

## 수분오염에 따른 경유의 연료적 특성

임영관<sup>1\*</sup> · 원기요<sup>2</sup> · 강병석<sup>3</sup> · 박소희<sup>4</sup> · 박장민<sup>5</sup> · 강대혁<sup>6</sup>

<sup>1</sup>한국석유관리원 수도권북부본부 팀장

<sup>2</sup>한국석유관리원 수도권북부본부 과장

<sup>3</sup>한국석유관리원 수도권북부본부 대리

<sup>4</sup>한국석유관리원 수도권북부본부 사원

<sup>5</sup>한국석유관리원 석유기술연구소 대리

<sup>6</sup>한국석유관리원 수도권북부본부 본부장

## The Fuel Characteristics of Diesel by Water Contamination

Young-Kwan Lim<sup>1\*</sup>, Ki-Yoe Won<sup>2</sup>, Byung-Seok Kang<sup>3</sup>, So-Hwi Park<sup>4</sup>, Jang-Min Park<sup>5</sup> and Dea-Hyuk Kang<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Team leader, Northern office of Capital Region, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority

<sup>2</sup>Manager, Northern office of Capital Region, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority

<sup>3</sup>Asst Manager, Northern office of Capital Region, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority

<sup>4</sup>Staff, Northern office of Capital Region, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority

<sup>5</sup>Asst Manager, Petroleum Research center, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority

<sup>6</sup>Branch office leader, Northern office of Capital Region, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority

(Received November 6, 2020 ; Revised December 23, 2020 ; Accepted December 30, 2020)

**Abstract** – It rains heavily, such as long rain and typhoons, during a typical rainy season in Korea. In this season, several fuel contamination accidents by water and vehicular problems caused by water contaminated fuel occur. Many research groups have studied the effects of water contaminated fuel on vehicles and environment. However the characteristics of water contaminated fuel have not been studied. In this study, we prepared diesel samples with a constant ratio of water (0~30 volume %) using an emulsifier. Then, we analyzed these diesel samples for their representative fuel properties. In the analytical results, diesel with 30% water showed an increase in fuel properties such as density (823→883 kg/m<sup>3</sup>), kinematic viscosity (2.601→6.345 mm<sup>2</sup>/s), flash point (47→56°C), pour point (-22→2°C), CFPP (cold filter plugging point) (-17→20°C) and copper corrosion number (1a→2a). The low temperature characteristics, such as low pour point and CFPP, blocks the fuel filter in the cold season. In addition, water contaminated diesel decreases lubricity (190→410 μm) under high frequency reciprocating rig (HFRR) and derived cetane number (54.81→34.25). The low lubricity of fuel causes vehicle problem such as pump and injector damage owing to severe friction. In addition, the low cetane diesel fuel increases exhaust gases such as NOx and particulate matters (PM) owing to incomplete combustion. This study can be used to identify the problems caused by water contamination to vehicle and fuel facilities.



© Korean Tribology Society 2020. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License(CC BY, <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction of the work in any medium, provided the original authors and source are properly cited.

**Keywords** – diesel(경유), water contamination(수분오염), HFRR(경유운활성시험), corrosion(부식), derived cetane number(유도세탄가)

\*Corresponding author: Young-Kwan Lim

Tel: +82-10-7534-0607, Fax: +82-31-841-0229

E-mail: [yklim92001@yahoo.co.kr](mailto:yklim92001@yahoo.co.kr)

<http://orcid.org/0000-0002-2282-8058>

## 1. 서 론

연료탱크는 대기중의 수분, 팽창과 수축, 온도차이에 의한 결로현상(condensation) 등으로 쉽게 수분오염이 발생되고 있다. 특히 경유탱크는 증기압이 형성되어 외부 공기를 차단하는 휘발유탱크에 비해 수분에 의한 오염이 쉽다[1].

경유 내 수분이 존재할 경우 미생물이 증식될 수 있으며, 미생물의 활동에 의한 산성물질 증가, 필터막힘(filter plugging) 등이 발생되고, 연료라인 계통과 인젝터(injector) 등의 수명을 단축시킨다[2,3]. 특히 수분이 혼합된 연료는 엔진성능을 악화시켜 연료의 정상적 연소를 방해해 배출가스를 증가시킨다[4]. 배출가스 내에는 입자상물질(PM; particulate matter), 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 일산화탄소(CO) 및 불완전 연소된 탄화수소(hydrocarbons) 형태가 많이 포함되어 있으며, 이들 물질은 호흡기 질환뿐만 아니라 생태계와 대기환경에 악영향을 미치고 있다[5].

연료탱크에 자연적으로 생성되는 미량의 수분오염은 서서히 차량의 문제(녹발생, 인젝터 마모, 배출가스 증가 등)를 발생시킬 수 있으나, 과량의 수분오염은 갑작스러운 치명적 엔진고장 등을 일으킬 수 있다[6]. 2019년 우리나라 평균 강수량은 1,283 mm로 여름철과 가을철이 전체 강수량의 73% (941 mm)를 차지하고 있다[7]. 특히 장마철과 태풍이 지날 때 강수량이 집중되어 있으며, 이로 인한 홍수, 침수피해가 발생되고 있다. 일반적으로 석유제품 저장시설은 지하에 많이 설치되어 있으며, 장마철에 수분에 의해 석유제품이 오염되는 경우가 많다.

실제적으로 한국석유관리원의 2018년 통계자료에 의하면, 물과 침전물 품질부적합이 7~9월에 전체의 41%를 차지하고 있으며, 연료 내 수분함유에 대한 소비자 신고도 장마기간에 집중되어 있다. 또한 차량 침수피해의 60%가 이 시기에 집중적으로 발생되고 있다[6]. Table 1은 국내 자동차용 경유의 품질기준을 나타내고 있다[8].

수분이 함유된 연료에 의한 차량문제를 방지하기 위하여 Chase 등은 나노첨유로 코팅된 유리첨유 고분자를 이용해 경유 내 수분을 효과적으로 제거하는 연구를 수행하였다[9].

Lapuerta 등은 배출가스 저감을 목적으로 경유에 알코올을 일정 비율 혼합하여 디젤의 연료적 특성(안정도, 윤활성, 저온특성 등)을 연구하였다[10].

수분이 혼합된 연료에 의한 자동차 문제와 환경적 문제에 대한 연구는 많이 알려져 있지만, 수분에 오염된 연료의 연료적 특성에 대한 접근은 많이 보고된 바가 없다.

본 연구에서는 특정기간에 강수량이 집중되어 수분에

Table 1. Specification of Diesel in Korea

Analytic item	Vehicle diesel
Pour point (°C)	below 0.0 (-18) <sup>b</sup>
Flash point (°C)	over 40
Kin. Viscosity (40°C, mm <sup>2</sup> /s)	1.9 ~ 5.5
Distillation (T90, °C)	below 360
Carbon residue in 10% residual oil (wt.%)	below 0.15
Water & sediment (vol.5)	below 0.02
Sulfur (mg/kg)	below 10
Ash (wt.%)	below 0.02
Cetane value (cetane index)	over 52
Copper strip corrosion (100°C, 3 h)	below 1
CFPP (°C) <sup>a</sup>	below -16
Lubricity @60°C (HFRR wear scar, μm)	below 400
Density @15°C (kg/m <sup>3</sup> )	815 ~ 835
Polyaromatics content (wt.%)	below 5
Aromatics content (wt.%)	below 30
FAME content (vol.%)	below 5

a; CFPP(cold filter plug point) was only regulated at winter season (Nov. 15 ~ Feb. 28).

b; winter season specification

의한 연료오염이 많이 발생되는 국내의 상황을 고려하여, 자동차용 경유에 일정 비율의 수분을 인위적으로 혼합한 뒤, 대표적 연료적 특성을 분석하였다.

## 2. 연구방법 및 내용

### 2-1. 수분오염 경유시료 제조

본 실험에 사용된 경유는 SK에너지(주)에서 생산된 자동차용 경유를 사용하였다. 경유에 수분을 균질하게 혼합시키기 위하여 하우톤에서 공급받은 2종류의 유화제(Monopol LAE2, Emulsogen MTP 070)를 사용하였다.

Table 2와 같이 경유와 물, 그리고 2종류의 유화제를 일정비를 혼합한 뒤, magnetic stirrer를 이용하여 30분간 교반하여 균질한 수분오염 경유시료를 제조하였다.

한 종류의 유화제를 사용할 경우, 수분 비율에 따라 유화가 잘 되지 않아, 극성 정도가 다른 2종류의 유화제를 일정비율로 혼합하여, 첨가함으로써, 시료의 균질성을 확보하였다. 하지만 30%의 수분이 혼합한 시료는 불투명한 색을 띠었다.

**Table 2. Water contaminated sample preparation**

Diesel(%)	Water(%)	Monopol LAE2	Emulsogen MTP 070
100	0	0	0
90	5	1	4
85	10	2.5	2.5
80	15	3	2
75	20	4	1
70	25	4.5	0.5
65	30	5	0

### 2-2. 밀도, 동점도, 인화점 분석

연료의 밀도는 Anton Parr사의 DMA 5000을 이용하여 ASTM D 4052 방법에 따라 분석하였다[11]. 측정방식은 시료를 15°C에서 진동식 U자관법을 이용하여 시료에 일정한 주파수 조건에서 진동주기의 변화를 측정함으로써 밀도로 환산 처리되는 방식을 통해 시료의 밀도를 측정하였다.

동점도는 Herzog사의 HVM472를 이용하여 40°C에서 ASTM D 445 방법에 따라 측정하였다[12]. 모세관식 튜브에는 3개의 벌브(bulb)가 있으며, 벌브사이에 온도센서가 있어 시료 약 15 mL를 흡입 상승시킨 뒤, 시료가 하강하는 시간을 온도센서로 감지함으로써 동점도가 측정된다.

인화점은 TANAKA사의 APM-7을 사용하였으며, KS M ISO 2719 방법에 따라 분석하였다[13]. 70 mL의 시료를 밀폐된 시료용기 속에서 교반하면서 분당 5-6°C의 속도로 승온시켜, 2°C 마다 시험불꽃에 시료의 증기를 노출시켜 인화되는 최저온도를 측정하였다.

### 2-3. 유동점, 저온필터막힘점, 동판부식 분석

유동점(Pour point)은 TANAKA사의 MPC-602를 이용하여 ASTM D 6749 방법에 따라 분석하였다[14]. 4 mL의 시료를 용기에 채운 뒤, 45°C로 가온한 후, 분당 0.8~1.1°C의 속도로 냉각하면서 시료내에 파라핀 왁스(paraffin wax)와 고체상이 형성되어 시료가 유동하지 않는 온도인 유동점을 측정하였다.

저온필터막힘점(CFPP; cold filter plugging point)은 ISL사의 FPP 5Gs를 이용하여 ASTM D 6371 방법에 따라 분석하였다[15]. 50 mL의 시료를 유리셀에 채운 뒤, 40°C로 가온한 후, 분당 1°C의 속도로 냉각시키면서 1.96 kpa 압력을 통해 필터(45 µm sieve)를 통과시켜, 흡입과 자유낙하의 속도가 60초를 넘는 온도를 CFPP로 판정하였다.

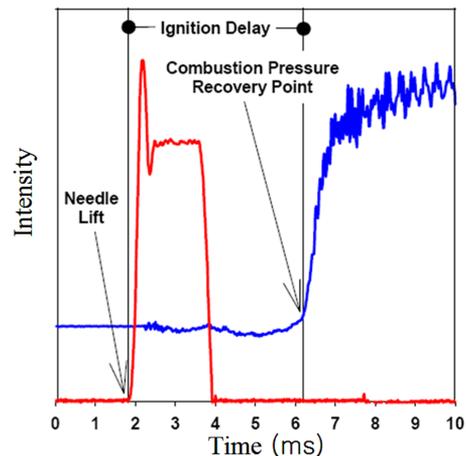
동판부식은 Koehler사의 K25339 제품을 사용하였으며, KS M ISO 2160 방법에 따라 분석하였다[16]. 잘 연마된 동판을 30 mL의 시료가 채워진 시험관에 넣은 후, 50°C에서 3시간 시험한 뒤, 동판표면의 색 변화를 관찰하였다.

### 2-4. 윤활성 분석

윤활성은 PCS Instruments사의 HFRR (High frequency reciprocating rig)를 사용하였으며, ASTM D 6079 방법에 따라 분석하였다[17]. 시료 2 mL를 60°C에서 75분동안 50 Hz의 주파수와 200 g의 하중을 이용해 금속원판(PCS Instrument사의 지름 1 cm 원판)과 시험구(PCS Instrument사의 외경 6 mm 금속구)를 왕복마찰시킴으로써 시험구에 생성된 마모흔(MWSD, Mean Wear Scar Diameter)을 현미경(MEIJ TECHNO사의 Infinity 1)을 이용하여 측정하였다.

### 2-5. 유도세탄가 분석

유도세탄가(Derived Cetane Number; DCN)는 SETA사의 IQT-LM을 이용하였으며, ASTM D 6890 방법에 준하여 유도세탄가를 측정하였다[18]. 580°C로 유지된 챔버에 일정량(0.0985 g/inj)의 연료를 분사한 뒤, 연료가 착화되는 시간을 측정하여 유추하는 방법으로, 연료를 15번 분사, 연소시킴으로써 연료라인과 챔버내에 잔류하고 있는 불순물과 전시료를 제거시킴과 동시에 분석장비의 안정화를 시킨 뒤, 16번째부터 47번째(총 32번)까지 연료 분사를 통해 측정된 유도세탄가의 평균을 구함으로써 재현성과 반복성을 높였다. Figure 1은 IQT (Ignition quality tester).



**Fig. 1. Analyzed of derived cetane number using IQT (ignition quality tester).**

tester)를 이용해 연료의 유도세탄가를 측정하는 원리를 그래프를 통해 표현하였다. 연소챔버 내에 연료가 분사됨으로 인해 압력변화가 일어나며, 연료의 착화로 인해 또 다른 압력증가가 일어난다.

이 두 압력변화 시간, 즉 연소지연시간(Ignition delay time; ID)을 측정함으로 식 (1)을 통해 유도세탄가가 계산된다. 본 식은 ASTM D 6890에 표현된 식으로, 세탄가가 다른 표준연료들을 실제 엔진과 IQT를 이용해 비교 실험함으로써 유도된 경험식이다.

$$DCN = 4.460 + 186.6/ID \quad (1)$$

### 3. 결과 및 고찰

#### 3-1. 수분오염 경유의 밀도, 동점도, 인화점 분석

일정한 비율의 수분이 혼합된 경유연료의 밀도를 측정하였다. 순수한 경유는 827 kg/m<sup>3</sup>의 밀도값을 보인 반면, 수분이 경유보다 밀도가 높기 때문에 수분함량이 증가할수록 밀도값이 증가함을 볼 수 있다(Table 3).

동점도 분석결과, 낮은 수분함량(0~15%)에서는 수분함량이 증가될수록 동점도가 높아지는 것을 확인하였다. 하지만 수분이 20% 이상이 혼합될 경우, 동점도의 증가 경향이 일정하지 못했다. 이는 높은 수분함량의 경유 시료가 동점도 모세관에서 온도평형을 이루기 위해 정지되면서, 시료의 불균질성이 발생되어, 실제 동점도값에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

인화점 측정결과, 수분함량이 증가될수록 인화점이 증가되는 것을 알 수 있다(Table 3). 인화점 측정은 일정한 부피의 시료컵 내의 시료를 서서히 온도를 올리면서 불꽃에 노출시켜 시료로부터 발생한 인화성 증기가 불이 붙는 원리이다. 따라서 수분함량이 높을 수록, 경유연료의 비율이 낮아지고, 이로 인해 인화성 증기 농도가 낮

Table 3. Analytic result of water contaminated diesel

Water content in Diesel	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Kinematic Viscosity (mm <sup>2</sup> /s)	Flash point (°C)
0	827	2.609	47
5	832	2.736	49
10	848	2.762	50
15	859	2.767	52
20	864	6.341	52
25	872	2.718	53
30	883	6.345	56

아지기 때문에 분석결과 인화점이 높아지는 것으로 판단할 수 있다.

#### 3-2. 저온특성 및 부식성 분석

우리나라는 추운 겨울철이 있어, 연료의 저온특성이 확보되어야 한다. 이러한 이유로 자동차용 경유의 품질기준에서 유동점을 0°C 이하로 관리하다가 겨울철에는 -18°C 이하로 관리하고 있다[8].

수분오염 경유연료의 저온특성을 측정한 결과, 수분함량이 높아질수록 유동점이 높아짐을 볼 수 있다(Table 4). 이는 저온에서 쉽게 유동되지 않아, 연료공급에 문제를 발생시킬 수 있다는 것을 의미한다. 실제로 겨울철에 자동차의 시동문제가 종종 발생하는데, 이는 연료의 저온특성에 연관되는 경우가 많다. 필터막힘점을 측정한 결과, 순수한 경유는 -17°C에서 측정되었다. 하지만 수분오염 경유시료는 1.96 kpa 압력을 통해 필터(45 μm sieve)를 통과시켜 흡입을 시도하였지만, 20°C에서 흡입 자체가 되지 않아 측정이 불가하였다. 이는 유화제에 의해 수분오염 경유시료가 입단형성(aggregation structure)을 하여 필터 흡입이 안되는 것으로 판단된다.

자동차의 연료계통은 대부분 금속으로 이루어져 있기 때문에 수분에 의해 쉽게 부식될 수 있다. 이들 부품의 부식 가능성을 예측하기 위해 수분오염 경유연료에 대

Table 4. Analytic result of cold characteristics and corrosion

Water content in Diesel	Pour point (°C)	CFPP (°C)	Copper corrosion
0	-22	-17	1a
5	-20	20	1b
10	-17	20	1b
15	-17	20	2a
20	-7	20	2a
25	-4	20	2a
30	2	20	2a

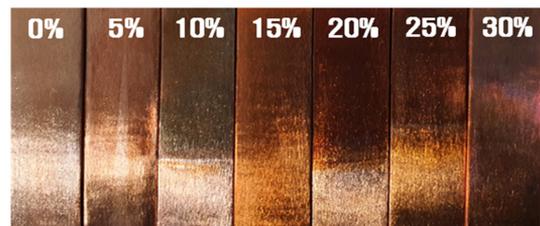


Fig. 2. Test result of copper corrosion.

한 동판부식을 시험한 결과, 수분함량이 높을수록 쉽게 동판이 부식되어 동판 표면의 색변화가 발생함을 알 수 있었다(Figure 2).

### 3-3. 윤활성 분석

경유자동차는 고압의 펌프로 경유를 연소실로 인젝션 시키는 구조로 연료의 윤활성이 낮으면 연료펌프와 인젝터의 마모로 고장을 일으킬 수 있다[19].

수분이 함유된 경유시료의 윤활성을 확인하기 위해 HFRR을 이용해 분석하였다. 분석결과, 순수한 경유의 마모흔은 190  $\mu\text{m}$ 로 분석된 반면, 수분함량이 증가할수록 마모흔의 크기가 커짐을 알 수 있다(Table 5, Figure 3).

특히 수분이 30% 혼합되어 있을 경우, 마모흔이 410  $\mu\text{m}$ 으로 석유 및 석유대체연료 사업법의 품질기준인 400  $\mu\text{m}$ 을 초과함을 볼 수 있다.

수분이 30% 혼합된 경유시료가 410  $\mu\text{m}$ 의 마모흔을 보였지만, 실제적으로 이 분석시료에는 윤활성이 높은 유화제(순수한 유화제의 마모흔 190~210  $\mu\text{m}$ )가 혼합된 시료이다.

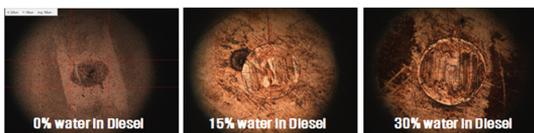
### 3-4. 유도세탄가 분석

세탄가는 연료의 착화정도를 나타내는 척도로 연료의 인젝션 후, 착화지연시간(ignition delay time)이 짧을수록 높은 세탄가를 보이며, 착화지연시간이 길수록 낮은 세탄가를 보인다. 세탄가가 높을수록 연료의 연비, 출력이 높아지고, 배출가스가 저감된다고 알려져 있다[20,21].

세탄가를 측정하는 방법에는 크게 3가지 방법이 있다.

**Table 5. Analytic result of HFRR**

Water content in Diesel (%)	Wear scar X ( $\mu\text{m}$ )	Wear scar Y ( $\mu\text{m}$ )	Wear scar Avg( $\mu\text{m}$ )
0	220	160	190
5	330	290	310
10	340	320	330
15	338	325	332
20	339	340	340
25	372	351	362
30	410	409	410



**Fig. 3. Test result of wear scar test under HFRR.**

**Table 6. Analytic result of Derived cetane number**

Water content in Diesel (%)	Derived cetane number
0	54.81
5	53.04
10	51.66
15	45.51
20	40.31
25	37.80
30	34.25

첫번째로 실제 CFR (cooperative fuel research)엔진을 이용한 세탄가 분석법[22]으로, 1시간 이상의 안전화(warming-up)시키는 작업과 함께 1리터 이상의 분석시료가 요구된다. 특히 CFR 엔진은 수분이나 첨가제가 혼합된 시료에 적용시킬 수 없다는 단점이 있다. 두번째 측정방법은 CFR 엔진의 단점(분석시간 및 시료량)을 보완하기 위해 연료의 물성(증류성상, 밀도)으로부터 도출된 세탄지수(cetane index)를 분석하는 방법이다[23]. 하지만 이 역시 적은 양의 세탄가향상제 등의 첨가제가 혼합될 경우, 실제 세탄가와 세탄지수의 결과값에 많은 차이를 보이는 단점이 있다. 마지막으로 기존 CFR엔진 분석법과 세탄지수의 단점이 보완된 분석법으로 580°C로 유지된 챔버에 시료를 인젝션 시켜, 착화지연시간을 측정함으로써 세탄가를 측정하는 유도세탄가 분석법이다[18]. 본 연구에서는 수분과 유화제가 혼합된 시료이기 때문에 기존 두가지 세탄가 분석법에 적용시키기 어려워 재현성, 반복성이 우수한 유도세탄가 분석법을 이용하여 세탄가를 분석하였다.

분석결과, 순수한 경유는 유도세탄가가 54.81로 측정된 반면, 수분함량이 높아질수록 유도세탄가가 낮아짐을 확인할 수 있었다[Table 6]. 이는 실제 차량에 수분오염 연료가 주입될 경우, 연료의 착화에 문제가 발생해 시동 꺼짐 현상을 일으킬 수 있음을 의미한다.

## 4. 결 론

특정기간에 강수량이 집중되어 있는 우리나라의 기후 특성 상, 석유제품이 수분에 오염되어 차량 등에 문제를 일으키는 경우가 자주 발생되고 있다.

본 연구에서는 수분오염 경유의 연료적 특성을 확인하기 위해 자동차용 경유에 일정 비율(0~30%)의 수분을 인위적으로 혼합한 뒤, 대표적 연료특성을 분석하였다. 분석결과, 수분함량이 높아질수록 다음과 같은 연료적 특

성 변화가 관찰되었다.

1. 밀도, 동점도, 인화점이 증가되었다.
2. 저온특성인 유동점이 증가하였다. 이는 겨울철에 원활한 연료공급의 저해를 일으킬 수 있다.
3. 동판부식 정도가 증가되었다. 이는 금속재질의 연료계통의 부식, 고장을 발생시킬 수 있다.
4. HFRR을 이용하여 유효성을 측정한 결과, 마모흔이 증가되었다. 이는 고압의 연료펌프와 인젝터의 마모, 고장을 일으킬 수 있다.
5. 유도시탄가가 감소되었다. 이는 차량의 연비와 출력을 감소, 배출가스를 증가시킬 수 있으며, 차량의 시동꺼짐 현상을 초래할 수 있다.

## References

- [1] <http://www.Racornews.com>, "Water, diesel engine's worst enemy"
- [2] Standfel, C., "Fuel filtration: Protecting the diesel engine" *Filtr. Sep.*, Vol.46, No.3, pp.22-25, 2009.
- [3] Wilfong, D., Dallas, A., Yang, C., Johnson, P., Viswanathan, K., Madsen, M., Tucker, B., Hacker, J., "Emerging challenges of filtration", *Filtr. Solut.*, Vol.10, pp.105-115, 2010.
- [4] Ulrich, A., Wichser, A., "Analysis of additive metals in fuel and emission aerosols of diesel vehicles with and without particle traps", *Anal. Bioanal. Chem.*, Vol.377, No.1, pp.71-81, 2003.
- [5] Ribeiro, N., Pinto, A. D., Quintella, C. M., G. O., Rocha, Teixeira, L. S. G., Guarieiro, L. L., Rangel, M. D. C., Veloso, M. C. C., Rezende, M. J. C., Da Cruz, R. S., De Oliveira, A. M., Torres, E. A., De Andrade, J. B., "The role of additives for diesel and diesel blended (Ethanol and biodiesel) fuels: A Review", *Energy Fuels*, Vol.21, No.4, pp.2433-2445, 2007.
- [6] Kim, M. S., "Submerged vehicle 60% July ~ August, increase submersion by low engine intake", *Fn Insurance*, Vol.305, pp.82-85, 2019.
- [7] Korea Meteorological Administration, <https://data.kma.go.kr>
- [8] Business act for quality standard, inspection method and inspection fee of petroleum product, Ministry of Trade, Industry and Energy, 2019-67.
- [9] Rajgarhia, S. S., Jana, S. C., Chase, G. G., "Separation of water from ultralow sulfur diesel using novel polymer nanofiber-coated glass fiber media", *Appl. Mater. Interfaces*, Vol.8, pp.21683-21690, 2016.
- [10] Lapuerta, M., Carcia-Contreras, R., Campos-Fernandez, J., Pilar Dorado, M., "Stability, lubricity, viscosity, and cold-flow properties of alcohol-diesel blends", *Energy Fuels*, Vol.24, No.8, pp.4497-4502, 2010.
- [11] ASTM D 4052, "Standard Test Method for Density and Relative Density of Liquids by Digital Density Meter".
- [12] ASTM D 445, "Standard test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquids and calculation of dynamic viscosity".
- [13] KS M ISO 2719, "Determination of flash point-Pensky-Martens closed cup method".
- [14] ASTM D 6749, "Standard Test Method for Pour Point of Petroleum Products (Automatic Air Pressure Method)".
- [15] ASTM D 6371, "Standard Test Method for Cold Filter Plugging Point of Diesel and Heating Fuels".
- [16] KS M ISO 2160, "Petroleum products-Corrosiveness to copper-Copper strip test".
- [17] ASTM D 6079, "Standard Test Method for Evaluating Lubricity of Diesel Fuels by the High-Frequency Reciprocating Rig (HFRR)".
- [18] ASTM D 6890, "Standard test method for determination of ignition delay and derived cetane number (DCN) of diesel fuel oils by combustion in a constant volume chamber".
- [19] Kim, H. G., "The effect of illegal diesel oil concerning to environmental pollution, output of power and continued ratio, Master Thesis, Dept. of Chemical Engineering, Yonsei University, Korea, 2002.
- [20] Ghosh, P., "Predicting the effect of cetane improvers on diesel fuels", *Energy Fuels*, Vol.22, No.2, pp.1073-1079, 2008.
- [21] 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 Chem. Eng. Res.*, Vol.48, No.3, pp.375-381, 2010.
- [22] ASTM D 613, "Standard test method for cetane number of diesel fuel oil".
- [23] ASTM D 4264, "Petroleum products - Calculation of cetane index of middle-distillate fuels by the four-variable equation".