

# 주유소에서 사용하는 휘발유의 정전기 방전으로 인한 점화위험성에 관한 연구

문균태<sup>†</sup> · 정재희 · 미즈키 야마구마<sup>\*</sup> · 최광석<sup>\*</sup>  
서울산업대학교 에너지환경대학원 · \*일본노동안전위생종합연구소  
(2010. 6. 16. 접수 / 2010. 8. 10. 채택)

## A Study on Ignition Hazard Caused by Electrostatic Discharge of Gasoline Used in the Gas Station

Kyoontae Moon<sup>†</sup> · Jaehae Chung · Mizuki Yamaguma<sup>\*</sup> · Kwangseok Choi<sup>\*</sup>  
The Graduate School of Energy and Environment, Seoul National University of Technology  
<sup>\*</sup>Japan National Institute of Occupational Safety and Health  
(Received June 16, 2010 / Accepted August 10, 2010)

**Abstract :** To investigate electrostatic ignition hazards of commercial gasoline used in the gas station, experiments were conducted dealing with the minimum ignition energy(MIE) of several kinds of gasoline under the various temperature. The conductivity of gasoline that was required for an accurate risk assessment as well as the MIE were also examined. The solvent ignitability apparatus which can heat up the inside of the vessels up to 210°C was used in this study. Four kinds of premium gasoline and four kinds of regular gasoline, differing with respect to the companies, were used as test specimens. The following results were obtained: (1) all gasoline specimens were so sensitive that even an electrostatic discharge with a very low energy, such as about 0.5mJ, could ignite them. The ignitability of premium gasoline was constant irrespective of the companies. On the other hand, the ignitability of regular gasoline was variable depending on the company. (2) The MIE of all specimens depended markedly on the temperature; in other words, an increase in temperature decreases the ignition energy value. (3) The conductivity values of all specimens were low. Those must be taken into consideration in electrostatic risk assessment.

**Key Words :** electrostatic discharge, minimum ignition energy, gasoline, fire · explosion, gas station

### 1. 서론

경제성장과 국민생활 수준의 향상에 따라 자동차 보급은 급속하게 증가하고 있으며, 이에 따라 부수적으로 자동차에 연료(휘발유)를 공급하는 주유소도 증가하였고, 2010년 4월까지 전국적으로 13,242 개소가 운영되고 있다<sup>1)</sup>.

이들 대부분의 주유소는 일반주택 또는 상가 등 일상 생활지역 안에 설치되어 있으며, 휘발유를 주입하기 위한 자동차와 연료를 공급해 주는 위험물 이동탱크차량이 빈번히 출입하고 있다. 이러한 곳에서 만약 화재나 폭발이 발생할 경우 피해영향은 사고발생설비에 국한되지 않고, 인근지역의 재산 피해 및 인명피해 등 심각한 수준의 피해를 불러일

으켜, 기업 이미지 실추와 불필요한 경제적 손실을 가져올 수 있다.

2006년도 소방방재청 화재통계연감에 의하면 위험물제조소 등에서 발생한 화재사고 중 약 41.3%가 주유소에서 발생되었으며, 주요 점화원인은 정전기인 것으로 보고되고 있다<sup>2)</sup>.

이러한 주유소에 있어서 정전기로 인한 화재·폭발사고를 미연에 방지하기 위해서는 최소점화에너지(Minimum Ignition Energy)에 관한 정확한 데이터와 그에 대응한 안전대책을 실시하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 주유소에서 유통되고 있는 휘발유를 대상으로 정전기 방전을 통한 최소점화 에너지를 측정하였고, 도전율, 온도의 영향 등 정전기 방전의 점화위험성을 고찰하였다.

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
mkt0904@hanmail.net

### 2. 실험

### 2.1. 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용된 실험장치의 구성은 Fig. 1<sup>9)</sup>과 같다.

실험장치의 주요부분은 폭발용기(φ 108 × 200h × 5t)와 공기저장용기(2200cm<sup>3</sup>)로 열전도율(237W/m/K)이 높은 알루미늄으로 되어있다. 두 용기 모두 외부에 리본히터를 감아 온도를 조절하였으며, 폭발용기 밑 부분에는 와이어히터를 부착하여 용기 중심부의 온도를 실온에서 210℃까지 임의로 설정 가능하도록 하였다. 장치의 특성상 용기 내부의 온도가 설정온도까지 안정화가 되기 위해서는 1~2시간 정도 소요된다. 또한 정전기 방전전극(tungsten, sharp tip, 1mm in diameter)을 폭발용기 내부 중앙부분에 삽입하였다.

사용된 실험기기는 DC 고전압 발생장치(Amano MIES-10, C: 10, 20, 100, 300, 1000, 2500, 5000pF, V: 1~16kV), 압력계(0~100Mpa), 온도 측정기(TM 20 NO. 2C01027), 진공펌프(Hitachi E076, 60Hz 3.6 (60)m<sup>2</sup>/h(L/min))이다. Fig. 2는 휘발유를 정밀하게 주입할 수 있는 마이크로실린지로 0.1~0.5mL의 범위로 되어 있다. 또한 실험 분석을 위해 디지털 오실로스코프(Textronix TDS430A)와 데이터분석컴퓨터(PC)를 사용했다.

실험방법은 다음과 같다. 1) 용기안의 측정온도를 일정하게 유지한다. 2) 진공펌프를 이용하여 용기의 안을 진공상태로 만든다. 3) 진공상태의 용기

안에 마이크로실린지를 사용하여 측정량(mL)을 주입한다. 4) 전극간격을 확인한다(전극간격은 2~4 mm 정도로 적정간격을 측정자가 확인). 5) 정전용량(pF) 값과 전압값(kV)을 인가한다. 6) 점화를 시킨다(20번 정도 반복). 단, 점화가 일어나지 않은 경우에는 접지선을 이용하여 잔여 방전에너지 제거하면서 실험을 실시하였다.

실험에서 정전기 방전에너지는 다음 (1)식에 의해 산출하였다<sup>5-10)</sup>.

$$W = \frac{1}{2} \left( \frac{C_s + C_f}{C_s + C_{f_i} + C_{f_o}} \right) (C_s + C_{f_i}) V_s^2 \quad (1)$$

W : Discharge energy[mJ]

V<sub>s</sub> : Voltage applied to C<sub>s</sub>[kV]

C<sub>s</sub> : Capacitance of fixed capacitor(10~1,000pF)

C<sub>f<sub>i</sub></sub> : Resultant input stray capacitance(Measure : 11pF)

C<sub>f<sub>o</sub></sub> : Resultant output stray capacitance(Measure : 14pF)

본 연구에서는 최대 방전에너지를 128mJ(1,000 pF, 16kV)로 제한하여 실험하였으며, 점화라는 판정은 육안으로 불꽃이 보였을 때 20번 내의 동일 에너지를 주입하여 한 번의 점화가 일어나도 측정자가 점화라고 판단하였다.

### 2.2. 시료 및 실험환경

본 연구에서는 주유소에서 현재 사용하고 있는 휘발유(A, B, C, D 사의 일반 휘발유와 고급 휘발유)를 사용하였으며, 보통 옥탄가 값에 따라 고급 휘발유와 일반 휘발유로 나누어진다<sup>7)</sup>.

실험의 신뢰성을 높이기 위해 실험실의 환경을 습도 30±5%, 온도를 18±2℃로 유지하였다.

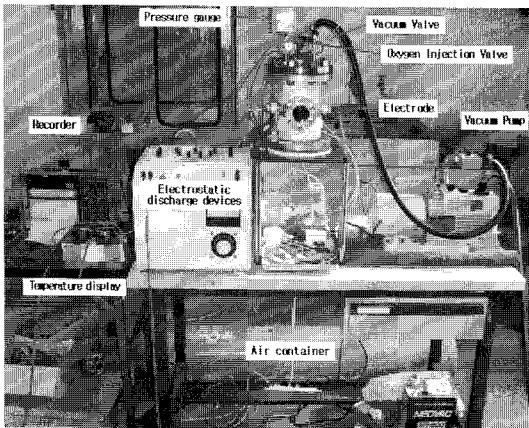
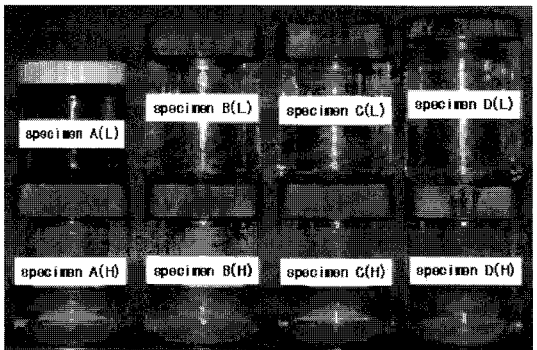


Fig. 1. Solvent ignitability apparatus.



Fig. 2. Microsyringe.



※ specimen A(L)→Regular gasoline obtained by company(A), specimen A(H)→Premium gasoline obtained by company(A)

Fig. 3. Gasoline specimens used in experiments.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. 휘발유의 점화 메커니즘

본 연구에서의 정전기 방전과 휘발유의 전형적인 점화 패턴을 Fig. 4에 나타냈다. 점화전에 실험하고자 하는 휘발유량을 폭발용기에 주입하면 휘발유가 증발되고(Fig. 4(a)) 방전에너지를 투입(Fig. 4(b))하면 순식간에 점화(Fig. 4(c))가 일어나며 소화(Fig. 4(d))가 이루어진다.

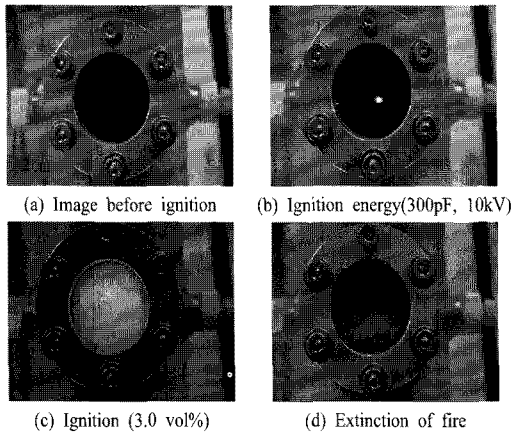


Fig. 4. Typical sequence of Ignition of gasoline.

#### 3.2. 휘발유 점화에너지 변화

##### 3.2.1. 고급 휘발유 점화에너지 변화

고급 휘발유의 점화에너지 변화를 보기위해 20°C 이하에서 실험을 한 결과 Fig. 5에서 나타난 것과 같이 점화에너지 값의 변화가 시료별로 일정하게 나타나는 것을 알 수 있으며, 시료 A의 경우 2.6vol%에서  $0.47\text{mJ} < \text{MIE} < 0.49\text{mJ}$ , 시료 B의 경우 2.8vol%에서  $0.42\text{mJ} < \text{MIE} < 0.44\text{mJ}$ , 시료 C의 경우 2.7 vol%에서  $0.47\text{mJ} < \text{MIE} < 0.49\text{mJ}$ , 시료 D의 경우 2.7 vol%에서  $0.42\text{mJ} < \text{MIE} < 0.44\text{mJ}$ 로 MIE 값을 확인하였다.

고급 휘발유의 MIE값은 주유소에서 작업자가 일반복을 착용하였을 경우 인체대전전위 3,980V의 값에 의해 방전이 발생할 경우 약 0.79mJ의<sup>8)</sup> 값보다 작으므로 화재·폭발의 가능성이 높으며, 농도변화에 따른 최소점화에너지는 2.6~2.8 vol%의 농도에서 나타나, 휘발유의 주유 등 취급시 적은 양의 유증기가 누설될 경우 점화위험성이 높은 것으로 판단된다.

또한 휘발유의 점화에 영향을 주는 성분은 옥탄가, 총방향족함량, 벤젠 등으로 고급 휘발유의 경우

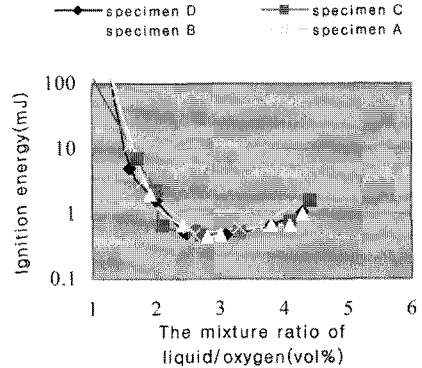


Fig. 5. Ignition energy of premium gasoline (below 20°C).

옥탄가(옥탄가 : 95 이상)<sup>4,7)</sup>의 영향이 많아 점화의 변화가 크게 없는 것으로 판단되며, 휘발유의 안전성을 확보하는데 중요한 요소라고 사료된다.

##### 3.2.2. 일반 휘발유 점화에너지 변화

일반 휘발유의 점화에너지 변화를 보기위해 20°C 이하에서 실험을 한 결과 Fig. 6에서 나타난 것과 같이 시료 A의 경우 3.2vol%에서  $0.47\text{mJ} < \text{MIE} < 0.49\text{mJ}$ , 시료 B의 경우 3.0vol%에서  $0.81\text{mJ} < \text{MIE} < 0.83\text{mJ}$ , 시료 C의 경우 2.9vol%에서  $0.53\text{mJ} < \text{MIE} < 0.55\text{mJ}$ , 시료 D의 경우 3.2vol%에서  $0.48\text{mJ} < \text{MIE} < 0.51\text{mJ}$ 의 MIE 값을 알 수 있으며, 시료 B와 C의 경우는 점화에너지 변화가 비슷하게 나타나고 있지만, 시료 A는 약간의 변화가 있고 시료 D는 변화의 차가 크게 나타나므로, 시료별 점화에너지 값의 변화가 일정하지 않게 나타나는 것을 알 수 있다.

이는 일반 휘발유(옥탄가 : 88~90 정도)<sup>4,7)</sup>의 경우 옥탄가가 높은 고급 휘발유 보다 옥탄가가 낮아 옥탄가에 영향을 주는 성분 외의 다른 성분에 영향을 받아 점화에너지 및 농도의 변화차이가 있는 것으로 판단된다.

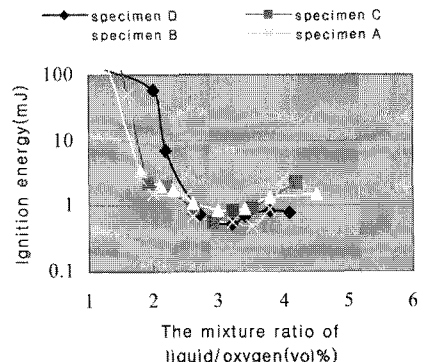


Fig. 6. Ignition energy of regular gasoline (below 20°C).

3.2.3. 휘발유의 도전율

휘발유와 같은 액체의 경우 도전율이 낮으면 액체가 대전되기 쉬우며, 정전기로 인한 점화의 위험이 있을 수 있다<sup>10)</sup>. 따라서 이번 연구에 사용된 고급 휘발유와 일반 휘발유의 도전율을 측정하였으며, 그 결과는 Table 1과 같다.

직류전압을 인가하여 휘발유의 저항값을 확인하였으며<sup>6)</sup>, 도전율  $\sigma$ [S/m]은 다음 (2)식에 의해 산출하였다.

$$\sigma = \frac{1}{kR_v} \tag{2}$$

$k$ [m] : Coefficient related to electrode, 1m

$R_v$  : Measured resistance value[ $\Omega$ ]

단, 직류전압은 100V이고, 측정 저항값은 1분 경과 후 값이며, 전극정수<sup>6)</sup>는 저항측정용 용기에 의해 정해졌다.

Table 1. Conductivity of gasoline specimens

specimen	Current [nA]	Resistance [ $\Omega$ ]	Conductivity [S/m]
A(H)	0.3	$3.33 \times 10^{11}$	$3 \times 10^{-12}$
B(H)	2.32	$4.31 \times 10^{10}$	$2.32 \times 10^{-11}$
C(H)	23.251	$4.30 \times 10^{10}$	$2.33 \times 10^{-10}$
D(H)	1.695	$5.90 \times 10^{10}$	$1.7 \times 10^{-11}$
A(L)	2.65	$3.77 \times 10^{10}$	$2.65 \times 10^{-11}$
B(L)	0.872	$1.15 \times 10^{11}$	$8.72 \times 10^{-12}$
C(L)	0.446	$2.15 \times 10^{11}$	$4.66 \times 10^{-12}$
D(L)	0.2018	$4.95 \times 10^{11}$	$2.02 \times 10^{-12}$

Table 1과 같이 고급 휘발유와 일반 휘발유의 도전율을 보면 큰 차이는 없으나  $10^{-12} \sim 10^{-10}$  S/m으로 대전경향<sup>10)</sup>이 있고, 인화점이 낮아 정전기로 인한 화재·폭발의 원인이 될 수 있다<sup>3)</sup>.

3.3. 휘발유 온도영향에 의한 점화에너지 변화

가연성 물질의 최소점화에너지는 온도에 의해 영향을 받으므로<sup>9)</sup>, 휘발유(시료 D의 일반 휘발유, 고급 휘발유)에 대한 온도별 점화에너지 변화에 대해 실험하였으며, 실험온도는 20℃ 이하, 50℃, 100℃, 150℃로 구분하였다.

Fig. 7과 같이 폭발용기의 온도를 100℃부터 측정하여 70℃, 50℃, 30℃로 온도를 하향조정하여 변화값을 체크하여 보정곡선을 나타냈으며, 이는 폭발용기에서 나사, 볼트, 액체주입구 등에 의해 미

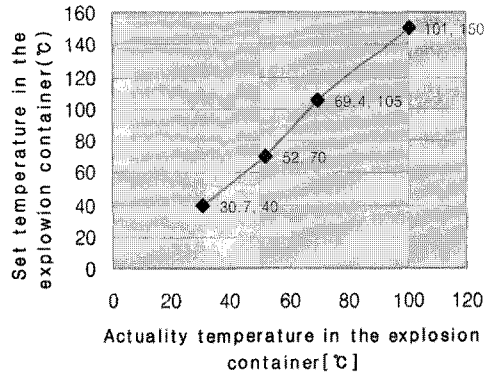


Fig. 7. Temperature change of explosion container.

세하게 온도가 외부로 유출될 수 있기 때문에 장치의 신뢰성을 확인하고자 실시하였다.

3.3.1. 고급 휘발유의 온도별 점화에너지 변화

Fig. 8은 시료 D의 고급 휘발유를 20℃ 이하, 50℃, 100℃, 150℃로 온도를 변화하여 점화에너지 값을 실험한 결과이며, 2.7vol%에서 20℃일 때  $0.42\text{mJ} < \text{MIE} < 0.44\text{mJ}$ , 3.1vol%에서 50℃일 때  $0.42\text{mJ} < \text{MIE} < 0.44\text{mJ}$ , 3.5vol%에서 100℃일 때  $0.42\text{mJ} < \text{MIE} < 0.44\text{mJ}$ , 2.7vol%에서 150℃일 때  $0.26\text{mJ} < \text{MIE} < 0.29\text{mJ}$ 로 나타났다.

고급 휘발유의 경우, 100℃까지는 온도별 정확한 변화를 확인할 수는 없지만 150℃일 때 최소점화에너지가 매우 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 휘발유의 옥탄가에 영향을 주는 성분들도 150℃와 같은 높은 온도에서는 점화의 위험성이 높아지는 것을 확인할 수 있다.

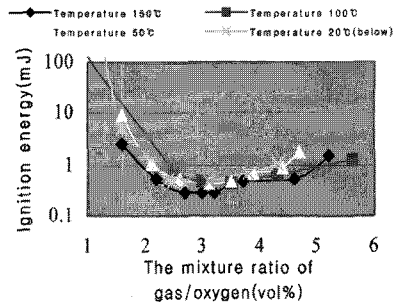


Fig. 8. Ignition energy of premium gasoline under various temperature (Specimen D).

3.3.2. 일반 휘발유의 온도별 점화에너지 변화

Fig. 9는 시료 D의 일반 휘발유를 20℃ 이하, 50℃, 100℃, 150℃로 온도를 변화하여 점화에너지 값을 실험한 결과이며, 3.2vol%에서 20℃일 때  $0.48\text{mJ} <$

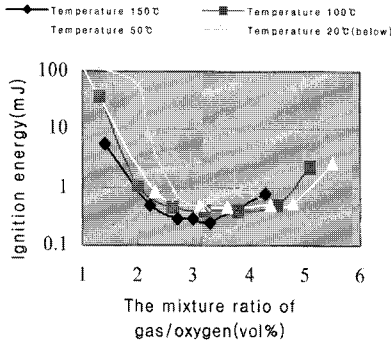


Fig. 9. Ignition energy of regular gasoline under various temperature(Specimen D).

MIE < 0.51mJ, 3.6vol%에서 50°C일 때 0.42mJ < MIE < 0.44mJ, 3.2vol%에서 100°C일 때 0.36mJ < MIE < 0.38mJ, 3.3vol%에서 150°C일 때 0.24mJ < MIE < 0.25mJ로 나타났다.

일반 휘발유의 경우, 고급 휘발유와는 달리 온도의 변화에 따라 최소점화에너지의 변화가 있는 것을 확인할 수 있으며, 온도에 의해 휘발유의 점화위험성이 높아지는 것을 알 수 있다.

또한 3.8vol% 이상에서 점화에너지 변화가 일정하지 않는 것은 Fig. 10에서 보여 지는 바와 같이 농도가 포화상태로 변환되는 곳으로 온도의 변화(50°C, 100°C)가 옥탄가와 다른 성분에 영향을 미쳐 점화의 변화가 있는 것으로 판단된다.

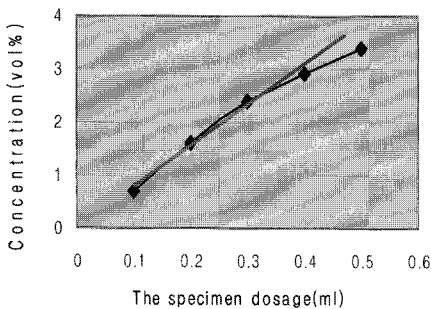


Fig. 10. Relation between specimen dosage and concentration.

#### 4. 결론

본 연구는 실제 주유소에 사용하는 휘발유에 대해 정전기 방전으로 인한 점화위험성을 고찰하기 위해 시료별 일반휘발유와 고급휘발유의 최소점화에너지와 도전을, 온도의 영향에 대해 분석하였으며, 아래와 같은 결론을 얻었다.

1) 주유소에서 유통되고 있는 고급휘발유의 경

우 20°C 이하에서는 점화에 영향을 주는 성분의 종류 중 옥탄가에 영향을 주는 성분이 점화에 많은 영향을 미쳐 점화에너지의 변화가 거의 없는 것을 알 수 있으며, 이러한 옥탄가의 성분을 감안하여 고급휘발유의 경우 실험에서 나타난 최소점화에너지를 통해 적합한 기준 및 안전대책이 수립되어야 할 것으로 판단된다.

2) 일반 휘발유의 경우 20°C 이하에서는 점화에 영향을 주는 옥탄가의 성분이 고급 휘발유보다 함유량이 적어 옥탄가와 다른 성분들의 영향을 받아 점화에너지 변화가 일정하지 않는 것을 알 수 있다. 따라서 일반 휘발유에 대해서는 업체별 최소점화에너지 값에 대해 업체별 관리가 필요할 것으로 판단된다.

3) 고급 휘발유와 일반 휘발유의 도전을 확인한 결과 두 휘발유 모두 값의 변화가 크지 않으나 도전을 이 보통  $10^{12} \sim 10^{10} S/m$ 로 나타나 대전의 위험성이 있으므로 정전기로 인한 화재·폭발의 원인이 될 가능성이 높음을 알 수 있었다.

4) 고급 휘발유의 경우 온도의 변화에 따라 점화의 영향이 크게 미치는 것은 아니지만, 150°C일 때 0.24mJ < MIE < 0.25mJ로 다른 최소점화에너지보다 낮게 나타났으며, 일반 휘발유의 경우에는 온도의 변화에 따라 최소점화에너지가 낮아지는 것으로 보아 고급 휘발유보다 온도의 영향이 큰 것을 알 수 있다. 하지만, 150°C와 같은 높은 온도에서는 최소점화에너지가 모두 낮아지므로 차량 주유시 차량의 엔진부 온도 등에<sup>1)</sup> 의해 휘발유가 영향을 받아 작은 정전기 방전에너지로도 점화의 위험성이 있기 때문에 온도 및 정전기 제거 등 관리를 통하여 안전성을 확보하여야 한다고 판단된다.

감사의 글 : 본 연구는 지식경제부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- 1) 한국주유소협회, <http://www.ikosa.or.kr>
- 2) 소방방재청, <http://www.nema.go.kr>
- 3) 한국산업안전보건공단, <http://www.kosha.or.kr>
- 4) 한국석유관리원, <http://www.kipeq.or.kr>
- 5) Measurement of ignition energies and explosion limits for organic solvent vapors, featuring temperature characteristics, 安全工學, Vol. 47, No. 2, pp. 84~91, 2008.

- 6) 산업자원부 기술표준원, “정전기 안전 실무 지침”, pp. 165~168, 2003.
- 7) 김진걸, 최영록, “자동차정비교본”, pp. 110, 2008.
- 8) 이금환, 정재희, “가스충전소에서 작업복의 정전기 안전관리에 관한 연구”, 한국안전학회지, 제24권, 제6호, pp. 39~44, 2009.
- 9) 이덕출, 정재희, “산업전방에 걸친 정전기재해와 장해방지”, 성안당, pp. 6~7, 1996.
- 10) 김두현외 4명, “정전기안전”, 신광문화사, pp. 46~47, 2001.
- 11) 임성목외 4명, “자동차 엔진 화재용 자동 소화 시스템 개발에 관한 연구”, 한국소방학회 학술발표회, pp. 57~61, 1996.