

DME-LPG 순차 혼합시 저장탱크 내의 혼합특성

천석훈 · 김차환 · 신동우 · 김래현[†] · 이현찬* · 백영순*

서울과학기술대학교 에너지환경대학원/산업대학원
139-743 서울시 노원구 공릉로 232
*한국가스공사 연구개발원 DME 연구개발
406-840 인천광역시 연수구 송도동 364
(2011년 11월 23일 접수, 2012년 2월 12일 채택)

Mixing Characteristics of Sequential Blending with DME and LPG in Mixing Drum

Suk Hoon Cheon, Cha Hwan Kim, Dong Woo Shin, Lae Hyun Kim[†], Hyun Chan Lee* and Young Soon Baek*

Graduate school of energy and environment, Seoul National University of Science and Technology,
232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 139-743, Korea

*DME Research Team, R&D Division, Korea Gas Corporation, 364 Songdo-dong, Yeonsu-gu, Incheon-city 406-840, Korea
(Received 23 November 2011; accepted 12 February 2012)

요 약

DME 및 LPG 혼합연료에 대한 혼합도 분석 실험을 수행하였다. DME 20 wt%와 LPG(주성분 프로판) 80 wt%를 탱크에 순차적으로 주입하여 시간 경과에 따라 탱크의 각 측정부에서의 농도를 측정하였다. 먼저 DME가 주입되고 그 후에 프로판이 주입되면서 DME의 일부는 혼합이 되나 일부는 혼합이 되지 않고 밀도차에 의해서 탱크 하부로 가라앉게 되는 층상화 현상이 발생하였다. 1일 경과 시 약 0.2~0.3 wt%의 증가비율로 두 연료가 혼합되어 완전히 균일하게 되기까지 약 500시간 이상이 소요되었다. 또한 재순환 펌프를 가동하여 탱크 내 연료를 순환 시킨 후 혼합 연료의 성분을 측정하는 실험에서는 DME와 프로판이 균일하게 혼합됨을 확인하였다.

Abstract – To study characteristics of DME and Propane blended fuel in mixing drum as time passed, mixing experiment of two components was performed. After 20 wt% of DME and 80 wt% of Propane were injected into mixing drum sequentially, and the mixture ratio of blended fuel was analyzed at several sampling ports. Consequently, DME and Propane were not easily mixed and DME was sunk to the bottom of the mixing drum by the density difference. The daily rate of DME ingredient increase was 0.2-0.3 wt%, and it took over 500 hours until two of them were mixed uniformly. And after recirculation of blended fuel in mixing drum, DME and Propane were mixed immediately and uniformly.

Key words: DME, LPG, Propane, Mixture, Mixing Drum

1. 서 론

DME (Di-methyl ether, CH_3OCH_3)는 천연가스뿐만 아니라 석탄, 바이오매스로부터 직접합성 또는 메탄올 탈수반응을 통한 간접합성 방법으로 생산이 가능하다. DME는 독성이 없고 취급이 용이하며, 다양한 용도를 지닌 청정에너지로 대두되고 있다. DME는 화석연료가 야기하는 제반 환경문제의 해결과 에너지 이용이라는 시너지효과를 얻을 수 있는 차세대 연료로서 세계 각국에서 연료화사업이 연구되고 있으며, 경제성 있는 대량생산기술이 상업화되는 시기에는 그 환경친화성과 편의성으로 빠른 기간에 가정, 상업, 산업용과 수송용 LPG 및 Diesel 대체연료로서, 나아가 발전용 연료로 활용될 가능성

이 매우 크다. DME는 물성에서 LPG와 유사하여 DME의 일부를 LPG에 혼합하여 LPG 사용시설을 그대로 이용하여 사용할 수 있다. 이에 대한 연구가 외국에서는 현재 활발히 진행되고 있으며, 중국의 경우는 상용화하여 가정/사업용으로 공급하고 있다. 일본의 경우도 현재 실용화 전단계인 시범연구를 수행하고 있다. 국내에서도 DME 연료의 보급차원에서 LPG에 DME를 각각 20%, 5%를 혼합하여 가정용과 수송용으로 시범보급을 하고 있다. 한국가스공사에서는 일일 10톤 DME 생산 Demo 플랜트를 인천 LNG 생산기지 부근에 완공하여 2008년부터 시험생산 및 최적화 운전을 하여 2009년 완료한 상태이며, 국산화된 DME 플랜트 기술과 운영 경험으로 해외 가스전 진출을 마련하였다. 더불어 운전 생산하여 나온 DME 연료는 LPG 혼합연료로서 사용할 수 있는 가정용·상업용 설비와 수송용 에너지 저장 및 전환 설비의 실증시험 연료로 활용되었으며, DME-LPG 연료의 혼합실증설비를 구축하고 LPG 인프라를 그대로 이용할 수 있

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: lhkim@snut.ac.kr

*이 논문은 서울과학기술대학교 손재익 교수님의 정년을 기념하여 투고되었습니다.

는 가정용과 수송용의 DME-LPG 혼합비율과 실증시험, 관련 법규 및 제도를 마련하였다[1-4].

본 연구에서는 DME와 LPG의 순차 혼합시 저장탱크 내에서의 혼합특성에 대하여 알아보고자, DME와 LPG를 혼합탱크에 순차적으로 주입한 후 시간 경과에 따른 DME 및 LPG 혼합연료에 대한 혼합도 분석 실험을 수행하였다. 물질이 유사하지만 서로 다른 연료이므로 혼합시 균일하게 잘 혼합되어야 하기 때문에 혼합을 위한 추가적인 설비나 별도의 외부 에너지원이 없는 그대로의 상태에서 혼합특성 및 탱크 내 강제 순환 후의 혼합특성을 알아보기 위한 실험을 수행하고 그 결과를 시뮬레이션 결과와 비교하였다.

2. 실험

2-1. 실험 장치

DME-LPG 혼합연료의 시간에 따른 저장탱크 내에서의 혼합도 분석 실험을 위하여 한국가스공사 내에 설치된 DME-LPG 혼합연료 실증설비를 이용하였다. DME-LPG 혼합연료 실증설비는 실증연구, 시범사업 등의 DME-LPG 혼합연료 공급을 목적으로 일일 10톤의 DME를 생산할 수 있는 DME demo plant 내에 설치되어 있다. Fig. 1에 본 연구 실험장치의 개략도를 나타내었으며, 각각의 저장탱크로부터 공급된 DME와 LPG(주성분 프로판)을 혼합탱크에 주입하고 높이 방향으로 설치된 시료 채취구로부터 포집하여 가스분석기를 통하여 성분을 분석하도록 구성하였다. DME-프로판의 혼합탱크는 $1.8 \times 10^5 \text{ kg/m}^2\text{g}$ 의 내압에 견디도록 설계된 2 m³의 탱크이며 1" 크기의 주입구로 연료가 주입되고 위치마다 혼합연료의 시료채취를 위한 1/2"의 시료 채취구가 탱크 하부로부터 40 cm 간격으로 5개 소가 설치되어 있다. 또한 주입된 각각의 연료를 강제 순환시키기 위한 1" 크기의 recirculation line이 설치되어 있다.

2-2. 실험 방법

국내에서 연구된바 있는 DME-LPG 혼합연료의 품질특성 연구를 통해 가정·상업용으로 사용할 수 있는 최적 비율인 DME 20 wt%, 프로판 80 wt%를 혼합탱크에 주입하였으며[5], 사용된 각 연료의 물성은 Table 1과 같다[9].

DME 140 kg 및 프로판 560 kg을 각각 혼합탱크에 순차적으로 주입한 후 혼합연료 저장탱크의 혼합도를 측정하기 위하여 혼합 연료의 위치별로 시간에 따른 농도 비율의 변화를 분석하였다. 액체 프

Table 1. Physical properties of liquefied DME and liquefied propane

Classification	DME	Propane
Molecular weight[g/mol]	46.07	44.1
Liquid density[kg/m ³]	670	582
Liquid viscosity[kg/m-s]	0.000149	0.000099
Surface tension[10 ⁻³ N/m]	11.36	7.02
Thermal conductivity(W/m-k)	0.1453	0.1588
Standard st. enthalpy(J/kgmol)	-1.8410E+08	-1.0450E+08

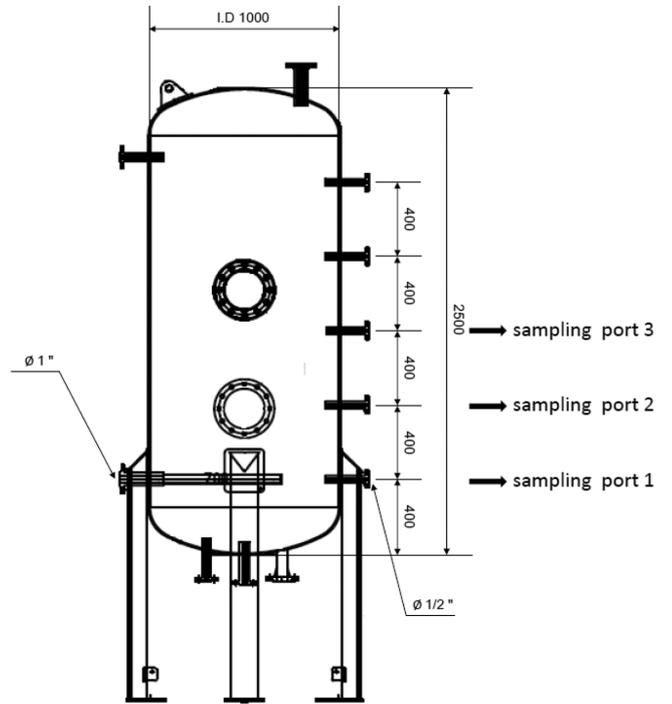


Fig. 2. Mixing drum and sampling position.

로판의 높은 증기압으로 DME의 선 주입 후 프로판을 주입하였으며 두 연료 주입 완료시의 탱크 액위는 약 150 cm이었고 액체상태의 DME와 프로판 혼합 연료의 농도 비율 분석을 위하여 탱크 하부로부터 40 cm 간격으로 설치된 5개의 시료 채취구 중 3개소에서 일정 시간 간격으로 혼합된 연료를 채취하고 가스분석기를 이용하여 분석하였다. 시간대별 시료 채취 시 배관 내 잔류 액체를 빼내어 채취하였고 버린 양은 전체 혼합에 영향이 미치지 않을 정도로 미량이었다. DME와 프로판을 주입하는 혼합탱크의 형상과 시료 채취구의 위치는 Fig. 2에 나타내었다. 또한 일정 시간 경과 후 주입된 혼합연료의 비율 검증 및 혼합탱크 내 강제 재순환 후의 혼합도 변화를 알

Table 2. Experimental conditions

Items	Condition 1	Condition 2
DME		
Quantity [kg]	140	140
Mass flow [kg/s]	0.317-0.375	0.317-0.375
Injection time [s]	480	480
Propane		
Quantity [kg]	560	560
Mass flow [kg/s]	0.633-0.667	0.333-0.367
Injection time [s]	900	1500
Experiment time [s] (Before recirculation)	345600 (96 h)	1800000 (500 h)

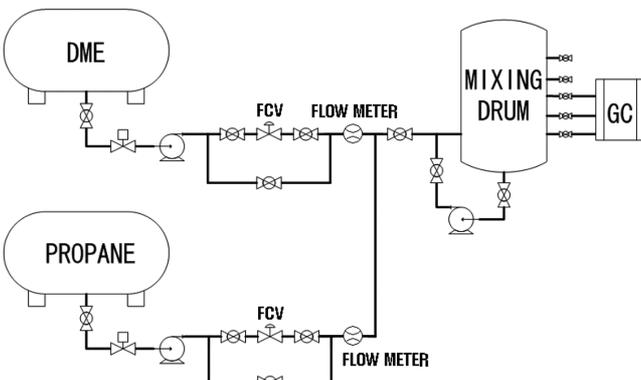


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental apparatus.

Table 3. Analysis conditions of GC

Items	Condition
Instrument	Acme 6000 GC, YOUNG LIN
Column	RESCEK, PD-Q 60/80
Description	2 mm I.D., 1/8" O.D
Injector Temperature	200 °C
Carrier gas	He, 20 ml/min
Oven temperature	120 °C
Detector temperature	220 °C

기 위하여 재순환 펌프를 약 2시간 정도 가동하여 순환시킨 후 성분을 분석하였다.

2-3. 실험 조건

DME-프로판 순차 혼합시 Table 2와 같은 실험 조건으로 프로판의 주입 유량을 변화시켜 혼합하여 초기 혼합도 및 시간 경과에 따른 농도 변화를 비교하였으며, 재순환 펌프 가동 전까지 혼합연료가 혼합탱크에서 체류한 시간을 늘려가며 혼합연료의 혼합도를 측정하였다. 각 시료 채취구에서 채취한 시료에 대한 프로판과 DME 성분 농도를 GC를 사용하여 Table 3과 같은 분석 조건에서 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 재순환을 하지 않은 상태의 혼합도

혼합탱크에 DME를 주입 후 프로판을 순차적으로 주입하여 탱크 내에서의 혼합연료 성분 분포를 확인해 보았다. 두가지 연료를 주입 후 재순환이나 별도의 에너지원이 없는 그대로의 상태이며, 실험 조건 별로 연료 주입 완료 시점부터 각각 96시간 및 500시간 경과에 따라 탱크 하부로부터 각각의 시료 채취구에서 측정된 혼합연료의 각 성분의 비율을 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 3과 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 주입완료 후 혼합탱크 내부의 DME 농도는 시간이 경과함에 따라 점차 증가하였다. 먼저 96시간 동안의 DME 농도 변화를 측정된 결과, 초기 시점 보다 약 1 wt%의 농도 증가가 있었고, 그 후 실험에서도 시간을 늘려가며 측정 하였지만 결과는 마찬가지로 급격한 농도의 변화는 보이지 않았으며 DME와 프로판이 완전히 혼합되는 시간을 알기 위해서 초기 주입량인 20 wt%에 근사하게 농도가 측정될 때까지 실험을 진행한 결과, 500시간(약 3주) 이상의 시간

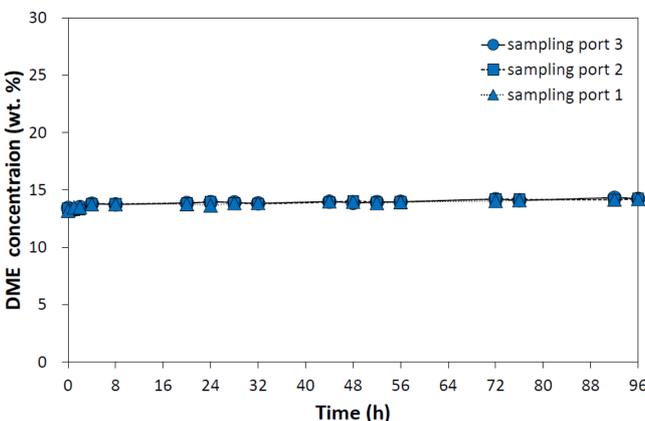


Fig. 3. DME wt% at 3 sampling ports in Condition 1.

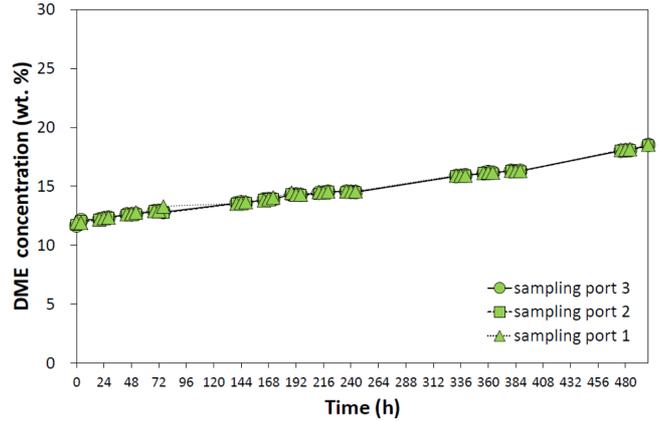


Fig. 4. DME wt% at 3 sampling ports in Condition 2.

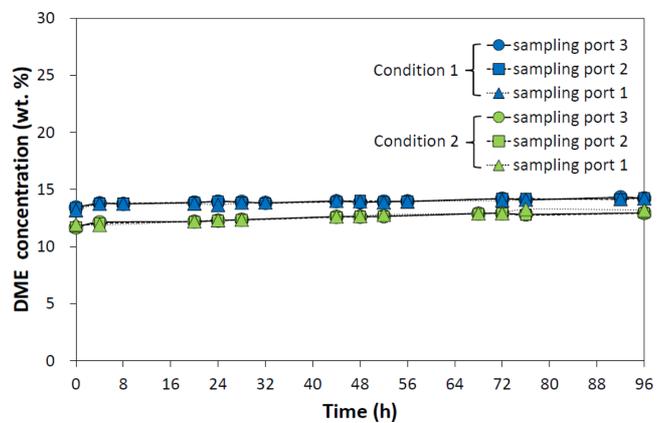


Fig. 5. Comparison of data for each conditions.

이 경과해야 두 연료가 혼합된다는 것을 확인하였다.

또한 각 실험에서 DME 주입 완료 후 프로판 주입시 유량의 변화를 주었는데 프로판 주입 유량의 증감에 따라 주입 완료시점의 DME 농도의 차이가 있었고, 이 결과로 나중에 주입되는 프로판의 주입 유량 혹은 속도가 두 연료의 혼합시간에 영향을 줄 수 있다는 것을 추측할 수 있었다. 이것은 다량의 프로판이 주입되면서 DME와의 충분한 유동이 이루어지며 더 많은 양의 DME가 혼합되어 초기 혼합 농도가 증가 되었던 것으로 사료되며, 향후 scale-up하여 상용 보급시 연료 주입구의 위치 변경 등으로 개선하여 연료의 혼합을 촉진시킬 수 있을 것으로 생각된다. 각 실험의 비교를 위하여 프로판 주입 유량변화에 따른 DME의 농도 변화를 Fig. 5에 함께 나타내었다.

Fig. 5에서 볼 수 있듯이 실험 조건 별로 각 위치별 DME의 농도는 3개 소 모두 비슷하였지만, 시간의 경과에 따라 미세하게 증가하며 1일 경과 시 약 0.2~0.3 wt%의 증가비율로 DME와 프로판이 혼합된다는 결과를 도출할 수 있었다. 이러한 현상은 혼합 탱크의 연료 주입구의 높이는 하부로부터 40 cm 높이에 설치되어 있고 DME 주입 완료시의 액위는 약 30 cm 정도이므로, DME 주입 후 프로판이 DME 액면 윗부분으로 주입되면서 일부의 DME가 혼합되고 나머지 상대적으로 무거운 DME가 탱크 하부에 정제하고 프로판은 상부로 위치하게 되는 층상화 현상이 나타나며 그 후 시간 경과에 따라 미세하게 혼합된다고 설명할 수 있다. 물론, 주입 완료시의

DME의 농도에 따라 다르겠지만 두가지 연료의 주입 후 재순환을 시키지 않는 상태에서 DME와 프로판의 혼합속도가 매우 느리며 균일하게 혼합되기까지는 500시간 이상이 걸릴 수 있다는 것을 확인하였다.

위의 결과와 같이 혼합 탱크 내에서 DME와 프로판의 밀도차에 의한 층상화 현상이 나타남으로 현재 설치된 시료 채취구로는 탱크 내 위치별 연료의 조성 분포를 정확하게 파악할 수 없었다. 그러므로 정확한 조성 분포의 파악을 위해서는 탱크의 하부에서부터 상부까지 균일한 시료 채취구의 재배치가 필요하며 특히 DME가 가라앉는 최하단부에 조밀하게 별도의 시료 채취구들을 추가 설치하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

본 실험의 결과는 2009년 한국가스공사에서 시행한 “DME 연료 실증 시험연구 기술개발” 보고서에서 DME-프로판의 순차혼합시 20 시간 이상 경과 후 균일하게 혼합되는 결과와는 다른 경향을 나타내고 있다[10]. 당시 실험에서는 40 cm 높이의 시료 채취구 1개소에서 측정하는 실험을 수행했었고, 혼합량 또한 소량이었으므로 위에서 언급하였던 내용인 DME 주입 완료 후 프로판이 주입되면서 이미 충분한 양이 DME와 혼합되었기 때문에 빠른 시간 안에 두 연료가 혼합된 것으로 판단된다. 당시 두 연료 주입 완료 시점의 DME 농도는 18 mole%(약 18.5 wt%) 정도였다. 또한, 동 보고서에서는 DME와 프로판을 주입 시부터 예혼합기를 통하여 동시에 주입하는 동시 혼합의 방법으로도 실험을 수행하였는데 이는 초기부터 DME와 프로판이 함께 유동하며 주입이 되었기 때문에 단시간(약 4시간) 후에 혼합되는 결과를 보인 것으로 추측된다.

3-2. 탱크 내 재순환 후의 혼합도

혼합탱크에 DME와 프로판을 순차적으로 주입하고 실험 조건 별로 각각 96시간 및 500시간 경과 후에 혼합도를 측정해 보았고, 그 후에 재순환 펌프를 가동하여 강제적으로 혼합한 후 각 시료 채취구에서의 혼합연료 각 성분의 비율을 측정하고 재순환 전과 후의 DME 농도 변화를 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 6에서 보듯 condition 1에서 탱크 내 혼합 연료를 재순환 펌프를 가동하여 강제순환 시켰을 때 DME의 농도가 순환 전 14 wt%에서 순환 후 17 wt%로 급격히 변화되는 것을 보아 탱크 내 재순환시 두 연료가 즉시 혼합되는 것을 알 수 있다. 또한 이 후의 실험 condition 2에서도 재순환 후 초기 DME 주입량인 20 wt%에 근접하였으며 시간이 경과하였을 때 DME 함유량의 큰 변화가 없었으므로 DME와 프로판이 거의 균일하게 혼합되었다는 것을 추측할 수 있다. 또한 각

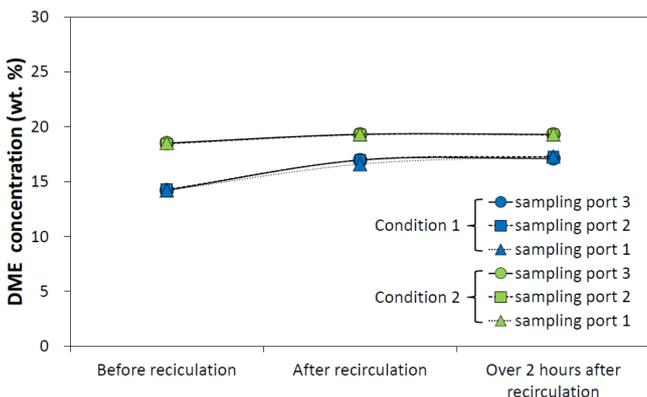


Fig. 6. DME wt% after recirculation.

Table 4. Boundary conditions of CFD simulation

Items		Condition
DME	Quantity [kg]	140
	Quantity [kg]	560
Propane	Mass flow [kg/s]	0.367
	Injection time [s]	1500
Time step		Unsteady, 0.1 s
Simulation time [s]		345600 (96 h)

조건별 실험에서 실제로 주입된 DME의 양을 알 수 있었으며, 실험 condition 1의 경우 현장 계기류 등의 오차 혹은 부정확으로 20 wt%에 못 미친 것으로 추정된다.

이러한 결과로 볼 때, 두가지 연료의 신속하고 균일한 혼합을 위해서는 탱크 내 연료의 강제 순환을 위한 재순환 펌프 및 배관, 혹은 교반기 등의 장치를 설치하는 것이 효과적인 것으로 사료된다. 아울러 본 실험 장치상의 문제점으로 이 부분에서 한 가지 고려해 볼 점은 Fig. 1의 장치 구성에서와 같이 재순환 line의 주입구가 연료 주입구 높이와 동일한 혼합탱크 하부로부터 40 cm에 위치하고 있다는 점이다. 이 경우 연료의 재순환이 주로 탱크의 하부에서 이루어지기 때문에 재순환에 더 많은 시간이 소요될 것으로 추측되며 향후 재순환 장치의 구성시 주입구를 탱크 상부로 올려 보다 효과적으로 연료가 혼합되도록 개선하는 것이 필요할 것이다.

이 결과는 앞서 언급한 2009년의 한국가스공사에서의 DME-프로판 순차 혼합 후 재순환 펌프를 가동하여 분석한 실험 결과와 유사한 것으로 나타났다[10].

3-3. 시뮬레이션과의 비교

본 연구와 병행 수행된 CFD 시뮬레이션 연구 결과를 참고하여 비교하였다. CFD 시뮬레이션 연구에서는 혼합탱크 내부에 DME가 140 kg이 채워진 상태에서 프로판 560 kg을 0.367 kg/s로 25분 간 주입하고 이 후 96시간 경과까지의 DME 농도 변화를 측정하였다. 이 조건은 본 연구 실험 condition 2와 유사하였다. 실험의 경우와 같은 위치의 시료 채취구에서의 DME 농도를 비교하여 Fig. 7에 나타내었다. 비교 그래프에서와 같이 시뮬레이션에서는 각 높이별로 DME 농도의 차이가 있었고 층상화의 현상이 실험 결과보다 심하게 일어남을 알 수 있다. 그러나 시간이 경과할수록 미세하게 혼합이 이루어지며 DME의 농도가 증가하는 추세를 보였고, sampling port 1

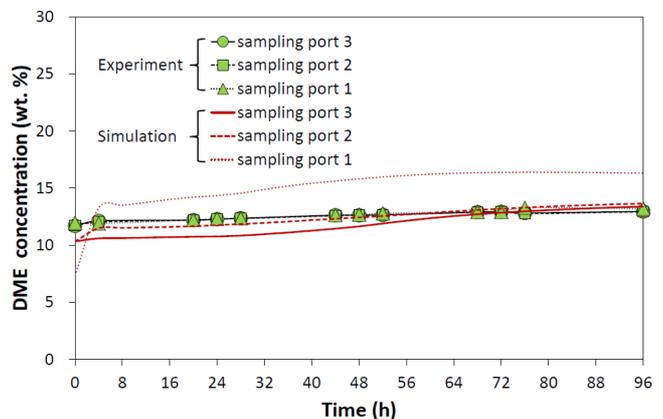
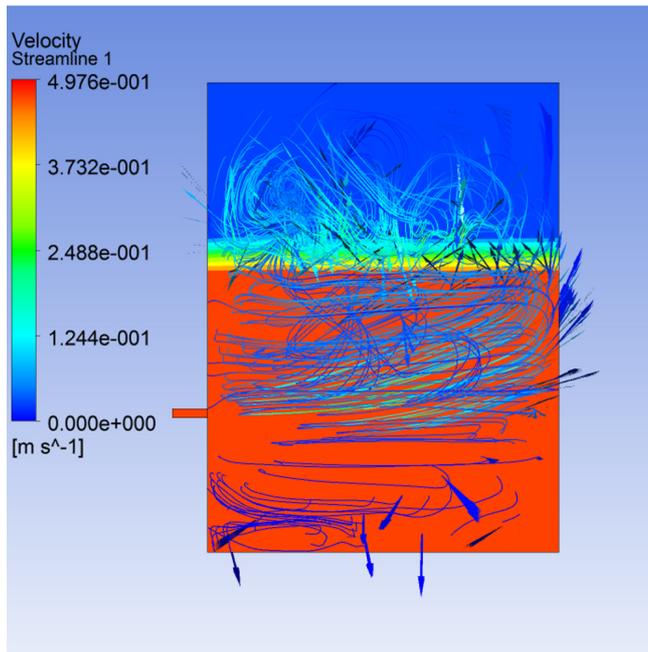
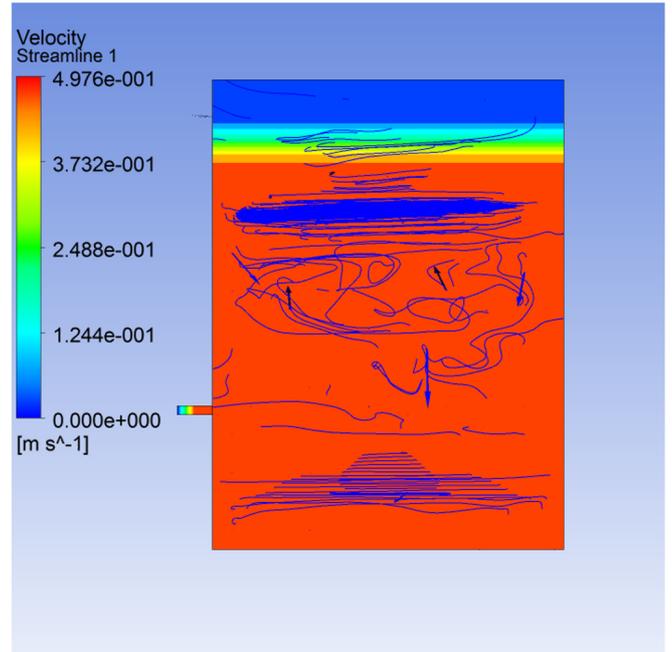


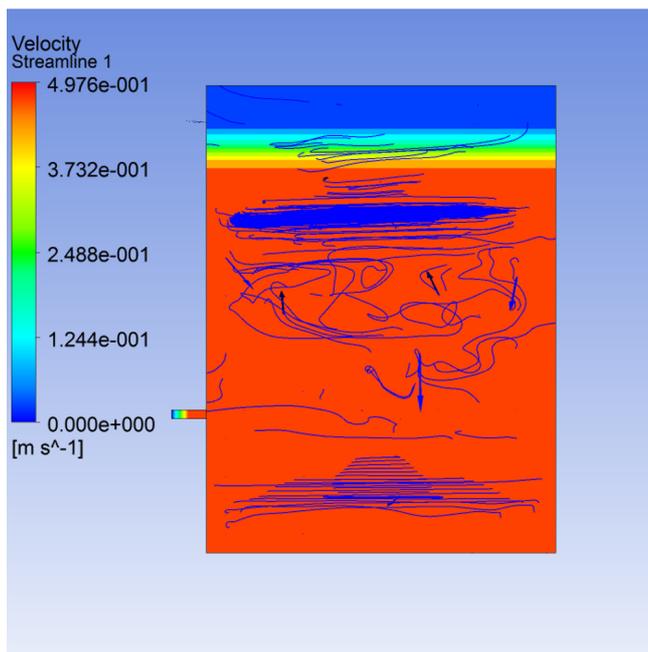
Fig. 7. Comparison with simulation.



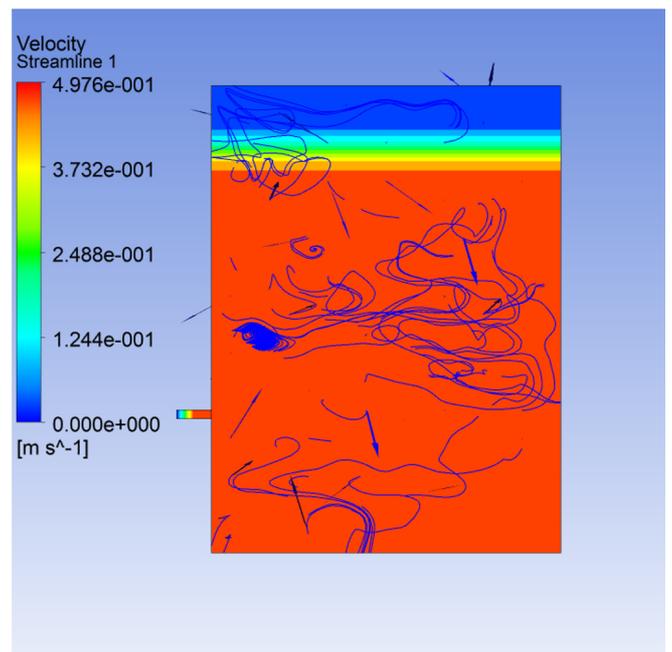
(a) 600 s (Propane injection)



(b) 10 h



(c) 40 h



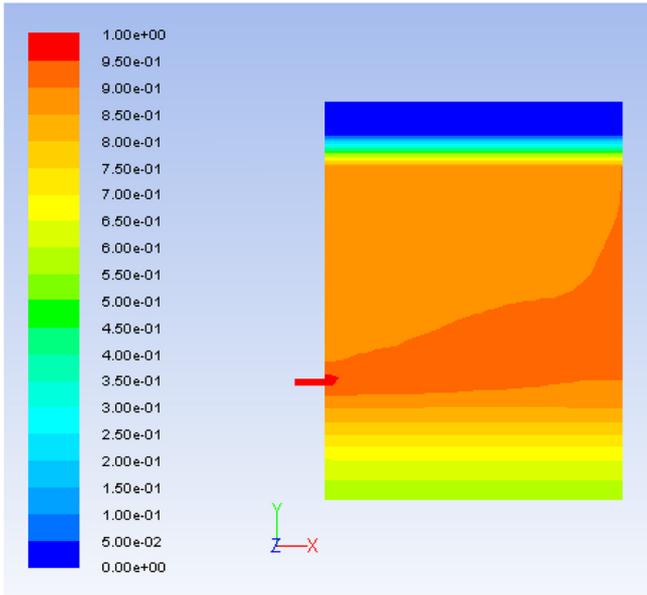
(d) 96 h

Fig. 8. Contour of streamlines.

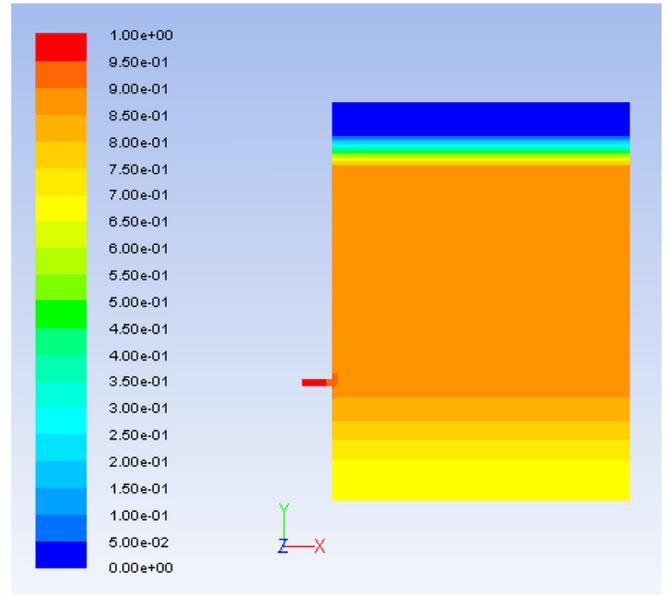
에서는 약 3 wt% 범위 내의 차이를 보였지만 sampling pot 2, 3에서는 거의 일치하는 결과가 나타났으며 탱크 내 연료가 균일하게 혼합되기 위해서는 오랜 시간이 걸릴 수 있다는 점이 실험의 결과와 유사하게 나타났다.

또한 프로판 주입시의 탱크 내 유동 속도 분포를 보아 알 수 있듯이 프로판 주입 초기에는 채워져 있는 DME 영역에까지 유동이 전달되어 서로 혼합되는 것을 확인할 수 있으나, 시간 경과에 따라 하부에서의 유동이 상부로 이동하며 약화됨을 확인할 수 있다. 이

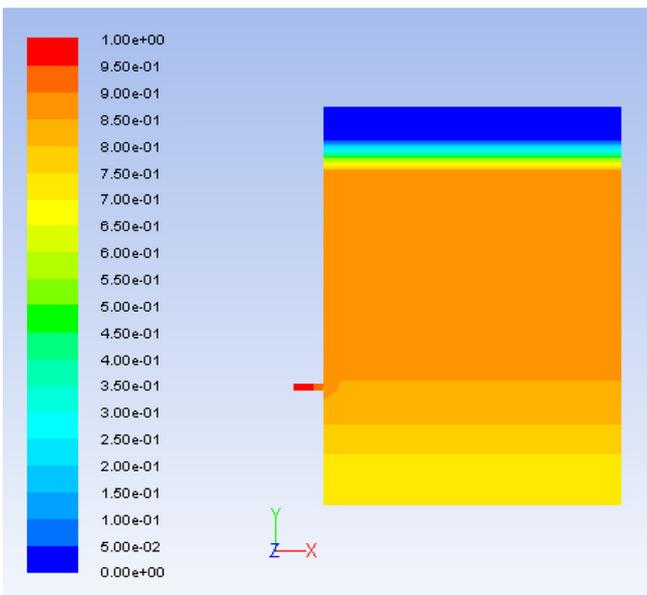
러한 결과는 초기 유동에서 DME와 혼합이 되고 시간이 지남에 따라 가벼운 프로판이 탱크 상부로 이동하며 탱크 전체적으로는 농도 분포별로 층상화가 이루어지고 이 후에 미세하게 혼합된다 실험 결과를 뒷받침해 준다고 할 수 있다. Fig. 8에서는 프로판 주입 시점부터 이후 96시간까지의 탱크 내 유동 속도 분포를 확인할 수 있으며 동 시간대에 탱크 내에서 층상화 현상이 일어남을 확인할 수 있는 프로판의 분포도를 Fig. 9에 나타내었다.



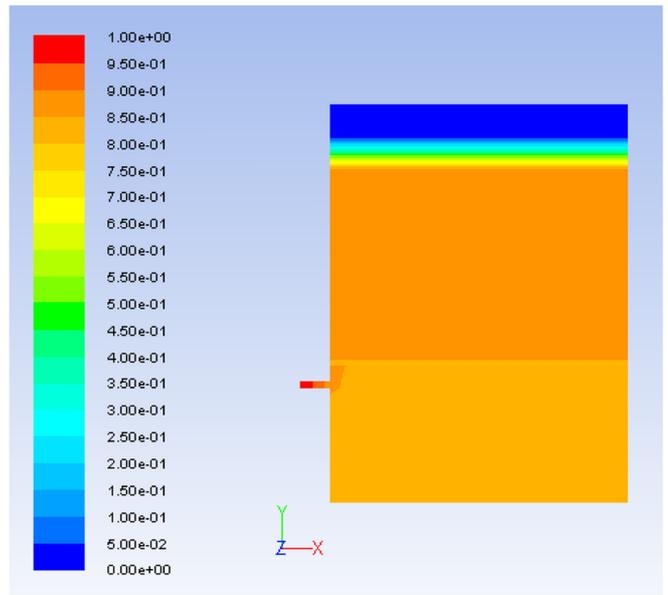
(a) 600 s (Propane injection)



(b) 10 h



(c) 40 h



(d) 96 h

Fig. 9. Distribution charts of Propane wt%.

4. 결 론

DME와 프로판의 순차 혼합 시 시간 경과에 따른 저장탱크 내 혼합연료의 혼합도 분석 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

DME와 프로판의 순차 혼합 시 먼저 혼합탱크로 DME가 주입되고 그 후에 프로판이 주입되면서 DME의 일부는 혼합이 되나 일부는 혼합이 되지 않고 밀도차에 의해서 탱크 하부로 가라앉게 되는 층상화 현상이 발생하였다. 시간 경과에 따른 두 연료의 혼합율은 미미하였고 1일 경과 시 약 0.2~0.3 wt%의 증가비율로 DME와 상부의 프로판이 혼합되며 균일하게 혼합되기까지 500시간(약 3주) 이상이 소요되었다. 나중에 주입이 되는 프로판 유량 및 속도의 증감에 의

해서 초기 혼합 농도가 증가되거나 감소했으며 이 결과로 두 연료가 혼합되는 시간에 영향을 준다는 것을 알 수 있었다. 또한 탱크 내 연료의 재순환으로 두 연료의 신속하고 균일한 혼합이 가능하다는 결과를 확인하였다. 연료의 강제순환을 위한 재순환 펌프 및 탱크의 하부에서 토출하여 상부로 인입되는 순환 배관의 설치 혹은 탱크 내 교반기 등의 혼합 장치를 추가로 설치하는 것이 혼합 시간 및 혼합 품질 개선에 도움을 줄 것이다.

감 사

본 연구는 한국가스공사의 “2010년 대학협력연구과제(과제명: DME-LPG 혼합연료의 저장탱크에서 조성분포 측정 연구)”의 일환

으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Cho, W. J. and Kim, S. S., "Current Status and Technical Development for Di-Methyl Ether as a New and Renewable Energy," *Korean J. Chem. Eng.*, **20**(4), 355-362(2009).
2. Arcoumanis, C., Bae, C., Crookes, R. and Kinoshita, E., "The Potential of Di-Methyl Ether(DME) as an Alternative Fuel for Compression-Ignition Engines: A review," *Fuel.*, **87**, 1014-1030(2008).
3. Baek, Y. S., Cho, W. J. and Lee, H. C., "The Status of DME Development and Utilization as a Fuel," *KIC News.*, **13**(2), 1-11(2010).
4. Baek, Y. S., Cho, W. J. and Oh, Y. S., "The Status of DME Development and Utilization as a Fuel," *J. Energy Eng.*, **16**(2), 73-82(2007).
5. Ahn, J. U., Hwang, H. C., Kim, Y. G. and Kwon, J. R., "An Experimental Study on Thermal Efficiency Characteristics with Propane-DME Mixture Ratio for Residential Gas Range," *KIGAS*, **12**(3), (2008).
6. Ahn, J. U., Chung, T. Y., Hwang, H. C. and Kim, Y. G., "A Study on the Combustion Characteristics of Butane-DME Mixture Gas," *J. Energy Eng.*, 143-146(2007).
7. Lee, S. H., Oh, S. M., Choi, Y., Kang, K. Y., Choi, W. H. and Cha, K. O., "The Effect of N-Butane and Propane on Performance and Emissions of a SI Engine Operated with LPG-DME Blended Fuel," *KSAE.*, **08**(s0095), 583-588(2008).
8. McCabe, W. L., Smith, J. C. and Harriott, P., *Unit Operations of Chemical Engineering*, 6th ed., McGraw-Hill Korea, 513-515 (2001).
9. DME Data Book; LPG Research Laboratory KHK, Japan(2006).
10. Baek, Y. S. and Lee, H. C., "Development for Demonstration and Test of DME Fuel," Project No. 2007CCC11P051000, Korea Gas Corporation(2009).