

## 경유연료의 세탄가, 유도세탄가 및 세탄지수의 상관관계 분석

전화연\* · 김지연 · 김 신 · 임의순†

한국석유관리원 석유기술연구소

(2018년 11월 8일 접수: 2018년 12월 12일 수정: 2018년 12월 17일 채택)

### Determination of Correlation between Cetane Number, Derived Cetane Number and Cetane Index for Diesel Fuel

Jeon Hwayeon · Kim Ji Yeon · Kim Shin · Eui Soon Yim†

*Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority  
33, Yangcheong 3-gil, Ochang-eup, Cheongwon-gu, Cheongju-si, Chungbuk, 28115, Korea  
(Received November 8, 2018; Revised December 12, 2018; Accepted December 17, 2018)*

**요 약** : 세탄가는 경유의 품질기준 중 하나로써 디젤엔진에 사용되는 경유 연료의 착화성을 평가하는 항목이다. 세탄가 기준은 현재 자동차용 경유 기준으로 52 이상이며, 일반적으로 세탄가가 높으면 시동성이 좋고 운전이 원활해지나 지나치게 높으면 연소가 불균일해져 매연의 원인이 되고 연료소비량이 증가한다. 현재 국내의 품질시험방법에 규정되어있는 세탄가 측정방법은 CFR엔진을 이용한 세탄가분석, 경유의 밀도와 증류유출온도를 통하여 세탄가를 산출하는 세탄지수, CFR엔진의 단점을 보완하여 고온에서 연료의 연소되는 시간을 통해 세탄가를 측정하는 유도세탄가 등이 있다. 본 연구는 이러한 세탄가를 정유사별, 하·동절기별 시료를 확보하고 이를 분석하여 다양한 인자들에 의한 세탄가 측정방법의 상관관계에 대하여 분석하였다. 이를 통하여 세탄가, 유도세탄가, 세탄지수 순으로 세탄가가 높게 측정 되는 것을 확인하였고, 이를 통하여, 현재 편의성을 이유로 많이 사용되는 세탄지수로 인하여 세탄가 품질미달이 발생할 수 있기 때문에 이에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 보인다.

*주제어* : 세탄가, 유도세탄가, 세탄지수, 연소지연시간, 점화지연시간

**Abstract** : Cetane Number is one of the quality standard for diesel, which assesses the compatibility of ignition quality of diesel compression in diesel engines. Cetane number must be upper 52 to keep the recent diesel quality standards. It is known that if cetane number is high, there will be shorter ignition delay periods than being lower. On the other hands, if cetane number is too high that exceeds the quality standard, there will increase the air pollution and decrease of the fuel efficiency because incomplete combustion. In South Korea, various methods are being used to measure the cetane number such as cetane number that used CFR engine, cetane index from calculate density and

---

†Corresponding author  
(E-mail: esyim@kpetro.or.kr)

distillation temperature and derived cetane number to make up for CFR engine that ignition delay in high temperature is implemented. In this study will be conducted by collecting the diesel from the major oil companies, and try to analyze the correlation between the different methods of cetane number with various factors. At the results of this study, it was shown that the cetane index is high then cetane engine and derived cetane number, therefore it will be necessary to additional research for out of cetane number quality standards.

*Keywords* : *CN(Cetane Number), DCN(Derived Cetane Number), Cetane Index, Combustion Delay, Ignition Delay*

## 1. 서론

경유는 원유를 증류할 때 나오는 석유류 제품 중의 하나로써 우리나라에서 2017년 기준 168 백만배럴이 소비되었다 이는 전체 석유류 제품 중에서 나프타 다음으로 많은 소비량으로써 운송용으로 사용되는 휘발유, 경유, 항공유 등 중에서는 가장 많이 소비가 되었다[1]. 또한 2017년 기준 2211만대의 자동차가 등록되어 있는데 이 중 경유차는 934만대에 육박한다[2]. 경유연료는 차량용 이외에도 철도, 건설기계, 중장비 등에 사용되기 때문에 사회기반시설의 유지 및 생산 활동에 없어서는 안 될 중요한 자원이다. 이처럼 넓은 분야에서 상당한 양이 사용되는 경유에 대한 적절한 품질관리는 국가적으로 매우 중요한 사안이다. 현재 국내에서는 자동차용 경유와 선박용 경유에 대한 품질기준과 이에 따른 품질시험방법이 석유 및 석유대체연료 사업법에 규정되어 있고, 이 중 세탄가 항목은 디젤엔진의 연료의 착화성을 나타내는 중요한 특성이다. 디젤엔진은 엔진 내 실린더에서 고온의 압축공기에 의해 연료가 자연발화가 진행되는 형식의 압축착화엔진이다. 착화성은 경유가 디젤엔진의 연소실에 분사되었을 시 발화되어 소모되는 성질을 나타내는 특성으로써 이러한 시간이 짧을수록 좋은 착화성을 가진다. 적절한 착화성을 유지하면 노킹현상 감소, 시동성 증가, 소음, 진동, 미세먼지(PM), 질소산화물(NOx) 및 분진의 배출이 감소되고 결과적으로 차량의 연비의 증가와 직결된다. 따라서 적절한 세탄가는 경유제품의 품질관리에 있어서 매우 중요한 요소이다[3,4,5]. 적절한 세탄가를 유지하기 위해 세탄가가 높은 파라핀(Paraffin)을 많이 함유시키거나 과산화물(Hydroperoxide)이나 질소산화물(Nitrogen Oxide)과 같은 형태의 세탄가향상제를 소량 첨가하기도

한다[6]. 이러한 경유의 세탄가를 측정하기 위해서는 크게 3가지의 방법이 사용되고 있다.

첫 번째는 CFR(Cooperative Fuel Research) 엔진을 이용하여 경유의 세탄가를 측정하는 방법이다. 단기통엔진으로 구성된 CFR엔진을 가동하여 압축비를 계산하여 이를 통하여 디젤 연료의 착화성을 측정하는 방법이다. 이 방법은 통상적으로 30~65세탄가를 측정하며 전 세계적으로 표준이 되는 방법이다. 그러나 세탄가를 측정하기 위해서는 1 L 이상의 연료가 필요하며 잦은 기계분해, 오버홀 및 클리닝작업이 필요로 하는 등 많은 시간이 소요된다[7].

두 번째는 이러한 CFR엔진의 단점을 보완한 유도세탄가(Derived Cetane Number, DCN)으로써 IQT(Ignition Quality Tester)를 이용하여 연소실 내에 연료 분사됨으로 일어나는 압력변화시간을 측정하는 방법으로 계산된다. 이 방법은 기존의 CFR엔진을 이용한 세탄가 측정보다 짧은 분석시간, 소량의 시료 및 높은 재현성을 보이기 때문에 최근에 많이 사용되는 방법이다[8].

마지막으로는 연료의 밀도와 10%, 50%, 90% 증류유출온도를 측정하고 이를 통하여 세탄지수(Cetane Index, CI)를 계산하는 방법이다. 이는 본래 타르 샌드와 오일 셰일에서 산출되는 비석유계 유도체를 함유하는 몇몇 연료의 성분에서 사용하도록 개발되었으며 세탄가를 보조하는 수단으로써 실제적으로 첨가제의 종류에 따라 다른 시험결과 값들과 상이한 경우가 발생하는 한계성을 띄고 있다[9].

이에 따라 본 연구를 통하여 경유의 품질관리에 있어서 중요한 세탄가의 대표적인 3가지 분석방법인 세탄가엔진측정, 유도세탄가측정, 세탄지수계산을 적절한 시료를 확보하여 측정해서 각각의 세탄가측정방법 사이에 상관관계를 분석하여 신뢰성

있는 세탄가 측정을 위한 자료를 제공하여 명확한 품질기준을 확립하고 올바른 석유유통시장확보에 기여하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1. 실험 시료

본 연구에서 사용된 경유연료는 국내정유사의 제품(A, B, C, D 및 E)의 동절기(12~2월), 하절기(6~8월)에 생산된 생산단계시료 각 1개씩 총 10개를 정유사 공장에서 직접 수령하여 시험을 진행하였다. 이는 각각의 시료가 해당 정유사를 대표하는 제품이라는 의미는 아니며, 다양한 조건의 시료를 확보하여 측정방법에 따른 상관관계를 객관적으로 분석하기 위하여 위와 같이 채택하였다. 또한 현재 세탄가의 여름철 품질기준과 겨울철(11월 15일부터 다음해 2월 28일) 세탄가 품질기준은 각각 52 이상, 48 이상으로 상이하기 때문에 이러한 경향성을 각각의 세탄가측정방법을 통해 나타나는지 확인하기 위함이다.

### 2.2. 실험 표준물질

본래 ASTM D613 의해 세탄가를 측정하는데 필요한 표준물질로는 정표준물질(Primary Reference Fuels)과 부표준물질(Secondary Reference Fuels)이 규정되어 있고 정표준물질은 100의 세탄가를 가지는 n-Cetane과 15의 세탄가를 가지는 Heptamethylnonane로 규정되어 있다. 부표준물질로써는 T-Fuel(고세탄가)와 U-Fuel(저세탄가)가 규정되어 있는데 이를 적절하게 혼합하여 원하는 세탄가의 표준물질을 만들 수 있다. 유도세탄가에서는 점화지연시간(Ignition Delay, ID)를 통하여 세탄가를 계산하기 때문에 ID값이  $3.78 \pm 0.01$ ms가 나오는 n-Heptane를 표준물질로 사용한다. 본 연구에서는 부표준물질인 T-Fuel과 U-Fuel를 사용하였다. 해당 부표준물질은 미국의 American Hydrocarbons사에서 생산되는 제품인 T-29 (HF3007), U-29(HF3008)를 사용하였다. T-29는 74.8의 세탄가를 가지며 U-29는 20.7의 세탄가를 가진다. 또한 유도세탄가를 측정하는데 필요한 n-Heptane은 대정화급(99%, HPLC급)의 제품을 사용하였다. 또한 각각의 세탄가 표준물질과 별개로 본 실험을 위하여 세탄가 40, 50, 60의 연료를 제조하여 세탄가, 유도세탄가, 세탄지수를 구하였다. 이러한 세탄가

표준물질은 ASTM D613에서 적용하나 본 실험에서는 유도세탄가, 세탄지수와와의 상관관계를 해당 표준물질로도 구할 수 있는지 확인해보았다.[7,10].

### 2.3. 실험 장비

측정에 사용된 장비는 미국재료시험협회(ASTM)규격 및 한국산업표준(KS)규격에 적합한 인증장비를 사용하였으며, 반복성과 재현성도 해당 규격에 따라 측정을 진행하였다. 세탄가를 측정하기 위한 첫 번째 방법은 CFR엔진을 사용하는 ASTM D613에 의하였다. 이는 일반적인 세탄가를 측정하는 방법으로써 해당 엔진의 상세 규격은 Table 1.에 나타냈다[7].

본 연구에서는 Waukesha사의 CFR엔진을 사용하였으며 해당 제품을 구성하는 중요 부품으로 단기동엔진, 연료탱크, 연소실 및 가변압축비를 조정할 수 있는 핸드휠이 있는 실린더헤드 등으로 구성되어 있으며 특히 실린더헤드의 핸드휠을 통하여 압축비를 8 : 1에서 36 : 1로 조정할 수 있어 해당 핸드휠값을 통하여 세탄가를 계산, 측정할 수 있도록 되어 있다. 또한 실린더헤드는 실험 후 오버홀이 가능하도록 분해할 수 있게 설계되어 있다. 이 외 CFR크랭크케이스, 연료분사시스템, 배기 서지 탱크 시스템, 세탄가 분석에 필요한 계기 시스템 등이 이에 해당된다[11].

세탄가를 측정하기 위한 두 번째 방법으로는 ASTM D6890 과 ASTM D7668에 의한 유도세탄가에 의하였다. 유도세탄가분석은 기존의 CFR엔진으로 측정하는 세탄가 측정과는 다른 방식으로 구동된다. 본 연구에서는 각각 SETA사의 IQT LM와 PAC사의 CID510을 이용하였다. SETA사의 IQT LM은 ASTM D6890에 방법에 준하는 장비로써 기존 CFR엔진에 비하여 더 작은 연소실을 갖추고 있는 공기압축방식이 적용된다. 이러한 연소실에서 연료를 주입해 ID를 구해 세탄가를 산출한다. 또한 샘플을 운반할 수 있는 질소공급기, 인젝터 및 공기공급장치, 수집 및 계장 회로 및 제어 시스템 등으로 구성 되어 있다. 상세 규격은 Table 2. 에 나타냈다.

PAC사의 CID510은 ASTM D7668에 방법에 준하는 장비로써 2014년 2월에 표준화(ASTM)로 지정되었으며 전자적으로 제어되는 연료분사시스템, 가열연소실, 냉각시스템 등을 갖춘 CVCC(Constant Volume Combustion Chamber)형태의 장비로써 연소지연시간(Combustion Delay, CD)

Table 1. General CFR engine characteristics and information

Item	Description
Crankcase	Model CFR-48(Preferred), High or Low Speed Model(Optional)
Cylinder Type	Single bore cast iron with integral
Cylinder Head Type	Cast Iron with turbulence precombustion chamber, variable compression plug passage, integral coolant passages, and in-head valve assembly
Compression Ratio	Adjustable 8:1 to 36:1 by external handwheel assembly
Cylinder Bore(Diameter), in	3.250(Standard), 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: 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, degree	5
Fuel System	Injection pump with variable timing device and injector
Injector	Holder with bypass pressure release
Spray Nozzle	closed, differential-needle, hydraulically-operated, pintle type
Weight of Engine	Approximately 400 kg(880 lb)
Weight of Complete Test Unit	Approximately 1250 kg(2750 lb)

Table 2. Specification of SETA IQT LM

Item	Description
Measuring Principle	Constant Volume Combustion Chamber
Injection System	Pintle-type, single hole nozzle, air-driven injection pump
Combustion Air Supply	Compressed air, 20.9% O <sub>2</sub> , $\pm 1.0\%$
Regulated minimum	21.7 bar (310 psi) for Combustion process
Air Supply	Compressed air, Industrial Grade
Regulated minimum	12.1 bar (175 psi) for Injection process
Nitrogen Supply	Compressed Nitrogen, Industrial Grade
Regulated minimum	3.5 bar (50 psi) for Fuel Feed process
Cooling System	Closed-loop liquid to air
Computer (supplied)	32 bit Windows Based Industrial Computer
Input voltage	120/220V, 60 Hz 220/240V, 50Hz Protected by an uninterruptable power supply (UPS) and isolating transformer
Typical Footprint	3 x 3 x 3 m
Typical Weight	300 kg



Fig. 1. CFR engine of Waukesha.



Fig. 2. IQT LM of SETA.

과 ID를 구하여 세탄가를 계산하는 기기로서 세탄가향상제 등의 첨가제의 영향을 호응할 수 있는 장비이다. CD란 연소실 안에 연료를 주입하여 연소를 시작한 시점에서부터 연소압력곡선의 중간시간 사이의 시간을 나타내며, ID란 연소실 안에서 연소분사가 시작된 후 압력증가가 일어나는 시점까지의 경과시간을 나타낸다. 압력변화에 따른 CD, ID의 산정은 Fig. 3.을 참조한다 [12,13].

세탄가를 측정하기 위한 세 번째 방법은 KS

M ISO 4264에 준하는 세탄지수 계산 방법이 있으며 이를 위하여 각각의 제품들의 밀도, 증류성상을 측정하였다. 밀도는 ASTM D4052 방법에 적합한 Anton Parr사의 DMA5000을 이용하였다. 증류성상은 KS M ISO 3405 방법에 적합한 PAC사의 OptiDist을 사용하였다. 마지막으로 세탄가 및 세탄지수의 차이를 유발하는 경유에 첨가된 바이오디젤의 영향을 고려하기 위하여 경유의 지방산메틸에스테르 함량(Fatty Acid Methyl Ester, FAME)을 KS M 2964에 준하는 HPLC (High Performance Liquid Chromatography)인 RI(Refractive Index) Detector가 포함된 영린기 기사의 YL9100을 이용하여 측정하였고, 이를 위해 컬럼은 Rx-SIL, Silca, 5  $\mu$ m, 4.6 x 250 mm을 사용하였다.

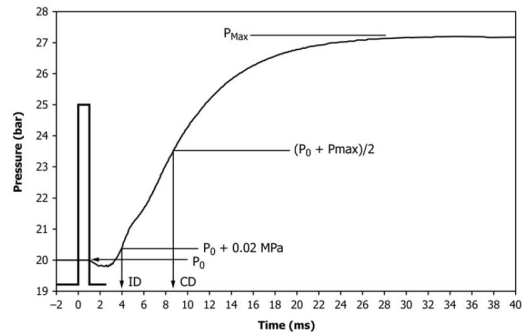


Fig. 3. Electronic signal that activates the common rail injector solenoid and the electronic signal produced by the dynamic pressure sensor during a combustion cycle.

#### 2.4. 실험 방법

해당 연구를 수행하기 위해서 세탄가, 유도세탄가, 증류성상, 밀도 및 바이오디젤함량 실험을 진행하였다. 세탄가는 ASTM D613에 준하여 측정하였다. 세탄가를 측정하기 위해서 CFS엔진의 가변압축비 조정 핸들, 핸드휠이 있는 실린더헤드는 순서대로 분해하여 오버홀을 진행하고 다시 재조립한 후 엔진을 작동시키고 엔진오일의 온도가 130°C 이상 되도록 설정하고 1시간 이상 기기를 예열시킨다. 그 후 연료 탱크에 표준물질 또는 시료를 넣고 착화지면 측정기의 전환스위치를 적절하게 맞추고 핸드휠을 시계 방향으로 돌려서 실린더 길이(압축비)의 최종 조정을 실시한다. 그 후 크랭크 각도가 13도 맞추고 이때의 펄

요한 핸드휠의 설정값(연소실 길이)을 기록한다. 이 크랭크 각도에서 압축 상사점으로 이 때 착화가 일어난다. 이러한 과정을 통해 예상되는 세탄가의 사이값을 갖는 두개 표준물질을 제조하여 핸드휠값을 구한 다음, 분석시료의 핸드휠값을 구하여 비례식을 이용하여 세탄가 값을 구한다. 세탄가 값을 구하는 수식은 식(1)과 같다[7].

$$CN_s = CN_{LRF} + \left( \frac{HW_s - HW_{LRF}}{HW_{HRF} - HW_{LRF}} \right) (CN_{HRF} - CN_{LRF}) \quad (1)$$

$CN_s$  = cetane number of sample  
 $CN_{LRF}$  = cetane number of low reference fuel  
 $CN_{HRF}$  = cetane number of high reference fuel  
 $HW_s$  = handwheel reading of sample  
 $HW_{LRF}$  = handwheel reading of low reference fuel  
 $HW_{HRF}$  = handwheel reading of high reference fuel

유도 세탄가는 ASTM D6890에 방법에 준하는 장비로써 일정온도(580 ° C)로 유지되는 연소실에 일정량(0.0985 g)의 연료를 분사한 뒤, 연료가 연소되는 시간을 측정하여 유추하는 방법이다. 초기에 연료를 15번 분사, 연소시킴으로 연료라인과 연소실 내에 잔류하고 있는 불순물과 전에 측정하고 남은 잔류시료를 제거시킴과 동시에 분석장비의 안정화를 시킨 뒤, 16번째부터 47번째(총 32번)까지 연료분사를 통해 측정된 ID를 구하고 이를 통하여 유도세탄가를 계산할 수 있다. 이를 통해 식(2)을 이용해 유도세탄가를 구한다[14].

$$DCN = 4.450 + \frac{186.6}{ID} \quad (2)$$

또한 다른 유도세탄가 측정은 ASTM D7668에 준하는 방법으로써 시료를 160 mL 정도 기기에 주입한 후 연소실 내에서 연료를 분사시켜 ID와 연료가 분사되어 압력이 변화하기 시작하는 곡선의 중간지점에 도달하는 시간을 나타내는 CD를

측정하고 이 값들을 통하여 유도세탄가를 다음과 같은 식을 통하여 구한다[13].

$$DCN = 13.028 + (-5.3378/ID) + (300.8/CD) + (-1267.90/CD^2) + (3415.32/CD^3) \quad (3)$$

세탄지수는 KS M ISO 4264에 따라 측정하였다. 세탄지수를 구하고자 하는 시료의 밀도, 증류성상을 측정하였다. 이러한 세탄지수를 측정하는 물질인자는 실제적으로 세탄가에 영향을 미치는 요소이다[9]. 이를 위한 물성범위는 Table 3.에 나타냈다[15].

밀도 측정은 KS M ISO 12185 방법에 따라 시료를 15 °C에서 진동식 U자관법을 이용하여 시료에 일정한 주파수 조건에서 진동주기의 변화를 측정함으로써 밀도로 환산 처리되는 방식을 사용하였다. 증류성상은 KS M ISO 3405 방법에 따라 시료 100 mL를 연료의 그룹에 맞는 온도로 가열하여 4.5 mL/min의 속도로 유출시켜, 증류량에 따른 해당 온도를 측정하고 종말점에 도달할 때 까지 증류를 실행하고 그 후 기압을 보정하여 유출량에 따른 온도를 보정하여 구한다. [16,17]. 경우에 함유되어 있는 바이오디젤은 HPLC를 이용하였고, 용매는 n-Heptane(99%, HPLC급)을 사용하여 2.2 mL/min 의 유속으로 RI Detector로 바이오디젤을 검출하여 결과를 계산하였다[18].

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 세탄가 부표준물질 선정에 따른 분석방법 및 결과

다양한 방법으로 세탄가를 측정하기 전에 2.2.에서 서술한 바와 같이 세탄가의 부표준물질인 T-29, U-29를 이용하여 세탄가 40, 50, 60의

Table 3. Diesel fuels properties for calculate cetane index

Fuel Properties	Recommended Range
Cetane Number	32.5~56.5
Density(15°C, kg/m <sup>3</sup> )	805.0~895.0
10% volume Distillation Point	171~259
50% volume Distillation Point	212~308
90% volume Distillation Point	251~363

부표준물질을 제조하였다. 해당 부표준물질은 ASTM D613에 의한 핸드휠값을 통해 세탄가를 측정하기 위한 표준으로 사용된다. 즉, 다른 세탄가 측정방식에서는 사용되지 않는다. 예를 들어 유도세탄가에서는 n-Heptane을 이용한 ID값을 비교하는 방식으로 표준물질을 이용한다. 정유사 시료를 분석하기 전 해당 부표준물질을 타 방법으로 측정하여 표준물질을 통한 각각의 결과에 대한 상관관계 분석이 가능한지 검증을 실시하였다.

Table 4. Analysis of DCN, CI, by secondary reference Fuels

Secondary Reference Fuels	DCN(D6890)	CI(ISO 4264)
STD 40	42.9	50.8
STD 50	49.9	58.6
STD 60	58.0	64.3

Table 4.에서 보는 바와 같이 유도세탄가로 분석한 부표준물질의 값은 세탄가 50 부근에서 높은 신뢰도를 가지며 이는 추가로 52.3의 세탄가를 가지는 부표준물질을 분석한 결과 52.5가 나오는 걸로 확인이 되었다. 하지만 세탄지수는 다른 표준물질과 큰 결과 차이를 보였는데, 이는 부표준용액의 밀도가 Table 3. 에 나타난 권장범위를 벗어나는 특성을 가지기 때문이라고 판단된다. 이를 통하여 세탄가 부표준물질을 통해 세탄가, 유도세탄가는 비교가 가능하지만 세탄지수는 값의 차이가 크게 벗어나기 때문에 정유사의 생산단계 경유시료로 분석을 수행하였다.

### 3.2. 세탄지수 분석을 위한 밀도, 증류성상 분석

본래 세탄지수라 하면 직접 시험하기 어렵거나 시료가 불충분하여 엔진 운전이 이용할 수 없는 경우, 세탄가를 추정하는 데 이용한다. 하지만 연료의 세탄가를 측정하였거나 알고 있는 경우, 세탄지수를 통해 해당 연료의 세탄가를 입증하는 데도 사용된다. 그래서 최근 세탄가, 유도세탄가에 비하여 간편하고 복잡하지 않아 널리 사용되거나 시료 중에 존재할 수 있는 세탄향상제의 영향이 결과에 나타나지 않는 문제점이 있다.[7] 세탄지수를 계산하기 위해서는 물성실험 후 도출된 밀도, 10% 유출온도(T10), 50% 유출온도(T50)

및 90% 유출온도(T90) 값을 계산식에 대입하여 계산하는 방식을 사용한다. 본 연구에 앞서 국내 정유사 A, B, C, D 및 E 사의 하절기, 동절기의 생산단계의 경유 시료 총 10개를 확보하였고 이 시료의 물성을 분석하여 세탄지수를 계산하였다. 세탄지수는 각 분석항목에 따른 상관성이 다르게 나타나고 있는데 T10가 215 °C보다 높을 경우 세탄지수도 함께 높아진다. T10가 215 °C 보다 낮아질 경우 세탄지수도 낮아지지만 124 °C보다 낮아지면 다시 세탄지수는 높아진다. T50은 260 °C을 기준으로 온도가 높아지면 세탄지수는 높아지고, 온도가 낮아지면 세탄지수는 낮아진다. T90은 T10와 T50에 비해 세탄지수에 영향이 미비하다. 밀도는 세탄지수에 가장 큰 영향을 미치는 인자로서 밀도가 850 kg/m<sup>3</sup> 이상일 경우 세탄지수는 감소하며, 850 kg/m<sup>3</sup> 미만일 경우 세탄지수는 증가한다. 4개의 물리적 특성 중 밀도가 가장 큰 영향을 미친다. 이 경우를 제외하면 결과적으로 두 가지 측정방법을 통하여 구한 세탄지수의 값은 물성분석의 정밀도에 의존하며 이 정확도에 따라 결과의 신뢰도를 가늠할 수 있다.

### 3.3. 세탄가, 유도세탄가, 세탄지수 분석

본 연구에 앞서 국내정유사 A, B, C, D 및 E 사의 하절기, 동절기의 생산단계의 경유 시료 총 10개를 확보하였다. 확보한 시료를 통하여 세탄가 분석, 유도세탄가분석, 세탄지수 계산을 통하여 각각의 세탄가의 결과를 통하여 상호간의 상관관계를 분석하였다. 세탄가 측정 시 CFS엔진을 이용하여 세탄가 50, 60 표준물질의 핸드휠값을 구한 후, 시료를 측정하는데 시험이 지속 될수록 표준물질의 핸드휠값이 변하기 때문에 시료를 2~3회 측정할 때마다 세탄가 50, 60 표준물질을 계속 측정 하여 결과 핸드휠값을 보정해주었다. 또한 유도세탄가는 기존의 방식인 D6890과 함께 D7890의 방식으로도 함께 실험하여 다양한 상관관계를 분석하기 위한 데이터 확보 및 비교가 가능하였다. 또한 3.2. 에서 구한 각 시료들의 물성 데이터를 토대로 세탄지수를 계산하여 시료 당 총 4종류의 세탄가를 구할 수 있었다.

Table 5. 에 나타난 세탄가, 유도세탄가 및 세탄지수 결과에 따르면 제조사 별로 세탄가, 유도세탄가 및 세탄지수의 결과의 차이가 있는 것을 알 수 있다. A사의 여름철 경유, A사의 겨울철 경유, B사의 여름철 경유, B사의 겨울철 경유, C사의 겨울철 경유, D사의 여름철 경유는 각각의

Table 5. Analysis of cetane number, DCN and CI for each oil corp

Corporation	Cetane Number		DCN(D6890)		DCN(D7668)		CI(KS M ISO 3405)	
	Summer	Winter	Summer	Winter	Summer	Winter	Summer	Winter
A corp	52.7	49.7	54.0	50.4	54.7	52.1	55.3	53.2
B corp	54.7	51.3	55.2	53.1	56.6	54.6	59.0	58.1
C corp	50.3	49.8	50.0	50.0	51.1	50.7	52.5	53.8
D corp	51.9	50.9	52.6	50.1	54.3	51.0	56.1	53.2
E corp	55.2	51.6	54.2	51.7	55.2	52.1	57.2	53.7

Table 6. Test results of CI and T10, T50, T90 and density for each oil corp

Sample Type		Distillation(KS M ISO 3405)			Dnesity(kg/m <sup>3</sup> )
		T10(°C)	T50(°C)	T90(°C)	
A corp	Summer	172.0	263.7	347.2	819.8
	Winter	163.5	253.5	339.3	818.9
B corp	Summer	212.3	285.6	348.6	828.3
	Winter	190.6	268.4	323.6	819.5
C corp	Summer	167.1	265.7	342.1	827.4
	Winter	163.6	270.	344.0	826.1
D corp	Summer	195.3	268.4	330.1	824.3
	Winter	174.8	258.6	328.0	823.2
E corp	Summer	198.8	280.6	335.5	827.9
	Winter	169.1	265.2	337.4	824.7
STD 40		169.4	195.6	258.7	787.1
STD 50		176.9	219.6	265.9	788.9
STD 60		188.4	237.5	269.0	790.8

결과차이는 나지만 순서대로 세탄지수, 유도세탄가(D7668), 유도세탄가(D6890), 세탄가 측정 순으로 결과가 크다 하지만 나머지 경유시료는 유도세탄가(D6890) 보다 세탄가가 높게 나타났다. 또한 모든 정유사 공장의 제품이 여름철 경유 시료의 세탄가가 겨울철 경유 시료의 세탄가 보다 높게 측정되었지만, C사의 여름철, 겨울철 경유 시료는 그렇지 않았다.

**3.4. 측정된 세탄가의 상호관계**

3.3.에서 측정된 세탄가, 유도세탄가 및 세탄지수의 결과를 분석한 결과, 같은 시료일 경우 세탄지수는 세탄가, 유도세탄가에 비해 높은 결과를

나타낸다.

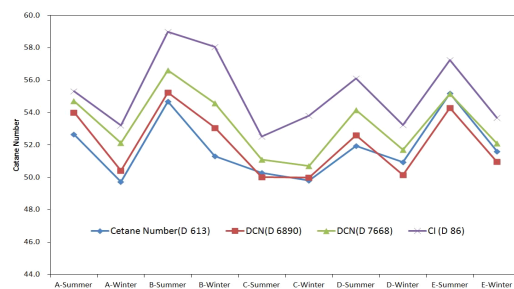


Fig. 4. Correlation between Cetane number, DCN(D6890), DCN(D7668) and CI for each oil corp.



특히 세탄지수의 값이 세탄가보다 현저히 높은 값이 나타났는데 이러한 세탄가의 차이를 일으키는 요인 중 하나로는 경유에 첨가되는 바이오디젤의 함량을 들 수 있다. 바이오디젤의 함량이 높으면 증류성상의 T10, T50, T90의 증가로 세탄지수는 높게 측정되나 착화성이 떨어져 세탄가 및 유도세탄가는 낮아지기 때문이다[8]. 즉 같은 시료일 경우 바이오디젤의 함량이 높아지면 세탄가 및 유도세탄가와 세탄지수의 차이가 더욱 커지게 된다. 이에 대한 영향을 확인하기 위해 시료들의 바이오디젤을 분석하여 세탄가와 세탄지수의 차이와 비례하는지 확인한 결과, Fig. 5. 에 나타낸 바에 따르면 바이오디젤의 결과와 세탄가와 세탄지수의 차이는 비례하지 않았다. 이는 바이오디젤의 함량이 시료의 물성에 큰 차이를 일으킬 정도로 크지 않기 때문이다. 따라서 바이오디젤의 함량으로 인해 세탄가, 유도세탄가 및 세탄지수의 상호관계에 큰 영향이 있지 않다고 판단된다.

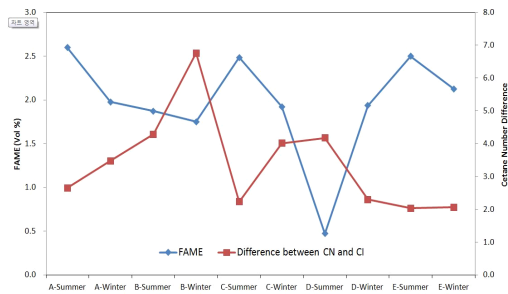


Fig. 5. Correlation Fatty Acid Methyl Ester mixed samples each oil corp and difference between CN and CI.

또한 분석한 세탄가, 유도세탄가 및 세탄지수를 통하여 상관성을 검토하기 위해 각각의 재현성을 구하여 재현성의 유효범위 안에 서로의 결과가 포함되는지 확인하여 신뢰성이 있는지 판단하였다. 세탄가와 유도세탄가(D6890, D7668)는 서로간의 결과의 재현성을 계산하여 그 범위를 규정할 수 있다[13,14]. 하지만 세탄지수는 물성 범위의 결과에 의존하기 때문에 따로 재현성을 규정하지 않는다. 따라서 세탄가, 유도세탄가 및 세탄지수의 결과를 세탄가 및 유도세탄가의 재현성 범위에 들어오는지 파악을 하여 재현성을 검토해보았다. Fig. 6.은 세탄가와 유도세탄가(D6890)의 재현성 범위를 막대그래프로 나타냈

고 이 범위 안에 세탄지수가 들어가는지 나타내었다. 재현성 범위의 상단에 대부분의 세탄지수의 결과가 위치하고 있고, B사의 겨울철 경유의 경우 범위를 벗어났다.

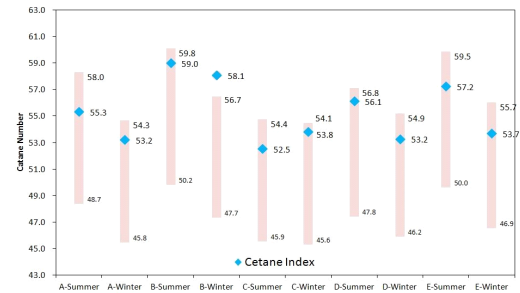


Fig. 6. Test results of reproducibility(CN and D6890) range with CI for each oil corp.

또한 Fig. 7. 은 세탄가와 유도세탄가(D7668)의 재현성 범위를 막대그래프로 나타냈고 이 범위 안에 세탄지수가 들어가는지 나타냈는데 재현성 범위의 상단에 세탄지수의 결과가 위치하였다.

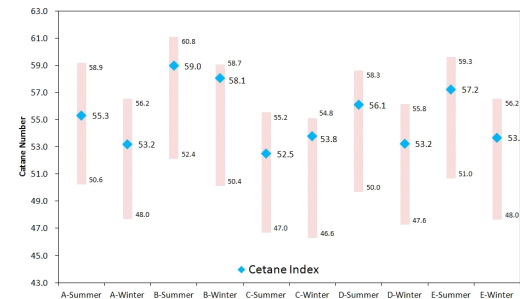


Fig. 7. Test results of reproducibility(CN and D7668) range with CI for each oil corp.

#### 4. 결론

본 연구는 경유의 주요 품질기준 중 하나인 세탄가의 다양한 측정법간의 상관관계를 분석하기 위하여 우리나라에서 경유를 유통하는 5개 정유사공장 여름철, 겨울철 시료를 채취하여 세탄가, 세탄지수 및 유도세탄가를 측정 및 분석하였다. 정유사 공장별 세탄가는 모두 다르지만 대체적으로 공정상의 이유 및 품질기준의 차이로 여름철

생산된 경유가 겨울철 생산된 경유보다 세탄가가 높게 측정되었다. 때문에 세탄가, 유도세탄가, 세탄지수를 측정하였을 때 대부분 겨울철 생산 경유보다 여름철 생산 경유가 세탄가가 높게 측정된다. 이러한 경향은 세탄가, 유도세탄가, 세탄지수를 측정하였을 때 거의 동일하게 나타났다. 하지만 각각 결과의 차이가 나타났는데, 대체적으로 세탄가가 제일 낮고, 유도세탄가(D6890, D7668), 세탄지수 순서로 결과가 크게 나왔다. 특히 세탄가와 세탄지수의 차이는 최대 6.8에서 최소 2.0까지 차이가 발생했고, 유도세탄가(D6890)와 세탄지수의 차이는 최대 5.0에서 최소 1.3까지 차이가 발생하였다. 세탄가(D7668)와 세탄지수의 차이는 최대 3.5에서 최소 0.6까지 차이가 발생하였다. 이러한 결과에 따른 각각의 재현성을 비교하였고 세탄가와 유도세탄가는 서로간의 재현성범위에 적합했지만 세탄지수는 세탄가와 유도세탄가에 비해 높은 결과로 인하여 재현성의 범위를 벗어나는 결과도 존재하였다. 현행 세탄가의 품질기준이 여름철 52, 겨울철 48로 정해져있고 이에 따른 품질기준이 소비자나 정유사에게 중요한 요소이기 때문에 세탄가와 결과가 차이나는 유도세탄가 및 세탄지수를 사용하였을 경우 실제적인 세탄가의 품질기준 미달의 문제가 발생할 우려가 염려된다. 본 연구를 통해 세탄가를 측정하는 다양한 방법에 대한 경향성과 연관성을 연구함과 동시에 세탄가를 측정하는 방법에 따라 결과에 차이가 발생하여 어느 측정방법을 사용하는지는 중요한 사안이라고 볼 수 있다. 현재 편의성을 고려하여 세탄지수 및 유도세탄가를 많이 사용하고 있는데 결론적으로 이러한 세탄지수 및 유도세탄가는 측정방법이 불편한 세탄가의 보조적인 수단이 되어야 할 것이다. 또한 이러한 세탄가를 대체하기 위해 개발된 세탄지수 및 유도세탄가에 대한 보완이 이루어져야 할 것이다.

## References

1. Petronet, Korea Supply & Demand, Spend by Product, <http://www.petronet.co.kr>, (accessed, Oct., 2018).
2. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Total Registered Moter Vehicles, <http://stat.molit.go.kr>, (accessed, Oct., 2018).
3. P, Ghosh. "Predicting the Effect of Cetane Improvers on Diesel Fuels", *Energy. Fuels*, Vol. **22**, No. 3, pp. 1073-1079, (2008).
4. G. J. Suppes, Y. Rui, A. C. Rome, and Z. Chen, "Cetane-Improver Analysis and Impact of Activation Energy on the Relative Performance of 2-Ethylhexyl Nitrate and Tetraethylene Glycol Dinitrate", *Department of Chemical and Petroleum Engineering*, Vol. **36**, pp. 397-4404, (1997).
5. Y. Deng, M. Zhu, D. Xiang, and X. Cheng, "An Analysis for Effect of Cetane Number on Exhaust Emissions from Engine with the Neural Network", *Fuel*, Vol. **81**, pp. 1963-1970, (2002).
6. Lim, Y. K, Park, S. R, Kim, J. R, YIM, E. S, Jung C. S, "The Study of Correlation between Biodiesel Components and Derived Cetane Number", *Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. **19**, No. 3, pp. 122-129, (2011).
7. ASTM D613, "Standard Test Method for Cetane Number of Diesel Fuel Oil", ASTM International, PA, (2016).
8. Lim, Y. K, KIM. J. R, Jung. C. S, YIM. E. S, and KIM. D. K. "Determination of the Cetane Number, Derived Cetane Number and Cetane Index for Diesel Fuel by Additives" *Korean Journal of Chemical Engineering*, Vol. **48**, No. 3, pp. 375-381, (2010).
9. Kang, I. J. and Jeong, C. S., "Correlation Between Domestic Diesel Fuel Properties and Cetane Number", *Korean Journal of Chemical Engineering*, Vol. **38**, No. 3, pp. 348-354, (2000).
10. O. Keith, and C. Trevor, "Automotive Fuels Handbook", Society of Automotive Engineers, pp. 327-330, (1990).
11. Waukesh, CFR Cetane Rating Unit, <http://www.waukeshacfr.com/>, (accessed, Sep., 2018).
12. Herzog, Cetane ID 510 Brochure, <http://www.paclp.com/>, (accessed, Sep., 2018).

13. ASTM D7668, "Standard Test Method for Determination of Ignition Delay and Derived Cetane Number(DCN) of Diesel Fuel Oils by Combustion in a Constant Volume Chamber", ASTM International, PA, (2017).
14. ASTM D6890, "Standard Test Method for Determination of Ignition Delay and Derived Cetane Number(DCN) of Diesel Fuel Oils by Combustion in a Constant Volume Chamber", ASTM International, PA, (2016).
15. KS M ISO 4264, "Petroleum Products-Calculation of Cetane Index of Middle-Distillate Fuels by the Four-Variable Equation", Korean Standard Association, (2003).
16. KS M ISO 12185 "Crude petroleum and petroleum products-Determination of density-Oscillating U-tube method", Korean Standard Association, (2013).
17. KS M ISO 3405, "Petroleum products-Determination of distillation characteristics", Korean Standard Association, (2016).
18. KS M 2964, "Test method for determination of fatty acid methyl ester (FAME) in automotive diesel and biodiesel blends by high performance liquid chromatography(HPLC)", Korean Standard Association, (2010).