

# 합성석유 제조 공정

## 제 1 절 합성석유 개요

- 합성석유 제조 공정 분야는 석탄 가스화, 탈황, CO<sub>2</sub> 분리 등의 과정을 거쳐 만들어진 합성가스를 Fisher-Tropsch 등의 공정을 통하여 디젤을 위주로 한 가솔린, 올레핀 등의 합성석유를 제조하는 것에 관한 것이다.
- 최대한 빠른 시일 내에 상용화 수준에 도달하기 위하여 Fe계 촉매, 고정층 반응기, 최소화한 recycle loop 사용 등이 제안되었으며, 경제성의 확보를 위하여 고효율 촉매 (one-through conversion) 개발이 핵심으로 부각되었다.

## 제 2 절 세부 기술

### 2. 1 세부 기술 분류

#### 1. F-T synthesis

- A. 촉매
- B. 반응공정 (반응기 type, 기타 신개념 반응기)

#### 2. Synthesis gas adjustment

- A. Water gas shift reaction
- B. Methane reforming (F-T 생성물인 C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> 의 재활용)
- C. CO<sub>2</sub> removal

#### 3. Upgrading of gasoline-range F-T products

- A. Isomerization by solid-acid catalysts
- B. Reforming by Pt/alumina

#### 4. Upgrading of diesel-range F-T products; Hydroisomerization

#### 5. Oligomerization of light olefins to diesel/gasoline

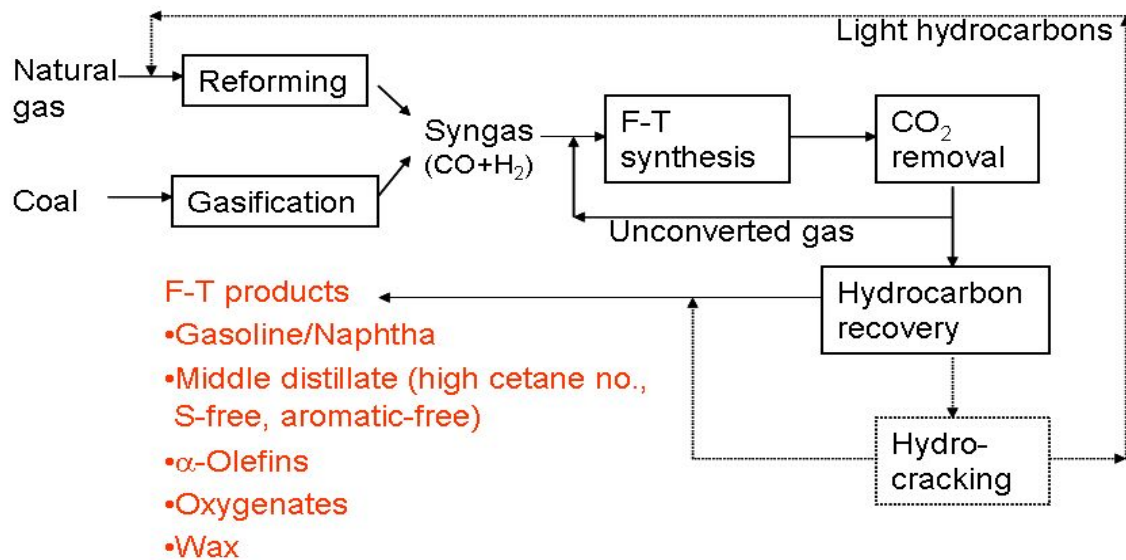
#### 6. Hydrocracking of waxes into diesel-range hydrocarbons

#### 7. New technology (modified F-T synthesis)

- eg. F-T and isomerization/aromatization/oligomerization in one reactor, supercritical reactor for easy dewaxing.

## 2. 2 공정 소개

- 본 보고서에서의 합성석유는 석탄을 가스화하여 합성가스(synthetic gas, Syngas)를 만든 후, 1923년에 독일 과학자 Fisher와 Tropsch에 의해 개발된 Fisher-Tropsch합성(F-T합성/반응)기술을 사용하여 제조하는 액체연료를 의미하며, 이러한 과정을 총체적으로 'coal to liquids (CTL)기술이라 한다(그림 36). CTL외에 GTL(gas to liquids)로 천연가스를 원료로 하여 크래킹을 통한 에틸렌을 올리고머화(oligomerization)하는 非F-T합성법으로도 합성석유 제조도 가능하다. 합성석유는 기존에 원유를 정제하여 얻은 모든 석유 제품을 석탄으로부터 얻을 수 있는 장점이 있다.



[그림 1] 석탄가스화를 통한 합성석유 제조 흐름도

- 제조된 합성석유는 가솔린/납사, 디젤(높은 세탄가, 무황, aromatic-free), α-올레핀(에틸렌, 프로필렌, 부틸렌), oxygenates, 왁스 등의 제품군으로 이루어져 있으며, 이들은 일차적으로 높은 선택성을 위하여 제조되며(합성가스 조절 및 F-T 공정조건), 이차적으로는 목적에 따라 분리(separation), 개량(upgrading, 올리고머화, 그리고 크래킹) 된 후 사용된다.
- F-T합성공정은 2차 세계대전 중에 사용할 액체연료 확보가 필요했던 일과 인종차별 정책으로 인하여 석유 금수조치를 당한 남아프리카공화국 등 액

체연료 조달에 어려움이 있었던 시기와 국가에서 전략적으로 사용되기 시작했다. 이러한 이유로 현재 에너지 자급율 3%, 고유가 시대, CO<sub>2</sub> 배출 제한에 관한 Kyoto Protocol 발효 등에 처한 시기에 우리나라에서 우선적으로 고려해야 할 분야로 판단된다.

- 기술적으로 많은 진보가 이루어져 있지만 Chevron, Shell, ExxonMobile, Syntroleum, Rentech, ConocoPhillips, BP, Synfuels 등 후발업체에 의해서도 활발한 반응촉매 및 공정이 개발되고 있는 양상에서, 국내에도 촉매개발에 우수한 인력과 기반시설을 갖추고 있어 기존 보다 더 우수한 신규 촉매를 개발할 수 있는 잠재력을 가지고 있으며, F-T 반응 촉매 및 반응공정 기술에 있어 산업재산권을 가질 경우 한국도 CTL의 핵심 기술을 보유하는 국가가 될 수 있을 것이다. CTL에 있어서 후발주자인 우리나라 업체는 기술을 보유한 외국회사와 협력할 것이 바람직할 것이나, 이 경우 지불해야 하는 높은 기술료도 부담이 된다. 초기에는 기술도입이 불가피 하겠으나, 차후 유리한 조건의 CTL 사업 진출을 위하여 하루빨리 CTL 기술개발에 투자하여 핵심기술의 산업재산권 획득을 할 필요가 있다고 판단된다.

<표 1> 연료 명칭과 조성의 정의

| 연료 명칭                   | 약 자           | 조 성                               |
|-------------------------|---------------|-----------------------------------|
| Fuel gas                |               | C <sub>1</sub> - C <sub>2</sub>   |
| LPG                     |               | C <sub>3</sub> - C <sub>4</sub>   |
| 가솔린 (gasoline)          |               | C <sub>5</sub> - C <sub>12</sub>  |
| 납사 (naphtha)            |               | C <sub>8</sub> - C <sub>12</sub>  |
| 등유 (kerosene)           | Jet fuel      | C <sub>11</sub> - C <sub>13</sub> |
| 경유 (diesel)             | Fuel oil      | C <sub>13</sub> - C <sub>17</sub> |
| 중유 (middle distillates) | Light gas oil | C <sub>10</sub> - C <sub>20</sub> |
| Soft 왁스 (wax)           |               | C <sub>19</sub> - C <sub>23</sub> |
| Medium 왁스 (wax)         |               | C <sub>24</sub> - C <sub>35</sub> |
| Hard 왁스 (wax)           |               | C <sub>35</sub> <sup>+</sup>      |

- 국가 에너지안보 차원에서의 기대효과를 열거하면 다음과 같다.
  - \* 국내 CTL 사업을 통해서 1차에너지 중 석유 의존도를 현저히 낮출 수 있고 (2004년 의존도: 45.6%)
  - \* 저가의 합성석유 사용 가능으로 외화 지출이 절약되며 (2004년 연간 수

입량: 8.26억 bbl, 278억 달러, 2005년 평균유가 50달러/bbl 의 경우 400억 달러 이상 예상, 8%를 CTL 합성연료로 대체 시 연간 약 13억 달러 절약. (그림 47 참조)

- \* CTL에 의한 수송용 청정 합성 연료의 생산 및 이의 보급으로 대기환경이 개선되고 (유황성분/방향족이 없고, 매연/질소산화물 낮아지면, 기존 제품에 비해 대기산성화도 감소, PM 배출 저감, 열효율 증가에 의한 CO<sub>2</sub> 저 배출. 탄소세부가 예상치 약 \$30/톤-CO<sub>2</sub> 또는 \$135/톤-C)
- \* 미래의 탈석유 시대에 적극적인 현실적 대비가 가능하다. (대체에너지로의 전환 중간단계로 화석연료 사용의 다변화 시대 도래 예상됨)

<연도별 에너지수입액>

(단위 : 억\$)

| 구 분     | 1981  | 1990  | 2000  | 2002  | 2003  | 2006(잠정) |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 에너지수입액  | 77.6  | 109.2 | 378.9 | 322.9 | 383.1 | 667      |
| 에너지/총수입 | 29.7% | 15.6% | 23.6% | 21.2% | 21.4% | 25.5%    |
| 수입의존도   | 75.0% | 87.9% | 97.2% | 97.3% | 96.9% | 96.4%    |



[그림 2] 연도별 에너지 수입관련 정보  
(출처: 에너지관리공단)

## 2. 3 세부 기술 소개

### 2. 3. 1 F-T synthesis 촉매

#### o 촉매

##### \* F-T 촉매 기술의 개요

- F-T 반응에 활성이 있는 금속들로는 Fe, Ni, Co, Ru 등이 있다.
- 상기의 금속 중 Ru은 상용촉매로 사용하기에는 너무 고가이고(Fe의 50,000배), Ni은 메탄 생성율이 너무 높아 상업적으로는 Fe과 Co 만이 사용된다.
- 초기에는 Fe계 촉매가 주로 사용되었으나 최근에는 높은 활성, 긴 수명, 높은 액체연료 선택성 등의 장점 때문에 Co 촉매가 대세를 이루는 추세이다.
- 국내에서도 이산화탄소의 수소화 또는 CO<sub>2</sub>-rich 합성가스의 F-T 변환을 위해서 Fe계 촉매가 개발되어 산업재산권을 확보한 바 있으며 pilot scale 수준에서 시험된 바 있다.

##### \* Fe 계 촉매의 특징

- Fe 촉매는 F-T 촉매 중에서 가장 저가이며 메탄의 생성이 고온에서도 낮은 편이며 탄화수소 중 올레핀의 선택성이 높은 편이다.
- 제품은 연료로의 용도이외에 올레핀의 생성이 많은 이유로 경질올레핀이나 알파올레핀의 부산물이 생성되어 화학산업 원료로 사용되며, 탄화수소이외에도 알콜, 알데히드, 케톤과 같은 oxygenates 생성 부산물이 많다.
- Sasol 의 왁스 생산을 위해 주로 사용되고 있는 저온 FT 철계 상용 촉매는 Cu와 K의 성분이 조촉매로 함유되어 있으며 SiO<sub>2</sub>가 바인더로 사용되고 있으며 침전법으로 제조된다.
- Sasol 의 고온 FT 촉매는 마그네타이트와 K, 알루미늄, MgO 등을 용융시켜 제조한다.
- 철계 촉매는 사용 전에 반드시 수소나 합성가스로 환원처리 되어야 한다.

<표 2> Fe 촉매의 F-T산업에의 이용

| 항목    | Fixed bed   | Fluid bed  |
|-------|---|--|
| 생산물   | 주로 왁스   | 주로 선형 $\alpha$ -올레핀 C <sub>2</sub> -C <sub>8</sub>   |
| 조건    | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Low Temp. (~230°C) ~ 25 bar</li> <li>● High gas velocity, 2:1 recycle ratio</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>● High Temp. (~340°C) ~ 25 bar</li> <li>● H<sub>2</sub>/CO ratio ~ 4 (combined feed)</li> </ul>   |
| 촉매 특성 | <ul style="list-style-type: none"> <li>● High activity for low temperature to obtain a high alpha products</li> <li>● Pores: wide for easy mass transfer</li> <li>● Size of particles: relatively large (e.g. d<sub>p</sub> ~ 5 mm) for low pressure drop</li> <li>● Mechanical strength: high</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Low activity for high temperature operation</li> <li>● Small particles (e.g. d<sub>p</sub> ~ 5 <math>\mu</math>m) for fluid bed</li> <li>● Low porosity, small pores (only volatile products)</li> <li>● Mechanical strength for low attrition</li> </ul> |
| 촉매 조성 | Fe/Cu/K <sub>2</sub> O/SiO <sub>2</sub><br>(Cu for reduction promotion, SiO <sub>2</sub> for wide pores and mechanical strength)  | 100Fe-0.5K <sub>2</sub> O (some Cu, some structural promoters as Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, MnO)  |
| 촉매 제조 | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Iron oxide/hydroxide from the nitrate solution</li> <li>● Extruding</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Fusion of iron oxides, promoters to the flux</li> <li>● Milling to small particles</li> </ul>   |
| 전처리   | Drying, reduction with H <sub>2</sub>   | Reduction before use   |

\* Co 계 촉매의 특징

- Co 촉매는 Fe 촉매에 비해 고가인 단점이 있다. (철촉매의 200배)
- Co 촉매는 높은 활성과 긴 수명 그리고 CO<sub>2</sub> 생성이 낮으면서 액체 파라핀계 탄화수소의 생성 수율이 높은 강점이 있다.

<표 3> Co 촉매의 F-T산업에의 이용

| 항목    | Fixed bed  | Slurry phase   |
|-------|--|--|
| 생성물   | 주로 왁스  | 주로 왁스  |
| 조건    | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Low Temp. (~220°C) ~ 20 bar</li> <li>● H<sub>2</sub>/CO &lt; 2.0 for CO-rich tail gas (to avoid High methane selectivity)</li> <li>● High Conversion per pass (No product inhibition by H<sub>2</sub>O)</li> <li>● Multitubular reactor (tube diameter &lt; 4 cm) trickle phase</li> </ul>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Low Temp. (~220°C) ~ 20 bar</li> <li>● "Churn turbulent flow" of bubbles through the suspension of catalysts</li> <li>● Catalyst distribution in the reactor                             <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Sasol: homogeneously over the reactor height</li> <li>◆ Exxon: decaying concentration with height of reactor</li> </ul> </li> </ul>   |
| 촉매 특성 | <ul style="list-style-type: none"> <li>● High activity for low temperature operation for "High alpha products"</li> <li>● Size of particles rather large for low pressure drop (d<sub>p</sub> ~5 mm)</li> <li>● Egg shell - (or rim-) catalysts, because of low effectiveness factor (pores are liquid filled) (Exxon developments)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Activity: high for low reaction temperature</li> <li>● Pores: wide for easy mass transfer (liquid filled pores)</li> <li>● Size of particles:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Not too small for easy separation from the liquid phase</li> <li>◆ For Sasol approach: rather small for equal distribution in the reactor</li> <li>◆ For Exxon approach: not so small for decreasing catalyst concentration with the height</li> </ul> </li> </ul> |
| 촉매 조성 | Co-ZrO <sub>2</sub> (TiO <sub>2</sub> , Re)-Ru(Pt)<br>Support (SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub> )  | Co-ZrO <sub>2</sub> (TiO <sub>2</sub> , Re)-Ru(Pt)<br>Support (SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub> )  |
| 촉매 제조 | Firstly making the support with a wide porosity (e.g. kneading of SiO <sub>2</sub> -particles together with silicagel, drying) then sequential impregnation with cobalt and promotors  | Various methods: <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Coprecipitation</li> <li>◆ Kneading and impregnation</li> <li>◆ Sol-gel method</li> <li>◆ Spray drying</li> </ul>  |

- Co 촉매는 CO<sub>2</sub> 가 다량 포함된 합성가스에서는 활성이 낮아지는 문제가 있다.
- Co 촉매는 고온에서는 CH<sub>4</sub> 을 다량 생산하는 문제가 있어 저온 촉매로만 사용이 가능하다.
- Co 촉매는 고가인 이유로 알루미나, 실리카, 티타니아 등의 고표면적의 안정적인 지지체 위에 잘 분산시켜야 하며 소량의 Pt, Ru, Re 등의 귀금속 조촉매가 첨가된다.

\* 촉매 기술 개발 전략

- 석탄의 가스화에 의해 얻어지는 합성가스는 천연가스로부터 얻어지는 합성가스에 비해 원료의 특성상 CO<sub>2</sub>의 함량이 높다.
- Fe계 촉매가 석탄으로부터 얻어지는 (CO<sub>2</sub>의 함량이 높은) 합성가스에 적절한 것으로 보인다.
- Fe계 촉매에는 K, Cu 등의 조촉매 성분과 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> 등의 지지체가 필요한데 이의 조성비에 의해 촉매의 활성뿐만 아니라 생성물의 분포에도 영향을 미친다.
- 반응가스인 합성가스의 조성에 따라 촉매의 최적 조성비도 다르게 설계되고 제조되어야 한다.
- CTL의 F-T 반응용 촉매개발에 있어서 이산화탄소의 수소화 또는 CO<sub>2</sub>-rich 합성가스의 변환을 위해서 Fe계 촉매의 개발 경험 및 노하우를 최대한 활용할 수 있을 것이다.
- Co계 촉매도 적절한 조촉매 성분의 첨가에 의해서 단점인 CO<sub>2</sub>에 의한 비활성화 문제도 보완되면서 촉매의 활성, 선택성, 안정성이 우수한 특성을 살릴 수 있다.
- Co 촉매는 고가인 관계로 나노크기의 금속입자를 넓은 비표면적의 지지체가 잘 분산시켜서 경제적이면서 높은 활성을 갖는 촉매를 개발하도록 한다.
- 연구개발을 통해서 생산하고자 하는 제품과 합성가스 조성, 반응기 형태에 따라서 최적의 촉매를 제공할 수 있는 촉매 설계 기반을 확립하고 이에 따른 신규 촉매를 개발하여야 한다.
- CTL에 있어서 핵심기술인 F-T 반응용 촉매와 반응기 기술에 있어서 가능한 한 수많은 산업재산권을 확보함으로써 차후 도입이 예상되는 CTL 공장에 부분적으로 국내 개발 기술을 대체하는 전략을 취할 필요가 있다.
- 국내기술개발에 의한 핵심기술의 보유 전략을 통해서 향후 CTL 사업의 전개에 있어서 해외 기술보유사와 좀 더 유리한 조건에서 협상하여 막대한 기술료의 손실을 방지하게 할 수 있을 것이다.



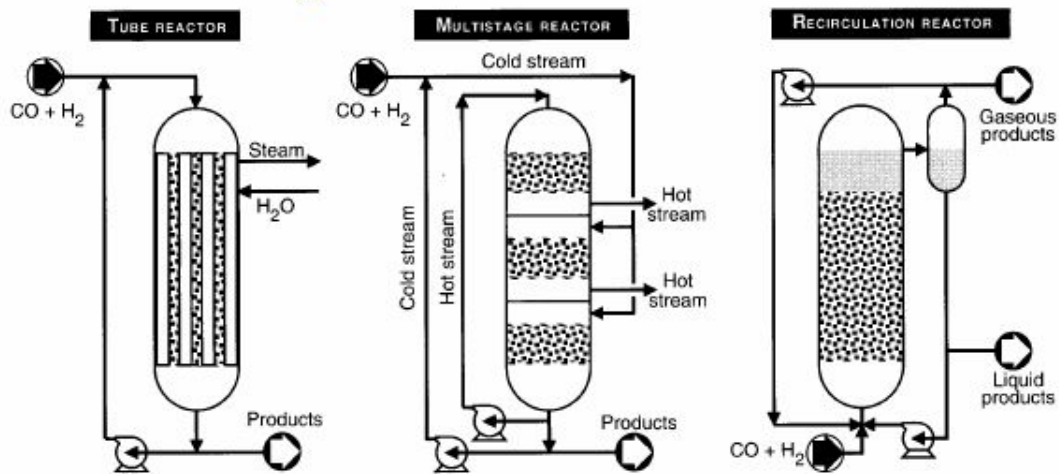
### 3. 3. 2 FT 반응공정

- o 고정층반응기 (Fixed Bed, Arge 공정)
  1. 내부 냉각형 다중관형 고정층 (multi-tubular fixed-bed with internal cooling) 반응기
  2. 다중관형 고정희박층 (multi-tubular fixed-bed trickle bed) 반응기

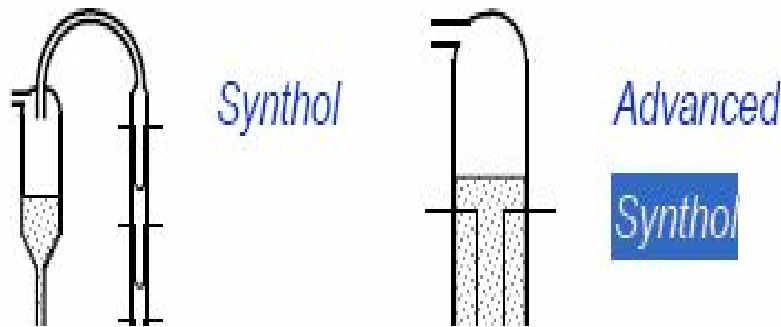
<표 4> 고정층 반응기의 산업적 이용

| 회사         | 나라       | 기술회사   | 연구년도      | 비고   |
|------------|----------|--|-----------|--|
| Sasol      | 남아공      | Low Temperature FT : Arge Reactor(tubular fixed bed) | 1990~     |  |
| CUTEC      |          | trickle-fixed-bed reactor TFBR                       | 2003      |  |
| RTI        | USA      | Fixed Bed Reactor                                    | 2003      |  |
| BASF       | China    | 74(X13ton) fixed bed reactors                        |           | The plant was removed due to oil field discovery in 1960s in China |
| BASF       | China    | Fixed bed reactor with about 2000 tubes              | 1990-1993 | Demo   |
| Shell      | Malaysia | multi-tubular fixed bed                              | 1993      | Waxes, chemicals, diesel; 최근 개조                                    |
| BP         |          | Fixed bed  | 2003      | Demo   |
| Syntroleum |          | Fixed-bed or fluid-bed F-T                           | 2005      |  |

- o 순환유동층 반응기 (Circulating Fluidized Bed, Synthol 공정)
  1. Synthol : 남아공의 Sasolburg에 설치한 CFB 반응기
  2. Sasol Advanced Synthol (SAS, Fixed Fluidized Bed, 1989년~) : Sasolburg 에 설치된 CFB를 FFB로 생산라인에 도입. Secunda에 있던 2세대 CFB반응기
    - 16대를 FFB 8대로 교체 (1995년 ~ 1999년)

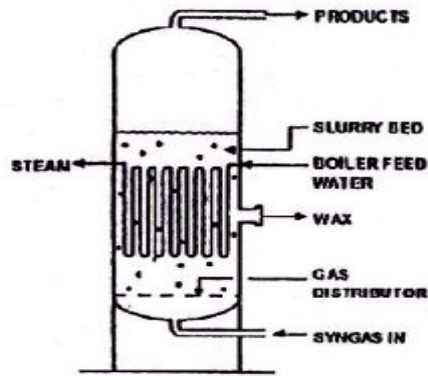


[그림 3] 고정층반응기의 개념도



[그림 4] Synthol 및 Sasol Adv. Synthol(SAS)의 개념도

- 슬러리층 정류반응기(Slurry Bubble Column or Three Phase Bubble Column)
  1. 1950년대 저온 F-T합성에의 응용연구 시작이후, 1993년 내경 5m의 반응기 하나가 Sasol 라인에 도입되었다.
  2. 기체 상태인 합성가스, 액상인 왁스, 고체인 촉매의 3상이 존재한다.
  3. 반응기 계열의 투자비가 다중 관형의 25%정도이며, 반응기 압력강하가 약 25%로 가스 압축비용이 작으며, 촉매 충전양도 약 1/4이다. 가동 중 촉매를 제거/첨가할 수 있어 반응기 가동시간이 길다.
  4. 국지적 고온현상과 왁스와 미세한 촉매와의 분리 문제를 주의해야 한다. (Sasol은 매우 효율적인 촉매/왁스 분리 시스템을 개발하였다고 발표했으나, 자세한 내용은 알려지지 않음.)



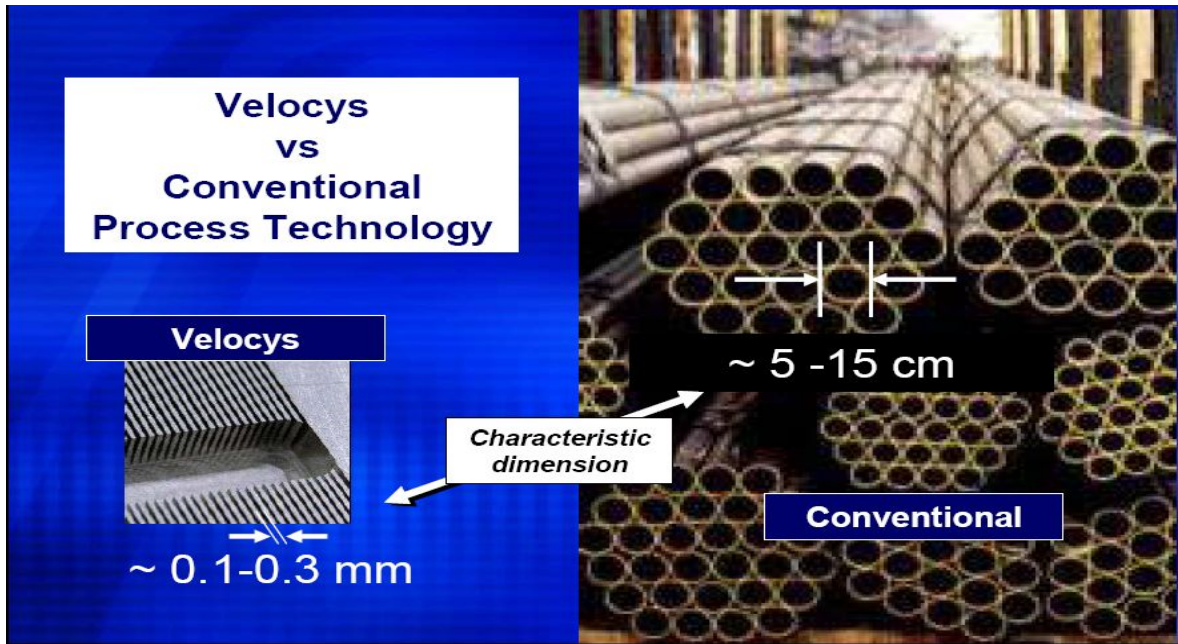
[그림 5] 슬러리형 반응기의 개념도

<표 5> 슬러리층 정류 반응기의 산업적 이용

| 회사                       | 나라     | 반응기<br>직경 | 용량                     | 설치년도     | 비고   |
|--------------------------|--------|-----------|------------------------|----------|--|
| Sasol                    |        |           | 1~2 bpd                |          | pilot  |
| Sasol                    |        | 1 m       | 100 bpd                |          | Demo   |
| Sasol                    |        | 5 m       | 2,500 bpd              | 1993 May | Commercial   |
| Sasol<br>ConocoPhillips) | Quatar | 11 m      | 15,000 bpd             | 2006     | \$850 MM<br>in Construction  |
| Bureau of<br>Mines       | USA    |           | 50~70 bpd              |          | 네 번의 조업 후 종료   |
| CEA                      | France |           | 15,000 bbl/j<br>gasoil |          |  |
| China                    | China  | ~ 5.5m    |                        | 1997     | Demonstration plant<br>(Synfuels<br>China+industries)<br>Diesel 70% Naphtha<br>18% LPG 12% |
| ExxonMobil               |        |           | 200 bpd                | 1996     | pilot  |

o 고정층 미세관 반응기 (Micro Channel Fixed Bed)

1. 기술개발회사 : Velocys
2. 0.1~0.3 mm × 2~3 cm의 소형 channel내로 반응과 냉각수가 밀접하게 연결, 실험실 적용단계
3. 소형반응실험을 channel을 증가시키는 방식으로 모듈식으로 대형화, 초기 투자비 저렴하다.



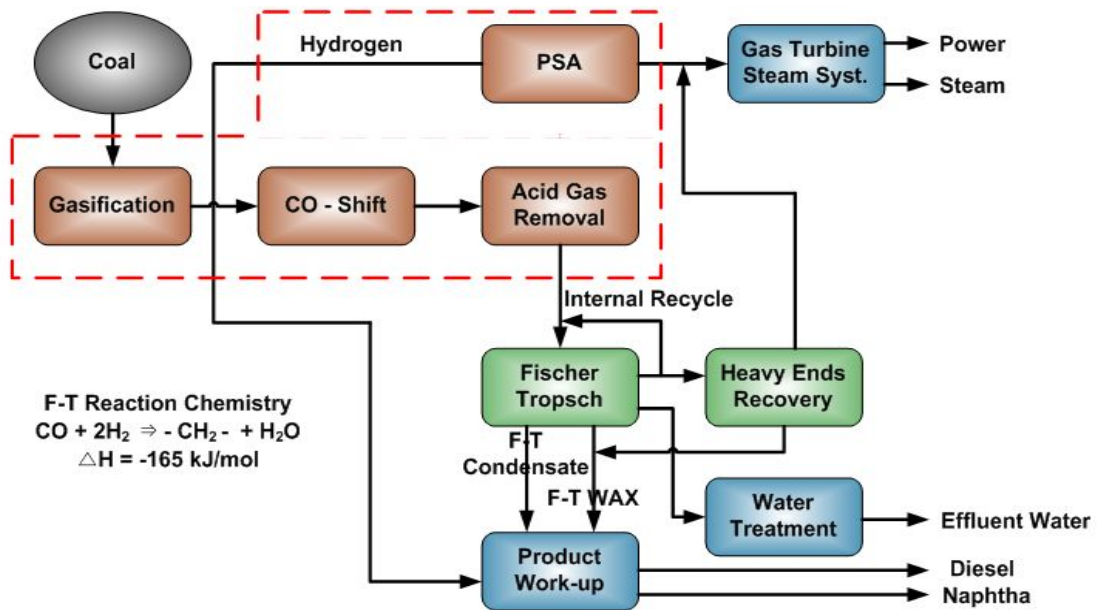
[그림 6] Microchannel fixed bed와 기존의 fixed bed의 비교

<표 6> 건설 중이거나 계획 중인 플랜트

| 회사                       | 나라              | 도시            | 기수 | 용량                | 설치년도          | 비고                                      |
|--------------------------|-----------------|---------------|----|-------------------|---------------|---|
| SASOL<br>Chevron         | Nigeria         | Escravos      | 2  | 17,000 bpd        | 2006          | \$1200 MM<br>Chevron Nigeria            |
| Sasol<br>ConocoPhillips) | Quatar          | Ras<br>Laffan | 2  | 15,000 bpd        | 2006          | \$850 MM<br>in Construction             |
|                          | China           | Shenhua       | 2  | 3.2 MMt/yr        | 2006-<br>2007 | Comm. Sasol technology<br>(tendency)    |
| ExxonMobil               | Qatar           |               |    | 100,000 bpd       |               | Study or Planning Stage...              |
| Shell                    | Egypt           |               |    | 75,000 bpd        |               | Study or Planning Stage...<br>\$1700 MM |
| Statoil                  | South<br>Africa |               |    | 1,000 bpd         |               | Study or Planning Stage...              |
| Syntroleum               | Peru            |               |    | 5,000 bpd         |               | Study or Planning Stage...              |
| Syntroleum               | Australi<br>a   |               |    | 11,500 bpd        |               | Study or Planning Stage...<br>\$600 MM  |
|                          | Bolivia         |               |    | 10,000 bpd        |               | Study or Planning Stage...              |
|                          | Chile           |               |    | 10,000 bpd        |               | Study or Planning Stage...              |
|                          | Iran            |               |    | 40,000~70,000 bpd |               | Study or Planning Stage...              |
| Shell                    | Qatar           |               |    | 75,000 bpd        | 2003          | the engineering                         |

### 3. 3. 3 Synthesis gas adjustment

- o 합성가스로부터 액체연료나 화학제품을 제조하는 F-T공정은 사용하는 온도 범위나 촉매 등에 따라 조성비가 다른 합성가스가 필요하며, 주로 H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>와 CH<sub>4</sub>의 혼합물인 실질적 합성가스의 실제 조성은 공정 조건과 사용하는 개질기나 가스화기의 형식에 따라 변하기 때문에 F-T공정 전에 합성가스 조절 (syngas adjustment)은 매우 중요하며, 아래 그림 52에서 점선으로 표시된 부분으로 확인할 수 있다.
- o 일반적인 이론에 따르면 철촉매를 사용할 경우 저온에서는 H<sub>2</sub>/CO의 비가 1.7, 고온에서는 H<sub>2</sub>/(2CO+3CO<sub>2</sub>)의 비가 약 1.05가 요구되며, 코발트 촉매가 사용될 경우 저온에서 H<sub>2</sub>/CO 비는 2.15가 요구된다. 메탄 개질에는 탄소의 약 20%가 이산화탄소로 전환되지만 수소 함량이 아주 작은 석탄의 가스화에서는 약 50%에 이른다. 또한 미반응/생성산물인 C<sub>1</sub>~C<sub>2</sub> 물질의 재활용이 요구된다.



[그림 7] 국외 회사의 F-T 합성을 동반한 석탄가스화 반응 공정도

- o F-T 공정을 위한 합성가스의 조성 조절을 위한 반응에는 H<sub>2</sub>/CO의 비율을 위한 water gas shift 반응 (WGSR), 미반응 또는 반응산물인 C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>의 재활용을 위한 개질 반응 (수증기 개질(steam reforming), 부분산화(partial

oxidation), 촉매식 부분산화(autothermal reforming)), 그리고 CO<sub>2</sub> 제거반응 등이 있으며, 아래에 세부적으로 언급하였다.