한국교통대학교 융·복합기술연구소 논문집, Vol. 6, No. 1, pp. 31-35 (2016)
Copyright ⓒ 2016 ICT
ISSN : 2233-8667

미국의 셰일가스 개발과 석유화학 산업의 영향

홍 연 기*

한국교통대학교 화공생물공학과

Influence of Shale Gas in US on Petrochemical Industry

Yeon Ki Hong*

Department of Chemical and Biological Engineering, Korea National University of Transportation, 50 Daehak-ro, Chungju, Chungbuk, 27469, Korea
(Received 2016.04.11 / Accepted 2016.05.20)

Abstract : In this paper, the present status of shale gas development was briefly introduced and intended the growing importance and shale gas as a source of chemicals. The large amounts of shale are expected to be produced thereby, a wealth of methane and ethane will be provided as a raw material of ethylene. This manuscript also focus on the influence of potential volumes of shale gas on petrochemical industry, especially domestic one based on naphtha cracking because ethane cracking can offer cost effective ways to convert methane to higher value chemicals.

Key words : Shale gas, Ethane cracking, Naphtha cracking, Petrochemical industry

1. 서 론

천연가스자원은 일반적으로 전통 가스자원(conventional gas)와 비전통 가스자원(nonconventional gas)로 나눌 수 있다. 전통 가스자원은 1mD(millidarcy) 이상의 투과도를 가진 저유암(reservoir)에서 발견되며 전통적인 기술에 의해 추출될 수 있다. 이들 가스자원은 자연적인 이동으로 집적되어 생산 가능한 기체, 액체, 고체상의 탄화수소 화합물이며 이산화탄소, 질소, 황화수소, 물을 포함하여 집적되어 있다. 반대로 비전통 가스자원은 1mD이하의 낮은 투과도를 가진 저유암에서 발견되므로 유체의 유동능력이 매우 떨어지지만 대량으로 부존된 자원이다. 이 부류에 해당하는 자원으로서는 오일샌드(oil sand), 오일셰일(oil shale), 셰일 오일(shale oil)와 같은 비전통 석유자원, 셰일가스(shale gas), 치밀가스(tight gas), 석탄층메탄가스(CBM, Coal Bed Methane), 가스하이드레이트(gas hydrate)가 있다. 이들은 낮은 투과도를 가진 저유암에 존재하므로 상업적인 생산을 위해서는 파쇄 자극(fracture stimulation)을 포함한 특별한 기술이 필요하다.

셰일(shale)이란 주로 진흙과 같은 미세한 입자들이 퇴적되어 형성된 암석층으로서 셰일층은 퇴적면을 따라 얇고 넓게 퍼져있고 균열되기 쉬운 특성이 있다. 이와 같은 셰일층의 균열에 포함된 기체 탄화수소 성분을 셰일가스라고 한다. 셰일가스는 앞서 분류한 대로 비전통 가스이며 일반 천연가스(전통 가스)보다 단지 깊은 곳에 위치할 뿐 성분과 용도는 전통가스와 동일하다. 이중 메탄은 난방연료 및 발전용, 에탄은 석유화학 원료, 콘덴세이트는 LPG 및 석유화학 원료로 활용이 가능하다.

셰일가스가 새로운 Feedstock으로 주목받고 있는 이유는 크게 3가지로서 저비용, 대량부존, 전세계적인 분포를 들 수 있다.

미국의 경우 수평시추와 수압파쇄로 대표되는 셰일가스 체굴 기술의 발달로 인해 천연가스 가격이 급락해왔다. 이들 기술의 발전이 셰일로부터 천연가스를 얻는 과정에서의 효율을 급격히 향상시켰기 때문

*Corresponding author, E-mail: hongyk@ut.ac.kr

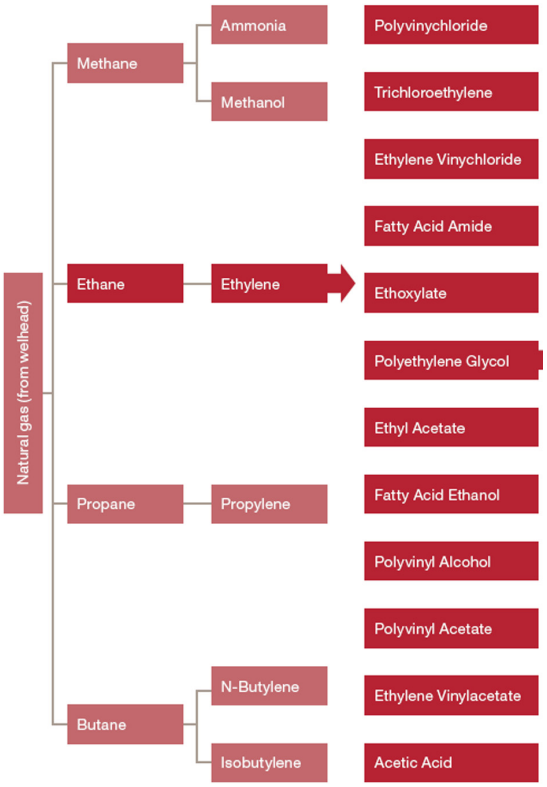

Fig. 1 Shale gas-based petrochemical products.[1)]

이다. 천연가스가 효율적으로 운송되고 상업적으로 판매되기 이전에 천연가스에 포함된 불순물이 제거되어야 한다. 이와 같은 추출 공정의 부산물은 NGLs (natural gas liquids)라고 알려져 있으며 여기에는 에탄, 부탄, 프로판과 같은 석유화학 시장에서 원료물질로 가치 있는 탄화수소가 포함되어 있다. 셰일가스 생산량의 증가에 따라 NGL생산량이 증가하여 2016년에는 3.1MMBD이상이 될 것으로 기대된다. 셰일가스로부터 얻어지는 NGL은 Fig.1에 나타나 있는 것처럼 에탄을 원료로 하여 다양한 유도체와 제품을 생산할 수 있는 화학 산업에 사용된다. 화학 산업에서 에틸렌 생산량이 증가하고 그에 따른 에틸렌 유도체 제품 생산량이 증가함에 따라 셰일가스 유래 에탄을 원료로 한 각종 화학제품의 생산은 종래의 석유화학 산업에 크게 영향을 주게 된다.

셰일가스 채굴 확보 량은 현재 전 세계가 약 60년간 사용할 수 있는 약 1,500억 톤에 달하는 것으로 알려져 있으며 가채굴량을 감안했을 때 기존 천연가스 부존량에 맞먹는 200년 치가 부존되어 있는 것으로 추정되고 있어 향후 석유화학 원료대체 및 에너지원으로서의 가치가 충분한 것으로 알려져 있다. 더욱이 셰일가스는 지표의 50~60%에 달하는 세계적으로 고른 분포를 보이고 있어 종래의 천연가스나 석유가 제한된 지역에 국한되어 있는 지역적 한계를 극복할 수 있음을 알 수 있다.

Table 1 Comparison of compositions between shale gas and natural gas[2)]

구분	미국 천연가스 평균	Barnett 셰일가스정 샘플			
		1	2	3	4
메탄 (C1)	94.4	80.3	81.2	91.8	93.7
에탄 (C2)	2.7	8.1	11.8	4.4	2.6
프로판 (C3)	0.6	2.3	5.2	0.4	0.0
기타 (CO_2, N_2 등)	2.3	9.3	1.8	3.4	3.7

2. 셰일가스의 특징 및 에탄 크래킹

셰일가스는 비전통 가스자원 중에서 가장 부존량이 많고 상대적으로 상업적 생산을 위한 기술력이 많이 요구된다. 그러나 최근 수평시추(horizontal drilling)와 수압파쇄(hydraulic fracturing) 기술에 의해 효율적인 셰일가스 개발이 가능해지면서 전통 가스 수준의 경제성을 확보하기에 이르렀다.

셰일가스는 생산지의 지질학적 특성에 따라 차이가 있으나 실제 생산되는 셰일가스는 분자량이 낮은 경질 성분 함량이 대부분이어서 일반적인 천연가스와 큰 차이가 없다.

셰일가스 구성성분 중 화학원료로 활용할 수 있는 대표적인 물질이 에탄(C1)이며 이는 에탄 크래커를 통해서 에틸렌으로 전환될 수 있기 때문이다. 에틸렌은 폴리에틸렌, 에틸렌 글라이콜, PVC등에 사용되는 대표적인 화학 원료로서 아시아와 유럽은 이를 원유유래 나프타를 통해 제조하고 있으나 북미 지역은 가스유래 에탄을 통해 제조하고 있다. 고유가 시대의 도래 및 셰일가스 생산에 따른 가스 가격의 하락으로 인해 나프타 크래킹 시설에 의한 에틸렌 생산에 비해 에탄 크래킹에 의한 에틸렌 생산의 경제성이 높아지면서 이들 설비 확충에 따른 에틸렌 생산 규모가 증가하고 있는 상황이다. 2012년 기준 에틸렌 제조에 사용되

는 원료비용은 북미 천연가스 유래 에탄이 $190/ton이며 아시아 지역의 나프타는 $2874/ton이며 총 에틸렌 비용은 북미 에탄에 의한 경우 $316/ton, 아시아의 나프타에 의한 경우는 $1717/ton으로 알려져 있다.

3. 셰일가스 개발에 따른 석유화학 산업의 영향

석유화학산업을 이해하기 위해서는 석유화학계통에 따른 기초 유분에 대한 이해가 필요하다. 모든 유기화학은 석유 및 천연가스 유래 탄화수소(탄소기반 분자) 및 유도체에서 비롯된다. 유기화학물질들은 화학산업에서 생산되는 모든 물질의 약 85%에 달하며 업스트림 석유화학 제품부터 의약품 중간체와 같은 다운스트림 물질의 기본이 된다.

화학 산업에서 원료물질로부터 최종제품으로 전환되는 단계는 크게 3단계로 나눌 수 있다. 첫 번째는 기초유분(base chemicals)을 제조하는 것이다. 기초유분은 거대 규모의 설비에서 대용량으로 생산된다. 이후 기초유분은 다양한 중간원료(intermediate)로 전환되는데 이에 대한 예로서는 에틸렌 글라이콜(ethylene glycol)등이 있다. 마지막으로 이들 중간원료는 추가적인 공정을 거쳐 전방산업이나 최종 소비자가 사용할 수 있는 형태의 최종제품으로 전환된다.

Table 2 Basic petrochemicals in chemical industry

올레핀	방향족
에틸렌(C2, 탄소수 2)	벤젠(C6, 탄소고리)
프로필렌(C3, 탄소수 3)	톨루엔
부타디엔(C4, 탄소수 4)	자일렌

기초유분은 올래핀(olefins)과 방향족(aromatics)으로 나눌 수 있다. 올레핀은 기본적으로 이중결합이 있는 선형적인 탄소사슬을 갖고 있는 반면 방향족은 탄소가 고리형태로 연결되어 있다.

올레핀 생산에 있어 주요 원료는 나프타, 천연가스, LPGs이다. 나프타는 아시아 및 유럽에서 지배적인 원료인 반면 천연가스와 LPG는 북미에서 주로 사용하고 있다. 가솔린 풀의 단지 7%의 나프타만이 실제 화학 산업에 사용되고 나머지는 수송용 연료로 사용된다. 결과적으로 나프타 가격은 연료 수요에 다른 가격 결정 구조를 가진 가솔린의 가격을 반영하게 된다. 따라서 화학제품 생산자들은 원료 비용에 민감할 수밖에 없다. 마찬가지로 미국의 경우는 화학 산업에 사용되는 천연가스 가격이 유틸리티나 에너지 요구에 의해 좌우되기도 한다. 결론적으로 나프타 크래커는 석유가격에, 천연가스 기반 크래커는 천연가스 가격과 밀접한 연관이 있다.

Table 3 Comparison of NCC, ECC and CTO process

	나프타 NCC 공정 (Naphtha Cracking Center)	천연가스(셰일가스) ECC 공정 (Ethane Cracking Center)	석탄 CTO공정
특징	. 유가와 나프타 사이의 상관관계가 높음 . 아시아 및 유럽에서 주로 사용	. 천연가스에서 분리한 에탄을 이용한 공정 . 최근 셰일가스 붐으로 공정의 가격 경쟁력 상승 . 북미 지역에서 주요 사용하며 향후 지속적인 증설이 계획됨	. 석탄을 메탄올로 전환하여 올레핀을 생산 . 중국에서 유일하게 상업운전 중
장점	. 에틸렌, 프로필렌 등을 포함한 올레핀계 기초유분 뿐 아니라 방향족 기초유분에 이르는 다양한 제품 생산이 가능함	. NCC공정 대비 가격 경쟁력이 높음 . 특히 북미 지역에서 ECC공정의 경쟁력은 천연가스의 저렴한 가격에 있으며 대규모 증설을 통해 중동지역의 경쟁력도 넘을 수 있음	. 고유가 지속, 천연가스 가격 동반 상승이 있을 경우 경쟁력 있음 . 중국은 자국 내 석탄 자원이 풍부하여 경쟁력이 있음
단점	. 제조원가가 가장 높음	. 기초유분으로서 에틸렌이 대부분이며 특히 방향족 기초유분 생산에 제약이 있음	. 석탄자원 이용에 따른 환경문제가 있음 . 생산되는 기초유분이 올레핀계로 한정
비고		. 천연가스의 경우 메탄의 전환을 통해 얻은 메탄올을 이용하여 올레핀 생산 및 암모니아 및 관련 유도체 생산이 가능	. 천연가스의 경우 메탄의 전환을 통해 얻은 메탄올을 이용하여 올레핀 생산이 가능

Table 3에서는 에틸렌 생산 원료별 기초 유분 생성 비율을 나타내고 있다. 나프타 크래킹에서는 주요 생성물이 에틸렌과 프로필렌이지만 방향족도 상당부분 만들어진다. 그러나 에탄 크래킹에서는 대부분이 에틸렌이 제조되며 방향족 기초 유분 생성 비율은 매우 낮다.

Table 4 Raw materials for ethylene production in each region

지역	에틸렌 생산원료
유럽	나프타
미국	천연가스와 일부 나프타
중동	천연가스
일본	나프타
아시아 (일본, 중국 제외)	나프타와 일부 천연가스
중국	나프타, 천연가스, 석탄(증가추세)

Table 5 Product composition from each basic petrochemicals[3)]

	에탄	프로판	부탄	경질 나프타	Full range 나프타	가스 오일
에틸렌(%)	82	44	42	29	25	25
프로필렌(%)	2	21	15	14	13	8
부타디엔(%)	3	4	4	4	5	5
BTX(%)	1	5	5	14	11	11
기타(%)	13	26	35	39	44	47

결국 석유화학산업은 기초유분을 생산하기 위한 원재료(나프타, 에탄 등), 업스트림에서 다운스트림에 이르기까지 수직 계열화가 이루어져 있기 때문에 모든 제품이 원재료 가격과의 연동성이 크다. 석유화학산업의 수직 계열화 구조로 인해 유가, 천연가스가격 변동이 원재료, 기초유분 및 다운스트림 제품의 가격에 직접적으로 또는 순차적으로 영향을 미치게 된다. 그러나 기초유분 가격은 원료 가격에 의해 결정되는 것이 일반적이기는 하나, 종종 기초유분의 수급상황이 원료가격보다 더 큰 영향을 미치기도 한다. 따라서 원료가격의 변동을 제품 가격에 반영하지 못한 상태에서 수요업체들의 조업률(예, 정기보수 등)에 따라 기초유분은 공급과잉과 부족을 반복하게 된다. 이와 같은 석유화학산업 원료-기초유분-중간원료-최종제품으로 이어지는 가격 상관성으로 인해 셰일가스 붐에 따른 원료 수급 및 가격 변동은 석유화학 산업 전체에 영향을 미치게 되며 특히 기초유분에 대한 영향력은 크다고 하겠다.

4. 셰일가스와 국내 석유화학 산업 전망

국내 석유화학산업은 에틸렌 생산능력 세계 4위(2012년 기준), 생산 105조원으로 국내 제조업 중 4위(2011년 기준) 수출 459억불(총수출의 8.4%)로 국내 5위 수출품목(2012년 기준)의 위상을 갖고 있다. 최근까지 석유화학산업은 안정적 수익기반을 바탕으로 지속적인 성장을 누려왔다고는 하나 1990년대 후반 설비과잉에 따른 경영 악화로 구조조정의 홍역을 겪은 바 있었으며 산업 전체적으로도 불확실성이 증대되어 장기적인 안정 성장을 위한 생존 전략을 모색해야 한다.

석유화학산업이 현재 직면한 과제로는 중동 중심의 원료 수급에서 탈피하여 경제성 있는 원료의 확보 및 원료선의 다양화, 지역별 시장 기회에 기반 한 사업 및 지역 포트폴리오의 최적화, 제품의 고부가가치화 등이 있다. 화학 산업이 지역산업에서 글로벌 산업으로 재편되고 있는 상황에 대한 대응이 늦어지고 있는 가운데 셰일가스 붐은 국내 석유화학산업의 위기를 더욱 가중시키고 있다.

셰일가스 보급이 국내 석유화학산업에 큰 영향이 되는 이유는 셰일가스가 갖는 3가지 특성인 저비용, 대량부존, 전 세계적 분포이다. 또한 셰일가스로 인해 천연가스 가격이 하락하면서 과거에는 경제성이 낮아 개발이 어려웠던 프로판, 부탄, 메탄 등을 활용한 공정의 경제성이 높아졌다. 셰일가스와 같이 채굴되는 셰일오일의 생산량 증가는 기존의 석유화학 원료를 일부 대체할 수도 있다. 특히 셰일가스는 석유자원처럼 중동지역을 중심으로 제한적으로 존재하지 않고 전 세계 지표의 50-60%에 이르는 넓은 분포를 가지고 있어 현재까지 사용되고 있는 석유자원을 실질적으로 대체할 수 있다는 의미에서 그 영향이 장기적으로 지속될 것이다.

우리나라 석유화학 산업을 원료와 이를 통해 생산되는 기초유분을 기준으로 보면 원유 유래 나프타의 비중이 90%이상이지만 나프타 크래킹의 특성으로 인해 모든 기초 유분을 생산하고 있다. 그러나 기초유분의 50%가 넘는 비중을 차지하는 에틸렌과 프로필렌

이 셰일가스의 직접적인 영향을 받게 된다. 특히 에탄 기반 제품의 경우 중동산과의 가격경쟁에서 밀리기 시작한 시점에서 셰일가스의 영향까지 더해진 상황이다. 장기적으로는 중국의 CTO설비가 증설되고 안정적으로 조업될 경우도 대비해야 한다.그러나, 방향족의 경우 국내 설비 비중이 상대적으로 높아서 북미 지역의 ECC중심 설비 증설로 인한 공급 부족으로 인해 수익성이 보장될 수 있을 것으로 예상할 수 있다.

Acknowledgement

본 연구는 한국에너지경제연구원의 지원을 받아 수행하였습니다.

References

1) PwC, “Shale Gas-Reshaping the US Chemicals Industry”, October, 2012
2) K. A. Bowker, “Barnett Shale Gas Production, Fort Worth Basin: Issues and Discussion,” AAPG Bulletin, 91, p. 523, 2007
3) Deusche Bank, “Markets Research-Industry: Global Chemicals,” November, 2013