

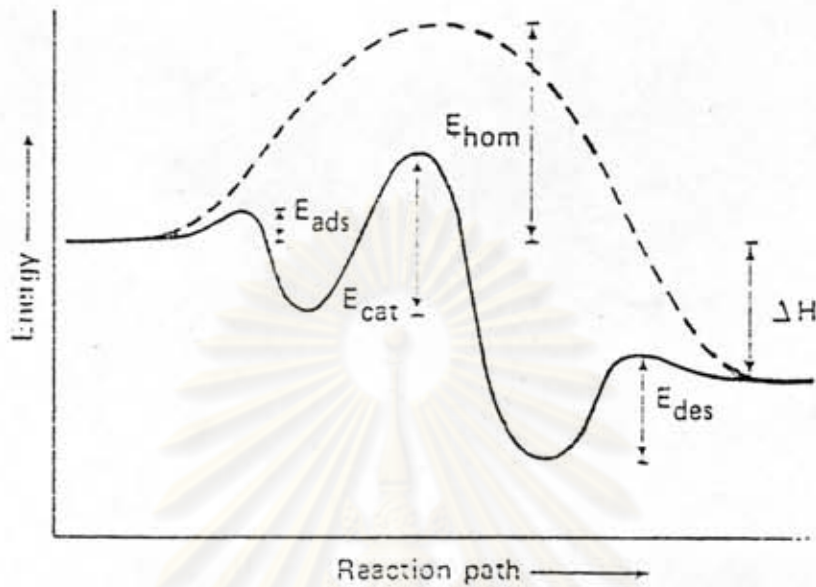
ทฤษฎีและผลงานวิจัยในอดีต

ปฏิกิริยารีดอกซ์ของไฮโดรคาร์บอนด้วยไอน้ำ เป็นกระบวนการหนึ่งในการผลิตก๊าซสังเคราะห์ ซึ่งเป็นก๊าซผสมของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) กับก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ก๊าซทั้งสองนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตอื่นได้อีกหลายด้าน เช่น ในกระบวนการผลิตยูเรีย แอมโมเนีย หรือเมทานอล เป็นต้น ซึ่งแต่ละกระบวนการผลิตมีความจำเป็นที่จะต้องใช้อัตราส่วนของสารตั้งต้นระหว่าง CO กับ H_2 ที่แตกต่างกัน อัตราส่วนของก๊าซผลิตภัณฑ์ระหว่าง CO กับ H_2 ที่เหมาะสมในแต่ละกระบวนการผลิตนี้ นอกจากจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของสารตั้งต้นแล้ว ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของปฏิกิริยาอีกด้วย การควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ได้อัตราส่วนของก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้แน่นอนจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ในแต่ละกระบวนการผลิต

ปัจจุบัน ไมโครคอมพิวเตอร์ได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง ในระบบควบคุมจึงมีการนำไมโครคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้งาน ลักษณะของการควบคุมของจะเป็นไปตามโปรแกรมควบคุมที่เขียนขึ้น ถ้าผลตอบสนองที่ได้จากการควบคุมไม่เหมาะสมหรือการควบคุมไม่สามารถนำระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ได้ จะสามารถแก้ไขหรือตัดแปลงลักษณะของการควบคุมจากโปรแกรมควบคุมใหม่ได้ง่าย นอกจากนี้การนำไมโครคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ในการควบคุม ยังสามารถวิเคราะห์ข้อมูล แสดงค่าของข้อมูลบนจอภาพ และเก็บข้อมูลต่าง ๆ ได้ ทำให้สามารถทราบค่าของข้อมูลที่ต้องการได้อย่างละเอียดถี่ถ้วน

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี (catalyst)

ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีเป็นสารช่วยควบคุมอัตราเร็วและทิศทางในการเกิดปฏิกิริยา โดยไม่ถูกใช้ไปในปฏิกิริยาเมื่อปฏิกิริยานั้นสิ้นสุดลง (1,2) ขั้นตอนในการเกิดปฏิกิริยาจะต้องเกิดกว่าหนึ่งขั้นตอน ซึ่งแต่ละขั้นตอนที่เกิดขึ้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานพร้อมกันด้วย ขั้นตอนที่เกิดขึ้นอธิบายได้ดังรูปที่ 2.1 เริ่มจากสารตั้งต้นที่จะเข้าทำปฏิกิริยา เมื่อถูกดูดซับ (adsorb) บนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีที่มีความสามารถในการดูดซับสารตั้งต้นเอาไว้ สารตั้งต้นจะเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนทำให้พลังงานภายในต่ำลง ดังนั้นเมื่อมีพลังงานกระตุ้นเพียงเล็กน้อย สารตั้งต้นที่ถูกดูดซับก็จะสามารถเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นสารประกอบเชิงซ้อนและผลิตภัณฑ์ อยู่บนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีได้ตามลำดับ จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะคลายตัว (desorb) ออก

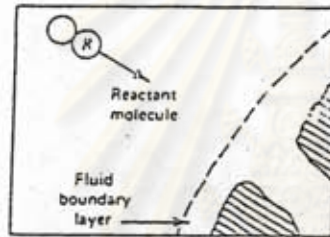


รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงพลังงานในการเกิดปฏิกิริยาบนตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี (2)

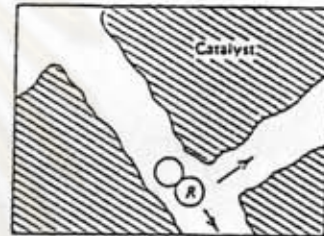
จากพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี ซึ่งจะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีคงอยู่ในสภาพเดิมเมื่อปฏิกิริยานั้นสิ้นสุดลง แต่ในบางกรณีตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีก็สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงได้เมื่อปฏิกิริยานั้นสิ้นสุดลง (2) เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีที่เป็นโลหะอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นผิวหรือโครงสร้างของผลึกโลหะได้ หรือตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีที่เป็นโลหะออกไซด์ก็สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างอะตอมของออกซิเจนกับอะตอมของโลหะได้ เมื่อมีอุณหภูมิหรือองค์ประกอบของของไหลที่เข้ามาสัมผัสเปลี่ยนแปลงไป เป็นต้น

ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีสามารถแบ่งตามสถานะได้ 2 ประเภท (2) คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีแบบเนื้อเดียว (homogeneous catalysts) หมายถึงตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีที่มีสถานะเดียวกันกับสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ในสถานะของของเหลว อีกประเภทหนึ่งคือตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีแบบเนื้อผสม (heterogeneous catalysts) หมายถึงตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีที่มีสถานะต่างจากสารตั้งต้น โดยส่วนมากจะอยู่ในรูปของของแข็ง ส่วนสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์จะอยู่ในรูปของก๊าซหรือของเหลว ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีประเภทนี้เป็นที่นิยมนำมาใช้งานมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเนื้อเดียวมาก เนื่องจากทนความร้อนและแรงกระแทกได้ดี การเก็บรักษาและการใช้งานง่ายกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเนื้อเดียวเพราะไม่ต้องอาศัยตัวทำละลาย นอกจากนี้ยังสามารถแยกออกจากสารผลิตภัณฑ์ได้ง่าย ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายต่ำ

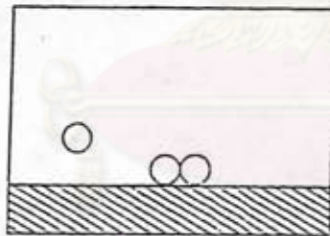
การเกิดปฏิกิริยาโดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีแบบเนื้อผสมส่วนใหญ่จะเกิดบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีที่นำมาใช้จึงควรให้มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก เช่น ทำให้มีลักษณะเป็นแผ่นบาง (foil) หรือนำมาเคลือบบนวัสดุ (support) ที่มีความพรุนสูง เป็นต้น สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีที่เคลือบอยู่บนวัสดุที่มีความพรุนสูง (high porosity) พบว่าเกิดปฏิกิริยาขึ้นเป็นขั้นตอนดังรูปที่ 2.2 ในขั้นตอนแรกโมเลกุลของสารตั้งต้นจะเกิดการถ่ายเทจากสภาวะของไหล สู่พื้นผิวภายนอกของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี จากนั้นจะแพร่เข้ารูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีและเกิดการดูดซับทางเคมีบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีของสารตั้งต้นอย่างน้อยหนึ่งชนิด สารตั้งต้นที่ถูกดูดซับจะเกิดปฏิกิริยาบนพื้นผิว



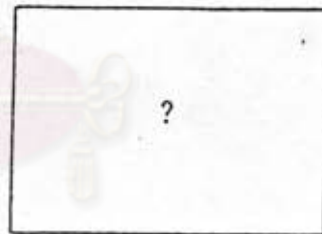
1. Mass transfer through external boundary layer



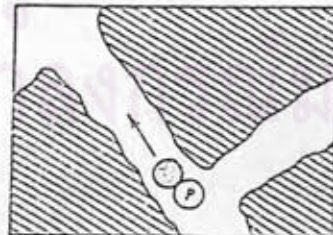
2. Diffusion into pores



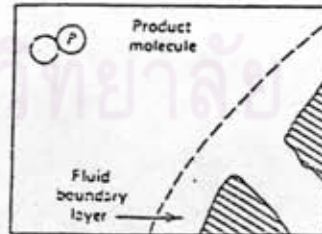
3. Chemisorption



4,5 Reaction and desorption of products



5. Diffusion of products out of pores



7. Mass transfer back to bulk fluid

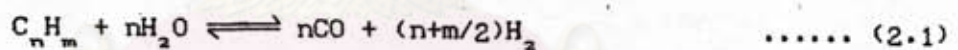
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาบนตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี (5)

ของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี (อาจมีหลายขั้นตอน) เกิดเป็นผลิตภัณฑ์แล้วหลุดออกจากพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี จากนั้นโมเลกุลของผลิตภัณฑ์จะถ่ายเทออกสู่พื้นผิวภายนอกของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี แล้วเกิดการถ่ายเทมวลสารออกสู่สภาวะของไหลในที่สุด

2.2 ปฏิกิริยาริฟอร์มมิ่งสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยไอน้ำ

ปฏิกิริยาริฟอร์มมิ่งสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยไอน้ำ เป็นปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซสังเคราะห์ ซึ่งได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อนและมีการเพิ่มจำนวนโมล ปฏิกิริยาจึงเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูงและความดันไม่สูงมากนัก เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีขึ้น จึงมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีเพื่อช่วยลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาลง ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ เช่น นิกเกิล เหล็ก โคบอลต์ หรือแพลทินัม เป็นต้น (2)

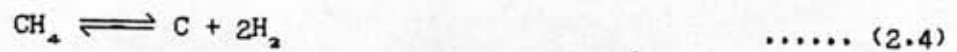
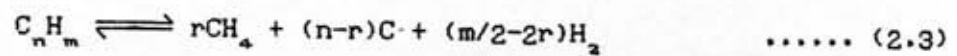
เมื่อมีการผ่านก๊าซไฮโดรคาร์บอนและไอน้ำที่ใช้เป็นสารตั้งต้น เข้าเครื่องปฏิกรณ์ที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาบรรจุอยู่ และมีอุณหภูมิสูงพอสมควร ก๊าซไฮโดรคาร์บอนจะเข้าทำปฏิกิริยาไอน้ำ เกิดเป็น CO และ H_2 ตามสมการที่ 2.1 ดังนี้



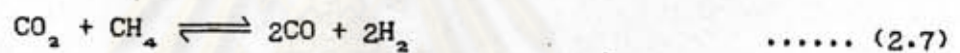
CO ที่เกิดขึ้นยังสามารถทำปฏิกิริยากับไอน้ำที่เหลือจากปฏิกิริยาที่ 2.1 เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ H_2 (shift reaction) ตามสมการที่ 2.2 ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนได้อีก ดังนี้



ในการเข้าทำปฏิกิริยาของก๊าซไฮโดรคาร์บอนกับไอน้ำตามสมการที่ 2.1 โมเลกุลของก๊าซไฮโดรคาร์บอนจะเกิดการแตกตัวให้เล็กลงจนกลายเป็นมีเทน (CH_4) หรือคาร์บอน (C) ก่อน สำหรับมีเทนที่เกิดขึ้นจะแตกตัวต่อไปอีกจนกลายเป็นคาร์บอน จากนั้นคาร์บอนที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับไอน้ำ (8) ได้ดังนี้



Arker และ Camp (8) อธิบายว่าปฏิกิริยาที่ 2.1 และ 2.2 ที่เกิดขึ้น ถือว่าเป็นปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้น ขณะเดียวกันนอกจากมีปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นทั้งสองปฏิกิริยาแล้ว ยังอาจเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงได้อีกดังนี้



และได้อธิบายว่าการเข้าทำปฏิกิริยาของก๊าซมีเทนกับไอน้ำตามปฏิกิริยา 2.6 สามารถเกิดขึ้นได้พร้อมปฏิกิริยาหลักทั้งสอง สำหรับปฏิกิริยาของก๊าซมีเทนกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามปฏิกิริยา 2.7 จะเกิดขึ้นน้อยมาก และสำหรับปฏิกิริยา 2.8 จะมีแนวโน้มที่จะเกิดมาทางซ้ายมือ เกิดเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งจะช่วยลดคาร์บอนที่เกิดจากการแตกตัวของมีเทนลงได้อีกด้วย

2.2.1 ปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งแอล พี จี ด้วยไอน้ำ

แอล พี จี เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ประกอบด้วยก๊าซสองชนิดเป็นส่วนใหญ่คือก๊าซโพรเพน (C_3H_8) และก๊าซบิวเทน (C_4H_{10}) เมื่อนำมาใช้ในการทำปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งกับไอน้ำ ปฏิกิริยาจะเทียบได้กับสมการที่ 2.1 เมื่อ $n=3$ และ $m=8$ ดังนี้



CO ที่เกิดขึ้นจะสามารถทำปฏิกิริยากับไอน้ำได้อีก ดังสมการที่ 2.2



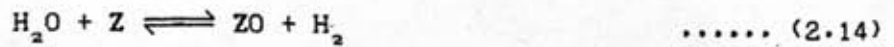
อธิบายได้ว่าเมื่อ C_3H_8 และ C_4H_{10} เข้าทำปฏิกิริยากันภายในเครื่องปฏิกรณ์ ทั้ง C_3H_8 และ C_4H_{10} จะเกิดการแตกตัวให้ CH_4 และ C ก่อนตามสมการที่ 2.3 จากนั้น C ที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับไอน้ำตามสมการที่ 2.5 เกิดเป็น CO และ H_2 ส่วน CH_4 ก็จะไปเข้าทำปฏิกิริยากับไอน้ำได้เช่นกัน โดยจะต้องแตกตัวให้ C ก่อน จากนั้น C ที่เกิดขึ้นจึงเข้าทำปฏิกิริยากับไอน้ำตามสมการที่ 2.4 และ 2.5

ปฏิกิริยาที่ 2.9, 2.10 และ 2.2 เป็นปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นมากภายในเครื่องปฏิกรณ์ ขณะเดียวกันยังมีปฏิกิริยาอื่นที่สามารถเกิดขึ้นร่วมด้วยดังสมการที่ 2.6, 2.7 และ 2.8 แต่จะเกิดได้น้อยกว่าปฏิกิริยาหลักทั้งสองมาก

2.2.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยารีดฟอร์มมิ่งไฮโดรคาร์บอนด้วยไอน้ำ

ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาของก๊าซไฮโดรคาร์บอนกับไอน้ำ ก๊าซไฮโดรคาร์บอนจะแตกตัวให้โมเลกุลที่เล็กลงบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี เช่น CH_4 , CH_2 ก่อน (10) จากนั้นจึงเข้าทำปฏิกิริยากับไอน้ำ เกิดคาร์บอนนอกไซด์บนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี แล้วจึงคลายตัวออกจากพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีในที่สุด สำหรับไอน้ำบางส่วนที่แตกตัวบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี เกิดอะตอมออกซิเจนบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี และสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับคาร์บอนนอกไซด์ เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอธิบายได้ดังนี้

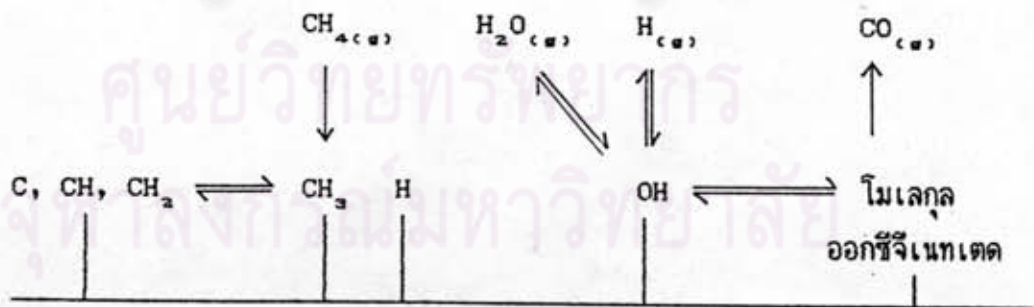




เมื่อ Z คือนั้นผิวบนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความสามารถดูดซับสารตั้งต้นเอาไว้ หรือแอคทีฟไซต์ (active site)

ZCH₂, ZCO, ZO คือนั้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีที่ดูดซับ CH₂, CO และ O เข้าไว้ ตามลำดับ

Ross และ Steel (7) ทำการศึกษาถึงกลไกการเกิดปฏิกิริยารีดฟอร์มมิ่งมีเทนด้วยไอน้ำ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี Ni/Al₂O₃ อธิบายว่าขณะที่มีเทนเข้าทำปฏิกิริยา มีเทนจะเกิดการแตกตัวบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีเกิดเป็น CH₃ และ H จากนั้น CH₃ จะแตกตัวต่อไปอีกจนเกิดเป็น CH₂, CH หรือ C อยู่บนนั้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี และจะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ OH ที่เกิดจากการแตกตัวของไอน้ำบนนั้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี ซึ่งเรียกโมเลกุลที่เกิดขึ้นว่า โมเลกุลออกซิจีเนตเตด (oxygenated species) ซึ่งสามารถแตกตัวให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการแตกตัวและการทำปฏิกิริยาของมีเทนกับไอน้ำ (7)

2.2.3 จลนศาสตร์การเกิดปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งไฮโดรคาร์บอนด้วยไอน้ำ

ปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลใหญ่ด้วยไอน้ำ มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ซับซ้อนมาก เนื่องจากไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลใหญ่ จะต้องมีการแตกตัวหลายขั้นตอนเพื่อให้โมเลกุลเล็กลงก่อนที่จะทำปฏิกิริยากับไอน้ำ นักวิจัยหลายท่าน (9, 10, 11) ได้ทำการศึกษาถึงจลนศาสตร์ของปฏิกิริยา โดยใช้ก๊าซมีเทนซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลเล็กที่สุดเข้าทำปฏิกิริยากับไอน้ำ พบว่าสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ได้จะมีรูปแบบแตกต่างกันไป แต่มีข้อสรุปร่วมกันว่า อัตราการทำปฏิกิริยาของมีเทนจะเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (first order) ของความดันย่อยของก๊าซมีเทน และมีขั้นตอนกำหนดอัตรา (rate limiting step) เป็นขั้นตอนดูดซับมีเทนบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี ดังตารางที่ 2.1

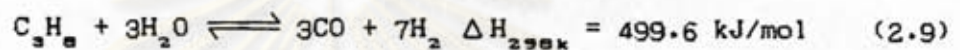
ตารางที่ 2.1 รูปแบบของสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาของมีเทนกับไอน้ำ (7,8,9,10)

ผู้วิจัย	สมการการเกิดปฏิกิริยา	ค่าคงที่ต่าง ๆ
Akers และ Camp (1955)	$-r_{\text{CH}_4} = k_o e^{-E_a/RT} P_{\text{CH}_4}$	$k_o = 127$ $E_a = 8778$
Rostrup-Nielsen (1975)	$-r_{\text{CH}_4} = k_o e^{-E_a/RT} [P_{\text{CH}_4} - (1 - (Qr/Kp))]$	$k_o = 2.19 \times 10^7$ $E_a = 20000$
Murray และ Snyder (1985)	$-r_{\text{CH}_4} = k_o e^{-E_a/RT} (P_{\text{CH}_4} - P_{\text{CH}_4, \text{e}})$	$k_o = 100 - 1 \times 10^5$ $E_a = 10000 - 26000$ $P_{\text{CH}_4, \text{e}} = P_{\text{CH}_4}^{\text{ที่สมดุล}}$
Vitidsant (1988)	$-r_{\text{CH}_4} = k_o e^{-E_a/RT} C_{\text{CH}_4}$	$k_o = 1531 \text{ m}^3/\text{kg}/\text{s}$ $E_a = 52.4 \text{ kJ/mol}$

หมายเหตุ k_o ในหน่วย ปอนด์โมล/ปอนด์ของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี/บรรยากาศ/ชั่วโมง
 E_a ในหน่วย แคลอรี/ปอนด์โมล

2.2.4 แบบจำลองทางเทอร์โมไดนามิกส์ของการเกิดปฏิกิริยาริฟอร์มมิ่งแอล พี จี ด้วยไอน้ำ

ปฏิกิริยาผันกลับได้ คือปฏิกิริยาที่สารตั้งต้นทำปฏิกิริยากันแล้วได้ผลิตภัณฑ์ แต่บางครั้งผลิตภัณฑ์ก็สามารถเข้าทำปฏิกิริยากันใหม่กลับเป็นสารตั้งต้นเดิม และเมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุล อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าก็จะเท่ากับปฏิกิริยาย้อนกลับ สำหรับปฏิกิริยาริฟอร์มมิ่งแอล พี จี (มี $C_3H_8 > 98$ เปอร์เซ็นต์) ด้วยไอน้ำ ที่สภาวะสมดุลจะเกิดขึ้นดังสมการ



จะมีค่าคงที่สมดุล (K_1) สัมพันธ์กับแอกติวิตี (activity) (12) ดังนี้

$$K_1 = (a_{CO}^3 a_{H_2}^7) / (a_P a_S^3) \quad \dots\dots (2.16)$$

a_{CO} , a_{H_2} , a_P และ a_S คือแอกติวิตีของ CO , H_2 , C_3H_8 และ H_2O

ตามลำดับ

หาความสัมพันธ์ของแอกติวิตีของสาร A (a) ในทางเทอร์โมไดนามิกส์จาก

$$a_P = X_P V_P \pi \quad \dots\dots (2.17)$$

จากสมการที่ 2.17 และ 2.18 จะได้ว่า

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{(X_{CO} V_{CO} \pi)^3 \cdot (X_{H_2} V_{H_2} \pi)^7}{(X_P V_P \pi) (X_S V_S \pi)^3} \\ &= \frac{X_{CO}^3 X_{H_2}^7}{X_P X_S^3} \cdot \frac{V_{CO}^3 V_{H_2}^7}{V_P V_S^3} \cdot \pi^6 \\ &= \frac{X_{CO}^3 X_{H_2}^7}{X_P X_S^3} \cdot K_{V_1} \cdot \pi^6 \quad \dots\dots (2.18) \end{aligned}$$

ขณะเดียวกันไอน้ำบางส่วนที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับ CO (shift reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ เกิดเป็น CO_2 และ H_2 ดังสมการ 2.2 ที่สภาวะสมดุลจะมีค่าคงที่สมดุล (K_2) สัมพันธ์กับแอกติวิตี้ดังนี้

$$K_2 = (a_{\text{CO}_2} a_{\text{H}}) / (a_{\text{CO}} a_{\text{H}_2}) \quad \dots\dots (2.19)$$

แทนค่าแอกติวิตี้ (a) จากสมการที่ 2.17 ลงในสมการที่ 2.19 และทำการจัดรูปใหม่ จะได้ว่า

$$K_2 = \frac{X_{\text{CO}_2} X_{\text{H}}}{X_{\text{CO}} X_{\text{H}_2}} \cdot K_{V2} \quad \dots\dots (2.20)$$

ที่ความดันบรรยากาศ $\pi=1$ บรรยากาศ และ $K_V \rightarrow 1$ ทำการจัดรูปสมการ 2.18 และ 2.20 เสียใหม่ จะได้ว่า

$$K_1 = (X_{\text{CO}_2}^3 X_{\text{H}}^7) / (X_{\text{CO}}^3 X_{\text{H}_2}^3) \quad \dots\dots (2.21)$$

$$K_2 = (X_{\text{CO}_2} X_{\text{H}}) / (X_{\text{CO}} X_{\text{H}_2}) \quad \dots\dots (2.22)$$

สมการ 2.21 และ 2.22 จะสามารถนำไปใช้อธิบายความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งแอล พี จี ด้วยไอน้ำได้

2.3 ระบบควบคุมอัตโนมัติ

กระบวนการผลิตทางเคมีในระดับอุตสาหกรรมทุกประเภทจำเป็นต้องมีการควบคุมระบบให้คงที่ในสภาวะที่ต้องการมากที่สุด ซึ่งเป็นที่ยากพอสมควร โดยเฉพาะในระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เมื่อหน่วยใดหน่วยหนึ่งเกิดทำงานบกพร่องหรือเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เช่น องค์ประกอบของสารที่ป้อนเข้าเปลี่ยนแปลงไป สภาวะของระบบเปลี่ยนแปลงไป หรือประสิทธิภาพการทำงานในบางหน่วยลดลง สิ่งเหล่านี้จะมีผลต่อหน่วยข้างเคียงทั้งสิ้น ถ้าประสิทธิภาพของการควบคุมไม่ดีพอ ระบบอาจต้องใช้เวลาอย่างมากเพื่อเข้าสู่สภาวะคงที่อีกครั้งหนึ่ง หรือไม่

สามารถเข้าสู่สภาวะคงที่ได้อีกเลย

ในปัจจุบันมีการพัฒนาไมโครคอมพิวเตอร์ให้มีประสิทธิภาพการทำงานได้สูงมาก ทั้งด้านขนาดความจำและความเร็วในการทำงาน จึงสามารถที่จะนำไปประยุกต์ควบคุมในแต่ละหน่วยของโรงงานอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ การควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์นี้จะทำตามคำสั่งจากโปรแกรมควบคุมที่เขียนขึ้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของการควบคุมหรือเงื่อนไขสำหรับการควบคุมใหม่ ข้อมูลจะสามารถถูกป้อนเข้าทางบัสเน็ทได้ ซึ่งเป็นข้อดีของการควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ ที่จะทำให้มีโอกาสพัฒนารูปแบบและขั้นตอนของการควบคุมให้เหมาะสมกับระบบที่ต้องทำการควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3.1 ส่วนประกอบของระบบควบคุม

ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบควบคุมสำหรับกระบวนการทางเคมีที่สำคัญ ประกอบไปด้วย (16)

ก. กระบวนการ (process) เป็นเครื่องมือส่วนปฏิบัติการ ที่ต้องมีการควบคุมสภาวะต่าง ๆ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ในเงื่อนไขที่ต้องการ อาจมีทั้งปฏิบัติการทางกายภาพและ/หรือ ปฏิบัติการทางเคมีก็ได้ เช่น เครื่องปฏิกรณ์ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เครื่องแยกสาร เป็นต้น

ข. เครื่องมือวัด (measuring instruments) เป็นตัวที่ใช้สำหรับวัดการเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ เช่น เทอร์โมคัปเปิลสำหรับวัดอุณหภูมิ เวนจูรีมิเตอร์สำหรับวัดอัตราการไหล แก๊สโครมาโตกราฟีสำหรับวัดส่วนประกอบของก๊าซ เป็นต้น

ค. สายถ่ายทอดสัญญาณ (transmission line) ทำหน้าที่เป็นตัวนำสัญญาณจากเครื่องมือวัด และส่งสัญญาณจากเครื่องมือวัดไปยังเครื่องควบคุม (controller) สายถ่ายทอดสัญญาณในยุคแรกของการควบคุม จะอาศัยแรงดันจากอากาศหรือของเหลวผ่านไปยังเครื่องควบคุม เพื่อให้เครื่องควบคุมถ่ายทอดสัญญาณไปยังชุดควบคุมขั้นสุดท้าย ช่วงเวลาต่อมาจึงมีการพัฒนาสายถ่ายทอดสัญญาณโดยใช้อุปกรณ์ทางไฟฟ้า ซึ่งเป็นแบบอะนาล็อก (analog) จนกระทั่งปัจจุบัน มีการพัฒนาไปเป็นแบบดิจิทัล (digital) ซึ่งควบคุมโดยคอมพิวเตอร์

บางกรณีสัญญาณจากเครื่องมือวัดจะเป็นสัญญาณที่อ่อนมาก แรงขับเคลื่อน (driving force) ต่ำ ทำให้ไม่สามารถส่งสัญญาณให้กับเครื่องควบคุมได้ ในกรณีนี้ที่สายถ่ายทอดสัญญาณจำเป็นต้องติดตั้งเครื่องขยายสัญญาณ (amplifiers) เพิ่มขึ้น เพื่อให้แรงขับเคลื่อนสูงขึ้น สามารถส่งสัญญาณให้แก่เครื่องควบคุมได้

ง. ตัวควบคุม (controller) เป็นส่วนประกอบชุดหนึ่งในการควบคุมที่สามารถรับสัญญาณจากเครื่องมือวัด จากนั้นจะทำการประมวลผล และส่งสัญญาณควบคุมไปยังชุดควบคุมขั้นสุดท้าย เพื่อควบคุมให้กระบวนการทางเคมีเข้าสู่สภาวะที่ต้องการ ปัจจุบันมีการพัฒนาไมโครคอมพิวเตอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ไมโครคอมพิวเตอร์จึงถูกนำมาใช้เป็นตัวควบคุม ซึ่งจะทำตามโปรแกรมควบคุมที่สร้างขึ้น ทำให้สามารถเลือกลักษณะของการควบคุม หรือแก้ไขลักษณะของการควบคุมใหม่ เพื่อปรับลักษณะของการควบคุมให้เหมาะสมกับระบบที่ต้องการทำการควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

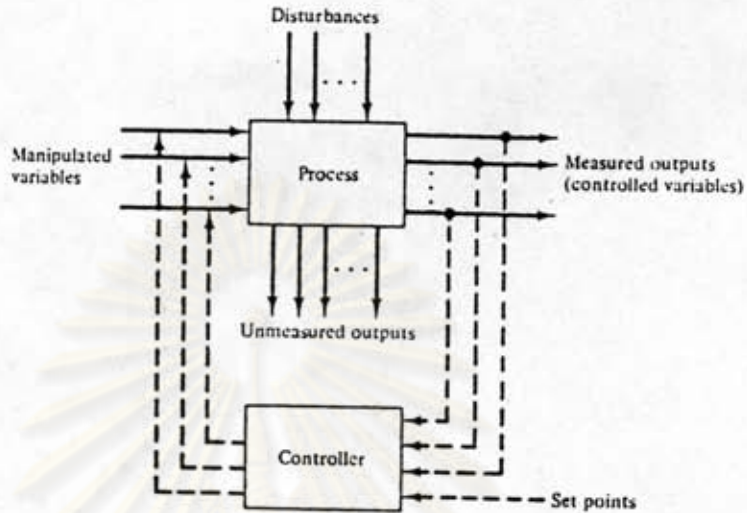
จ. ตัวควบคุมขั้นสุดท้าย (final control element) จะรับสัญญาณจากตัวควบคุม และปรับค่าของตัวควบคุมขั้นสุดท้าย เช่น วาล์วควบคุม ความเร็วรอบของปั๊ม เพื่อให้กระบวนการอยู่ในสภาวะที่ต้องการ

2.3.2 รูปแบบของระบบควบคุม (control configuration)

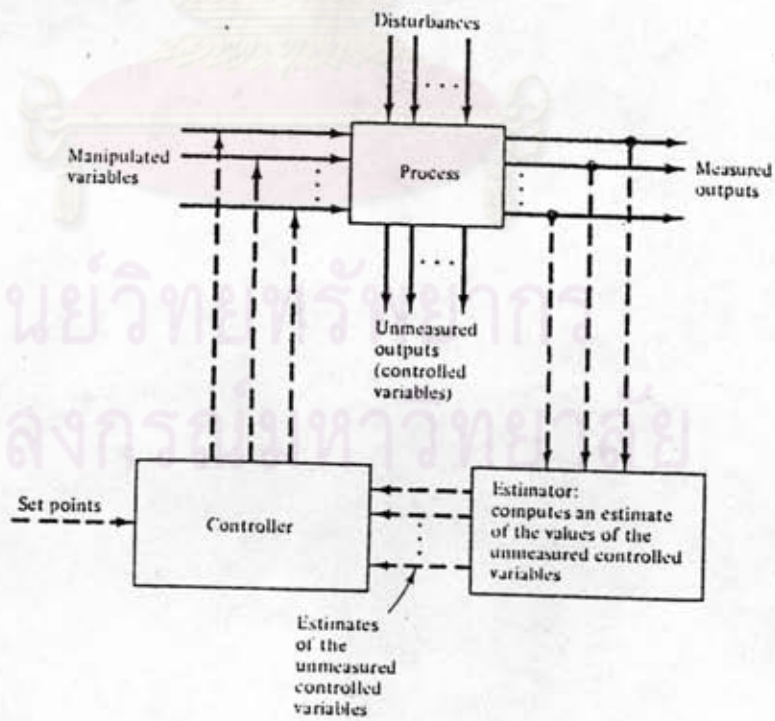
ในการออกแบบระบบควบคุม จำเป็นต้องมีการวางรูปแบบของระบบควบคุมให้เหมาะสมกับสัญญาณของตัวแปรที่ต้องการควบคุมในกระบวนการ ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงความความสะดวกในการรับ ส่ง สัญญาณควบคุม ความเหมาะสมของกระบวนการที่จะเลือกรูปแบบของระบบควบคุมให้มีประสิทธิภาพสูงพอ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครื่องควบคุมและส่วนประกอบร่วม เป็นต้น

รูปแบบพื้นฐานของระบบควบคุมมีอยู่ 3 แบบ ซึ่งจะแตกต่างกันที่ขั้นตอนของการรับ ส่ง สัญญาณควบคุม มีดังนี้

ก. ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (feedback control configuration) เป็นระบบควบคุมที่เครื่องมือวัด (measuring instruments) สามารถวัดค่าของตัวแปรที่ได้จากการควบคุมได้โดยตรง สัญญาณของค่าของตัวแปรที่ได้จากการควบคุมจะถูกส่งมาที่ตัวควบคุมตามสายถ่ายทอดสัญญาณ (transmission line) จากนั้นตัวควบคุมจะทำการประมวลผลตามรูปแบบของการควบคุมที่สร้างขึ้น ส่งสัญญาณที่ออกไปที่ตัวควบคุมขั้นสุดท้าย (final control element) เพื่อปรับปริมาณตัวแปรที่จะป้อนเข้ากระบวนการดังรูปที่ 2.4



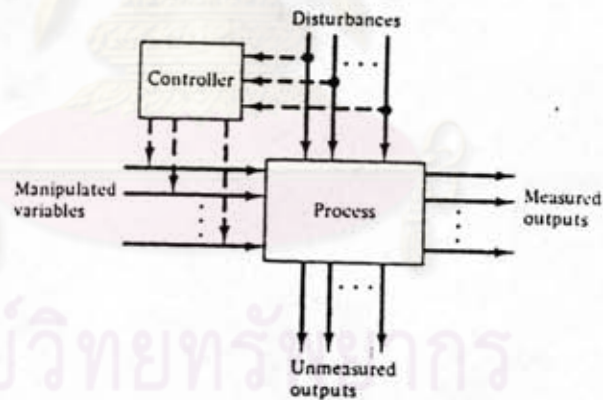
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (16)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของระบบควบคุมแบบอินเฟอเรนเชียล (16)

ข. ระบบควบคุมแบบอินเฟอร์เร็นเชียล (inferential control configuration) ระบบควบคุมลักษณะนี้จะคล้ายกับระบบควบคุมแบบป้อนกลับ ต่างกันที่ระบบควบคุมลักษณะนี้เครื่องมือวัดจะไม่สามารถส่งสัญญาณเป็นค่าตัวแปรที่ได้จากการควบคุมให้แก่เครื่องควบคุมได้โดยตรง เครื่องมือวัดเพียงแต่ส่งสัญญาณที่เป็นค่าตัวแปรอื่นให้แก่เครื่องควบคุม จากนั้นเครื่องควบคุมจะทำการคำนวณค่าตัวแปรที่ต้องการควบคุมออกมาเอง แล้วจึงประมวลผลตามรูปแบบของการควบคุมที่สร้างขึ้น ส่งสัญญาณออกไปที่ตัวควบคุมขั้นสุดท้าย เพื่อปรับปริมาณตัวแปรที่จะป้อนเข้ากระบวนการดังรูปที่ 2.5

ค. ระบบควบคุมแบบฟีดฟอร์เวิร์ด (feedforward control configuration) ระบบควบคุมลักษณะนี้จะต่างกับระบบควบคุมสองแบบแรก สัญญาณของตัวแปรที่จะส่งเข้าตัวควบคุมจะใช้ตัวแปรที่ทำการป้อนเข้ากระบวนการ (disturbances) ให้ตัวควบคุมประมวลผลตามรูปแบบของการควบคุมที่สร้างขึ้น ส่งสัญญาณออกไปที่ตัวควบคุมขั้นสุดท้าย ดังรูปที่ 2.6 ขณะที่การควบคุมสองแบบแรกตัวควบคุมจะใช้ตัวแปรที่ได้จากการควบคุมในการประมวลผล



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของระบบควบคุมแบบฟีดฟอร์เวิร์ด (16)

2.3.3 ตัวควบคุม (controllers)

ตัวควบคุมหรือเครื่องควบคุมพื้นฐานมีอยู่ 4 แบบ (14) คือ เครื่องควบคุมแบบเปิด ปิด (on-off controller) เครื่องควบคุมแบบพรอปอชันแนล (proportional

controller) เครื่องควบคุมแบบพรอปอร์ชันนอล อินทิกรัล (proportional integral controller) และเครื่องควบคุมแบบพรอปอร์ชันนอล อินทิกรัล เดริวาทีฟ (proportional integral derivative controller) เครื่องควบคุมทั้ง 4 แบบจะให้ผลตอบสนองที่เหมือนกันอยู่สองลักษณะคือ ผลตอบสนองแบบเนกาทีฟ (negative response) และผลตอบสนองแบบโพสิทีฟ (positive response)

ผลตอบสนองแบบเนกาทีฟ (negative response) จะให้ค่าผิดพลาด (error) ที่ได้จากการควบคุมจะมีค่าลดลง จนในที่สุดสามารถควบคุมระบบให้เข้าสู่สภาวะคงที่ได้ ส่วนผลตอบสนองแบบโพสิทีฟ (positive response) การควบคุมจะให้ค่าผิดพลาด (error) ที่ได้จากการควบคุมจะมีค่าเพิ่มขึ้น เครื่องควบคุมจะไม่สามารถควบคุมระบบให้เข้าสู่สภาวะคงที่ได้

ก. การควบคุมแบบเปิด ปิด (on-off control) เป็นการควบคุมที่มีรูปแบบของการควบคุมง่ายที่สุด สัญญาการควบคุมจากเครื่องควบคุมที่ส่งให้ตัวควบคุมขั้นสุดท้ายทำงานจะมีเพียงสองจังหวะคือจังหวะเปิด และจังหวะปิด โดยการพิจารณาจากเครื่องหมายของค่าผิดพลาด ทำให้ผลตอบสนองที่ได้จากการควบคุมเกิดค่าผิดพลาดเป็นช่วง ๆ ตามสัญญาณ

ข. การควบคุมแบบพรอปอร์ชันนอล (proportion controller) หรือการควบคุมแบบ P (P controller) เป็นการควบคุมที่ต่างจากการควบคุมแบบเปิด ปิด โดยค่าของสัญญาณที่ส่งออกจากตัวควบคุมที่เวลาใด ๆ จะเป็นสัดส่วนกับค่าผิดพลาดขณะนั้น รูปแบบของการควบคุมสามารถอธิบายได้ตามสมการ

$$C(t) = K_c e(t) + C_o \quad \dots\dots (2.23)$$

เมื่อ $C(t)$ คือสัญญาณที่ถูกส่งออกจากตัวควบคุมที่เวลา t ใด ๆ

C_o คือสัญญาณที่ส่งออกจากตัวควบคุมที่สภาวะคงที่

K_c คือ proportional gain

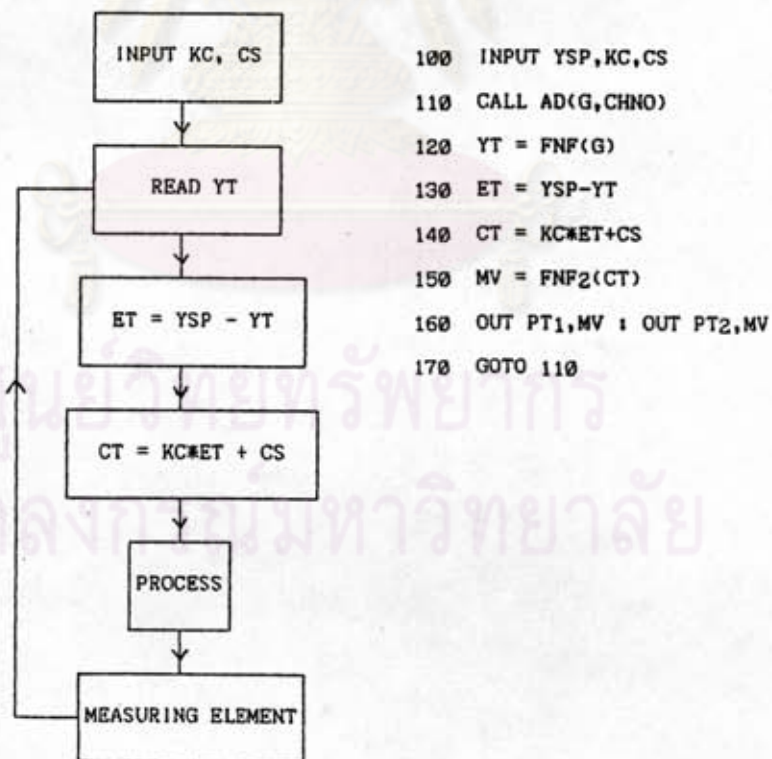
$e(t)$ คือค่าผิดพลาดในการควบคุมที่เวลา t ใด ๆ

การควบคุมแบบ P เป็นการควบคุมที่สามารถควบคุมระบบให้เข้าสู่สภาวะคงที่ได้ดีเมื่อมีการปรับค่าคงที่ K_c ให้เหมาะสมในการควบคุมระบบนั้น ๆ แต่ผลตอบสนองของค่าที่ควบคุมได้ที่สภาวะคงที่นั้น ยังผิดพลาดไปจากค่าที่ต้องการควบคุม ซึ่งผลต่างนั้นเรียกว่าออฟเซต (offset) ดังรูปที่ 2.7 เมื่อพิจารณาสมการที่ 2.21 จะเห็นว่าเมื่อ K_c มีค่าน้อยมาก จะทำให้ $C(t)$ มีค่าคงที่ประมาณ C_o เสมือนกับว่าระบบไม่มีการควบคุม แต่ถ้า K_c มีค่าสูง

มาก สัญญาจากตัวควบคุมจะมีการตอบสนองได้เร็ว จะทำให้การควบคุมเสมือนกับการควบคุมแบบเปิด ปิด กล่าวคือ ถ้าค่าผิดพลาด $e(t)$ มีค่าน้อยกว่าศูนย์ $C(t)$ จะมีค่าต่ำสุดหรืออยู่ในจังหวะปิด แต่ถ้า $e(t)$ มีค่ามากกว่าศูนย์ $C(t)$ จะมีค่าสูงสุดหรืออยู่ในจังหวะเปิด ดังนั้น สำหรับระบบหนึ่ง ๆ จะมีค่า K_c ที่เหมาะสมอยู่เพียงช่วงหนึ่งที่สามารถควบคุมระบบให้อยู่ในสภาวะคงที่ได้ดี โดยปกติ (16)

$$0.2 < K_c < 100$$

เมื่อมีการนำไมโครคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้งาน รูปแบบของการควบคุมจะถูกสร้างขึ้นในโปรแกรมการใช้งานของไมโครคอมพิวเตอร์ หรืออาจเขียนอยู่โปรแกรมย่อย ซึ่งสามารถเรียกมาใช้งานได้ สำหรับการควบคุมแบบ P สามารถสร้างโปรแกรมขึ้นมาใช้งานได้ ซึ่งมีผังงานควบคุมดังนี้



ค. การควบคุมแบบพหุรอบหรือชั้นแวล อินทิกรัล (proportion integral controller) หรือการควบคุมแบบ PI (PI controller) เป็นการควบคุมที่ประยุกต์มาจากการควบคุมแบบ P โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดออฟเซตที่เกิดจากการควบคุมแบบ P รูปแบบของการควบคุมจะมีความสัมพันธ์กับค่าผิดพลาดตามสมการ

$$C(t) = K_c e(t) + \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e(t) dt + C_s \quad \dots\dots (2.24)$$

เมื่อ $C(t)$ คือสัญญาณที่ถูกส่งออกจากตัวควบคุมที่เวลา t ใด ๆ

C_s คือสัญญาณที่ส่งออกจากตัวควบคุมที่สภาวะคงที่

K_c คือ proportional gain

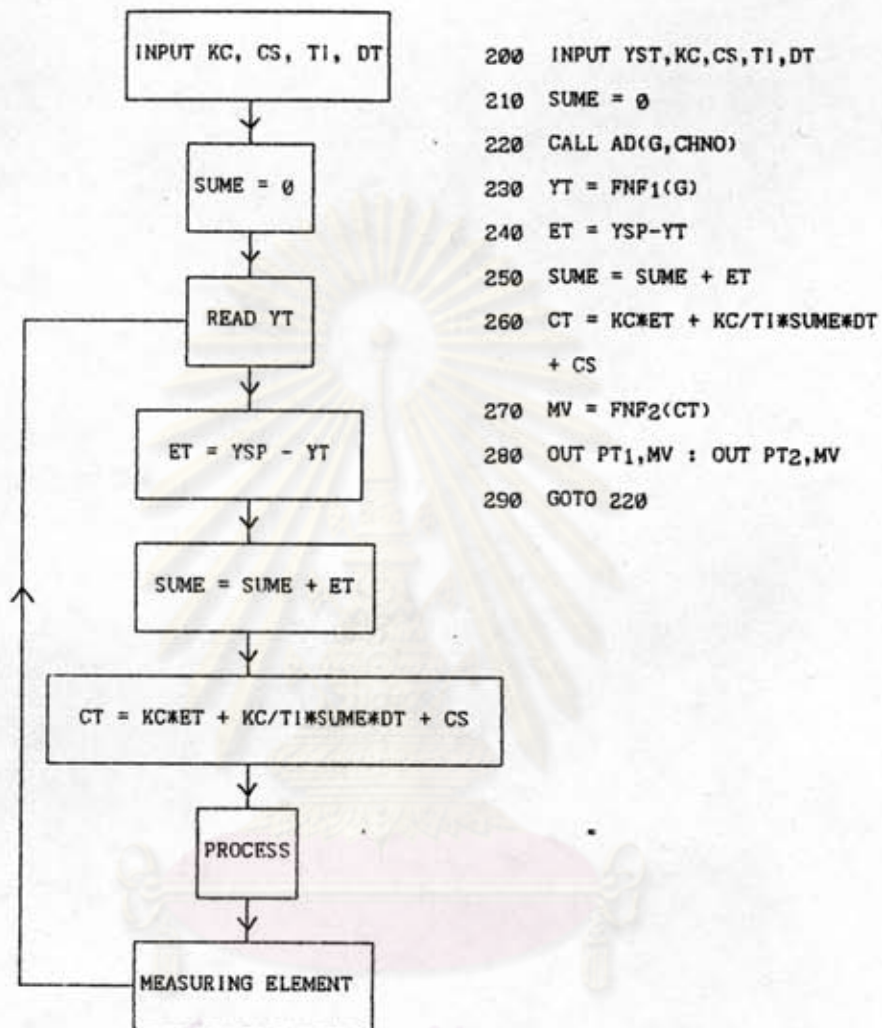
T_i คือค่าคงที่เวลาอินทิกรัล (integral time constant)

$e(t)$ คือค่าผิดพลาดในการควบคุมที่เวลา t ใด ๆ

การควบคุมแบบ PI เป็นการควบคุมที่สามารถควบคุมระบบให้เข้าสู่สภาวะคงที่ได้ดี และค่าที่ควบคุมได้ยังสามารถลดออฟเซตที่เกิดจากการควบคุมแบบ P ได้ดังรูปที่ 2.7 โดยปกติ

$$0.1 < T_i < 50 \text{ นาที}$$

เมื่อมีการนำไมโครคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้งาน รูปแบบของการควบคุมจะถูกสร้างขึ้นในโปรแกรมการใช้งานของไมโครคอมพิวเตอร์ หรืออาจเขียนอยู่โปรแกรมย่อย ซึ่งสามารถเรียกมาใช้งานได้ สำหรับการควบคุมแบบ PI สามารถสร้างโปรแกรมขึ้นมาใช้งานได้ ซึ่งมีผังงานควบคุมดังนี้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง. การควบคุมแบบพรอปอชันนอล อินทิกรัล เดริวาทีฟ (proportional integral derivative controller) หรือการควบคุมแบบ PID (PID controller) เป็นการควบคุมที่ประยุกต์มาจากการควบคุมแบบ PI โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดออฟเซตที่เกิดจากการควบคุมแบบ P และยังควบคุมระบบให้เข้าสู่สภาวะคงที่ได้รวดเร็วกว่าการควบคุมแบบ PI ในกรณีที่ทำการการควบคุมแบบ PI ใช้เวลานานในการนำระบบให้เข้าสู่สภาวะคงที่ได้ รูปแบบของการควบคุมจะมีความสัมพันธ์กับค่าผิดพลาดตามสมการ

$$C(t) = K_c e(t) + \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_c T_d \frac{de(t)}{dt} + C_s \dots (2.25)$$

เมื่อ $C(t)$ คือสัญญาณที่ถูกส่งออกจากตัวควบคุมที่เวลา t ใด ๆ

C_s คือสัญญาณที่ส่งออกจากตัวควบคุมที่สภาวะคงที่

K_c คือ proportional gain

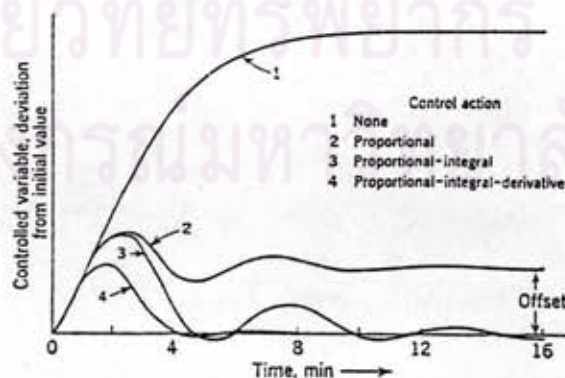
T_i คือค่าคงที่เวลาอินทิกรัล (integral time constant)

T_d คือค่าคงที่เวลาเดริวาทีฟ (derivative time constant)

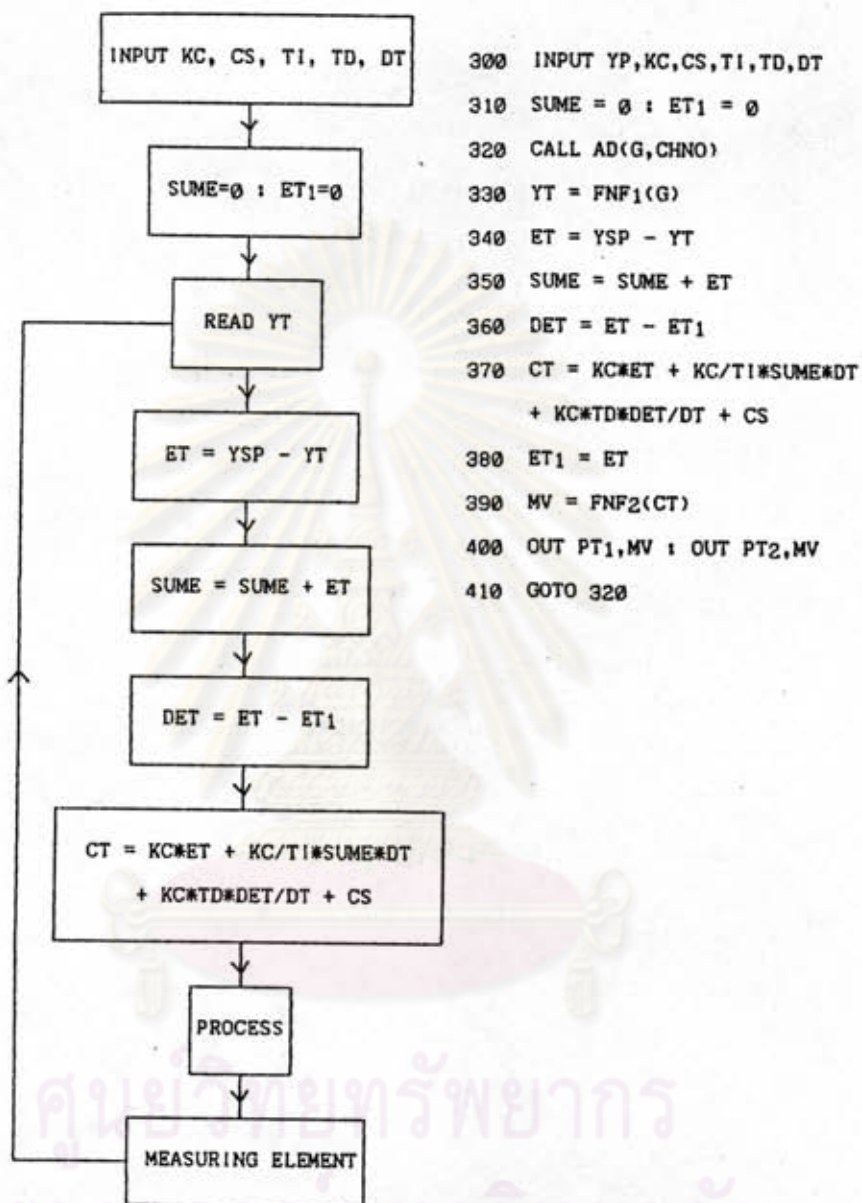
$e(t)$ คือค่าผิดพลาดในการควบคุมที่เวลา t ใด ๆ

การควบคุมแบบ PID เป็นการควบคุมที่สามารถควบคุมระบบให้เข้าสู่สภาวะคงที่ได้ดี ค่าที่ควบคุมได้ยังสามารถลดออฟเซตที่เกิดจากการควบคุมแบบ P และยังทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ได้เร็วกว่าการควบคุมแบบ PI ดังรูปที่ 2.7

เมื่อมีการนำไมโครคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้งาน รูปแบบของการควบคุมจะถูกสร้างขึ้นในโปรแกรมการใช้งานของไมโครคอมพิวเตอร์ หรืออาจเขียนอยู่โปรแกรมย่อย ซึ่งสามารถเรียกมาใช้งานได้ สำหรับการควบคุมแบบ PID สามารถสร้างโปรแกรมขึ้นมาใช้งานได้ ซึ่งมีผังงานควบคุมดังนี้



รูปที่ 2.7 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบ P PI และ PID (15)



ศูนย์วิทยพัชกร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 ฟลูอิดเซชัน

ฟลูอิดเซชัน (18) เป็นกระบวนการที่ทำให้อนุภาคของแข็งภายในหอทดลอง ซึ่งเรียกว่าเบด (bed) เกิดการเคลื่อนที่ลอยตัวอย่างอิสระและหมุนเวียนจนเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสม่ำเสมอ โดยอาศัยการไหลของของไหลผ่านแผ่นกระจายอากาศทางด้านล่างเป็นตัวกลางในการเคลื่อนที่ ซึ่งการเคลื่อนที่หมุนเวียนกันอย่างสม่ำเสมอของเบดลักษณะนี้ จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างเม็ดของแข็งได้เป็นอย่างดี ด้วยเหตุนี้อุณหภูมิเบดจึงสม่ำเสมอตลอดเวลา นอกจากนี้ยังเกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างผนังเครื่องปฏิกรณ์และเม็ดของแข็งได้อย่างดีอีกด้วย เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดเซชัน จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ออกแบบเป็นเครื่องปฏิกรณ์ในปฏิกิริยาที่ต้องการระบบการถ่ายเทความร้อนที่ดี เช่น ปฏิกิริยาริฟอร์มมิ่งแอล พี จี ด้วยไอน้ำ เป็นต้น

2.4.1 การประยุกต์เทคนิคฟลูอิดเซชันในกระบวนการผลิตก๊าซสังเคราะห์ของปฏิกิริยาริฟอร์มมิ่งไฮโดรคาร์บอนด้วยไอน้ำ (10)

ในกระบวนการผลิตก๊าซสังเคราะห์ของปฏิกิริยาริฟอร์มมิ่งไฮโดรคาร์บอนด้วยไอน้ำเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะต้องอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี และอุณหภูมิที่ใช้ต้องสูงพอสมควร ซึ่งอยู่ในช่วง 600-850 องศาเซลเซียส

ธราพงษ์ วิทิตานต์ (10) ได้ทดลองผลิตก๊าซสังเคราะห์ โดยใช้เทคนิคฟลูอิดเซชัน ในกระบวนการริฟอร์มมิ่งมีเทนด้วยไอน้ำบนตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/Al_2O_3 ที่เตรียมขึ้นเอง ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกบรรจุในเครื่องปฏิกรณ์จะทำหน้าที่เป็นเบด เมื่อมีสารตั้งต้นมีเทนและไอน้ำซึ่งเป็นของไหลที่อยู่ในสภาพก๊าซผ่านเบดด้วยความเร็วที่สูงกว่า U_{mf} ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบดอยู่จะเกิดการฟลูอิดเซชัน ภายในเบดที่มีอุณหภูมิสูงพอสมควรจะทำให้มีเทนเกิดการแตกตัวบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี แล้วเข้าทำปฏิกิริยากับไอน้ำ เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ก๊าซสังเคราะห์ซึ่งจะออกทางด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์ สำหรับความร้อนที่เบดได้รับจะได้จากขดลวดให้ความร้อนที่พันอยู่รอบเครื่องปฏิกรณ์ด้านนอก

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของเทคนิคฟลูอิดเซชัน ที่ได้เปรียบกว่าเครื่องปฏิกรณ์ที่เบียดเบดนิ่งหรือเบดบรรจุ พอสรุปได้ว่า

1. ในสภาพฟลูอิดเบด เม็ดของแข็งจะเกิดการเคลื่อนที่หมุนเวียนตลอดเวลา ทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีกับผนังถ่ายเทความร้อน และระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีเอง สูงกว่าเบดนิ่งหรือเบดบรรจุ ทำให้สามารถรับความร้อนจากผนังถ่ายเทความร้อนได้มาก ซึ่งจะช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดได้อย่างดี นอกจากนี้ยังทำให้อุณหภูมิสม่ำเสมอทั่วทั้งเบดอีกด้วย

2. ในเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดเบด จะมีค่าความดันลดต่ำ ทำให้อัตราการผลิตสูงกว่าเครื่องปฏิกรณ์ชนิดอื่นที่มีปริมาตรเท่ากัน

2.5 งานวิจัยในอดีต

- Akers และ Camp (8) ทำการศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาริฟอร์มมิ่งมีเทนด้วยไอน้ำบนตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล ที่อุณหภูมิ 337 ถึง 637 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราการทำปฏิกิริยาของมีเทนจะเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (first order) ของความดันย่อยของก๊าซมีเทน และผลของอุณหภูมิที่มีต่อปฏิกิริยาจะเป็นไปตามสมการของอาร์เรเนียส (Arrhenius equation)

- Ross และ Steel (7) ทำการศึกษากลไกการเกิดปฏิกิริยาริฟอร์มมิ่งมีเทนด้วยไอน้ำบนตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/Al_2O_3 ที่อุณหภูมิ 500 ถึง 680 องศาเซลเซียส พบว่าขั้นตอนควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยา จะเป็นขั้นตอนดูดซับมีเทนบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี

- Rostrup-Nielsen (11) ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของโครงสร้างทางพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี ที่มีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาริฟอร์มมิ่งมีเทนด้วยไอน้ำ โดยใช้นิกเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี แต่ใช้ซัพพอร์ต (support) ต่างชนิดกัน พบว่าเมื่อใช้เซอร์โคเนีย (Zirconia) หรือคาร์บอนเป็นซัพพอร์ต แอคติวิตีของนิกเกิลจะต่ำปฏิกิริยาจะเกิดได้ช้า แต่เมื่อใช้ซิลิกา-อลูมินา หรือไทเทเนียเป็นซัพพอร์ต จะให้อคติวิตีของนิกเกิลที่สูงมาก ปฏิกิริยาจะเกิดได้เร็ว

- Murray และ Synder (9) ศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาริฟอร์มมิ่งมีเทนด้วยไอน้ำ และสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้ ซึ่งสามารถอธิบายผลการทดลองได้ดี