

〈논 문〉 SAE NO. 96370059

## 초음파 에너지 부가 디젤연료의 화학적, 물리적 특성에 관한 연구

### A Study on the Chemical and Physical Characteristics of Ultrasonic-Energy-Added Diesel Fuel

최 두 석,\* 윤 면 근,\*\* 류 정 인\*\*\*  
D. S. Choi, M. K. Yoon, J. I. Ryu

#### ABSTRACT

This study investigated the characteristics of ultrasonic-energy-added diesel fuel. We compared the characteristics used H-NMR spectrum, FT-IR spectrum, viscosity and surface tension between conventional diesel fuel and ultrasonic-energy-added diesel fuel.

The result are obtained as follow :

We knew that ultrasonic energy result to reduce BI and weaken viscosity and surface tension. Also, the ultrasonic energy caused to reduce aromatics  $H_a$  and increase Alkanes  $H_r$ .

The effect of ultrasonic-energy-added diesel fuel was principally caused by change of chemical structures and a physical characteristics.

주요기술용어 : Ultrasonic-energy-added diesel fuel(초음파 에너지 부가 디젤연료), NMR spectrum (핵자기공명 스펙트럼), IR spectrum(적외선 스펙트럼), Branchness index(브랜치인덱스), Chemical shift range(화학적 이동상수 범위), Integral intensity ratio(수소분포비율), Cavitation(공동현상)

#### 1. 서 론

승용차에 대한 배출가스규제, 도시 종합교통규제 및 대책기술의 발전 등에 의해서 도시주변 대기의 일산화탄소와 더불어 탄화수소의 농도는 감

소의 경향을 보이고 있으나 질소산화물 및 입자상 물질의 저감에 관해서는 이제까지 충분한 대책이 이루어지고 있지 않은 실정이다.

디젤기관은 우수한 연료 경제성과 높은 출력을 갖고 있으므로 트럭이나 버스 등의 대형차에 차지하는 그 비율이 압도적으로 많아, 그 배출물질이 대기오염에 대해 차지하는 비율이 매년 증가하고 있다. 대기오염의 방지를 효과적으로 추진하기 위해서는 가솔린기관이나 디젤기관에 대해

\* 정회원, 천안공업전문대학 자동차과

\*\* 정회원, 충남대학교 대학원

\*\*\* 정회원, 충남대학교 기계공학과

제 2 단계 목표치에 의한 규제를 조기에 달성할 필요가 있다고 사료된다.

가솔린기관에 비해서 디젤기관의 배출물질에는 많은 입자상 물질이 있고, 이 입자상 물질은 인체 내의 직접적 영향을 줄 뿐만아니라 배출가스 대책 중에도 장애로 되는 등 디젤기관에는 해결해야 할 문제가 많이 남아 있다<sup>1)</sup>.

배출물질의 저감에 대한 중요한 대책으로서 기관의 개선 및 후처리 등이 매우 유효하나, 입자상 물질의 생성, 성상에서 유해한 성분이 연료성상에 기인하는 것이 크므로 이에 디젤연료의 분자구조에 대한 특성 파악이 요구된다.

그동안 본 연구실에서 연료에 초음파 에너지를 부가하여 가솔린기관과 디젤기관에 대한 성능특성에 관한 연구<sup>2)~4)</sup>를 수행하였으나, 초음파 에너지 부가시 연료에 대한 화학적 분석과 물리적 특성분석을 충분히 하지 못하였고, 초음파 에너지 부가시간에 따른 실험을 수행하지 못했기 때문에 본 연구에서는 초음파 에너지를 시간별로 부가한 경우에 대하여 화학적 분석(NMR, IR)을 통하여 연료의 구조변화를 해석함과 동시에 물리적 특성분석(점도, 표면장력)을 통하여 개방계에서의 초음파 에너지 부가시간에 따른 효과를 조사하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 초음파 에너지 부가장치 및 부가방법

Fig.1은 초음파 에너지 부가장치의 개략도이며, 구성은 초음파 발진기와 연료에 초음파 에너지를 부가하는 장치로 이루어져 있다.

본 실험에 사용한 초음파진동자는 전기음향 변환율이 높고 발열이 적은 특성을 갖고 있는 볼트 체결형 랑게빈 진동자(Bolted Langevin Transducer, BLT)로서 공진주파수가 28KHz이며, 그

주요 제원은 Table 1과 같다.

또한 초음파 발진장치는 초음파진동자에 전기신호를 가하여 요구하는 출력의 초음파 출력을 내기 위한 장치로서 28KHz의 주파수 발진을 하여 진폭부에 가해주는 발진부, 발진된 주파수를 진동자를 구동시킬 수 있는 전력으로 증폭해 주는 증폭부, 증폭된 구형파를 사인파로 바꾸어 임피던스를 정합하여 진동자에 가해주는 정합부로 구성되어 있으며, 그 개략도는 Fig.2와 같다.

디젤연료에 초음파 에너지 부가방법은 전원 DC12V로 초음파 발진기를 작동시키면 초음파진

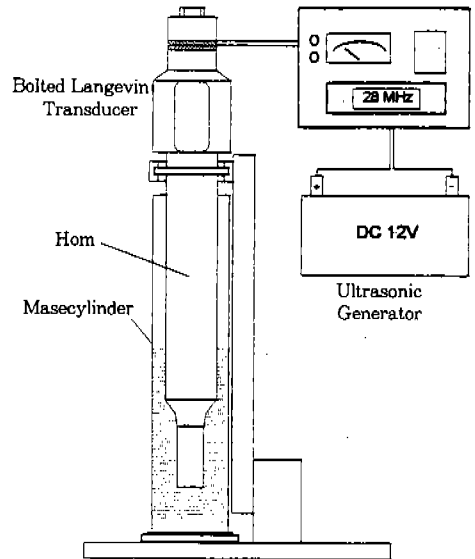


Fig.1 Schematic diagram of the ultrasonic fuel feeding system

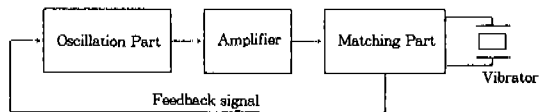


Fig.2 Block diagram of ultrasonic oscillator

Table 1 Specification of BLT

Frequency (KHz)	Admittence (mΩ)	Thermal quality(Qm)	Capacity (pF)	Maximum velocity(cm/s)	Maximum altitude(μm)
28±0.5	35±7	1,000	3,000±15%	60	9.6

동자가 28KHz로 진동하면서 메스실린더 내의 디젤연료에 초음파 에너지를 부가하도록 하였다.

실험에 사용된 시료의 수는 총 7개로서 1개는 시판 경유이고, 6개는 초음파 에너지 부가연료이다. 여기서 6개의 초음파 에너지 부가연료의 제작은 초음파 에너지 부가방법에 따라 6개의 메스실린더에 시판 경유 30cc씩을 채운 후 초음파 에너지 부가시간을 각각 30, 60, 90, 120, 150, 180초 부가하여 초음파 에너지 부가시료를 만들었다.

Table 2는 본 실험에 사용한 디젤연료의 물리적 성질을 나타낸 것이다.

2.2 화학적 분석장치 및 방법

초음파 에너지 부가시간에 따른 실험용 시료의 화학적 특성의 변화가 있는가를 확인하기 위하여 NMR과 IR에 의하여 실험용 시료 7개를 대상으로 연료의 분자구조를 분석하였다.

NMR은 분자의 모양 및 구조에 관한 정보를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 특히 분자를 구성하고 있는 각종 형태의 수소의 화학적 환경에 관한 정보를 얻을 수 있으므로 취급하고 있는 분자의 구조를 확인할 수 있다. 또 유기화합물의 정성 및 정량분석에 모두 사용할 수 있다.

정성분석으로는 첫째 화학적 이동으로부터 어떤 종류의 <sup>1</sup>H, 즉 메틸렌기(-CH<sub>2</sub>-), 메틸기(-CH<sub>3</sub>-), 올레핀기(CH<sub>2</sub>=CH<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>-CH=CH<sub>2</sub> 등), 방향족 화합물 등의 존재 여부를 알 수 있으며, 둘째로는 스핀-스핀 분열 즉 피크의 다중도로부터 분자 중에서 피크를 나타내는 기에 어떤 기가 인접하고 있는지를 알 수 있다. 또한 셋째로는 스펙트럼 상의 공명 흡수 피크의 상대 피크 높이 또는 상대 피크 면적으로부터 공명을 일으키고 있는 기 중에 몇 개의 공명핵(수소원자)이 포함되어 있는가를 직접 알 수 있다<sup>5)</sup>.

스핀-스핀 분열이 있는 경우도 포함하여 공

명 흡수에 관여하는 양성자(수소원자핵)수가 공명 흡수 피크의 면적을 직접 지배하고 있다. 메틸기에 대한 피크 면적은 메틸렌기에 의한 피크 면적의 2/3에 상당한다. 이 사실을 이용하여 액상의 유기화합물의 혼합물을 정량화할 수 있다.

NMR에서의 강도란 흡수곡선 밑의 면적을 말하는데, 이는 천이강도를 의미하고 이때의 면적은 스펙트럼이 나타난 위치에서 흡수된 분자의 <sup>1</sup>H-핵의 수와 비례한다<sup>6)</sup>.

Fig.3은 본 실험에 사용한 NMR 분광기(Varian GEMINI 200)의 개략도이며, 구성은 전자석, 라오파 발생장치, 라오파 검출기, 시료관 및 자기코일로 되어 있다. 실험방법은 자석을 이용하여 균일하고 강한 자장을 만들고, 그 중심에 시료를 놓는다. 조사(照射)를 균일하게 하기 위하여 시료를 회전시키며 공명에 의한 에너지의 흡수를 검지하여 증폭하고 그 강도에 상당하는 신호를 자장의 강도와 함께 기록계에 기록하며, 기록계에는 적분기가 적분값을 동시에 출력한다. 이 NMR 분광기의 진동수는 200MHz이다.

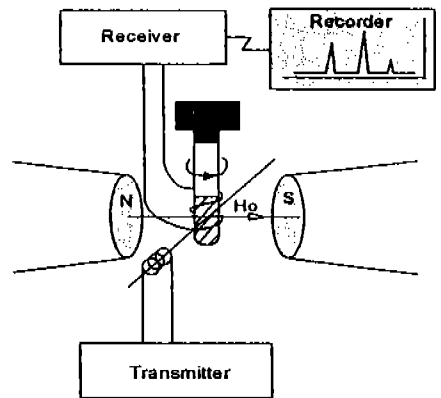


Fig.3 Schematic diagram of a NMR spectrometer

Table 2 Characteristics of diesel fuel

Specific gravity	Kinematic viscosity (cSt)	Net calorific value (Kcal/kg)	Pour point (°C)	Carbon residue (Wt.%)	Sulfur (Wt.%)	Ash (Wt.%)	Water & Sediment (Vol.%)
0.83	2.71(37.8°C)	10,300	-22.5	0.08	0.62	0.001	0.005

시료채취는 초음파 에너지 부가장치를 이용하여 만든 시간별 시료 6개와 1개의 시판 경유 각각을 NMR 튜브에 5cc를 채우고, 희석시키기 위하여 촉매제로  $CDCl_3$  1cc를 혼합하여 사용하였다.

IR은 분자의 작용기에 의한 특성적 스펙트럼을 비교적 쉽게 얻을 수 있을 뿐 아니라, 특히 광학 이성질체를 제외한 모든 물질의 스펙트럼이 서로 차이가 있어, 분자구조를 확인하는데 결정적인 많은 정보를 제공해 주는 방법이다.

분자가 일으킬 수 있는 진동운동의 진동방식은 신축진동방식과 굽힘진동방식이 있는데, 분자에 IR를 쬐어주면 이들이 진동을 일으키는데 필요한 주파수의 빛을 흡수하여, 이 에너지에 대응하는 특성적인 적외선 스펙트럼이 나타나게 된다. 이를 분자구조와 관련지어 해석하면 분자구조에 대한 정보를 얻을 수 있다<sup>5,6)</sup>.

Fig.4는 본 실험에 사용한 FT-IR(Bio-rad Digilab Division FTS-80)의 개략도이며, 구성은 광원, 시료부, 단색화 장치, 검출기, 전산장치로 구성되어 있으며 광원은 He-Ne 레이저를 사용하였다.

실험방법은 실험용 시료 7개를 희석하지 않은 상태로 AgBr Window Casting법을 사용하여 파장  $4,000cm^{-1} \sim 400cm^{-1}$  범위에서 적외선 스펙트럼을  $2cm^{-1}$ 의 간격이 분해요소 흡광도를 측정하였다. 이 FT-IR 스펙트럼 분석은  $^1H-NMR$

스펙트럼 분석과 비교, 고찰하기 위해서 실시하였다.

### 2.3 물리적 특성 분석장치 및 방법

실험용 시료의 초음파 에너지 부가시간에 따른 물리적 특성 변화를 분석하기 위해서 각각 시료 7개에 대하여 상온( $20^{\circ}C$ )에서 점도 측정과 표면장력 측정을 하였다. 점도 측정은 구마찰 점도계를 사용하여 측정하였는데, 이 구마찰 점도계는 시료에 구를 넣은후 구가 구름 및 마찰운동을 통하여 떨어지는 시간을 측정하여 계산식에 의해 점도를 환산하는 방식이다. 또한 표면장력은 장력을 측정하기 위해 링법에 기초를 둔 KRUSS 장력계(K 8,600 type)을 사용하여 측정하였는데, 이 KRUSS 장력계는 규정 실험시료에 백금 링을 잠기게 한 후 이 링을 끌어 올렸을때 시료로부터 링이 떨어지는 순간의 값을 측정하여 계산식으로 표면장력을 환산하는 방식이다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 화학적 분석 결과

Fig.5와 Fig.6은 실험용 시료 7개의  $^1H-NMR$  스펙트럼 측정 결과중 대표적으로 2개의  $^1H-NMR$  스펙트럼만을 나타낸 것으로 Fig.5는 시판 경유의  $^1H-NMR$  스펙트럼이고, Fig.6은 초음파 에너지를 60초동안 부가한 시료의  $^1H-NMR$  스펙트럼이다. 그림에서 가로축은 화학적 이동상수로 실측의 화학주파수를 분광기의 주파수로 나눈 값으로 ppm( $\times 10^6$ )으로 표시하며, 세로축은 피크의 크기를 표시한다.

그림을 보면 각 영역에서 피크를 형성하고 있음을 알 수 있다. 여기서 각 영역은 서로 다른 화학적 특성을 가지고 있는 것으로 일반적으로  $H_a$ (ring-aromatic),  $H_b$ ( $\alpha$ -methyl),  $H_c$ (methylene),  $H_d$ (methyl)으로 구성되어 있다.

일반적으로  $^1H-NMR$  스펙트럼에서  $H_a$ 는 화학적 이동상수 영역이 6.2~9.2ppm 사이에 존재하고,  $H_b$ 는 화학적 이동상수 영역이 2.0~4.0 ppm 사이에 존재하며,  $H_c$ 는 화학적 이동상수 영역이 1.0~2.0ppm 사이에 존재하고,  $H_d$ 는 화학

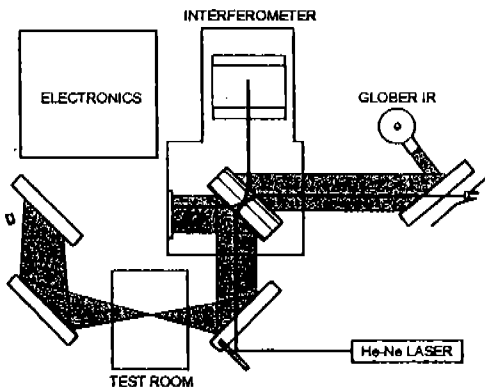


Fig.4 Schematic diagram of a FT-IR spectrometer

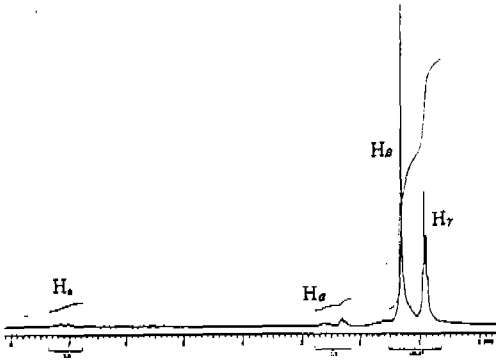


Fig.5 <sup>1</sup>H-NMR spectrum of normal diesel

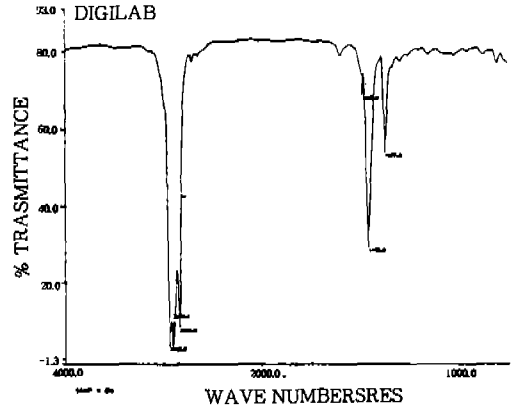


Fig.7 FT-IR spectrum of normal diesel

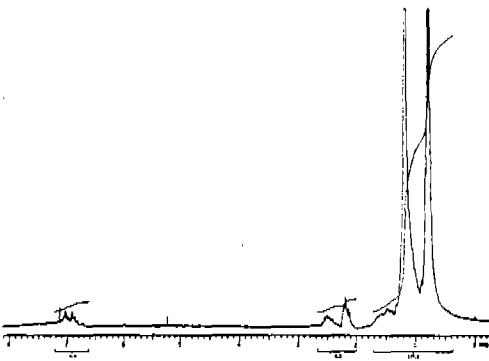


Fig.6 <sup>1</sup>H-NMR spectrum of diesel (D60)

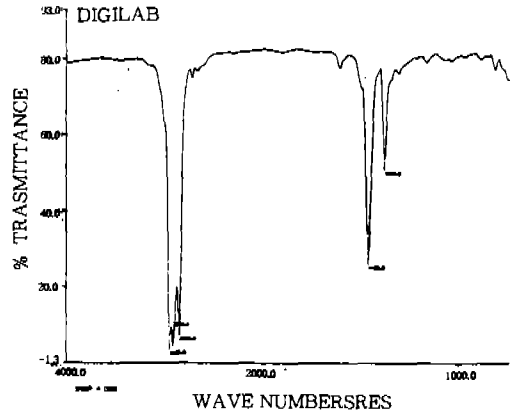


Fig.8 FT-IR spectrum of diesel (D90)

적 이동상수 영역이 0.5~1.0ppm사이에 존재하는 것으로 알려져 있다<sup>1)</sup>. 이 피크의 면적은 적분계에 의해 기록되며 이것은 스펙트럼으로 나타나게 되는데, Fig.5의 <sup>1</sup>H-NMR 스펙트럼 결과와 Fig.6의 <sup>1</sup>H-NMR 스펙트럼 결과를 비교해 보면 화학적 이동상수의 영역이 서로 같은 범위에서 존재하고 있으나 각 영역에서 피크의 크기와 피크의 면적이 서로 많은 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 그 이유는 연료에 초음파 에너지를 부가함으로써 공동현상<sup>7)</sup>이 일어나 분자구조가 변화되었기 때문이라고 사료된다.

Fig.7과 Fig.8은 실험용 시료 7개의 FT-IR 스펙트럼 측정 결과중 대표적으로 2개의 FT-IR 스펙트럼만을 나타낸 것으로 Fig.7은 시판 경유

의 FT-IR 스펙트럼이고, Fig.8은 초음파 에너지를 90초동안 부가한 시료의 FT-IR 스펙트럼이다. 그림에서 가로축은 주파수(cm<sup>-1</sup>)를 표시하며, 세로축은 흡광도(%)를 표시한다.

일반적으로 주파수 3,000~2,850cm<sup>-1</sup> 영역에서는 신축진동의 피크가 나타나며, 주파수 1,470~1,370cm<sup>-1</sup> 영역에서는 굽힘진동의 피크가 나타나는 것으로 알려져 있다<sup>5)</sup>.

Fig.7의 FT-IR 스펙트럼 결과와 Fig.8의 FT-IR 스펙트럼 결과를 비교해 보면 주파수의 영역이 서로 같은 영역에서 존재하고 있으나 각 영역에서 흡광도는 서로 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 그 이유는 연료에 초음파 에너지를 부가함으로써 공동현상<sup>7)</sup>이 일어나 분자구조가 변

화되었기 때문이라고 사료된다.

Fig.9는 Fig.5와 Fig.6의 <sup>1</sup>H-NMR 스펙트럼 결과와 Fig.7과 Fig.8의 FT-IR 스펙트럼 결과 뿐만 아니라 나머지 시료에 대한 <sup>1</sup>H-NMR 스펙트럼 결과와 FT-IR 스펙트럼 결과로 부터 브랜치 정도를 나타내는 각각의 BI를 다음식으로 부터 계산하여 나타낸 것이다<sup>8)~10)</sup>.

$$BI_{정의식} = \frac{\text{메틸 피크의 높이}}{\text{메틸렌 피크의 높이}} \quad (1)$$

Fig.9에서 (a)는 <sup>1</sup>H-NMR 스펙트럼에서 구한 BI를 나타내고, (b)는 FT-IR 스펙트럼에서 구한 BI를 나타낸다. 또한 (c)는 <sup>1</sup>H-NMR 스펙트럼에서 구한 BI와 FT-IR 스펙트럼에서 구한

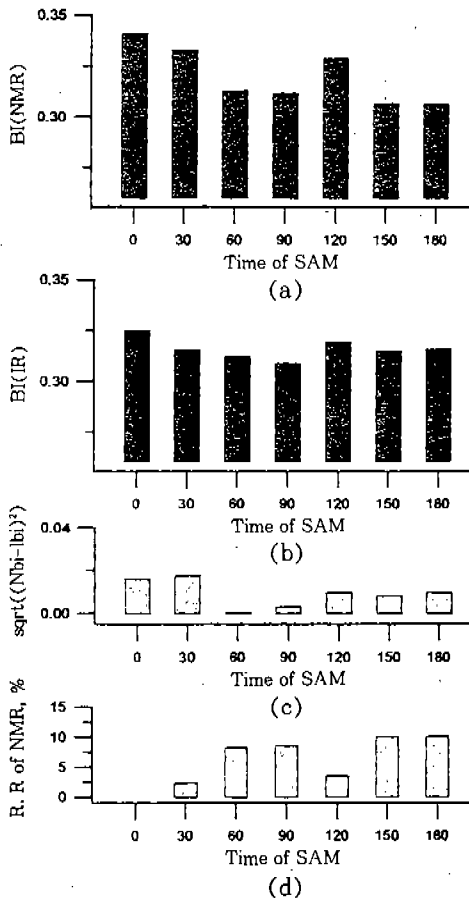


Fig.9 Branch index of samples(NMR and IR)

BI의 차이를 나타내고, (d)는 시판 경유를 기준으로 했을때 <sup>1</sup>H-NMR 스펙트럼에서 구한 BI의 감소율을 나타낸 것이다. (a), (b)에서 나타낸 바와 같이 시판 경유보다 초음파 에너지를 부가한 시료의 BI는 <sup>1</sup>H-NMR 스펙트럼에서나 FT-IR 스펙트럼에서나 감소하는 경향을 보이고 있다. <sup>1</sup>H-NMR 스펙트럼에서는 초음파 에너지 부가시간을 180초 부가한 시료가 최대 9%의 감소를 보였고, 30초 부가한 시료가 최소 2.5%의 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한 FT-IR 스펙트럼에서는 초음파 에너지 부가시간을 90초 부가한 시료가 최대 9%의 감소하는 보였고, 120초 부가한 시료가 최소 3%의 감소하는 경향을 보이고 있다. 그 이유는 연료에 초음파 에너지를 부가함으로써 공동현상이 일어나 분자구조가 변화되었기 때문이라고 사료된다.

또한 Fig.9의 (c)에서 보는 바와 같이 <sup>1</sup>H-NMR 스펙트럼에서 구한 BI와 FT-IR 스펙트럼에서 구한 BI의 차이가 미소한 오차를 보이고 있으므로 앞으로는 분석하기에 편리한 <sup>1</sup>H-NMR 스펙트럼을 이용한 화학적 분석만으로도 충분히

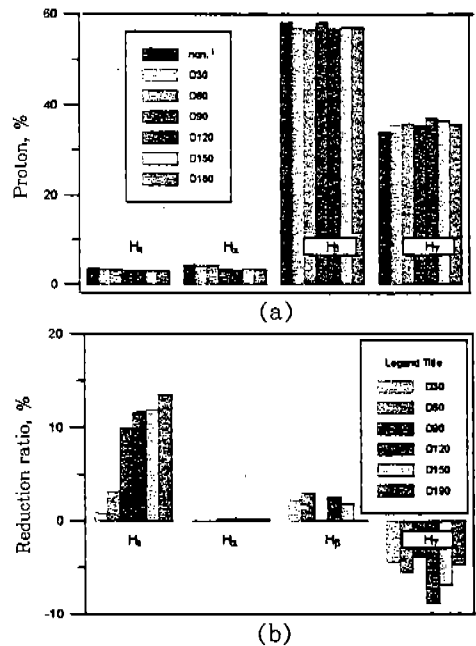


Fig.10 Proton percent and reduction ratio of samples

초음파 에너지 효과를 확인할 수 있다는 것을 알았다.

Fig.10은 Fig.5와 Fig.6의 <sup>1</sup>H-NMR 스펙트럼 결과 뿐만 아니라 나머지 시료에 대한 <sup>1</sup>H-NMR 스펙트럼 결과로부터 각각의 수소분포의 비율을 다음식으로 부터 계산하여 나타낸 것이다<sup>9)~10)</sup>.

$$H_a + H_x + H_\beta + H_\gamma = 1 \quad (2)$$

$$H_a, (\text{vol.}\%) = \frac{H_a \times 100}{H_a + H_x + H_\beta + H_\gamma} \quad (3)$$

$$H_x, (\text{vol.}\%) = \frac{H_x \times 100}{H_a + H_x + H_\beta + H_\gamma} \quad (4)$$

$$H_\beta, (\text{vol.}\%) = \frac{H_\beta \times 100}{H_a + H_x + H_\beta + H_\gamma} \quad (5)$$

$$H_\gamma, (\text{vol.}\%) = \frac{H_\gamma \times 100}{H_a + H_x + H_\beta + H_\gamma} \quad (6)$$

Fig.10에서 (a)는 <sup>1</sup>H-NMR 스펙트럼 결과로부터 구한 각각의 수소분포의 비율을 나타내고, (b)는 시판 경유를 기준으로 했을때 각각의 수소분포의 비율에 대한 감소율을 나타낸 것이다. (b)에서 보는 바와 같이 연료의 수소분포의 비율은 방향족 H<sub>a</sub>에서 시판 경유보다 초음파 에너지 부가시간을 180초 부가한 시료가 최대 13%의 감소를 보였고, 30초 부가한 시료가 최소 1.5%의 감소를 보였다. 또한 알칼족 H<sub>x</sub>에서는 시판 경유가 초음파 에너지 부가시간을 120초 부가한 시료가 최대 9%의 증가를 보였고, 90초 부가한 시료가 최소 4%의 증가를 보였다. 그 이유는 Fig.9에서 설명한 바와 같다. 또한 시료의 감소율과 증가율이 약간의 차이를 보이고 있는데, 그 이유는 개방계에서 초음파 에너지를 연료에 부가했기 때문에 연료의 증발에 기인한다고 사료된다.

### 3.2 물리적 특성 분석 결과

Fig.11에서 (a)는 각각의 시료에 대한 점도를 나타내고, (b)는 시판 경유를 기준으로 했을때

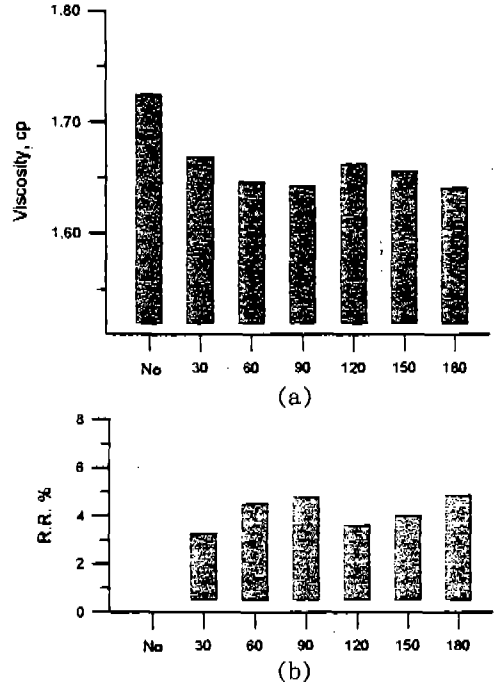


Fig.11 Viscosity and reduction ratio of samples

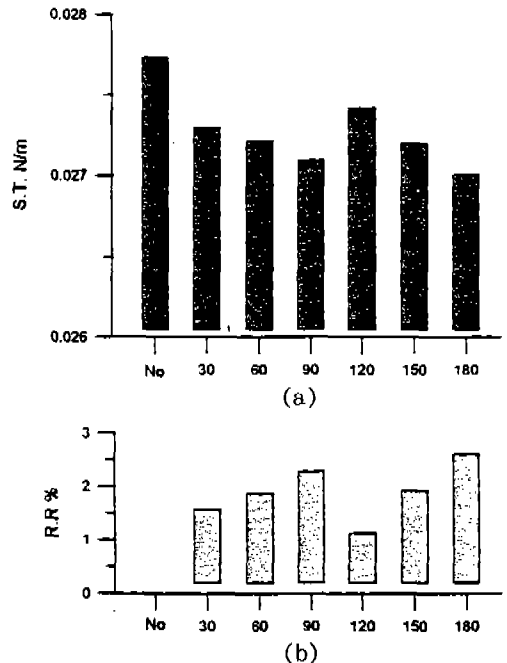


Fig.12 Surface tension and reduction ratio of samples

점도의 감소율을 나타낸 것으로 시판 경유보다 초음파 에너지 부가시간을 180초 부가한 시료가 최대 5%의 감소를 보였고, 30초 부가한 시료가 최소 3.3%의 감소를 보였다. 그 이유는 초음파 에너지를 부가함에 따라 분자간의 인력이 완화되었기 때문이라고 사료된다.

Fig.12에서 (a)는 각각의 시료에 대한 표면장력을 나타내고, (b)는 시판 경유를 기준으로 했을 때 표면장력의 감소율을 나타낸 것으로 시판 경유보다 초음파 에너지 부가시간을 180초 부가한 시료가 최대 2.5%의 감소를 보였고, 120초 부가한 시료가 최소 1%의 감소를 보였다. 그 이유는 초음파 에너지를 부가함에 따라 분자간의 인력이 완화되었기 때문이라고 사료된다.

또한 초음파 에너지 부가시간에 따라 점도와 표면장력이 같은 경향을 보이면서 감소하고 있는데, 그 이유는 초음파 에너지를 부가함에 따라 분자간의 인력이 완화되는 것이 점도와 표면장력에서 같은 영향을 미쳤기 때문이라고 사료된다.

특히, 앞에서 측정된 BI와 비교하여 보면 시판 경유에 초음파 에너지 부가시간에 따라 BI의 변화와 점도 및 표면장력의 변화가 그 크기에 있어서는 차이를 가지고 있으나, 전체적인 경향은 일치하고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 화학적 특성의 변화가 물리적 특성의 변화에 잘 일치된다는 것을 보여줌과 동시에 물리적 특성의 변화를 분석함으로써 화학적 특성의 변화를 예측가능하게 한다는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

디젤연료에 초음파 에너지를 부가 했을 때 화학적 분자구조와 물리적 특성의 변화가 있는지 확인하기 위하여 시판 경유와 시판 경유에 초음파 에너지 부가한 경우에 대하여 화학적 분석(NMR, IR)과 물리적 특성분석(점도, 표면장력)을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) <sup>1</sup>H-NMR 스펙트럼과 FT-IR 스펙트럼 분석 결과 시판 경유보다 초음파 에너지를 부가한 연료의 BI 값은 최대 9% 감소하

였다.

- 2) <sup>1</sup>H-NMR 스펙트럼 분석 결과 시판 경유보다 초음파 에너지를 부가한 연료의 수소분포 비율은 방향족 H<sub>a</sub>에서 최대 13% 감소를 보였고, 알칸족 H<sub>c</sub>에서 최대 9% 증가를 보였다.
- 3) 시판 경유보다 초음파 에너지를 부가한 연료의 점도와 표면장력은 같은 경향을 보이며 감소하였으며, 점도는 최대 5% 감소하였고, 표면장력은 최대 2.5% 감소하였다.
- 4) <sup>1</sup>H-NMR 스펙트럼을 이용한 화학적 분석만으로 초음파 에너지 효과를 확인할 수 있었고, 더욱이 물리적 분석만으로도 가능하다는 것을 알았다.

#### 참 고 문 헌

1. 大内日出夫 외 2인 : “テ”ィーセル燃料の平均分子構造の解析”, 内燃機関, 21(5), pp. 9~21, 1982.
2. 최두석 외 2인 : “초음파 연료공급장치용 디젤자동차의 성능향상에 관한 연구(I)”, 한국자동차공학회 논문집, 2(1), pp. 1~8, 1994.
3. 류정인 외 2인 : “초음파 연료공급장치용 디젤자동차의 성능향상에 관한 연구(II)”, 한국자동차공학회 논문집, 2(6), pp. 50~56, 1994.
4. 최두석 외 2인 : “초음파 연료공급장치용 디젤자동차의 성능향상에 관한 연구(III)”, 한국자동차공학회 논문집, 3(4), pp. 12~18, 1995.
5. 이대운 외 4인 : “기기분석”, 대한교과서(주), 1993.
6. William H. Lipjea, et al : “The Physical and Chemical Character of Diesel Particulate Emissions—Measurement Techniques and Fundamental Considerations”, SAE 780108, pp. 405~461, 1978.
7. 류정인 : “액체연료의 미립화 기술(2)”, 한국자동차공학회지, Vol. 15, No. 5, pp. 31~



- 41, 1993.
8. D. R. Clutter, et al : "Nuclear Magnetic Resonance Spectrometry of Petroleum Fractions", *Analytical Chemistry*, 54(3), pp. 2100~2111, 1982.
9. Mark E. Myers, et al : "Determination of Hydrocarbon-Type Distribution and Hydrogen/Carbon Ratio of Gasolins by NMR Spectrometry", *Analytical Chemistry*, 47(12), pp. 2010~2015, 1975.
10. L. Dixit, et al : "Hydrocarbon Type Distribution & Structural Parameters of Gasolins by NMR & IR Spectroscopy", *Indian Journal of Technology*, 23, pp. 315~317, 1985.