

초음파 개질 경유의 연료특성과 연소특성의 상관관계에  
관한 연구 (I)  
— 화학구조와 발열량과의 상관성

A Study on Relationship between Fuel Characteristics and Combustion Characteristics  
of Reformed Diesel Fuels by Ultrasonic Irradiation (I)  
— Relationship between Chemical Structure and Higher Heating Value

이 병 오\*, 류 정 인\*\*  
Byoungoh Lee, Jeongin Ryu

ABSTRACT

The main objective of this study is to investigate the relationship between chemical structure and higher heating value of reformed diesel fuels by ultrasonic irradiation. In order to analyze the chemical structure changes of the reformed diesel fuels by ultrasonic irradiation, Proton nuclear magnetic resonance spectrometer(<sup>1</sup>H-NMR) was used and to analyze the effect of higher heating values of these diesel fuels, the bomb calorimeter was used.

From the study, following conclusive remarks can be made.

- 1) The aromatic carbon percentages and higher heating values of the reformed diesel fuels by ultrasonic irradiation increased more than the conventional diesel ones.
- 2) The aromatics percentages and Branch Index(BI) of the reformed diesel fuels by ultrasonic irradiation decreased more than the conventional diesel ones.
- 3) The higher heating values on both for conventional fuel and reformed diesel fuels by ultrasonic energy irradiation is directly proportional to aromatic carbon percentages and inversely proportional to aromatic percentages and BI for these fuels.

주요기술용어 : Ultrasonic irradiation(초음파 조사), Higher heating value(고위발열량), NMR(핵자기 공명 분광기), Aromatics(방향족), BI(브랜치 인덱스)

**Nomenclature**

TMS : tetramethylsilane, (CH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>Si

FFT : fast Fourier transform

Hi : hydrogen types of hydrocarbon

C<sub>A</sub>, C<sub>α</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> : carbon types of hydrocarbon

\* 회원, 충남대학교 대학원

\*\* 회원, 충남대학교 기계공학과

## 1. 서론

연료의 연소분석을 위한 연료 특성들은 일반적으로 물리적 특성, 화학적 특성으로 구분된다. 물리적 특성에는 점도, 표면장력, 밀도, 유동점, 비점, 비등점, 열전도도, 빙점 및 굴절을 등이 있으며, 화학적 특성에는 화학구조, 발열량, 물 및 잔류 침전물, 중류온도, 열분해점, 잔류탄소, 비열량, 발화성 및 열분해 생성물 등이 포함된다.

이중 화학적 특성인 연료의 발열량과 화학구조에 대한 많은 문헌을 검토한 결과, 연료의 발열량은 연료분자중에 있는 탄소 및 수소의 함유량 증가나 산소와 질소 함유량 감소에 따라 증가<sup>1)</sup> 할뿐만 아니라 연료의 화학적 구조에서 방향족의 탄소수가 증가할수록 또는 방향족이 감소할수록 증가한다.<sup>2,3)</sup>

또한 지방족 탄화수소의 고위발열량은 각 구조단위에 특징적인 기여를 가정하여 계산한 값과 비교적 정확하게 일치한다.<sup>4)</sup> 열린 사슬 알칸에 대해 각 메틸렌기  $-CH_2-$ 는 대략 11216kcal/kg이다. 만일 시클로프로판과 시클로부탄이 열린 사슬 화합물보다  $-CH_2-$  기당 더 많은 에너지를 방출한다면, 이는 이들 화합물이  $-CH_2-$  기당 보다 더 많은 에너지를 함유하고 있다는 것을 의미한다. 그러므로 시클로프로판이나 시클로부탄은 열린 사슬 화합물보다 더 불안정하며 이들 화합물이 고리-열린 반응을 받는 경향은 이 불안정성과 관련이 있다고 생각하는 것이 합리적이다.<sup>4)</sup>

이처럼 연료의 화학적 특성인 발열량과 화학구조사이에는 어느정도 상관관계가 존재한다.

따라서, 본 연구에서는 이 점에 착안하여 초음파 에너지를 조사하여 경유를 개질한 다음, 이 개질된 경유에 대한 화학구조 및 발열량 분석을 통하여 초음파에너지 조사시간과 화학구조 및 발열량과의 상관관계를 규명하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 초음파 연료공급장치

Fig. 1은 초음파 연료공급장치의 개략도로서

크게 초음파에너지 발진장치와 연료에 초음파 에너지를 추가하는 조사장치로 구성되어 있다.

초음파에너지 발진장치는 크게 발진부, 증폭부 및 정합부로 구성되어 있으며 초음파에너지 조사장치는 볼트체결형 랑주빈 진동자와 혼 등으로 이루어져 있다. 전원 AC 110V로 초음파 발진기를 작동시키면 볼트체결형 랑주빈 진동자 및 혼이 28kHz로 진동하면서 메스실린더 내의 연료에 초음파에너지를 조사하게 된다.

실험에 사용된 시료의 수는 총 7개로서, 1개는 시판경유이고, 6개는 초음파에너지 조사연료이다. 여기서, 6개의 초음파에너지 조사연료의 제조는 초음파에너지 조사방법에 따라 개방계에서 6개의 메스실린더에 시판 경유 약 30cc를 채우고, 초음파에너지 발진장치 및 조사장치를 이용하여 초음파 조사시간을 각각 30, 60, 90, 120, 150, 180초로 하여 제조하였다.

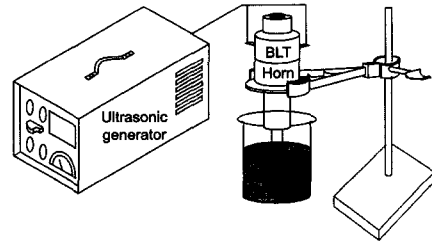


Fig. 1 Ultrasonic energy irradiating system on diesel oil

### 2.2 핵자기 공명 분광기

Fig. 2는 핵자기 분광기의 개략도로서 크게 전체 자기장이 제한된 범위에서 변화할 수 있도록 이차 자석에 변화되는 직류 전류를 공급할 수 있는 전자석, 시료관(sample tube), 자기장에 수직 방향으로 시료에 에너지를 전달하는 코일에 연결된 라디오파 발신기(transmitter), 시료를 감도는 코일에 연결된 라디오파 수신기(receiver), 증폭기, 기록기 및 감도, 정확도, 편의성을 높이는 부분들을 포함한 기록계(recorder) 등으로 구성되어 있다.

본 실험에 사용된 핵자기 공명분광기는 NMR (Varian Unity Inova 400)을 사용하였고 이 분광기

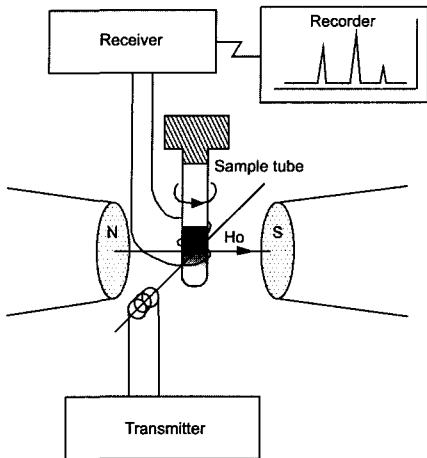


Fig. 2 Schematic diagram of nuclear magnetic resonance spectrometer

Table 1 Region of hydrogen types on <sup>1</sup>H-NMR spectrum

Hydrogen type	Chemical shift from TMS, ppm
H <sub>dar</sub>	9.0 ~ 7.05
H <sub>mar</sub>	7.05 ~ 6.5
H <sub>a</sub>	4.0 ~ 1.8
H <sub>c</sub>	1.8 ~ 1.06
H <sub>d</sub>	1.06 ~ 0.5

$$\sum_{i=1}^5 H_i = 100 \quad (1)$$

$$\begin{cases} C_A = 1.4H_{dar} + H_{mar} + \frac{H_a}{2.5} & , & C_a = \frac{H_a}{2.5} \\ C_2 = \frac{H_c}{2} & , & C_3 = \frac{H_d}{3} \\ C_A + C_a + C_2 + C_3 = 100 \end{cases} \quad (2)$$

의 진동수는 400MHz이다. 용매로는 일반적으로 값이 싸고 시료와 반응하지 않으면서 용해력이 큰 중수소화 클로로포름인 CDCl<sub>3</sub>를 사용하였으며, 화학적 이동의 영점조정용 기준물질로는 대단히 높은 자기장에서 선명한 단일봉우리를 나타내고 잘 분리될뿐만 아니라 비활성이면서 대부분의 유 기액체에 쉽게 녹는 TMS물질을 이용하였다.

NMR 분석을 위한 시료채취는 초음파에너지 발진장치 및 조사장치를 이용하여 만든 시간별 시료 6개와 시판 경유 각각을 NMR tube에 0.4cc를 채우고, 기준물질 TMS를 0.03% 함유하고 있는 용매 CDCl<sub>3</sub> 0.4cc를 혼합하여 희석하였다.

측정방법은 시료가 들어있는 NMR tube를 NMR cell에 넣은 후 조사를 균일하게 하기 위해 NMR tube를 회전시키면서 공명에 다른 에너지의 흡수를 검출한 후 FFT처리를 하여 신호를 자 장의 강도와 함께 기록계에 기록하며 기록계에는 적분기가 적분값을 동시에 출력한다.

시료의 화학 구조 비교분석 기준은 기존 연구의 분석기준<sup>7,12,13</sup>을 그대로 적용하여 초음파에너지 조사의 경우와 상대 비교하였으며, Table 1에 나타낸 것처럼 <sup>1</sup>H-NMR 스펙트럼을 통해 얻어진 결과에서 각 수소타입에 대한 화학적 이동 영역내의 적분강도 및 이를 근거로 식 (2)에 의해 탄소수를 구하였다.<sup>5,6</sup>

여기서, H<sub>dar</sub>은 다환 방향족 고리에 붙어있는 수소, H<sub>mar</sub>는 단환 방향족 고리에 붙어있는 수소, H<sub>a</sub>는 방향족 고리의 알파위치에 붙어있는 수소, H<sub>c</sub>는 파라핀의 메틸기 및 메틸렌기의 수소, H<sub>d</sub>는 메틸기의 수소, C<sub>A</sub>는 다환 및 단환 방향족 고리를 구성하고 있는 탄소, C<sub>a</sub>는 방향족 고리의 알파 위치에 붙어있는 탄소, C<sub>2</sub>는 메틸기 및 메틸렌기를 구성하는 탄소, C<sub>3</sub>는 메틸기를 구성하는 탄소를 의미한다.<sup>5,7</sup>

또한 BI(Branch Index)를 이용하였는데 이것은 파라핀에 있는 CH<sub>3</sub>/CH<sub>2</sub>의 비율로 미지의 파라핀 혹은 파라핀 혼합물에 대한 시료의 메틸-메틸렌기 비를 비교하여 시료 연료의 분자구조의 변화를 파악하였다.<sup>7</sup>

### 2.3 열량계

고위발열량은 정적열량계(LECO AC-300)를 사용하여 측정하였다. 연료의 발열량 및 핵자기 공명 측정에 사용된 7개의 시료는 원칙적으로 실제 조건에 가깝게 하기 위해서는 밀폐계에서 시료채취가 이루어져야 하지만, 밀폐계에서 시료채취를 하려면 우선 조건이 매우 까다롭고, 고가의 장비를 필요로 하기 때문에 개방계에서 채취를 하였다. 그러므로, 경유에 초음파에너지를 조

사할 경우 연료 안에 들어있는 공기 또는 가스가 공동현상을 일으키면서 국부적인 온도상승에 의하여 대기중으로 방출되기 때문에 시료의 발열량과 핵자기 공명 스펙트럼은 액상만을 대상으로 하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 연료의 화학구조 분석

Fig. 3은 초음파에너지를 조사하지 않은 경유의 핵자기공명 스펙트럼이고, Fig. 4는 초음파에너지를 90초 조사하여 개질한 경유의 핵자기공명 스펙트럼이다. 여기서 가로축은 각 작용기의 화학적 이동영역으로 실측의 화학주파수를 분광기의 주파수로 나눈 값으로서, 단위는 ppm( $\times 10^6$ )이다. 세로축은 흡수신호의 진폭 즉, 흡수피크의 높이를 나타낸다.

그림을 보면 알 수 있듯이 시료의 수소 흡수신은 화학적 이동값의 다섯개 영역으로 구분되며, 이들 영역내에 존재하는 신호들은 기준물질인 TMS에 대한 상대적인 다양한 수소타입으로 지정된다. 각 영역에서 수소원자의 상대수는 이들 영역내에 존재하는 신호들의 면적으로부터 계산된다.

Table 2는 Fig. 3과 Fig. 4에 나타난 시료를 포함하여 본 실험에 사용된 7개 시료들의 핵자기공명 스펙트럼에 나타난 다양한 화학적 이동영역에

대한 수소의 적분강도를 나타낸 것이며, Table 3은 Table 2에 표시된 각 수소의 적분강도와 식 (1)을 이용하여 계산한 각 영역에 분포되어 있는 수소 원자들의 상대수를 나타낸 것이다.

Table 4는 탄소원자수를 나타낸 것으로 Table 3에 표시된 각 수소의 적분강도와 식 (2)를 토대로 탄소 원자당 수소갯수에 대한 수소타입의 적분강도인 면적비율으로부터 계산하였다.

Fig. 5는 초음파에너지 조사시간에 대한 각 시료들의 방향족 탄소수(CA) 비율을 나타낸 그림으로 방향족 탄소수는 다환 및 단환 방향족 고리에 붙어있는 탄소수를 의미한다.

그림에서 보는바와 같이 전반적으로 초음파 미조사시에 비해 초음파 에너지 조사시간이 길어질수록 방향족 탄소수의 비율이 전체적으로 증가하는 것을 볼 수 있는데 이는 경유에 함유되

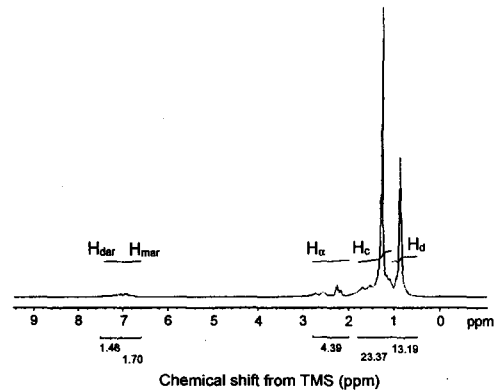


Fig. 4 <sup>1</sup>H-NMR spectrum of samples(90 sec.)

Table 2 <sup>1</sup>H-NMR integral intensities of different samples in different chemical shift regions

Sample	Proton type				
	H <sub>dar</sub>	H <sub>mar</sub>	H <sub>a</sub>	H <sub>c</sub>	H <sub>d</sub>
0 sec.	1.89	2.45	6.13	32.03	18.14
30 sec.	1.86	2.40	6.01	31.54	17.69
60 sec.	1.70	2.05	5.19	27.62	15.45
90 sec.	1.46	1.70	4.39	23.37	13.19
120 sec.	1.50	1.76	4.52	24.08	13.59
150 sec.	1.10	1.08	2.94	16.05	9.00
180 sec.	1.30	1.32	3.13	18.67	10.41

※ sec.: Ultrasonic irradiating time(second)

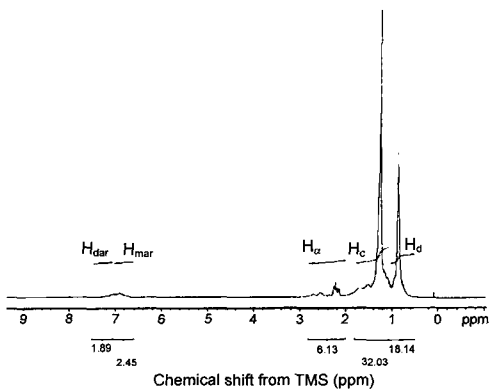


Fig. 3 <sup>1</sup>H-NMR spectrum of samples(0 sec.)

Table 3 Relative number of hydrogen atoms of each chemical shift region

Sample	Proton type					Sum
	H <sub>dar</sub>	H <sub>mar</sub>	H <sub>a</sub>	H <sub>c</sub>	H <sub>d</sub>	
0 sec.	3.12	4.04	10.11	52.82	29.91	100
30 sec.	3.13	4.03	10.10	53.01	29.73	100
60 sec.	3.27	3.94	9.98	53.11	29.71	100
90 sec.	3.31	3.85	9.95	52.98	29.90	100
120 sec.	3.30	3.87	9.94	52.98	29.90	100
150 sec.	3.65	3.58	9.74	53.20	29.83	100
180 sec.	3.73	3.79	8.99	53.60	29.89	100

Table 4 The sum of the relative number of carbon atoms in each regions

Sample	Carbon atom number				Sum
	C <sub>A</sub>	C <sub>a</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	
0 sec.	23.54	7.65	49.95	18.36	100
30 sec.	23.53	7.64	50.10	18.73	100
60 sec.	23.62	7.54	50.14	18.70	100
90 sec.	23.57	7.52	50.07	18.84	100
120 sec.	23.57	7.52	50.07	18.84	100
150 sec.	23.73	7.35	50.17	18.75	100
180 sec.	23.81	6.79	50.60	18.81	100

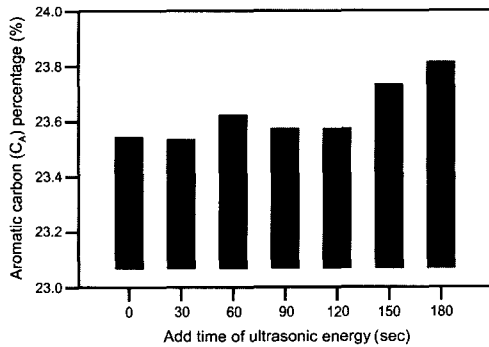


Fig. 5 Aromatic carbon (CA) percentage of samples

어 있는 복잡한 구조인 고리모양의 나프텐계가 초음파에너지 조사에 의해 발생한 공동현상에 의해 탈수소가 이루어지면서 방향족계로 바뀌어진 것으로 사료된다.

Fig. 6은 초음파에너지 조사시간에 대한 각 시료들의 방향족(C<sub>A</sub>+C<sub>a</sub>+H<sub>dar</sub>+H<sub>mar</sub>+H<sub>a</sub>) 비율을 나타낸 그림으로, 방향족은 다환 및 단환 방향족 고리의 탄소와 수소 및 방향족 고리의 알파위치에 붙

어있는 탄소와 수소 모두를 합친 것을 의미한다.

그림에서 보면 알 수 있듯이 초음파 에너지 조사시간이 길어질수록 방향족의 비율이 점차 감소하는 것을 볼 수 있는데, 이는 Table 3과 Table 4에서 나타난 바와 같이 초음파에너지 조사에 의해 발생한 공동현상에 의해 고분자인 방향족성분(C<sub>A</sub>+C<sub>a</sub>+H<sub>dar</sub>+H<sub>mar</sub>+H<sub>a</sub>)이 저분자인 지방족성분(C<sub>2</sub>+C<sub>3</sub>+H<sub>c</sub>+H<sub>d</sub>)으로 개질된 것으로 판단할 수 있으며 이는 다른 연구자의 연구결과와 잘 일치하고 있다.<sup>8)</sup>

Fig. 7은 초음파에너지 조사시간에 대한 시료의 BI 변화를 나타낸 것으로 초음파에너지 조사시간이 증가함에 따라 시료의 BI는 전반적으로 감소하는 것을 볼 수 있는데 시판 경유보다 초음파에너지 조사시간 180초일때의 시료가 최대 1.86%, 30초일때가 최소 0.79%의 감소율을 보였다.

일반적으로 화석연료에 대한 1H-NMR 스펙트

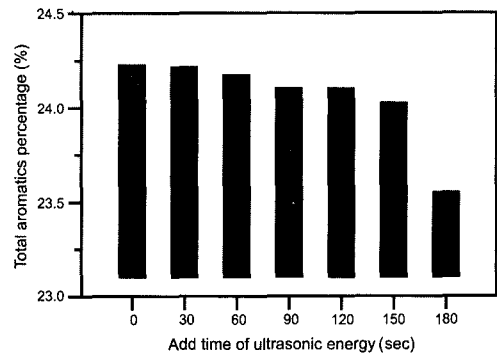


Fig. 6 Total aromatics percentages of samples

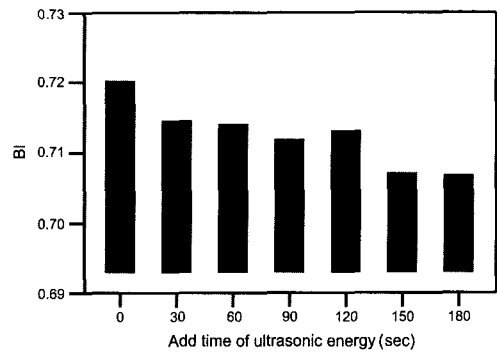


Fig. 7 BI from <sup>1</sup>H-NMR spectrum of samples

림에서 방향족, 나프텐족 및 파라핀족 탄화수소 계열에 속하는 분자들의 시그널이 존재하는데 화학적 이동영역에서 이들 분자들은 상당히 중복되고 밀집되어 있다. 특히 0.5~2.0ppm의 좁은 화학적 이동영역에 있는 파라핀 및 나프텐 포화 성분의 경우 확산계수의 차이가 작아 시그널이 심하게 겹쳐지기 때문에 파라핀과 나프텐을 구별하는 것은 불가능<sup>9)</sup>하지만 BI가 전반적으로 감소한 것으로 보아 초음파에너지에 의한 공동현상으로 인해 파라핀계의 주사슬결합에서 양쪽 말단기인 메틸기뿐만 아니라 곁가지에 붙어있는 메틸기(CH<sub>3</sub>)가 떨어져 나가는 과정에서 메틸기 수에 비해 메틸렌기 수의 증가비율이 보다 많아지는 등 이소파라핀계 성분이 감소되었기 때문으로 사료된다.<sup>8)</sup>

또한 Fig. 6과 Fig. 7에서 보는 바와 같이 초음파 조사시간 변화에 따라 90초까지는 점차 감소하다가 120초에서 증가한 다음 다시 감소하는 경향을 보이고 있다.

이것은 연료를 형성하는 탄화수소계 화합물에서 방향족성분 및 지방족성분을 구성하고 있는 탄소-탄소 결합, 탄소-수소 결합이 초음파에너지 부가에 의한 공동현상으로 결합에너지(탄소-탄소의 경우 : 삼중결합>이중결합>단일결합, 탄소-수소의 경우 : H<sub>d</sub>>H<sub>c</sub>>H<sub>a</sub>>H<sub>ar</sub>)<sup>10,11)</sup>가 서로 다르기 때문에 가장 약한 결합의 분열이 먼저 일어나고 강한 결합의 분열이 나중에 일어날뿐만 아니라<sup>12)</sup> 분열된 탄화수소 화합물의 일부가 초음파에너지 조사에 의한 공동현상에 의해 연료내부에서 국부적인 화학적 환경이 변하면서 재결합이 일어나는 등 연료의 화학적 분자구조 중 일부 탄소-탄소 또는 탄소-수소의 분열과 재결합이 반복되었기 때문으로 사료된다.<sup>8,13)</sup>

### 3.2 연료의 발열량 분석

Fig. 8은 초음파에너지 조사시간 변화에 대한 7개 시료의 고위발열량 변화를 나타낸 것으로 본 실험의 모든 영역에서 초음파에너지 조사시간

이 증가함에 따라 시료의 고위발열량은 전반적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. Fig. 9는 시판 경유를 기준으로 고위발열량의 증가율을 나타낸 것으로 시판 경유보다 초음파에너지 조사시간 180초일때의 시료가 최대 11.66%, 30초일때 최소 2.89%의 증가율을 보였다.

그 이유는 전술한 바와 같이 초음파에너지를 조사하므로써 공동현상이 일어나 고분자인 방향족성분이 저분자인 지방족성분으로 개질되므로 인해 발열량이 증가한 것으로 사료된다.<sup>2)</sup>

또한 Fig. 8과 Fig. 9에서 초음파에너지 조사시간 변화에 따라 고위발열량이 90초까지 점차 증가하다가 120초에서 감소한 다음 다시 증가하는 주기적인 경향을 보이고 있다.

이것 또한 연료의 화학구조 분석에서도 설명했듯이 각 작용기마다 결합에너지가 서로 다르기 때문에 낮은 결합력을 가진 것이 먼저 분해되

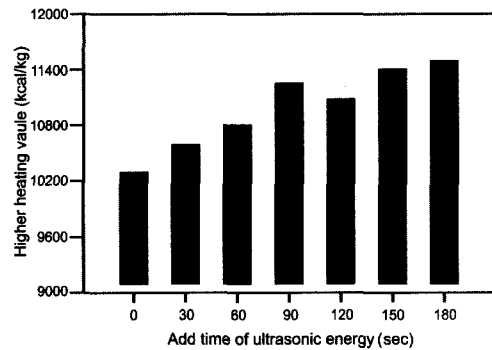


Fig. 8 Higher heating value of samples

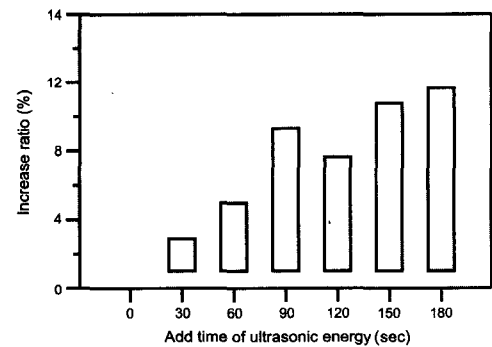


Fig. 9 Increase ratio of higher heating value of samples

어지고 높은 결합력을 가진 것이 나중에 분해될 뿐만 아니라 분해된 탄화수소 화합물의 일부가 초음파 공동현상에 의해 재결합이 일어났기 때문으로 생각된다.

### 3.3 연료의 발열량과 화학구조와의 상관관계

Fig. 10은 초음파에너지 조사시간에 대한 시료의 발열량과 방향족 탄소수 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 발열량과 방향족 탄소수의 비율을 비교해 보면 수치의 차이를 보이고는 있으나 초음파에너지 조사에 따라 거의 유사한 경향을 보이고 있다. 이것으로 볼 때 연료에 포함되어 있는 방향족 탄소수의 양이 발열량을 증대시키는데 중요한 역할을 한다고 볼 수 있으며, 방향족 탄소수와 발열량과의 사이에는 어느정도 비례관계가 성립한다고 할 수 있다.<sup>3)</sup>

Fig. 11은 초음파에너지 조사시간에 대한 시료의 발열량과 방향족 비율 및 BI 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 초음파 조사시간에 따라 방향족 비율 및 BI는 거의 유사한 경향을 보이고 있는 반면, 발열량과는 상반되는 경향을 보이고 있다. 이것은 디젤연료들을 상대 비교하는데 있어서 이들 연료에 포함되어 있는 방향족 비율 및 BI 수치의 저감이 발열량을 증가시키는데 어느정도 기여를 한다고 볼 수 있으며 방향족

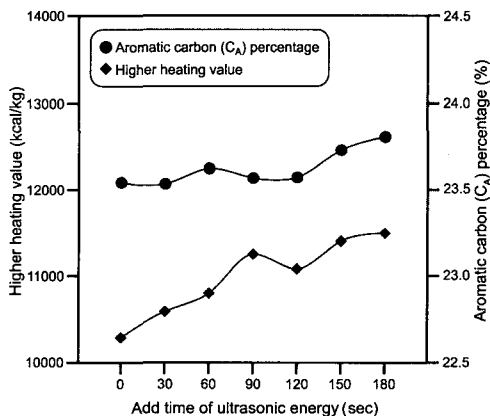


Fig. 10 Relation between higher heating value and aromatic carbon (C<sub>A</sub>) percentage of samples

비율 및 BI수치들을 통하여 발열량의 증감여부를 예측하는 것이 가능하다고 할 수 있다.<sup>2)</sup>

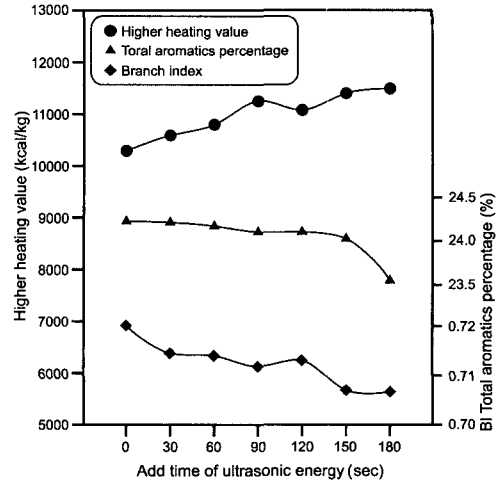


Fig. 11 Relation among higher heating value, total aromatics percentage, and BI of samples

### 4. 결론

본 연구에서는 디젤연료에 초음파에너지를 조사했을 때 연료특성인 화학구조와 연소특성인 발열량의 변화 및 상관관계를 확인하기 위하여 시판 경유와 시판 경유에 초음파에너지를 조사한 경우에 대하여 <sup>1</sup>H-NMR 스펙트럼에 의한 화학구조 분석 및 열량계에 의한 발열량 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) <sup>1</sup>H-NMR 스펙트럼 분석 결과 시판 경유보다 초음파에너지를 조사한 연료의 방향족 탄소수 비율은 초음파에너지 조사시간 증가에 따라 점차 증가하는 경향을 보였다.

2) 시판 경유보다 초음파에너지를 부가한 연료의 방향족 비율은 부가시간 증가에 따라 전체적으로 감소하는 경향을 보였다.

3) 메틸기와 메틸렌기의 비인 BI의 경우 시판 경유보다 초음파에너지를 조사한 연료가 전체적으로 감소하였다.

4) 정적열량계에 의한 분석 결과 시판경유보다 초음파 에너지를 조사한 연료의 고위발열량이 최대 11.66%, 최소 2.89% 증가하였다.

5) 초음파조사 및 미조사 연료 모두, 발열량은 방향족 탄소수 비율과 비례하는 경향을 보인 반면, 방향족 비율 및 BI와는 상반되는 경향을 보였다.

### 참 고 문 헌

- 1) A. Demirbaş, "Calculation of Higher Heating Values of Biomass Fuels," *Fuel*, Vol.76, No.5, pp.431-434, 1997.
- 2) 최주환, 대기환경과 자동차연료, 마루, pp. 302-304, 2001.
- 3) 김재휘, 자동차기관II(디젤기관), 중원사, p.393, 1996.
- 4) R. T. Morrison, R. N. Boyd, "Organic Chemistry," 5th edn, Allyn and Bacon Inc., Singapore, pp.442-445, 1987.
- 5) Ö. L. Gülder, B. Glavincevski, "Prediction of Cetane Number of Diesel Fuels from Carbon Type Structural Composition Determined by Proton NMR Spectroscopy," *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.*, Vol.25, No.2, pp.153-156, 1986.
- 6) J. Mühl, V. Srića, B. Mimica, M. Tomašković, "Characterization of Middle Petroleum Fractions by Nuclear Magnetic Resonance Spectrometry," *Anal. Chem.*, 54, pp.1871-1874, 1982.
- 7) M. E. Myers, Jr., J. Stollsteimer, A. M. Wims, "Determination of Gasoline Octane Numbers from Chemical Composition," *Anal. Chem.*, Vol.47, No.13, pp.2301-2304, 1975.
- 8) 최두석, "超音波 에너지 附加 디젤油의 噴霧特性과 機關性能特性에 關한 研究," 충남대학교 박사학위논문, 1996.
- 9) G. S. Kapur, M. Findeisen, S. Berger, "Analysis of Hydrocarbon Mixtures by Diffusion-ordered NMR Spectroscopy," *Fuel*, Vol.79, pp.1347-1351, 2000.
- 10) K. K. Kuo, *Principles of Combustion*, John Wiley & Sons, pp.42-45, 1986.
- 11) 김경태 외 7명, 유기화학원론, 자유아카데미, pp.110-116, 1998.
- 12) 大内日出夫, 大正明彦, 青山兵五郎, "ディーゼル燃料の平均分子構造の解析", *内燃機關* 21卷 15號, pp.9-21, 1982.
- 13) 윤면근, 류정인, "초음파연료공급장치를 이용한 EFI기관의 성능에 관한 연구 (I)", 한국자동차공학회논문집, 제5권 제2호, pp.42-49, 1997.