Trans. of Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 29, No. 1, 2018, pp. 130~137
DOI: https://doi.org/10.7316/KHNES.2018.29.1.130

KHNES
pISSN 1738-7264 • eISSN 2288-7407

Coal Bed Methane을 사용한 다양한 응용 기술에 대한 고찰

조원준[1,†] · 이제설[1] · 유혜진[1] · 이현찬[2] · 주우성[2] · 임옥택[3]

[1](주)바이오프랜즈 Unisys International R&D, [2]한국가스공사, [3]울산대학교 기계자동차공학부

A Study on Various Application Technologies Using Coal Bed Methane

WONJUN CHO[1,†], JESEOL LEE[1], HYEJIN YU[1], HYUN CHAN LEE[2], WOO SUNG JU[2], OCKTAEK LIM[3]

[1]Unisys International R&D, Bio Friends Inc., 160 Techno 2-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34028, Korea
[2]Korea Gas Corporation R&D, 960 Incheonsinhang-daero, Yeonsu-gu, Incheon 21993, Korea
[3]School of Mechanical Engineering, University of Ulsan, 93 Daehak-ro, Nam-gu, Ulsan 44610, Korea

[†]Corresponding author : williamcho86@gmail.com

Received 30 January, 2018
Revised 23 February, 2018
Accepted 28 February, 2018

Abstract >> Now discusses the potential use and applications of coal bed methane (CBM) in various industries. One of the options for gas monetization is gas to power (GTP), sometimes called gas to wire (GTW). Electric power can be an intermediate product, such as in the case of mineral refining in which electricity is used to refine bauxite into aluminum; or it can be an end product that is distributed into a large utility power grid. For stranded gas, away from the regional markets, the integration of the ammonia and urea plants makes commercial sense. These new applications, if established, could lead to a surge in demand for methanol plants.

Key words : Methane(메탄), Liquefied natural gas(액화천연가스), Pipeline natural gas (파이프라인천연가스), Coal bed methane(석탄층메탄가스), Compressed natural gas(압축천연가스), Dimethyl ether(디메틸에테르)

1. 서 론

최근 고유가 및 자원 경쟁 과열로 비전통 가스 자원이 전 세계적으로 주목을 받고 있다. 여기서 비전통 가스 자원이란 기존 전통 에너지 자원과는 다른 개념으로 유동능력이 떨어지는 가스 자원을 말하며 coalbed methane (CBM), 셰일가스, 가스하이드레이트 등이 이에 해당한다.

CBM은 석탄(cleat라고 함)과 석탄 내의 기공 내부 (matrix라고 함) 사이의 개방된 골절을 라이닝하는 메탄가스를 의미한다. 석탄 솔기는 가스와 물을 저장합니다. 겹쳐지는 암석 물질의 무게로 인해 압력을 받고 있는 물은 가스를 제 위치에 고정시키고, 수압이 감소되면 가스가 방출된다[1,2]. 생산 공정에서 우물을 석탄 솔기로 뚫고 수압을 점차적으로 솔기 밖으로 펌핑하면 수압이 낮아지고, 이는 가스가 우물 안의 표면으로 흐르게 한다. 우물을 뚫고 나면 가스와 물이 표면에 도달하는 유일한 방법이 된다.

2018 The Korean Hydrogen and New Energy Society. All rights reserved.

이러한 석탄층 메탄가스는 회수과정의 위험성이 없으며, 채광사업보다 적은 비용으로 높은 수익을 낼 수 있다[3]. 또한 지구온난화 방지를 위한 환경규제에도 대처할 수 있는 많은 장점을 지니고 있다[4].

2. 응용 기술

이 논문에서는 다양한 산업 분야에서 사용하는 CBM에 대해 말한다. Fig. 1은 CBM이 사용되는 영역을 크게 세 가지 주요 영역으로 분류한 것이다.

2.1 전력 생산

가스의 거래 단위에 대한 옵션으로는 gas to power (GTP)와 gas to wire (GTW)가 있다. 전기는 보크사이트를 알루미늄으로 정제하는 데 사용되는 광물 정제의 경우와 같이 중간 생성물이고, 대규모 전력망으로 분배되는 최종 생성물이 될 수도 있다. 이 논문에서는 최종 생성물에 중점을 두었다. GTP와 관련된 주요 쟁점은 자원과 최종 시장 및 전송 방법에 대한 것이다. 운송될 가스의 동력 규모 또는 부피가 주요 쟁점이다.

천연가스에서 전력을 생산하는 가장 일반적인 방법은 단순 사이클 또는 복합 사이클 구성에서 가스 터빈 발전기(GTG)를 사용하는 것이다. 가스 터빈 기반의 발전기는 천연가스의 대규모 발전에 대해 현재까지는 가장 최적인 대안으로 입증되었다.

단순 사이클 공정에서는 열회수 없이 GTG를 사용한다. 복합 사이클 플랜트는 GTG를 사용하고 배기가스 스트림의 폐열을 증기 발생기로 회수하여 증기 터빈 발전기를 작동시키는 증기를 생성하여 추가 전력을 생산한다. 단순 사이클은 자본 비용이 낮지만 효율성이 떨어지고(열 발생률이 높음), 복합 사이클 설비는 자본 비용은 높지만 효율은 높다.

최근 천연가스 발전소의 전기 발전량 증가는 천연가스 공급의 증가와 발전소 배출량에 대한 관심 증가 및 천연가스 발전소의 짧은 건설 시간의 결과물이다.

천연가스의 공급 증가는 CBM, 셰일가스(shale gas) 또는 타이트가스(tight gas)와 같은 전통적이지 않은 방식으로 생산한 결과이다.

천연가스는 전기를 생산할 때 석탄보다 이산화황과 이산화탄소 배출량이 훨씬 적다. 천연가스 발전소는 석탄 발전소보다 건설 시간이 훨씬 짧아 보다 실용적이다.

현재 전기를 생산하는 데 사용되는 천연가스 발전소에는 증기 생성, 단순 사이클 및 복합 사이클의 세 가지 유형이 있다.

증기 발생 플랜트는 천연가스를 사용하여 석탄 발전소와 같이 물을 가열하고 터빈을 돌리는 스팀을 생성한다.

단순 사이클 플랜트는 천연가스를 연소시켜 터빈을 회전시키는 데 사용되는 고압가스를 생성한다. 이 발전소는 다른 발전 설비에 비해 짧은 가동 시간을 가지므로 최대 수요 기간에 사용된다. 이 발전소는 열을 전기로 전환하는 능력이 매우 비효율적이어서 사용 빈도가 높은 시기에만 사용된다.

복합 사이클 플랜트는 단순 사이클 터빈과 열 회수 증기 발생기를 통합합니다. 고압가스를 생성하기 위해 가스가 연소됨에 따라 그 공정에서 발생하는 폐열이 포집되어 증기 터빈을 회전시켜 전기를 발생시키는데 사용된다[5].

이 발전소는 가장 효율적인 천연가스 발전소이지만 더 긴 시동 시간을 갖기 때문에 주로 중 부하 및 기본 부하 생성에 사용된다.

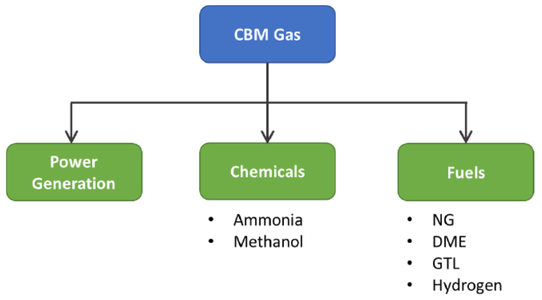

Fig. 1. Potential applucations for CBM gas

2.2 화학품

2.2.1 암모니아

천연 가스는 암모니아와 우레아의 형태로 비료를 공급하는 중요한 자원이다. 암모니아는 황산 다음으로 세계에서 두 번째로 큰 화학제품이다. 암모니아에 대한 수요는 비료에 대한 수요와 직결된다. 암모니아는 천연가스, 석탄 및 석유와 같은 다른 탄화수소 공급 원료로부터 생산될 수 있다. 이 중 천연가스는 암모니아의 95% 이상을 차지한다. 천연가스는 주로 다음과 같은 이유로 선호된다: 1) 본질적으로 수소가 가장 풍부하여 단위 중량 기준으로 다른 공급 원료와 비교하여 더 많은 수소를 공급한다. 2) 공급 원료가 비싼 석탄과 기름은 처리하기가 더 복잡하지만, 천연가스는 비교적 쉽고 싸다.

실제로는 적은 암모니아(10%)가 상품성 있는 암모니아로 거래된다. 대부분의 농부들은 고체 비료를 선호하여 암모니아를 비료로 직접 사용하기는 어렵기 때문에 생긴 결과다. 이러한 요인들로 인해 암모니아 생산자가 암모니아에 대한 지역 시장을 개발하거나, 상대적으로 쉽고 저렴하게 저장되고 이동될 수 있는 건조한 고체 암모니아로 생산해야 한다. 지역 시장을 벗어난 스탠다드 가스의 경우, 암모니아와 요소 공장의 통합이 상업적으로 적합하다. 요소의 생산에는 암모니아 생산의 부산물인 CO_2 (암모니아 이외에)가 필요하다는 점에 유의해야 한다. Fig. 2는 천연가스로부터 암모니아를 생산하는 과정을 간략하게 나타낸 것이다.

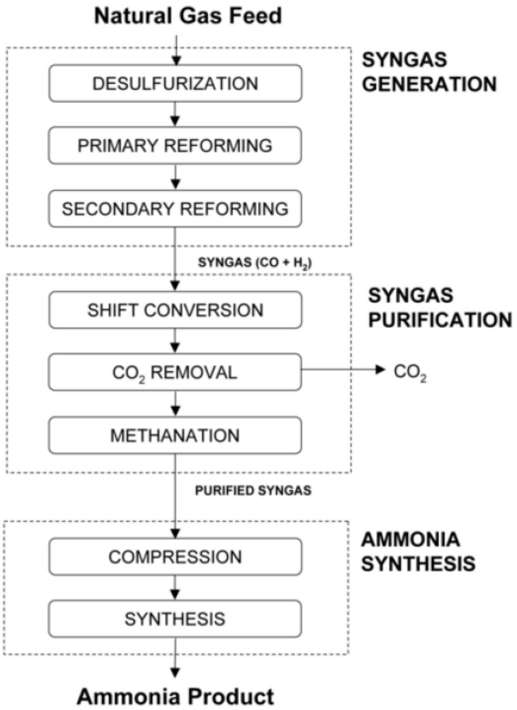

Fig. 2. Simplified block-flow diagram for the production of ammonia from natural

2.2.2 메탄올

메탄올은 다양한 공급 원료로 만들 수 있어 오늘날 가장 유용한 화학품 및 에너지원 중 하나이다. 메탄올을 만들기 위해서는 일산화탄소와 수소가스를 주성분으로 하는 합성가스를 만들어야 한다.

천연가스가 세계 경제에서 가장 많이 사용되는 반면에, 메탄올은 합성가스로 먼저 전환될 수 있는 자원으로 '다각형화'라는 뚜렷한 이점을 가지고 있다. 가스화를 통해 합성 가스는 식물이거나 식물이었던 것으로부터 생산될 수 있다. 여기에는 바이오 매스, 농작물 및 목재 폐기물, 고체 도시 쓰레기 및 기타 여러 공급 원료가 포함된다.

일반적인 플랜트에서 메탄올 생산은 두 단계로 수행된다. 첫 번째 단계는 공급 원료 천연가스를 CO, CO_2, H_2O 및 수소로 구성된 합성 가스 스트림으로 전환한다. 이는 일반적으로 공급 가스 및 증기의 접촉 개질(catalytic reforming)에 의해 이루어진다. 부분 산화는 또 다른 방식이다. 두 번째 단계는 합성 가스로부터 메탄올의 촉매 합성이다. 이러한 각 단계는 여러 가지 방법으로 수행할 수 있으며 다양한 기술은 원하는 응용 분야에 가장 적합하고 다양한 범위의 가능성을 제공한다. 기존의 스팀 리포밍은 합성 가스 생산에서 가장 간단하고 가장 널리 행해지는 경로다.

$$2\ CH_4 + 3\ H_2O \rightarrow CO + CO_2 + 7\ H_2$$

(Synthesis Gas)

$$CO + CO_2 + 7\ H_2 \rightarrow 2\ CH_3OH + 2\ H_2 + H_2O$$

이 공정은 상당한 잔여 수소를 남긴다. 외부 CO_2 공급원이 있는 경우 초과 수소를 소비하여 추가 메탄올로 전환할 수 있다. 가장 유리한 가스화 공정은 잔여 수소가 물로 ‘연소’되는 과정이며, 이 과정에서 수증기는 다음과 같은 부분 산화 반응을 통해 이루어진다.

$$CH_4 + \frac{1}{2}O_2 \text{ -> } CO + 2\ H_2 \text{ -> } CH_3OH$$
$$CH_4 + O_2 \text{ -> } CO_2 + 2\ H_2$$

마지막 방정식에서 생성된 이산화탄소와 수소는 추가 메탄올을 생산하기 위해 반응 세트의 추가 수소와 반응한다. 이는 가장 높은 효율을 제공하지만 추가 비용을 발생시킨다.

개질 공정과는 달리, 메탄올의 합성은 고도의 발열 현상이며, 적당한 온도의 촉매층에서 일어난다. 대부분의 발전소 설계는 여분의 에너지를 사용하여 공정에서 필요한 전력을 생산한다. 쉽게 구할 수 있는 풍부한 원료로부터 메탄올을 생산하는 여러 가지 방법 중 가장 일반적인 방법이다.

메탄올 시장은 포화 상태지만, 새로운 발전소들이 계속해서 건설될 것이다. 미래에 메탄올에 대한 새로운 저비용 생산 기술이 개발된다면 이는 기존의 고비용 생산 방법을 대신할 것이다. 기존 시장 외에도 메탄올은 연료 전지에 의한 발전, 직접 또는 연료 전지에 의한 운송 연료 및 올레핀 생산을 위한 공급 원료로서 다양한 응용 분야에서 사용될 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 이러한 새로운 방식이 확립되면 메탄올 공장에 대한 수요가 급증할 것이다.

2.3 연료

2.3.1 천연가스

천연가스 차량(NGV)과 연료 스테이션의 수는 지난 십 년 동안 매우 크게 성장하였으며 운송(세계 도로 연료 소비의 1% 미만)과 천연가스 시장(세계 가스 수요의 1% 미만)의 관점에서 여전히 가능성이 많은 시장이다[6].

천연 가스는 차량의 이산화탄소(CO_2) 배출을 줄이는 데 중요한 역할을 할 수 있다. 천연가스는 중장비 차량(HDV)의 CO_2 배출을 줄이는 데 특히 중요하다. 천연가스에 대한 차량 및 연료 기술은 현재 사용 가능하며 특히 다른 대체 연료 차량(AFV)과 비교할 때 비교적 저렴하다.

NGV는 다음과 같은 다양한 국가에서 강력한 혜택을 누릴 수 있다. 도시의 대기오염 개선 및 소음 감소, 석유를 수입에서 수출로 전환, 에너지 안보 개선; 도로 연료 보조금에 대한 정부 지출 삭감을 이룰 수 있다. 천연 가스는 오토바이, 자동차, 밴, 버스, 트럭, 오프로드 차량, 선박 및 기차(심지어 항공기 포함)에 이르는 거의 모든 차량의 범위를 포괄할 수 있다.

Liquefied natural gas (LNG)는 -160°C (-265°F)의 극저온에서 액체 형태의 천연가스다. 천연가스가 LNG로 바뀌면 그 양은 약 600배 줄어든다. 이러한 부피 감소는 가스가 장거리에서 경제적으로 운송될 수 있게 한다. LNG는 투명하고, 무색이며, 무취이며, 부식성이 없고 독성이 없는 액체 형태의 천연가스다. LNG는 물의 무게의 절반으로 물에도 뜬다.

Compressed natural gas (CNG)는 천연가스를 표준 대기압에서 부피의 1% 미만으로 압축하여 만든 가솔린 대신 쉽게 사용할 수 있는 대안이다. 메탄으로 주로 구성되어 있는 CNG는 무색, 무취이며 맛도 없다.

2.3.2 DME

디메틸에테르(DME)는 깨끗하고 무색이며 액화 및 운반이 쉽다. 자동차 연료, 전력 생산 및 난방 및 요리와 같은 가정용 응용 분야에서의 사용 가능성이 높다.

DME는 재생 가능 물질(바이오 매스, 폐기물 및 농산물) 및 화석 연료(천연가스, CBM 및 석탄)를 비롯한 많은 곳에서 추출할 수 있다. DME는 수십 년 동안 개인 위생 산업(양성 에어로졸 추진체 같은 것)에서 사용되어 왔고, 현재 액화석유가스(LPG), 디젤 및 가솔린의 청정 연소 대안으로 사용하기 위해 점점 더 많이 사용되고 있다.

LPG와 마찬가지로 DME는 상온에서는 기체이지

만 적당한 압력 또는 냉각 중인 상태에서는 액체로 변한다. 쉽게 액화되는 성질로 인해 DME는 운반 및 보관이 용이하다. 높은 산소 함유량, 유황 또는 기타 유해 화합물이 적은 초 청정연소라는 특성으로 인해 DME는 청정 재생 가능 탄소와 저탄소 연료를 혼합하여 전 세계적으로 훌륭한 해결책이다.

DME는 1) KOGAS의 허가된 기술인 단일 단계 DME 공정, 2) 중간 생성물, 메탄올 및 이후의 메탄올 탈수의 2단계 공정을 통해 천연 가스로부터 DME를 생산한다. Toyo는 2단계 DME 프로세스의 한 예다.

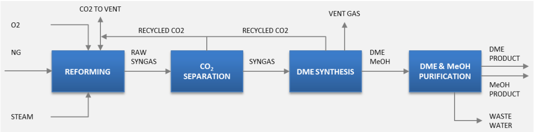

Fig. 3. KOGAS one-step DME process block flow diagram

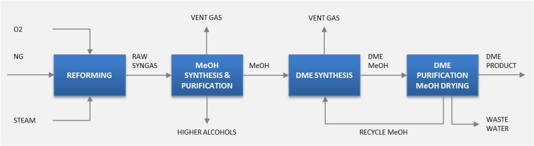

Fig. 4. Toyo indirect DME process block flow diagram

- **KOGAS one-step DME process**

KOGAS 원스텝 DME 공정은 개질, 이산화탄소 분리, DME 합성 및 정제 공정으로 구성된다[7]. Fig. 3은 KOGAS 단일 단계 DME 공정의 단순화된 개략도다.

천연가스가 증기, O_2, CO_2와 반응하였을 때 KOGAS의 Tri-Reformer 기술을 사용하여 합성가스(H_2와 CO의 혼합물)를 생산한다. Tri-Reformer는 발열 연소반응이 개질반응을 위한 열을 발생시키는 균질 연소 섹션으로 구성된다. 반응기의 개질부는 KOGAS의 독자적인 촉매가 담긴 고정층이다. 반응기는 목표량과 일산화탄소와 수소의 비율을 포함하는 합성가스를 생산하기 위해 개질 반응에 필요한 열을 발생시키도록 제어된다. 결과적인 출구 온도는 약 1,080℃이고 압력은 3.101 MPa이다.

Tri-Reformer의 주요 반응은 다음과 같다.

Steam Reforming (SRM)

$$CH_4 + H_2O \leftrightarrow CO + 3H_2$$

CO_2 Reforming (CDR)

$$CH_4 + CO_2 \leftrightarrow 2CO + 2H_2$$

Catalytic Partial Oxidation

$$\text{(CPO)} \quad CH_4 + 1/2O_2 \leftrightarrow CO + 2H_2$$

Tri-reforming은 H_2/CO 비율을 약 1.1로 생산하며 이는 스팀 메탄 개질기의 비율보다 상당히 낮다. 낮은 H_2/CO 비율은 DME 직접 합성 방식에 유리하다. 생성물 합성가스의 조성(특히 H_2:CO 비율)은 CO_2/CH_4, O_2/CH_4 및 steam/CH_4의 3가지 중요한 몰 공급 비율의 함수이다. Tri-Reformer는 추가 H_2를 제공하는 수증기 개질(SRM) 및 촉매 부분 산화(CPO) 반응과 함께 이산화탄소 개질반응(CDR)을 통해 주로 목표 H_2/CO 비율을 달성한다. CDR 반응을 진행시키기 위해서는 반응가스의 높은 CO_2 함량이 바람직하며, KOGAS Tri-Reformer에 높은 CO_2 공급가스를 활용할 수 있는 기능이다.

CO_2 분리 섹션에서는 합성가스를 냉각(열회수)하고 응축수 스팀을 제거하고 KORMAX 멤브레인 기반 분리 기술을 사용하여 합성가스에서 CO_2를 제거한다. 처리된 합성가스는 DME 합성 구역으로 보내지는 한편 분리된 CO_2는 reforming 구역으로 재활용된다.

DME Synthesis Section에서는 합성가스의 H_2와 CO를 촉매 반응시켜 디메틸에테르(DME)와 소량의 부산물인 MeOH와 물을 생성한다. 앞에서 반응된 합성가스는 냉각되어 응축된 DME, MeOH 및 물과 분리되고, 미 반응 합성가스는 DME 반응기의 공급 물로 재순환된다. 이러한 맥락에서 합성가스는 단일 반응기에서 직접 DME로 전환되기 때문에 KOGAS는 '직접적인' 프로세스다[8].

생성된 DME 및 MeOH는 DME 및 MeOH 정제부로 보내지고 여기서 DME는 MeOH 및 물과 분리되고 생성물 품질(99.6 중량%)로 정제된다. DME 반응기에서 나온 MeOH 및 물 및 CO_2 흡수 섹션으로부터 습식 MeOH 퍼지 스트림은, MeOH 탈수 칼럼에

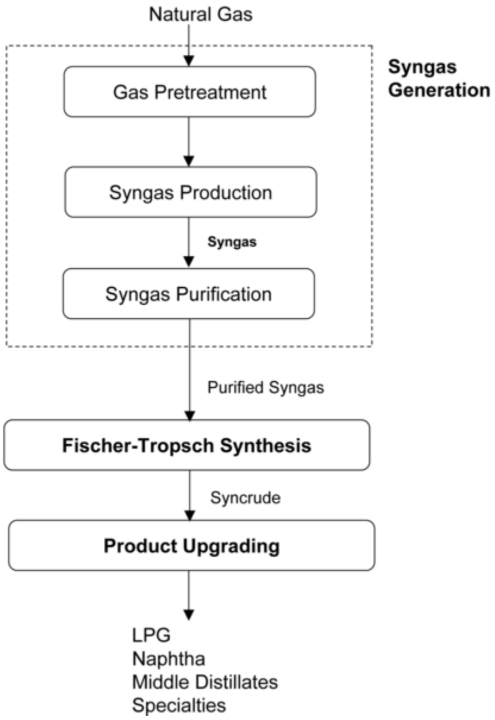

Fig. 5. Simplified block-flow diagram for FT gas-to-liquid process

서 분리되어 폐수 처리 시스템으로 보내진다.

- **TOYO indirect DME process**

TOYO 간접 공정은 개질, MeOH 합성 및 정제, DME 합성 및 DME 정제 섹션으로 구성된다. 개혁 부문에서 NG는 O_2 및 증기와 반응하여 합성가스를 생산한다. 고온의 합성가스는 열회수로 냉각된 다음 스팀 응축수를 제거하기 위해 더 냉각된다. 합성가스는 MeOH로 전환되는 MeOH Synthesis와 purification section으로 보내진다. 생성물인 MeOH는 DME 합성 구역으로 보내지기 전에 물과 소량의 알콜로부터 분리된다. TOYO MeOH 탈수 반응기에서 반응하여 MeOH는 DME와 물을 형성한다. DME는 물과 미반응 MeOH로부터 분리되어 제품 품질로 정제된다. 미반응 MeOH는 물과 분리되어 DME 합성 구역으로 재순환된다. Fig. 4는 TOTO 2단계 DME 공정의 단순화된 개략도다.

2.3.3. Gas-to-liquids (GTL)

GTL은 원격 천연가스 또는 기타 가스성 탄화수소를 유조선으로 쉽게 운반할 수 있고 황이 없는 합성 원유로 전환하여 수익을 창출하는 공정이다. GTL 제품은 운송 및 발전소에 대한 환경 영향이 적은 연료로서 디젤을 그대로 또는 혼합하여 사용할 수 있다. 가스는 Fischer-Tropsch (FT)를 통해 액체로 전환된다. Fig. 5는 FT 기술은 액체와 무거운 탄화수소 분자를 생산하는 방식으로 탄소와 수소 분자를 재배치하는 과정이다. FT GTL 공정은 Naphtha, Kerosene, Diesel, Lubricants, Solvents, Waxes, 기타 특수 제품과 같은 석유 제품을 생산한다.

FT 합성은 합성 가스를 long-chain의 중질 파라핀 액체로 전환시키는 것을 포함한다. 파라핀은 고분자량 알칸(즉, n이 정수인 일반식 CnH2n+2의 포화 탄화수소)의 혼합물이다. 많은 양의 물이 부산물로 생성되며, 폐기 또는 재사용하기 전에 처리해야 한다. 소량의 CO_2, 올레핀, 옥시 게 네이트 및 알코올도 부산물로 생성된다. 반응은 약 39.4 kcal/gmol의 CO 열량으로 발열성이 높은 편이다. 제거해야 하는 많은 양의 열이 공정에서 생성된다. 이 에너지는 증기 생산으로 부분적으로 회수된다.

FT 반응기로부터의 생성물 슬레이트는 촉매의 유형 및 반응기의 작동 조건에 의존한다. 일반적으로, 금속계열 또는 코발트계열의 촉매가 FT 합성에 사용된다. 촉매의 선택은 GTL 플랜트에 대한 사료의 유형과 어느 정도 관련되어 있다. 천연 가스 공급의 경우, 코발트계 촉매가 더 많이 사용된다. FT 제품을 생산하는 여러 종류의 원자로 유형이 있다: 고정층, 유동층 및 슬러리 상 원자로 FT 원자로의 운전 조건은 일반적으로 220-250℃ 및 20-60 bar의 압력 범위고, 운전 조건은 원하는 생성물 혼합, 촉매 유형 및 반응기 유형에 따라 달라진다. FT 제품에는 일반적으로 원유에서 생산되는 석유 제품에서 발견되는 황, 질소, 금속, 아스팔틴 및 방향족 화합물이 전혀 포함되어 있지 않다.

2.3.4. 수소

수소는 에너지원은 아니지만 에너지 벡터 또는 캐리어다. 수소는 화석 연료, 핵, 태양, 바람, 바이오 매스, 수력, 지열 및 도시 폐기물 자원과 같은 주요 에너지원 중 하나로부터 생산되어야 한다는 것을 의미한다. 수소는 수년 내에 에너지의 원천으로서 중요한 역할을 할 것이다. 수소는 액체 또는 가스로 저장 될 수 있는 깨끗한 연료이기 때문에 현재는 운송 연료로 널리 사용되지는 않지만 정부와 업계 연구원들은 깨끗하고 경제적이며 안전한 수소 생산 및 연료 전지 전기 자동차의 목표를 향해 연구하고 있다.

수소를 생산하거나 추출하는 몇 가지 방법이 있다. 증기 개질은 탄화수소와 물에서 수소를 생산할 수 있는 잘 정립된 기술이다. CBM 가스는 증기 메탄 개질 및 부분 산화와 같은 열처리 공정을 통해 수소를 생산하는 데 사용할 수 있는 메탄(CH_4)을 포함한다.

- **Steam methane reforming**

오늘날 생산되는 대부분의 수소는 천연가스와 같은 메탄 공급원에서 수소를 생산하기 위해 고온 증기(700-1,000℃)가 사용되는 성숙한 생산 공정인 스팀 메탄 개질을 통해 생산된다. Steam methane reforming에서, 메탄은 촉매의 존재 하에 3-25 bar 압력(1 bar=14.5 psi) 하에서 증기와 반응하여 수소, 일산화탄소 및 상대적으로 소량의 이산화탄소를 생성한다. 스팀 개질은 흡열반응인데, 그말은 즉 반응 진행을 위해 열이 프로세스에 공급되어야 한다.

'수성 가스 전환 반응(water-gas shift reaction)'에서 일산화탄소와 증기는 촉매를 사용하여 반응하여 이산화탄소와 더 많은 수소를 생산한다. '압력 스윙 흡착(pressure-swing adsorption)'이라고 불리는 최종 공정 단계에서 이산화탄소와 다른 불순물이 가스 흐름에서 제거되어 순수한 수소를 남긴다. Steam reforming은 또한 에탄올, 프로판 또는 심지어 가솔린과 같은 다른 연료로부터 수소를 생산하는 데 사용될 수 있다.

Steam-Methane reforming reaction;

$$CH_4 + H_2O\ (+heat) \rightarrow CO + 3H_2$$

Water-gas shift reaction;

$$CO + H_2O\ \ CO_2 + H_2\ (+small\ amount\ of\ heat)$$

아래의 Fig. 6는 천연 가스로부터의 수소 생산의 대략적인 흐름도를 제공한다.

- **Partial oxidation**

부분 산화에서, 천연가스의 메탄 및 다른 탄화수소는 탄화수소 및 이산화탄소를 완전히 산화시키기에 충분하지 않은 제한된 양의 산소(일반적으로 공기)로 반응한다. 화학적인 양의 산소를 이용할 수 없는 경우, 반응 생성물은 주로 수소 및 일산화탄소(및 반응이 순수한 산소보다는 공기로 수행되는 경우 질소) 및 비교적 소량의 이산화탄소 및 다른 화합물을 함유한다. 이어서, 수성 가스 전환 반응에서, 일산화탄소는 물과 반응하여 이산화탄소 및 더 많은 수소를 형성한다.

부분 산화는 발열 과정으로 열을 방출하고, 이 공정은 일반적인 steam reforming보다 훨씬 빠르기 때문에 더 작은 원자로 용기가 필요하다.

부분 산화의 화학 반응에서 알 수 있듯이, 이 공정은 초기에 동일한 연료의 수증기 개질에 의한 것보다 적은 양의 투입 연료를 생산한다.

Partial oxidation of methane reaction

$$CH_4 + ½O_2 \rightarrow CO + 2H_2$$

Water-gas shift reaction

$$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$$

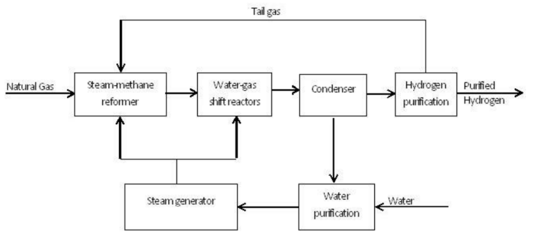

Fig. 6. General schematic of the production of hydrogen from natural gas using steam methanereforming

3. 결 론

이 논문에서는 CBM을 사용한 다양한 기술에 대해 기술하였다. 응용 기술들을 통해 전력, 화학품 자원들을 경제적이고 환경 친화적으로 획득할 수 있다.

CBM 가스를 베이스로 한 여러 방식의 전력 발전 방식을 주어진 환경에 따라 적절하게 선택해서 사용하면 이전보다 효율적이다.

CBM 가스 추출을 통해 필요한 화학물이나 제품을 얻을 수 있다. 그중 대표적인 것이 암모니아, 메탄올, 천연가스 등이다. 더군다나 최근 친환경 문제와 함께 대두되고 있는 천연가스, DME, 수소 같은 친환경 연료자원도 얻을 수 있다.

후 기

이 연구는 Non-CO2 온실 가스 감축 R & D 센터의 지원을 받아 수행되었다.

References

1. D. M. Ruthven, “Principles of Adsorption and Adsorption Processes”, John Wiley, New York, 1984.
2. S. Sircar, “Adsorption Science and Technology”, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 1989, pp. 285-321.
3. S. Sircar, “Pressure Swing Adsorption: Research Needs in Industry”, AIChE, New York, 1989, pp. 815-843.
4. J. M. Han, W. S. Joo, C. H. Shin, J. H. Lee, Y. S. Baek, Y. D. Kim, “A Study on the Coalseam Modeling for Coalbed Methane (CBM) Production Plan”, 2010 Fall conference, 2010, pp. 58-63.
5. G. T. Kim, C. H. Kwon, “Low-cost high-efficiency distillation system and treatment method of non-traditional genetic resources”, Hannam university, 2014.
6. Y. I. Kim, Y. D. Koo, “A Study on the Analysis of the CBM Development Technology”, 2014 Fall Joint of Geology, Mineral and Energy Resource, 2014, p. 257.
7. KIGAM, “Strategic Development of Unconventional Energy Resources”, 2011, pp. 29-41.
8. KIGAM, “Exploration of Coalbed Methane”, The Ministry of KnowledgeEconomy, 2008.