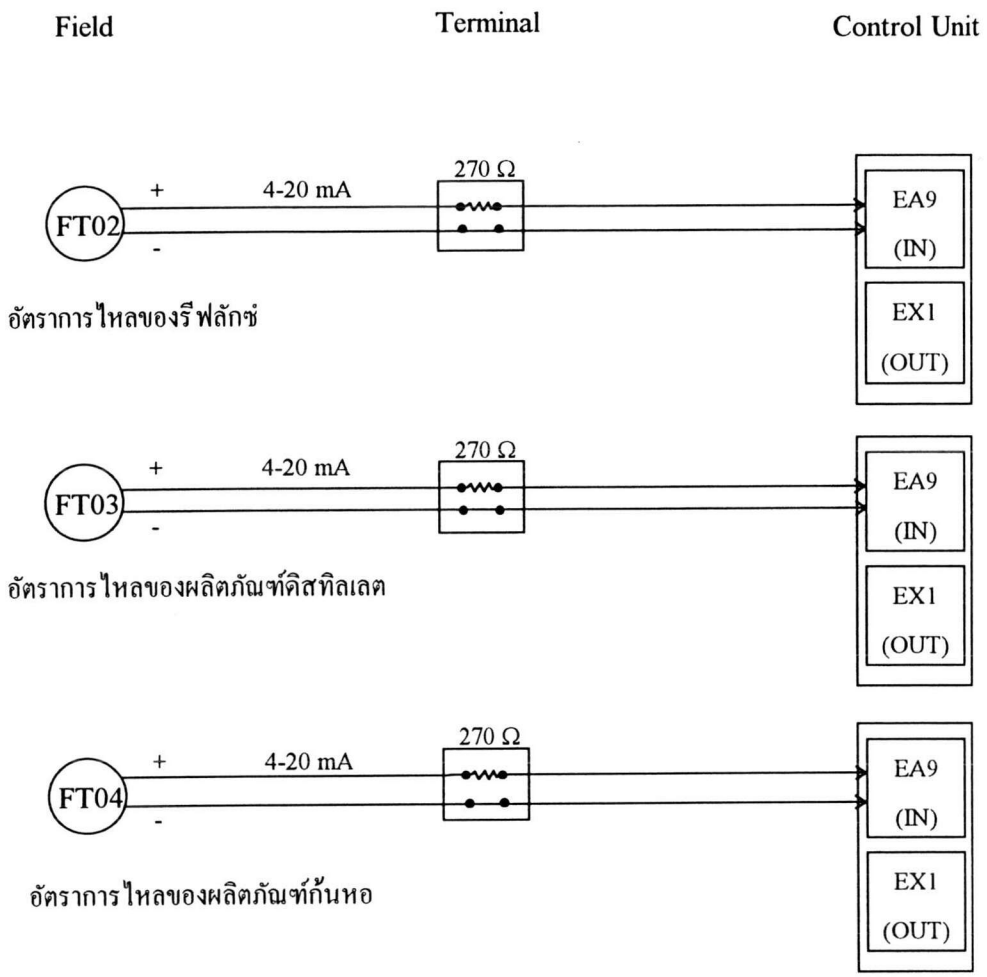
รูปที่ 4.11 การติดตั้งชุดวัดการไหล

การติดตั้งเครื่องมือวัดและส่งสัญญาณการไหลกับหน่วยควบคุมของดีซีเอส

เครื่องมือวัดการไหลถูกติดตั้งเพื่อวัดอัตราการไหลของสายกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ อัตราการไหลของสารป้อน อัตราการไหลของรีฟลักซ์ อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ดิสทิลเลต และอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ก้นหอกลั่น การต่อเครื่องมือวัดการไหลกับหน่วยควบคุมของระบบควบคุมแบบกระจายส่วนสามารถทำได้โดยการต่อสายสัญญาณ 4-20 mA ซึ่งเป็นสัญญาณเอาท์พุทจากอุปกรณ์วัดการไหลเข้าสู่การ์ดอินพุท (EA9) ของหน่วยควบคุม โดยผ่านตัวต้านทาน 270 โอมห์ ที่ต่ออนุกรมกับขั้วบวกของสายสัญญาณ เพื่อปรับช่วงการปฏิบัติงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ไดอะแกรมการต่อเครื่องมือวัดอัตราการไหลกับหน่วยควบคุมของดีซีเอส



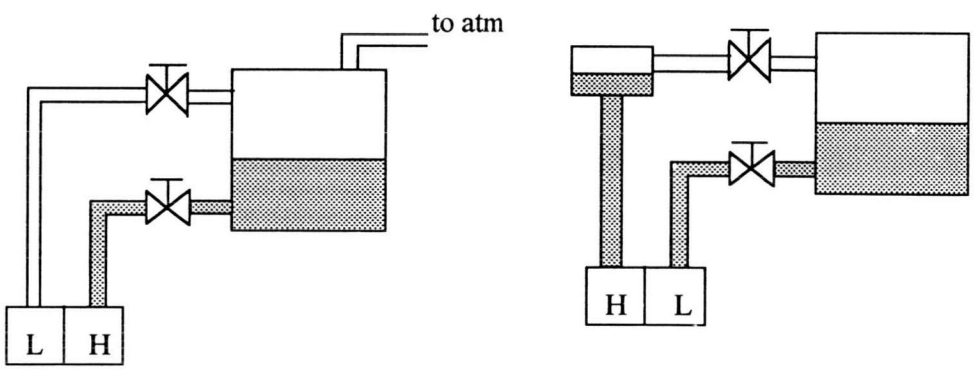
รูปที่ 4.12 (ต่อ) ไดอะแกรมการต่อเครื่องมืออัตราการไหลกับหน่วยควบคุมของดีซีเอส

4.4.3 เครื่องมือวัดและส่งสัญญาณระดับ

เครื่องมือวัดและส่งสัญญาณระดับที่ใช้ในโรงงานนำร่องเพื่อการกลั่นนี้ใช้หลักการวัดความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นเฉพาะแรงดันแตกต่างที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับของของเหลวเท่านั้น วิธีการนี้เป็นที่นิยมโดยทั่วไปในวงการอุตสาหกรรมวิธีการหนึ่ง ค่าแรงดันแตกต่างที่เกิดขึ้นถูกแปลงค่าเป็นสัญญาณกระแสมาตรฐาน 4-20 mA dc โดยเครื่องส่งสัญญาณแบบแรงดันแตกต่างหรือ D/P Cell การติดตั้งเครื่องมือวัดระดับของโรงงานนำร่องเพื่อการกลั่นนี้มี 2 วิธี คือ

1. แบบถังเปิด หมายถึง ภาชนะที่ในบรรจุของเหลวเปิดสู่บรรยากาศ ได้แก่ การวัดระดับของเหลวในถังรองรับรีฟลักซ์

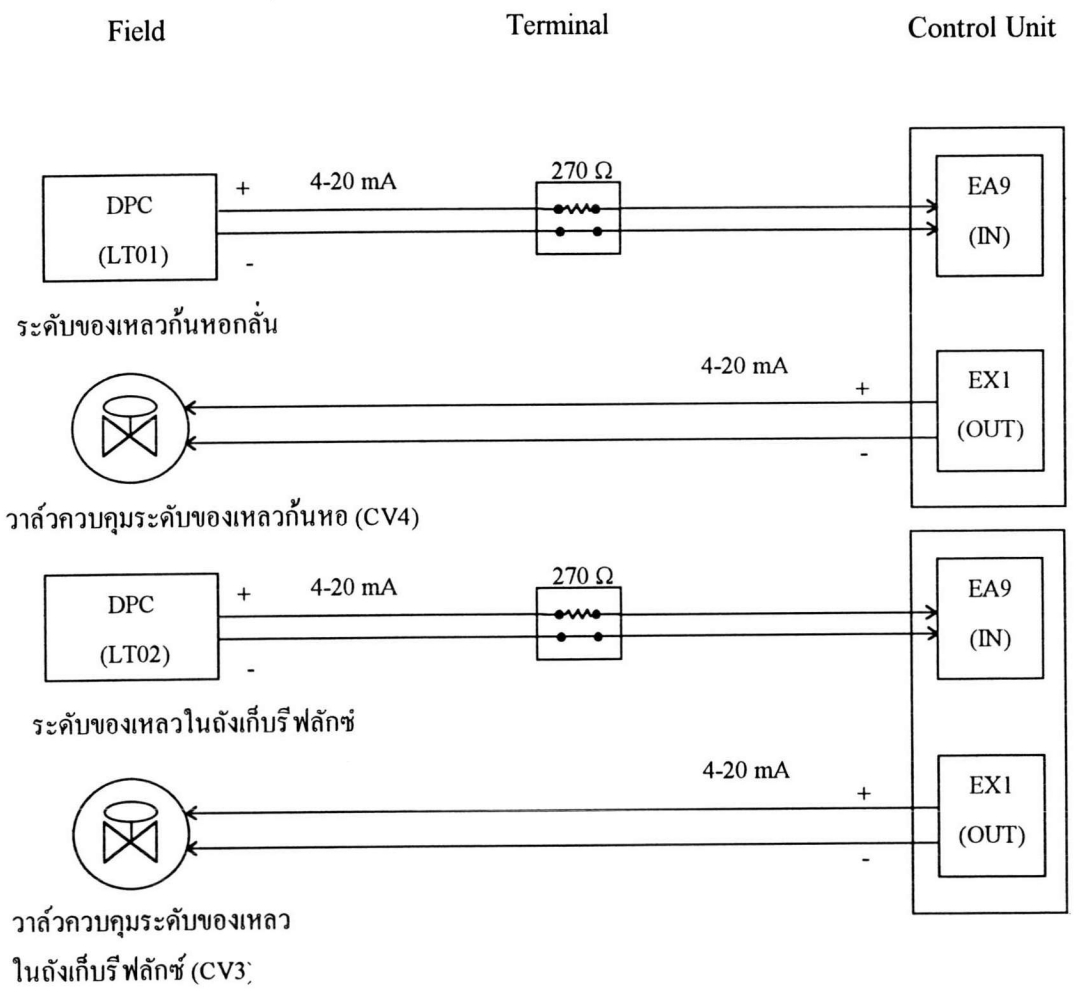
2. แบบถังปิด หมายถึง ภาชนะที่ในบรรจุของเหลวไม่เปิดสู่บรรยากาศ ได้แก่ การวัดระดับของเหลวในก้นหอกลั่น



รูปที่ 4.13 การติดตั้งเครื่องมือวัดระดับแบบถังเปิดและถังปิด

การติดตั้งเครื่องมือวัดและส่งสัญญาณระดับกับหน่วยควบคุมของดีซีเอส

การติดตั้งเครื่องมือวัดระดับกับหน่วยควบคุมของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน สามารถทำได้ในลักษณะเดียวกับการติดตั้งเครื่องมือวัดการไหลกับระบบควบคุมแบบกระจายส่วน ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ไดอะแกรมการต่อเครื่องมือวัดระดับกับหน่วยควบคุมของดีซีเอส

4.4.4 เครื่องมือวัดและส่งสัญญาณความดัน

เครื่องมือวัดและส่งสัญญาณความดันที่ใช้ในโรงงานนำร่องเพื่อการกลั่นนี้เพื่อวัดและส่งสัญญาณความดันของหอกลั่นที่ตำแหน่งยอดหอกลั่นและตำแหน่งก้นหอกลั่น อุปกรณ์วัดความดันที่ใช้เป็นแบบบูร์ดอง (Bourdon) ซึ่งเป็นท่อโลหะที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงรีและงอขึ้นเป็นรูปตัวซี เมื่อมีความดันต่อเข้ากับปลายอีกข้างหนึ่งที่เปิดและถูกตรึงอยู่กับที่จะทำให้เกิดความเครียด บูร์ดองจะพยายามเหยียดตัวออกให้ตรงทำให้ปลายข้างที่ปิดเคลื่อนที่ไปซึ่งทำให้ทราบความดันได้จากระยะทางการเคลื่อนที่ เครื่องมือวัดความดันนี้จะมีวงจรเป็นแบบดิจิตอลที่แสดงค่าดันเป็นตัวเลขที่หน้าปัดและส่งสัญญาณความดันในรูปของกระแสมาตรฐาน 4-20 mA

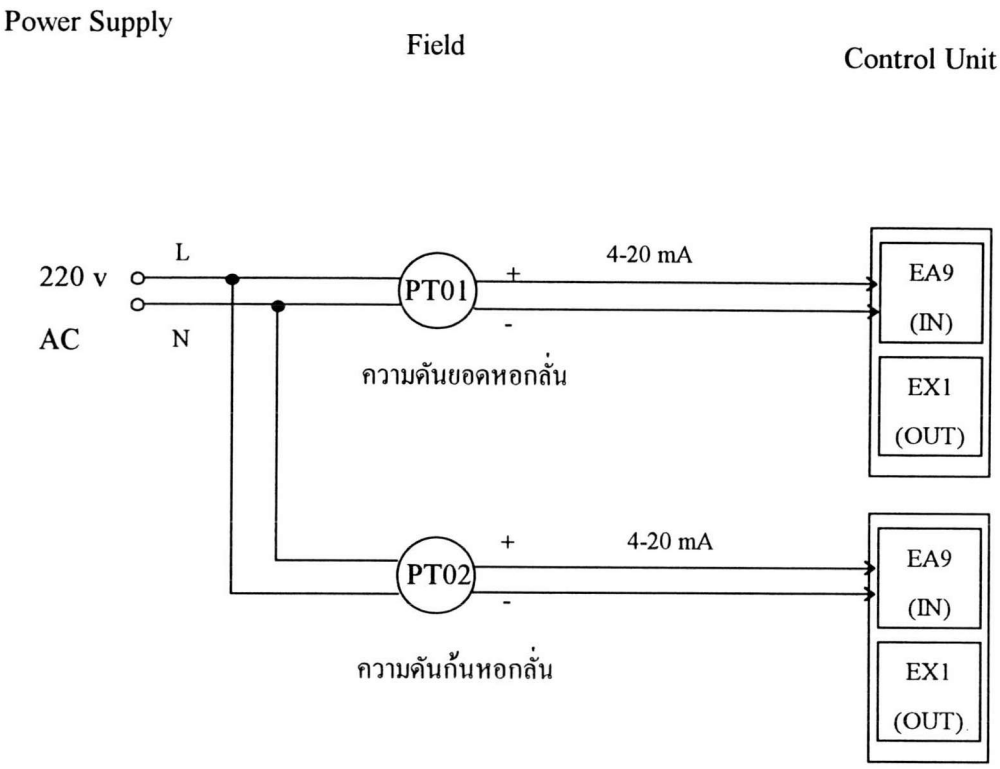
การติดตั้งเครื่องมือวัดและส่งสัญญาณความดันกับหน่วยควบคุมของดีซีเอส

เครื่องมือวัดความดันที่ใช้เป็นอุปกรณ์ที่ต้องการกำลังไฟฟ้าจากภายนอก ดังนั้นการต่อเครื่องมือวัดความดันจึงต้องต่อไฟ 220 โวลต์ เพื่อให้เครื่องมือวัดความดันทำงาน สัญญาณที่ออกจากเครื่องมือวัดความดันเป็นสัญญาณกระแสมาตรฐาน 4-20 mA ถูกส่งไปยังอินพุทของหน่วยควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 4.15

4.4.5 องค์ควบคุมสุดท้ายหรือวาล์วควบคุม

วาล์วควบคุมถูกใช้ในกระบวนการกลั่นเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการปรับเปลี่ยนอัตราการไหล วาล์วควบคุมที่ใช้เป็นวาล์วชนิดอีควอลเปอร์เซ็นต์เทจ (Equal Percentage) โดยรับค่าสัญญาณการควบคุมจากหน่วยควบคุมของระบบควบคุมแบบกระจายส่วนในรูปของสัญญาณกระแสมาตรฐาน 4-20 mA แล้วแปลงเป็นแรงดันลม 6-30 psig โดยอุปกรณ์แปลงสัญญาณ

กระแสเป็นแรงดันลมที่ตัววาล์วควบคุม แรงดันลมที่ได้จะทำหน้าที่เป็นแรงส่งที่กระทำต่อไดอะแฟรมเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ขึ้นลงของก้านวาล์วในการควบคุมตำแหน่งการเปิดปิดของวาล์วเพื่อการเพิ่มหรือลดพื้นที่หน้าตัดการไหล



รูปที่ 4.15 การติดตั้งเครื่องมือวัดความดันกับหน่วยควบคุมของดีซีเอส

โรงงานนำร่องเพื่อการกลั่นนี้ ประกอบด้วยวาล์วควบคุม 5 ตัว ได้แก่

1. วาล์วควบคุมอุณหภูมิของคอนเดนเสท (CV1) โดยการปรับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นของเครื่องควบแน่น ลักษณะวาล์วเป็นแบบเสียเปิด (Fail Open)

2. วาล์วควบคุมอุณหภูมิของยอดหอกลั่น (CV2) โดยการปรับการไหลของรีฟลักซ์ ลักษณะวาล์วเป็นแบบเสียเปิด

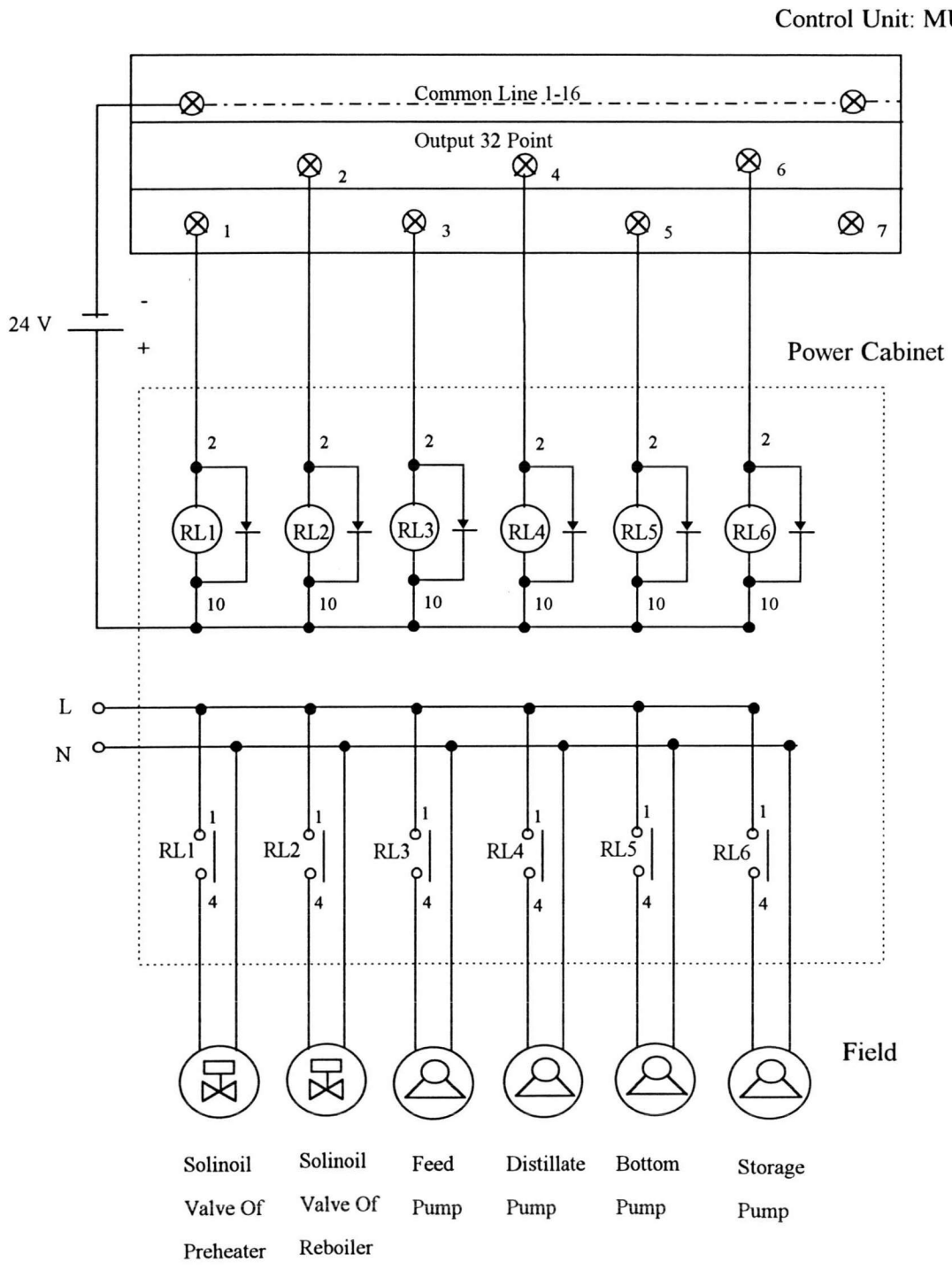
3. วาล์วควบคุมระดับของเหลวในถังเก็บรีฟลักซ์ (CV3) โดยการปรับอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ยอดหอ ลักษณะวาล์วเป็นแบบเสียปิด

4. วาล์วควบคุมระดับของเหลวที่ฐานหอกลั่น (CV4) โดยการปรับอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ก้นหอกลั่น ลักษณะวาล์วเป็นแบบเสียเปิด

5. วาล์วควบคุมอุณหภูมิที่ก้นหอกลั่น (CV5) โดยการปรับอัตราการไหลของไอน้ำ ลักษณะวาล์วเป็นแบบเสียปิด

4.4.6 ปั๊มป์และโซลินอยด์วาล์ว

ปั๊มป์ที่ใช้ในโรงงานนำร่องเพื่อการกลั่นนี้ประกอบด้วยปั๊มป์แบบเกียร์ 3 ตัว และปั๊มป์แบบแรงเหวี่ยง 1 ตัว ซึ่งเป็นปั๊มป์ขนาดที่ใช้ในการทดลอง เกียร์ปั๊มป์จะใช้ในสายต่าง ๆ คือ ปั๊มป์สำหรับนำของเหลวจากถังเก็บผลิตภัณฑ์ไปเก็บในถังสารป้อน ปั๊มป์สำหรับนำผลิตภัณฑ์ก้นหอไปเก็บในถังเก็บผลิตภัณฑ์ก้นหอ และปั๊มป์สำหรับนำผลิตภัณฑ์ยอดหอเพื่อไปเก็บยังถังเก็บผลิตภัณฑ์ยอดหอและนำของเหลวป้อนกลับเข้าหอกลั่นที่ยอดหอ ปั๊มป์แบบแรงเหวี่ยงจะใช้สำหรับสารป้อนในการย้ายส่งของเหลวจากถังหนึ่งไปยังอีกถังหนึ่ง และใช้ในการหมุนเวียนสารป้อนในถัง เพื่อกวนให้สารผสมกันได้ดียิ่งขึ้น รวมทั้งยังใช้ในการป้อนสารเข้าหอกลั่นด้วย ส่วนโซลินอยด์วาล์วถูกติดตั้งเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์เปิดปิดระบบไอน้ำของสายหม้อต้มซ้ำและสายพรีฮีตเตอร์ของสารป้อน



รูปที่ 4.16 การติดตั้งปั๊มปีและโซลินอยด์วาล์วกับหน่วยควบคุมของดีซีเอส

การติดตั้งปั๊มปั่นและโซลินอยด์วาล์วกับหน่วยควบคุมของดีซีเอส

ปั๊มปั่นและโซลินอยด์วาล์วเป็นอุปกรณ์แบบเปิดและปิด การสั่งการเปิดและปิดอาศัยการทำงานของรีเลย์ (Relay) ด้วยการสั่งการหรือการควบคุมของหน่วยควบคุม สัญญาณดิจิตอลถูกส่งออกจากการ์ด ST5 (Multipoint Status I/O Card) ซึ่งเป็นการ์ดดิจิตอลอินพุท/ดิจิตอลเอาท์พุทแบบหลายจุดของหน่วยควบคุมไปยังรีเลย์เพื่อจ่ายไฟ 24 โวลต์ ให้กับรีเลย์ผ่านทางเอาท์พุทของเอ็มยูดี (MUD) เอ็มยูดีจะประกอบด้วยขั้วสายอินพุท 32 ขั้ว และขั้วสายเอาท์พุท 32 ขั้ว รวมทั้งขั้วสายคอมมอน (Common Line) ของทั้งอินพุทและเอาท์พุท รีเลย์ที่ใช้จะมีไดโอดเพื่อป้องกันกระแสไหลย้อนกลับเข้าหน่วยควบคุมของดีซีเอสซึ่งอาจทำให้ระบบเสียหายได้ ลักษณะการต่อเป็นแบบปกติเปิด (NO) นั้นคือ ขั้วบวกของเอ็มยูดีต่อเข้ากับขั้ว 1 ของรีเลย์ ส่วนขั้ว 4 ของรีเลย์ต่อเข้ากับขั้วบวกของตัวจ่ายกำลังไฟ 24 โวลต์ และขั้วลบของรีเลย์ต่อเข้ากับขั้วของสายคอมมอน ส่วนสายกำลังไฟ 220 โวลต์ ที่จ่ายให้กับปั๊มปั่นและโซลินอยด์วาล์วต่อเข้ากับรีเลย์ที่ขั้ว 2 และ 10 ดังแสดงในรูปที่ 4.16

4.5 สรุป

บทที่ 4 เป็นเรื่องเกี่ยวกับโรงงานนำร่องเพื่อการกลั่น ซึ่งจะกล่าวถึงส่วนประกอบต่าง ๆ ของโรงงานนำร่องเพื่อการกลั่นพร้อมทั้งรายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์การวัดและอุปกรณ์การควบคุมที่จำเป็นสำหรับการศึกษาพลวัตและการควบคุมกระบวนการกลั่น รวมทั้งการต่อสายของอุปกรณ์เหล่านั้นเข้ากับระบบควบคุมแบบกระจายส่วน ดังที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งจะเป็นการ

ปฏิบัติการทางด้านฮาร์ดแวร์ ส่วนในบทต่อไปจะเป็นการปฏิบัติการทางด้านซอฟท์แวร์ของระบบการควบคุมแบบกระจายส่วนเพื่อการออกแบบและการทำวิศวกรรมระบบควบคุม ซึ่งจะทำให้ทราบถึงวิธีการเขียนโครงสร้างการควบคุมและการปฏิบัติการด้วยระบบการควบคุมแบบกระจายส่วน