

국내 자동차용 경유의 성상과 세탄가

강익중^{*†} · 정충섭

*경원대학교 화학공학과

한국석유품질검사소 연구실

(1999년 10월 28일 접수, 2000년 3월 20일 채택)

Correlation Between Domestic Diesel Fuel Properties and Cetane Number

Ik Joong Kang^{*†} and Choong Seop Jeong

^{*}Department of Chemical Engineering, Kyungwon University, Sunnam 461-701, Korea

R & D Lab., Korea Petroleum Quality Inspection Institute, Sunnam 463-420, Korea

(Received 28 October 1999; accepted 20 March 2000)

요 약

연료의 성상이 엔진의 착화성에 어떠한 영향을 끼치는가를 규명하고자, 국내에서 생산되고 있는 디젤엔진의 연료인 자동차용 경유에 대하여 물리적인 특성과 화학적인 조성을 시험·분석하고 CFR(Cooperative Fuel Research Committee)엔진을 이용하여 착화성을 나타내는 세탄가를 측정하였다. 시험결과, 세탄가는 비중, 증류성상 등의 물리적인 특성과 Saturates, Aromatics 등의 화학적 조성의 함량비와 상당한 관련성이 있음을 알 수 있었다. 따라서, 이러한 세탄가 관련 요인들을 연료의 제조공정에서 고려하면 디젤엔진에 적합한 착화성을 갖는 연료를 보다 효율적으로 생산할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract – To examine the effects of fuel properties on auto-ignition in diesel engine, we have studied the physical properties and the chemical composition of domestic automotive diesel fuel and have measured its cetane number using CFR(Cooperative Fuel Research Committee) engine. It is found that the cetane number is related to the physical properties such as specific gravity and boiling range distribution, and to the saturates and aromatic contents of diesel fuel. Therefore, it is suggested that in the refining processes the factors affecting the cetane number stated above should be taken into account to improve the auto-ignition property of automotive diesel fuel.

Key words: Ignition Delay, Cetane Number, Specific Gravity, Distillation, Saturates, Aromatics

1. 서 론

1-1. 연구 배경

경유는 원유를 증류할 시 가솔린, 등유 다음으로 유출되는 비점 190-350 °C, 비중 0.810-0.850 정도의 탄화수소 혼합물로서 요업·철강용의 연료 또는 난방 및 전력용 보조연료 등으로 사용되기도 하나, 주로 자동차, 건설기계 등의 디젤엔진의 연료로 사용된다. 디젤엔진의 연소는 실린더 내에서 고온의 압축공기에 의해 자연 발화되는 방식인데, 이러한 연료의 발화는 연료의 기화, 압축공기와 혼합, 화학분해, 산화반응, 연소의 개시·확산 등의 다양한 물리적, 화학적인 과정을 거쳐 진행된다.

연료가 실린더 내에 분사될 때 발화 시까지 시간이 걸리게 되는데 이를 착화지연이라고 하며, 착화지연된 다량의 연료가 실린더 내에 축적되어 발화될 경우에는 일시에 연소되어 디젤노크라고 하는 이상폭발을 일으켜, 엔진에 충격을 줌과 동시에 연료효율을 떨어뜨린다. 이러한

연료의 착화성은 특히 고속 디젤엔진의 경우 연료의 효율성 측면에서 더욱 중요한 문제로 대두되고 있으며, 최근의 연구에서는 배기가스 중의 미연소 탄화수소와 NO_x의 배출량에도 상당한 영향을 끼치는 것으로 보고되고 있다[1-3].

디젤엔진에서의 연료의 착화성을 흔히 세탄가(Cetane Number)로 나타내는데, 고속 디젤엔진의 발달에 따라 더욱 높은 세탄가가 요구되고 있다. 유럽에서는 세탄가 45이상의 기존의 경유 규격에서 51이상으로 개정되고 있으며, 미국, 일본, 유럽의 자동차공업협회의 자동차연료 통일품질기준안(카테고리 3)에서는 세탄가 55 이상을 요구하고 있어, 현재 세탄가 50 이하의 제품이 상당 비율로 생산되고 있는 국내 상황에서는 이에 대한 새로운 대책이 요구되고 있다. 또한, 대기환경보호 측면에서 화석연료에 대한 규제는 더욱 강화되고 있는데, 디젤기관 연료인 경유에 대해서도 비중, 증류성상 등의 물성과 다환방향족 화합물과 같은 성분에 대해서 새로운 규제강화가 진행되고 있어[2, 4, 5], 이러한 물성과 성분의 규격변화에 따른 동력학적 성능을 나타내는 세탄가의 변화도 규명할 시점이라고 할 수 있다.

[†]E-mail: ij kang@kyungwon.ac.kr

따라서, 본 연구에서는 국내에서 생산되고 있는 디젤엔진의 연료인 자동차용 경유에 대하여 물리적인 특성과 화학적인 조성을 시험·분석하고 CFR엔진을 이용하여 착화성을 나타내는 세탄가를 측정하여, 연료의 성상이 엔진의 착화성에 어떠한 영향을 끼치는가를 규명함과 동시에 이를 바탕으로 석유정제사의 경제성이 있는 고품질의 제품을 생산하는데 일조를 기하고자 한다.

1-2. 연료의 착화성과 세탄가

1-2-1. 착화성

전기점화기관에서는 점화플러그로부터 불꽃을 튀기면, 혼합가스의 연소는 폭발적으로 일어나나, 압축착화기관인 디젤기관에서는 연료의 분사가 시작되어도 곧바로 발화되지 않고 얼마간의 시간후에 자연발화하게 된다. 이 연료분사가 개시되어서부터 착화되기까지의 시간을 착화 지연(ignition delay)이라고 한다.

Fig. 1에서 ABCG는 연료를 분사하지 않고, 따라서 연소가 일어나지 않을 때의 공기의 압축과 팽창을 나타낸 것이며, B점에서 연료를 분사하면 연소는 BC, CD 및 DE의 3단계로 나누어 이루어진다. EF는 팽창선이다. Fig. 1에서의 BC가 착화지연을 나타내는 곡선이다. B점에서 연료의 분사가 시작되어도 즉시 연소는 일어나지 않는다. 따라서 압력도 압축선 이상으로 상승하지 않으며 C점에 이르러 비로소 자연착화가 일어난다. 이 기간의 크기는 연료의 착화성, 공기의 압축, 압력 및 온도, 연료의 분사 상태 등의 영향을 받는다. CD 곡선은 기본 사이클에서 정적연소에 상당하는 부분이다. BC 간에서 축적되어진 연료가 일시에 발화하므로 폭발적 연소를 일으켜 압력은 급격히 상승한다. 착화지연이 길 때는 연료도 많게 되므로 압력상승도 심하여 극단의 경우에는 기관의 진동이 일어나 금속성의 음을 낸다. 이와 같은 현상을 디젤노킹이라 한다[12]. 따라서 착화지연이 짧은 연료를 사용하여 정적연소의 증대를 피해야 한다. 즉 착화성이 좋은 연료를 사용하여야 한다. 착화성은 성분적으로 보아 정파라핀계 탄화수소가 가장 양호하고 방향족이 가장 열등한 것으로 알려져 있다[2-4, 6, 7].

1-2-2. 세탄가

착화성은 첫째로 연료의 열안정도에 좌우되고, 다음엔 연료의 산화능력에 좌우되며 보통 세탄가로 표시된다. 일반적으로 직류경유는 보통 세탄가가 50-60으로서 고속 디젤엔진용으로 사용하여도 문제가 없으나 중질유를 분해해서 얻은 분해경유는 세탄가가 20-40이어서 이것을 직류경유에 섞으면 세탄가의 저하를 초래한다. 세탄가가 너무 낮으면 과다한 마모, 흑연 퇴적물의 문제가 일어나고, 또 한냉시 시동성도 나빠

진다. 세탄가는 CFR엔진으로 규정조건하에서 착화성이 좋은 세탄가 100인 n-세탄($C_{16}H_{34}$)과 착화성이 낮은 세탄가 15인 헵타메틸노난($C_{17}H_{36}$)의 혼합액을 표준연료로서 사용하여 운전, 시료와 동일한 착화성을 갖고 있는 표준연료 중의 n-세탄의 용적비로부터 다음식에 의해 규정되고 있다[8].

$$\text{세탄가} = n\text{-세탄 \%} + 0.15 \times (\text{헵타메틸노난 \%}) \quad (1)$$

현재의 세탄가 측정방법은 1936년 CFR 디젤연료연구회에서 제안한 것이다. CFR 연료시험기의 실린더 및 실린더 헤드를 개조하여 제작한 가변압축비의 단기통 디젤엔진을 사용하여 측정하는데, 발화지연대비법(Ignition Delay Matching Method), 고정 발화지연법(Fixed Ignition Delay Method), 임계압축비법(Critical Compression Ratio Method)이 있다. 세탄가 측정방법 중 발화지연법과 임계압축비법은 각각 측정조건이 다

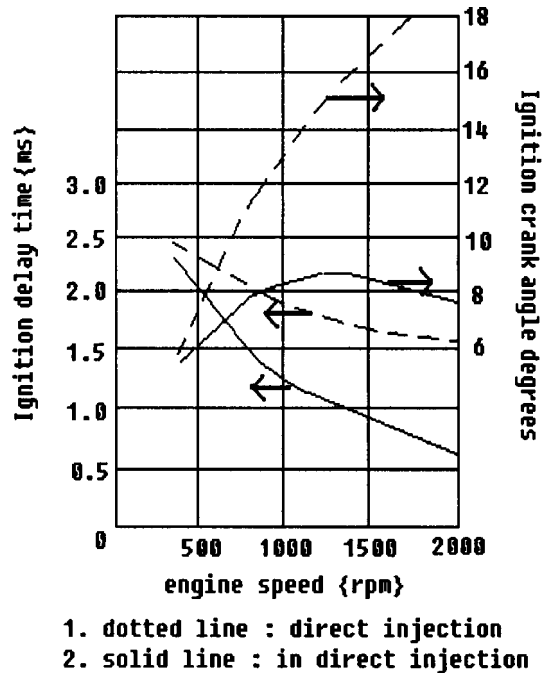


Fig. 2. Effects of engine speed on the ignition delay.

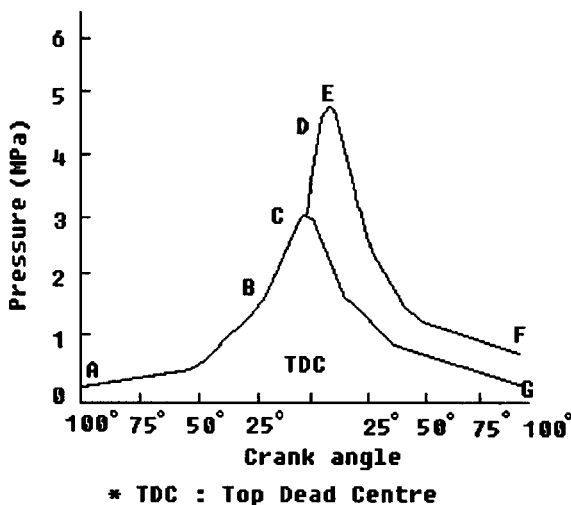


Fig. 1. Combustion procedure in diesel engine.

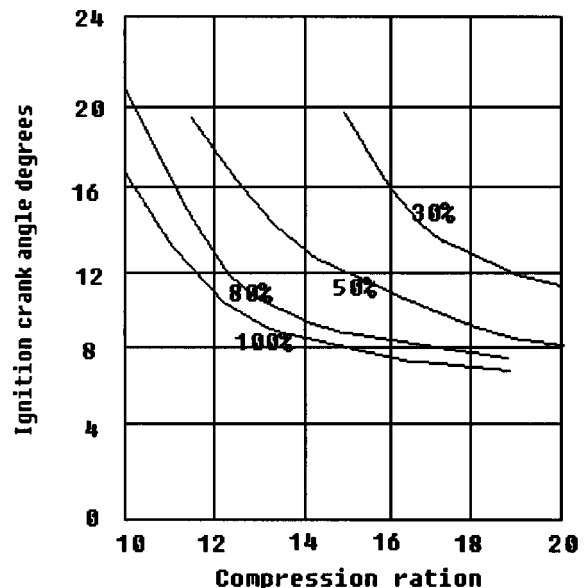


Fig. 3. Effect of cetane in diesel engine.

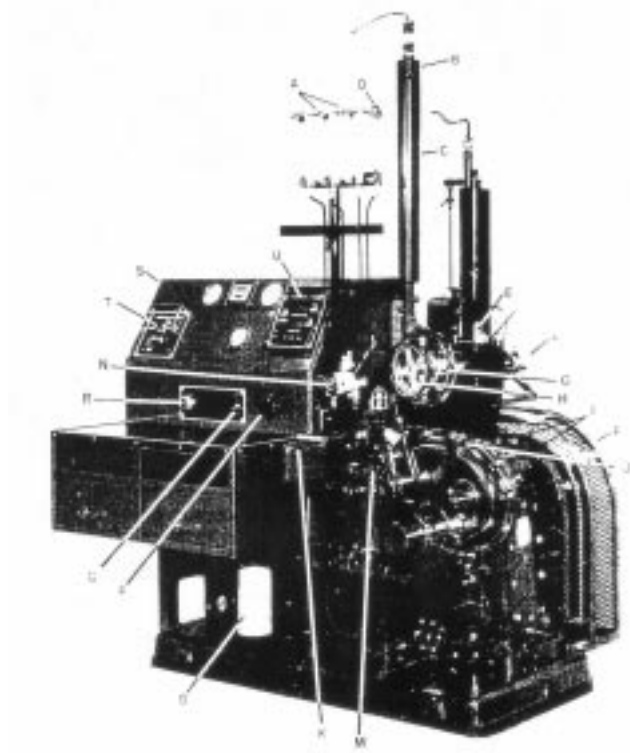


Fig. 4. Cetane method test engine assembly.

A-Fuel tanks	K-Injection pump safety shut-oil solenoid
B-Air heater housing	L-Injector assembly
C-Air intake silencer	M-Fuel injection pump
D-Fuel flow rate buret	N-Fuel selector valve
E-Combustion pickup	O-Oil filter
F-Safety guard	P-Crankcase oil heater control
G-Variable compression plug handwheel	Q-Air heater switch
H-VCP, locking handwheel	R-Engine start-stop switch
I-Flywheel pickups	S-Instrument panel
J-Oil filler cap	T-Intake air temperature controller
	U-Dual digital cetane meter

르기 때문에 동일한 시료에 대해서도 다른 결과가 주어진다. 일반적으로 임계압축비법의 세탄가는 발화지연법에 비하여 5-10 정도의 높은 값을 나타내며 주로 연료의 시동성을 표시한다. 본 실험에서는 고정 발화지연법을 사용하였는데 발화지연법의 세탄가는 노크임계를 나타낸 것이고 이 상태에서 압축비를 내리거나 회전수를 높이면 노크가 일어남을 표시한 것이다. 회전수와 압축비가 발화지연에 미치는 영향을 Fig. 2와 3에 나타내었으며, 일반적으로 압력(P), 온도(T)가 발화지연에 미치는 영향은 다음 식으로 표시한다[9].

$$\tau = (C_1 \cdot e^{C_2/T_s})/P^n \quad (2)$$

여기서 τ 는 발화지연시간(s), C_1 , C_2 , n 은 실험에서 정해지는 상수이다. 높은 세탄가를 가지는 디젤 연료유는 디젤 엔진의 실린더에 주입될 때로부터 발화까지의 지연시간이 짧으며, 낮은 세탄가를 가진 연료유보다 더 낮은 온도의 압축공기로 발화한다.

2. 실험장치

2-1. 세탄가

세탄가 측정장치는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 동력장치, 부속장치 및 측정 계기류를 갖추고 압축비를 변화시킬 수 있는 단기통 엔진으로 되어 있으며, 진동방지를 위한 고정대 위에 설치한다. 장치 및 엔진의 제원에 대해서는 Table 1에 나타내었다.

2-2. 비중 및 증류성상

증류성상과 비중 측정 기기는 KS M2031-95 석유제품 증류 시험 방법과 KS M2002-96 원유 및 석유제품 밀도 시험 방법에 규정된 장비를 이용하였다.

2-3. 성분분석

경유 중의 정파라핀 함량 분석은 FID(Flame Ionization Detector)가 장착된 HP6880 GC를 사용하였으며, 검출되어진 신호들의 분석과 면적 적분계산을 위하여 적분기를 이용하였다. Column은 일반적으로 탄화수소 분석에 사용되는 Cross-linked Methyl Silicone Film WCOT 0.5

Table 1. Engine characteristic and information

Item	Description
Crankcase	Model CFR-48(preferred). High or low speed models(optional)
Cylinder type	Single bore cast iron with integral coolant jacket
Cylinder head type	Cast iron with turbulence precombustion chamber, variably compression plug passage, integral coolant passage, and in-head valve assembly
Compression ratio	Adjustable 8:1 to 36:1 by external handwheel assemble
Cylinder bore(diameter), in.	3.250(Stander), Reboring to 0.010, 0.020, 0.030 over is acceptable
Stroke, in.	4.50
Displacement, cu in	37.33
Valve mechanism	in-head with enclosure
Intake and exhaust valves	Stellite faced, plain type without shroud
Piston	Cast iron, flat top
Piston rings:	5 ea
Compression type	4, Ferrous, straight sided(top may be chrome plated-optional)
Oil control	1, Cast iron, one piece, slotted(Type 85)
Camshaft over lap, deg	5
Fuel system	Injection pump with variable timing device and injector
Injector	Holder with by-pass pressure release valve
Spray nozzle	Closed, differential-needle, hydraulically-operated, pintle type
Weight of engine	Approximately 400 kg(880 lb.)
Weight of complete test unit	Approximately 1,250 kg(2,750 lb.)

microns, 0.2 mm ID, 50 m의 capillary column이었다.

한편, 포화분, 올레핀, 방향족분의 탄화수소 그룹별 분석은 KS M2085-95 석유제품 탄화수소 성분 시험 방법에 규정된 II형 흡착관, 가압장치 및 적외선 광원을 이용하였으며, 형광염료실리카겔은 독일 Merck사에서 제조한 시약을 사용하였다.

3. 실험방법

실험에 사용된 시료는 국내에서 생산된 세탄가 향상제가 첨가되지 않은 자동차용 경유 완제품 중 세탄가를 47과 58사이에서 분포도가 고르도록 혼합 동시에 5개 정유사 제품을 각각 5종씩 선정하여 총 25건을 대상으로 하였으며, 기타 비중이 0.800이하인 등유 시료 5건에 대하여 별도로 세탄가를 측정하였으며, 방향족 중의 이환 이상의 다환 방향족과 세탄가와와의 연관성을 규명하기 위하여 10개 제품을 선정하여 HPLC 분석을 실시하고 세탄가를 측정하였다. 실시한 시험 중 세탄가는 Table 2의 작동조건에서 시료와 정표준연료의 각각이 연료분사시기와 연소개시 시간과의 사이의 시간이 크랭크 각도로 13도가 되도록 압

축비를 변화시키고 그 압축비를 비교하여 세탄가를 결정하였다.

증류성상과 비중은 각각 KS M2031 석유제품 증류시험 방법 및 KS M2002 원유 및 석유제품 밀도시험방법에 의하였다. 또한 성분분석 중 정과라핀($n\text{-C}_{13}\text{P}\sim n\text{-C}_{18}\text{P}$) 함량은 Table 3의 GC 분석조건에 의하여 내부표준물질방법으로 분석하였으며, 별도로 방향족 중의 일환, 이환, 다환 방향족 함량 분석은 HPLC를 이용한 Table 4의 분석조건에 의하였고, 그룹별(saturate, olefin, aromatic) 함량은 형광지시약 흡착법에 의하여 분석하였다.

Table 3. Analytical condition of gas chromatography

Column	Cross-linked methyl silicone 50 m × 0.2 mm, 0.5 µm thickness fused silica
Detector	FID, 320 °C
Oven temperature	50 °C(10 min)-(3.0 °C/min)→140 °C(10 min)- (3 °C/min)→230 °C(30 min)
Inlet temperature	300 °C
Carrier gas	He, Split Ratio About 400:1, 30 ml/min
FID combustion gas	H ₂ (55 ml/min), Air(550 ml/min)

Table 2. Test condition of cetane number

Item	Operating condition
Engine speed	900±9 rpm
Injection timing	13.0 deg before-top-dead-center(BTDC)
Injection flow rate	13.0±0.2 ml/min
Crankcase lubricant	SAE30, SF/CD or SC/CE
Oil temp. and pressure	57±8.5 °C, 0.17-0.20 MPa
Coolant temp.	100±1.5 °C
Inlet air temp.	66±0.5 °C
Compression pressure	3.2±0.14 MPa

Table 4. Analytical condition of HPLC

Column	NH ₂ column(Phenomenex Co.) 3 micron, 250 × 4.60 × 2 mm
Column temperature	40 °C
Detector	RI detector
Mobile phase	Hexane(HPLC grade)
Flow rate	1.0 ml/min
Injection volume	10 µl
Run time	18 min

Table 5. Test results of diesel fuel oil

Sample\Item	Cetane number	Specific gravity	Distillation(°C)			Composition(Vol%)			
			10% Recovery	50% Recovery	90% Recovery	n-Paraffin	Saturate	Oleffin	Aromatic
A	57.9	0.8211	187.4	277.1	336.4	6.03	76.2	1.4	22.4
B	55.1	0.8232	195.8	278.8	349.7	10.56	78.2	0.6	21.2
C	53.8	0.8243	193.0	279.6	333.0	9.47	76.7	1.2	22.1
D	53.7	0.8195	191.5	281.8	335.2	7.96	79.4	1.1	19.5
E	53.7	0.8262	197.8	278.6	345.8	15.64	78.2	0.5	21.5
F	53.4	0.8215	221.0	278.3	339.1	13.31	74.1	0.9	25.0
G	53.0	0.8209	178.2	265.0	340.4	7.68	78.5	0.7	20.8
H	52.6	0.8233	181.0	255.7	337.7	10.19	75.6	1.2	23.0
I	52.1	0.8222	175.1	258.6	336.4	9.69	75.9	0.8	23.3
J	52.1	0.8243	197.5	258.6	336.6	8.83	75.4	0.9	23.7
K	52.1	0.8244	190.7	258.8	333.3	9.66	78.3	1.1	20.6
L	51.5	0.8281	192.5	267.8	337.8	9.76	76.3	1.0	22.7
M	51.4	0.8296	192.0	266.8	354.6	7.45	76.6	0.5	22.9
N	51.4	0.8253	185.6	252.0	336.3	9.09	77.6	1.6	20.8
O	51.2	0.8266	179.8	238.6	333.5	9.46	79.8	0.6	19.6
P	50.7	0.8254	184.1	254.0	336.6	11.07	73.2	1.2	25.6
Q	50.4	0.8498	193.6	260.8	343.9	6.07	71.4	1.1	27.5
R	50.2	0.8478	186.5	259.0	341.6	6.00	73.4	0.9	25.7
S	50.0	0.8353	176.8	253.7	339.3	8.98	73.2	1.8	25.6
T	49.6	0.8368	172.2	246.5	344.2	7.47	75.3	0.6	24.1
U	49.5	0.8318	181.1	245.0	334.5	8.62	73.8	1.3	24.9
V	49.3	0.8337	172.6	241.7	342.2	8.81	74.1	0.7	25.2
W	48.7	0.8430	182.6	246.4	347.7	8.03	73.9	0.8	25.3
X	47.9	0.8442	173.1	248.3	342.1	12.97	72.6	2.0	25.4
Y	47.5	0.8492	171.3	248.5	343.4	6.07	70.7	1.0	28.3

4. 실험결과 및 검토

본 실험에 사용된 시료는 실제 시중에 판매되고 있는 세탄가 향상이 첨가되지 않은 자동차용 경유로서, CFR엔진을 이용한 세탄가 측정 결과를 분석하여 보면 평균 51.5를 보이고 있어, 평균값만을 고려할 시, 고속 및 준고속 디젤엔진의 요구 세탄가(45-60)에 적합한 것으로 판단된다. 그러나, 최저 47.5에서부터 최고 57.9로서 제품별로 상당한 차이를 보이고 있는데, 가솔린 엔진에서 자동차용 휘발유의 착화성을 표시하는 옥탄가의 경우 소수점 이하의 값으로 품질경쟁을 하고 있는 것에 비교하면 엄청난 편차이다.

세탄가를 증가시키면 일반적으로 NO_x , CO 및 HC를 감소시킬 수 있다는 많은 연구 결과보고[1-3, 13]에 따라, 유럽 통합규격에서는 51이상으로 상향 조정하였는데, 이 기준에 따르면 실험에 사용된 제품의 약 40%가 만족하지 못하고 있으며, 미국자동차공업협회(AAMA), 유럽자동차공업협회(ACEA) 및 일본자동차공업협회(JAMA)에서 제안한 세계 연료현장(World-wide Fuel Charter)의 Category3의 세탄가 55이상의 규격에는 불과 2개 제품만 만족하고 있다. 또한, 현재 국내 대기환경보전법의 연료제조기준에서 세탄가 규격을 상향 조정하고자 하는 의견도 있어, 본 실험결과만을 볼 때 정유사에서는 이에 대한 대책이 필요하며, 연료의 효율성 및 배출가스 저감 측면에서, 실제 차량을 이용한 체계적인 연구를 통하여 차종별로 보다 적합한 세탄가의 제정이 필요하다고 할 수 있다.

디젤자동차의 배출가스 중에서 PM(Particle Material) 배출량과 밀접한 관계가 있는 경유의 90%유출온도[1-3, 13]는 현재 국내 규격인 360 °C 이하에는 만족하고 있으나, 세계연료현장의 Category3에서 제안한 320 °C 이하 기준에는 모두 초과하고 있으며, NO_x 및 PM 배출량과 깊은 관계가 있는 비중 또한 국내에서는 아직 규제하지 않고 있으나, 유럽 통합규격의 0.845이하, 세계연료현장 Category3의 0.820-0.840의 기준으

Table 6. Test results of kerosene fraction

Sample no.	Specific gravity	Cetane number
A	0.8001	47.2
B	0.7962	44.8
C	0.7924	45.2
D	0.7942	46.1
E	0.7916	45.3

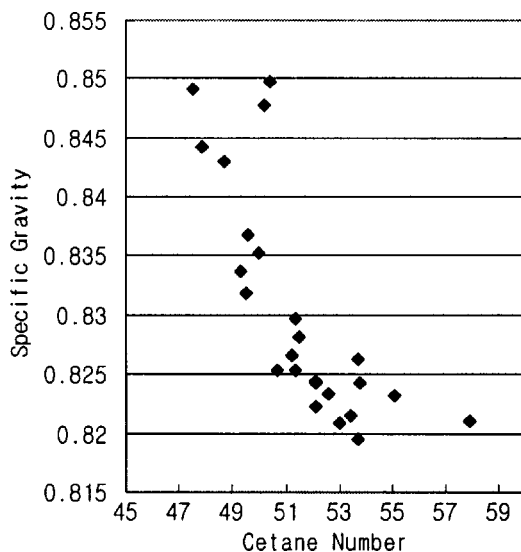


Fig. 5. Correlation between cetane number and specific gravity.

로 볼 때, 대기환경보호 차원에서 중질유분 함량을 보다 저감시키는 방향으로 나아가야겠다.

경유 중의 aromatic 함량은 일반적으로 배출가스 중의 PM과 NO_x 의 증가에 기여하고 있는 것으로 알려져 있으나, 일환 방향족은 거의 영향을 끼치지 않고 3환이상의 다환방향족이 지대한 영향을 끼치는 것으로 밝혀졌다[1-3, 14]. 따라서 유럽 통합규격에서는 다환 방향족 함량만을 11 무게% 이하로 규정하고 있으나, 국내 경유제품을 별도로 HPLC를 이용하여 분석한 결과, 4-2의 Table 7에 나타난 바와 같이 이환 이상의 다환 방향족은 2 무게% 내외로 극히 미량 함유되어 있어 자동차의 배출가스에는 큰 영향을 끼치지 않을 것으로 판단되었다. 한편, 동력학적인 성능을 나타내는 세탄가의 편차는 실험결과에서 나타낸 바와 같이 원유의 특성과 제조공정에 따른 시료 각각의 증류성상, 비중과 같은 물리적인 특성과 포화분, 방향족분 등의 조성이 각기 다름에 기인한다.

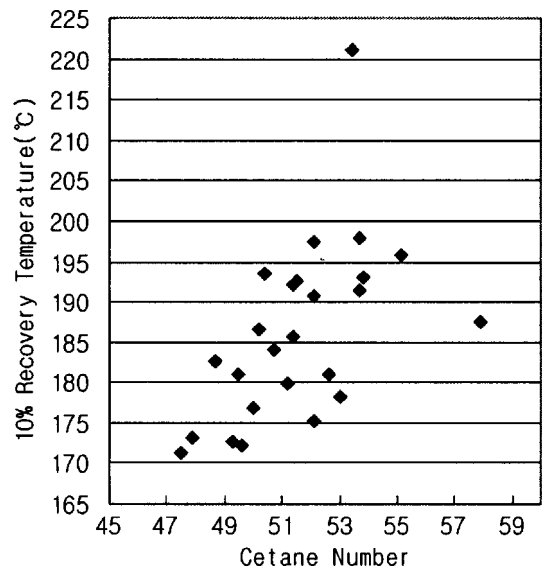


Fig. 6. Correlation between cetane number and 10% recovery temperature.

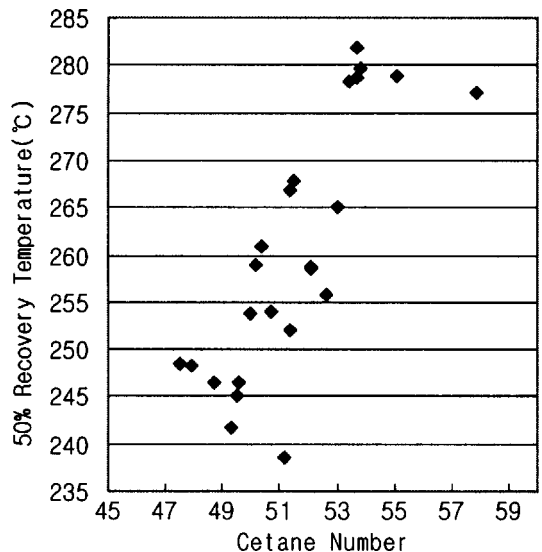


Fig. 7. Correlation between cetane number and 50% recovery temperature.

4-1. 물리적 성질에 따른 세탄가의 변화특성

4-1-1. 비중과 세탄가의 상관성 검토

국내에서 생산되고 있는 경유제품의 비중은 0.82에서 0.85로 상당히 다양하게 분포되어 있는데, 연산품인 석유제품의 특성상 정제과정에서의 실내등유 및 난방유 등의 수급에 영향을 받은 데 기인하는 것으로 판단된다. 비중과 세탄가와의 관계를 Fig. 5에 나타내었는데, 비중이 감소할수록 세탄가는 증가하고 있음을 알 수 있다. 비중은 동일한 분자량에서 탄화수소의 구조와 밀접한 관계가 있는데, 체인이 길고 수소함량이 많을수록 비중이 작아지고 역으로 환구조 등과 같은 C/H의 비가 큰 탄화수소가 많을수록 비중이 커짐을 알 수 있다[5]. 따라서 비중이 감소할수록 세탄가가 증가한다는 것은 경유제품을 구성하고 있는 탄화수소가 체인이 길고 수소원자 결합이 많은 성분들로 구성되어야 착화성이 양호하여짐을 이 실험결과로서 우선 예측할 수 있다. 그러나, Table 7의 비중이 0.80부터 0.79사이인 국내 5개 정유사의 등유 제품의 세탄가 측정 결과에 나타난 바와 같이 지나치게 비중이 작아지면 역으로 세탄가가 떨어지는데 이는 비중이 너무 작으면 점도가 떨어지고 이

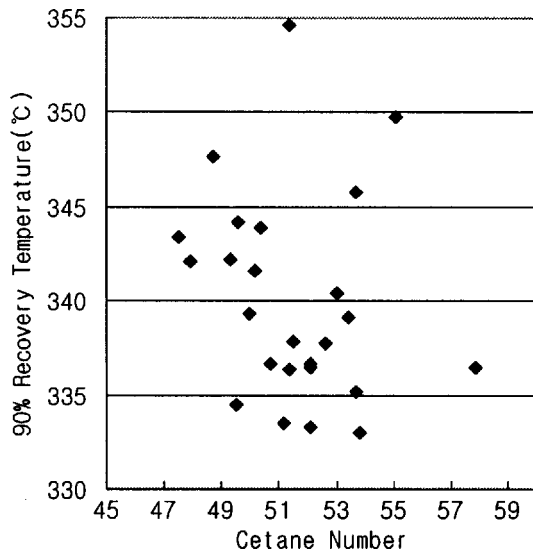


Fig. 8. Correlation between cetane number and 90% recovery temperature.

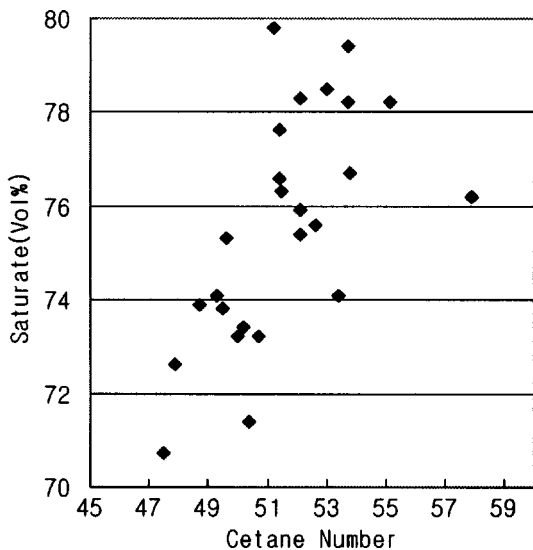


Fig. 9. Correlation between cetane number and saturate.

에 따라서 분사량이 많아져 불완전 연소가 일어나는 데 기인한 것으로 추정된다[3].

4-1-2. 유출온도에 따른 세탄가의 변화특성

Fig. 6-8의 증류성상 시험결과와 세탄가와의 관계를 검토하여 보면 50% 유출온도가 증가할수록 세탄가가 다소 상승함을 알 수 있고, 기타 10%와 90% 유출온도에서는 명확한 관련성은 보이지 않고 있으나 데이터 분포도면에서 10%유출온도는 높을수록, 90%유출온도는 낮을수록 세탄가는 높게 나타나고 있다. 일반적으로 열안정성이 좋아 상대적으로 착화성이 떨어지는 것으로 알려진 방향족은 다른 탄화수소에 비교하여 비점이 높은 것으로 문헌상 밝혀져 있다[7, 10]. 따라서, 90% 유출온도가 낮을수록 세탄가가 높은 분포도를 보이고 있는 점은 이러한 방향족 함량과 관련이 있을 것으로 추정할 수 있다.

4-2. 화학적 조성과 세탄가의 상관관계

Fig. 10에서 나타난 바와 같이 세탄가와 가장 관련이 있는 factor는 방향족 함량이었는데, 방향족 함량이 증가할수록 세탄가는 떨어져 착화성이 악화됨을 알 수 있었으며, 포화분이 상대적으로 증가할수록 세탄가는

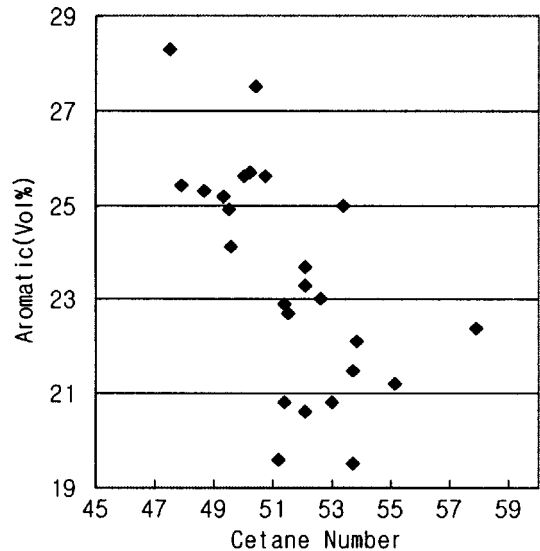


Fig. 10. Correlation between cetane number and aromatic.

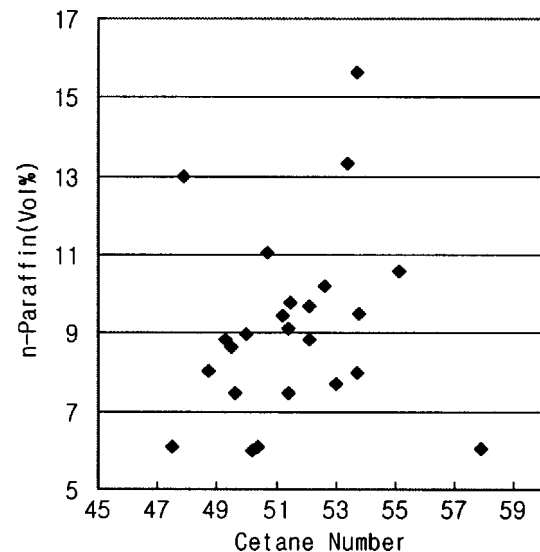


Fig. 11. Correlation between cetane number and n-paraffin.

Table 7. Test results of diesel fuel oil

Sample	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Cetane no.	53.2	52.6	51.6	53.0	49.2	50.4	50.8	51.0	51.2	51.1
mono-aro	16.15	19.54	20.10	18.98	22.59	21.94	21.09	20.95	20.34	20.31
di-aro	2.78	2.24	2.35	1.97	2.41	2.27	2.25	2.14	2.17	2.24
poly-aro	0.03	0.10	0.11	0.06	0.10	0.10	0.10	0.09	0.08	0.10

상승하는 경향을 보이고 있으나, 방향족 함량과 같이 뚜렷하지는 않았다. 이는 포화분내에 n-paraffine, iso-paraffine, naphthene 등이 혼재해 있기 때문인 것으로 추정된다. 방향족 화합물 중에서 특히 대기환경 오염으로 인하여 주요규제대상 물질인 이환 이상의 다환 방향족과 세탄가와와의 관계는 Table 7의 별도의 실험결과에서 보이는 바와 같이 총 방향족 함량과는 달리 직접적인 관련성은 보이지 않고 있는데, 이 또한 다른 탄화수소와 비교하여 함량이 극히 미량이어서 영향을 끼치지 못하고 있는 것으로 판단되었다. 포화 탄화수소는 원유의 주성분을 이루고 있으며, 동일 탄수소에서 다른 기의 탄화수소보다 비중이 작으며 연소성이 우수하기 때문에 착화성을 나타내는 세탄가도 다른 탄화수소에 비교하여 상대적으로 높다[7, 11].

한편, 방향족 탄화수소가 원유의 주성분을 이루는 경우는 거의 없으나 보르네오산이나 대만산의 원유와 같이 방향족기로 된 원유도 있다. 일반적으로 방향족 탄화수소는 다른 탄화수소보다 비중이 크고 열적으로도 매우 안정하기 때문에 착화성이 다른 탄화수소보다 떨어지는 것으로 평가되고 있으며, 본 실험에서의 결과도 동일한 경향을 보이고 있다.

5. 결 론

본 논문은 연료의 성상이 엔진의 착화성에 어떠한 영향을 끼치는가를 규명하고자, 국내에서 생산되고 있는 디젤엔진의 연료인 자동차용 경유에 대하여 물리적인 특성과 화학적인 조성을 시험·분석하고 CFR엔진을 이용하여 착화성을 나타내는 세탄가를 측정하였다. 시험 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 세탄가와 가장 관련이 있는 factor는 방향족 함량이었는데, 방향족 함량이 증가할수록 세탄가는 떨어져 착화성이 악화됨을 알 수 있었으며, 포화분이 상대적으로 증가할수록 세탄가는 약간 상승하는 결과를 보이고 있으나, 방향족 함량과 같이 뚜렷하지는 않았다.

(2) 증류성상 항목에서는 50% 유출온도가 증가할수록 세탄가가 다소 상승함을 알 수 있었으며 기타 10% 유출온도는 높을수록, 90% 유출온도는 낮을수록 세탄가는 증가하는 경향을 보이고 있었다.

(3) 경유 fraction 범위 내에서는 비중이 작을수록 세탄가가 상승하는 경향을 보이고 있으나, 비중이 0.8 이하인 light한 등유 fraction이 혼입되면 오히려 세탄가가 떨어지는데, 이는 연료의 점성에 따른 분사량의 부적합함에 기인한 것으로 추정되었다.

따라서, 착화성이 양호한 디젤연료를 생산하기 위해서는 대기환경 오염물질로 주목되고 있는 방향족 성분을 최소화하고, 비중을 낮춤과 동시에 50% 유출온도를 높이는 방향으로 생산조건을 설정하여야겠다. 본 연구에서 규명한 세탄가 관련 요인들을 연료의 제조공정에서 고려하면 디젤엔진에 적합한 착화성을 갖음과 동시에 대기환경을 개선할 수 있는 연료를 보다 효율적으로 생산할 수 있을 것으로 기대된다.

감 사

본 연구는 경원대학교 학술 연구비의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Ullman, T. L., Mason, R. L. and Montalbo, D. A.: SAE Trans, 99.4, 1092 (1990).
2. Ryan III, T. W. and Erwin, J.: SAE Technical Paper Series 922229, 1(1992).
3. Masahiko, S., Noboru, M., Hideyuki, O. and Tohru, S.: *Mechanical Society of Japan*, **58.550**, 295(1992).
4. Westbrook, S. R.: *ASTM Standardization News*, **April**, 34(1998).
5. Unzelman, G.: *Diesel Fuel News*, **4.23**, 8(1997).
6. Metro, E.: *Fuels and Lubes International*, **September**, 10(1998).
7. Ladommatos, N. and Goacher, J.: *Fuel*, **74.7**, 1083(1995).
8. Hideo, K.: *Petrotech*, **6.5**, 426(1983).
9. Kwan, S. I., Arai, M. and Hiroyasu, H.: *Bulletin of the M.E.S.J.*, **18.1**, 3(1990).
10. Danaher, W. J. and Johnston, P. A.: *Fuel Science Technology Int'l.*, **5.4**, 499(1987).
11. Fodor, G. E.: *Analytical Chemistry*, **68.1**, 23(1996).
12. Yoshida, H. O.: *Theory and Practice on the Combustion of Oil*, Energy Center, 31(1992).
13. Nemoto, S. Z. and Keno, N. K.: *Tribologist*, **44.12**, 931(1999).
14. Ohi, A. H., Matsumura, A. M., Sato, S. Y. and Sato, I. O.: *Sekiyu Gakkai-shi*, **42.5**, 352(1999).