

DME 생산기술 및 보급 전망

Prospect of DME Production Technology and Utilization



오 전 근 / Jeon Keun Oh
SK 수석연구원 / SK Corporation

1. DME의 필요성

1) 환경 친화적인 수송용 에너지

DME가 처음으로 주목을 받게 된 것은 1995년 SAE Congress에서 디젤엔진에서의 DME 적용, DME 대량 생산 기술, DME의 환경적인 효과에 대하여 Amoco(현재 BP), Haldor Tpsos, Navistar, AVL 등이 논문을 발표하면서부터 시작되었다. DME가 새로운 에너지로 주목을 받는 주된 이유는 디젤엔진의 연료로 사용 가능하며 현행 경유 대비 매연을 전혀 발생시키지 않는 연료라는 점이다. DME를 압축착화 방식의 디젤 엔진에 사용하는 경우 에너지 효율이 높아 이산화탄소 배출이 적고 스파크 점화 방식 엔진을 사용하는 LPG(Liquefied Petroleum Gas) 나 CNG(Compressed Natural Gas) 등의 청정 연료 대비 경쟁력이 높은 장점이 있다. DME를 디젤엔진에 적용하는 경우 엔진에서의 NOx 생성량이 스파크 점

화방식 엔진에 비하여 높은 문제가 있으나, 배기 가스에 Soot 성분이 없어 배기가스 재순환(EGR)을 적용하여 Euro V 규격 이내로 NOx 배출량을 용이하게 조절할 수 있다.

DME를 수송용 연료로 사용하기 위해서는 DME 충전소 등의 인프라 구축이 필요한데 DME는 LPG와 물성이 유사하여 LPG 충전소에 복합화하는 경우 경제적인 보급망 건설이 가능하다. 따라서 LPG를 수송용으로 사용하는 국가들은 DME를 현실적인 수송용 에너지로 판단하고 있는 추세이다. 특히 일본과 유럽 지역에서 DME 차량에 높은 관심을 가지고 기술 개발과 상업화가 활발하게 진행되고 있다. 한국의 경우에도 LPG 차량 보급 대수가 130만대를 넘어서면서 세계 최고 수준이기 때문에 DME 차량 보급을 위한 DME 인프라 구축이 유리한 측면이 있다. 미국의 경우는 휘발유 중심의 주유소 등의 인프라가 구축되어 있고 방대한 지역에 새로운 에너지 공급 인프라를 구

축하는 것이 비현실적인 것으로 판단하여 상대적으로 DME 차량에 대한 연구나 상업화 노력이 부진한 실정이다. 유럽과 일본에서는 차량회사와 연구소 그리고 DME 상업화를 추진하는 회사 등을 중심으로 DME 차량 개발에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 한국의 경우에는 에너지기술연구소가 주관하고 SK가 참여하여 디젤 트럭을 개조하여 한국 최초로 DME 차량을 구성하여 시험 중으로 DME 차량 개발의 필요성을 직접 확인하고 있다.

DME 자동차의 장점은 ULEV(Ultra Low Emission Vehicle)의 기준을 무난히 충족시킬 수 있는 친환경적인 측면과 Fuel Cell 자동차 보다도 에너지 효율이 높아 이산화탄소 배출이 작은 것과 DME의 발열량이 낮음에도 불구하고 휘발유 차량의 단위 연료 부피당 주행 거리와 동등한 수준의 연비를 지녀 편의성이 높다는 것이다. 이는 수소, CNG, LPG, 메탄올, 연료전지 등의 청정 연료 자동차에 비교한 DME 자동차의 우수성이다.

2) 자원 고갈에 대응한 대체에너지

DME는 디젤엔진에 사용하는 연료로서 뿐만 아니라 발전용 가스 터빈, 보일러용 등에 적용이 가능한 청정 연료이다. 또한 유황 성분이 없고 낮은 온도에서 수소 생산이 가능하여 연료전지의 연료로서도 이상적이다. DME는 석유, LPG, LNG 등의 통상적인 탄화수소와 달리 자연계에 존재하는 천연의 에너지가 아니고 탄화수소를 원료로 하여 만든 합성연료(Synthetic Fuel)의 일종이다. DME를 합성하는데 이용할 수 있는 원료는 천연가스, 석탄, 바이오매스 등이 있다. 이 중에서도 천연가스는 석유 보다 풍부하게 매장되어 있는데 가스전이 중동 지역과 시베리아에 대량으로 분포하고 있어 인구 밀집 지역에 파이프라인으로 공급하는데 한계를 지니고 있다.

일부 천연 가스는 LNG로 -165℃의 초저온으로 응

축하여 운송 및 이용을 하고 있으나 소비의 대부분은 일본, 한국, 대만 등 동북아시아 시장에 75%이상 시장이 집중되어 있으며 LNG 공장과 운반선과 인수기지를 건설하는 데에는 수조원의 거대 자본이 요구된다. 이에 따라서 LNG 사업은 생산 시설과 소비 시장 개발이 동시에 이루어져야 하고 "Take-or-pay" 형태의 계약이 이루어져야 하기 때문에 상업화에 많은 계약을 가지고 있다. 이에 비하여 DME는 LNG에 비하여 상대적으로 작은 규모의 상업화를 추진할 수 있으며 이에 따라 개발이 유보된 중소형 가스전을 개발하는 하나의 방안으로서 주목을 받고 있다.

DME를 생산하는 원가 측면에서는 천연가스를 이용하는 것이 가장 유리한 것으로 분석되어지고 있는데, 원료의 가격 측면에서는 중동 지역이 가장 유망하고 입지적인 측면에서는 호주 지역과 인도네시아 지역이 DME 생산 시설을 설치하는 것이 유리하다. 석탄도 DME를 만들 수 있는 원료로서 기존의 석탄 이용 기술에 비하여 청정성이 월등하다는 것이 장점이다. 지구상에 부존된 석탄 자원은 약 45조 석유환산배럴로 일반적 석유(Conventional Oil)의 20배 이상의 매장량을 지니고 있어 인류가 지속적으로 이용해야 하는 에너지이다. 석탄을 이용하여 DME를 만드는 경우의 생산 원가는 천연 가스를 원료로 하는 경우에 비하여 다소 높은 수준이나 향후 석유 가격이 \$30 이상으로 꾸준히 유지되는 경우 석탄을 원료로 하는 DME도 충분한 가격 경쟁력을 가질 수 있다.

DME를 제조하는 원료로서 식물을 사용하는 경우 완벽한 재생에너지(Renewables)라는 점에서 가장 이상적이다. 바이오매스 원료가 경쟁력을 지니기 위해서는 향후 이산화탄소 배출을 억제하기 위한 탄소세나 유류세 감면 등의 여건 조성이 필요하며 국제적인 탄소세 협정의 정도에 따라서 DME의 원료로서 채택되어 질 가능성이 있다.

이상에서 살펴보았듯이 DME는 다양한 탄화수소

물질과 심지어는 수소의 가용 여건에 따라서는 이산화탄소까지를 원료로 사용할 수 있는 "Multi-Source" 에너지로서 미래 석유 자원의 고갈에 대비할 수 있는 대체에너지이다. 최근 미국, 중국이 석유 수입국으로 전환되고 나서 현재는 수입이 급속도로 증가하고 있어 석유 위기를 재촉하고 있다. 따라서 DME와 같은 새로운 대체에너지에 대하여 점점 더 관심이 증가하고 투자 규모가 확대될 것으로 예상된다.

그리고 DME는 수송용 에너지로 뿐만 아니라 여러 가지 다른 목적의 "Multi-purpose" 에너지로서 이용될 수 있으며 특히 청정성의 장점을 지니고 있다. 특히 바이오매스-석탄-석유-가스-수소-Renewables로 이어지는 주력 에너지의 변화 Cycle에서 DME는 고효율 청정 에너지의 역할을 수행하면서 치열한 에너지 경쟁 시대에 지속적으로 생존할 가능성이 높은 합성 연료이다.

따라서 본 논문에서는 DME를 생산하는 여러 가지 기술에 대하여 고찰하고 전망하며 DME를 보급에 관련된 기술적 이슈들을 점검하는 것을 주제로 하고 있다.

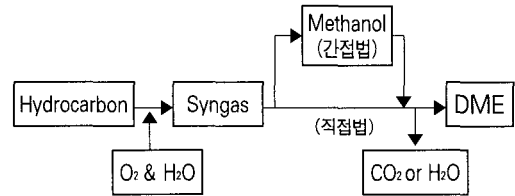
2. DME 생산 기술

1) DME 화학

DME는 일산화탄소와 수소를 주 성분으로 하는 합성가스로부터 메탄올을 합성하고 메탄올의 탈수소화하는 반응에 의하여 만들어진다.

반응	화학식	엔탈피변화 (KJ/mol)
1) Partial Oxidation Reforming	$\text{CH}_4 + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + 2\text{H}_2$	-36
2) Steam Reforming	$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$	206
3) Methanol Synthesis	$\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$	-50.1
	$\text{CO}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$	-50.1
4) Methanol Dehydration	$2\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{O}-\text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$	-23.3
5) Water/Gas Shift Reaction	$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$	-40.9

메탄올 합성³⁾과 메탄올 탈수소화⁴⁾ 반응이 하나의 반응기에 일어나는 경우를 직접법(Direct Path Method)이라고 하고 두개의 반응을 분리하여 순차적으로 일으키는 경우를 간접법(Indirect Path Method)이라고 한다.



(그림 1) 직접법과 간접법에 의한 DME 합성 Path

직접법에 의한 DME 합성은 중간 생성 물질인 메탄올이 반응기 내에서 DME로 전환되어 평형 전환율이 높고 이에 따라서 반응기의 압력을 낮추어서 운전할 수 있는 장점이 있다. 그런데 메탄올 합성 반응과 메탄올 탈수 반응은 발열 반응이다. 또한 동시에 수반되는 물/가스 전환 반응도 발열 반응이다. 이에 따라서 반응열을 반응기 내에서 연속적으로 제거해야 최적의 반응 상태를 유지할 수 있다. 직접법의 경우에는 반응이 하나의 반응기에 집적되어 있어 제거해야 하는 반응열이 증가하게 되므로 반응기 Scale Up에 불리하여 공정의 대형화 설계의 제약이 되는 것이 문제점이다. 또한 직접법으로 DME를 생산하는 공정은 아직 상업적으로 건설된 실적이 없기 때문에 단계적으로 Pilot 플랜트(5톤/일), 실증 플랜트(100톤/일), 상업화 플랜트(1,000톤/일 이상)를 건설하면서 기술 개발이 단계적으로 이루어져야 하므로 문제해결과 실증을 위한 많은 시간과 노력이 요구된다.

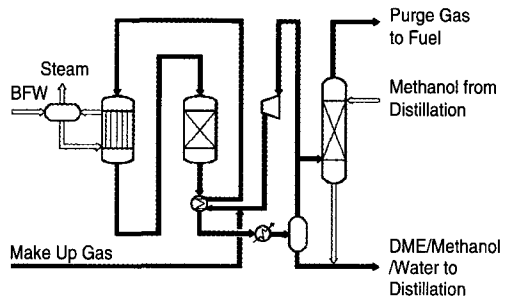
간접법에 의한 DME 생산 방법은 중간 물질로서 메탄올을 제조하고 이를 탈수 반응을 통하여 DME를 합성하는 방법이다. 현재의 DME 제조 방법은 순수한 메탄올을 사용하여 탈수반응⁴⁾를 통하여 제조하고 있

다. 현재 DME는 주로 페인트, 약품, 화장품의 분사제로 사용되고 있어서 시장 규모가 작기 때문에 DME를 상업 생산하는 공정은 연산 1,000톤에서 10,000톤 사이로 소규모이다. DME를 연료로 사용하기 위해서는 최소한 연산 1백만톤 규모의 공정이 설치되어야 하고 따라서 기존의 DME 탈수 공정에 대한 Scale Up이 100에서 1000배 가량 이루어져야 한다. 그런데 DME 탈수 공정은 구조가 단순하여 Scale Up에는 제약이 거의 없다. 최근에 메탄올의 경우 연산 170만톤 규모의 공정이 이란과 트리니다드에 건설되고 있어서 DME 1백만톤급 공정은 이러한 기술을 적용하여 생산되는 메탄올을 이용하면 현재의 기술로도 연료용 DME 생산을 위한 상업화 공정 건설이 가능하다. 특히 대규모 투자가 요구되는 대형 DME 생산 공정 건설을 위해서는 확실하게 입증된 기술을 사용해야 실패 위험도를 낮출 수 있어 간과할 수 없는 중요한 요소가 된다.

기존의 DME를 제조하는 공정에서는 원료 물질로 순수한 정제 메탄올을 사용하고 있다. 그런데 메탄올 제조 공정에서 메탄올을 정제하는 데에는 많은 에너지가 소비된다. 이러한 에너지 소비량을 줄이기 위해서 미정제 메탄올을 원료로 이용하는 공정에 대한 연구를 SK는 화학연구소와 공동으로 수행하고 있다. 미정제 메탄올을 사용하는 경우에는 에너지 비용 절감뿐만 아니라 메탄올을 정제하는 공정 설비 투자를 줄일 수 있어서 DME 생산 원가를 대폭 낮출 수 있게 된다.

2) 기술 개발 현황과 상업화 전망

직접법에 의한 DME 생산에 관한 최초의 특허(UK 1587630)는 1981년 이탈리아 Sanmprogetti사에서 Manara 등에 의해 개발된 것이다. 그리고 DME를 대량 생산하는 기술로서 DME 디젤 연료 발표 당시에 가장 주목 받은 기술은 Haldor-Topsoe에서 개발한 것



〈그림 2〉 Haldor-Topsoe사의 2 Stage 공정

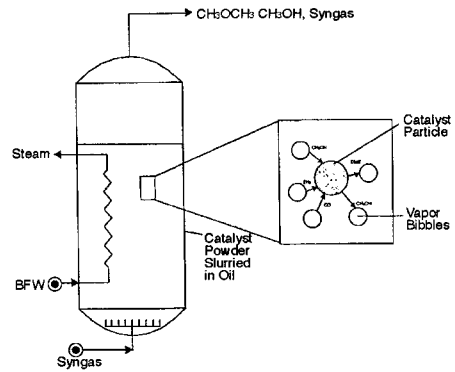
이다. 이들은 그 유명한 메탄올 합성 반응과 메탄올 탈수 반응을 위한 촉매를 하나의 반응기에 섞어 넣거나 결합하여 넣는 특허 공정(WO 06/23755)을 개발하였다. 메탄올을 합성하는 촉매는 구리, 아연 및/또는 크롬을 기체로 하는 종래의 메탄올 촉매를 사용하고 메탄올 탈수 반응은 알루미늄 또는 알루미늄 실리케이트의 산 촉매를 사용하며 미전환된 메탄올은 탈수 반응을 통하여 다시 DME로 전환하는 것을 특징으로 하는 공정이다. 반응을 하나의 반응기에서 발생시켜서 오는 장점은 낮은 압력 즉 40 bar에서 60% 수준의 통과 전환율을 얻을 수 있어 메탄올 공정에서 동등한 전환율을 얻기 위해서 필요한 80 bar 수준의 압력에 비하여 낮다는 점이다. 그러나 이러한 단일 반응기 시스템에서의 문제점은 반응열이 증가하여 구리, 아연 촉매가 녹아 달라 붙어 비활성화되는 것과 부산물로 발생하는 물이 구리 아연 촉매에서 물-가스 전환 반응을 일으켜서 지속적으로 원료 물질인 일산화 탄소를 소모를 유발하는 부반응이 동시에 일어나는 것이다.

이러한 문제점을 인식하고 Haldor-Topsoe는 〈그림 2〉와 같은 2-stage DME 대량 생산 공정을 개발하였다. 2-Stage 반응기 개념은 첫번째 반응기에서는 메탄올을 합성하고 두번째 반응기에서는 메탄올 탈수 반응을 통해 DME를 생성한다. 촉매가 분리되어 있어 물-가스 전환 반응에 따른 원료 물질의 낭비가 없는

점이 장점이다. 메탄올 반응기에서의 적정 전환율 유지와 단일라인 처리량을 높게 유지하기 위해서는 80 bar의 고압 상태가 설비의 크기 감축을 위해서 유리하다. Haldor-Topsoe는 약 일 7천톤급의 단일라인 공정에 대한 설계 기술을 확보하고 있다고 발표하고 있으며 촉매는 약 3만시간 동안 안전성을 시험하여 전체 대형화 설계 기술을 확보하였다고 한다.

Haldor-Topsoe의 2 Stage 공정은 메탄올 공정과의 유사성으로 인하여 Scale-Up에 따른 Risk가 낮은 것이 장점이다. 원료로 사용하는 합성가스도 H₂:CO 비율이 2:1을 유지하여 메탄올 공정과 동일하고 특히 천연가스를 원료로 사용하는 경우에는 가장 자연스럽게 2:1 합성가스가 Partial Oxidation에 의해 만들어지기 때문에 이상적이다. 그러나 두번째 반응기에 수분과 Coking으로 인한 촉매의 활성 저하가 발생하는 문제를 가지고 있다. 다른 하나의 문제는 2번째 반응기에서 메탄올을 100% DME로 전환하지 못하여 이에 따라서 메탄올을 병산해야 하거나 후단에 메탄올을 다시 DME로 전환하는 "MTD(Methanol-to-DME) 공정을 설치하여야 한다. 이에 따라서 Haldor-Topsoe 공정은 공정 구조가 다소 복잡해지는 단점이 있고 간접법에 비하여 뚜렷한 차별화된 경쟁 우위를 갖지 못한다. 여기서 Haldor-Topsoe의 2 Stage 공정은 직접법과 간접법이 중간적인 공정으로 볼 수 있다.

미국의 Air Products and Chemical 사는 메탄올 합성 반응³⁾과 MTD 반응⁴⁾ 그리고 물-합성가스 전환 반응⁵⁾에 의하여 발생하는 많은 열을 용이하게 제거하기 위하여 <그림 3>과 같은 액상 Slurry 반응기 기술을 적용한 공정을 개발하였다. 액상 반응기는 촉매와 Inert Mineral Oil을 섞어서 채운 반응기에 합성 가스를 아래에서 Bubbling 하면서 기상의 제품을 얻는 방식으로 Scale Up과 열의 제거가 용이하며 비활성 촉매를 연속적으로 제거하여 일정하게 촉매 활성을 유지할 수 있는 장점이 있다. GTL(Gas-to-liquids)로 통



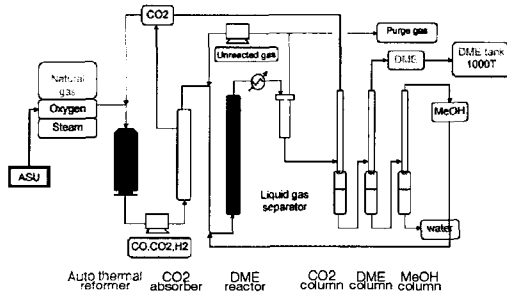
<그림 3> LPDME™ 액상 Slurry 반응기

칭되고 있는 FT(Fischer-Tropsch) 반응기도 최근에는 Slurry 반응기의 장점이 부각되면서 적용이 확대되고 있으며 촉매만 다를 뿐 반응기 설계는 거의 동일하다.

액상 Slurry 반응기 기술은 원래 석탄 액화(Coal-to-liquids)를 위하여 개발된 기술이다. 석탄을 액화하기 위하여 합성 가스를 만드는 기술을 가스화라고 하는데 석탄 가스화에 의하여 만든 합성가스의 H₂:CO 비율을 1:1 수준에 근접한다. 이러한 합성 가스 비율은 메탄올을 만들기 위해 필요한 2:1 조성비를 지니지 못하여 적합하지 않다. 그러나 메탄올 합성과 탈수 기능을 단일화한 촉매에서는 발생하는 물에 의한 물-가스 전환 반응이 발생하여 필요한 수소가 제공되어 DME를 생성하는 목적으로는 석탄합성가스가 오히려 최적 합성 가스 조성에 가깝게 된다. 미국에서는 DME를 에너지화 하는 것에는 관심이 높지 않아 현재는 더 이상의 기술 발전이 되지 않고 정체되어 있는 상태이다.

일본의 NKK사도 액상 Slurry 반응 기술을 응용한 DME 직접 합성 공정을 개발하고 있다. NKK사의 기술도 당초에는 석탄가스에 적합한 형태로 개발되었다. NKK에서 개발한 촉매는 DME 탈수 반응에서 발생

물을 전량 전환 반응을 시켜 이산화탄소로 변환하고 이에 따라서 물 분리의 필요성을 제거한 것을 특징으로 하였다. 이들은 5ton/day의 Pilot Plant를 건설하여 기술을 입증하였으며 일본 내 DME 붐을 조성하는데 큰 역할을 수행하였다. 최근 NKK 기술을 중심으로 10여개 회사가 참여하는 DME 개발 주식회사를 설립하고 일 100톤 용량의 천연가스를 원료로 하는 DME 실증 공정을 2003년 말 완공을 목표로 건설하고 있다. 천연가스를 원료로 하는 NKK 공정은 <그림 4>와 같다.



<그림 4> NKK의 천연가스를 원료로 하는 DME 합성 공정

NKK 공정의 특징은 직접법의 문제점으로 지적되는 물-가스 전환 반응에 의하여 원료 물질인 일산화탄소가 이산화탄소로 전환되어 손실되는데 이를 만회하기 위하여 이산화탄소를 회수하여 Auto Thermal Reformer로 재순환 한다. 재순환된 이산화탄소는 평형 반응에 의하여 일산화탄소로 전환되어 반응 원료로 재 활용되어 결국 수율을 증가하는 역할을 한다. 재순환되는 이산화탄소는 촉매의 Coking을 유발하여 촉매 활성 저하 및 수명 단축의 문제를 유발하는 문제가 있으며 재순환에 소요되는 물량 만큼 공정의 용량을 축소하는 작용을 하는 것이 단점이다.

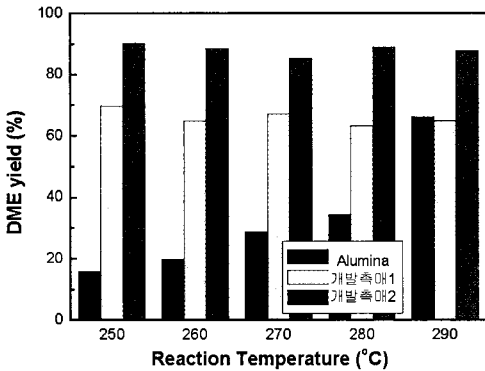
또한 압력을 낮추어 운전하므로 반응물의 부피 증가에 따라서 설비의 크기가 증가하여 단일 반응기의 최대 용량이 일 2,500톤 수준이다. 따라서 기상

Fixed Bed 반응기에 비하여 Scale Up 측면에서 크게 유리할 것으로 판단하여 개발하던 액상 Slurry 반응기의 우위는 Engineering을 고려한 사전 설계 결과 뚜렷하게 드러나지 않고 있다. 또한 이산화탄소를 분리하고 압축하여 재순환하는 설비의 복잡성과 투자비를 고려할 때 액상 Slurry DME 직접 합성 공정은 활발한 기술 개발 투자 활동에도 불구하고 전통적인 간접법에 비하여 경제성이 차별화 되기 어려울 것으로 전망된다.

전통적인 기술을 바탕으로 하는 간접법에 의한 기술은 메탄올 기술을 근간으로 하여 공정의 Scale Up에 역점을 두고 있는데 대표적으로는 독일의 Lurgi 사의 Mega DME 기술과 미쓰비시 가스화학과 미쓰비시 중공업의 기술, 그리고 일본 Toyo Engineering의 기술이 대표적이다. 천연가스를 원료로 하는 메탄올 공정은 종래에는 Steam Reforming 기술이 주로 이용되었는데 일 5,000톤 이상의 메탄올 생산 용량을 가지는 대형 공장은 Steam Reformer의 Scale Up 제약 때문에 대형화가 용이한 Auto Thermal Reformer를 병립으로 설치하여 대형화를 추구하고 있다.

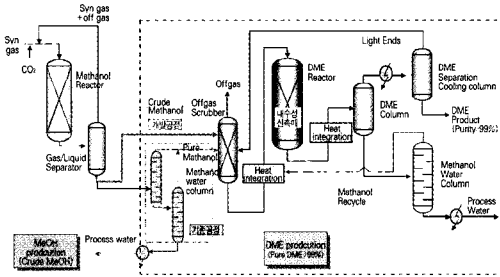
종래의 메탄올 탈수에 의한 간접 방식의 DME 생산 공정은 주로 알루미늄이나 상업적인 촉매로 사용하고 있다. 알루미늄은 과량의 물이 존재하는 경우에는 촉매 활성이 급격하게 저하되며 적정 수준의 전환율을 얻기 위해서는 300℃ 부근의 반응 온도를 필요로 한다. 또한 촉매의 Coking 이 비교적 빠르게 진행되어 지속적으로 운전 온도를 상승시켜야 하는데 이 경우에는 유틸리티 비용 증가와 부반응이 진행되어 불필요한 Gas 생성량이 증가되어 경제적인 문제점을 가지고 있다.

SK연구소와 한국화학연구소는 공동으로 물이 존재하는 미정제 메탄올을 투입하는 경우 촉매 활성이 오히려 증가하고 낮은 온도에서도 작동하는 고효율 촉매를 공동으로 개발하고 이 촉매를 이용하여 유틸리티



〈그림 5〉 상용 Alumina 촉매와 개발한 내수성 DME 합성 촉매의 활성 비교

정제 공정을 생략하는 효과에 의하여 직접법 수준의 유틸리티 비용으로 개선이 예상된다. 또한 직접법의 경우에는 DME와 함께 소량 생산되는 메탄올을 처리하기 위한 공정 설비가 요구되는데 SK 특허 공정의 경우에는 메탄올이 부산물로 발생되지 않아 DME 수율이 전통적인 간접법 수준과 동등하게 유지되는 장점을 지니고 있다. 전통적인 DME 반응기는 높은 열을 방출하여 촉매 보호를 위하여 내부에 Cooling 설비를 설치하여야 하나 개발된 공정의 경우에는 별도의 Cooling 설비가 필요 없는 단순한 Adiabatic Fixed Bed 기상 반응기의 적용이 가능하여 대형화가 용이하고 투자비가 절감되고 촉매 교체 등의 보수 유지가 가능한 것도 종래의 기술 대비 발전된 점이다.



〈그림 6〉 NKK의 천연가스를 원료로 하는 DME 합성 공정

3. DME의 보급 전망

여러 기관에서 수행된 DME 타당성 Study 결과를 종합하면 동북아시아 지역에서 조달 가능한 DME의 수입 가격은 1백만톤급 이상의 DME 공장에서 생산되는 경우 Million BTU당 \$4 ~\$5 수준이 될 것으로 예측하고 있다. 대형화 수준에 따라서 1백만톤급과 3백만톤급에서 생산되는 DME의 가격차는 Million BTU당 \$1 부근으로 추산되고 있으며 가스전이 동남아시아에 있는 경우 DME 운송비의 차이는 Million BTU 당 \$0.4 수준으로 예측하고 있다.

이러한 수준의 DME 수입 가격은 Diesel 과 LPG의 통상적인 수입 가격에 비하여 낮은 수준이고 LNG와는 경쟁할 수 있는 수준이다. 따라서 수송용 연료로서의 DME는 가격과 환경 측면에서 다른 수송용 연료보다 경쟁력이 높은 수준에서 보급될 수 있다. 특히 동북 아시아 지역은 천연 가스 매장량이 부족하여 전세계 LNG 수입의 약 70%이상을 수입하고 있는 지정학

비용과 투자비를 낮추고 대형화가 유리한 특허 공정을 개발하고 있다. 〈그림 5〉는 개발된 내수성 DME 합성 촉매의 활성을 비교하고 있는데 현재 상업적으로 사용하는 Alumina 촉매에 비하여 저온에서의 전환율이 높고 미정제 메탄올을 원료로 사용하는 경우에도 매우 높은 활성을 나타내고 있다.

SK는 내수성 DME 촉매를 적용한 〈그림 6〉과 같은 특허 공정을 개발하고 있는데 오히려 Haldor-Topsoe의 2 Stage 공정에 비해서도 공정이 단순화되어 있다. 특히 메탄올 생산 공정의 50%이상의 유틸리티 비용을 사용하고 15% 수준의 투자비가 소요되는 메탄올

〈표 1〉 NKK사의 DME 수입가격에 대한 각종 변수의 영향 예측

Area	Gas Price US\$/MMBTU (VMcal)	Plant Scale ton/d	Annual Production Rate kton/y	DME FOB Price US\$/MMBTU	Transport Distance km	DME CIF Price US\$/MMBTU
West Australia Large Scale Gas Field	1.0 (0.4)	2,500	830	4.4	7,000	5.0
		5,000	1,650	3.8		4.4
		10,000	3,330	3.3		4.0
South East Asia Middle Scale Gas Field	1.25 (0.5)	5,000	1,650	4.1	5,000	4.6
		10,000	3,330	3.7		4.1
Middle East Large Scale Gas Field	0.5 (0.2)	2,500	830	3.7	12,000	4.8
		5,000	1,650	3.1		4.2
		10,000	3,330	2.6		3.7

적인 조건을 지니고 있어 DME의 경우도 LPG 나 LNG가 성공적으로 정착되고 보급 되었듯이 일본과 한국 지역에서 가장 우선적으로 보급될 수 있는 조건을 지니고 있다.

특히 일본, 한국, 중국, 대만 등의 동북아시아 국가에서는 LNG와 함께 LPG를 대량으로 수입하여 사용하고 있다. DME는 LPG와 유사한 보급 인프라를 사용해야 하므로 LPG 이용이 활성화된 이들 지역에서 DME를 적용하는 것이 보다 적용이 수월할 것으로 예상하고 있다. DME의 공급 인프라를 건설 하는 비용은 LNG에 비해 1/3 에서 1/5 수준으로 적게 소요되어 LNG 배관망이 도달하지 못하는 지역과 배관망의 과부하가 걸린 지역 그리고 청정 연료를 필요로 하는 지역에 청정에너지로서의 적용 가능성이 높다. 특히 DME는 분산에너지로서 인프라 구축 비용이 적게 소요되어 새로 개발되는 인구 밀집 지역의 에너지로서 적합하며 Fuel Cell 발전이나 Micro Gas Turbine 이나 엔진 발전기 등의 분산형 발전기에 적합한 에너지로서 전망이 밝다.

4. 보급을 위해 해결해야 하는 과제

DME가 성공적으로 보급되기 위해서는 몇 가지 중요한 과제를 해결하여야 한다. DME가 가장 적합한 적용 분야는 수송용 연료 분야이지만 단기간 내에 DME 자동차를 보급할 수가 없으며 낮은 가격으로 DME가 공급되지 않기 때문에 빠른 시간 내에 DME 차량이 증가하지도 않을 것이기 때문이다. 전세계에서 가장 많은 LPG 차량이 운행되고 있는 한국에서조차도 LPG 차량의 보급은 LPG가 도시가스 및 가정 상업용 에너지로 활발하게 이용된 후에 오랜 시간 후에 LPG 차량의 수가 늘어난 것이다. 따라서 DME를 대량으로 사용할 수 있는 소비처를 개발하여야 한다. 이것이 가능해져야 대형의 DME 공장을 건설하는 투자가 가능해지고 이렇게 해야 경제적인 DME 생산이 가능해진다.

대형 소비처로 가장 주목을 받는 용도는 발전용 연료이다. 그러나 안정성을 매우 중시하는 발전소에서 DME를 선뜻 사용하겠다는 결정을 내리기는 매우 어렵고 기술적인 검증과 개발 작업이 수반되어야 한다.

DME는 발전소 가스 터빈 연료로서 적합하나 기술적인 개발이 요구된다.

DME를 산업용 보일러나 석유를 사용하는 발전소 등에 적용하는 것은 비교적 기술적 리스크가 낮은 적용 분야이다. 한가지 문제는 합산소 연료를 연소할 때 일어나는 보편적인 문제인데 NOx 증가하는 현상이 발생하고 있다. 따라서 DME 연소시 NOx 발생량을 줄이는 버너 등의 연소 기술이 일본에서 개발되고 있다. 산업용 보일러나 석유 발전소에 DME를 적용하는 경우 대량의 DME를 소비할 수 있어 초기 DME를 정착 시키는데 중요한 구실을 할 소비처이다. 그러나 이러한 분야의 적용은 DME가 B-C 중유나 LNG와 경쟁이 필요하며 DME의 적용의 경제적 효과가 떨어지는 적용이므로 DME 보급 초기에 정책적으로 선택되어야 하는 적용 분야이다. 한국의 경우에는 제주도나 강원도 지역의 연료 청정화를 하는 경우에 DME는 매우 적절한 선택이 될 가능성이 높다.

DME는 일부 고무 계열의 물질 부식과 팽창시켜 문제를 유발한다. NBR 또는 HNBR 계열의 고무류가 비교적 DME 적용시 무난하게 적용할 수 있는 재질이며 테프론은 DME에 대한 내화학성이 가장 우수한 물질로서 사용될 수 있다. FFKM이 DME 적용시 가장 우수한 물질이나 가격이 높기 때문에 선택적으로 사용될 수 있다.

DME를 운송하고 저장하는데 있어서도 LPG와는 다른 특성이 있는데, 예를 들어 LPG 운반선에는 탱크 속에 펌프가 탑재된 경우가 많은데 DME는 약한 전기 전도도를 지니기 때문에 기존에 사용되는 LPG 펌프가 개량되어야 한다. 또한 펌프 등에 고무류 부품이 사용되는 경우 적절한 것으로 교체되어야 한다. 따라서 일부 LPG 운반선은 개조 후 DME를 적용할 수 있다. DME 운반을 위해서는 국제 해사 기구(IMO)에서 제정하는 국제 가스 운반선 코드(IGC Code)가 제정되어야 하는데 각국간의 협의 절차를 고려할 때 코드 제

정을 위해서는 3년이상의 기간이 소요된다. 코드가 제정되지 않는 경우에는 보험 등의 처리가 곤란하여 실질적으로 DME를 운반하는 것에 제약이 되므로 코드 제정을 추진하고 있다.

DME를 저장하기 위해서는 현재 고압가스안전법에 따른 규정을 적용받고 있다. 그러나 DME를 수송용 연료로 사용하기 위해서는 LPG와 같은 석유액화가스 법과 동등한 수준의 법령이 마련되어야 DME를 충전소에서 수송용 연료로 판매할 수 있게된다.

수송용 연료 외에 DME의 활용성이 높은 용도는 분산 발전 분야이다. DME는 공급 인프라 설치 비용이 낮아 LNG에 비해 분산형 에너지로서의 장점이 있기 때문이다. DME를 사용하는 발전기는 마이크로가스터빈, 디젤엔진, 연료전지 등이 있다. 마이크로가스터빈은 DME 적용이 비교적 기술적으로 용이하다. 디젤 엔진 발전기에 DME를 사용하면 높은 에너지 효율과 우수한 환경 개선 효과를 동시에 얻을 수 있기 때문에 유망한 적용 분야이며 자동차용 DME Diesel 엔진이 개발됨에 따라서 향후 적용이 확대될 것으로 예상된다. 그리고 DME는 황성분을 포함하지 않고 메탄보다 낮은 온도에서 수소 발생이 가능하기 때문에 연료전지 발전기의 연료로서도 유망하다.

미래에 수소연료 자동차 시대가 도래하는 경우에도 DME를 사용하여 충전소와 주유소에서 수소를 만들 수 있기 때문에 수소에너지의 전달 매체로서의 역할을 할 수 있다. DME는 미래 분산형 에너지 시대에 적합한 새로운 에너지로서 이와 관련된 다양한 적용을 위한 연구가 수행되어야 한다.

일본에서는 통상산업성 산하의 JETRO, NEDO, 자원에너지국, JNOC 등이 지원하는 DME 관련 국책 과제가 20여개가 진행되고 있으며 국토 교통성 산하에서도 DME 차량 개발 관련된 여러 개의 국책 과제를 수행하고 있다. DME의 보급을 위해서는 여러가지 해결해야 하는 과제를 풀기위한 기술 개발과 합리적인

법규 마련 등의 작업이 동시에 진행되어야 하며 일본의 경우 매우 체계적으로 진행되고 있다.

일본과 에너지의 경제성과 사용환경이 유사한 한국에서도 몇 개의 DME 관련 국책과제가 진행되고 있다. 현재는 가스공사를 중심으로 하는 직접법 DME 공정 개발, SK를 중심으로 하는 간접법 DME 공정 개발이 과학기술부 국책 과제로 진행되고 있으며, 에너지기술연구원이 주관하고 SK가 참여하는 DME 차량 개발 연구 등이 수행되어 DME 차량을 한국 최초로 제작하여 시험 중에 있으나, 일본에 비해서는 아직 과제의 규모 및 종류 면에서 매우 부족한 실정이다. DME의 경제성 확보를 위해서 대량 생산과 대량 소비의 시스템을 확보하기 위해서는 환경이 서로 비슷한 일본과 한국의 협력도 매우 효과적인 전략이 될 수 있다. 2001년말에는 DME 관련 연구자들이 DME

연구회를 조직하였고 2002년말에는 일본의 DME 포럼과의 교류의 폭을 넓히기 위하여 한국 DME 포럼을 결성하여 2차의 포럼을 개최하는 등 활동의 폭을 넓혀가고 있다.

DME는 LNG와 마찬가지로 경우로 동북아 시장에서 주도적으로 이용될 수 있는 에너지로서 미래의 환경 문제와 자원 문제를 효과적으로 해결할 수 있는 유망한 Solution으로서 부상하고 있으며 체계적인 개발이 이루어 지는 경우 국제 에너지 시장에서의 개발과 보급에 있어서 시장 주도를 할 수 있을 것이다. 점점 더 에너지 패권이 강조되고 석유에서 가스로 패러다임의 변화가 시작되는 시대에 있어서 DME는 중요한 신에너지로서 급격히 부각되고 있어 이에 대한 관심을 가지고 역량을 결집해야 할 때인 것이다.

참고문헌

1. Chem Systems, "Dimethyl Ether," PERP Report (1999)
2. Voss B. et al., "Preparation of Fuel Grade Dimethyl Ether," Patent WO 96/23755, August 8 1996.
3. Haldor-Topsoe, "Topsoe Technology for Large-scale Production of DME," Haldor-Topsoe Home Page
4. Lurgi, "Lurgi MegaMethanol to DME," IDA Conference, 2002
5. Mori Makihiko et. al., "DME Forum 이용기술분과회 보고서," 일본 DME Forum, 2001.
6. Ohno Y., "Recent Progress on NKK Process.", 5th IDA Meeting, 2002.
7. 오전근, "신에너지 DME의 필요성," NICE V20-5, 516, 2002
8. 정광덕, 주오심, "새로운 DME 합성공정 기술," ibid, 521, 2002
9. 이대엽, "해외의 DME 자동차 기술개발 현황," ibid, 526, 2002
10. 이영재, 표영덕, "국내의 DME 자동차 기술개발 현황," ibid, 529, 2002
11. 오전근, 방진환, "DME의 보급 체계 및 DME를 이용한 수소생산," ibid, 533, 2002