

초음파진동을 이용한 디젤기관의 성능향상에 관한연구

The Performance Improvement of the Diesel Engine by the Ultrasonic Vibrations

정 명 진*, 조 규 상**, 류 정 인***
M. J. Jeong, G. S. Cho, J. I. Ryu

ABSTRACT

This paper describes briefly the effect of ultrasonic vibrations on the performance of four cycle diesel engine. Experiments were carried out to clarify the effect of ultrasonic vibrations on the characteristics of viscosity, structure of diesel oil, fuel consumption rate, brake thermal efficiency, smoke emissions, cylinder pressure of engine.

The results are obtained as follows:

1. The ultrasonic vibrations of diesel oil result in the decrease of kinematic viscosity, Brachness Index of diesel oil.
2. The ultrasonic vibrations of diesel oil result in the decrease of fuel consumption rate, the improvement of brake thermal efficiency of engine.
3. The ultrasonic vibrations of diesel oil result in the decrease of smoke emissions of engine.

1. 序 論

지난 70년대의 2차에 걸친 유탄파동은 우리나라는 말할 것도 없고 전세계의 경제에 미친 영향은 헤아릴 수 없을만큼 큰 것이었으며, 최근의 페르시아만사태는 또 한번 세계경제를 불안케 하였다. 이에 석유대체연료의 개발과 연소에너지를 이용하는 각종 연소기기 및 열기관의 효율증대를 위한 연구의 필요성을 더욱 증가시키게 되었다.

한편, 내연기관은 공기와 연료를 효과적으로 도입시키고, 연소를 효율적으로 도모하여

유효한 출력과 저공해배출가스를 얻는 기능을 수행해야 한다는 점에서, 기관내로의 공기 도입방법, 연료분사계 및 연소실의 최적화 등 엔진자체의 개선에 대부분 노력이 경주되고 있으며, 이러한 관점에서 연소기술의 향상방법의 한가지로서 초음파진동에 의한 액체의 미립화에 관한 연구¹⁾²⁾ 및 이를 내연기관에 활용하려는 응용연구³⁾⁴⁾⁵⁾가 계속되고 있으며, 이들 대부분이 초음파진동의 무화특성을 중심으로 가솔린기관의 성능향상에 중점을 두고 있다. 이에 본 연구에서는 초음파진동에 의하여 발생하는 캐비테이션공동의 소멸시 발생하

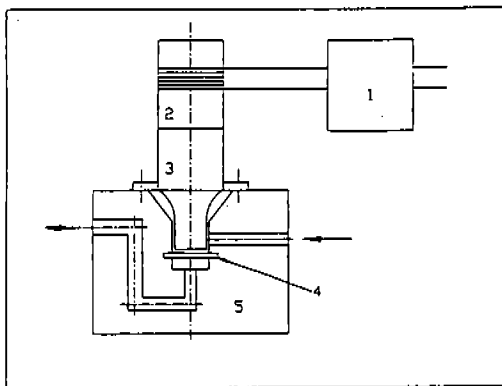
* 정회원, 서울보건전문대학 산업안전과
** 정회원, 경북실업전문대학 자동차과
*** 정회원, 충남대학교 공과대학 기계공학과

는 충격력^{6,7)}에 의하여 연료의 개질을 시도함으로써 기존 디젤기관의 성능을 향상시킬 것을 목표로 초음파진동장치를 제작하여 이를 활용 연료유의 초음파처리 전후의 물리적, 화학적 특성변화를 살펴보기 위하여 점도 및 구조분석실험을 한 후 이 장치를 디젤기관의 연료계통에 부착 성능실험을 통하여 연료유의 초음파처리 전후의 기관특성을 비교 검토하였다.

2. 實驗裝置 및 方法

실험을 위하여 제작된 초음파진동장치는 Fig.1 과 같으며 그 제원은 Table 1 과 같고, 사용 연료유의 초음파처리에 의한 물리적, 화학적 특성변화를 살펴보기 위하여 비중계와 스피들 회전식 점도계를 사용하여 점도를 측정하였으며, FT-NMR (300 MHz)을 사용하여 핵자기공명법에 의하여 구조분석을 하였다.

한편, 실험용 기관은 실린더 지름 70 mm, 행정 57mm인 공냉식 단기통 공기실식 4행정 디젤기관으로서 압축비 17, 정격출력 3.5 HP, 최대회전수 3,600 rpm이다. 실험용 기관의 운전조건은 회전속도를 1500 rpm으로 유지하면서 부하조건을 0.67 HP, 1.34 HP, 2.01 HP의 3종에 대하여 실험하였다. Fig.2은 실험장치의 개략도이다.



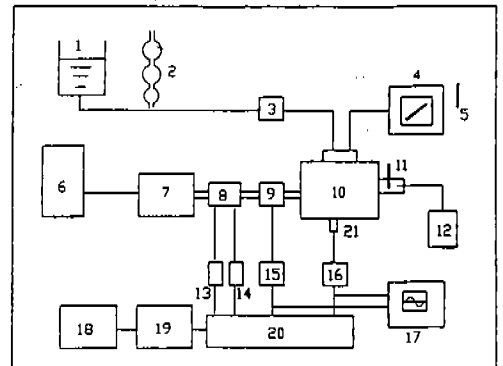
- 1. Ultrasonic generator
- 2. Ultrasonic transducer
- 3. Horn
- 4. Filter (10 μm)
- 5. Base frame

Fig. 1 Ultrasonic fuel oil reformer

또한, 기관의 부하조정 및 동력을 측정하기 위하여 DC type dynamometer를 사용하였고 실린더 내압 및 크랭크각도는 pressure transducer와 encoder, 토크와 기관회전수는 torque transducer와 RPM transducer를 사용하고, 각종 amp.를 통하여 증폭된 아날로그 신호를 A/D converter (12bit, 100 KHz)를 통하여 디지털 신호로 바꾼 후 퍼스컴(16

Table 1 Specification of Ultrasonic fuel oil reformer

Items	Specifications
Frequency	20 KHz
Rectifying Oscillation	Full wave rectifying Autotuning by self detection
Transducer Amplitude (Peak to Peak)	B. L. T 40 μm
Space (Horn to Filter)	2 mm
Horn type	Step



- 1. Fuel tank
- 2. Fuel burette
- 3. Ultrasonic fuel oil reformer
- 4. Air tank with manometer
- 5. Thermometer
- 6. Dynamometer controller
- 7. Dynamometer
- 8. Torque & RPM meter
- 9. Encoder
- 10. Test engine
- 11. Thermometer
- 12. Smoke meter
- 13. Torque indicator & Amp.
- 14. RPM indicator & Amp.
- 15. Conditioning circuit
- 16. Charge amp.
- 17. Oscilloscope
- 18. Printer
- 19. Personal computer (AT)
- 20. A/D converter
- 21. Pressure transducer

Fig. 2 Schematic diagram of experimental equipments

bit, AT)으로 수집한 후 분석하였다. 여기서 신호수집방법은 퍼스컴의 키보드를 누르므로 첫 TDC 마크에서 trigger시켜 10kHz(100 μ s)의 주기로 1,024 개의 신호를 수집하도록 하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 점도 및 분자구조

Table 2는 20 $^{\circ}$ C에서의 점도변화를 측정 한 결과이며, Fig.3과 Fig.4는 분자구조의 변화

Table 2 Kinematic viscosity change of test fuel

Fuel	Kinematic viscosity (cSt) (20 $^{\circ}$ C)	
	Before treatment	After treatment
Diesel oil	4.82	3.96

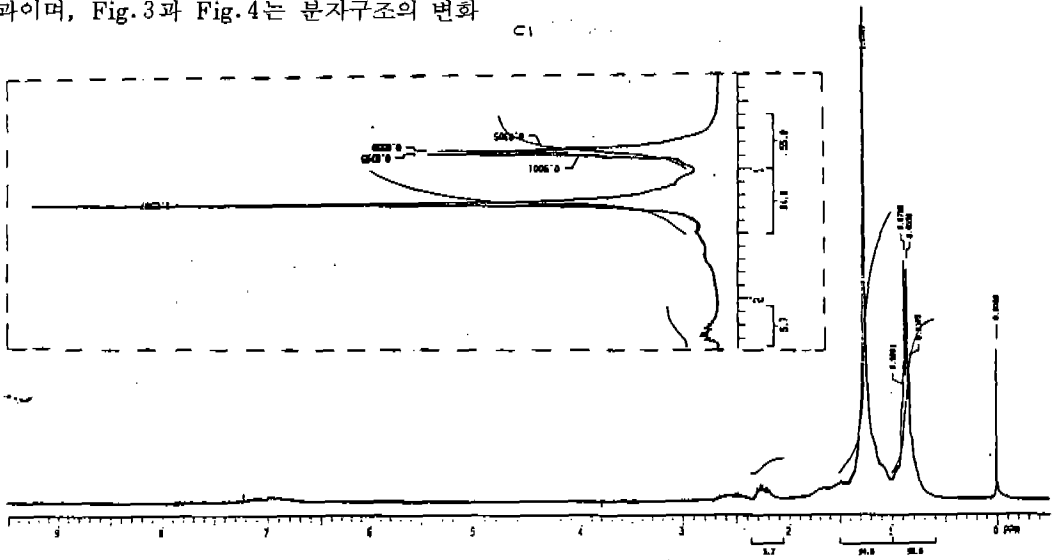


Fig. 3 NMR spectrum of diesel oil

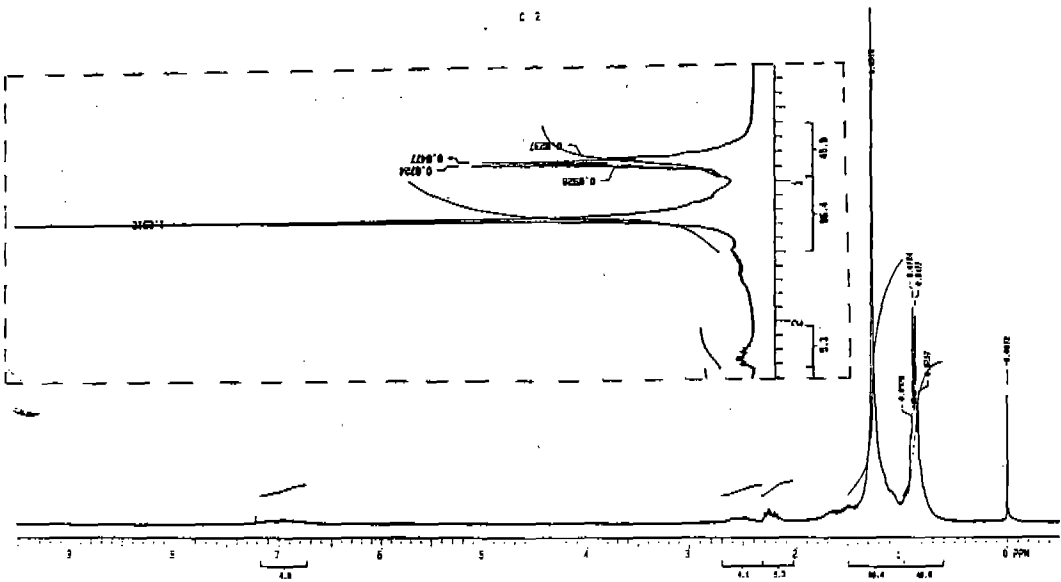


Fig. 4 NMR spectrum of ultrasonic vibrated diesel oil

를 살펴보기 위하여 Proton-NMR을 사용하여 연료유의 spectrum을 분석한 결과이다.

테이블에서 보듯이 미소하지만 초음파처리 에 의하여 연료유의 점도가 낮아지고 있다는 것을 알 수 있다. 한편, 연료유의 spectrum 분석 결과를 보면 뚜렷한 차이를 볼 수는 없지만 Proton-NMR의 spectrum에서 branch 정도를 나타내는 Branchness Index (BI=methyl peak height/methylene peak height 즉, Fig. 3과 Fig. 4에서 chemical shift range (ppm)가 0.5~1.0 사이에 있는 methyl peak height와 1.0~2.0 사이에 있는 methylene peak height의 비)^{8,9)}가 0.54에서 0.52로 감소하고 있다. 이는 경유의 분자구조가 기본적으로 방향고리, 메틴기(CH), 메틸렌기(CH₂), 메틸기(CH₃)로 구성되어 있다고 볼 때, 경유의 말단기인 메틸기가 떨어져나가 가지(Branch)가 적어졌다는 것을 나타내고 있고, 결과적으로 분자량감소를 유추할 수 있으며, 이는 초음파진동에 의해 생성되는 캐비테이션 공동의 소멸시 발생하는 충격력에 의한 것으로 추정된다.¹⁰⁾ 앞의 2가지 분석결과에서 예측할 수 있는 것은, 첫째 점도는 무화에 가장 큰 영향을 미치는 연료성상으로 아래의 식¹¹⁾에서 알 수 있듯이 점도의 감소는 분무액적경을 작게 하여 연소개선효과¹²⁾를 가져오는 동시에 매연농도의 감소¹³⁾를 기대할 수 있으며, 둘째로 탄화수소의 가치가 적으므로 연소개선에 의한 노크의 경향이 감소¹⁴⁾할 것이라는 것을 기대할 수 있다.

$$D_o = 70.5 \frac{d}{W_n} \left(\frac{s}{\gamma_b} \right) \left(\frac{\gamma_b}{\gamma_a} \right)^{0.25} \sqrt{g} \left(1 + 3.31 \right.$$

$$\left. \frac{\nu \sqrt{g}}{\sqrt{s \gamma_b d}} \right)$$

- 여기서, D_o : 분무액적경
 d : 노즐직경
 s : 표면장력
 ν : 연료유의 점도
 W_n : 분출속도
 γ_a, γ_b : 공기 및 연료유의 비중

3.2 연소압력선도

Fig. 5는 압력-크랭크각 선도를 도시한 것이다. 이 선도를 비교하여 본 결과 최고압력 값의 현저한 차이는 나타나고 있지않으나, 최고압력이 나타나는 크랭크각도는 기존기관의 경우 TDC후 2.7°에서 8.3°까지 넓은 범위에 걸쳐있으나 초음파처리시는 TDC후 4.0°에서 6.5°까지 더 좁아진 범위에 존재하고 있다. 이는 기존기관에서는 부하변동에 따라 연료미립화 특성의 변화가 크게¹⁵⁾ 반하여 초음파처리시에는 부하변동에 그다지 영향을 받지 않는 한편, 점도의 감소로 분무액적경이 작아지고 탄화수소의 분자량감소로 연료의 비중이 작아져 아래식¹⁶⁾에서 알 수 있듯이 물리적착화지연기간이 대체로 짧은 쪽으로 이동하여 일정한 범위를 유지하므로 이에 따라 연소시 최고압력이 되는 크랭크각도가 일정한 범위를 유지하는 것으로 판단된다.

$$\tau_h = \frac{C_f \gamma_f D_o^2}{12 \lambda_a} \ln \frac{t_g - t_{oi}}{t_g - t_b}$$

- 여기서, τ_h : 연료유의 물리적착화지연기간
 λ_a : 공기의 열전도율
 C_f : 연료유의 비율
 γ_f : 연료유의 비중
 D_o : 연료미립의 초기지름
 t_g : 가스온도
 t_{oi} : 미립의 초기온도
 t_b : 연료의 비점

3.3 연료소비율

Fig. 6은 연료소비율을 비교한 것이다. 이 선도에서 보는 바와 같이 연료소비율은 초음파처리시 기존디젤기관보다 약 5.9%에서 9.8%정도 감소하였으며, 특히 저부하일수록 그 효과가 크게 나타나고 있다. 이는 초음파처리에 의하여 점도감소 및 분자량감소에 의하여 비중의 저하 등으로 인한 연소개선의 효과로 판단된다.

3.4 제동열효율

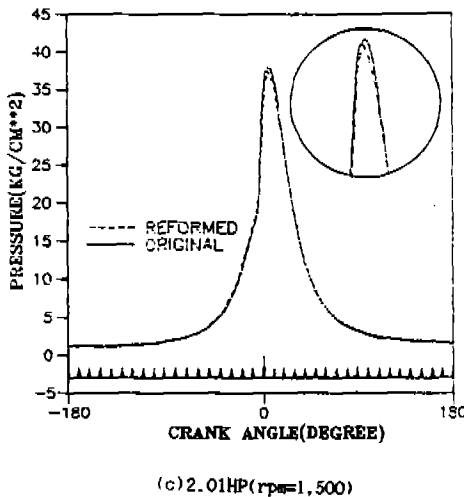
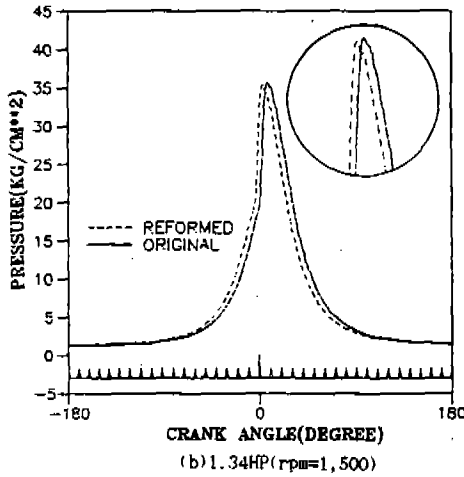
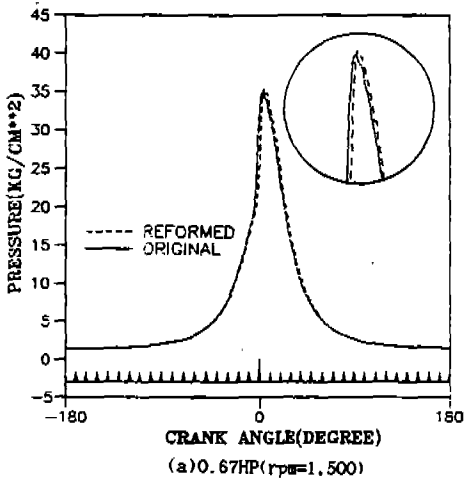


Fig.5 P-θ diagram

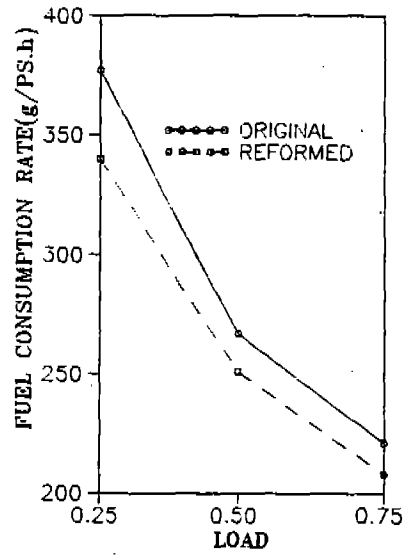


Fig. 6 The effect of ultrasonic vibrations on the fuel consumption rate

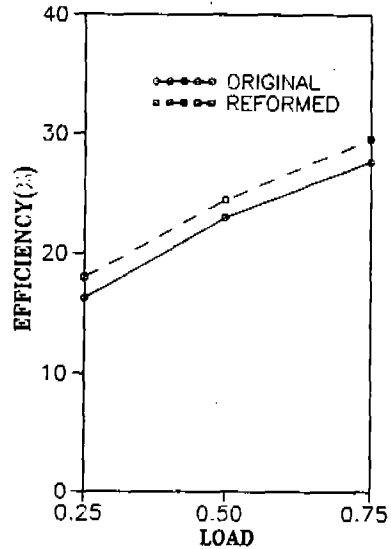


Fig. 7 The effect of ultrasonic vibrations on the brake thermal efficiency

Fig. 7은 제동열효율을 비교한 것으로서, 이 선도에서 보는 바와 같이 기관의 부하가 증가함에 따라 열효율은 증가하는 경향을 보이고 있으며, 초음파처리시 기존디젤기관보다 절대 값으로 약 1.5%에서 1.9%의 향상을 보였으며, 이는 상대적으로 약 6.5%에서 10.4%의 향상을 보이고 있다. 열효율 역시 저부하쪽에서 그 효과가 크게 나타나고 있다.

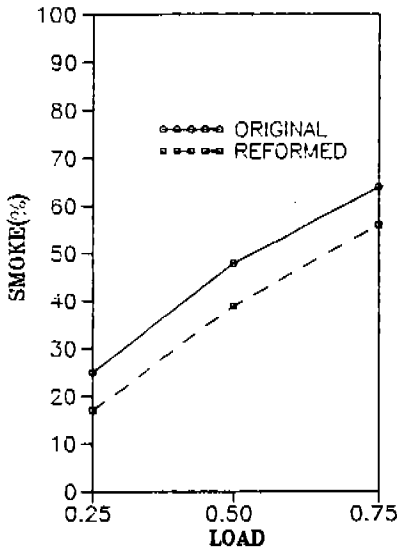


Fig. 8 The effect of ultrasonic vibrations on the exhaust smoke emission

3.5 배기가스

Fig. 8은 배기가스중 매연농도를 비교한 것이다.

그림에서 알 수 있듯이 초음파처리시 약 12.5%에서 32%의 저감을 보였으며, 부하가 적을수록 저감효과는 크게 나타나고 있다. 이 역시 초음파처리에 의한 점도저하와 분자량감소에 의한 비중의 저하 등으로 분무입경이 작아져 연료유와 공기의 혼합성이 좋게 되어 연소개선에 효과를 주는 것에 기인하는 것으로 판단된다.

4. 結 論

본 연구는 디젤기관의 성능향상을 위한 한 방법으로 초음파진동장치를 제작하여 이를 활용 초음파처리 전후의 점도 및 구조분석실험을 수행하는 한편 이 장치를 기관의 연료계통에 부착하여 실험한 결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 초음파처리에 의하여 연료유의 점도감소와 Branchness Index의 감소를 확인할 수 있었으며, 이 결과 디젤기관의 연소개선 및 매연농도감소의 효과를 가져올 것

을 예측할 수 있었다.

2. 초음파처리시 처리전보다 연료소비율은 감소하고, 제동효율은 향상되었다.
3. 연소최고압력값은 별다른 차이가 없었으나, 최고압력이 나타나는 크랭크각도는 초음파처리시 더 좁은 범위의 각도를 유지하였다.
4. 초음파처리시 처리전보다 매연농도가 최고 32%까지 감소하였다.

參 考 文 獻

1. 千葉近, "超音波による液體の微粒化の研究", 内燃機關, 11卷2號, pp. 11~22, 1972.
2. 千葉近, "超音波による液體微粒化の研究", 日本機械學會論文集(B編), 51卷471號, pp. 3589~3598, 1985.
3. John V. Droughton, Aaron D. Deutschman, Larry E. USman, "The Effect of Ultrasonic Mixing of Fuel and Air on the Performance of an Internal Combustion Engine", SAE 840238, pp. 1-8, 1984.
4. Kazuyoshi Namiyama, Hiromi Nakamura, Kakuro Kokubo, Daijiro Hosogai, "Development of Ultrasonic Atomizer and Its Application to S.I. Engines", SAE 890430, pp. 1-11, 1987.
5. 류정인 외 3인, "기존기화기와 초음파장치의 미립화 특성비교", 한국자동차공학회 학술강연초록집, pp. 17~24, 1986.
6. B. Niemczewski, "A comparision of ultrasonic cavitation intensity in liquids", Ultrasonics, May, pp. 107-110, 1980.
7. 眞田德雄, "振動式キャピテーション試験で生成する衝撃波の觀測", 日本機械學會論文集(B編), 50卷458號, pp. 2275~2284, 1984.
8. Laljt Dixit, "Hydrocarbon Type Distribution and Structural Parameters of Gasolines by $^1\text{H-NMR}$ and IR Spectroscopy", Indian Journal of Technology, Vol. 23, pp.

- 315-317, 1985.
9. Mark E. Myers, Janis Stollsteimer, "Determination of Hydrocarbon-Type Distribution and Hydrogen/Carbon Ratio of Gasolines by Nuclear Magnetic Resonance Spectrometry", *Analytical Chemistry*, Vol. 47, No. 12, p. 2011, 1975.
 10. 實吉純一 外 3人 監修, "超音波技術便覽", pp. 117~276. 日刊工業新聞社, 日本, 1978.
 11. 李明煥 譯, 長尾不二夫 著, "內燃機關(上卷)", p. 241. 大光書林, 서울, 1977.
 12. 內燃機關編輯委員會編, "內燃機關の燃焼", p. 72. 山海堂, 일본, 1973.
 13. 정권, "경유연료성상에 따른 엔진성능 및 배출가스", 한국자동차공학회 학술강연초록집, p. 79. 1989.
 14. 허영근, 남평우, "最新 內燃機關", p. 137. 東明社, 서울, 1979.
 15. 倉林俊雄, "內燃機關技術者のための液體の微粒化(7)", 內燃機關, 16卷1號, pp. 85~89. 1977.
 16. 이창식, "디젤기관의 저질유연소에 관한 연구", 韓國自動車學會誌, 10卷1號, p. 84. 1988.