

บทที่ 2

ทฤษฎีทั่ว ๆ ไปเกี่ยวกับระบบ

ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบต่าง ๆ จะแบ่งเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

- 2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง
- 2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับสกรับเบอร์
- 2.3 ทฤษฎีในการกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
- 2.4 ทฤษฎีในการดูดซับน้ำจากสายแก๊ส

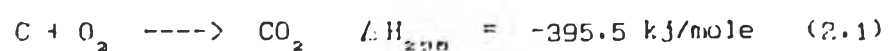
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

2.1.1 ปฏิกิริยาการเกิดแก๊สเชื้อเพลิง

ปฏิกิริยาที่เกิดในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเรียกว่า แก๊สซิมีเคชั่น เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบไปเป็นแก๊สสังเคราะห์ แก๊สสังเคราะห์ที่ได้มักมี CH_4 , CO และ H_2 ปฏิกิริยาของแก๊สซิมีเคชั่นจัดเป็นปฏิกิริยาเคมีระหว่างแก๊สกับของแข็ง (Gas-Solid Chemical Reaction) ซึ่งมีค่าความร้อนและสมดุลย์ปฏิกิริยา ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2 ปฏิกิริยาเคมีหลัก ๆ ของการเกิดแก๊สเชื้อเพลิง มีดังนี้ [4]

1. ปฏิกิริยาคาร์บอนทำกับออกซิเจน (Oxygenolysis) เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ดังสมการ (2.1), (2.2)

ปฏิกิริยาการเผาไหม้ (Combustion Reaction)





ปฏิกิริยาการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์



2. ปฏิกิริยาที่คาร์บอนทำกับน้ำ (Hydrolysis) จะเกิดแก๊ส CO , CO_2 , H_2 , CH_4 ดังสมการ 2.3, 2.4, 2.5



3. ปฏิกิริยาที่คาร์บอนทำกับไฮโดรเจน (Hydrogenolysis) เกิดแก๊ส CH_4



ตารางที่ 2.1 ค่าความร้อนของการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ (กิโลจูลต่อโมล) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ (องศาเคลวิน) [5]

Reaction	298 K	700 K	1000 K	1500 K
$\text{C} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}$	-110.5	-110.5	-111.9	-116.1
$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$	-393.5	-394.0	-394.5	-395.0
$\text{C} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4$	-74.8	-85.3	-89.5	-94.0
$\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$	-241.8	-245.6	-247.8	-250.5
$\text{C} + 2\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}(g)$	-201.2	-212.9	-217.2	-223.9
$2\text{C} + 3\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(g)$	-218.5	-233.6	-238.0	-245.9
$2\text{C} + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6$	-84.7	-100.4	-105.6	-110.8
$2\text{C} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4$	+52.2	+42.3	+38.7	+33.2
$2\text{C} + \text{H}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2$	+226.7	+225.0	+223.2	+217.9
$6\text{C} + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6(g)$	+82.9	+66.9	+62.7	+53.6
$6\text{C} + 3\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{OH}(g)$	-96.4	-108.9	-111.3	-113.2
$\frac{1}{2}\text{N}_2 + \frac{1}{2}\text{H}_2 \rightarrow \text{NH}_3$	-45.9	-52.6	-55.0	-57.5
$\frac{1}{2}\text{N}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}$	+90.4	+90.6	+90.6	+91.4
$\text{S}(g) + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$	-361.7	-363.0	-362.9	-361.3
$\text{S}(g) + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{S}$	-84.9	-89.0	-90.4	-91.8

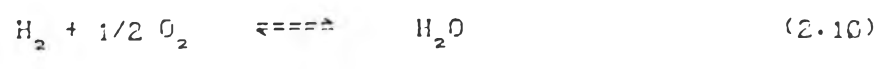
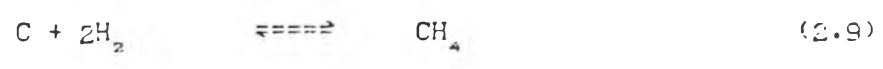
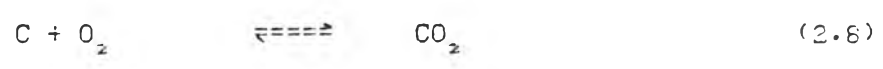
* For any other reaction R which can be written in terms of the formation reactions R_i such that $R = \sum a_i R_i$, then $\Delta H^\circ = \sum a_i \Delta_f H^\circ$.

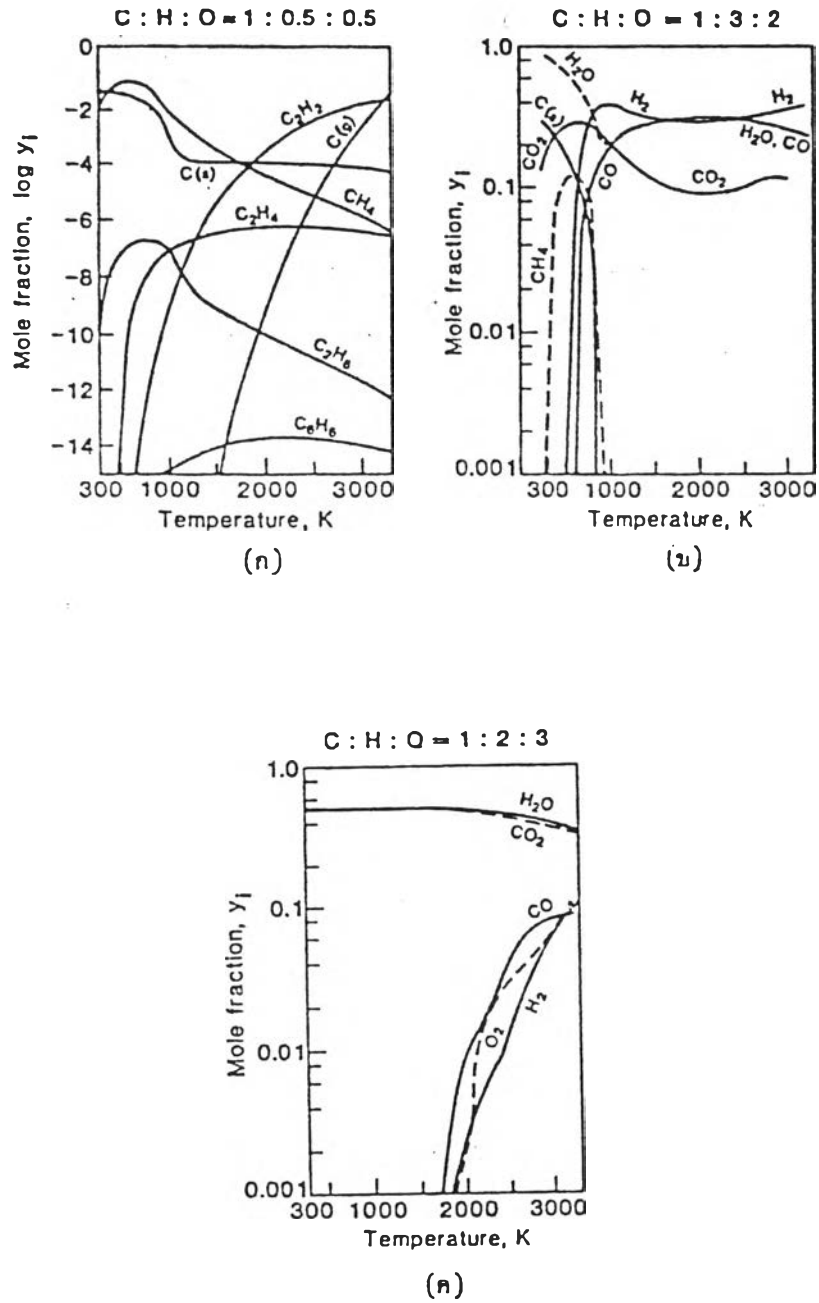
ตารางที่ 2.2 ค่าคงที่สมดุลย์ปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ในรูปค่าลอการิทึม ที่อุณหภูมิต่างๆ [5]

Reaction	298 K	700 K	1000 K	1500 K
$C + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO$	+ 24.065	+ 12.968	+ 10.483	+ 8.507
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	+ 69.134	+ 29.502	+ 20.677	+ 13.801
$C + 2H_2 \rightarrow CH_4$	+ 8.906	+ 0.958	- 0.999	- 2.590
$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$	+ 40.073	+ 15.590	+ 10.070	+ 5.733
$C + 2H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CH_3OH(g)$	+ 28.331	+ 7.593	+ 2.780	- 1.042
$2C + 3H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow C_2H_5OH(g)$	+ 29.500	+ 6.852	+ 1.572	- 2.618
$2C + 3H_2 \rightarrow C_2H_6$	+ 5.771	- 3.413	- 5.719	- 7.594
$2C + 2H_2 \rightarrow C_2H_4$	- 11.940	- 7.097	- 6.189	- 5.551
$2C + H_2 \rightarrow C_2H_2$	- 36.674	- 13.908	- 8.888	- 5.035
$6C + 3H_2 \rightarrow C_6H_6(g)$	- 22.736	- 15.097	- 13.646	- 12.607
$6C + 3H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow C_6H_5OH(g)$	+ 5.770	- 4.518	- 6.984	- 8.941
$\frac{1}{2}N_2 + \frac{3}{2}H_2 \rightarrow NH_3$	+ 2.859	- 2.041	- 3.246	- 4.222
$\frac{1}{2}N_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow NO$	- 15.198	- 6.090	- 4.063	- 2.482
$S(g) + O_2 \rightarrow SO_2$	+ 59.672	+ 23.190	+ 15.064	+ 8.753
$S(g) + H_2 \rightarrow H_2S$	+ 12.853	+ 4.140	+ 2.131	+ 0.548

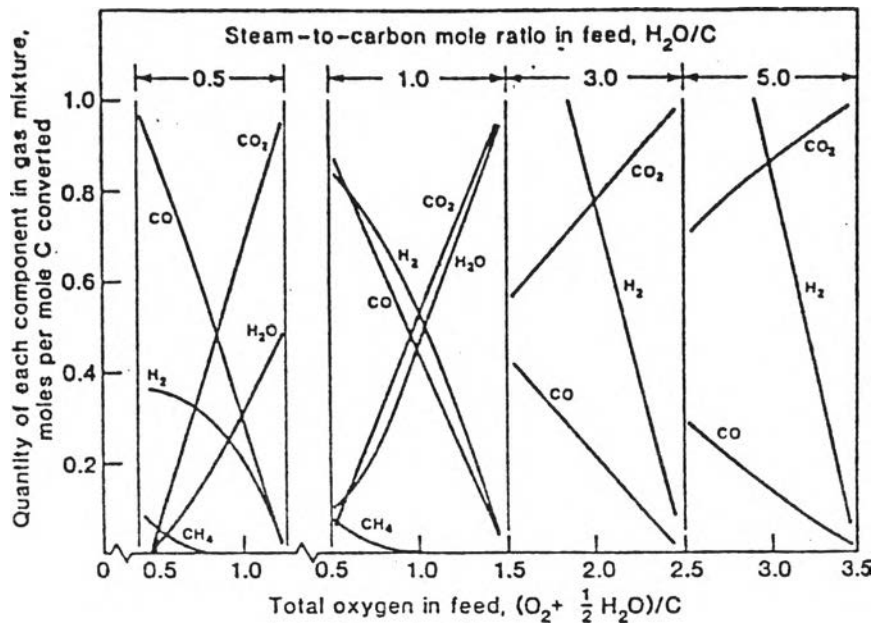
* For any other reaction R which can be written in terms of the formation reactions R_i such that $R = \sum c_i R_i$, then $\log K = \sum c_i \log K_i$

จำนวนปฏิกิริยาจริง ๆ ที่ใช้อธิบายนั้นขึ้นกับลักษณะต่าง ๆ ของ สภาพผลิตภัณฑ์ แก๊สเชื้อเพลิง วิธีการหาส่วนประกอบต่าง ๆ ในแก๊สเชื้อเพลิง โดยจะพิจารณาเริ่มจากอุณหภูมิ ตามรูปที่ 2.1-2.3 พบว่า ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมของการเกิดแก๊สเชื้อเพลิงคือ 802-1,502 องศาเคลวิน (K) เป็นอย่างน้อย (527-1,227 องศาเซลเซียส) แก๊สต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น มี CO , CO_2 , CH_4 , H_2 และ H_2O ดังนั้นสมการเคมีจึงเป็นดังนี้

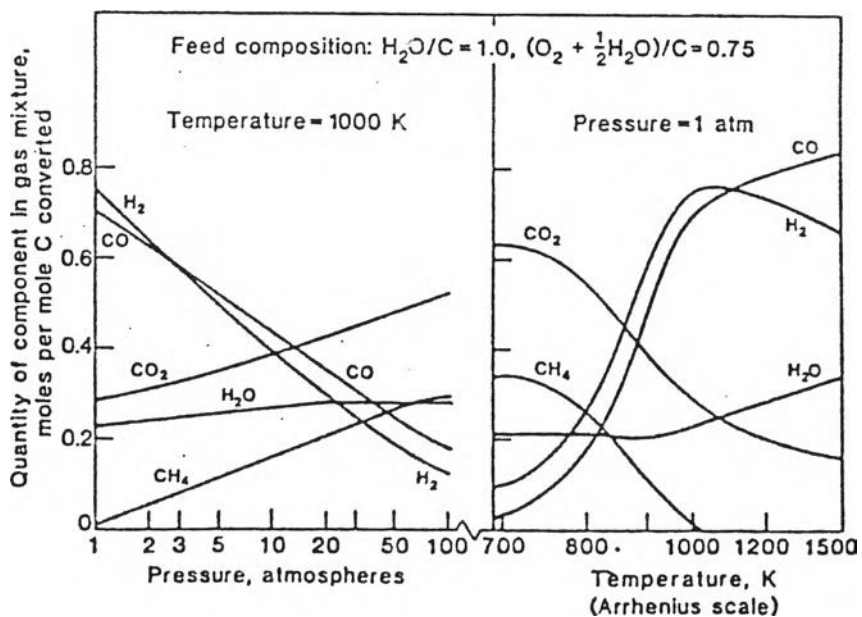




รูปที่ 2.1 การเกิดแก๊สต่าง ๆ ของการทำปฏิกิริยาระหว่าง คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน อะตอม ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่จุดสมดุลเคมีของปฏิกิริยา (ก) ใช้ออกซิเจนและไฮโดรเจนน้อย ๆ (ข) ใช้ออกซิเจนและน้ำทำปฏิกิริยากับถ่านหินในปริมาณพอเหมาะ (ค) ใช้ออกซิเจนในปริมาณที่มากเกินไป [5]



รูปที่ 2.2 ส่วนผสมของแก๊สต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นที่จุดสมดุลย์ปฏิกิริยาความดัน 1 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 1,000 องศาเซลวิน โดยการเพิ่มอัตราส่วนของไอน้ำต่อคาร์บอน และเพิ่มอัตราส่วนของออกซิเจนต่อคาร์บอน [5]



รูปที่ 2.3 ผลของอุณหภูมิและความดัน ที่มีต่อการเกิดแก๊สต่าง ๆ โดยใช้ไอน้ำต่อคาร์บอนเท่ากับ 1 (เทียบอัตราส่วนโดยโมล) และออกซิเจนต่อคาร์บอนเท่ากับ 0.75 (โดยโมล) [5]

2.1.2 ส่วนต่าง ๆ ของเตาปฏิกรณ์

ภายในเตาปฏิกรณ์เกิดปฏิกิริยาขึ้นหลายแบบ ดังนั้น จึงนิยมเรียกส่วนต่าง ๆ ของเตาปฏิกรณ์ผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ดังต่อไปนี้ [4]

ก. บริเวณที่เกิดการเผาไหม้ (Combustion Zone) หรือบางทีเรียกว่า "ฮาร์ทโซน" (Hearth Zone) จะเป็นส่วนที่เกิดการเผาไหม้ของคาร์บอน ให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จะเป็นจุดที่มีอุณหภูมิสูงสุดของเตา

ข. บริเวณที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction Zone) หรือเรียกบริเวณนี้ว่า "แก๊สซิฟิเคชันโซน" (Gasification Zone) เป็นช่วงที่จะเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันต่าง ๆ เพื่อให้ได้แก๊สไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน

ค. บริเวณที่เกิดการกลั่นทำลาย (Distillation Zone) บริเวณนี้จะอยู่ใกล้กับส่วนเผาไหม้ จะเป็นช่วงที่สารระเหยได้ (Volatile Matter) ในเชื้อเพลิงสลายตัวออกมา บางทีเรียกว่า "ไพโรไลซิสโซน" (Pyrolysis Zone)

ง. บริเวณที่เกิดการอบแห้ง (Drying Zone) เป็นบริเวณที่ความชื้นถูกไล่ออกมาจากสารเชื้อเพลิง

2.1.3 แบบต่าง ๆ ของเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Type of Gasifier)

เตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ในปัจจุบันพอจะแบ่งเป็น 4 แบบใหญ่ ๆ ตามลักษณะการใช้วัตถุดิบและขั้นตอนการเกิดแก๊สซิฟิเคชันในเตาผลิตแก๊ส ได้แก่

2.1.3.1 เตาปฏิกรณ์แบบเชื้อเพลิงหรือวัตถุดิบเคลื่อนที่ขณะเผา (Moving packed bed gasifier)

2.1.3.2 เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไรซ์เบด (Fluidized bed gasifier)

2.1.3.3 เตาปฏิกรณ์แบบเอนเทรนด์โฟลว์ (Entrained flow gasifier)

2.1.3.4 เตาปฏิกรณ์แบบโมลเทนมีเดีย (Molten media)

2.1.3.1 เตาปฏิกรณ์แบบเชื้อเพลิงหรือวัตถุดิบเคลื่อนที่ขณะเผา

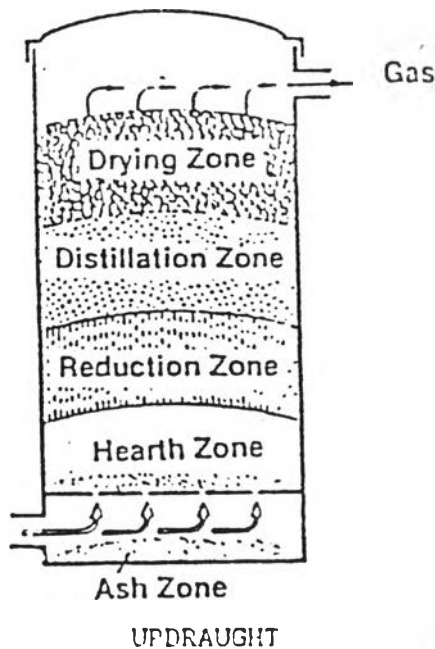
ลักษณะการเผาในเตาปฏิกรณ์ ก่อนเชื้อเพลิงจะถูกเผาไหม้หมดไปเรื่อย ๆ ทำให้เชื้อเพลิงส่วนบนเคลื่อนไหลลงมาแทนส่วนที่ถูกเผาไหม้ เตาปฏิกรณ์ชนิดนี้ แบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่

ก. เตาปฏิกรณ์แบบลมวิ่งขึ้น (Up Draught) รูปที่ 2.4 โดยมากนิยมใช้วัสดุประเภทถ่านมากกว่าวัสดุประเภทไม้ เพราะระบบนี้มีท่อออกมาจาก [6]

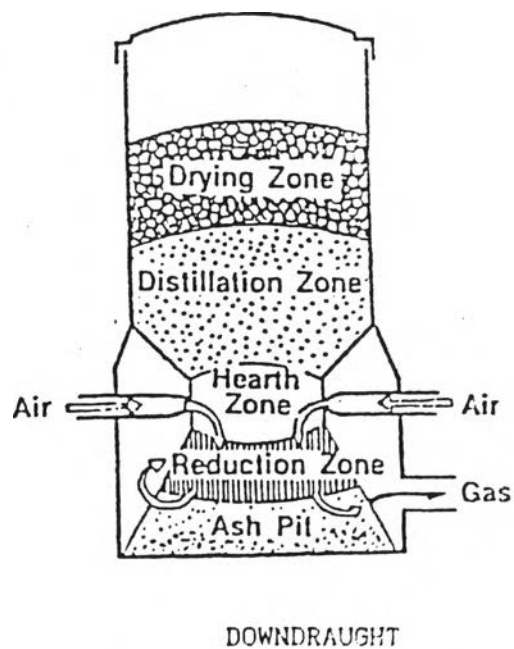
ข. ระบบลมในเตาวิ่งลง (Down Draught) รูปที่ 2.5 โดยมากนิยมใช้วัสดุประเภทไม้ และก็ใช้กับถ่านได้ดีด้วยเช่นกัน ระบบนี้มีท่อออกมาน้อยกว่าระบบลมในเตาวิ่งขึ้น [6]

ค. ระบบลมในเตาวิ่งในแนวนอน (Cross Draught) รูปที่ 2.6 โดยมากนิยมใช้กับถ่านก็ใช้กับไม้ได้ ระบบนี้มีท่อน้อยกว่าระบบลมในเตาวิ่งขึ้น แต่มากกว่าระบบลมในเตาวิ่งลง [6]

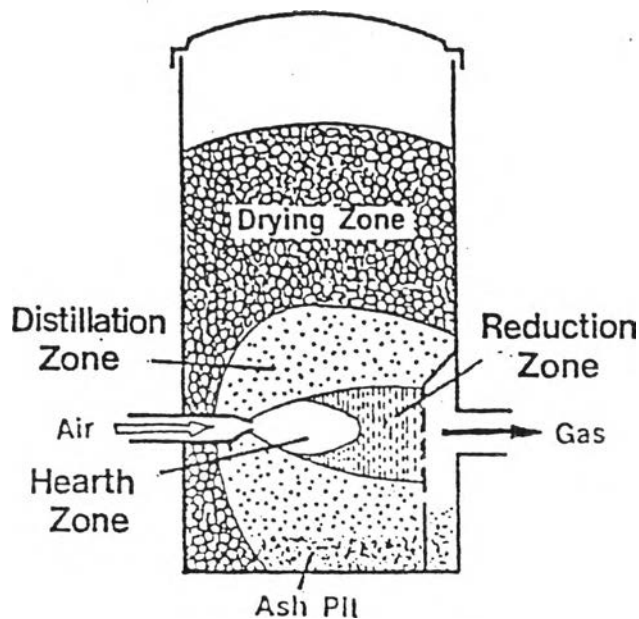
ง. ระบบลมในเตาที่ทั้งวิ่งขึ้นและวิ่งลง (Double Circulation) รูปที่ 2.7 ใช้ทั้งวัสดุประเภทไม้และถ่าน ใส่ในเตาเดียวกันแต่คนละที่ โดยตรงที่บริเวณที่ลมวิ่งขึ้นจะใส่ถ่าน และตรงบริเวณที่ลมวิ่งลงจะใส่ไม้ [7]



รูปที่ 2.4 เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตาวิ่งขึ้น และแสดงบริเวณการเกิดกระบวนการต่าง ๆ [6]

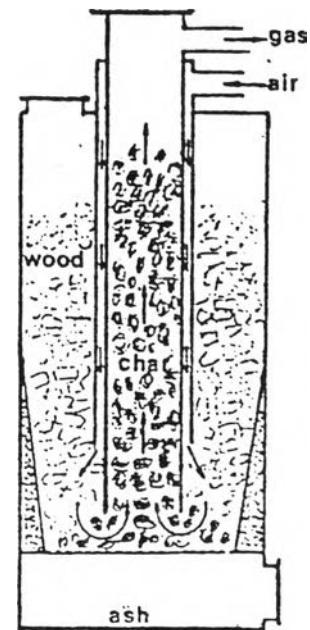


รูปที่ 2.5 เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตาวิ่งลง และแสดงบริเวณการเกิดกระบวนการต่าง ๆ [6]



CROSSDRAUGHT

รูปที่ 2.6 เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตาวิ่ง
ในแนวอนและแสดงบริเวณ
การเกิดกระบวนการต่างๆ [6]



DOUBLE CIRCULATION

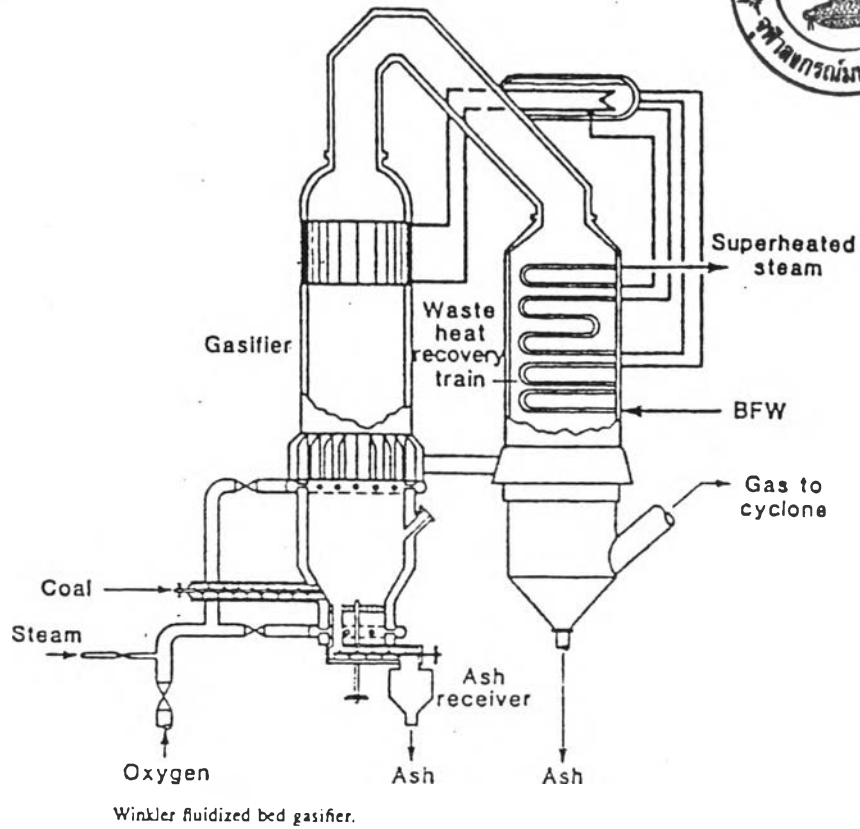
รูปที่ 2.7 เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตามีทั้ง
วิ่งขึ้นและวิ่งลง [7]

2.1.3.2 เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบด

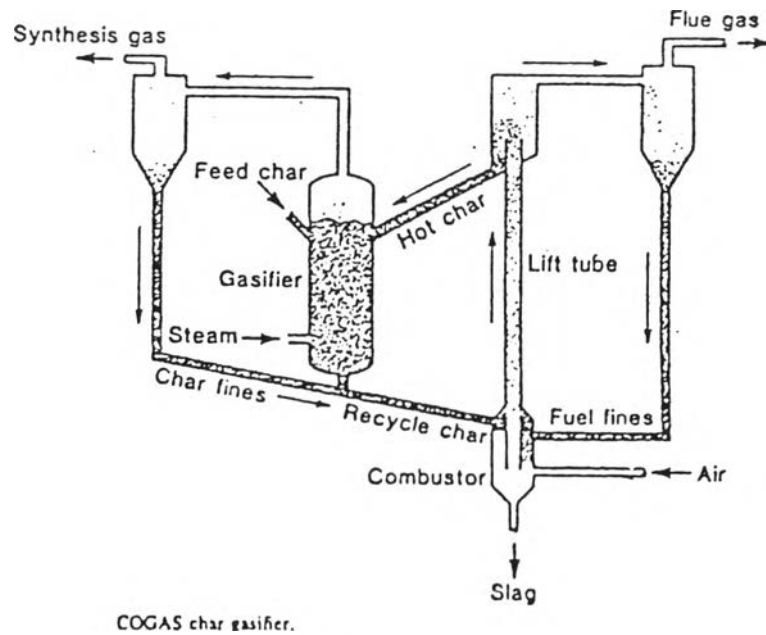
เป็นเตาปฏิกรณ์ โดยวัสดุที่ใช้เผามีขนาดเล็ก ๆ เช่น ไม้เลื่อย ไม้ขี้บ แกลบ ถ่านบด ถ่านหินบด เป็นต้น วัสดุเล็ก ๆ พวกนี้จะวิ่งวนอยู่ในเตา เนื่องจากมีก๊าซเป่าด้านล่างทำให้คล้ายของไหล (Fluid) ยังแบ่งออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่ [8]

ก. ระบบที่ไม่ต้องพึ่งแหล่งพลังงานความร้อนจากภายนอก (Direct heat fluidized bed gasifier) ใช้แต่ความร้อนที่เกิดจากการเผาภายในเตา ดูรูปที่ 2.8

ข. ระบบที่ต้องใช้ความร้อนจากนอกเตา (Indirect heat fluidized bed gasifier) ดูรูปที่ 2.9



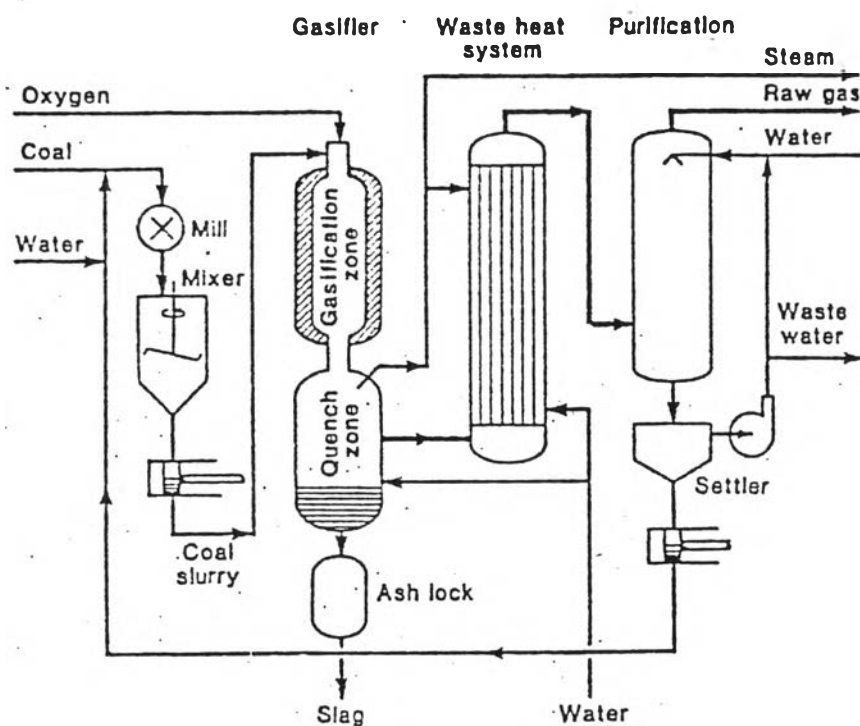
รูปที่ 2.8 เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิโดไรซ์เบด โดยใช้ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเตา [5]



รูปที่ 2.9 เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิโดไรซ์เบด โดยใช้ความร้อนจากนอกเตา [5]

2.1.3.3 เตาปฏิกรณ์แบบเอ็นเทรนต์โฟลว์

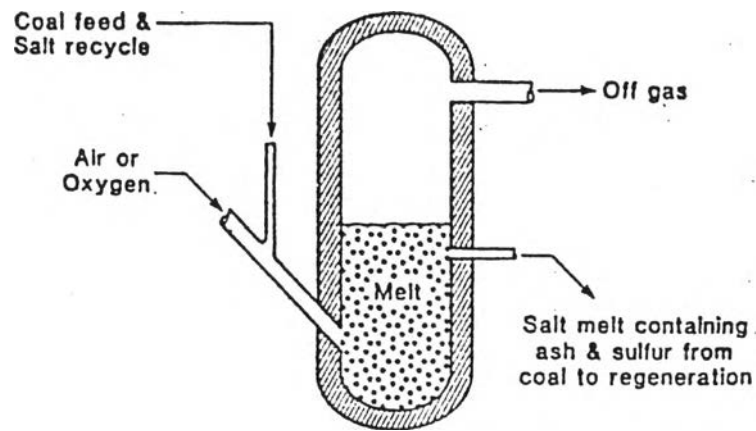
เป็นเตาปฏิกรณ์ที่นิยมใช้กับวัสดุประเภทถ่าน ทั้งถ่านหินและถ่านไม้ โดยบดเป็นเม็ดเล็ก ๆ แล้วผสมน้ำให้เป็นสเลอรรี่ (Slurry) ใส่เข้าเตา และใช้แก๊สออกซิเจนเป็นแก๊สสำหรับเผา รูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 เตาปฏิกรณ์แบบเอ็นเทรนต์โฟลว์ [5]

2.1.3.4 เตาปฏิกรณ์แบบโมลเทนมีเดีย

เป็นเตาที่ใช้กับถ่านหิน โดยปนกับสารประกอบบางชนิด เช่น โดโลไมท์ (Dolomite) ซึ่งก็คือหินปูนที่ถลุงแล้ว (Calced Limestone) หรืออาจจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น เหล็กออกไซด์ (FeO) แล้วใช้แก๊สออกซิเจนหรืออากาศเป็นแก๊สสำหรับเผา รูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 เตาปฏิกรณ์แบบโมลเทนมีเดีย [5]

2.2 ฤทธิ์เกี่ยวกับสครับเบอร์ (Scrubber)

สครับเบอร์ เป็นเครื่องมือกำจัดฝุ่นละอองจากแก๊ส โดยใช้ของเหลว (ปกติใช้น้ำ) กลไกในการกำจัดฝุ่นละออง สำหรับสครับเบอร์มี 3 แบบ คือ

1. อาศัยแรงเฉื่อยในการจับ (Inertial Impaction)
2. อาศัยสภาวะการฟุ้งกระจาย (Brownian Diffusion)
3. อาศัยการชนโดยตรงของฝุ่น (Flow-line Interception)

การเลือกชนิดของสครับเบอร์ ขึ้นอยู่กับ

1. ขนาดของฝุ่น
2. ประสิทธิภาพที่ต้องการในการกำจัดฝุ่น
3. ความดันลดที่เกิดขึ้น

สครับเบอร์ จะให้ประสิทธิภาพต่ำที่สุดประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ถ้าฝุ่นมีขนาดใหญ่ จะใช้แบบที่มีความดันลด (Pressure drop) น้อยที่สุด ถ้าต้องการจับฝุ่นที่มีขนาดเล็กมากๆ ต้องใช้แบบที่มีความดันลดสูง เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูง ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แบบต่าง ๆ ของสครับเบอร์กับความดันลด และขนาดฝุ่นที่จับได้เล็กสุด [9]

ชนิดของสครับเบอร์	ความดันลด (นิ้วน้ำ)	ขนาดฝุ่นเล็กที่สุด ที่จับได้ (μ)
1. สเปรย์เทาเออร์ (Spray Tower)	0.5-1.5	10
2. ไซโคลนสเปรย์สครับเบอร์ (Cyclone spray scrubber)	2-10	2-10
3. อิมพิงเมนต์สครับเบอร์ (Impingement scrubber)	2-50	1-5
4. แพคและฟลูอิดิไดซ์เบดสครับเบอร์ (Pack and fluidized-bed scrubber)	2-50	1-10
5. ออริฟิซสครับเบอร์ (Orrifice scrubber)	5-100	1
6. เวนตูริสครับเบอร์ (Venturi scrubber)	5-100	0.8
7. ไฟบรัสเบดสครับเบอร์ (Fibrous-bed scrubber)	5-110	0.5

2.3 ทฤษฎีในการกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

การกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากสายแก๊ส สามารถกระทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับความต้องการความบริสุทธิ์ของสายแก๊สที่ออกมา และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เจือปนในสายแก๊ส แบ่งได้เป็น 4 หัวข้อ ต่อไปนี้

2.3.1 การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้น้ำ

2.3.2 การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้แอมโมเนีย

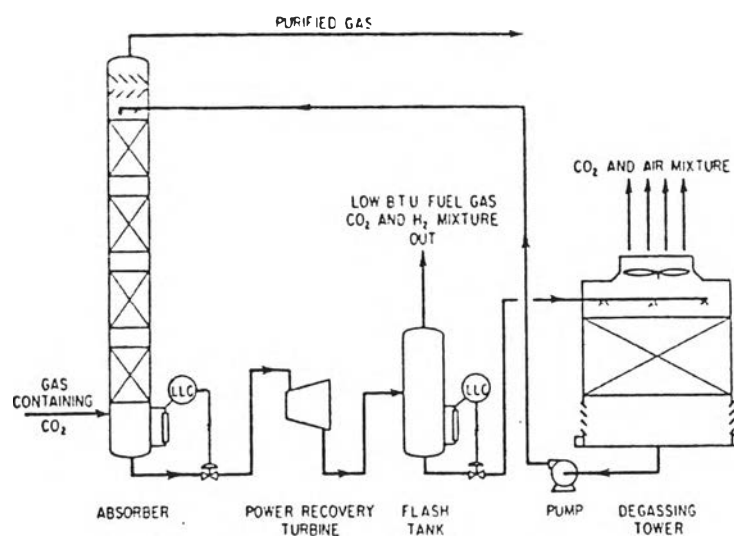
2.3.3 การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยสารเอทานอลามีน

(Ethanolamine)

2.3.4 การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยสารละลายเกลือต่าง

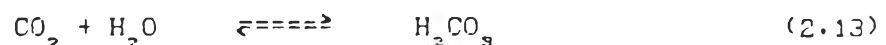
2.3.1 การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้น้ำ

มักใช้กับสายแก๊สที่มีความดันสูง โดยเฉพาะในการสังเคราะห์แอมโมเนีย กระบวนการนี้มีข้อจำกัดที่ ความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ต้องสูงกว่า 50 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยใช้น้ำดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความดันสูง และคายออกที่ความดันต่ำ รูปที่ 2.12 แสดงแผนผังกระบวนการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยน้ำ



รูปที่ 2.12 แผนผังอย่างง่ายของกระบวนการดูดกลืนคาร์บอนไดออกไซด์จากสายแก๊สด้วยน้ำ [12]

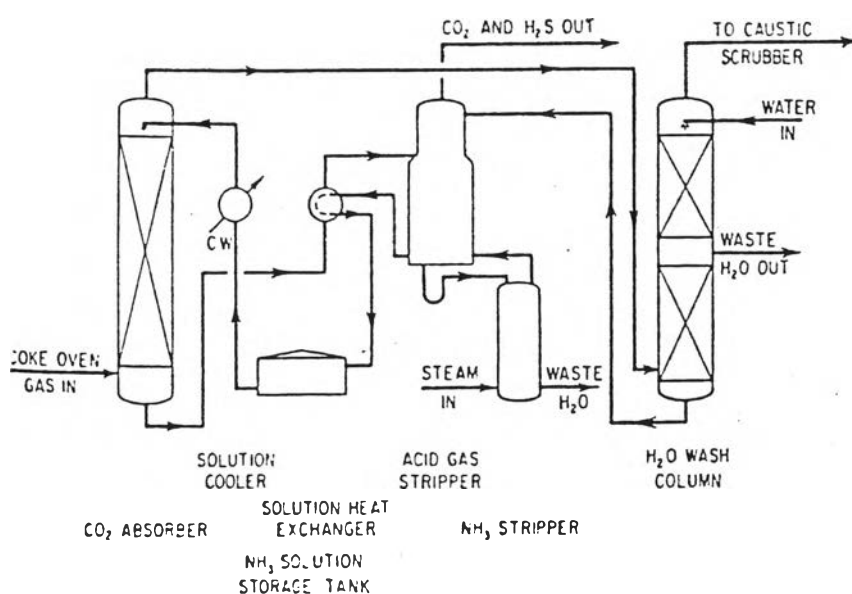
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังสมการ (2.13)



กระบวนการนี้ง่ายต่อการออกแบบ เพราะไม่ต้องใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใด ๆ ไม่ต้องใช้ความร้อน ใช้ตัวทำละลายราคาถูก แต่มีข้อเสียคือประสิทธิภาพในการกำจัด CO_2 ต่ำ และต้องใช้เครื่องสูบน้ำความดันสูง

๒.๓.๒ การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้แอมโมเนีย

กระบวนการนี้มีข้อดีคือ แอมโมเนียมีราคาถูก และประสิทธิภาพไม่ลดลง เนื่องจากมีสิ่งเจือปนพวกคาร์บอนิลซัลไฟด์ (COS), คาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS₂) หรือ H₂S และ HCN เล็กน้อยในสายแก๊ส และเมื่อใช้ร่วมกับกระบวนการอื่นอาจช่วยประหยัดต้นทุน ข้อเสียก็คือการกักความร้อนของสารละลายคาร์บอนเนต (โดยเฉพาะในแก๊สที่มี HCN มาก) ซึ่งต้องใช้โลหะพิเศษในการสร้างส่วนที่จะทำให้สารละลายกลับมาใช้ใหม่ และกระบวนการนี้ค่อนข้างซับซ้อน แผนผังกระบวนการแสดงตามรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แผนผังแสดงกระบวนการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยสารละลายแอมโมเนีย [12]

ในรูปแก๊สที่ได้จากการทำไค้กจากถ่านหิน (coke-oven gas) ความชื้นสูงซึ่งได้รับการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ เบนซีน (benzene) และพวกไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงออกเกือบหมดแล้ว จะเข้ามาด้านใต้ของหอดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์และผ่านสวนทางกับสารละลายแอมโมเนีย 2-5 เปอร์เซ็นต์กับน้ำ แก๊สที่ออกจากหอนี้จะมี CO₂ ประมาณ 150 ppm และปกติไม่มี H₂S แต่มีปริมาณ NH₃ อยู่บ้างเล็กน้อย ซึ่งจะถูกนำกลับมาใช้อีกในหอที่ใช้น้ำล้าง (water-wash column) แล้ว CO₂ จะถูกกำจัดลงเหลือ 10-50 ppm อีกโดยใช้สารละลาย NaOH [10]

2.3.3 การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้สารเอทานอลาไมน์ (Ethanolamine)

สารที่ใช้ในทางอุตสาหกรรม คือ โมโนเอทานอลาไมน์ (Monoethanolamine:MEA) และไดเอทานอลาไมน์ (Diethanolamine:DEA) ส่วนไตรเอทานอลาไมน์ (Triethanolamine:TEA) ไม่ค่อยเสถียรและความจุในการดูดซับ CO_2 ต่ำในน้ำหนักที่เท่ากันและความว่องไวต่อปฏิกิริยาต่ำ จึงไม่ค่อยนิยมใช้ นอกจากนี้ยังใช้ไดไอโซโพรพานอลาไมน์ (Diisopropanolamine:DIPA) ในกระบวนการอดิพ (Adip Process) และในการกระบวนการซัลฟินอล (Sulfinol Process) และใช้เมทิลไดเอทานอลาไมน์ (Methyldiethanolamine:MDEA) และไดโกลัยโคลาไมน์ (Diglycolamine:DGA) ในกระบวนการดูดซับด้วย ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกันคือ

ก. โมโนเอทานอลาไมน์ (MEA)

ใช้ได้ดีกับแก๊สที่มีความเข้มข้นของ H_2S และ CO_2 ต่ำ และไม่มีสารเจือปนพวก COS และ CS_2 โดยเฉพาะเมื่อใช้ที่ความดันต่ำและต้องการกำจัด H_2S และ CO_2 ที่มีปริมาณสูง การที่ MEA มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำทำให้มีความสามารถในการดูดซับสูงที่ความเข้มข้นปานกลาง (โดยน้ำหนัก) มีสภาพความเป็นด่างสูงและการที่สามารถนำสารละลายที่สาปรก (Contaminated) กลับมาใช้ด้วยวิธีการไม่ยากนัก ทำให้มีข้อดีซึ่งในหลายกรณีสามารถมองข้ามข้อเสียอื่น ๆ ได้

ข้อเสียของ MEA ก็คือทำปฏิกิริยาแบบผันกลับไม่ได้กับ COS และ CS_2 กัดกร่อนสูง โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นสูงกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ที่มีปริมาณแก๊สกรดอยู่สูง มีความดันไอสูงทำให้สูญเสียไปในการระเหย โดยเฉพาะในกระบวนการที่ใช้ความดันต่ำ

ในสภาพการทำงานเหมือนกันแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารรวม (Overall mass-Transfer Coefficient: K_{Ga}) ของสารละลาย MEA จะสูงกว่าของ DEA 2-2.5 เท่า และสูงกว่าของ TEA 20-25 เท่า [11]

ข. ไดเอททานาไมน์ (DEA)

มีความดันไอต่ำจึงเหมาะสำหรับกระบวนการความดันต่ำ ซึ่งความสูญเสียไปกับการระเหยไม่ต้องคำนึงถึง นอกจากนี้ยังไม่ไวต่อปฏิกิริยากับ COS และ CS₂ และไม่ค่อยกัดกร่อนมากนักจึงเหมาะสำหรับแก๊สที่มี COS และ CS₂ อยู่ด้วยนอกจากแก๊ส H₂S และ CO₂ ที่ต้องการกำจัดแล้ว โดยทั่วไปสารละลาย DEA จะกัดกร่อนน้อยกว่าสารละลาย MEA เนื่องจากสามารถแยกแก๊สกรดได้โดยไม่ต้องใช้อุณหภูมิสูงมากนักในรีบอยเลอร์ (reboiler)

ค. ไกลคอล-อามีน (Glycol amine)

เป็นของผสมของโมโนเอททานาไมน์และไดเอททานาไมน์หรือไตรเอททานาไมน์ ไกลคอล (di-or triethylene glycol) ซึ่งใช้ในการแยกแก๊สกรดและกำจัดน้ำออกจากแก๊สไปพร้อมกัน ซึ่งทำให้กระบวนการนี้ใช้น้ำน้อยกว่าที่ใช้ระบบที่ใช้สารละลายในน้ำ และยังสามารถแยก (strip) H₂S และ CO₂ ออกจากสารละลายไกลคอล-อามีนได้เกือบทั้งหมด ทำให้แก๊สที่ผ่านกระบวนการมีความบริสุทธิ์สูง

ผลเสียของกระบวนการนี้ได้แก่ การที่จะให้สารละลายสามารถกำจัดน้ำได้ดี ต้องทำให้ปริมาณน้ำในสารละลายมีค่า 5 เปอร์เซ็นต์ หรือต่ำกว่า ซึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงที่รีบอยเลอร์ ซึ่งทำให้เกิดการกัดกร่อนสูง และข้อเสียอีกข้อคือ สูญเสียไปกับการระเหยมากโดยเนอะอามีน นอกจากนี้ไกลคอล-อามีนที่เสื่อมสภาพไป (contaminated) ไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีกด้วยวิธีการกลั่นธรรมดาเหมือนในระบบที่ใช้สารละลายในน้ำ

ง. ไดไกลคอลามีน (Diglycolamine)

กระบวนการที่ใช้ตัวทำละลายนี้มีชื่อว่ากระบวนการฟลูออรีโอโคนโมเน่ (Fluor Econamine Process) ตัวทำละลายมีคุณสมบัติเหมือนกับ MEA ยกเว้นความดันไอต่ำกว่า สามารถใช้ได้ที่มีความเข้มข้นสูง 40 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์

ทำให้อัตราการหมุนเวียนของตัวทำละลายและปริมาณไอน้ำที่ใช้ต่ำกว่า เมื่อเทียบกับสารละลาย MEA

ข้อเสียคือมีราคาสูง เกิดการกัดกร่อนเหล็กคาร์บอน (carbon steel) สูง สูญเสียได้ง่ายกว่า โดยเกิดเป็นสารที่นำกลับมาใช้อีกไม่ได้เมื่อทำปฏิกิริยากับ CO_2 , COS และ CS_2 เมื่อเทียบกับระบบที่ใช้ MEA การนำกลับมาใช้ใหม่ของสารละลายไดโกลโคลามีนที่ถูกทำลายลงต้องใช้การกลั่นแบบสูญญากาศ

จ. ไดไอโซโพรพานอลามีน (Diisopropanolamine: DIPA)

ใช้กระบวนการอดิพ (Adip Process) และกระบวนการซัลฟินอล (Sulfinol Process)

ในกระบวนการอดิพใช้ DIPA ความเข้มข้นค่อนข้างสูงประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ ใช้กับแก๊สที่นอกจากมี H_2S และ CO_2 แล้วยังมี COS ด้วย ซึ่งกล่าวกันว่าสามารถกำจัด COS ได้ปริมาณมากโดยไม่มีผลกระทบต่อสารละลาย

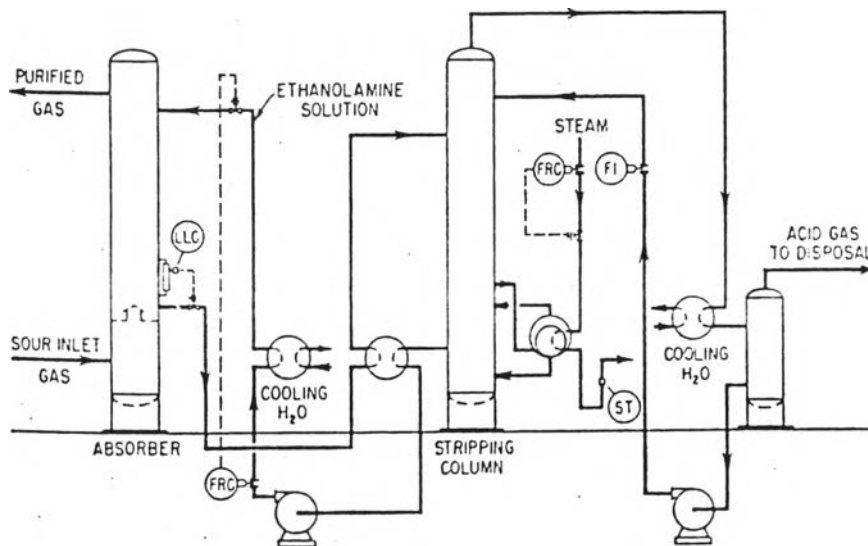
ในกระบวนการซัลฟินอลใช้ไดไอโซโพรพานอลามีนร่วมกับตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดอื่น (Physical organic solvent) ซึ่งช่วยทำให้ความจุสูงกว่าสารละลายเอทานอลาไมน์และใช้ได้ดี โดยเฉพาะเมื่อการไหลของแก๊สมีความดันสูงและมีความเข้มข้นของแก๊สกรดสูง โดยเฉพาะ H_2S

ฉ. เมทิลไดเอทานอลาไมน์และไตรเอทานอลาไมน์ (Methyldiethanolamine and Triethanolamine)

เมื่อนำ เมทิลไดเอทานอลาไมน์และไตรเอทานอลาไมน์ มาใช้ร่วมกันจะดูดซับ H_2S ได้ดีกว่า CO_2 โดยเฉพาะที่ความดันต่ำ และความสามารถนี้จะลดลงเมื่อต้องการกำจัด H_2S เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม กระบวนการนี้ยังไม่มีใช้ในอุตสาหกรรม

แผนผังของกระบวนการ

แผนผังของกระบวนการที่ใช้แอลกาโมลีน แสดงในรูปที่ 2.14 โดยที่แก๊สที่จะทำให้บริสุทธิ์จะผ่านชั้นที่หอดูดซึม (Absorber) ส่วนทางกับสายของสารละลายที่ไหลลงมา สารละลายมีแก๊สกรดสูง (Rich solution) จากด้านใต้หอดูดซึมจะรับความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารละลายที่มีแก๊สกรदन้อย (lean solution) จากด้านใต้หอกลับแก๊ส (Stripping column) และเข้าสู่หอกลับแก๊สที่บริเวณใกล้ยอดหอดูดซึม สารละลายที่มีแก๊สกรदन้อยหลังจากเย็นลงเล็กน้อย เมื่อผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกทำให้เย็นลงอีกในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอีกอันหนึ่งด้วยน้ำหรืออากาศ และจะถูกส่งเข้าไปยังยอดหอดูดซึมเป็นอันครบรอบ แก๊สกรดซึ่งถูกแยกออกจากสารละลายในหอกลับแก๊สจะถูกทำให้เย็นลง เพื่อให้ไอน้ำกลั่นตัวและน้ำนี้หรือจากภายนอกจะถูกส่งเข้าระบบเพื่อทำให้ความเข้มข้นของสารละลายคงที่ ซึ่งปกติจะกลับเข้าที่หอกลับแก๊สเพื่อจุดปล่อยสารละลายที่มีแก๊สกรดสูง เพื่อป้องกันการสูญเสียของแอมีนเป็นไอออกไป



รูปที่ 2.14 แผนผังกระบวนการดูดกลืนแก๊สกรดด้วยแอลกาโมลีน [12]

2.3.4 การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้สารละลายเกลือต่าง

ข้อสำคัญของสารละลายดูดซึมที่ใช้กระบวนการแยกแก๊ส CO_2 และ H_2S คือ สารประกอบที่ไต่จากปฏิกิริยาของสารละลายกับแก๊สกรดจะต้องสามารถที่จะละลายตัวกลับ

ไปเป็นสารละลายเติมได้ง่าย พวกต่างแก้มไม่มีคุณสมบัตินี้ แต่เกลือของสารประกอบนี้กับกรดอ่อนกลับมีคุณสมบัติ และมีกระบวนการมากมายได้รับการพัฒนาขึ้นจากเกลือพวกนี้ กระบวนการหลัก ๆ ใช้สารละลายในน้ำของเกลือที่มีโซเดียมหรือโปแตสเซียมเป็นไอออนลบเลือกเอาที่ทำให้สารละลายที่ได้จะเป็นบัฟเฟอร์ (buffer) ที่ pH ประมาณ 9 ถึง 11 สารละลายซึ่งมีสภาพเป็นค่างนี้จะดูดซึม H_2S และ CO_2 หรือแก๊สกรดอื่น ๆ และด้วยการเกิดบัฟเฟอร์จากกรดอ่อนในสารละลายทำให้ค่า pH ไม่เปลี่ยนแปลงไปเร็วนัก เกลือที่ใช้ในกระบวนการนี้โดยทั่วไปได้แก่ โซเดียม และโปแตสเซียมคาร์บอเนต (sodium and potassium carbonate) ฟอสเฟต (phosphate) บอเรต (borate) อาร์เซไนต์ (arsenite) และฟีโนเลต (phenolate) และเกลือจากกรดอ่อนอื่น ๆ

กระบวนการเหล่านี้อาจแยกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่ดูดซึมที่อุณหภูมิห้องหรือประมาณ 7๕-1๐๐ องศาฟาเรนไฮต์ และแบบที่ดูดซึมที่อุณหภูมิสูงโดยประมาณเท่ากับอุณหภูมิที่ทำการนำสารละลายกลับมาใช้อีก (regenerate) โดยแบบหลังนี้เหมาะสมสำหรับแก๊สที่มีความดันสูง ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะกระบวนการที่ใช้ในการกำจัดแก๊ส CO_2 เป็นหลัก

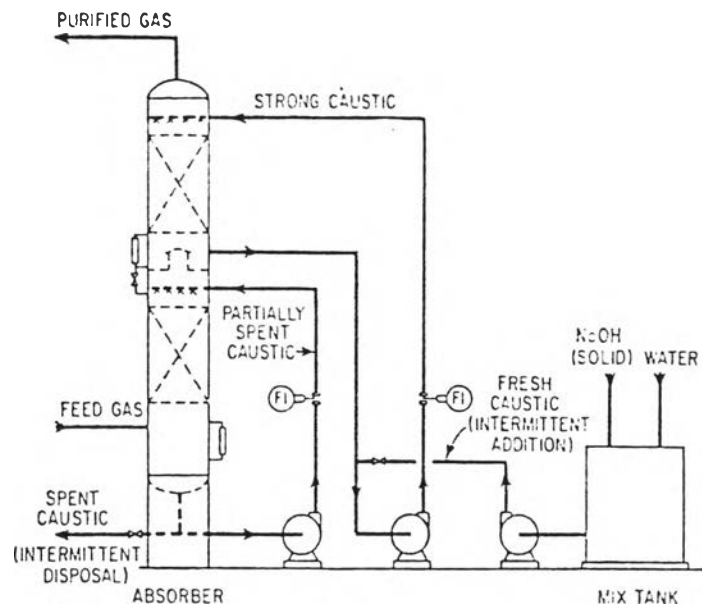
ก. กระบวนการดูดซึมที่อุณหภูมิห้อง

การดูดซับ CO_2 โดยสารละลายอัลคาไล-คาร์บอเนต
(Alkali-Carbonate solution)

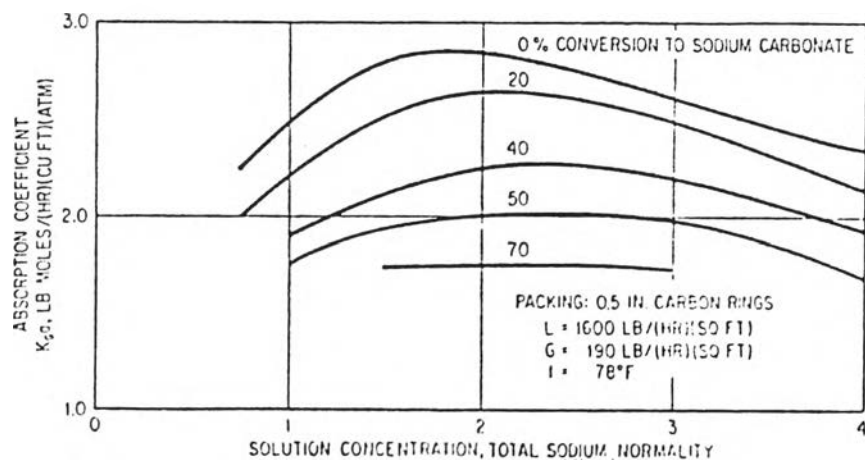
การดูดซึมเป็นไปอย่างเชื่องช้ามากเพราะสารละลายมีสภาพค่างต่ำ กระบวนการนี้ยังมีประสิทธิภาพต่ำในการแยก CO_2 ออกจากสารละลายและต้องใช้น้ำมาก โดยในกระบวนการนี้ อัลคาไล-คาร์บอเนตส่วนหนึ่งทำปฏิกิริยากับ CO_2 กลายเป็นไบคาร์บอเนต (bicarbonate) ในหลอดซัพแล้วเปลี่ยนกลับเป็นคาร์บอเนตอีก เมื่อให้ความร้อนด้วยไอน้ำ ด้วยข้อเสียนี้นี้ต่อมาจึงใช้สารละลายโมโนเอททาโมโน (MEA) เมื่อแยก CO_2 ออกจากแก๊สจากการเผาไหม้แทน

สำหรับโซเดียมคาร์บอเนต [ซึ่งมีไฮดรอกซิลอิสระ (free hydroxy)] ซึ่งมาจากค่างที่มากเกินไป มักใช้ในการแยกแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่หลง

เหลือจากการแยกด้วยกระบวนการที่ไม่มีประสิทธิภาพอื่น ๆ ในกระบวนการนี้ไฮดรอกซิลอิเธอร์ จะทำปฏิกิริยากับ CO_2 เป็นไฮเดียมคาร์บอเนตโดยสภาพความเป็นต่างซึ่งต้องให้อยู่ในระดับสูงนี้กระทำโดยการเติมโซดาไฟลงไปในการละลายเชื้อเพลิง ตามแผนผังกระบวนการ ดังรูปที่ 2.15 ซึ่งสามารถลด CO_2 ในอากาศจาก 300 ppm ลงเหลือ 5 ppm จากข้อมูลของ Tepe และ Dodge [12] ซึ่งทำการทดลองในห้องดูดซึมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว บรรจุด้วยคาร์บอนเรชชีกริง (carbon raschig ring) ขนาด 0.5 นิ้ว ภายในสูง 36 นิ้ว ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.15 แผนผังกระบวนการกำจัด CO_2 โดยใช้ไฮดรอกซิลอิเธอร์ในการละลายเชื้อเพลิง [12]



รูปที่ 2.16 การดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยความเข้มข้นต่าง ๆ ข้อมูลของ เทเปและดอดจ์ (Tepe & Dodge) [12]

จากรูปที่ 2.16 จะเห็นว่าลัทธิประสิทธิผลการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซดาไฟจนถึง 2 N และลดลงหลังจากนี้ การลดลงคงเนื่องมาจากความหนืดที่สูงขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์แบบนี้ก็เกิดขึ้นกับสารละลายโมโนเอทานอลามีนด้วย

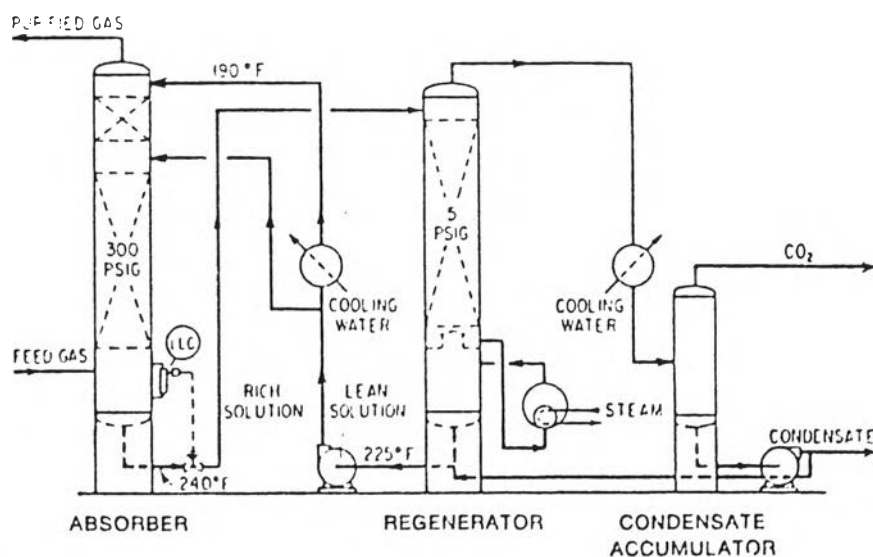
ซ. การดูดซับที่อุณหภูมิสูง

ซ.1 กระบวนการ โปแตสเซียมคาร์บอเนตร้อน

(Hot Potassium Carbonate Process)

หรือกระบวนการ เบเนฟิลด์ (Benfield Process)

กระบวนการนี้ได้รับการพัฒนาโดย U.S. Dureau of Mines เป็นส่วนหนึ่งของการค้นคว้าวิจัยของการแยกแก๊ส CO₂ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดสิ่งเคระหะห์ให้บริสุทธิ์ด้วยการออกแบบกระบวนการที่จะให้ผลดีสูงสุดสำหรับสภาวะของแก๊สสิ่งเคระหะห์ เช่น ความดันย่อยของ CO₂ สูง และแก๊สมีอุณหภูมิสูง แผนผังกระบวนการเป็นไปดังรูปที่ 2.17 ซึ่งต่อมาได้รับการพัฒนากระบวนการซึ่งโดย Benson และ Field โดยเฉพาะการพัฒนาสารปรุงคุณภาพว่องไว (Activating Additive) ลงในสารละลายโปแตสเซียมคาร์บอเนต ทำให้ลดการลงทุนและค่าใช้จ่ายดำเนินการลง ทำให้ได้ผลคุณภาพสูงด้วย

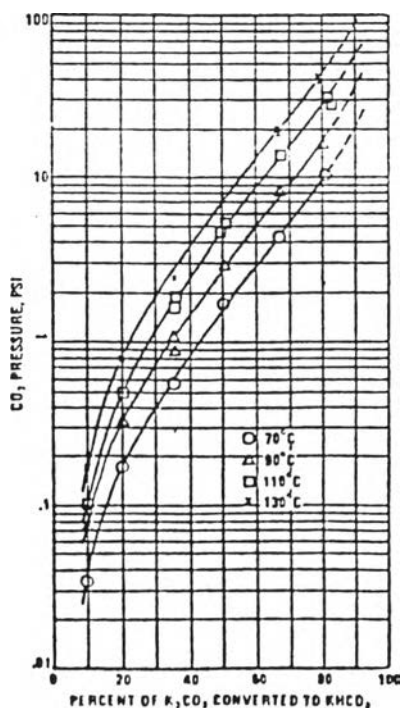


รูปที่ 2.17 แผนผังกระบวนการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยโปแตสเซียมคาร์บอเนตร้อน (Copyright © Gulf Publishing Co.) (1981)

การใช้โปแตสเซียมคาร์บอเนตในการแยก CO₂ เป็นที่รู้จักกันมานานแล้ว ตามสารจับตัวของเยอรมันย้อนหลังไปเมื่อปี ค.ศ. 1904 ได้อธิบายกระบวนการดูดซึม CO₂ ในโปแตสเซียมคาร์บอเนตร้อนและกลั่นแยกออกจากสารละลาย โดยการลดความดันลง และ ไม่ต้องให้ความร้อนอื่นใดอีก [14] ต่อมาในปี ค.ศ. 1924 Williamson และ Mathens [15] ได้ศึกษาอัตราการดูดซึม CO₂ ในสารละลายโปแตสเซียมคาร์บอเนตและพบว่า ถ้าเพิ่มอุณหภูมิของการดูดซึมขึ้นจาก 25 องศาเซลเซียส แล้วอัตราการดูดซึมจะเพิ่มขึ้นสูงมาก จากนั้น U.S. Bureau of Mines จึงได้พัฒนากระบวนการขึ้นในระดับอุตสาหกรรม

2.10.1 โปแตสเซียมคาร์บอเนต

โปแตสเซียมคาร์บอเนตมีความระเหยที่สารละลาย และ ไม่พบผลถึงอุณหภูมิที่ใช้ โปแตสเซียมคาร์บอเนตเหมือนกับกระบวนการอื่น ๆ และ ไม่ต้องใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างหลอดดูดซึมและหลอดกลั่นแยกแต่อย่างใด ด้วยอุณหภูมิที่สูงนี้จะช่วยเพิ่มการละลายของโปแตสเซียมไบคาร์บอเนต (Potassium bicarbonate) ซึ่งสามารถใช้การได้แม้ว่าสารละลายจะมีความเข้มข้นสูง จากรูปที่ 2.10 ความเข้มข้นของ CO₂ ในสารละลายลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อลดความดันย่อยของ CO₂ ลง ดังนั้นการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่จึงสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ความดันต่ำ ๆ



รูปที่ 2.10 ความดันไอสมดุลของ CO₂ ที่สารละลายโปแตสเซียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 20% (120)

ปัญหาของกระบวนการนี้คือ มีความกัดกร่อนสูงต่อเหล็กคาร์บอน (carbon steel) โดยเฉลี่ยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีไปเป็นไบคาร์บอเนตสูง ทำให้มีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำออกมาเมื่อความดันลดลง ต่อมาพบว่าโปแตสเซียมไดโครเมตเป็นตัวช่วยป้องกันการกัดกร่อนที่มีประสิทธิภาพ และใช้ที่ความเข้มข้น 0.2 เปอร์เซ็นต์ในสารละลายที่ใช้ในการดูดซึม CO₂ เฉพาะในแก๊สซึ่งไม่มีสารประกอบกำมะถันผสมอยู่ [12]

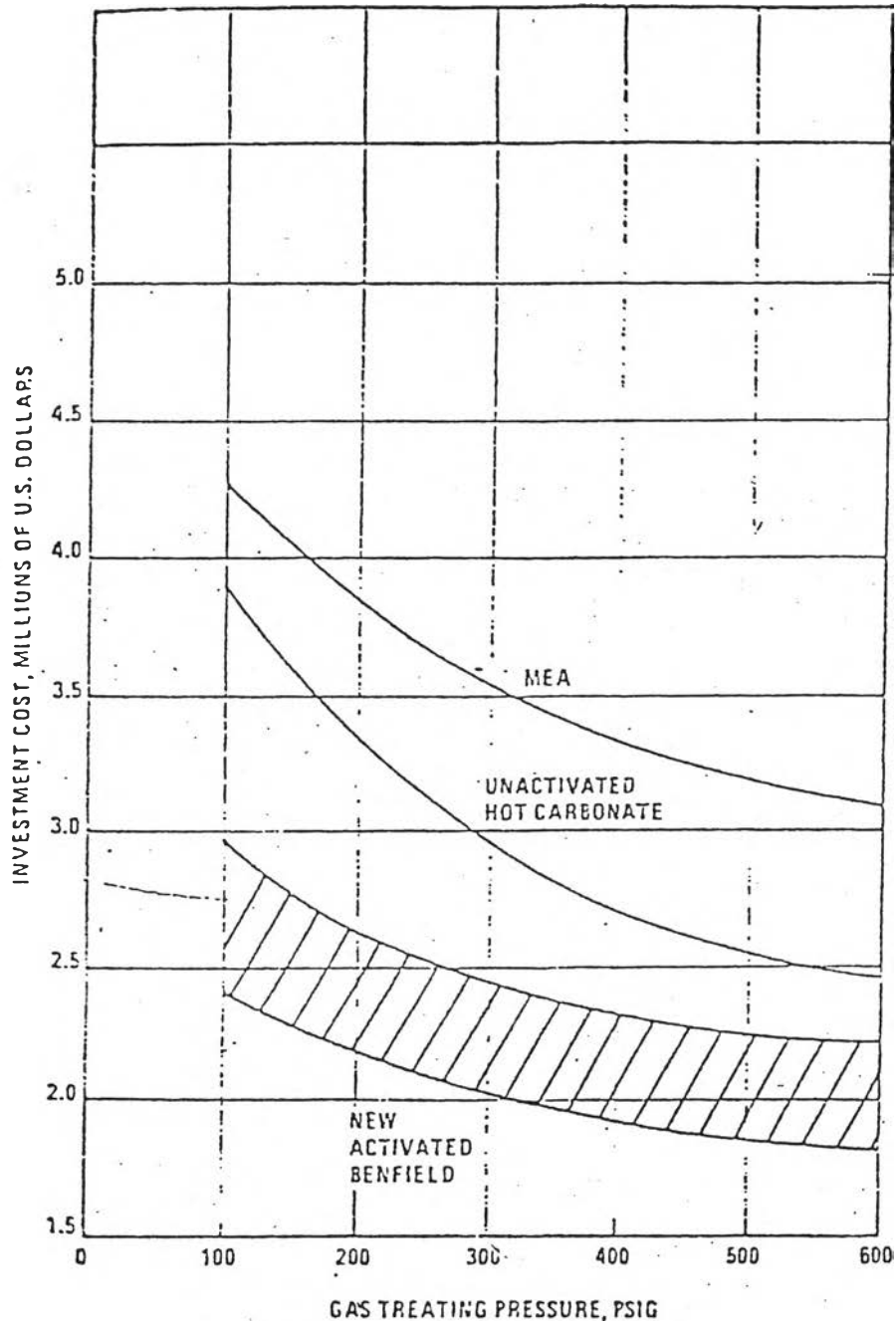
ข.2 กระบวนการนิวแอคทีเวเต็ดเบนฟีลด์ (New Activated Benfield Process)

การเติมสารเคมีลงในสารละลาย เพื่อเร่งให้อัตราการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น จะช่วยลดเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายดำเนินงานลง และเพิ่มคุณภาพของแก๊ส ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการนิวแอคทีเวเต็ดเบนฟีลด์โดยใช้สารเคมีช่วยกระตุ้นความว่องไวของปฏิกิริยายังไม่เป็นที่เปิดเผย ซึ่งบริษัทเบนฟีลด์ (Benfield Corp) เจ้าของลิขสิทธิ์อ้างว่าสามารถเพิ่มความบริสุทธิ์ของแก๊สได้มาก (CO₂ น้อยกว่า 500 ppm) ด้วยการลงทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำกว่ากระบวนการดั้งเดิม

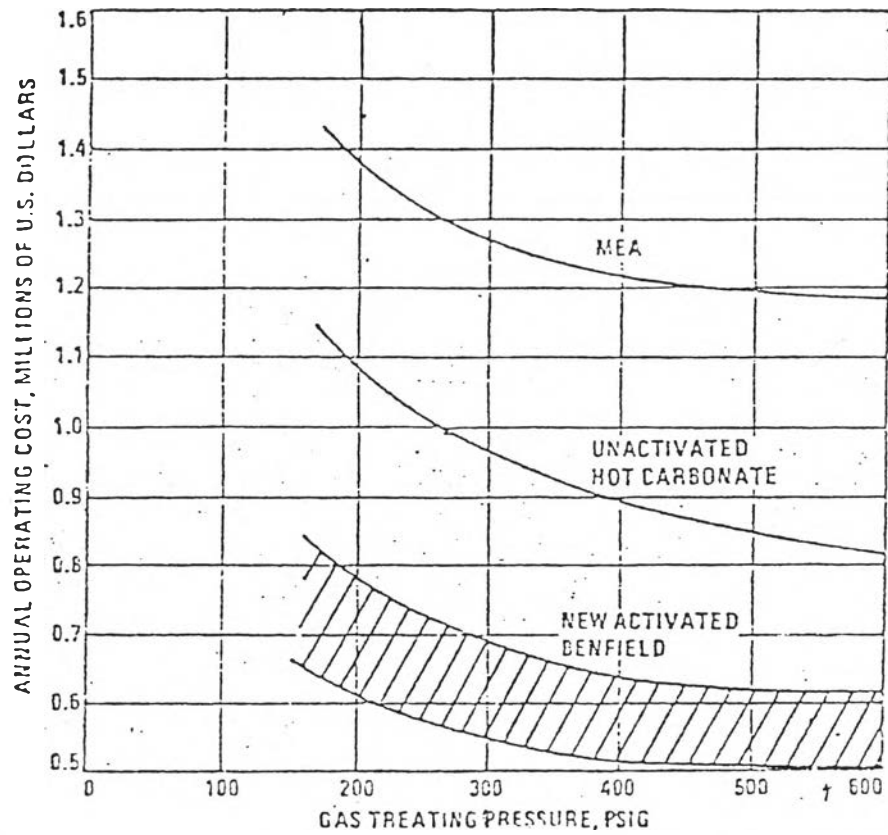
ข้อมูลของบริษัทเบนฟีลด์ ตามรูปที่ 2.19 และ 2.20 ใช้กับกระบวนการสังเคราะห์แอมโมเนียและครูดไฮโดรเจน (Crude Hydrogen) ข้อมูลค่าใช้จ่ายของกระบวนการนิวแอคทีเวเต็ดเบนฟีลด์แสดงเป็นแถบแทนที่จะเป็นเส้น เพราะกระบวนการนี้มีความยืดหยุ่นสูง แนวโน้มจากกราฟของ MEA และสารละลายซึ่งไม่ได้เติมสารช่วยกระตุ้นความว่องไวของปฏิกิริยา (unactivated solution) แสดงถึงข้อได้เปรียบทางเศรษฐกิจของกระบวนการโปแตสเซียมคาร์บอเนตว่าจะลดลงเมื่อความดันในการดูดซึ่มลดลงหรือเมื่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (ความดันย่อย) ของแก๊สเข้า (feed gas) ลดลง

ข.3 กระบวนการคาตาคาร์บ (Catacarb Process)

ตามสิทธิบัตรของ Eickmeyer and Associates of Prairie Village, Kansas เป็นการพัฒนาขึ้นมาของกระบวนการโปแตสเซียมคาร์บอเนตร้อนโดยใช้เกลือโปแตสเซียมและสารเพิ่มเติม (Additive) ซึ่งไม่เป็นที่เปิดเผย



รูปที่ 2.19 เปรียบเทียบการลงทุนของโรงงานกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยระบบต่าง ๆ เทียบกับกระบวนการเบนิฟิลด์ ข้อมูลคิดที่อัตราการไหลแก๊ส 5 ล้านล้าน ลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง CO₂ ขาเข้า 20 เฟอร์เรนต์ ขาออก 0.1 เฟอร์เรนต์ [12]



รูปที่ 2.20 เปรียบเทียบการลงทุนของโรงงานจัดคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยระบบต่างๆ เทียบกับกระบวนการเบนฟิลด์ (ข้อมูลคิดที่อัตราเดียวกับรูปที่ 2.19) อัตราค่าความร้อน 0.5 เหรียญสหรัฐต่อล้านล้านบีทียู ไฟฟ้า 0.008 เหรียญสหรัฐต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง น้ำหล่อเย็น 0.015 ต่อดันแกลลอน เดินเครื่อง 330 วันต่อปี [12]

เผยโดยกล่าวถึงตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาการดูดซึมและการตีซอพรัน (Description) ของ แก๊สกรดโดยเฉพาะกับ แก๊ส CO_2 ในการแยก CO_2 ออกจากครูดไฮโดรเจน (Crude Hydrogen) และการ สั่งเคราะห์แอมโมเนียหรือกับแก๊สธรรมชาติซึ่งมี H_2S น้อยกว่า 1/4 เกรน (Grain) ต่อ 100 ลบ.ฟุต โดยสามารถลด CO_2 ในไฮโดรเจนหรือแก๊สแอมโมเนียสั่งเคราะห์ลงเหลือ 300 ppm [15] กระบวนการนี้ประหยัดการลงทุน 20-30 เปอร์เซ็นต์ ของการลงทุนในกระบวนการโมโนเอททานอลาไมน์

ข.4 กระบวนการเกียมมาโค-วีโตรโคก

(Giammarco-Vetrocoke)

กระบวนการนี้มุ่งใช้สารละลายไซเดียมและโปแตสเซียม อาร์เซไนต์ (Arsenite) เป็นสารดูดซึม CO_2 ที่อุณหภูมิและความดันสูง [16] การเติมอาร์เซไนต์ ไทรออกไซด์ลงในสารละลายของไซเดียมและโปแตสเซียมคาร์บอเนต สามารถเพิ่ม อัตราการดูดซึมและการคายของ CO_2 ได้สูง ผลของการดูดซึมและการคายอย่างรวดเร็ว สามารถประหยัดความร้อนในการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่ และช่วยลดขนาดของเครื่องปฏิกรณ์เคมีอีกทั้งทำให้แก๊สที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น

กระบวนการนี้ใช้กันโดยทั่วไปแต่ไม่เป็นที่ยอมรับในสหรัฐอเมริกา เพราะสารละลายอาร์เซไนต์เป็นพิษ

ข.5 กระบวนการเรคติซอล (Rectisol Process)

เป็นกระบวนการกำจัดแก๊ส CO_2 H_2S สารประกอบกำมะถันอินทรีย์ NH_3 เบนซีน (benzene) และสารไฮโดรคาร์บอนที่ทำให้เกิดกัม (Gum) จากแก๊สสั่งเคราะห์โดยวิธีดูดซึมด้วยเมทานอล (Methanol) ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ โดยที่แก๊ส CO_2 และ H_2S สามารถละลายได้สูงในเมทานอลที่อุณหภูมิต่ำและความดันสูง ดังนั้นความร้อนที่ใช้ในกระบวนการจึงน้อยมาก

ข้อดีของกระบวนการนี้คือใช้พลังงานน้อย สามารถกำจัดสารเจือปนได้ทุกชนิดและให้แก๊สที่ผ่านกระบวนการที่มีปริมาณน้ำเจือปนน้อยมาก

ข้อเสียก็คือกระบวนการสลับซับซ้อนต้องลงทุนสูง มีการสูญเสียสารละลายไปกับการระเหยสูง และต้องใช้กระบวนการที่มีประสิทธิภาพมากกว่าเพื่อทำแก๊สให้บริสุทธิ์ในขั้นสุดท้ายเมื่อต้องการให้แก๊สมีปริมาณ CO_2 ต่ำ

กระบวนการนี้เหมาะกับแก๊สซึ่งมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสิ่งเจือปนอื่น ๆ สูงที่ความดันสูงกว่า 150 psig.

2.4 การดูดซับน้ำจากสายแก๊ส

2.4.1 ลักษณะการดูดซับ

การดูดซับแบ่งเป็น 2 แบบ [17, 18] คือ

2.4.1.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption or van der Waals adsorption) เป็นกระบวนการที่สามารถย้อนกลับได้ (Reversible Process) ซึ่งเป็นผลมาจากแรงกระทำระหว่างโมเลกุล (Intermolecular force) ของของแข็งกับสารที่ถูกดูด เมื่อแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของของแข็งและแก๊ส สูงกว่าแรงกระทำระหว่างแก๊สด้วยกัน จะเป็นผลให้แก๊สควบแน่นบนผิวของแข็ง ตรงกับความดันของกระบวนการสูงเท่ากับความดันไอของของเหลวที่อุณหภูมิเดียวกัน การควบแน่นนี้จะคายความร้อนออกมา อันเนื่องมาจากความร้อนแฝงของของเหลวที่นั่น ถ้าของแข็งนั้นมีรูพรุนสูงของเหลวจะทำให้ของแข็งนี้เปียก และยิ่งซึมเข้าไปในรูพรุนทำให้ของแข็งสามารถดูดซับเพิ่มได้อีก การรีเจนเนอเรท สามารถทำได้โดยการลดความดันของกระบวนการหรือทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ของเหลวที่นั่นจะระเหยกลับสู่สภาวะแก๊สตามเดิม และของแข็งนั้นสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่

2.4.1.2 การดูดซับแบบเคมี (Chemisorption) เป็นกระบวนการที่ย้อนกลับได้ยาก หรืออาจกล่าวว่าย้อนกลับไม่ได้ (Irreversible Process) เป็นผลอันเนื่องมาจากแรงดึงดูด (Bond) ระหว่างอะตอมมีค่าสูง ภายหลังจากเกิดปฏิกิริยาเคมี และเมื่อเกิดปฏิกิริยาจะให้ความร้อนออกมาสูงกว่าการดูดซับแบบกายภาพ ตัวอย่างของความร้อนของการควบแน่นแบบธรรมดา และการดูดซับทั้ง 2 แบบของไนโตรเจนเหลวตัวเอว

ปฏิกิริยาที่เป็นหลักมีค่าดังนี้ [17]

การเป็นของเหลวแบบธรรมดา	$H = -11,360$	คาลอรีต่อกรัมโมล
การดูดซับทางกายภาพ	$H = -(2,000-3,000)$	คาลอรีต่อกรัมโมล
การดูดซับแบบเคมี	$H = -35,000$	คาลอรีต่อกรัมโมล

ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับแบบเคมีกับทางกายภาพ จะแสดงดังตารางที่ 2.4

2.4.2 สารดูดซับ

สารดูดซับที่เป็นของแข็งจะใช้ไปในรูปเม็ดกลมเล็ก ๆ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 50 ไมครอน ถึง 12 มิลลิเมตร ซึ่งได้ผ่านกระบวนการที่ทำให้มีความแข็งเพียงพอที่จะไม่เกิดความเสียหายหรือแตกร้าวมากนัก ระหว่างการขนส่งหรือขณะใส่ในเครื่องจักร

การดูดซับจะดีขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักของสารนั้นสูง โดยเฉพาะเมื่อใช้ดูดแก๊ส ไม่เพียงแต่พื้นที่ผิวภายนอกเท่านั้นยังรวมถึงช่องเล็ก ๆ (pore) ภายในเม็ดสารนั้นด้วย เมื่อมีปริมาณรูพรุนมากจะทำให้พื้นที่สำหรับการดูดซับสูงขึ้น เช่น Gasmark Charcoal มีพื้นที่ในการดูดซับ 1,220,022 ตารางเมตรต่อกิโลกรัม คุณสมบัติของสารดูดซับชนิดต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.5

รายการดังกล่าวต่อไปนี้ เป็นสารดูดซับที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่ว ๆ ไป

1. ฟูลเลอร์เอิร์ท (Fuller's earths) ทำจากดินเหนียว (Clay) ที่มาจากรัฐฟลอริดาและจอร์เจีย (Florida and Georgia) มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแมกนีเซียมอะลูมินาซิลิเกต (Magnesium alumina silicate) ดินเหนียวนี้จะผ่านการเผา อบ บด และร่อนขนาด ซึ่งมีตั้งแต่ขนาด ๆ ถึงผงละเอียด ซึ่งจะใช้ในการฟอกสี (decolorizing) การสะเทิน (neutralizing) และการทำให้แห้ง (drying) ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปิโตรเลียม เช่น น้ำมันหล่อลื่น น้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้า ดีโรซีน (kerosenes) และแก๊สโซลีน (gasoline) ทั้งยังใช้กับอุตสาหกรรมน้ำมันพืชและสัตว์ การรีเจนเนอเรททำได้โดยการล้าง (washing) และเผา

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี [17]

	Physical Ads.	Chemisorption
Heat of adsorption	Small, same order as normal liquefaction	Large, many times than the heat of normal liq ⁿ
Rate of adsorption	Controlled by resistance to mass transfer	Controlled by resistance to surface reaction
Specificity	Low. Entire surface available for physical adsorption	High. Limited to active sites on the surface
Surface coverage	Complete and extendable to multilayer	Incomplete and limited to a unimolecular layer
Adsorption above critical temperature	None	No restriction
Adsorption at low partial pressure	Small	Large
Adsorption at high partial pressure	Large, may extend to infinite amounts	Slight increase
Activation energy	Low, nearly negligible	High, corresponding to a chemical reaction
Quantities adsorbed per unit mass	High	Low

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติทางกายภาพของสารดูดซับ

Material and typical use	Shape of particles ^a	Size range, U.S. Standard mesh	Internal porosity, %	Bulk dry density, lb./cu. ft.	Avg pore diam., angstroms	Surface area, sq. meter/g.	Adsorptive capacity, R/R dry solid	Trade designation
Alumina								
Active alumina (transition alumina)	C	Various	25-30	50	35-45	235	0.15 ^d	Alcoa F-1; Reynolds R-2101 = RA-1, R2101 = RA-3
Uses: drying gases and liquids; catalyst; catalyst support; dechlorination of alkylates; neutralization of lube oils	S	3-8, etc.	50-60	47-50	40-50	400	0.22 ^e	Alcoa H-151; Kaiser KA-201; Pechiney Alumina A
CoCl ₂ impregnated	T	1-1/2 in. ²	30, 47	~50	136, 99	90, 100	.....	Harshaw Al-0104T, -1404T
Deisecant (single-use), CaCl ₂ impregnated	G	8-14	30	54	45	200	0.14	Alcoa F-6 (indicator grade)
Catalytic alumina, low acid	G	1-8, etc.	30	67	45	200	0.22 ^e	Alcoa F-5
Dry column grade	8	Various	62	47	45	300	.....	Pechiney CR
Activated bauxite	G	.....	.....	55	.....	.....	.....	Woelm Dry Column Al ₂ O ₃
Chromatographic alumina	G	8-20, etc.	35	~53	~50	.....	0.04-0.24 ^f	Florite
	G	80-200	30	58	45	225	0.14	Alcoa F-20
	S, P	30-140	.....	~50	.....	.....	.....	Pechiney CRT, CRL
		70-270	.....	54	.....	.....	.....	Woelm Al ₂ O ₃ -W200, Al ₂ O ₃ -TLC
Siliceous adsorbents								
Aluminosilicates	C, S, P	4-8, 8-12; 1/16 or 1/8 in.	40-55	40-55	.....	770	.....	Molecular sieves: Davison 3A, 4A, 5A, 13X, 700 (acid-resistant); Linde 3A, 4A, 5A, 10X, 13X, AW-300, AW-500
Use: selective adsorption based on molecular size and shape	C, S	1/16 or 1/8 in.	30	44	3, 4, 5	600-700	0.22 ^f	Siliporite NK30, NK10, NK20
Acid-treated clay	P	.....	.....	31	3, 4, 5	700	.....	Siliporite NK10AF, NK20AF
Uses: refining petroleum fractions; vegetable oils, juices; catalyst base	S	4-8	.....	30-45	.....	225-300	.....	Clarsil
Magnesia-silica gel	G	Various	33	~30	.....	300	.....	Filtrol 120
Fuller's earth	G	Various	~54	~40	.....	130-250	.....	Floristil
Uses: same as for clay	P	<200	.....	50	.....	.....	.....	Cecacite; Clarsil PSC-G, Clarsil ATC
Diatomaceous earth	P	.....	.....	8	.....	.....	.....	Clarsil PCS; Flores
	G	10-140 ^g	.....	25-27	.....	4	.....	Celite; Dicalite (powder and granules); Sorbo-cel (for emulsified oil)
	G	30-140	.....	11-13	.....	1.0	.....	Chromosorb P (straight calcined)
	G	10-80	.....	30-22	.....	0.5	.....	Chromosorb W (flux calcined)
	P	<200	.....	25-27	.....	2.7	.....	Chromosorb G (flux calcined)
	G	Various	.....	6-25	.....	.....	.....	Chromosorb A (flux calcined)
Silica gel	G	Various	.....	~27-45	.....	.....	.....	Clarsel
Uses: drying of gases, separation of hydrocarbons, catalyst base	G	Various	35-50	40-48	Various	300-800	.....	Davison Silica Gel
	S, P	1/2 in., etc.	34-51	41-52	20-40	650-900	0.4-0.6 ^h	Cecagel; Sorbail
	G	70-140	.....	~45	.....	650-700	0.4-0.6 ^h	Cecagel; Mobil Sorbed R, H
	P	<270	.....	.....	.....	.....	.....	Woelm (adsorption)
	S	4-8	45	46-51	72	250	0.27 ⁱ	Woelm TLC, F-TLC, G-TLC, GF-TLC
								Mobil Sorbed W
Other inorganic materials								
Anhydrous CaSO ₄	G	Various	38	60	.....	.....	0.12 ^d	Drierite
Calcium silicate (fatty acid removal)	P	.....	.....	12	.....	100-110	.....	Micro-Cel T-49, T-13
Magnesium silicate (decolorizing)	P, G	.....	.....	13	.....	180	.....	Celkate T-21; Woelm TLC
Carbons								
Shell-based	G	Various	60-60	27-34	20	800-1100	0.45 ^e	Cochranex FCB; Pittsburgh PCB
Uses (for all carbons): water treatment, gas purification, solvent recovery and purification, decolorizing	G	Various	50-80	25-35	20-30	1000-1600	0.5-0.95 ^e	Picatif T.A., T.E.
	G, (P)	Various	60-65	27-36	18-19	1200-1500	~0.4	Acticarbon NC, WNC
	G	Various	~50	27-32	20	800-1100	0.45 ^e	Barnetley-Cheney AC, KE, VG, PC, PL
	G	4-0, 8-30	~50	33-35	20	800-1000	.....	Girdler 32E (Fe-impregnated), 32W (Co-Cr-impregnated)
	P	.....	60-80	20-22	~30	1200	.....	Barnetley-Cheney YF, JF, JU (high capacity)
Wood-based	C, P	1/2, 3/4 in.	70-75	12-28	22-24	750-1450	.....	Acticarbon AC, etc.; Anticromos
		Various	30-50	8-33	.....	600-1200	.....	Darcen KB, G00; Nucliar Aqua, Nucliar WA, B-100, C-115, C.F.E., C-190, C, C-1000
	G	5-7	.....	24	5-10	1400	.....	Supersorbion W
	P	Various	.....	21-27	8-30	1000-1500	.....	Carboraffin (various grades)
	P	Various	.....	27-29	3-10	750-900	.....	Brlonit (various grades)
	f;	10 x 30, etc.	60	~20	20-40	600-1000	.....	Cochranex FCN-1, FCN-2, PCA, FCC
	G	Various	40-50	15-20	20-100	800-1200	40-70% ^e	Picatif C, O
	P	100-300	40-60	27-33	.....	600-1200	60-130% ^e (1)	Picatif CM

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

Material and typical use	Shape of particles ^a	Size range, U.S. Standard mesh	Internal porosity, %	Bulk dry density, lb./cu. ft.	Avg pore diam., microns	Surface area, sq. meter/g.	Adsorptive capacity, %/g. dry solid	Trade designation
Peat-based	C, C, P	Various	~55	15-37	30-40	500-1600	.....	Norit (various grades)
	G	5-7	.....	20-24	5-20	1300-1400	.....	Supersorb (various grades)
	P	<200	.....	28-31	.....	700-900	.....	Acticarbon AM, AH
Coal-based	G	Various	65-75	20-30	20-38	500-1200	0.4 ^b	Darco Granular; Permutit Carbo-Dex
	G	12 x 40, etc.	60	30	60-65	800-1000	.....	Cochranes FCP-1, FCP-2, FCW-V
	C, (P)	Various	50-67	25-30	20	1000-1100	.....	Pittsburgh RPL, CAL, SGL, etc. (RR, RC, RL)
	G	.....	80	28	22	110	50 ^c	Barnesley Cheney MN
	G	Various	.....	27-37	.....	850-1350	30-60% ^d	Acticarbon LM; Nuchar WV-W, WV-L, WV-C, WV-II
	G	5-7	.....	20-24	5-15	1300-1500	.....	Contarion (various grades)
P	.....	.....	25-30	.....	600-700	.....	Darco BG, DG, S-51; Hydrodarco E	
Petroleum-based	C, P	Various	65-85	~30	18-22	800-1100	.....	Columbia (various grades)
Organic materials								
Porous resin (decolorizing)	S, G	16-50	.....	20-45	.....	3	.....	Asmit 224, Duolite S-35; Permutit S-30; Wofatit E
	S, (P)	16-50	.....	30-40	.....	.....	0.1, (0.2)	Ionex RV (Micro-Ionex RV)
Cross-linked polystyrene	G	50-140 ^e	.....	19-22	500	15-35	.....	Chromosorb 101, 103
	S	20-50	40-45	40-44	90	330	.....	Amberlite XAD-2
	S	20-50	50-55	39	50	750	.....	Amberlite XAD-4
Cross-linked polystyrene	G	60-200 ^f	.....	18-20	85	300-400	.....	Chromosorb 102
	G	16-50	.....	22-25	.....	.....	.....	Duolite S-30, ES-33, S-37 (general adsorbent)
Phenolic	S	20-50	50-55	41	80	450	.....	Amberlite XAD-7
Acrylic ester	S	20-60	50-54	43	250	140	.....	Amberlite XAD-8
Aromatic-amine resin	G	10-50	.....	10-50	.....	.....	.....	Asmit 173N
Quaternary amine chloride resin	S	10-50	~65	40-50	.....	.....	.....	Asmit 250N, 261; Duolite ES-111, A-140
Copper-amine resin (O ₂ removal)	S	10-50	.....	30	.....	.....	0.12 ^g	Duolite S-10
Cellulose	C, (P)	100-200	.....	.....	.....	3 x 10 ⁴	.....	Whatman CC31 (CF1, 2, 11, 12)

^aWater at 80 per cent humidity.
^bCarbon tetrachloride; test conditions not specified.
^cVarious sizes available within stated range.
^dWater; test conditions not specified.
^eBenzene, at 20°C. and 7.5 mm. partial pressure.

^fWater, at 100 per cent relative humidity.
^gAccelerated chloropicrin test.
^hC, cylindrical pellets; G, granular; P, powder; S, spherical beads; T, tablets; O, open.

ⁱIodine.

110297224

๒. แอกทีเวเต็ดเคลย์ (Activated clay) เป็นพวกเบนไทไนท์ (Bentonite) การกระตุ้น (Activate) สารนี้ทำได้ด้วยกรดกำมะถันหรือกรดเกลือ จะทำให้มีคุณสมบัติในการดูดซับดีขึ้น จากกระบวนการดังกล่าว จะทำการล้าง อมแห้ง และ บดเป็นผง ละเอียด เหมาะสำหรับการดูดสีจากผลิตภัณฑ์น้ำมันปิโตรเลียมและจะ ใช้งานได้เพียง ครั้งเดียวเท่านั้น

๓. บอกไซด์ (Bauxite) จะอยู่ในรูปไฮเดรทอลูมินา (hydrated alumina) จะกระตุ้นได้โดยการเผาที่อุณหภูมิ 23๐๐-๓15 องศาเซลเซียส เพื่อเพิ่มความ สามารถในการดูดซับ เหมาะสำหรับใช้ดูดสีจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ทำให้สีที่ติด อยู่จะเปลี่ยนเป็น Al_2O_3 (Heatline)

๔. อลูมินา (Alumina) จะเป็นไฮเดรทอลูมินาที่แห้งและกระตุ้นได้โดยการ ไล่ไอน้ำออก ใช้เป็นสารลดความชื้น (desiccant) จากก๊าซและของเหลว การรีเจเนอเรททำได้โดยการให้ความร้อน

๕. โบนชาร์ (Bone char) ได้มาจากการกลั่นทำลาย (destructive distillation) กระดูกหนึ่งชนิด ที่อุณหภูมิ ๕๒๕-๑๑๖ องศาเซลเซียส ใช้ในการปรับ ปรุงสภาพ (Refining) น้ำมัน การรีเจเนอเรททำได้โดยการล้างด้วย H_2SO_4

๖. ดีคลอรีน คาร์บอน (Decolorizing carbon) ได้มาจากหลายวิธี เช่น การผสมสารพืช (Vegetable matter) กับสารอนินทรีย์ (Inorganic substance) เช่น CaCl_2 โดยทำการคาร์บอนไรซิง (Carbonizing) และล้าง (Leaching) สารอนินทรีย์ออกหรือสามารถได้มาจากขี้เลื่อย (Sawdust) ผสมกับสารที่มี รูพรุน เช่น หินฟิวมิค (pumic stone) จากนั้นให้ความร้อนและการคาร์บอนไรซิง เพื่อ สดงสาร คาร์บอนเนเชียส (carbonaceous) ที่รูพรุนนั้น สามารถใช้ในการดูดสีจาก ก๊าซ ๒๓. ๖๓ ๖๕ ๖๖ ๖๗ ๖๘ ๖๙ ๗๐ ๗๑ ๗๒ ๗๓ ๗๔ ๗๕ ๗๖ ๗๗ ๗๘ ๗๙ ๘๐ ๘๑ ๘๒ ๘๓ ๘๔ ๘๕ ๘๖ ๘๗ ๘๘ ๘๙ ๙๐ ๙๑ ๙๒ ๙๓ ๙๔ ๙๕ ๙๖ ๙๗ ๙๘ ๙๙ ๑๐๐ ๑๐๑ ๑๐๒ ๑๐๓ ๑๐๔ ๑๐๕ ๑๐๖ ๑๐๗ ๑๐๘ ๑๐๙ ๑๑๐ ๑๑๑ ๑๑๒ ๑๑๓ ๑๑๔ ๑๑๕ ๑๑๖ ๑๑๗ ๑๑๘ ๑๑๙ ๑๒๐ ๑๒๑ ๑๒๒ ๑๒๓ ๑๒๔ ๑๒๕ ๑๒๖ ๑๒๗ ๑๒๘ ๑๒๙ ๑๓๐ ๑๓๑ ๑๓๒ ๑๓๓ ๑๓๔ ๑๓๕ ๑๓๖ ๑๓๗ ๑๓๘ ๑๓๙ ๑๔๐ ๑๔๑ ๑๔๒ ๑๔๓ ๑๔๔ ๑๔๕ ๑๔๖ ๑๔๗ ๑๔๘ ๑๔๙ ๑๕๐ ๑๕๑ ๑๕๒ ๑๕๓ ๑๕๔ ๑๕๕ ๑๕๖ ๑๕๗ ๑๕๘ ๑๕๙ ๑๖๐ ๑๖๑ ๑๖๒ ๑๖๓ ๑๖๔ ๑๖๕ ๑๖๖ ๑๖๗ ๑๖๘ ๑๖๙ ๑๗๐ ๑๗๑ ๑๗๒ ๑๗๓ ๑๗๔ ๑๗๕ ๑๗๖ ๑๗๗ ๑๗๘ ๑๗๙ ๑๘๐ ๑๘๑ ๑๘๒ ๑๘๓ ๑๘๔ ๑๘๕ ๑๘๖ ๑๘๗ ๑๘๘ ๑๘๙ ๑๙๐ ๑๙๑ ๑๙๒ ๑๙๓ ๑๙๔ ๑๙๕ ๑๙๖ ๑๙๗ ๑๙๘ ๑๙๙ ๒๐๐ ๒๐๑ ๒๐๒ ๒๐๓ ๒๐๔ ๒๐๕ ๒๐๖ ๒๐๗ ๒๐๘ ๒๐๙ ๒๑๐ ๒๑๑ ๒๑๒ ๒๑๓ ๒๑๔ ๒๑๕ ๒๑๖ ๒๑๗ ๒๑๘ ๒๑๙ ๒๒๐ ๒๒๑ ๒๒๒ ๒๒๓ ๒๒๔ ๒๒๕ ๒๒๖ ๒๒๗ ๒๒๘ ๒๒๙ ๒๓๐ ๒๓๑ ๒๓๒ ๒๓๓ ๒๓๔ ๒๓๕ ๒๓๖ ๒๓๗ ๒๓๘ ๒๓๙ ๒๔๐ ๒๔๑ ๒๔๒ ๒๔๓ ๒๔๔ ๒๔๕ ๒๔๖ ๒๔๗ ๒๔๘ ๒๔๙ ๒๕๐ ๒๕๑ ๒๕๒ ๒๕๓ ๒๕๔ ๒๕๕ ๒๕๖ ๒๕๗ ๒๕๘ ๒๕๙ ๒๖๐ ๒๖๑ ๒๖๒ ๒๖๓ ๒๖๔ ๒๖๕ ๒๖๖ ๒๖๗ ๒๖๘ ๒๖๙ ๒๗๐ ๒๗๑ ๒๗๒ ๒๗๓ ๒๗๔ ๒๗๕ ๒๗๖ ๒๗๗ ๒๗๘ ๒๗๙ ๒๘๐ ๒๘๑ ๒๘๒ ๒๘๓ ๒๘๔ ๒๘๕ ๒๘๖ ๒๘๗ ๒๘๘ ๒๘๙ ๒๙๐ ๒๙๑ ๒๙๒ ๒๙๓ ๒๙๔ ๒๙๕ ๒๙๖ ๒๙๗ ๒๙๘ ๒๙๙ ๓๐๐ ๓๐๑ ๓๐๒ ๓๐๓ ๓๐๔ ๓๐๕ ๓๐๖ ๓๐๗ ๓๐๘ ๓๐๙ ๓๑๐ ๓๑๑ ๓๑๒ ๓๑๓ ๓๑๔ ๓๑๕ ๓๑๖ ๓๑๗ ๓๑๘ ๓๑๙ ๓๒๐ ๓๒๑ ๓๒๒ ๓๒๓ ๓๒๔ ๓๒๕ ๓๒๖ ๓๒๗ ๓๒๘ ๓๒๙ ๓๓๐ ๓๓๑ ๓๓๒ ๓๓๓ ๓๓๔ ๓๓๕ ๓๓๖ ๓๓๗ ๓๓๘ ๓๓๙ ๓๔๐ ๓๔๑ ๓๔๒ ๓๔๓ ๓๔๔ ๓๔๕ ๓๔๖ ๓๔๗ ๓๔๘ ๓๔๙ ๓๕๐ ๓๕๑ ๓๕๒ ๓๕๓ ๓๕๔ ๓๕๕ ๓๕๖ ๓๕๗ ๓๕๘ ๓๕๙ ๓๖๐ ๓๖๑ ๓๖๒ ๓๖๓ ๓๖๔ ๓๖๕ ๓๖๖ ๓๖๗ ๓๖๘ ๓๖๙ ๓๗๐ ๓๗๑ ๓๗๒ ๓๗๓ ๓๗๔ ๓๗๕ ๓๗๖ ๓๗๗ ๓๗๘ ๓๗๙ ๓๘๐ ๓๘๑ ๓๘๒ ๓๘๓ ๓๘๔ ๓๘๕ ๓๘๖ ๓๘๗ ๓๘๘ ๓๘๙ ๓๙๐ ๓๙๑ ๓๙๒ ๓๙๓ ๓๙๔ ๓๙๕ ๓๙๖ ๓๙๗ ๓๙๘ ๓๙๙ ๔๐๐ ๔๐๑ ๔๐๒ ๔๐๓ ๔๐๔ ๔๐๕ ๔๐๖ ๔๐๗ ๔๐๘ ๔๐๙ ๔๑๐ ๔๑๑ ๔๑๒ ๔๑๓ ๔๑๔ ๔๑๕ ๔๑๖ ๔๑๗ ๔๑๘ ๔๑๙ ๔๒๐ ๔๒๑ ๔๒๒ ๔๒๓ ๔๒๔ ๔๒๕ ๔๒๖ ๔๒๗ ๔๒๘ ๔๒๙ ๔๓๐ ๔๓๑ ๔๓๒ ๔๓๓ ๔๓๔ ๔๓๕ ๔๓๖ ๔๓๗ ๔๓๘ ๔๓๙ ๔๔๐ ๔๔๑ ๔๔๒ ๔๔๓ ๔๔๔ ๔๔๕ ๔๔๖ ๔๔๗ ๔๔๘ ๔๔๙ ๔๕๐ ๔๕๑ ๔๕๒ ๔๕๓ ๔๕๔ ๔๕๕ ๔๕๖ ๔๕๗ ๔๕๘ ๔๕๙ ๔๖๐ ๔๖๑ ๔๖๒ ๔๖๓ ๔๖๔ ๔๖๕ ๔๖๖ ๔๖๗ ๔๖๘ ๔๖๙ ๔๗๐ ๔๗๑ ๔๗๒ ๔๗๓ ๔๗๔ ๔๗๕ ๔๗๖ ๔๗๗ ๔๗๘ ๔๗๙ ๔๘๐ ๔๘๑ ๔๘๒ ๔๘๓ ๔๘๔ ๔๘๕ ๔๘๖ ๔๘๗ ๔๘๘ ๔๘๙ ๔๙๐ ๔๙๑ ๔๙๒ ๔๙๓ ๔๙๔ ๔๙๕ ๔๙๖ ๔๙๗ ๔๙๘ ๔๙๙ ๕๐๐ ๕๐๑ ๕๐๒ ๕๐๓ ๕๐๔ ๕๐๕ ๕๐๖ ๕๐๗ ๕๐๘ ๕๐๙ ๕๑๐ ๕๑๑ ๕๑๒ ๕๑๓ ๕๑๔ ๕๑๕ ๕๑๖ ๕๑๗ ๕๑๘ ๕๑๙ ๕๒๐ ๕๒๑ ๕๒๒ ๕๒๓ ๕๒๔ ๕๒๕ ๕๒๖ ๕๒๗ ๕๒๘ ๕๒๙ ๕๓๐ ๕๓๑ ๕๓๒ ๕๓๓ ๕๓๔ ๕๓๕ ๕๓๖ ๕๓๗ ๕๓๘ ๕๓๙ ๕๔๐ ๕๔๑ ๕๔๒ ๕๔๓ ๕๔๔ ๕๔๕ ๕๔๖ ๕๔๗ ๕๔๘ ๕๔๙ ๕๕๐ ๕๕๑ ๕๕๒ ๕๕๓ ๕๕๔ ๕๕๕ ๕๕๖ ๕๕๗ ๕๕๘ ๕๕๙ ๕๖๐ ๕๖๑ ๕๖๒ ๕๖๓ ๕๖๔ ๕๖๕ ๕๖๖ ๕๖๗ ๕๖๘ ๕๖๙ ๕๗๐ ๕๗๑ ๕๗๒ ๕๗๓ ๕๗๔ ๕๗๕ ๕๗๖ ๕๗๗ ๕๗๘ ๕๗๙ ๕๘๐ ๕๘๑ ๕๘๒ ๕๘๓ ๕๘๔ ๕๘๕ ๕๘๖ ๕๘๗ ๕๘๘ ๕๘๙ ๕๙๐ ๕๙๑ ๕๙๒ ๕๙๓ ๕๙๔ ๕๙๕ ๕๙๖ ๕๙๗ ๕๙๘ ๕๙๙ ๖๐๐ ๖๐๑ ๖๐๒ ๖๐๓ ๖๐๔ ๖๐๕ ๖๐๖ ๖๐๗ ๖๐๘ ๖๐๙ ๖๑๐ ๖๑๑ ๖๑๒ ๖๑๓ ๖๑๔ ๖๑๕ ๖๑๖ ๖๑๗ ๖๑๘ ๖๑๙ ๖๒๐ ๖๒๑ ๖๒๒ ๖๒๓ ๖๒๔ ๖๒๕ ๖๒๖ ๖๒๗ ๖๒๘ ๖๒๙ ๖๓๐ ๖๓๑ ๖๓๒ ๖๓๓ ๖๓๔ ๖๓๕ ๖๓๖ ๖๓๗ ๖๓๘ ๖๓๙ ๖๔๐ ๖๔๑ ๖๔๒ ๖๔๓ ๖๔๔ ๖๔๕ ๖๔๖ ๖๔๗ ๖๔๘ ๖๔๙ ๖๕๐ ๖๕๑ ๖๕๒ ๖๕๓ ๖๕๔ ๖๕๕ ๖๕๖ ๖๕๗ ๖๕๘ ๖๕๙ ๖๖๐ ๖๖๑ ๖๖๒ ๖๖๓ ๖๖๔ ๖๖๕ ๖๖๖ ๖๖๗ ๖๖๘ ๖๖๙ ๖๗๐ ๖๗๑ ๖๗๒ ๖๗๓ ๖๗๔ ๖๗๕ ๖๗๖ ๖๗๗ ๖๗๘ ๖๗๙ ๖๘๐ ๖๘๑ ๖๘๒ ๖๘๓ ๖๘๔ ๖๘๕ ๖๘๖ ๖๘๗ ๖๘๘ ๖๘๙ ๖๙๐ ๖๙๑ ๖๙๒ ๖๙๓ ๖๙๔ ๖๙๕ ๖๙๖ ๖๙๗ ๖๙๘ ๖๙๙ ๗๐๐ ๗๐๑ ๗๐๒ ๗๐๓ ๗๐๔ ๗๐๕ ๗๐๖ ๗๐๗ ๗๐๘ ๗๐๙ ๗๑๐ ๗๑๑ ๗๑๒ ๗๑๓ ๗๑๔ ๗๑๕ ๗๑๖ ๗๑๗ ๗๑๘ ๗๑๙ ๗๒๐ ๗๒๑ ๗๒๒ ๗๒๓ ๗๒๔ ๗๒๕ ๗๒๖ ๗๒๗ ๗๒๘ ๗๒๙ ๗๓๐ ๗๓๑ ๗๓๒ ๗๓๓ ๗๓๔ ๗๓๕ ๗๓๖ ๗๓๗ ๗๓๘ ๗๓๙ ๗๔๐ ๗๔๑ ๗๔๒ ๗๔๓ ๗๔๔ ๗๔๕ ๗๔๖ ๗๔๗ ๗๔๘ ๗๔๙ ๗๕๐ ๗๕๑ ๗๕๒ ๗๕๓ ๗๕๔ ๗๕๕ ๗๕๖ ๗๕๗ ๗๕๘ ๗๕๙ ๗๖๐ ๗๖๑ ๗๖๒ ๗๖๓ ๗๖๔ ๗๖๕ ๗๖๖ ๗๖๗ ๗๖๘ ๗๖๙ ๗๗๐ ๗๗๑ ๗๗๒ ๗๗๓ ๗๗๔ ๗๗๕ ๗๗๖ ๗๗๗ ๗๗๘ ๗๗๙ ๗๘๐ ๗๘๑ ๗๘๒ ๗๘๓ ๗๘๔ ๗๘๕ ๗๘๖ ๗๘๗ ๗๘๘ ๗๘๙ ๗๙๐ ๗๙๑ ๗๙๒ ๗๙๓ ๗๙๔ ๗๙๕ ๗๙๖ ๗๙๗ ๗๙๘ ๗๙๙ ๘๐๐ ๘๐๑ ๘๐๒ ๘๐๓ ๘๐๔ ๘๐๕ ๘๐๖ ๘๐๗ ๘๐๘ ๘๐๙ ๘๑๐ ๘๑๑ ๘๑๒ ๘๑๓ ๘๑๔ ๘๑๕ ๘๑๖ ๘๑๗ ๘๑๘ ๘๑๙ ๘๒๐ ๘๒๑ ๘๒๒ ๘๒๓ ๘๒๔ ๘๒๕ ๘๒๖ ๘๒๗ ๘๒๘ ๘๒๙ ๘๓๐ ๘๓๑ ๘๓๒ ๘๓๓ ๘๓๔ ๘๓๕ ๘๓๖ ๘๓๗ ๘๓๘ ๘๓๙ ๘๔๐ ๘๔๑ ๘๔๒ ๘๔๓ ๘๔๔ ๘๔๕ ๘๔๖ ๘๔๗ ๘๔๘ ๘๔๙ ๘๕๐ ๘๕๑ ๘๕๒ ๘๕๓ ๘๕๔ ๘๕๕ ๘๕๖ ๘๕๗ ๘๕๘ ๘๕๙ ๘๖๐ ๘๖๑ ๘๖๒ ๘๖๓ ๘๖๔ ๘๖๕ ๘๖๖ ๘๖๗ ๘๖๘ ๘๖๙ ๘๗๐ ๘๗๑ ๘๗๒ ๘๗๓ ๘๗๔ ๘๗๕ ๘๗๖ ๘๗๗ ๘๗๘ ๘๗๙ ๘๘๐ ๘๘๑ ๘๘๒ ๘๘๓ ๘๘๔ ๘๘๕ ๘๘๖ ๘๘๗ ๘๘๘ ๘๘๙ ๘๙๐ ๘๙๑ ๘๙๒ ๘๙๓ ๘๙๔ ๘๙๕ ๘๙๖ ๘๙๗ ๘๙๘ ๘๙๙ ๙๐๐ ๙๐๑ ๙๐๒ ๙๐๓ ๙๐๔ ๙๐๕ ๙๐๖ ๙๐๗ ๙๐๘ ๙๐๙ ๙๑๐ ๙๑๑ ๙๑๒ ๙๑๓ ๙๑๔ ๙๑๕ ๙๑๖ ๙๑๗ ๙๑๘ ๙๑๙ ๙๒๐ ๙๒๑ ๙๒๒ ๙๒๓ ๙๒๔ ๙๒๕ ๙๒๖ ๙๒๗ ๙๒๘ ๙๒๙ ๙๓๐ ๙๓๑ ๙๓๒ ๙๓๓ ๙๓๔ ๙๓๕ ๙๓๖ ๙๓๗ ๙๓๘ ๙๓๙ ๙๔๐ ๙๔๑ ๙๔๒ ๙๔๓ ๙๔๔ ๙๔๕ ๙๔๖ ๙๔๗ ๙๔๘ ๙๔๙ ๙๕๐ ๙๕๑ ๙๕๒ ๙๕๓ ๙๕๔ ๙๕๕ ๙๕๖ ๙๕๗ ๙๕๘ ๙๕๙ ๙๖๐ ๙๖๑ ๙๖๒ ๙๖๓ ๙๖๔ ๙๖๕ ๙๖๖ ๙๖๗ ๙๖๘ ๙๖๙ ๙๗๐ ๙๗๑ ๙๗๒ ๙๗๓ ๙๗๔ ๙๗๕ ๙๗๖ ๙๗๗ ๙๗๘ ๙๗๙ ๙๘๐ ๙๘๑ ๙๘๒ ๙๘๓ ๙๘๔ ๙๘๕ ๙๘๖ ๙๘๗ ๙๘๘ ๙๘๙ ๙๙๐ ๙๙๑ ๙๙๒ ๙๙๓ ๙๙๔ ๙๙๕ ๙๙๖ ๙๙๗ ๙๙๘ ๙๙๙ ๑๐๐๐

๗. คาร์บอนดูดแก๊ส (Gas-adsorbent carbon) ได้มาจากกระบวนการรีดิวซ์ (CO-reduction) วิสลูชันแบบเปลี่นสถานะพ่นขาว ถ่านหิน ไนโตรเจน และกำ การกระตุ้น (activate) ด้วยกระบวนการออกซิเดชัน (partial oxidation) ต่ำ



อากาศร้อนหรือ ไออุ่น ใช้ในการรีโคเวอร (Recovery) ไอจากแก๊สผสม อีกทั้งสามารถรีเจนเนอเรทโดยการรม เหนือสารที่ดูดไว้ออกไป

8. คาร์บอนกรองพิเศษ (Molecular-screening activated carbon) ได้จากกระบวนการพิเศษที่ควบคุมช่องเล็ก ๆ ให้มีขนาด 5-5.5 อังสตรอม (°A) โดยทั่วไปแอคติเวทคาร์บอนจะมีขนาด 14 - 60 อังสตรอม ช่องเล็ก ๆ เหล่านี้จะยอมให้สารพาราฟินไฮโดรคาร์บอน (paraffin hydrocarbon) ผ่าน แต่จะกั้นไอโซพาราฟิน (isoparaffin) ไว้ สามารถใช้ในการแยกสารประกอบอะซิไทลีน (acetylene compound) ได้

9. สารโพลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic polymeric adsorbent) ใช้กรดอินทรีย์ที่ไม่ไวไฟ (Non-flammable organic) จากสารละลายที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ (aqueous solution) การรีเจนเนอเรททำได้โดยการล้าง (leaching) ด้วยอัลกอฮอล์ หรือดีโธลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

10. ซิลิกาเจล (Silica gel) เป็นเม็ดกลมแข็ง ทำจากการตกตะกอนน้ำ (gel precipitation) โดยควบคุม ความชื้นก่อนใช้งานประมาณ 4-7 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในรูปของเม็ดกลม ใช้ในการดูดซับเป็นของเหลว แก๊ส และใช้แยกสารไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) ได้ รีเจนเนอเรทได้โดยการล้างด้วยดีโธล น้ำหนักโมเลกุลต่ำ หรือแอลกอฮอล์ เปลี่ยนแปลงความชื้น

11. โมเลกุลาร์ซีฟ (Molecular sieve) ทำจากการสังเคราะห์ผลึกซีโอไลท์ (Zeolite) เป็นพวกโลหะของลูมิโนซิลิเกต (Metal aluminosilicate) ซึ่งจะมีรูปร่างขนาด โครงสร้างของผลึก จะสามารถกักสารไว้ได้ ขนาดของสารที่สารที่สามารถผ่าน ได้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของรูพรุนของไฮโดรคาร์บอน การรีเจนเนอเรททำได้โดยให้ความร้อน (heating) หรือดีโธล (elution)

การดูดความชื้น ก๊าซ

กระบวนการดูดความชื้นที่สามารถใช้ของแข็งหรือของเหลวได้ ขึ้นอยู่กับการใช้ งานปริมาณแก๊ส จุดน้ำค้าง โดยปกติถ้าต้องการลดจุดน้ำค้างของสายแก๊สลงไป 4๑-5๑ องศาฟาเรนไฮท์ และแก๊สมีปริมาณมาก ๆ เช่น แก๊สธรรมชาติที่มีความดันสูงมักใช้ระบบ ของเหลวเป็นตัวดูดความชื้น ในกรณีที่ต้องการลดจุดน้ำค้างลงไปประมาณ ๕๑ องศา-ฟาเรนไฮท์ ระบบของแข็งและของเหลวสามารถใช้ได้ ถ้าต้องการลดจุดน้ำค้างมากกว่า ๕๑ องศา ฟาเรนไฮท์ จะใช้ระบบของแข็งเป็นการดูดความชื้น

ข้อดีของการใช้ของเหลวเป็นตัวดูดความชื้น

1. จุดน้ำค้างที่ได้ต่ำ
2. ไม่มีปัญหาแก๊สที่ติดไฟ เป็นอันตรายต่อคนปฏิบัติงาน ความดัน ปริมาณ ของ แก๊สเข้า
3. ง่ายต่อการใช้งานและออกแบบง่าย
4. การกักตุนมีน้อย
5. สำหรับแก๊สปริมาณน้อย ๆ ค่าใช้จ่ายจะต่ำกว่า

ข้อเสียของการใช้ของเหลวเป็นตัวดูดความชื้น

1. ลงทุนครั้งแรกสูง
2. สามารถแตกได้ง่าย
3. ความดันลด (Pressure drop) สูง
4. ในการรีเจนเนอเรชันใช้ความร้อนมาก

สารดูดความชื้น

สารดูดความชื้นชนิดของแข็งที่ใช้ทั่ว ๆ ไป ในการดูดน้ำ มีดังต่อไปนี้ [12]

1. ซิลิกาเจล (Silica gel)
2. ซิลิกาเบสเบ็ด (Silica-base beads)
3. แอกทีเวเต็ดอะลูมินา (Activated alumina)
4. อะลูมินาเจลบอลล์ (Alumina gel ball)
5. แอกทีเวเต็ดมอลไซท์
6. โซลิกซ์

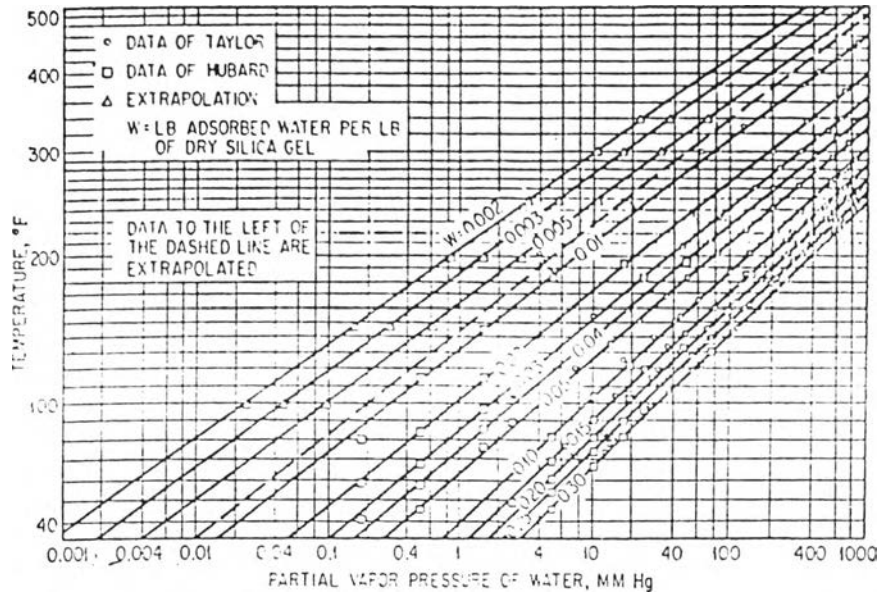
1. ซิลิกาเจล (Silica gel)

ในการอุตสาหกรรมจะมีลักษณะเป็นเม็ดสีเป็นผง ลักษณะแข็งโปร่งแสงเล็กน้อย มีขนาดเฉลี่ย $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ทำมาจากรดกำมะถันปฏิกิริยากับโซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate) กับกรดกำมะถัน ตกตะกอน (Coagulate) เป็นไฮโดรเจล (Hydrogel) นำเจลนั้นมาล้างด้วยโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ยอนแห้งจะได้สารมีรูปร่างยาวขนาดประมาณ 40 มิลลิเมตร องค์ประกอบทางเคมีแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาเจลในทางอุตสาหกรรม [12]

Silica (SiO_2)	99.71 percent
Iron as Fe_2O_3	0.03
Aluminium as Al_2O_3	0.10
Titanium as TiO_2	0.29
Selenium as Na_2O	0.02
Calcium as CaO	0.01
Zirconium as ZrO_2	0.01
Trace elements	0.03

การดูดซับน้ำของสารคาร์บอน (CO₂) ที่ 1.75๕ องศาฟาเรนไฮต์ สูงกว่า ปริมาณ ๑.๑ เปอร์เซ็นต์ สมบัติความชื้นย่อย (partial pressure) แสดงในรูปที่ ๒.๒1



รูปที่ ๒.๒1 ความชื้นของสารซิลิกาเจล เพื่อใช้ศึกษาเจดที่ดูดซับน้ำ ในปริมาณต่าง ๆ ตั้งแต่ 0.003

๒. ซิลิกาเจล (Silica-gel beads, Mobil Sorbeed)

เป็นสารที่มีขนาด ๑/๓๒ ถึง ๑/๑๖ มิลลิเมตร ใช้สำหรับดูดซับน้ำได้สูงถึง ๒๕ เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งประมาณ ๒.๑๔ นิ้ว มีคุณสมบัติที่ดีในการดูดซับสูงกว่า ๑×10^6 ตารางฟุตต่อปอนด์ ความสามารถในการดูดซับเหมือนกับซิลิกาเจล แต่เนื่องจากมีขนาดหน้าตัดที่ต่ำกว่า จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับต่อปริมาตรสูงกว่า อย่างไรก็ตามที่จุดอ่อนของสารนี้ อยู่กับการสัมผัสกับกรดน้ำจึงต้องเพิ่มเฟอริลเรซินแทนที่ (Buffer desiccant) ใส่ไว้ที่หน้าของเร้าแก้ว เช่น โมบิลซอร์เบ็ดดีเพนดีท (Mobil Sorbeed W)

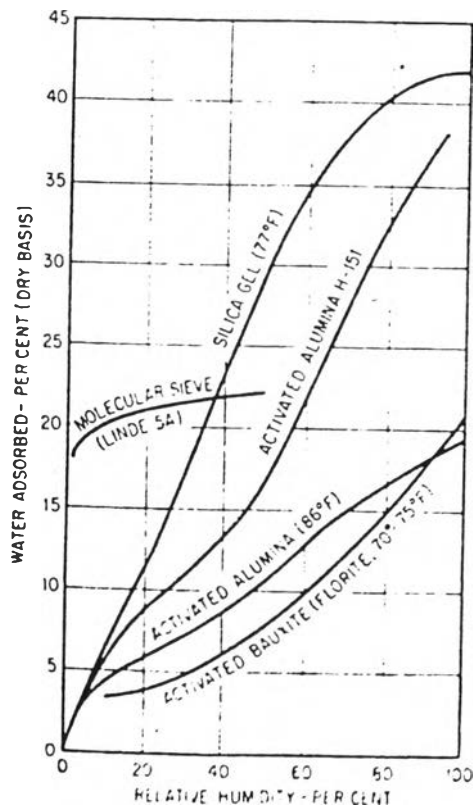
๒. แอลูมินาที่กระตุ้น (Activated alumina)

เป็นสารดูดซับน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถดึงน้ำออกจากอากาศได้ถึง ๒๐ เปอร์เซ็นต์ ความหนาแน่น (๑.๓๖ กรัมต่อซี.ซี.) ปริมาณน้ำที่ดูดซับต่อกรัม (๑.๑๖)

เม็ดสาร ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ รูปที่ 2.22 แสดงความสามารถของแอกติเวทอะลูมินา

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางเคมีของแอกติเวทอะลูมินา [12]

Alumina (Al_2O_3)	92.00 percent
Loss on ignition (H_2)	6.50
Soda (Na_2O)	0.90
Ferric oxide (Fe_2O_3)	0.08



Equilibrium capacity of solid adsorbents versus relative humidity. Silica-gel, data from Davison Chemical (2); Activated Alumina, data from Aluminum Company of America (4); activated bauxite, data from Amoro et al (7); molecular sieve, data from Union Carbide Corp. (6)

รูปที่ 2.22 สมดุลระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับความจุของสารดูดซับชนิดต่าง ๆ [12]

4. อะลูมินาเจลบอลล์ (Alumina-Gel Balls, Alcoa Activated)
Alumina H-151)

ผลิตจากการผสมสารละลายโซเดียมอะลูมิเนตกับสารละลายโซเดียมโบ-
คาร์บอเนต และกรอง ล้าง อบแห้ง ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของสารนี้อยู่ในช่วง 1/8
และ 1/4 นิ้ว ความสามารถในการดูดน้ำจะสูงกว่าแอคติเวทเต็ดอะลูมินาแบบเก่า ดังแสดง
ในรูปที่ 2.22 องค์ประกอบของสารนี้แสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 องค์ประกอบทางเคมีของอัลโค เอช-151 [12]

Al_2O_3	93.0 percent
Ca_2O	1.4
Fe_2O_3	0.1
SiO_2	1.1
Loss on ignition	6.0

5. แอคติเวทเต็ดบอกไซด์ (Activated Bauxite)

มีสีน้ำตาลแกมแดง ทำจากแร่บอกไซด์ ที่ให้ความร้อนและควบคุมสภาวะให้
น้ำระเหยจากไฮเดรทอะลูมินา (hydrated alumina) องค์ประกอบหลักของแร่บอกไซด์
เป็นอะลูมินาไตรไฮเดรท (alumina trihydrate) องค์ประกอบหลังจากผ่านกระบวนการ
แสดงในตารางที่ 2.9 ข้อดีของการใช้แอคติเวทเต็ดบอกไซด์ คือราคาต่ำเมื่อเทียบกับ
สารดูดความชื้นตัวอื่นที่สังเคราะห์ขึ้น ไม่มีปัญหาเมื่อมีหยดน้ำติดเข้าไปในแก๊สขาเข้า
เนื่องจากราคาต่ำจึงสามารถออกแบบให้แก๊สขาออกมีจุดน้ำค้างต่ำมาก ข้อเสียของสารนี้
คือ ความสามารถในการดูดน้ำต่ำ ดังรูปที่ 2.22

ตารางที่ 2.9 องค์ประกอบทางเคมีของแอกติเวเต็ดบอกลไซต์ [12]

Al_2O_3	70-75 percent
Fe_2O_3	3-4
SiO_2	11-12
TiO_2	3-4
Volatile (Water)	4-6

6. โมเลคูลาร์ซีฟ (Molecular sieve)

ความสามารถพิเศษคือ สามารถดูดซับที่มีโมเลกุลเล็ก ๆ ได้และปล่อยโมเลกุลใหญ่ไว้ สามารถดูดซับได้ดีในกรณีที่มีความเข้มข้นของแก๊สขาเข้าต่ำ องค์ประกอบเป็นพวกผลึกของโซเดียม โปตัสเซียม และแคลเซียม อะลูมิโนซิลิเกต ที่ทำการกระตุ้นด้วยการไล่น้ำออกจากผลึกด้วยความร้อน ขนาดของรูมีขนาดเล็กมาก (12-50 billionth of an inch in diameter) คุณสมบัติของโมเลคูลาร์ซีฟทั้ง 5 แบบของบริษัทยูนิยคาร์ไบต์ แสดงในตารางที่ 2.10 ทุกแบบเหมาะสำหรับดูดความชื้นจากแก๊ส แต่ตัวสารนี้มีราคาสูงกว่าทั้ง 5 แบบที่กล่าวมา ข้อดีของการใช้สารนี้ (Molecular sieve)

1. มีความสามารถในการดูดความชื้นได้ถึงแม้ว่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ (low relation humidity)
2. สามารถใช้กับแก๊สที่อุณหภูมิสูงได้
3. สามารถเลือกดูดน้ำและสารอื่นพร้อมกันได้
4. สามารถใช้กับการอบแห้งแบบไม่มีความร้อนถ่ายเทออกจากระบบ (adiabatic drying)
5. ให้จุดน้ำค้างต่ำ
6. ไม่เสียหายเมื่อมีหยดน้ำติดมา

ตารางที่ 2.10 โมเลกุลสารชนิดต่าง ๆ [12]

Basic type	Nominal pore diameter angstroms	Bulk density of pellets lb/cu ft	H ₂ O capacity (%wt) [*]	Molecules adsorbed (typical) [†]	Molecules excluded	Typical applications
1X	3	47	20	H ₂ O, NH ₃	Ethane and larger	Dehydration of unsaturated hydrocarbons
2X	4	45	22	H ₂ S, CO ₂ , SO ₂ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₈ , C ₄ H ₁₀	Propane and larger	Static desiccant in refrigeration systems, etc. Drying capacity 5 adsorption
3X	5	43	21.5	n-C ₄ H ₁₀	Isocompounds 4 carbon rings and larger	Separation of ethylene from ethane and propane
10X	8	36	28	Isoparaffins and olefins	Di-n-butylamine and larger	Aromatic hydrocarbon separations
13X	10	38	28.5	Di-n-propylamine	(C ₂ F ₆), N ₂ and larger	Coadsorption of H ₂ O, H ₂ S and CO ₂

^{*}Pounds H₂O/100 lbs activated adsorbent at 17.5 mm Hg partial pressure and 25°C, adsorbent in pellet form
[†]Each type adsorbs listed compounds plus those of all preceding types

ตารางที่ 2.11 คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของสารดูดความชื้น [12]

Physical properties	Type of desiccant (typical commercial products)					
	1 Silica gel (2) (Davison 03)	2 Silica-base beads (3) (Mobil Sorbead R)	3 Activated alumina (4) (Alcoa grade F-1)	4 Alumina-gel balls (4) (Alcoa grade H-157)	5 Activated bauxite (5) (Fluorite)	6 Molecular sieve (6) (Linde 4A & 5A)
True specific gravity	2.4-2.2	—	3.9	3.1-3.3	3.4-3.5	—
Bulk density, lb/cu ft (500°C)	18-25	40	65-68	51-53	50-52	20-21
Apparent specific gravity	1.2	—	1.6	—	1.6-2.0	1.1
Moisture percent	50-65	—	5-1	65	55	—
Specific heat, Btu/lb(°F)	0.22	0.25	0.24	—	0.24	0.2
Electrical conductivity	—	—	1.0(1000°F)	—	1.0(5000°F)	—
Heat conductivity, Btu/in(1000°F)	1.0	—	1.45(2000°F)	—	4.5(5000°F)	—
Water content at 100°C/100 mm Hg	4-5.7	—	6	6.0	4	varies
Reactivation temperature, °F	250-290	300-290	150 (400)	150-150	350	300 (400)
Particle shape	granular	spherical	granular	spherical	granular	cylindrical pellets
Surface area, Sqm/gram	—	690	210	390	—	—
Static sorption at 60% RH, %	35	33	14-16	22-25	10	22