

Dimethyl Ether

金萬永, 선임연구원乙, 崔圭勳, 수석연구원, 디젤엔진시험팀, 譯
W. Addy Majewski, PhD, President of Ecopoint Inc., <http://www.dieselnet.com/tg.html>, 著

Abstract

DME (dimethyl ether)는 천연가스 및 석탄과 같은 여러 종류의 화석원료(fossil feedstock) 뿐만 아니라 재생가능한 원료(renewable feedstock) 및 쓰레기(waste) 등을 이용하여 만들 수 있다. DME를 디젤연료로 사용할 경우 NO_x와 PM을 저감시킬 수 있다. 한편, CO와 HC의 배출은 증가하는데, 이는 산화촉매(oxidation catalyst)를 이용하여 쉽게 제어할 수 있다. DME 연료의 에너지효율(energy efficiency)은 디젤(diesel)보다 낮지만 메탄올/가솔린(methanol/gasoline) 엔진보다는 높다.

1. Properties of DME

DME (dimethyl ether)는 대기 온도에서 약 500 kPa 정도의 상대적으로 낮은 증기압(vapor pressure)을 갖는 기체이다. 하지만 DME는 LPG와 같이 쉽게 액화가스(liquefied gas)로 만들고 저장할 수 있다. DME는 화학식이 CH₃OCH₃인 가장 간단한 에테르(ether)로서, 현재, 전세계적으로 1년에 약 100,000 ~ 150,000 ton이 생산되고 있다. (Verbeek, 1997) 이는 CFC 가스 대응으로 환경친화적이고 안전한 에어로졸 추진제(aerosol propellant)로 주로 사용되고 있다.

한편, DME는 디젤엔진의 연료로도 사용될 수 있는데, 이러한 DME의 특징으로는 디젤 연료와 비교하였을 때, (1) 약 55~60 정도의 상대적으로 높은 세탄가(cetane number) 및 (2) 낮은 자발화(autoignition) 온도, 그리고 (3) 열악한 발열량(heating value)을 들 수 있다. 아래의 Table 1은 DME의 물리화학적 성질을 다른 연료와 비교하여 나타낸 것이다.

Table 1 Comparison of DME with Other Fuels

Property	Fuel Type				
	DME	Diesel	Propane	Methanol	Gasoline
Formula	CH ₃ OCH ₃	-	C ₃ H ₈	CH ₃ OH	-
Liquid density @ 20 °C, kg/m ³	667	831	500.5	795	750
Lower heating value, MJ/kg	28.8	42.7	46.35	19.8	43.2
Cetane number	> 55	40 ~ 55	-	-	-
Autoignition temperature, °C	235	250	470	450	

Vapor pressure @ 20 °C , kPa	530		830	37	45/90
------------------------------	-----	--	-----	----	-------

엔진연료의 전체적인 에너지효율(overall energy efficiency)은 “휠 효율 만족도(well to wheel efficiency)”로 가장 잘 표현할 수 있다. 여기에서 “휠 에너지 효율의 만족도(well to wheel energy efficiency)”는 (1) 연료의 회수(fuel recovery), 생산(production), 그리고 분배(distribution)와 같은 주유소 효율의 만족도(well to filling station efficiency), (2) 엔진 효율, (3) 부가의 동력소비(auxiliary power consumption)와 같은 전달(transmission) 효율, 그리고 (4) 연료, 연료탱크의 무게 및 엔진의 차이에 기인한 무게의 차이를 설명하기 위한 차량무게 보정계수(correction factor)의 곱(product)으로 표현된다. 대형디젤 시내버스의 경우 DME의 “휠 효율 만족도(well to wheel efficiency)”는 디젤보다 낮고, LPG 및 CNG와 비슷할 뿐만 아니라 가솔린과 메탄올(methanol)보다는 높은 것으로 알려져 있다. 구체적으로 이들 각각의 효율은 디젤 30%, CNG, LPG, 그리고 DME는 21~24%, 그리고 가솔린은 26%이다. 한편, 소형디젤의 경우 직접분사식 디젤엔진의 에너지 효율이 26%로 가장 높고, DME(19%)는 DI 가솔린엔진(21%)과 LPG(18%), CNG(17%), 그리고 가솔린엔진(17%)의 중간에 해당한다.

DME는 Haldor Topsoe가 개발한 촉매공정(catalytic process)을 통하여 H_2 , CO, 그리고 CO_2 로 이루어진 합성가스(synthesis gas)로부터 생산된다. DME의 생산은 메탄올(methanol)의 생산과 매우 비슷하다. 즉, 먼저, 천연가스를 이용한 증기개질(steam reforming), 또는 석탄, 기름 찌꺼기(oil residue), 생물자원(biomass), 그리고 나무 등을 이용한 가스화(gasification) 공정을 통하여 합성가스(synthesis gas)를 생산한다. 두번째 공정은 메탄올(methanol)을 합성하는 것이다. 특별한 촉매를 사용하면 메탄올(methanol)은 동시에 DME로 변환될 수 있다. 현재, DME와 메탄올(methanol)의 원료(feedstock)로서 가장 가격이 싼 것은 파이프라인(pipeline)으로 수송할 수 없는 원거리(remote location)에 있는 천연가스(natural gas)이다. 한편, 이러한 HT(Haldor Topsoe) 공정은 순수(neat) DME 또는 DME, 메탄올(methanol), 그리고 물(water)의 혼합물(blend)로 사용될 수 있는 정제하지 않은 연료 등급(raw fuel-grade)의 DME를 생산할 수 있다.

한편, 안전성(safety)의 관점에서 볼 때 DME는 LPG 및 디젤과 비슷한 수준으로 알려져 있다. 실제로 유럽의 규제에서는 DME에 LPG와 같은 안전등급을 부여하였다. 한편, 스프레이통(spray can)에 사용되는 CFC의 대체용으로 DME를 사용하기 위하여 DME의 유독성(toxicity)과 환경측면에 대한 광범위한 연구가 이루어졌는데, 이 결과, DME는 무독성일 뿐만 아니라 환경친화적 물질이라는 결론이 도출되었다. 한편, 마취제 효과(narcotic effect)를 얻기 위해서는 약 8~12%의 농도가 필요한데, 프로판(propane)과 부탄(butane)의 경우에는 5~10%의 농도일 때 이와 비슷한 효과를 얻을 수 있다.

유럽과 북미에서는 DME 엔진을 개발하기 위한 연구가 한창 진행중이다. 이들 연구에서는 주로 연료시스템의 하드웨어의 개발에 중점을 두고 있다. 비록 DME의 분사압은 20 MPa로서 DI 디젤의 120 MPa보다 훨씬 낮지만, DME의 점성(viscosity)이 매우 낮을 뿐만 아니라 증기압(vapor pressure)이 높기 때문에 연료시스템의 개발은 쉬운 일이 아니다. 또한, DME 분사는 연소과정에 강한 영향을 미치기 때문에 DME 변환(conversion)은 LPG나 NG의 변환(conversion)보다 훨씬 어렵다. 한편, 연료 분사 파라미터(injection parameter)가 서로 다르기 때문에 DME 전용엔진은

유연성(flexibility)이 있는 디젤-DME 2원 연료(dual fuel) 엔진보다 앞서 개발될 것으로 예상된다.

한편, 대체연료(alternative fuel)의 경우에 항상 그러하듯이, 연료시스템의 구성장치에 사용되는 재질의 선택에 특별한 주의가 요구된다. 디젤엔진의 연료시스템에 사용되는 대부분의 엘라스토머(elastomer, 탄성중합체, 상온에서 탄성이 현저한 고분자 물질, 천연고무 또는 합성고무 따위, 譯註)는 DME에 접촉되었을 때 팽창하거나 용해되어 버린다.

대량생산이 되는 경우 DME 연료의 가격은 메탄올(methanol)의 가격과 비슷해야 한다. DME의 양산체제, 즉, 생산공정의 기술적 준비 뿐만 아니라 경제기반(infrastructure) 측면은 메탄올(methanol)의 그것과 매우 유사하다. 하지만 DME의 경우 생산공정의 높은 효율 및 대량생산이 가능하기 때문에 메탄올(methanol)의 가격보다 약 10% 정도 저렴하게 생산할 수 있을 것이라는 분석이 나오고 있다. (Hansen, 1995) 한편, 디젤연료와 비교하였을 때, 천연가스(natural gas)에서 생산되는 DME 연료의 가격은 디젤연료 가격의 약 90~135%에 이르는 반면, 재생가능한(renewable) 원료(feedstock)에서 만들어지는 DME는 디젤연료보다 약 3배 정도 비싼 것으로 알려져 있다. 한편, 위의 수치들은 에너지 효율(energy efficiency)로 보정된 값들이다.

2. DME Fuel and Emissions

DME의 또다른 특징으로는 낮은 자발화(autoignition) 온도 및 엔진실린더에 분사되었을 때의 순간 증발(instantaneous evaporation)을 들 수 있다. 이러한 특성으로 인하여 “분사율 제어(rate shaping)”를 통한 DME 엔진의 최적화가 가능하다. 한편, 점화지연(ignition delay) 기간 동안 분사되는 연료의 양을 감소시킴으로서 완만한 압력증가(pressure build-up)를 얻는 것이 가능하기 때문에 최대 연소압력 및 연소온도가 감소하고, 그 결과, NO_x 배출의 저감 및 엔진소음을 낮출 수 있다. 또한, 연료의 증발이 매우 빠르게 일어나기 때문에 입자상물질의 배출 역시 디젤엔진의 경우보다 낮다. 따라서, DME 엔진에 큰 무리없이 EGR을 도입하여 추가의 NO_x 저감을 얻을 수 있다. 한편, DME의 사용으로 인하여 증가하는 CO와 기체상(gas phase) HC는 디젤산화촉매(diesel oxidation catalyst)를 사용하여 쉽게 제어할 수 있다.

DME 연료에는 탄소-탄소 결합(carbon-carbon bond)이 아예 없거나 또는 아주 조금 밖에 없기 때문에 연소과정에서 PAH 또는 벤젠-톨루엔-크실렌(benzene-toluene-xylene)의 배출이 아예 없거나 또는 아주 약간 있을 뿐이다. DME에서 나오는 알데히드(aldehyde)의 배출은 디젤엔진의 그것보다 조금 낮은 것으로 발표되고 있다. (Verbeek, 1997)

한편, DME를 사용한 대형엔진(heavy duty engine)의 배출에 대한 연구가 Holdor Topsoe, AVL, Navistar, 그리고 Amoco社에 의하여 이루어졌다. (Fleisch, 1995) 시험에 사용된 엔진은 7.6ℓ의 과급기(turbocharger) 장착 V8 Navistar 엔진과 단기통 2ℓ AVL 시험엔진 두 대였다. 아래의 Figure 1에 두 엔진의 배출물과 Euro II 디젤엔진의 배출물을 서로 비교하여 나타내었다. 엔진 테스트 사이클은 ECE R-49 13모드이다.

아래의 Figure 1을 살펴보면, DME 엔진의 NO_x 배출은 Euro II 디젤엔진보다 약 40%

및 60% 정도 낮은 값이 측정되었고, 이와 비슷하게, DME Navistar 엔진의 PM 배출은 Euro II 디젤엔진보다 약 50% 정도 작다는 것을 알 수 있다. 한편, DME 엔진의 CO 배출은 급격히 증가하였다.

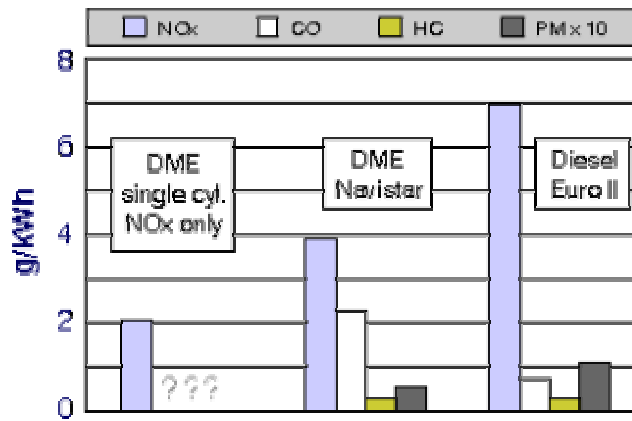


Figure 1 Exhaust missions with DME

참 고 문 헌

1. Fleisch, T. H., and Meurer, P. C., 1995, "DME - The Diesel Fuel for the 21st Century ?," AVL Conference Engine and the Environment ? Graz, Austria.
2. Hansen, J. B., et al., 1995, "Large Scale Manufacture of Dimethyl Ether - A New Alternative Diesel Fuel From Natural Gas," SAE 950063.
3. Verbeek, R., and Van der Weide, J. V., 1997, "Global Assessment of Dimethyl-Ether: Comparison with Other Fuels," SAE 971607.