

## 계절적, 지역적 온도 변화에 따른 석유류 체적의 변화

임 기 원<sup>\*†</sup>

\* 한국표준과학연구원 유동음향센터

### Volume Variation of Liquid Fuel by Seasonal, Regional Temperature Changes

Ki Won LIM<sup>\*†</sup>

\*Korea Research Institute of Standards and Science Center for Fluid Flow & Acoustics

(Received July 23, 2013 ; Revised November 5, 2013 ; Accepted December 4, 2013)

**Key Words:** Liquid Fuel(액체 연료), Thermal Expansion Coefficient(열 팽창계수), Automatic Temperature Compensator(자동 온도 보상장치), Flow Measurement(유량 측정), Gas Station(주유소), Petroleum(석유)

**초록:** 주유소에서 거래되는 액체 연료인 석유류는 온도 변화에 따라 팽창과 수축하게 된다. 석유류의 체적팽창계수는 약 0.1 %/°C 이고, 우리나라의 기온은 겨울철에는 -15 °C, 여름철에는 35 °C까지 변한다. 온도 변화에 따른 체적의 변화가 석유류 거래에 미치는 영향을 조사하기 위해 주유소에 저장된 연료와 주유되는 연료의 온도 변화를 측정하였다. 또 우리나라의 지난 50 년간의 일간, 월간, 년간 온도 변화를 고찰하였다. 지하 저장탱크의 유류 온도는 계절에 관계없이 하루 중 안정되게 유지되었다. 주유소 주위의 환경 조건과 위치, 주유 빈도등이 주유되는 유류의 온도에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 이러한 연구 결과는 건전한 석유류의 거래와 관련 법령의 제정에 활용될 것이다.

**Abstract:** At gas stations, liquid fuels expand and contract in volume owing to temperature variations. In Korea, the ambient temperature varies between -15 °C in winter and 35 °C in summer. The volume expansion coefficients of liquid fuels are about 0.1 %/°C. To investigate this issue, we measured daily changes in fuel temperature and the delivered fuel temperature at gas stations. In addition, we scrutinized the daily, monthly, and annual changes in temperature over past 50 years in Korea. The results show that the temperature of the fuel in the storage tank was maintained at a stable value(summer or winter). Many factors, such as the surrounding conditions, fuel filling frequency, and gas station location, influence the delivered fuel temperature. The results of this study can be applied for establishing a national regulation and will contribute to fair transactions.

#### 1. 서 론

석유류 가격이 급등함에 따라 운전자들은 연료 가격에 대해 민감해지고 있다. 자동차 연료인 휘발유와 경유 및 난방용 연료인 등유의 거래에서 온도 변화에 따른 체적의 팽창과 수축이 발생한다.

연료유의 거래는 정유소에서 주유소를 거쳐 최종 소비자에게 전달된다. 거래의 기준은 주유기에 설치된 유량계 측정값이 되고 유량계의 정확도는 중량측정법(Gravimetric method) 또는 부피측정법

(Volumetric method)으로 검증하게 된다.<sup>(1)</sup>

연료유의 거래에서 중량측정법은 연료의 질량이 거래 기준이며 일반적으로 온도를 측정하여 부피의 변화를 보정하게 된다. 이 방법은 연료의 대량 소비자인 철도청 또는 군부대등과 정유소간의 거래나 정유소와 일부 주유소에서 선택적으로 채택한다. 부피측정법은 온도 변화에 따른 부피의 변화를 고려하지 않고 유량계의 부피 측정값을 기준으로 거래하는 방법으로 주유소와 소비자간 거래가 대표적이다.

원유를 비등점에 따라 정제하면 비중이 0.65~0.95 사이의 연료유를 얻을 수 있다. 휘발유는 15 °C에서 약 0.7±0.01, 등유는 약 0.8±0.01, 경유는 약 0.825±0.1 의 비중을 갖는다. 연료유의 주성분은

† Corresponding Author, kwlim@kriss.re.kr

© 2014 The Korean Society of Mechanical Engineers

파라핀계 탄화수소, 나프텐계 탄화수소, 방향족 탄화수소 화합물이 주성분을 이루며 그 외에 유황, 산소, 질소 화합물이 포함되어 있다.

체적 팽창계수는 약 0.1 %/℃(휘발유 0.09 %/℃, 경유 0.11 %/℃)로서<sup>(2)</sup> 주유소와 소비자간에는 부피 기준으로 대부분 거래가 이루어지므로 당사자 사이에 이익과 손해에 직접적으로 영향을 미친다. 2012년 우리나라의 주유소는 약 13000개이고, 경기에 따라 약간의 차이를 보이지만 연간 약 8억 배럴 정도의 유류를 소비하고 있다.<sup>(3)</sup>

우리나라의 겨울과 여름의 기온 변화는 동절기 약 -15℃에서 하절기에는 약 35℃ 정도로 계절적인 편차가 크고, 연간 주기적으로 등락을 반복한다. 지역적으로는 제주도부터 휴전선 인근까지 남북으로 약 600km 이고, 동서 해안선 사이의 거리는 약 350km 떨어져 있으며 또 내륙과 바닷가에서 온도 변화 형태가 다르다. 계절적으로도 다양한 온도 변화를 보이며 석유류의 체적 변화에 직접 영향을 미친다.

지중 온도는 토출된 기름의 온도에 직접적으로 영향을 미친다. 저장 탱크가 매장되어 있는 지중 온도 변화는 동절기와 하절기에 평균 온도가 각각 약 5℃와 25℃인데 기온 보다 변화의 폭이 작다. 주유기로 토출되는 과정에서 관로 또는 주유기 내부에 있는 유류가 주위의 온도에 영향을 받는다.

석유류 거래에서 유량 측정은 온도 영향을 고려하여 15℃를 기준으로 하나 우리나라는 특별한 기준이 없어서 당사자 간의 합의에 의해 체적측정법이나 중량측정법으로 거래한다. 연료의 대량 소비처나 저유소와 주유소간의 거래는 당사자간의 합의로 거래하나 주유소에서 운전자들은 체적 단위로 거래하고 있다.

유류의 온도에 따른 팽창과 수축은 거래 당사자 간의 이익에 직결된다. 각국에서는 공정 거래를 위해 제도적으로 보장하고 있다. 캐나다의 경우는 자동온도보정장치(ATC, Automatic Temperature Compensator)부착을 법으로 의무화하고 있으며, 또 몇몇 나라<sup>(4,5)</sup>에서는 석유류 거래에 있어서 온도에 따른 부피 변화의 보정을 명문화하고 있다.

기후가 비교적 따뜻한 미국의 하와이주는 거래의 기준 온도를 25℃로 바꾸어서 공정성을 유지하고 있다. 우리나라는 주유기를 20L 전량탱크로 주기적으로 측정하여 0.75% 이내의 불확도가 유지되도록 법으로 정하고 있다. 그런데 온도 팽창에 대한 고려가 없기 때문 측정의 결과가 규정 이내로 유지되더라도 실제의 유류의 양은 법에서

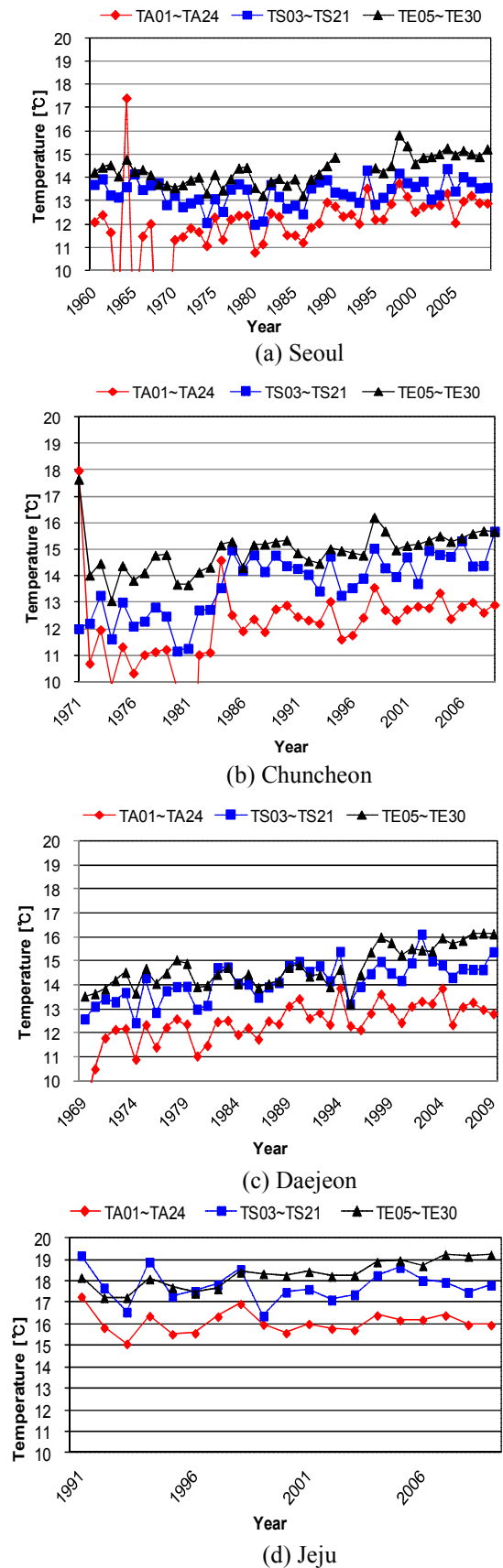


Fig. 1 Annual temperature averages in major cities

정한 한계를 벗어날 수 있어서 맹점으로 지적되고 있다.

본 연구에서는 온도에 의한 팽창과 수축이 상거래에 미치는 영향을 정량적으로 조사하기 위해 기상청에서 측정된 과거 50 년간의 기온과 지중온도 변화를 조사하였다. 지역별로 선택된 몇 개의 주유소에서 계절별로 유류의 온도와 기온의 상관 관계를 규명하기 위한 실험을 수행하였다. 또 자동차의 주유 과정과 같이 5 L 씩 기름을 토출하면서 온도의 변화를 측정하였다. 본 연구의 결과는 온도에 따른 석유류 체적의 팽창과 수축에 대한 보정의 타당성을 판단하는데 기여할 것으로 기대된다.

## 2. 기상청 측정 온도 변화의 특성

기상청에서는 일정한 주기로 온도를 측정하여 활용하고 있다. Fig. 1 에 표시된 기온(TA01-TA24)의 경우는 매시간 측정하고, 지표온도(TS03-TS21)는 6 시간마다, 지중온도(TE05-TE30)는 매일 오전 9 시에 측정하여 기록한다. 주유소 저장탱크는 지하 0.6 m 에 약 3.6 m 사이에 매설되어 있고 기상청의 지중온도 중 지표에서 깊이 0.5 m(TE05), 1 m(TE10), 1.5 m(TE15), 5 m(TE50)의 측정값의 평균을 조사하였다. 지중온도는 농업에 활용하기 위한 목적으로 측정을 시작하여 현재 13 개 지방 기상청에서 측정하고 있다. 측정 도시를 살펴보면 북쪽에서부터 춘천, 강릉, 서울, 울릉도, 인천, 수원, 대전, 포항, 부산 목포, 여수와 제주이고 측정기간은 최장 50 년전부터 측정된 도시와 10 년전부터 측정된 도시도 있다.

Fig. 1 은 지하에 저장된 석유류의 온도에 직접적으로 영향을 미치는 기온, 지표 온도 및 지중온도의 년 평균 변화를 나타낸 것이다. 우리나라의 지역적 계절적 특성을 반영한다고 판단된 서울, 춘천, 대전 및 제주를 선택하였다. 측정을 시작한 초기에 온도가 급작스런 변화를 보이는 부분은 측정기록이 계절적으로 편중되어 있어서 나타난 현상으로 평균에 대한 신뢰성은 떨어지나 전체적인 온도 변화의 기록은 유의미하다고 판단하였다.

위도에 관계 없이 지중평균 온도가 가장 높고, 지표온도, 기온이 제일 낮았고, 북쪽에 위치한 도시의 평균 온도가 낮았고 남쪽으로 갈수록 온도가 높았다. 특히 온도가 점진적으로 상승하는 온난화의 경향을 보이고 있으며 앞으로 거래 당사자간의 논쟁이 첨예화 할 것으로 예상 할 수 있다. 지하에 저장된 유류의 온도에 직접적으로 영향을 미치

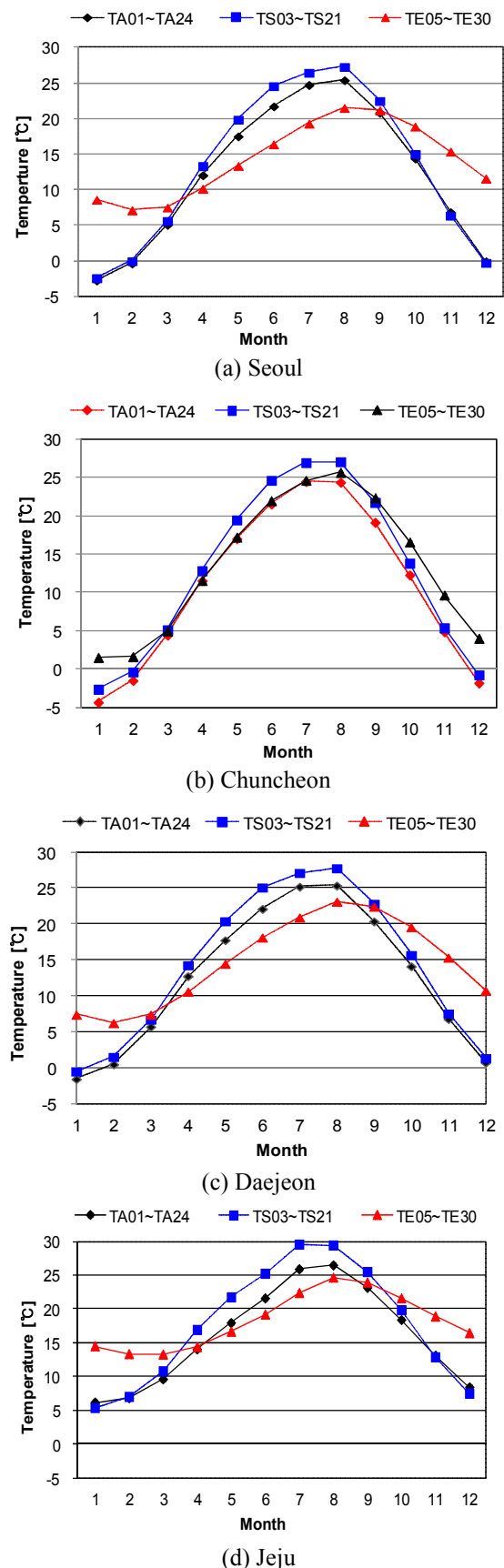


Fig. 2 Monthly temperature averages in major cities

는 지중온도의 평균은 서울과 춘천이 약 14 °C, 대전이 15 °C이고 제주는 약 18 °C로 약 4 °C 차이를 보이고 있다.

Fig. 2 는 4 개 도시의 월평균 온도를 나타낸 것이다. 월별로 연간 변화는 지표면의 온도 변화가 크고 지중온도는 상대적으로 낮았다. 지중 온도는 2 월이 가장 낮으며 추운 지방인 춘천의 경우는 1 월이 가장 낮았고, 하절기는 9 월이 가장 높았다.

기온이 높거나 낮은 1 월과 8 월에 비해 약 1 달 정도 시간 차이가 있으며 구체적으로 2 월상순과 9 월 상순이 최저와 최고 값을 보인다. 또 3,4 월과 9, 10 월에는 지중온도와 기온의 최고 값이 바뀌게 된다. 지역적으로 기후에 따라 이러한 시점이 약간의 차이를 보이며 이는 거래의 당사자인 운전자와 주유소의 손익이 바뀌는 시점이 되는 것이다. 최고 지중 온도는 21 °C-25 °C 사이이고, 최저 온도는 -5 °C-13 °C 로서 지역에 따라 편차가 크다. 8, 9 월에는 주유소가 거래에서 가장 유리하고, 1,2 월에는 운전자가 유리한 것을 알 수 있다.

Fig.3 은 기상청에서 측정한 13 개도시의 지중온도의 년 평균과 최고, 최저의 월평균 온도를 나타낸 것이다. 왼쪽에서부터 북쪽에 위치한 도시를 나열했으며 평균 온도는 14 °C와 18 °C 사이에 분포하며 대체로 남쪽으로 갈수록 점진적으로 높아지고 있다. 최고 온도와 최저 온도의 변화는 지역적으로 특별한 경향을 보이지는 않았다. 내륙에 위치한 춘천과 대전의 경우 차이가 크나 목포의 경우도 변화가 큰 편이었다. 15 °C를 기준으로 체적의 변화율을 보면 춘천에서는 1.1 %- 1.3 % 정도로 체적이 변하고 있다. 반면 변화폭이 적은 제주도는 0.9 %- 0.4 %의 변화를 보이고 있음을 알 수 있다.

Fig. 4 는 운전자가 매월 같은 량의 연료를 주유했을 때 지중 월평균온도를 기준으로 온도에 의한 팽창과 수축에 따르는 체적 변화의 연간 누적량을 나타낸 것이다. 국토의 중심에 위치한 대전을 기준으로 북쪽은 수축하고 남쪽은 팽창하고 있음을 보여주고 있다. 춘천의 경우는 주유소가 연간 2 %의 손해를 보고 제주의 경우 운전자가 연간 4 % 이상 손해를 보고 있음을 의미한다. 지역적으로 편차가 심하며 서로의 이해가 다를 수 있다. 평균 지중 온도를 기준으로 나타낸 것으로 실제 주유했 때는 주유소의 위치에 따라 이러한 편차가 더욱 커질 것으로 생각된다. 공정성의 측면에서 석유거래의 온도에 따른 부피 보정의 필요성을 시사하고 있음을 보여준다고 할 수 있다.

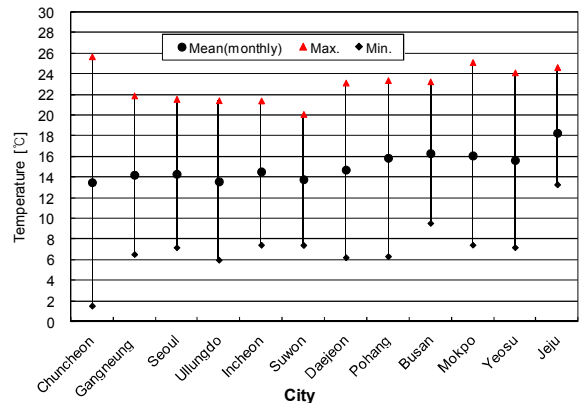


Fig. 3 Average, Max. and Min. ground temperatures in major cities

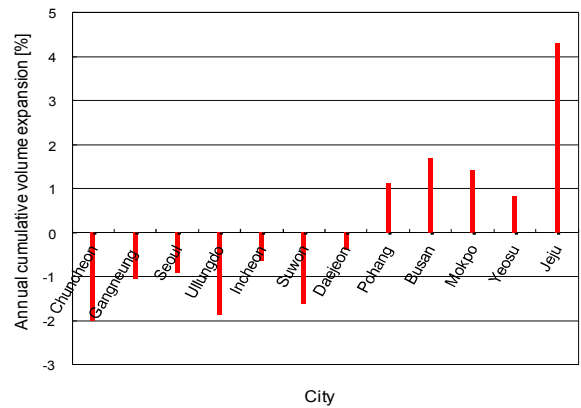


Fig. 4 Annual cumulative volume expansion of gasoline due to temperature for one year in major cities

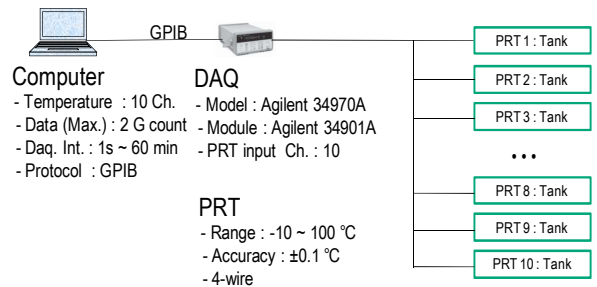


Fig. 5 Data acquisition system

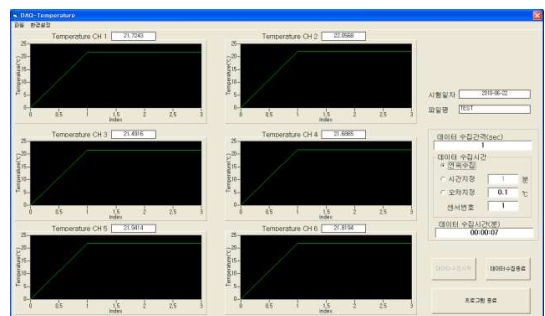


Fig. 6 Display of data acquisition system

### 3. 실험 장치

주유소에서 석유류 거래는 지하에 저장된 기름을 주유기로 판매한다. 하루 중 지하 저장탱크의 기름 온도의 변화와 주유할 때 자동차에 주유된 기름의 온도를 측정할 수 있도록 실험장치를 설계하였다.

Fig. 5 와 같이 백금저항 온도센서(PRT, Platinum Resistance Thermometer), 데이터 수집장치(Agilent 34970A)와 기록을 위한 컴퓨터로 구성되어 있다. 온도센서는 측정범위가  $-10^{\circ}\text{C}$ 에서  $100^{\circ}\text{C}$ 이고 불확도는  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  이내인 10 개를 사용하고 측정된 온도는 데이터 수집장치를 거쳐 컴퓨터에 10 분마다 기록된다.

측정된 온도는 Fig. 6 과 같이 기록과 동시에 화면에 표시되어 실시간으로 관찰이 가능하다. 온도의 변화는 각각의 지하 저장탱크에 온도센서를 설치하고 주유소 주변의 기온과 동시에 측정하며 24 시간 동안 측정하였다. 하루 동안 주유소 주변의 온도가 주기적으로 등락을 반복하는 과정에서 지하에 저장된 석유류의 온도 변화를 관찰하기 위한 것이다. 실험 시기는 동절기와 하절기 및 하루 중 온도의 변화가 큰 봄 가을에 실험 하였다.

토출 실험에서는 캐나다의 Measurement Canada<sup>(6)</sup>에서 추천하는 자동온도보상장치 성능평가방법(ATC performance test method)에 따라 실험하였다. 주유소에서 5 L 씩 토출하면서 온도를 측정하였고 동시에 주위의 대기 온도를 측정하였다. 이러한 방법은 실제 자동차에 주유할 때와 같은 방법으로 저장탱크에서부터 주유기까지 기름이 유동하는 과정에서 온도의 변화를 관찰하기 위한 실험이었다.

### 4. 실험 결과 및 논의

Fig. 7 은 지하 저장탱크에 저장된 석유류와 외부의 기온과 상관 관계를 평가하기 위한 것으로 지하 저장탱크에서 온도와 기온 및 기상청에서 측정한 기온을 나타낸 것이다. 서울과 춘천 사이에 위치한 “S” 주유소에서 3 월 10 일 측정된 결과이다. 지리적으로 북쪽 산악지형에 위치하고 계절적으로 일교차가 큰 특징을 가지고 있다.

기상청에서 측정한 온도는  $-2^{\circ}\text{C}$ 와  $5^{\circ}\text{C}$  인 반면 주유소에서 측정한 기온은  $-5^{\circ}\text{C}$ 와  $5^{\circ}\text{C}$  사이에서 약  $10^{\circ}\text{C}$  범위에서 급격히 변화하는 경향을 보였다. 휘발유, 경유, 등유가 저장된 지하탱크에서의 유류의 온도는 약  $5^{\circ}\text{C}$ 와  $6^{\circ}\text{C}$  사이로 24

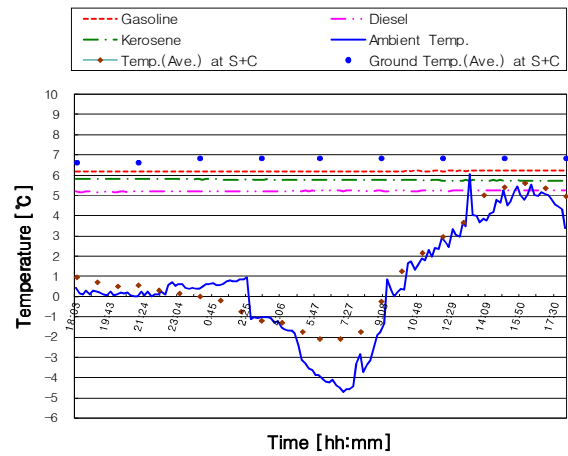


Fig. 7 Temperature variation of storage tank at gas station C on 10 March

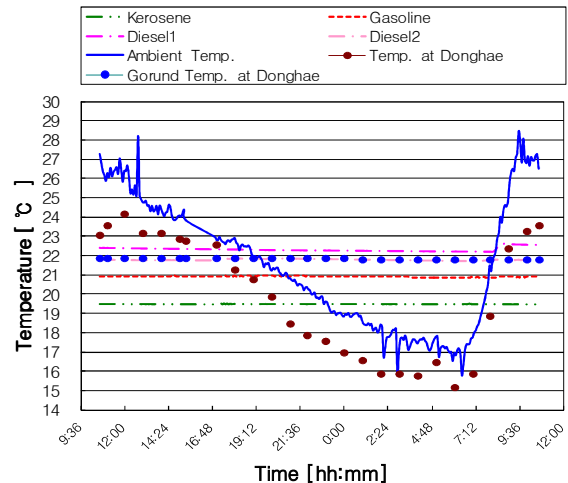


Fig. 8 Temperature variation of storage tank at gas station C on 15 September

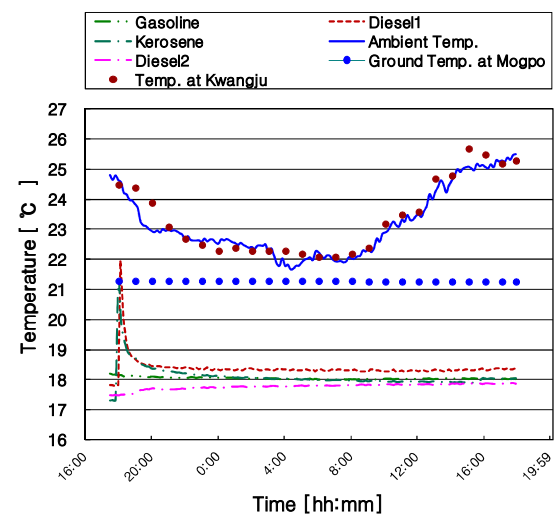


Fig. 9 Temperature variation of storage tank at gas station W on 30 June



시간 동안 안정된 값으로 유지되고 기상청에서 측정한 지중온도는 6 °C와 7 °C 사이에서 유지되었다.

2 곳의 온도가 약간의 차이를 보이는 것은 지형적인 이유로 생각되며 저장탱크에 저장된 석유류는 기온의 변화에도 불구하고 하루 중 안정되게 유지되고 있음을 알 수 있다.

Fig. 8 은 동해시에 위치한 “C” 주유소에서 9 월 13 일 측정된 온도를 나타낸 것이다. 9 월 초중순의 경우 기상청 온도 데이터에 의하면 지중의 온도가 최고점에 이르고 밤낮의 기온차도 큰 편이다. 기상청에서 측정한 기온은 15 °C에서 24 °C 인 반면 주유소에서 측정한 기온은 16 °C 에서 28 °C 로 변화가 큰 편이었다. 지하에 저장 된 석유류는 21 °C에서 22 °C 사이로 하루 중 안정되게 유지 되었다. Fig. 7 과 같이 저장 탱크 별로 약간의 차이를 보이고 있고, 기상청과 주유소에서 측정한 기온이 차이를 보이는데 이 역시 지형적인 이유로 판단된다.

Fig. 9 는 6 월 30 일 나주 근처의 “W” 주유소에서 측정 온도를 나타낸 것이다. 날씨는 장마가 시작되는 시점으로 덥고 습한 날씨였다. 기온의 변화는 22 °C에서 26 °C 사이로 변화가 비교적 적었고, 광주 기상청의 측정 기온도 비슷한 결과를 보였다. 기상청의 지중온도와 약 3 °C 차이를 보이는데 가장 가까운 거리인 목포에서 측정한 결과이기 때문 이러한 결과를 보이는 것으로 생각된다.

4 개의 저장탱크에 저장된 각각 유류의 온도는  $18 \pm 0.5$  °C로서 24 시간동안 안정되게 유지되었다. 다만 경유와 등유의 온도가 오후 5 시경 22 °C 까지 급격한 상승을 보였다가 7 시간 후 18 °C 근처로 안정되고 있음을 알 수 있다. 이는 온도 변화를 측정하는 동안 저유소부터 수송된 기름이 채워졌기 때문이다. 약 17 °C 온도가 유지되던 탱크 내부에 높은 온도의 기름이 유입되어 나타난 현상으로 기존의 기름과 보충된 기름의 체적을 고려하면 보충된 기름의 온도는 26 °C 이상이였음을 알 수 있다. 저유소로부터 배송된 26 °C 기름이 약 7 시간 후 18 °C로 약 8 °C로 변한 것이다. 체적 변화로 환산해보면 온도에 따른 수축으로 0.8 %가 줄어든 것이다.

이상과 같이 Fig. 7, 8, 9 에서 살펴 보았듯이 지하 저장탱크에 저장된 석유류는 외부의 기온이 10 °C이상 변화여도 계절에 관계없이 하루중  $\pm 0.2$  °C 이내로 안정을 유지하는 것을 알 수 있다. 이는 기상청의 측정결과와 유사한 결과를 보인다.

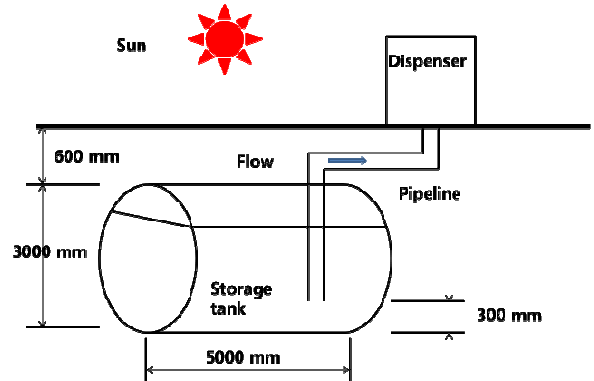
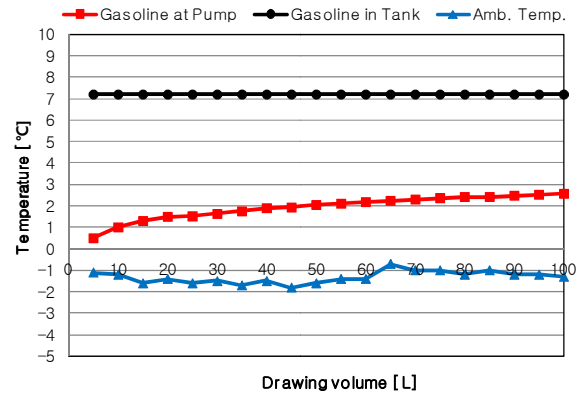
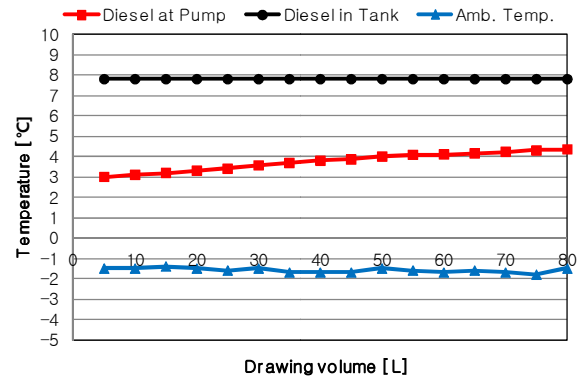


Fig. 10 Schematic illustration of storage tank under the ground



(a) Gasoline



(b) Diesel

Fig. 11 Temperature of drawing fuel at gas station S on 13 January

다만 같은 주유소라도 개울가나 빌딩 사이 등 주유소의 위치에 따른 환경적인 요인에 따라 1-2 °C 정도의 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

한편 지하에 저장된 석유류가 자동차로 주유될 때 석유류의 온도에 미치는 영향 요소를 살펴볼 필요가 있다. Fig. 10 은 지하 저장탱크의 구조를 나타낸 것이다. 일반적인 저장탱크의 크기는 직경이 3000 mm 이고 길이는 약 5000 mm 로 지하의

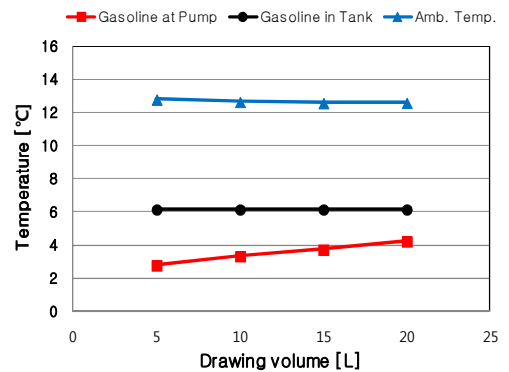
600 mm 아래에 설치되도록 법으로 규정되어 있다.<sup>(7)</sup> 지표면과 저장탱크 사이의 공간으로 저장탱크와 주유기가 연결되어 있으며 탱크의 지하 바닥으로부터 약 300 mm의 위치에서 기름이 주유기로 유동하게 된다. 관로의 크기는 수십 mm 이상이고 길이는 수 m에서 수십 m로 주유소의 사정에 따라 다르다.

주유를 시작하면 관로에 저장된 기름이 우선 주유되기 때문에 관로의 있던 기름의 온도가 주유된 기름의 온도에 직접영향을 미친다. 연결 관로는 비교적 지표에 가까이 있으므로 저장탱크에 저장된 석유류와 달리 외부의 기온에 영향을 많이 받는다. 관로에 저장되어 있는 석유류의 체적은 주유소마다 다르므로 일괄적으로 표현할 수 없다.

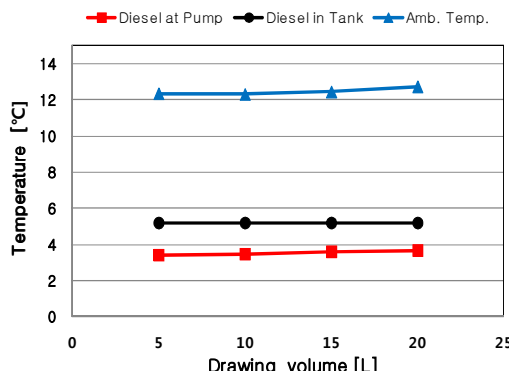
이러한 영향을 평가하기 위해 자동차의 실제 주유와 같이 5 L 씩 주유하면서 온도를 측정하였다. 이때 저장된 기름의 온도와 주유소 대기의 온도를 동시에 측정하여 변화를 관찰하였다. Fig. 11은 혹한기라고 할 수 있는 1월 중순 서울과 춘천 사이의 “S” 주유소에서 휘발유와 경유 토출 실험의 결과를 나타낸 것이다. 기온은 영하 1 °C와 2 °C 사이이고 지하에 저장된 휘발유의 온도는 약 7 °C였다. 토출량은 약 100 L 이고 처음에는 약 0 °C에서 약 2 °C가 증가하는 것을 알 수 있다. 경유는 지하 저장탱크에서 온도는 약 8 °C이고 토출된 경유의 온도는 약 3 °C에서 약 4.5 °C로 약 1.5 °C 상승했다.

주유초기에는 외부의 온도에 영향을 쉽게 받는 관로등에 충전된 기름이 토출되다가 점차 저장탱크에 저장된 상대적으로 높은 온도의 기름이 토출되는 것을 알 수 있다. 토출량이 증가함에 따라 기름의 온도가 점진적으로 상승하고 있으며 같은 주유소에서도 상승의 정도와 저장탱크의 온도가 다를 수 있다. 이러한 현상은 Fig. 10에서 알 수 있듯이 관로의 크기 등 구조적인 형상뿐만 아니라 주유의 빈도 등이 이러한 토출 온도의 변화에 영향을 미치고 있다.

Fig. 12는 일교차가 큰 3월 중순에 “S” 주유소의 토출 실험의 결과이다. 휘발유와 경유를 5 L 씩 20 L 까지 토출했으며 온도의 변화가 상대적으로 작았다. 기온은 약 12 °C 이고 저장탱크에서의 온도는 약 6 °C로 측정되었다. 휘발유의 경우 약 2 °C에서 토출량이 증가하면 온도가 높아지고 최종적으로 저장탱크에서의 온도와 같아질 것으로 예상할 수 있다. 경유는 휘발유와 비슷한 기온과 저장탱크의 온도에서 실험한 결과 온도의 상승이

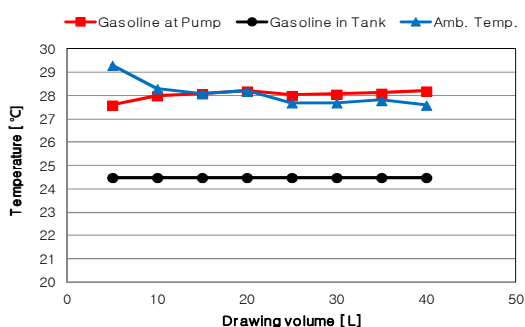


(a) Gasoline

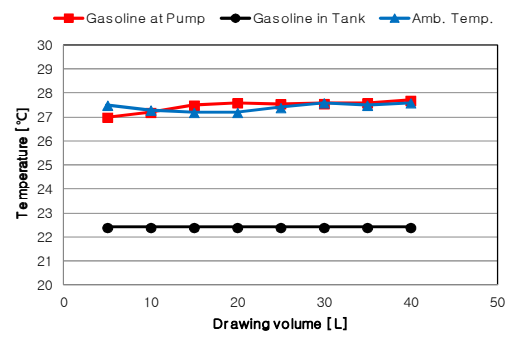


(b) Diesel

Fig. 12 Temperature of drawing fuel at gas station S on 3 March, gasoline & diesel

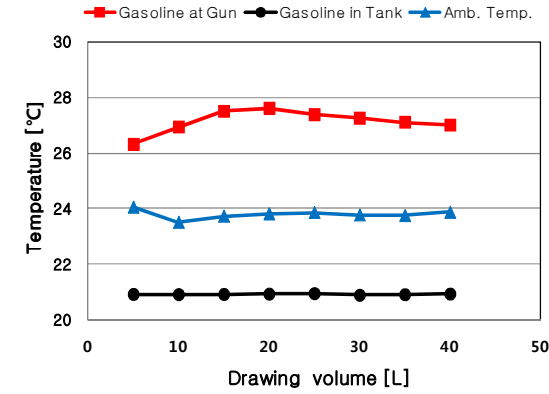


(a) Gasoline

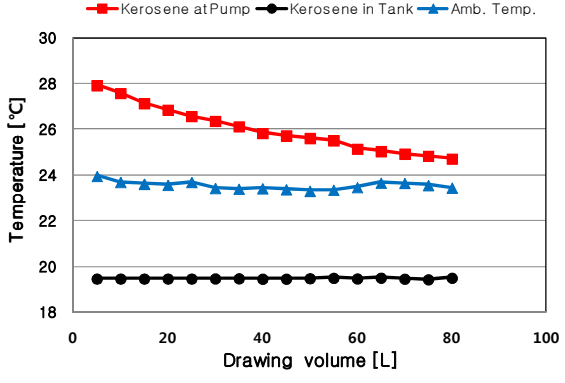


(b) Gasoline

Fig. 13 Temperature of drawing fuel at gas station S on 10 August, gasoline & gasoline



(a) Gasoline



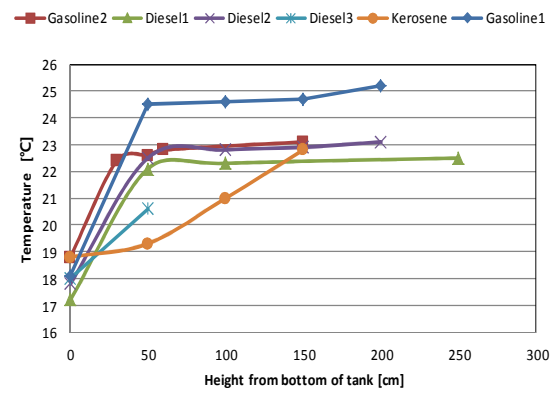
(b) Kerosene

Fig. 14 Temperature of drawing fuel at gas station C on 11 September, gasoline & kerosene

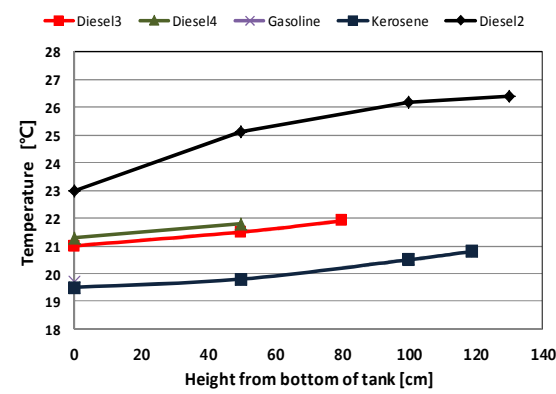
0.5 °C 정도로 상대적으로 작았다. 서로의 경향이 다른 것은 직전의 주유량에 따른 결과에 기인한다고 생각된다.

Fig. 13 은 8 월 30 일 “S” 주유소에서 2 개의 서로 다른 휘발유 탱크로부터 토출한 실험의 결과이다. 기상청에서 측정 한 지중온도는 8 월 말과 9 월 초에 가장 높은 온도를 보였다. 주유소의 대기 온도는 27 °C와 29 °C이고 전형적인 여름의 날씨였다. 지하에 저장된 휘발유의 온도는 22 °C와 23 °C 사이이고 기온과 차이는 4 °C-7 °C 이었다. 40 L 를 토출하는 동안 휘발유의 온도는 약 28 °C 를 유지하고 있다. 기준 온도 15 °C보다 약 13 °C 높은 온도를 보이고 있으며 이는 운전자가 1.3 %의 손해를 본다는 것을 의미한다. 또 겨울철 측정 결과인 Fig. 11 에서 주유소가 1.1 %-1.2 % 손해를 보는 경우와 반대의 결과이다.

한편 9 월 15 일에 동해시에 위치한 “C” 주유소의 휘발유와 등유의 토출 실험 결과는 Fig. 14 에 나타났다. 기온은 약 24 °C이고 저장탱크의 온도는 휘발유가 약 21 °C, 등유가 약 20 °C 이었다. 토출하는 동안 온도는 휘발유의 경우 26 °C에서



(a) Experiment results on 30 August



(b) Experiment results on 30 September

Fig. 15 Temperature variations in tank

약간 증가하다가 27 °C로 안정되었고 등유의 경우는 최초 28 °C에서 토출량이 증가 할수록 낮아져 약 25 °C까지 감소하였다. 같은 주유소에서도 토출된유류의 온도도 다른 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 토출량을 증가 시키면 지하탱크의 온도와 같을 것으로 생각되지만 전회의 주유 빈도 또는 주유량에 따라 나타나는 특성이라고 할 수 있다.

Fig. 15 는 탱크 내부의 온도를 바닥으로부터 50 cm 간격으로 측정 한 것이다. Fig. 15(a)는 8 월 30 일 측정 한 온도를 나타내며 전형적인 여름의 무더운 날씨였다.

6 개의 탱크 모두 바닥에서 17 °C-19 °C사이의 최저 온도를 보이고 높이 약 50 cm 까지 20 °C-25 °C 사이로 급격한 증가를 보였으며 이후에는 안정된 온도를 유지하고 있었다. 지표면이 상대적으로 높은 온도를 유지하고 있으므로 지표에서 전달된 열에 의한 것임을 알 수 있다.

Fig. 15(b)는 동해시에 소재한 주유소에서 9 월 하순에 측정 한 결과이다. 저장 탱크 바닥에서 온



도는 20 °C-23 °C이고 높이가 증가 할수록 상승하는 경향을 보이고 있다. Fig. 15(a)에 비해 기름의 양이 많지 않고 가을로 접어들어 온도의 변화는 크지 않았다. 탱크 내부에 유동이 거의 없고 온도에 의한 밀도의 변화로 자연대류가 온도분포에 영향을 미치는 것으로 생각된다. 겨울철의 경우는 지표면에 가까운 탱크 상부의 온도가 낮으므로 온도 차이에 의한 자연대류가 발생하여 높이에 따른 온도의 변화가 상대적으로 적은 것으로 생각된다. 여름철에는 탱크 상부의 온도가 높으므로 자연대류가 발생하지 않아서 Fig. 15(a)와 같이 비교적 큰 온도 차이를 보이는 것으로 판단된다.

주유기에 연결된 관로는 바닥으로부터 30 cm에서 연료를 흡입하므로 탱크 내부에서도 낮은 온도의 기름을 토출하게 된다. 이것은 주유량에 따라 토출되는 기름의 온도에 영향을 미칠 수 있음을 의미 한다.

실험의 결과에 의하면 주유되는 석유류는 기준 온도 15 °C 보다 약  $\pm 13$  °C정도 겨울철과 여름철에 편차를 보이고 있다. 이러한 현상은 주유소의 위치, 주유량 및 빈도등 매우 다양한 요인에 의해 달라지므로 일괄적으로 정확히 표현할 수 없다. 하지만 이러한 경향은 확실하며 조건에 따라 이러한 변화의 범위를 상회하거나 하회하는 결과를 보일 것이다. 정확한 유량 측정 즉 공정한 상거래를 위해서는 주유기에서 온도를 측정하여 체적을 보정하는 것이 필요하다고 판단된다.

## 5. 결 론

석유류의 상거래에서 온도에 따른 팽창과 수축의 영향을 평가하기 위하여 계절적 지역적인 온도의 변화를 조사하였다. 과거 50 년 동안 기상청에서 측정한 기온과 지중온도의 변화 특성을 분석하고, 주유소에서 저장 및 토출된 유류 온도변화를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 저장탱크가 묻혀있는 지중 온도는 5 °C에서 25 °C 사이에서 년 중 주기적으로 변하고, 계절과 지역에 관계없이 하루 동안은  $\pm 0.2$  °C 이내로 안정되게 유지되었다.

(2) 토출된 연료의 온도에 영향을 미치는 요소는 지중 온도, 주유 빈도, 관로의 체적, 날씨등이고 년 중 약 -1 °C에서 28 °C 사이에서 변하였다.

(3) 기상청에서 측정한 지중온도를 기준으로 연료의 연간 누적 팽창 또는 수축량은 최대 팽창은 제주가 약 4%, 춘천이 약 -2%로 최대 6 %의 차이를 보였다.

(3) 지역의 기상청에서 측정한 지중 온도와 지하에 저장된 연료유의 온도와 일정한 상관 관계를 찾을 수 없었으며, 저장탱크 내부의 유류의 온도는 주위 환경과 위도에 영향을 받는다.

(4) 기준온도 15 °C에서 체적과 비교하여 연료유의 체적은 최대 약  $\pm 1.3$  % 정도 온도에 따른 체적의 변화하는 것을 확인하였다. 따라서 공정한 상거래를 위해 주유기에 온도 보상 장치를 부착하는 것이 필요하다고 판단된다.

## 참고문헌

- (1) Lim, K. W., 2001, "A study on the Measurement Uncertainty of Flowmeter Calibrator," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 25, No. 1, pp 561-571.
- (2) JFI Standard 1001, 1975, "Meter Accuracy Tests of Positive displacement Flowmeters I," Japan Flow Meter Industry Association, Japan (in Japanese)
- (3) Energy Economics Institute, 2011, "2010 yearbook of Energy Statics," Ministry of Knowledge Economy, ISSN 1226-606X, Korea (in Korean)
- (4) Paton, R., Boam, D., Millington, B. C. and Kinghorn, F.C., 1999, "Temperature Compensation of Liquid Fuels," NEL, Repot No. 184/99, UK
- (5) California Energy Commission, 2009, "Fuel Delivery Temperature Study," Report No. CEC-600-2009-002-CTF, USA.
- (6) Weight and Measure Act, Regulation of Liquid Fuels, 2004, "Field Inspection Manual-Volumetric Measuring Device (Automatic Temperature Compensator Test)," Canada
- (7) Korea Regulation, 2009 "Regulation Related to Safety Supervision of Dangerous Substance - Standard of Structure and Arrangement for Underground Storage Tank(article 32 Related)," National Emergency Management Agency, Korea (in Korean).