

국·내외 DME엔진 자동차의 기술개발 현황

Status of Worldwide DME Engine Vehicle R & D



이 영 재 / Young Jae Lee
한국에너지기술연구원 팀장
Korea Institute of Energy Research



김 영 길 / Yong Kil Kim
전남대학교 교수 / Chonnam National University

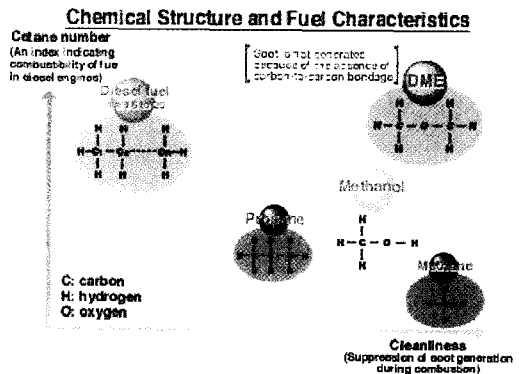
머리말

디젤엔진은 열효율이 높고 지구온난화가스인 이산화탄소의 배출량이 적은 장점이 있으나, PM(입자상 물질)과 NOx(질소산화물)의 배출량이 많은 단점이 있다. 따라서, 연소개선이나 배기후처리장치의 적용 등에 의한 오염물질 배출량의 저감과 아울러 천연가스나 LPG 등 저공해연료의 적용이 활발히 시도되고 있으나, 이들 연료는 세탄가가 낮아서 디젤엔진을 스파크점화방식의 오토사이클로 전환해야 하기 때문에 엔진의 대폭적인 개조가 요구됨과 함께 열효율이 크게 저하하는 단점이 있다.

디메틸에테르(DME; Dimethyl Ether)는 경유보다 높은 세탄가를 갖는 새로운 대체연료로서 압축착화에 의한 디젤사이클 운전이 가능하여 디젤엔진 수준의 열효율과 이산화탄소 배출량을 얻을 수 있고, 합산소 연료(산소 34.8wt%)이기 때문에 PM을 거의 배출하

지 않는 등 경유 대체연료로서 우수한 특성을 많이 가지고 있다(그림 1).

DME는 종래에는 메탄올의 탈수반응을 통한 간접법에 의해 제조되었으나 유럽, 일본, 미국 등지에서 합성가스로부터 DME를 제조하는 직접 합성반응기술이 개발됨에 따라서 천연가스, 석탄, 바이오매스, 폐플라



〈그림 1〉 DME의 세탄가 및 저공해성

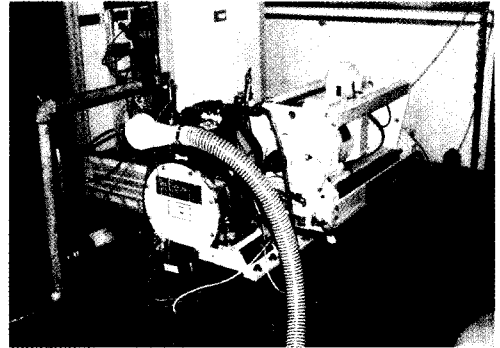
스틱 등 다양한 원료에 의해 낮은 가격으로 생산이 가능할 것으로 알려지게 되면서 자동차용 경유 대체연료로서는 물론, 발전용, 민수용 등 다양한 용도로서 그의 이용이 확대될 것으로 예상되고 있다. 또한 비점이 -25℃로서 상온에서 약 6기압정도로 가압하면 액화가 이루어지기 때문에 연료의 유통이나 저장특성이 LPG(액화석유가스)와 아주 유사하며, 이에 따라서 기존 LPG 인프라를 준용할 수 있는 장점이 있기 때문에 인프라 구축에 많은 투자를 요하는 천연가스 등 타 대체연료에 비해 보급이 아주 유리한 장점도 가지고 있다.

반면에, 점도가 낮기 때문에 인젝터나 플러저 등의 극간에서 연료가 누설되기 쉽고, 압력 및 온도 변화에 따라 탄성계수와 밀도가 크게 변화하는 성질이 있어서 엔진의 요구분사량을 확보하기가 어려우며 윤활성이 좋지 않기 때문에 연료계의 마모증가가 우려되는 단점이 있다. 따라서, 기존 디젤엔진에 DME를 적용하기 위해서는 연료공급계의 수정과 아울러 윤활성향상제의 사용 등을 DME연료의 물성을 고려할 필요가 있다.

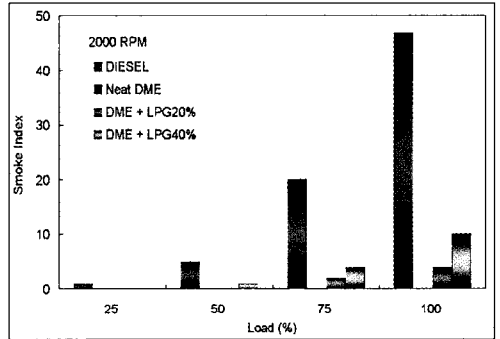
국내의 연구 현황

한국에너지기술연구원의 수송에너지연구센터에서는 2000년 5월부터 2년에 걸쳐 산업자원부 에너지기술개발사업의 일환으로 "DME의 디젤엔진 적용을 위한 연료공급계 및 연소계 기반기술 연구"를 추진한 바 있다.

본 연구에서는 <그림 2>에 나타내는 배기량 304 cc, 최대출력 6.5kW/3,500rpm의 공냉 단기통 직접분사식 디젤엔진에 경유, 순수 DME, DME-LPG 혼합연료 등을 사용한 각종 실험연구를 실시하여 순수 DME의 경우에는 매연을 전혀 배출하지 않고 LPG의 경우에는 DME에 40 vol.%까지 혼합하여도 매연을 거의



<그림 2> KIER의 DME엔진 시험시스템



<그림 3> 경유와 DME 및 혼합연료의 매연농도

배출하지 않으나<그림 3>, NOx의 배출량이 증가하여 이에 대한 대책에 필요함을 제시하였다.

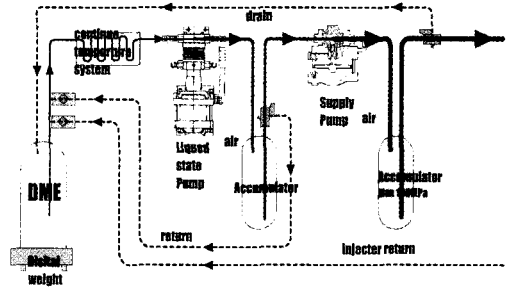
또한, 미강유로부터 생산되는 고점도의 바이오디젤유를 DME에 혼합 사용하면, 40%까지 혼합하여도 매연을 거의 배출하지 않기 때문에, DME의 저점도를 보완하기 위한 윤활성 향상제로서 아주 유효함을 제시한 바 있다.

또한, DME 사용시에는 매연이 거의 배출되지 않기 때문에 EGR(배기가스재순환)을 적용하여 NOx를 크게 저감할 수 있으며 Cooled EGR을 적용함으로써 NOx를 80%이상 저감할 가능성을 제시한 바 있다.

2002년 7월부터는 후속과제로서 "소형 인라인분사계 디젤엔진의 연료공급계를 사용하는 DME엔진 최적화 연구"를 3년과제로 추진하고 있다(참여기업 :



〈그림 4〉 KIER의 시제작 DME 트럭



〈그림 5〉 전남대학교의 DME 공급·회수시스템

SK, 위탁기관 : 인하대학교 이대엽 교수).

본 연구에서는 배기량 3,298cc, 최대출력 120PS/3,000rpm, 인라인펌프방식의 4기통 직접분사식 디젤엔진을 탑재한 적재중량 2.5톤의 경유트럭을 개조하여 프로토타입의 DME트럭을 시제작하고 DME의 실차량 적용시의 제반 문제점을 도출하여, 대응기술을 확립함을 목표로 하고 있다. 시제작차량은 지난 4월에 연구원 구내에서 시험주행에 성공한 바 있으며(그림 4), 앞으로는 엔진 성능 및 연료공급계의 최적화 등을 연구할 계획이다.

그 밖에 단기통 컴먼레일방식의 가시화엔진을 사용하여 경유와 DME 사용시의 분무 및 연소특성 가시화 등 기초연구도 수행하고 있다.

전남대학교(김영길 교수)에서는 과학재단 목적기초연구의 일환으로, 2000년 9월부터 3년간 “컴먼레일 FIE를 이용한 DME 엔진의 연료분사시스템 개발에 관한 연구”를 추진하고 있으며, 동 연구는 한국에너지기술연구원(이영재 박사)과 공동연구의 형태로 추진되고 있다.

본 연구에서는 DME연료 공급과정중에 일어나기 쉬운 베이퍼록을 방지하기 위하여 액화유지장치와 승압장치로 구성되는 〈그림 5〉의 DME 액상연료 공급 및 회수시스템을 제작하여 최대 1,000bar까지 DME

를 분사할 수 있도록 하였다.

이 연료공급장치와 기존 인라인펌프 연료공급계를 컴먼레일 전자제어 연료공급계로 개조한 배기량 673cc, 최대출력 9.1kW/2,200rpm의 수냉 단기통 4사이클 직접분사식 디젤엔진을 사용하여, 여러 엔진회전속도에서 연료 분사압력을 30 MPa, 40MPa, 50MPa, 60MPa로 변화시키고, 메인분사와 파일럿분사를 적용하여, 최적분사압력, 열효율, 질소산화물의 관계를 조사하였으며 그 결과, 분사압력 500bar에서 최고 열효율을 얻을 수 있고, 분사압력이 증가하면 NO_x의 배출량이 증가하나, 파일럿분사를 실시하면 NO_x 배출량을 30%정도 저감할 수 있음을 제시하고 있다.

그 밖에 충북대학교(노수영 교수)에서는 전남대학교와 공동으로 컴먼레일 연료분사계에서의 분무특성 연구를, 인하대학교(이대엽 교수)에서는 한국에너지기술연구원의 주관하에 “순수DME연료 사용엔진의 연료공급 및 연소시스템 최적화연구”를, 한국과학기술원(배충식 교수)에서는 고압분위기하에서의 DME 분무특성 실험 연구를, 한양대학교(김용모 교수)에서는 DME 액적의 증발특성 해석 등을 연구하고 있다.

한편, 금년 6월부터는 자동차부품연구원의 주관하에 한국에너지기술연구원과 전남대학교가 참여하여 5

개년 계획으로 한중일 국제공동연구를 착수하였다(일본 : 교통안전환경연구소, 중국 : 길림대학). 이 과제에서는 컴먼레일을 사용하는 소형 DME엔진의 기반 기술을 개발하고 프로토타차를 시작함을 목표로 하고 있으며, 한국에너지기술연구원에서는 연소계 최적화 기술, 전남대학교에서는 연료공급계 최적화 기술을 공동으로 연구할 계획이다.

국내의 DME 관련기구로서는 기업, 연구기관, 대학의 전문가가 참여하여 작년말에 한국DME포럼이 결성된 바 있으며, 지난 1월에 한·일 공동Workshop, 6월에 제2회 Workshop을 개최하는 등 DME 관련 기술개발 및 보급 활성화를 위해 노력하고 있다.

외국의 현황

국제에너지기구(IEA)에서는 Annex 14 (1997~1999)와 Annex 20 (2000~)을 통하여, DME의 디젤 대체연료로서의 타당성 연구를 추진하고 있다. 오스트리아, 덴마크, 프랑스 등의 유럽 제국과 미국, 캐나다, 일본 등이 참여하고 있으며, 자동차 관련 회사로서는 AVL, TNO 등이 참여하고 있다. 또한, 타당성 검토와 아울러, Workshop, DME 뉴스레터 등을 통한 DME 연구의 활성화도 꾀하고 있다.

2001년에는 <그림 6>에 나타내는 국제DME협회(IDA)가 구성되어 각국의 관련 기업, 연구기관 및 전문가의 참여 하에 DME의 제조에서 자동차분야를 포함한 이용에 이르기까지 각종 조사연구, Workshop, 기술교류 등을 추진하고 있다.

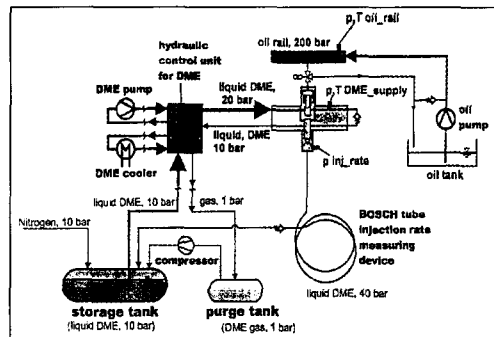
일본에서도 2000년에 일본DME포럼이 구성되어 DME의 제조, 운송, 이용에 이르기까지의 제반 기술, 경제성, 규격 등에 대한 조사연구와 정보교환 등을 통하여 DME의 활성화를 꾀하고자 하고 있다.

유럽의 연구현황을 살펴보면 오스트리아의 AVL사에서는 덴마크의 Haldor Topsoe사의 연구위탁을 계기로 1995년부터 DME엔진에 대한 연구를 추진하고 있으며, 인라인펌프방식, 컴먼레일방식, DHPO (Digital Hydraulic Operating System) 방식 등 여러 방식의 DME 연료공급시스템을 제안하고 있다(그림 7).

네덜란드의 TNO사에서는 NOVEM사로부터 위탁받아 DME의 대체연료로서의 가능성을 조사하고 있다. 인젝터 및 분사펌프의 누설에 대한 연구를 주로 추진하여 왔으나, 최근에는 엔진 실험연구를 실시하고 있으며, IEA 관련연구로서 AKZO NOBEL사와 공동으로 DME의 안전성에 대한 이론해석도 실시하고 있다.

Executive Committee:	Peter C. Meurer Chairman Ruud Verbeek Treasurer	Theo H. Flielsch Vice Chairman Spencer C. Sorenson Secretary											
Members(27):	<table border="0"> <tr> <td>Corporate Members</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • BP • Carbinol Technologies • Central Motor Wheel Ltd. • Haldor Topsoe s.a. • Japan DME Forum • Lurgi Oel Gas Chemie GmbH </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Mitsui & Co. Ltd. • Renault • Shell International • Snamprogetti s.p.a. • TNO Automotive • Unilever </td> </tr> <tr> <td>Individual Members</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • S. Oh, south Korea • Andre Boehman, USA • AVL, PTI, USA • Spencer Sorenson, Denmark </td> <td> <table border="1"> <tr> <td>Community / Institution Members</td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Municipality of Vaxjo, Sweden • Technical University of Denmark </td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td>Senior Advisors:</td> <td>Ron A. Sills USA</td> <td>Taky Matsuda JDF / Japan</td> </tr> </table>		Corporate Members	<ul style="list-style-type: none"> • BP • Carbinol Technologies • Central Motor Wheel Ltd. • Haldor Topsoe s.a. • Japan DME Forum • Lurgi Oel Gas Chemie GmbH 	<ul style="list-style-type: none"> • Mitsui & Co. Ltd. • Renault • Shell International • Snamprogetti s.p.a. • TNO Automotive • Unilever 	Individual Members	<ul style="list-style-type: none"> • S. Oh, south Korea • Andre Boehman, USA • AVL, PTI, USA • Spencer Sorenson, Denmark 	<table border="1"> <tr> <td>Community / Institution Members</td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Municipality of Vaxjo, Sweden • Technical University of Denmark </td> </tr> </table>	Community / Institution Members	<ul style="list-style-type: none"> • Municipality of Vaxjo, Sweden • Technical University of Denmark 	Senior Advisors:	Ron A. Sills USA	Taky Matsuda JDF / Japan
Corporate Members	<ul style="list-style-type: none"> • BP • Carbinol Technologies • Central Motor Wheel Ltd. • Haldor Topsoe s.a. • Japan DME Forum • Lurgi Oel Gas Chemie GmbH 	<ul style="list-style-type: none"> • Mitsui & Co. Ltd. • Renault • Shell International • Snamprogetti s.p.a. • TNO Automotive • Unilever 											
Individual Members	<ul style="list-style-type: none"> • S. Oh, south Korea • Andre Boehman, USA • AVL, PTI, USA • Spencer Sorenson, Denmark 	<table border="1"> <tr> <td>Community / Institution Members</td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Municipality of Vaxjo, Sweden • Technical University of Denmark </td> </tr> </table>	Community / Institution Members	<ul style="list-style-type: none"> • Municipality of Vaxjo, Sweden • Technical University of Denmark 									
Community / Institution Members													
<ul style="list-style-type: none"> • Municipality of Vaxjo, Sweden • Technical University of Denmark 													
Senior Advisors:	Ron A. Sills USA	Taky Matsuda JDF / Japan											

<그림 6> 국제DME협회의 조직 현황



<그림 7> AVL의 DME 연료공급계 (DHPO)

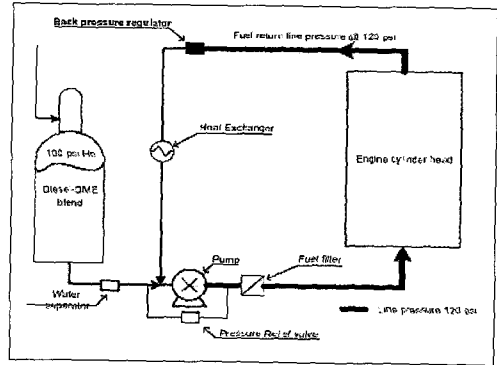


〈그림 8〉 Volvo의 DME 버스

덴마크에는 합성가스로부터 DME를 직접 제조하는 기술을 보유하고 있는 Haldor Topsoe사가 있어서, DME자동차의 실용화를 각국에 적극 추천하고 있음과 동시에 자국 내에서도 운수환경성, 연구기관, 버스회사, 스웨덴의 자동차회사인 Volvo, 노르웨이의 석유회사(Statoil) 등이 참여하여 1998년부터 DME버스의 플릿테스트를 실시하고 있다(그림 8). 동 버스는 EURO4 배기규제를 만족하고, PM에 대해서는 EURO5 배기규제를 만족한다고 발표하고 있으며, 작년부터는 대형 DME트럭의 개발도 3년 계획으로 추진하고 있다.

과리대학에서는 르노자동차의 협력하에 컴먼레일분사계를 사용하는 1.9리터급 디젤승용차에 대한 DME 적용연구를 추진하였다. 본 연구에서는 연료펌프의 용량과 노즐의 직경을 키우고, 일부 재료를 교체하여 DME엔진 차량의 배출가스 등을 평가하였다.

미국에서는 펜실버니아 주립대학에서 Air Product and Chemicals, DOE, Navista, Caterpillar 등의 참여하에 DME 셔틀버스프로그램을 추진하고 있다. Navistar의 EUI엔진에 DME-경유 혼합연료를 사용하여(그림 9 참조), 연료계통의 수정없이 DME를 최대한으로 사용함을 목적으로 연구를 추진하고 있으며, 연료계통의 내구성도 함께 평가하고 있다.



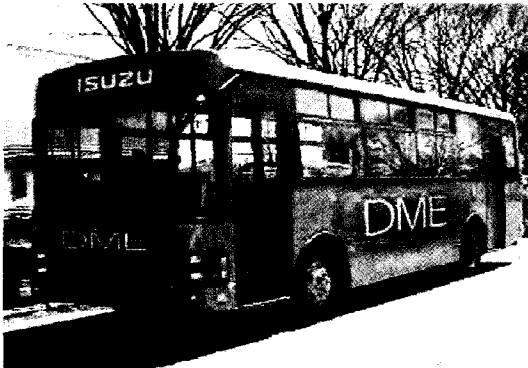
〈그림 9〉 DME셔틀버스의 연료공급계



〈그림 10〉 NKK의 DME 트럭

또한, AVL Powertrain Institute에서는 DOE의 협력 하에 승용에서 대형에 이르기까지 DME엔진용 연료공급계에 대한 기술개발 연구를 추진하고 있다. PNGV 프로젝트의 일환으로도 추진하고 있는 동 연구에서는 승용 DME 컴먼레일엔진의 경우에 미국의 Tier II 배기규제를 달성할 수 있음을 제시한 바 있다.

일본에서는 NEDO 프로젝트의 일환으로 DME 직접합성법을 개발한 NKK에서 일본 최초로 DME 트럭을 시제작하였으며(1996~), 작년부터는 국토교통성의 허가를 받아 공로상에서 주행시험을 실시하고 있다(그림 10). 적재중량 2톤인 이 트럭은 기계식 연료공급계를 사용하고 있으며, 연료공급계의 일부만을 DME에 적합하도록 개조하였다.



(그림 11) 이스즈의 DME 중형버스

닛산디젤과 교통안전환경연구소에서는 DME엔진 차량 평가프로그램의 일환으로(1998~2001), 적재중량 4톤급의 중형 DME트럭을 시제작한 바 있으며, 이스즈자동차에서도 중형 DME버스를 시제작하여 2002년부터 주행시험을 실시하고 있다(그림 11).

한편, 국토교통성 산하 교통안전환경연구소에서는 2002년부터 초저공해 DME엔진트럭 개발 프로젝트를 3년 계획으로 추진하고 있다. 동 프로젝트는 닛산디젤과 공동으로 수행하고 있으며, 최종목표는 신장기 규제(2005년) NOx 기준치의 1/10이하를 배출하는 적재중량 10톤급의 DME트럭을 개발하는 것이다.

그밖에, 산업기술총합연구소에서는 기계식 연료공급계를 사용하는 DME 소형트럭의 실용화 개발을 추진하고 있으며, 이바라키대학을 비롯한 여러 대학에서 DME엔진 및 연료분사계와 관련된 각종 기초연구를 추진하고 있다.

맺 음 말

DME는 지금까지 주로 사용되어 오던 스프레이 추진체 등의 용도에서 탈피하여 디젤엔진용 청정 대체연료나 LPG 또는 천연가스를 대신할 민생용 또는 발전용 연료로서 주목을 받고 있다.

메탄올탈수 간접법에 의한 DME 제조기술은 이미 상용화되어 있어서 국내에서도 LG화학에서 연간 3,000톤정도를 생산·판매하고 있으나, 현재로서는 LPG보다 수배 비싼 가격이므로 연료용으로 사용하기에는 거리가 있다.

이에 대하여 천연가스, 석탄, 바이오매스, 폐기물 등 다종다양한 원료로부터 합성이 가능한 직접합성법에 의한 DME 제조기술은 향후의 석유에너지고갈에 대비할 수 있고, 대규모 생산시에 경유와 비슷한 가격으로 제조할 수 있어서, 금후 자동차용 등 연료용으로서의 보급확대가 예상된다.

자동차제작사를 비롯하여 DME자동차의 실용화개발을 활발히 추진하고 있는 외국에 비추어, 우리나라에서는 연구기관과 대학에서만 연구가 추진되고 있고, 아직 자동차제작사의 적극적인 기술개발 의지는 미흡하다.

그러나 에너지원의 다원화, 대기오염물질의 저감, 지구온난화의 대응 등과 아울러, 다른 어느 대체연료보다 디젤엔진에 대한 적용성이 뛰어난 DME가 차세대자동차의 연료로서 활용될 것임은 확실시되며, 이에 우리나라에서도 보다 활발한 기술개발이 요망된다.

(이영재 편집위원 : yjl@kier.re.kr)