

초음파 에너지를 부가한 물-경유 에멀전유의 디젤기관 성능에 관한 연구

권기린* · 강남훈**

A Study on Performance of Diesel Engine Using Water-Diesel Fuel Emulsified Fuel Adding Ultrasonic Energy

Ki-Rin Kwon* and Nam-Hun Kang**

ABSTRACT

This study was undertaken to investigate the engine output, fuel consumption and its brake thermal efficiency of diesel fuel(DF), ultrasonic energy adding diesel fuel(UDF) and ultrasonic energy adding emulsified fuel(UEF) according to the variation of the speed of engine revolution through engine performance test device under the circumstances of electrical load(4/4) and 80°C.

The results obtained are as follows:

1. In the case of UDF, as a result of fuel atomization, combustion efficiency became good and accordingly fuel consumption rate decreased by 2~2.5%, brake horsepower increased by 1.32% maximum. According to decrease in fuel consumption rate and increase in brake horsepower, specific fuel consumption rate was improved by 1.8~3.5%, and brake thermal efficiency was improved by 2~2.6%.
2. When using UEF, torque and brake horsepower decreased by 0.4~1.35%, 0.41~1.34%, fuel consumption rate increased by 3.15~4.05%.
3. When using UEF, in spite of the increase in brake horsepower and fuel consumption rate, owing to the small calorific value of emulsified fuel, brake thermal efficiency was improved by 6.1~7.3% .
4. In the case of UDF, torque was improved, whereas when using UEF, torque was decreased.

Key Words : Diesel Fuel(DF), Ultrasonic Energy Adding Diesel Fuel(UDF), Ultrasonic Energy Adding Emulsified Fuel (UEF)

1. 서론

* 제주대학교 기계에너지생산공학부, 첨단기술연구소
Faculty of Mechanical, Energy & Production Eng. Research
Institute of Advanced Technology, Cheju Nat'l Univ.

** 제주대학교 대학원
Graduate School, Cheju Nat'l Univ.

디젤 기관은 가솔린 기관에 비해 저급의 연료를 쓰고, 열효율이 25~35%로 높으며, 낮은 오염물질형성 등 경제적 이점으로 자동차용 엔진 동력원으로 사용

을 점점 넓혀 오고 있다. 그러나 석유계 연료의 유한성에 따른 대체 연료 및 저공해 연료를 개발하기 위한 연구가 진행되어 저질유¹⁾, 알콜 등 저 세탄가 연료와의 혼합²⁾, 알콜 퓨미제이션 법³⁾, 식물유 또는 동·식물유 혼합연료⁴⁻⁵⁾, EM 연료, 흡기관내 수분사, 유화제를 이용한 경유-물의 에멀전 연료⁶⁻⁸⁾ 등을 사용하는 방식이 보고되고 있다.

본 논문에서는 초음파 효과⁹⁻¹³⁾ 및 물-경유 에멀전 연료의 특성을 살펴보기 위하여, 경유(DF), 초음파 에너지 부가 경유(UDF)와 초음파 에너지 부가 에멀전 연료(UEF) 3종의 연료를 실 디젤엔진에서 회전 속도(1400~2400rpm)변화에 따른 토크, 재동마력, 연료소비량, 열효율에 미치는 영향에 관하여 실험적으로 구하였다.

II. 실험장치 및 방법

2-1. 초음파 발생장치

초음파 에너지 부가 에멀전 연료(UEF)생성을 위한 초음파 발생장치의 개략도는 Fig. 1과 같고, 초음파 에너지 부가 경유(UDF)를 위한 초음파 발생장치의 개략도는 Fig. 2와 같다. 그림에서와 같이 초음파 발진장치와 진동자, 혼 및 반사판으로 구성된 구조로서 연료에 공동현상을 극대화시켜 최적의 미립화를 이룰 수 있도록 되어 있다. 전원(AC 100V)이 가해지면 초음파 발진장치는 28.5KHz의 주파수를 발진하고,

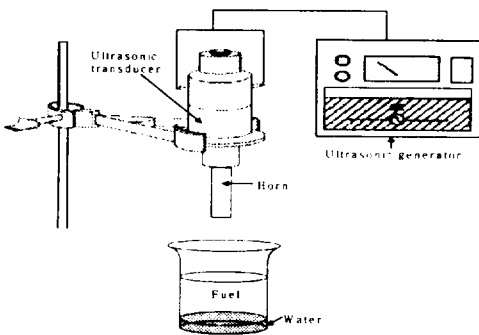


Fig. 1. Schematic diagram of the UEF feed system

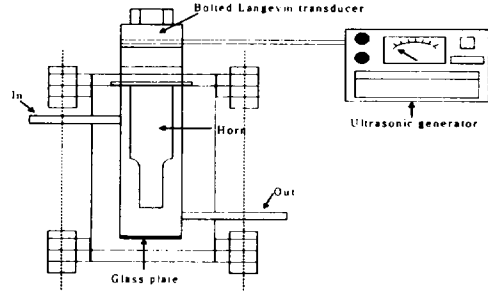


Fig. 2. Schematic diagram of the ultrasonic fuel feed system

진동자를 구동하여 혼에서 진폭시키게 된다. 진동자는 28.5KHz의 진동특성을 갖는 볼트체결형 Langevin 진동자를 택하였고, 혼은 28.5KHz의 주파수를 갖는 BLT의 기계적 에너지를 효과적으로 전달할 수 있고 진폭확대율이 가장 큰 형태의 혼인 Step형 혼을 사용하였다. 초음파 에너지 부가 에멀전 연료는 일정한 체적비(10%), 질량비(11.8%)율이 필요함에 따라서 Fig. 1과 같이 매스실린더에서 에멀전 연료를 생성하였고, 이후 생성된 연료를 엔진실험하기 위해 Fig. 2에서와 같이 초음파 처리 장치를 이용하였다.

2-2. 기관성능 시험장치

본 연구에 사용된 실험장치의 전체 구성은 Fig. 3과 같이 디젤기관, 동력계 및 컨트롤러, 연료 탱크와 유량계, 배기가스 측정기로 구성되어 있다.

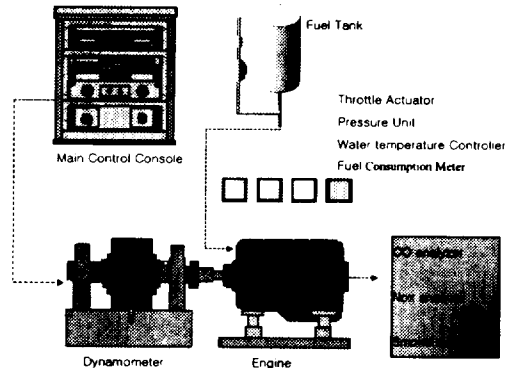


Fig. 3. Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1. Specification of engine

Description		Specification	
Engine type		Water cooled, 4Cycle, 4Cylinder Diesel Engine	
Piston displacement (cc)		2,476	
Bore×Stroke (mm)		91.1×95	
Compression ratio		21:1	
Max. output (ps/rpm)		80/4,200	
Max. torque (kg·m/rpm)		16.2/2,200	
Valve timing	Intake	I.V.O	20° BTDC
		I.V.C	49° ABDC
	Exhaust	E.V.O	55° BBDC
		E.V.C	22° ATDC

Table 2. Specification of eddy current dynamometer

Contents	Specification
Absorption Capacity	180 Ps
Absorption Torque	35 Kg.m
Max. RPM	9000 RPM
Torque Detector	Load Cell type Sensitivity : 2mv/v
Cooling method	Water Cooling system
Water pressure	0.7Kg/cm ² more
Lubrication system	Grease lubrication
Dynamometer Weight	300Kg

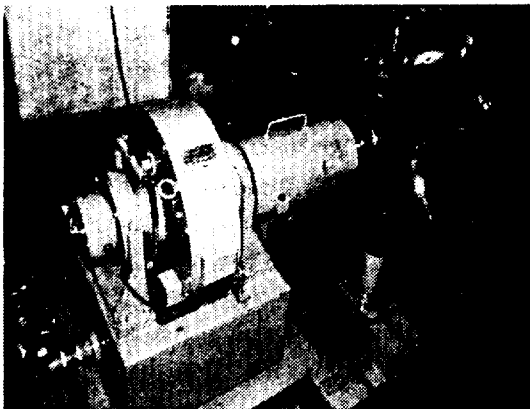


Photo. 1 Eddy current dynamometer

디젤 기관은, 실린더 내경 91.1mm, 행정 95mm로서 행정용적은 2,476cc이고, 압축비는 22:1이다. 이 기관의 최대토크는 16.2Kg·m (2200rpm)이고, 최대출력은 80ps (4200rpm)으로 주요재원은 Table 1과 같다.

그리고 본실험장치는 Photo. 1과 같이 동력계본체 (Hwanwoong Mechatronics Co. Ltd. DYTEK-130)와 동력계를 제어하는 동력계 컨트롤러로 구성되어, 정회전속도제어, 정토크제어, 급구배특성, 정전류특성 제어기능이 있다.

흡수 토크 검출은 Stran Gauge Type의 로트셀에 의해 검출된 전기적 신호를 컨트롤러 내부의 증폭기로 증폭하여 정확한 토크를 디지털 미터(Digital Meter)로 표시가 되며, 회전속도검출은 전자식 펄스 발생기에 의해 검출하여 컨트롤러 증폭기에 의해 디지털 미터로 표시된다.

동력계 수용마력은 180PS, 수용토크는 35kg·m, 수용회전속도는 9,000rpm이며, 컨트롤러의 측정 가능한 회전속도는 0~10,000rpm이고, Torque 는 0~100kg·m이다. 주요사양은 Table 2와 같다.

2-3. 실험방법

기관의 회전속도 및 부하는 전기 동력계를 이용하여 4/4부하에서 경유(DF), 초음파 에너지 부가 경유(UDF)와 초음파 에너지 부가 에멀전 연료(UEF, 체적비 : 10%, 질량비 : 11.8%) 3종의 연료에 대하여 기관의 회전수에 따른 토크, 연료소비량을 측정하였다. 각 측정치의 신뢰도를 높이기 위하여 기관시동 후 기관회전수 및 부하가 안정되고 엔진 온도가 일정상태로 유지될 때의 연료소비량, 부하토크, 시간을 측정하였다. 냉각수 온도는 유량계의 유량 조절 밸브로 80±2℃를 유지하였고, 연료소비량 측정은 200ml 연료가 소비하는데 걸린 시간을 측정하였으며, 축 토크와 축 출력은 Dynamometer (DYTEK-130)로 측정하였다. 각 연료에 대하여 실험은 5회 실시하여, 최고값과 최저값을 제외하여 평균값으로 구하였다.

2-4. 물-경유 초음파 에너지 부가 에멀전 연료 생성

초음파 발생장치를 통해 방출되는 초음파를 이용하

여 초음파 에너지 부가 에멀전 연료를 생성하기 위해 경유에 물(체적비:10%, 질량비:11.8%)를 혼합하여 초음파 에너지를 부가하였다. 혼합유는 캐비테이션 현상으로 초음파 투과 직후 수초내 혼합이 진행되어 유백색의 에멀전 상태로 되었고, 에멀전 연료의 안정성을 위해 15분간 초음파 에너지를 부가하였다.

에멀전 연료의 물리적 특성은 Table 3과 같다.

Table 3. Specific gravity & lower heating value

Description	DF	UEF
Specific gravity (20°C)	0.835	0.868
Lower heating value(kcal/kg)	10.600	9.540

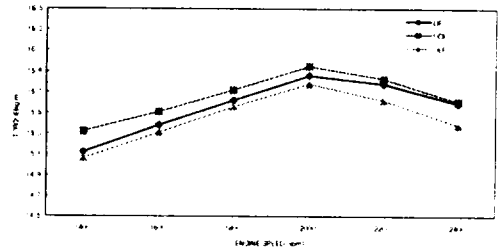
III. 실험결과 및 고찰

기관실험은 4/4부하 냉각수 온도 80°C에서 경유(DF), 초음파 에너지 부가 경유(UDF)와 초음파 에너지 부가 에멀전 연료(UEF, 체적비:10%, 질량비:11.8%)에 대하여 기관의 토크, 제동마력, 연료 소비량, 정미 열효율 등을 실험적으로 구한 결과 다음과 같다.

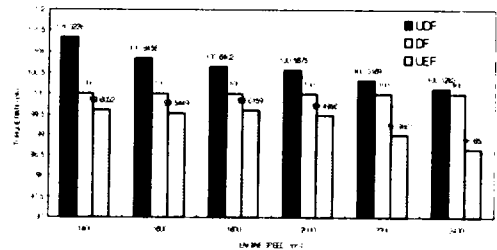
1) 토크

Fig. 4(a)는 기관의 회전수에 따라 DF, UDF, UEF 3종의 사용연료에 대한 토크값이 변화를 나타낸 Graph이고, Fig. 4(b)는 DF에 기준한 UDF, UEF 2종의 연료에 대한 토크값을 용이하게 비교하기 위한 Graph이다.

실험 연료 모두 2000rpm까지는 토크값이 증가하다가 이후 감소하는 모습을 보여주고 있다. 초음파 에너지 부가 경유는 분무 액적의 미립화에 의하여 연소가 촉진되어 경유에 비하여 Torque 값이 향상되었다. 1400rpm에서의 토크 증가가 가장 크게 나타났고, 이후 그 차이가 점점 줄어들어 2400rpm이상에서는 초음파 효과가 거의 소멸한 것으로 보인다. 초음파 에너지 부가 에멀전 연료는 연료에 물을 첨가함으로써 연료의 단위 질량당 발열량이 경유에 비하여 낮고, 세탄가가 낮아서 착화 지연으로 인하여 경유에 비하여 토크값이 적으며, 고속 회전으로 갈수록 그 차이



(a)



(b)

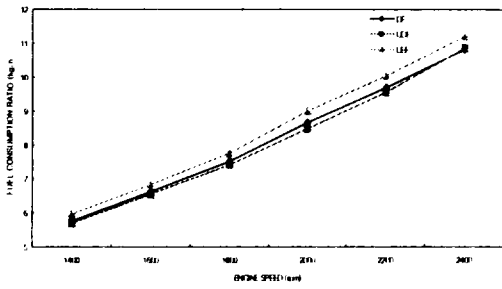
Fig. 4. Relationship between torque and engine speed for DF, UDF and UEF

는 점점 더 커지고 있다.

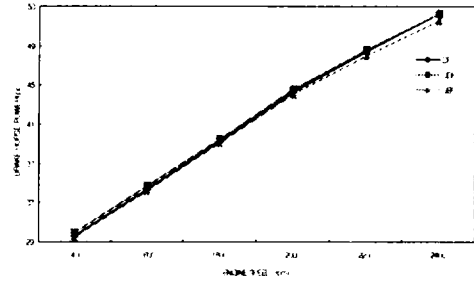
2) 연료소비량

Fig. 5(a)는 기관의 회전수에 따른 3종의 사용연료에 대한 연료소비량의 변화를 표시한 Graph이고, Fig. 5(b)는 DF에 대한 연료소비량을 단순비교하기 위해 나타낸 Graph이다.

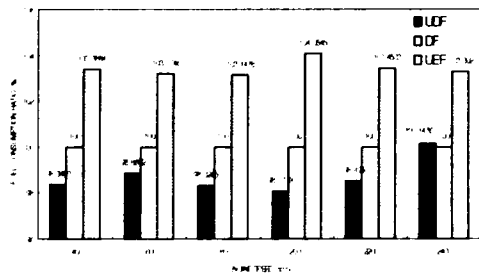
연료소비량은 기관 회전수가 증가함에 따라 비례적으로 증가하는 모습을 보이고 있다. UDF인 경우, 초음파 효과에 의하여 연소시 연료소비량이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 하지만 2400rpm 이상부터는 초음파 효과가 소멸되어 경유와 비슷한 경향을 보이고 있다. UEF인 경우 연료의 비중, 점도의 증가와 저세탄가로 인하여 연료의 소비량이 전 영역에서 경유에 비하여 일정하게 증가하였고, 2000rpm에서 경유와 비교하여 연료소모량이 최고치를 보이고 있다. 이는 상용 디젤엔진이 경유에 모든 압축비, 점화 시기등 연소 조건이 맞추어져 있어서 에멀전 연료에 맞는 연소 조건 엔진이 필요할 것으로 사료된다.



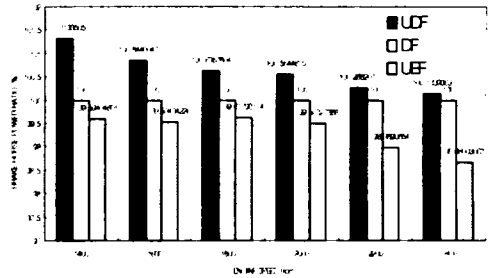
(a)



(a)



(b)



(b)

Fig. 5. Relationship between fuel consumption and engine speed for DF, UDF and UEF

Fig. 6. Relationship between brake horse power and engine speed for DF, UDF and UEF

3) 제동마력

Fig. 6(a)도 역시 기관의 회전수에 대한 3종의 연료에 대한 제동마력의 변화를 나타낸 Graph이며, Fig. 6(b)는 DF에 기준한 제동마력의 대소비교를 위한 Graph이다.

제동마력인 경우 경유에 비하여 UDF는 다소 향상되었고, UEF는 다소 감소하는 양상을 보이고 있다. 이는 실험용 연료의 토크량이 큰 차이를 보이지 않는 관계로 제동마력에서는 더욱 차이가 줄어들었다. 하지만 에멀전 연료인 경우 비중이 2000rpm 이상에서는 연료소비량 증가와 토크의 감소로 인하여 제동마력이 차이가 점차 증가하고 있다. 제동마력은 UDF인 경우 경유에 비하여 1400rpm에서 1.32% 증가하였고, UEF는 0.41~1.34% 감소하였다.

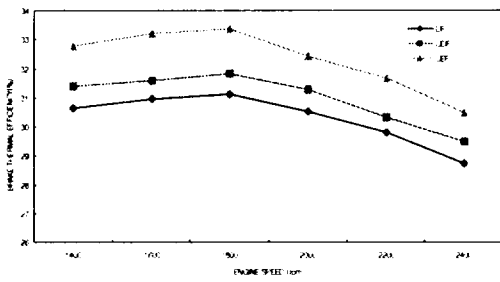
4) 정미열효율

Fig. 7(a)는 기관의 회전수에 따른 3종류의 사용연료에 대한 정미열효율의 변화를 알기 위한 Graph이고, Fig. 7(b)도 역시 DF연료에 대한 정미열효율

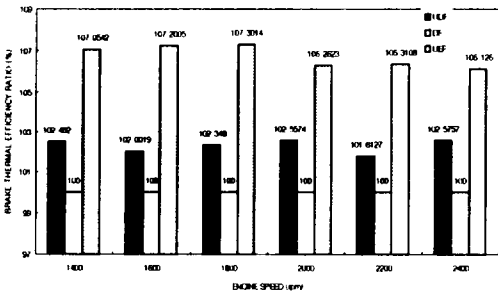
을 단순 비교하기 위한 Graph이다.

에멀전 연료의 정미열효율이 크게 증가하였는데, 이는 연료의 단위 질량당 발열량이 낮은 반면, 출력과 연료 소비율이 큰 차이를 보이지 않아서이다. 이는 에멀전유가 가지고 있는 불리한 화학적 특성이 초음파 효과에 의하여 극복된 것으로 사료된다.

선관적으로 에멀전 연료는 니셀연료에 비해 연료가 가지고 있는 화학적 특성 때문에 디젤기관에 사용시에는 여러 가지로 불리한 결과를 야기시킬 수 있다. 첫째, 세탄가가 낮아서 점화지연시간이 커지므로 노킹이 발생 할 수 있다. 그러므로 연소촉진제와 같은 세탄가 향상제를 첨가제로 쓰거나 연료분사시점을 앞당기는 방법을 사용하여야 한다. 둘째, 연료에 물을 첨가함으로써 연료의 단위 질량당 발열량이 디젤연료에 비하여 작으므로 엔진의 출력이 감소하게 되어 운전 성능을 저하시킬 수 있다. 이 점은 에멀전연료의 특성상 부득이 하므로 연료 분사량은 늘리는 방법에 의하여 극복될 수 있으므로 연료펌프의 개조를 필요로 하게 된다.



(a)



(b)

Fig. 7. Variation of brake thermal efficiency of test engine with the engine speed for DF, UDF and UEF

하지만 에멀전 연료는 이러한 불리한 분사 특성에도 불구하고 미세폭발이 발생하여 액체연료의 기화를 촉진시켜 효율적인 연소진행을 도와주고, 기관내의 연소온도를 낮추어 유해배출물의 농도가 저하된다. 또한, 액체 미립화에 탁월한 효과를 가지고 있는 초음파를 이용하여 에멀전 연료를 생성하였으므로, 분무시 초음파 효과(액체 미립화로 미립화연료의 점도 및 표면장력의 변화)로 인하여 분무 액적의 크기를 상당히 낮추었다고 보여진다.

IV. 결론

본 연구는 경유, 초음파 에너지 부가 경유와 초음파 에너지 부가 에멀전 연료를 기관성능시험장치를 이용해 4/4부하·80°C에서 기관 회전속도(1400~2400rpm)변화에 따른 토크, 기관출력, 연료소비량 및

열효율을 측정된 결과 다음과 같다.

1. UDF는, 연료의 미립화로 인하여 연소 효율이 좋아져 연료소비량은 최대2.08% 감소하였고, 제동마력은 최대 1.32% 증가하였다. 연료소비량 감소와 제동마력 증가에 따라 정미열효율은 2~2.6% 향상되었다.
2. UEF 사용시, 토크와 제동마력은 각각 0.4~1.35%, 0.41~1.34% 감소하였고, 연료소비율은 3.15~4.05% 증가하였다.
3. UEF 사용시, 제동마력의 감소와 연료소비율 증가에도 불구하고 에멀전 연료의 발열량이 적은 관계로 제동열효율은 6.1~7.3% 향상되었다.
4. UDF는, 분무 액적의 미립화에 의하여 연소가 촉진되어 경유에 비하여 Torque 값이 향상된 반면, 초음파 에너지 부가 에멀전 연료는 경유에 비하여 토크값이 적게 나타났다.

V. 참고문헌

- 1) 이창식, 1988. "디젤 기관의 저질유 연소에 관한 연구", 자동차공학회지 Vol.10 No.1 pp.82~87.
- 2) 조진호 외 2인, 1992. "디젤기관의 연소와 배출물에 관한 연구", 대한기계학회논문집 제16권 제11호, pp.180~188
- 3) 조진호 외 2인, 1992. "디젤 기관의 연소와 배출물에 관한연구(II) - 매탄을 퓨미게이션법 사용시 연소와 배출물 -", 한양대학교, Vol.35
- 4) 오영택, 1996. "디젤기관의 대체연료로서의 식물유", 자동차공학회지, Vol.18, No.2
- 5) 高長權, 1987. "代替燃料로서 油菜油을 사용한 小型農用 디젤機關의 性能向上에 關한 實驗的研究", 慶尙대학교 대학원 農工學科博士學位論文集.
- 6) 오승목 외 4인, 2000. "에멀전 연료를 이용한 디젤 엔진의 분무 및 배기특성 연구", 한국자동차공학회 2000년 추계학술대회, pp.439~443.
- 7) Angelo De Vita, 1989. "Multi-cylinder D.I.Diesel Engine Tests with Unstabilized Emulsion of Water and Ethanol in Diesel Fuel", SAE Paper

890450

- 8) 조진호 외 2인. 1991. "디젤기관의 연소와 배출물에 관한 연구 - 경유-물-매탄올의 유화연료 사용시". 자동차공학회지, Vol.13 No.5
- 9) 류정인 외 3인. 1992. "초음파 연료분사 장치를 이용한 가솔린 기관의 성능 향상에 관한 연구". 액체 미립화 학술 강연회 논문집.
- 10) 박종규 외 4인. 1995. "초음파 에너지 부가연료 사용시 디젤기관의 성능특성에 관한 연구(II)". 한국자동차공학회 1995년 추계학술대회, 95-17-0108
- 11) 류정인. 1992. "초음파 연료공급장치를 이용한 디젤기관의 성능 향상에 관한 연구". 한국에너지 기술연구소, X1-65-77.
- 12) 최두석 외 1인. 1997. "분사노즐 형상 변화와 초음파 에너지 부가장치를 이용한 디젤기관의 성능 특성(I)". 한국자동차공학회논문집, 제5권 제4호, pp.160~170
- 13) 李成來. 1987. "吸氣管內에서 超音波를 利用한 燃料의 微粒化에 대한 實驗的 研究", 충남대학교 대학원 工學碩士學位論文集.
- 14) 오영택. 1998. "디젤기관의 대체연료로서 폐식용유의 유용성에 관한 연구". 대한기계학회논문집 B 권, 제 22권 제 4호 pp.481~488
- 15) 윤면근 외 3인. 1994. "EFI기관에서 초음파에너지 부가 연료의 무하특성에 관한 연구 - 연료의 부자 구조 분석. 한국자동차공학회 추계학술대회, 943914
- 16) 최계원 외 3인. 1994. "디젤기관에서 디젤/물 Emulsion 연료의 수치연소 해석". 한국자동차공학회 추계학술대회, 943891
- 17) 丁明鎮. 1993. "디젤機關의 燃燒向上을 위한 低質油의 超音波處理에 關한 研究", 충남대학교 工學博士學位論文集.
- 18) 이상석 외 3인. 1990. "直噴式 디젤機關에서 Cavity形狀이 燃燒特性和 排出微粒子에 미치는 영향". 한국자동차공학회지, Vol.12 No.6