# บทที่ 1
# บทนำ

ในบทที่ 1 จะอธิบายกระบวนการผลิตคร่าว ๆ และจะกล่าวถึงเหตุจูงใจ ขอบเขต วัตถุประสงค์ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และลำดับวิธีการของการทำการทดลองชิ้นนี้

โพลีคาร์บอเนต (PC) เป็นเทอร์โมพลาสติกที่ไม่เป็นพิษ มีความแข็งแรง และมีความโปร่งแสงสูง ไม่เปลี่ยนรูปทรงเมื่อได้รับความร้อน และมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี จากคุณสมบัติของการหดตัวโดยรวมมีค่าต่ำ การดูดซึมความชื้นต่ำ และต้องใช้อุณหภูมิความร้อนที่สูงจึงทำให้รูปร่างเปลี่ยนได้ จึงทำให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะสมดุลดี ในกระบวนการผลิตพลาสติกชนิดนี้มีวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตที่สำคัญ ๆ ประกอบด้วยก๊าซคลอรีน ($Cl_2$) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สารละลายโซเดียมบีสฟีนอเลต (Na-BPA) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) อีพีพี EPP (1-ethylpiperidine) ฟีนอล ($C_6H_5OH$) บิวทิลฟีนอล (BUP) เมธิลีนคลอไรด์ ($CH_2Cl_2$) คลอโรเบนซิน (C6H5Cl) และสารเติมแต่งต่าง ๆ (Additives) แบ่งเป็นหน่วยย่อยต่าง ๆ พอสังเขปได้ 8 หน่วยดังนี้ (ดูรูปประกอบ รูปที่ 1.1 หน่วยต่าง ๆ ในการผลิตโพลีคาร์โบเนต)

**(1) หน่วยผลิต ควบแน่น และกำจัดฟอสจีน**

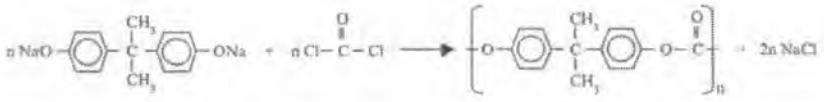
(Phosgene Generation, Condensation and Decomposition)

เนื่องจากโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate; PC) เกิดจากการทำปฏิกิริยา ระหว่างฟอสจีน (Phosgene) กับบิสฟีนอล เอ (Bisphenol A) ในรูปของโซเดียมบิสฟีนอเลต (Sodium bis-phenolate; Na-BPA) จึงมีการเตรียมสารฟอสจีนซึ่งเป็นสารตั้งต้น โดยใช้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ปริมาณมากเกินพอ (ประมาณ 2-3%) ทำปฏิกิริยากับคลอรีน ($Cl_2$) ภายในปฏิกรณ์แบบ Multi-tube reactor ภายในบรรจุด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตก๊าซฟอสจีน สมการเคมีการเกิดฟอสจีนเป็นดังนี้

$$CO + Cl_2 \rightarrow Cl\text{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}\text{-}Cl$$

(2) **หน่วยปฏิกิริยาการเกิดโพลีคาร์บอเนต** (PC Reaction)

สารละลายโซเดียมบิสฟีนอเลต (Sodium Bis-phenolate) จะถูกป้อนทำปฏิกิริยากับฟอสจีน โดยมีตัวทำละลายผสมของเมธิลีนคลอไรด์ (MC) กับคลอโรเบนซีน (CB) เป็นตัวกลางในการทำปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังมีการป้อนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อใช้สลายฟอสจีนที่ไม่เกิดปฏิกิริยา อีพีพีเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดโพลีคาร์โบเนต และฟีนอลเพื่อใช้เป็นตัวหยุดปฏิกิริยาการเกิดโพลีคาร์บอเนตให้ได้น้ำหนักโมเลกุลตามที่ต้องการ ผลิตภัณฑ์ที่ได้นอกจาก PC และ NaCl ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ร่วม (Co-product) ดังแสดงในสมการข้างล่างนี้แล้ว ยังเกิดโซเดียมคาร์บอเนต ($Na_2CO_3$) จากการสลายฟอสจีนด้วย NaOH อีกด้วย สารทั้งหมดจะอยู่ในรูปของ emulsion ซึ่งสารอินทรีย์จะละลายอยู่ในส่วนของน้ำ ส่วน PC ละลายในตัวทำละลายจึงเรียกว่าสารละลาย PC



(3) **หน่วยการล้างโพลีคาร์บอเนต** (PC Washing **หรือ** extraction)

สารละลาย PC จะผ่านล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง และน้ำปราศจากประจุหลายครั้งเพื่อแยกสารโซเดียมบีสฟีนอเลตและเกลือต่างๆ ออกจากสารละลาย PC แล้วส่งสารละลาย PC ไปยังถังเก็บก่อนส่งไปยังหน่วยเพิ่มความเข้มข้นขั้นต้นต่อไป

(4) **หน่วยเพิ่มความเข้มข้นขั้นต้น** (PC Preconcentration)

สารละลาย PC ที่ล้างแล้วจะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นในหน่วยนี้ ซึ่งประกอบด้วยเครื่องให้ความร้อน (Preheater) เครื่องระเหย (Evaporator) และเครื่องแยก (Separator) โดยที่สารละลาย PC จะร้อนขึ้นด้วยไอน้ำระดับความดันต่างๆ ไอของตัวทำละลายที่แยกออกมาจากการให้ความร้อนจะถูกส่งไปควบแน่นและเก็บไว้ในถังเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ สารละลาย PC ที่ผ่านการเพิ่มความเข้มข้นแล้วจะถูกส่งไปยังหน่วยเพิ่มความเข้มข้นสุดท้าย (Final Concentration Unit) ในกรณีสารละลาย PC มีความเข้มข้นและคุณภาพไม่ตรงตามความต้องการจะถูกส่งกลับไปทำละลายใหม่ แล้วส่งไปยังถังเก็บสารละลาย PC ที่ลานถัง

(5) **หน่วยเพิ่มความเข้มข้นขั้นสุดท้ายและการทำเม็ด**

ตัวทำละลายที่เหลืออยู่ในสารละลาย PC จะถูกทำให้ระเหยไปภายใต้ความดันปกติ และระบบสุญญากาศ ตามลำดับ สำหรับโรงงานที่ 1 จะใช้เครื่องฉีด (Extruder) เป็นอุปกรณ์ในการระเหยตัวทำละลายที่หลงเหลืออยู่ ส่วนโรงงานที่ 2 นั้น ความร้อนที่ใช้ในการทำให้ตัวละลายระเหยออกไปเป็นความร้อนจาก Heating Loop ซึ่งใช้ไดฟีล (Diphyl) เป็นตัวกลางนำความร้อนที่เกิดจากก๊าซธรรมชาติ หรือน้ำมันเชื้อเพลิงเบาอื่นๆ เช่น น้ำมันดีเซล เป็นเชื้อเพลิงตัวทำละลายซึ่งมี MC และ CB ที่ระเหยออกมาจะผ่านการควบแน่น แล้วส่งไปยังถังเก็บเพื่อนำไปกลั่นให้ตัวทำละลายบริสุทธิ์ก่อนนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิต สารละลาย PC ที่ผ่านขั้นตอนนี้แล้วจะเป็นสารโพลีคาร์บอเนตบริสุทธิ์จะถูกส่งไปทำเม็ดโดยเติมสารเติมแต่งให้ได้คุณสมบัติตามต้องการแล้วทำให้เย็นโดยผ่านน้ำและเป่าแห้ง จากนั้นจึงส่งไปยังเครื่องตัดเม็ด เม็ดโพลีเมอร์ที่ได้จะผ่านการคัดขนาดก่อนส่งไปเก็บในไซโลด้วยระบบ Pneumatic Conveyer

(6) **หน่วยการเก็บและบรรจุภัณฑ์** (Silo farm and Packaging)

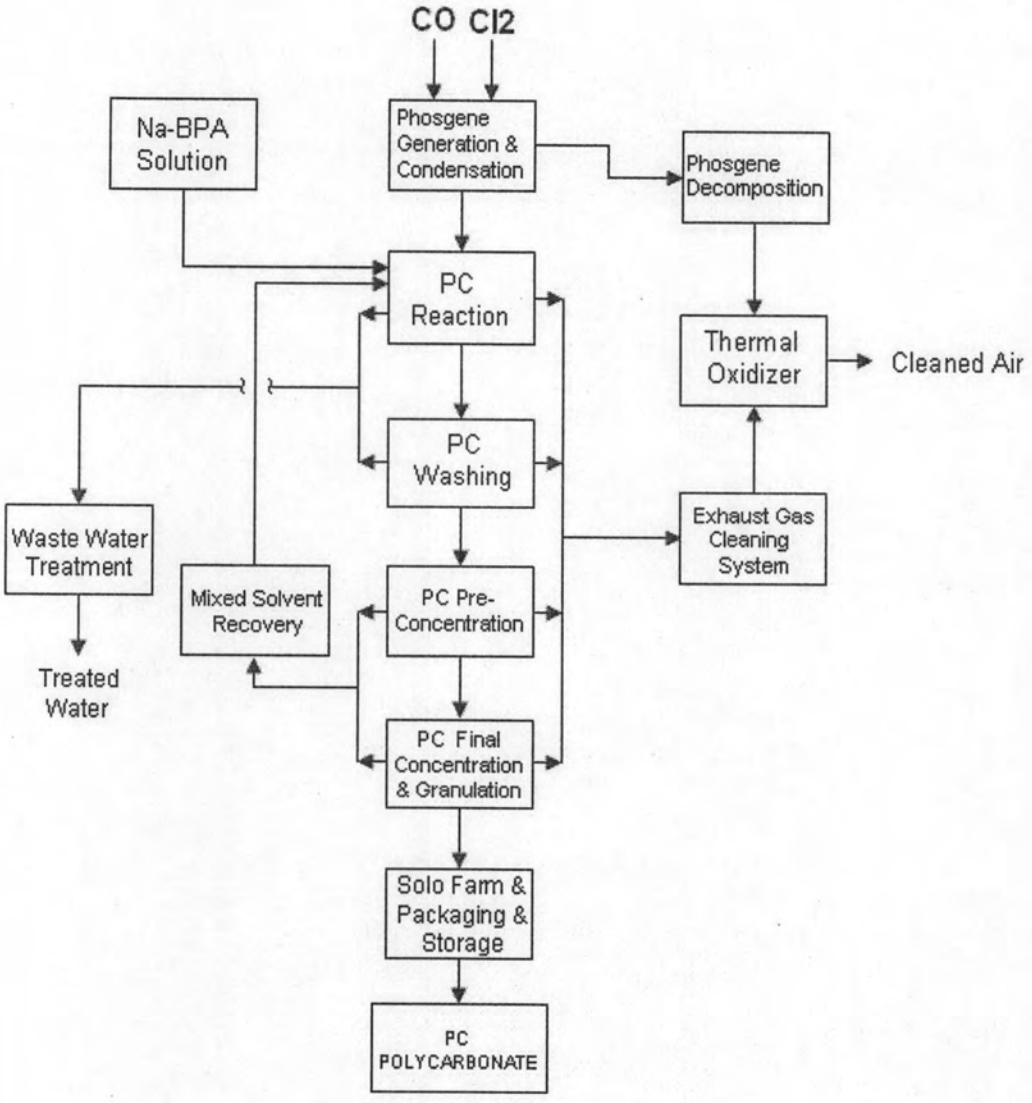
เม็ด PC ที่เก็บไว้ในไซโลจะผ่านการผสมผสานให้มีคุณภาพเดียวกัน จากนั้นบรรจุลงภาชนะบรรจุแล้วส่งไปเก็บไว้ในโรงเก็บผลิตภัณฑ์

(7) **หน่วยบำบัดแก๊สเสีย** (Waste gas treatment)

ถังบรรจุสารเคมีที่เป็นของเหลวต่าง ๆ จะถูกควบคุมความดันให้สูงกว่าความดันบรรยากาศภายนอกเล็กน้อยโดยการป้อนแก๊สไนโตรเจนเข้าไปในถัง เพื่อป้องกันไม่ให้ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศรวมทั้งป้องกันก๊าซออกซิเจนเข้าไปภายในถังได้ และแต่ละถังจะมี การต่อท่อไปเข้าระบบบำบัดแก๊สเสียรวมเพื่อป้องกันความดันภายในถังเกินค่าควบคุม

(8) **หน่วยบำบัดน้ำเสีย** (Waste water treatment)

น้ำเสียจากหน่วยผลิตหน่วยต่าง ๆ โดยเฉพาะหน่วยปฏิกิริยาการเกิดโพลีคาร์บอเนต (PC Reaction) และหน่วยการล้างโพลีคาร์บอเนต (PC Washing หรือ extraction) โดยหน่วยนี้จะทำการแยกเอาสารอินทรีย์ออกจากน้ำเสียและทำการกลั่น เพื่อแยกเอาตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่และทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสีย รวมทั้งควบคุมอุณหภูมิน้ำทิ้ง โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดขั้นสุดท้ายแล้ว ต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่ขอไว้ใน EIA ทั้งหมด ถ้ามีค่าใดค่าหนึ่งเกินมาตรฐานน้ำที่จะปล่อยทิ้งทั้งหมดจะถูกนำกลับมาทำการบำบัดใหม่

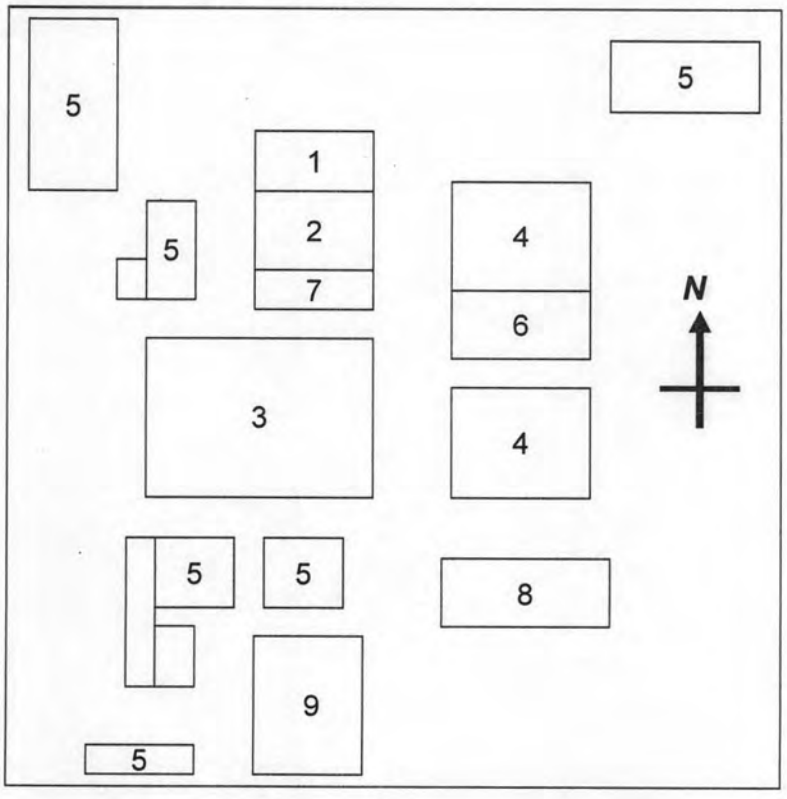



รูปที่ 1.1 หน่วยต่าง ๆ ในการผลิตโพลีคาร์โบเนต

**การจัดแผนผังพื้นที่โรงงาน**

มีการจัดผังพื้นที่โดยแบ่งเป็นหน่วยผลิตต่างๆ ประกอบด้วย

1) หน่วยผลิตก๊าซฟอสจีน
2) หน่วยปฏิกิริยาโพลีคาร์บอเนต (PC Reaction) และหน่วยล้างโพลีคาร์บอเนต (PC Washing)
3) หน่วยเพิ่มความเข้มข้นโพลีคาร์บอเนต (PC Preconcentration & PC Final Concentration)
4) ถังเก็บเคมีภัณฑ์ซึ่งประกอบด้วยลานถังสารอนินทรีย์ (Inorganic Tank Farm) และลานถังสารอินทรีย์ (Organic Tank Farm)
5) ระบบสาธารณูปโภค ได้แก่ ระบบน้ำหล่อเย็น ระบบผลิตน้ำเย็น ระบบผลิตลม เป็นต้น
6) ระบบบำบัดน้ำเสีย (Waste water treatment)
7) ระบบบำบัดก๊าซ (Waste gas treatment)
8) ห้องควบคุมเฉพาะที่และห้องควบคุมส่วนกลาง (Control Room)
9) ไซโล (Silo)




รูปที่ 1.2 แผนผังพื้นที่โรงงานแสดงหน่วยการผลิตต่าง ๆ

ในอุตสาหกรรมโดยทั่วไป เครือข่ายของระบบแลกเปลี่ยนความร้อนถูกใช้ในการถ่ายเทความร้อนของของไหล อย่างน้อย 2 ชนิด โดยของไหลที่อุณหภูมิต่ำกว่า จะถูกให้ความร้อนโดยของไหลที่มีอุณหภูมิสูงกว่า และของไหลที่มีอุณหภูมิสูงจะถูกทำในทิศทางตรงกันข้าม โดยการเกิดขึ้นในลักษณะนี้ เราสามารถนำพลังงานความร้อนกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ ทำให้การใช้ของไหลเย็นและร้อนภายนอกในการแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกใช้น้อยลง โดยปกติการคำนวณค่าพลังงานความร้อนของเครือข่ายของระบบแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นสิ่งที่ทำได้ยากเพราะอุณหภูมิขาเข้าของของไหลร้อนบางชนิดเป็นสิ่งที่เราไม่สามารถทราบอุณหภูมิได้ ดังนั้นจึงมีการเสนอรูปแบบเครือข่ายของระบบแลกเปลี่ยนความร้อนกันต่าง ๆ มากมาย และสำหรับในกระบวนการผลิตโพลีคาร์โบเนตนี้ จะจำแนกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ที่ใช้อยู่ในหน่วยต่าง ๆ ทั้งที่ต้องการเพิ่มอุณหภูมิ และต้องการลดอุณหภูมิ โดยจะสรุปไว้ในตารางดังนี้

| หน่วยการผลิต | $T_{max}$ (Deg C) | $T_{min}$ (Deg C) | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|
| 1. หน่วยผลิตก๊าซฟอสจีน | | | |
| - Phosgene generator | 200 | 35 | ฟอสจีนเป็นก๊าซอันตราย ต้องมีมาตรการควบคุมดูแลเพื่อความปลอดภัยสูง ท่อและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้เกี่ยวกับก๊าซฟอสจีนทำด้วยโลหะพิเศษที่ทนการกัดกร่อน และเป็นท่อสองชั้น และอุปกรณ์ทุกอย่างจะถูกเก็บไว้ในอาคารปิดเดียวกันเพื่อความปลอดภัย ถ้าเกิดการรั่วไหล ทำให้เป็นการยากที่จะทำการนำความร้อนจากหน่วยนี้ไปใช้ยังหน่วยอื่น ๆ หรือแม้กระทั่งในหน่วยเดียวกัน |
| - Phosgene condenser | 45 | -30 | ฟอสจีนเป็นก๊าซอันตราย ต้องมีมาตรการควบคุมดูแลเพื่อความปลอดภัยสูง ท่อและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้เกี่ยวกับก๊าซฟอสจีนทำด้วยโลหะพิเศษที่ทนการกัดกร่อน และเป็นท่อสองชั้น และอุปกรณ์ทุกอย่างจะถูกเก็บไว้ในอาคารปิดเดียวกันเพื่อความปลอดภัย ถ้าเกิดการรั่วไหล ทำให้เป็นการยากที่จะทำการนำความร้อนจากหน่วยนี้ไปใช้ยังหน่วยอื่น ๆ หรือแม้กระทั่งในหน่วยเดียวกัน |

| หน่วยการผลิต | $T_{max}$ (Deg C) | $T_{min}$ (Deg C) | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|
| **2. หน่วยปฏิกิริยาโพลีคาร์บอเนต** (PC Reaction) **และหน่วยล้างโพลีคาร์บอเนต** (PC Washing) | | | |
| - อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในหน่วยการล้างโพลีคาร์โบเนต | 60 | 40 | ใช้น้ำหล่อเย็นในการลดอุณหภูมิ |
| **3. หน่วยเพิ่มความเข้มข้นโพลีคาร์บอเนต** (PC Preconcentration & PC Final Concentration) | | | |
| - หน่วยเพิ่มความเข้มข้นโพลีคาร์บอเนตเบื้องต้น | 240 | 35 | เพิ่มความร้อนของสารละลายโพลีคาร์บอเนตเป็นขั้น ๆ โดยในหน่วยนี้มีการปรับปรุงการใช้ไอน้ำในระดับต่าง ๆ อยู่แล้ว |
| - หน่วยเพิ่มความเข้มข้นโพลีคาร์บอเนตขั้นสุดท้าย | 350 | 240 | ใช้การให้ความร้อนสารละลายโพลีคาร์โบเนตโดยเครื่องทำความร้อนไฟฟ้าเป็นตัวให้พลังงานความร้อน |

| หน่วยการผลิต | $T_{max}$ (Deg C) | $T_{min}$ (Deg C) | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|
| **6. หน่วยบำบัดน้ำเสีย** (Waste water treatment) | | | |
| - Stripper column | 120 | 35 | มีการนำไอน้ำเพื่อให้ความร้อนแก่ Reboiler ของ Stripper column โดยปริมาณไอน้ำที่ใช้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิน้ำเสียที่เข้า Stripper column ที่จะแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำเสียหลังจากบำบัดจาก Stripper column โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และมีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำรองพร้อมใช้ 1 เครื่อง |
| **7. หน่วยบำบัดก๊าซ** (Waste gas treatment) | 40 | 10 | ใช้น้ำเย็นและสารทำความเย็นในการลดอุณหภูมิ |

ตารางที่ 1.1 จำแนกอุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่อยู่ในหน่วยผลิต

อย่างไรก็ตามจากการพิจารณาการใช้พลังงานความร้อนในหน่วยต่าง ๆ ในการผลิตโพลีคาร์โบเนต พบว่ามีหน่วยผลิตอยู่สามหน่วยที่น่าสนใจ คือหน่วยผลิตก๊าซฟอสจีน หน่วยเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโพลีคาร์โบเนต และหน่วยบำบัดน้ำเสีย หน่วยผลิตก๊าซฟอสจีนนั้นเนื่องจากหน่วยนี้มีข้อจำกัดมากมายดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในตารางที่ 1.1 ทำให้ยากต่อการปรับปรุงเปลี่ยนแปลง ส่วนในหน่วยเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโพลีคาร์โบเนตนั้นในปัจจุบันมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานความร้อนอยู่แล้ว แต่ในส่วนของหน่วยบำบัดน้ำเสียพบว่าปัจจุบันที่หน่วย Stripper column มีการใช้ไอน้ำที่ Reboiler เป็นเครื่องให้ความร้อน และจากการวิเคราะห์พบว่า ระบบนี้ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้อีก ซึ่งการเพิ่มความร้อนให้แก่น้ำเสียก่อนเข้า Stripper column เพิ่มขึ้นจะทำให้เป็นการลดการใช้ไอน้ำที่ให้แก่ Reboiler ลง โดยที่พิจารณาศึกษาปรับปรุงหน่วย Stripper column นี้ เพราะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก และใช้การลงทุนที่ไม่สูง และไม่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนข้ามไปหน่วยอื่นซึ่งจะทำให้มีการลงทุนสูงขึ้น และในระบบ Stripper column ยังมีอุปกรณ์แลกเลี่ยนความร้อนที่สามารถนำมาทำการปรับปรุงเครือข่ายของระบบแลกเปลี่ยนความร้อนได้

**วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานความร้อนสำหรับหน่วยบำบัดน้ำเสีย

**ขอบเขตและข้อจำกัดของการวิจัย**

เพื่อหาความสัมพันธ์และความเกี่ยวข้องกัน ในการเสนอผลงานครั้งนี้จะใช้ผลจากห้องทดลองและผลที่ได้จริงจากการการเดินเครื่อง หน่วย Stripper column เป็นหลัก และก่อนการเปลี่ยนแปลง ต้องทำการประเมินความสามารถปั๊มที่ติดตั้งอยู่แล้วว่าหลังมีการจัดเรียงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนั้น ปั๊มยังมีสามารถส่งน้ำเสียได้อยู่หรือไม่ และการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงและการลดปริมาณการใช้ไอน้ำนั้น ต้องไม่ส่งผลกระทบต่อหน่วยอื่น ๆ และคุณภาพน้ำทิ้ง

**วิธีดำเนินการวิจัย**

1. ทำการศึกษาหาข้อจำกัดในการเพิ่มอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำรองรวมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้งานอยู่ทั้งแบบขนานและอนุกรมในด้านความดันลดที่เพิ่มขึ้น ความเร็วของน้ำเสียที่ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ความสามารถของปั๊ม

2. ประโยชน์ที่ได้รับเมื่อเปลี่ยนอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้งานอยู่มาเป็นทั้งแบบขนานและอนุกรม พร้อมทั้งเปรียบเทียบ
3. ศึกษาผลกระทบที่มีต่อปริมาณความสิ้นเปลืองไอน้ำต่อสารปนเปื้อนที่เข้ามาพร้อมกับน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ Stripper column
4. ปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงการควบคุมการป้อนไอน้ำเพื่อให้ความร้อน

**ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

หลังจากทำการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงแล้วสามารถลดปริมาณการใช้ไอน้ำในหน่วย Stripper column ลงได้ และสามารถเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นต่อปริมาณไอน้ำที่ใช้เพิ่มขึ้น

**ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย**

ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัยมีดังนี้ในบทที่ 1 จะกล่าวถึงกระบวนการการผลิตโพลีคาร์โบเนตอย่างคร่าว ๆ รวมทั้งความเป็นมา ความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ และขอบเขตของการทดลอง รวมทั้งประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทดลองเรื่องนี้ ในบทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้อ้างอิงทั้งหมด ในบทที่ 3 แสดงวิธีการประเมิน วิธีการคำนวณ และวิธีการทดลอง ในบทที่ 4 จะนำผลการคำนวณในบทก่อนหน้าและที่ได้จากการทดลองมาแสดง และ ในบทที่ 5 จะเป็นบทสรุปและวิเคราะห์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะเพื่อนำผลการทดลองนี้ไปปรับปรุงแก้ไขพัฒนาต่อไป