



## 무게측정법을 이용한 천연가스 자동차 충전소 오일전이 정량 분석에 대한 연구

황성수 · 오준석 · 김기동\* · 오영삼\* · 최경식\* · †김학은

한국가스기술공사, \*한국가스공사

(2014년 12월 8일 접수, 2015년 2월 5일 수정, 2015년 2월 6일 채택)

## A Study on the Quantitative Measurement of Oil Carry-over in Natural Gas Vehicle fueling Station Using A Gravimetric Method

Sung-Soo Hwang · Jun-Seok Oh · Ki-Dong Kim\*

Young-Sam Oh\* · Kyung-Sik Choi\* · †Hack-Eun Kim

*Dept. of New Business Techology Center, Kogas-Tech, Daejeon, Korea*

*\*Dept. of New Energy Technology Research Center, Kogas, Ansan, Korea*

*(Received December 8, 2014; Revised February 5, 2015; Accepted February 6, 2015)*

### 요약

CNG(Compressed Natural Gas)충전소의 주요 핵심설비는 압축기이며, 대부분의 압축기는 윤활이 필요하다. CNG압축기의 윤활유(oil)는 충전 중에 압력 레귤레이터, 엔진 연료공급시스템 등에 전이(Carry-over)되어 천연가스차량의 성능에 부정적인 영향을 미친다. 따라서 이러한 문제를 사전에 방지하기 위해서는 전이되는 오일의 양을 정량적으로 측정하여 공급되는 압축천연가스의 품질관리를 강화하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 CNG오일전이를 측정하기 위해 중량법(Gravimetric method)을 사용한 샘플링 튜브 및 샘플링 장비를 개발하였다. 또한, CNG 충전소 6개소를 대상으로 CNG를 채취하였으며, 오일전이를 정량적으로 분석하였다. 측정된 전체 오일전이량은 2.569에서 6.509ppm 이었으며, 측정된 결과를 선행연구 결과와 비교 검증하였다.

**Abstract** - The core of the CNG fueling station is the compressor and most of CNG compressors in Korea require lubrication. Lubrication oil of CNG compressor that can be transferred into the pressure regulators and the engines of fueling system can cause a negative effect on NGV(Nature Gas Vehicle) performance during re-fueling due to oil Carry-over. In order to avoid the problem, it is necessary to enhance the quality of the compressed natural gas by measuring quantitatively the amount of the transferred oil. In this research, a sampling device and sampling tube were developed, which can be used with a gravimetric method of detection to measure CNG oil Carry-over. In addition, CNG samples were taken at 6 pre-selected CNG fueling stations and analysed for their trace oil Carry-over. The measured total oil Carry-over ranged from 2.569 to 6.509 ppm. This test measurements were compared with those of previous studies to verify the results.

**Key words** : oil carry-over, compressed natural gas, gravimetric method

†Corresponding author:hackun@kogas-tech.co.kr  
Copyright © 2015 by The Korean Institute of Gas

## I. 서론

천연가스자동차(NGV)는 국내 대기오염 저감을 위해 2000년부터 정부에서 보급하기 시작하여 2013년 기준 3만 9천여 대의 천연가스차량이 보급 되었다. 국내 보급된 천연가스차량(NGV)은 천연가스버스가 주를 이루며, 2000년 이후 전체 보급대수는 꾸준히 증가 해 오고 있다. 천연가스버스는 압축천연가스충전소(CNG충전소)에서 CNG를 공급받아 운영되고 있다. CNG충전소에서 공급되는 가스연료는 에너지 밀도 및 저장효율을 높이기 위해 MS(Mother Station)이라 불리는 1차 공급소에서 압축과정을 거쳐 압축천연가스(Compressed Natural Gas, CNG) 상태로 충전소에 이송된다. 이 과정에서 압축기의 윤활 목적으로 주입되는 오일의 일부분이 CNG 내로 전이되는 현상이 발생되며, 전이된 오일이 CNG에 혼재된 상태로 자동차의 연료 공급 장치 및 엔진에 까지 이르게 되면 다양한 문제를 야기 시킬 수 있다 [1,2].

위와 같은 문제를 사전에 방지하기 위해서는 CNG 내로 전이된 오일의 정량적인 분석을 통해 품질을 확인하고 개선하여야한다.

현재 CNG 내 전이된 오일의 정량분석에 대한 방법은 명확히 정립되어 있지 않다. 선행연구의 보고에 따르면 압축천연가스내로 전이되는 오일의 정량적 분석은 Gas Chromatography 또는 Infrared-Spectroscopy와 같은 화학적 분석법을 이용하는 방법이 있으며[3,4], 이는 충전소에서 가스의 샘플링 후 각 분석법에 알맞은 상태로 시료를 후처리하는 방법이 수반되기 때문에 다소 높은 비용과 복잡한 절차가 수반된다. 상기 분석법의 단점을 보완하기 위한 방법으로 무게 측정법(Gravimetric method)을 이용하는 정량분석에 대한 연구가 수행되고 있으며, 이는 화학적 분석법보다 저렴하며, 절차를 간소화 할 수 있는 장점이 있다. 무게측정법에 의한 CNG 오일전이의 정량분석은 가스 내 오일을 흡착 할 수 있는 흡착 튜브와 고압가스를 효과적으로 샘플링 할 수 있는 장치로 구분된다. 흡착 튜브에 샘플링 장치를 이용하여 미리 알고 있는 양의 가스를 흘려 보낸 후, 샘플링 전 후의 무게 차이를 통해 CNG내 오일의 농도를 산출 할 수 있다[4].

본 연구에서는 무게 측정법을 이용한 CNG오일전이의 정량 분석을 위해 샘플링 튜브와 샘플링을 위한 장치를 제작 하였으며, 국내 충전소에서 차량으로 공급되는 연료를 대상으로 샘플링을 실시한 후, CNG 내 전이된 오일의 농도를 정량적으로 산출 하였다.

## II. 실험 장치 및 방법

### 2.1. Sampling Tube 제작

본 연구에서 CNG 내 오일전이 정량 분석을 위한 샘플링은 흡착제를 이용한 오일의 회수에 기반을 둔다. 무게측정법을 위한 샘플링 튜브를 Fig. 1에 도시화 하였다. 샘플링 튜브의 구성은 흡착제가 충전되는 튜브와 고압가스 흐름을 위한 양 끝단의 피팅류로 나뉜다. 튜브의 규격은 길이 20cm, 직경 6 in(15.24cm)이며, 튜브의 재질은 샘플가스의 고압 및 부식으로 발생될 수 있는 표면의 화학적 변화를 방지하기 위해 SUS 316을 선정하였다.

CNG 내 전이된 오일을 흡착하기 위한 흡착제는 가스크로마토그래피의 정지상으로 주로 쓰이는 Chromosorb을 선정하였으며, 본 연구에서는 극성분자인 오일의 완전 흡착을 위해 표면처리가 되지 않은 Chromosorb P NAW(60/80 mesh)를[5] Sigma aldrich사에서 구입하여 사용하였다.

Table 1과 2는 흡착튜브(Absorbtion Tub)와 흡착제(Adsorbent)에대한 사양을 각각 나타내었다.



Fig. 1. The Absorbtion Tube for a gravimetric method.

Table 1. Specification of the Absorbtion Tube

Description	Specification
Capacity(cc)	34cc
O.D(mm)	12.7mm
Length(mm)	200mm
Design Press.(bar)	<250bar
Design Temp.(°C)	-60 ~ 60°C
Material	SUS 316

Table 2. Specification of Adsorbent

Description	Specification
Adsorbent	Chromosorb P NAW 60/80 Mesh

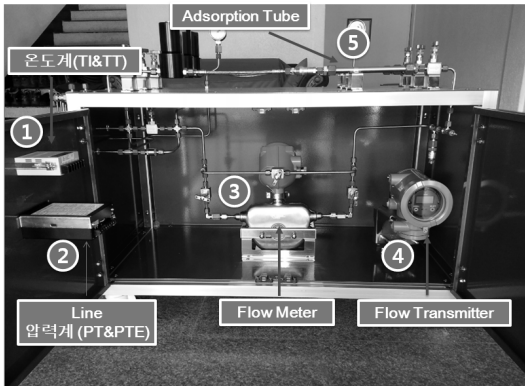


Fig. 2. CNG sampling equipment.

Table 3. Specification of CNG sampling equipment

Description	function	Remark
Thermometer	Measurement of Temperature	( $^{\circ}\text{C}$ , Digital)
Pressure gauge	Measurement of Pressure	(bar, Digital)
Flow Meter	Measurement of flow rate	0~63Nm <sup>3</sup> /hr
Flow Transmitter	Data transfer	(Nm <sup>3</sup> /hr, Digital)
Absorption Tube	Oil adsorption	3 set

### 2.2. Sampling 장치 제작

CNG 내 오일전이 정량 분석을 위해 고압가스 샘플링을 위한 장치를 제작하였으며, 샘플링 장치는 Fig. 2에 도시된 바와 같이 온도, 압력, 유량을 측정하기 위한 계측 장치, 계측된 데이터를 확인할 수 있는 지시계 및 전송장치, CNG오일전이 샘플을 위한 흡착튜브로 크게 나뉘지며, 각각에 대해 Pressure Transmitter, Pressure Indicator, Pressure-Gauge, Temperature Sensor, Temperature Indicator, Mass Flowmeter, Flow Indicator로 구성되며, Table 3에 구성과 기능을 요약하였다.

### 2.3. Sampling 절차 및 오일농도의 산출

CNG오일전이 정량분석을 위한 샘플링 절차에 대한 전반적인 공정을 Fig. 3에 도시화하였다.

제작된 샘플링 튜브는 오염물의 영향을 배제하기 위하여 흡착제 충전 전 아세톤을 이용하여 깨끗하게 세척하였다. 세척이 완료된 흡착 튜브는 샘플링 시

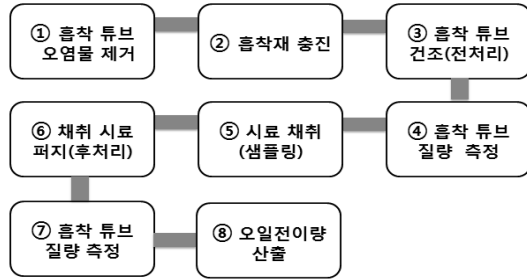


Fig. 3. Process flow sheet of procedure for CNG sampling and oil Carry-over quantitative measurement.

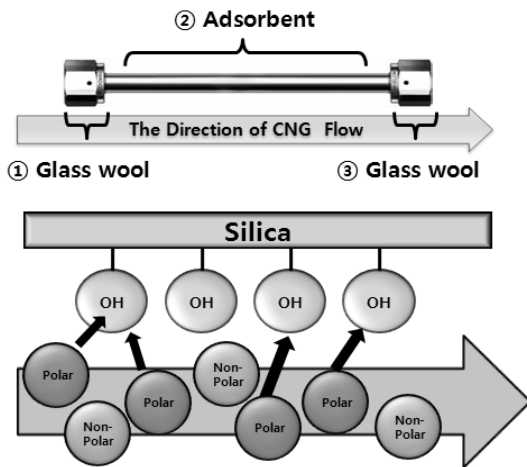


Fig. 4. Configuration of the Absorption Tube.

고압가스의 흐름 속에서 흡착제의 손실을 방지하기 위해 Fig. 4와 같은 순서로 한 쪽을 glass wool을 채운 후 흡착제를 충전 하였으며, 반대 끝 쪽 역시 glass wool로 마무리 하였다. 조립이 완료된 튜브는 오븐 온도 145  $^{\circ}\text{C}$ 에서 전처리를 실시한다. 이때, 튜브의 내부는 불활성 기체인 질소가스의 흐름 하에서 전처리를 실시하였다. 전처리가 완료된 튜브는 샘플링이 실시되기 전까지 수분의 영향을 배제하기 위해 진공 데시케이터(Desicator)에서 보관하며, 보관시간에 따른 무게를 측정하여 샘플링전의 무게를 결정 하였다.

버스에 공급되기 직전의 CNG를 샘플링하기 위해 Dispenser 필터 후단부에 Fig. 5와 같이 샘플링을 위한 포트를 설치하였다. 샘플링 포트와 흡착 튜브가 장착된 샘플링 장치를 연결 후 버스에 충전되는 CNG를 대상으로 샘플링을 실시하였으며, 샘플링

중 흡착튜브를 통과한 CNG는 샘플링 장비의 Vent Line을 통해 대기 중으로 방출 시켰다.

샘플링 조건은 아래 Table 4와 같으며, 샘플링 시 고압가스의 순간유량은 6~8 Nm<sup>3</sup>/hr을 유지하였으며, 흡착 튜브 내부로 흘러 보내준 CNG의 총 부피는 2 ~ 2.5 Nm<sup>3</sup> 로 하였다.

샘플링이 완료된 튜브의 후처리는 다음과 같다. 우선 외부의 노출로 인해 발생할 수 있는 튜브외부의 오염 및 수분의 흡착에 의한 오차를 배제하기 위하여 아세톤으로 외부를 세척한 후 오븐 온도를 110°C, 질소분기하에서 20분간 건조를 실시하였으며, 건조가 완료된 후 무게를 측정하여 기록 하였다. 흡착 튜브 외부에 남아있을 수분을 완전히 제거하기 위해 진공 데시케이터(Desiccator)에서 장기간 보관 하며, 보관시간에 따른 무게의 변화를 측정하여 샘플링 후 최종 무게를 결정하였다.

샘플링 결과를 통해 얻은 무게 변화 값은 아래의 수식에 의거하여 천연가스차량에 충전되기 직전의 CNG 내 전이된 오일농도의 정량적 결과를 산출하였다.

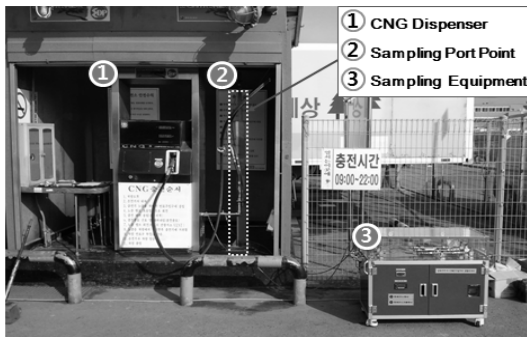


Fig. 5. Location of CNG sampling Port.

Table 4. Sampling condition of CNG Carry-over

Description	Condition	Remark
numbers of absorbtion Tube	3Set	
avg. absorbent charge	8~9mg	per tube lea
adjusting range of flow rate	6~8Nm <sup>3</sup> /hr	
avg. cumulative flow rate	2~2.5Nm <sup>3</sup>	
avg. sampling time	21~23분	per tube lea
Density of CNG	797.60g/Nm <sup>3</sup>	

$$C = \frac{(W_f - W_i) \times 10^{-6}}{V \times d} \quad (1)$$

C = CNG내로 전이된 오일의 농도 (ppm)

W<sub>f</sub> = 샘플링 후 튜브의 평균 무게 (g)

W<sub>i</sub> = 샘플링 전 튜브의 평균 무게 (g)

V = 샘플링 튜브를 통과한 가스의 부피 (m<sup>3</sup>)

d = 가스의 기준밀도 (g/m<sup>3</sup>)

### III. 실험 결과 및 고찰

샘플링 전 흡착튜브의 전처리 각 단계에 따른 무게 변화량을 Fig. 6에 나타내었다. 흡착제를 충전 후 조립이 완성된 튜브의 무게를 기준으로 전처리 과정이 완료 된 후의 무게와 데시케이터(Desiccator)에서의 수분제거를 위해 보관시간 간격을 12시간 간격으로 각각 12, 24, 36시간이 되는 시점에 흡착튜브의 무게를 3회 측정 후 기록하였다.

시간 변화에 따른 흡착튜브의 무게측정 결과를 보면 흡착 튜브 준비과정에서 흡착된 수분은 오븐 온도145°C에서 진행된 전처리 과정에서 대부분이 제거되어 무게 수치가 일정한 값으로 수렴되는 것을 확인할 수 있다. 전처리 과정에서 제거되지 않은 샘플링 튜브 외부에 흡착된 미량의 수분들은 데시케이터에서 36시간이 지난 후 완전히 제거되는 결과를 볼 수 있었다. 이러한 결과를 통해 샘플링 전의 무게는 전처리 후 무게 변화가 현저히 줄어드는 시점인 데시케이터에서의 보관 시간 36시간 후 3회 측정된 무게를 평균하여 샘플링 전 흡착튜브의 최종 무게로 결정하였다.

샘플링 후 흡착튜브의 후처리 각 단계에 따른 무게 변화량을 Fig. 7에 나타내었다. 샘플링 직 후 측

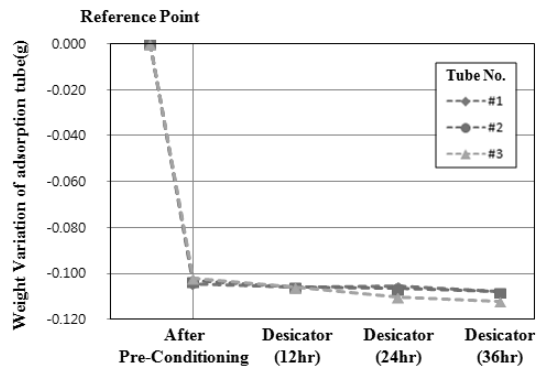


Fig. 6. Weight variation of Adsorption Tube base on each pre-conditioning step.

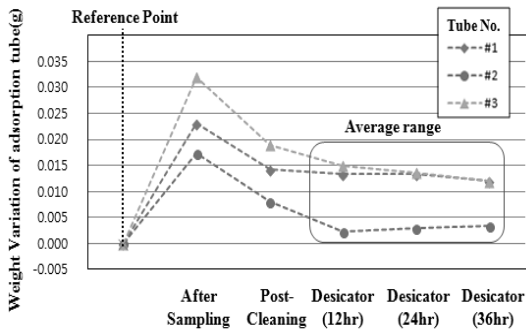


Fig. 7. Weight variation of Absorbtion Tube base on each Post-cleaning step.

Table 5. CNG fueling Stations for Sampling of Oil Carry-over

DS	Number of Dispenser	Sampling Point	Remark
A	1	the rear of Dispenser filter	Daughter Station (DS)
B	2		
C	2		
D	1		

정된 흡착튜브 무게를 기준으로 후처리가 완료된 시점에서의 무게를 측정하였으며, 전처리과정과 동일 시간 간격을 적용하여 데시케이터 보관시간 12, 24, 36시간 시점에서 3회 측정후 무게변화를 기록하였다. 측정된 무게 결과를 보면 샘플링 시 외부 노출로 인한 튜브외부의 오염 및 수분흡착은 후처리과정(아세톤세척 및 110℃ 건조)을 거쳐 대부분이 제거되는 것을 확인할 수 있다.

후처리 과정에 제거되지 않은 샘플링 튜브 외부에 흡착된 미량의 수분들은 진공 데시케이터에서 보관을 거쳐 대부분 제거되어 무게변화가 일정한 값으로 수렴되는 것을 확인할 수 있으며, 데이터의 오차를 줄이기 위해 12~36시간 시점에 측정된 무게데이터의 평균값을 이용하여 최종 전이된 오일의 농도를 산출하였다.

오일전이 샘플링은 아래 Table 5와 같이 CNG충전소 4곳을 대상으로, 6대의 Dispenser에 대해 각각 샘플링을 실시하였으며, 샘플링 위치는 버스로 전이되는 오일량의 측정을 위해 Dispenser의 oil filter거친 충전 직전의 최종단에서 동일하게 샘플링 되었다.

Table 6에 요약한 바와 같이 대상 Dispenser에 대해 각각 6개의 샘플을 채취하였으며, 샘플링간 휴

Table 6. Quantitative analysis results of Oil Carry-over on CNG Dispenser

DP	Concentration of Oil carry-over(ppm)					
	#1	#2	#3	#4	Aver.	Standard Error
1	8.041	2.616	1.632	3.056	3.836	1.433
2	2.327	8.342	4.437	9.412	6.129	1.658
3	2.506	5.616	0.842	1.588	2.638	1.049
4	4.116	8.559	8.231	2.569	5.869	1.494
5	2.542	3.090	8.724	4.908	4.816	1.397
6	3.937	4.506	6.951	10.641	6.509	1.525
Ref. 1	12.6	16.1	16.0	-	14.9	1.150
Ref. 2	31.6	18.3	8.0	-	19.3	6.831

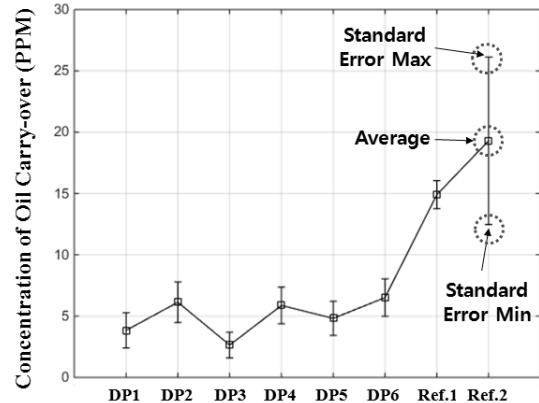


Fig. 8. Concentration of oil Carry-over into CNG based on dispenser. (reference 1 : Polyglycol Oil, reference 2 : Heavy mineral Oil)[4]

먼저(human error)를 제거하기위해 채취된 6개의 샘플 중 최대값과 최소값을 제외하였다. 오일전이 정량분석을 위해 4개의 샘플데이터에 대해 평균(Average), 표준오차(Standard Error)를 각각 산출하였다.

산출된 오일전이 농도를 Fig. 8에 나타내었다. 각 Dispenser의 전이된 오일의 농도는 약 2.638 ~ 6.509 ppm 사이의 값을 보여주고 있으며, 이는 충전소의 최종 필터를 거치더라도 CNG 내에 전이된 오일이 일부 남아있는 일관적인 결과를 보여준다.

해외 문헌의 경우 본 연구에서 측정된 오일전이 농도보다 약 2~3배 높은 결과를 보여주고 있으며, 이는 MS(Mother Station)에서 사용되는 압축기와

윤활유의 종류, 그리고 압축운전 조건의 차이에 기인한 것으로 판단된다.

또한, 본 연구를 통해 얻어진 정량 데이터의 신뢰성 검증을 위해 표준오차(Standard Error)를 이용하여 선행연구 사례<sup>[4]</sup>와 비교검증을 실시하였다. 선행연구 사례에서 조사된 중량법(Gravimetric method) 기법을 이용하여 샘플된 오일전이 데이터의 표준오차(Standard Error)는 각각 1.1504ppm, 6.831ppm으로 조사 되었다. 본 연구를 통해 Dispenser 6대에서 산출된 데이터의 표준오차(Standard Error)는 1.049 ~ 1.658 ppm으로, 각 충전소에서 측정된 4개의 시료로부터 산출된 표준오차 범위는 참조된 자료와 비교결과 상대적으로 낮을 뿐 아니라 일관된 경향을 보이는 것을 확인 할 수 있으며, 선행연구 사례와 비교에서도 충분히 신뢰할 수 있는 결과를 나타내고 있는 것을 확인 할 수 있었다.

#### IV. 결론

무게 측정법을 이용한 CNG내로 전이된 오일의 정량분석에 대한 연구를 통해 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 각 충전소에서 측정된 CNG 내로 전이된 오일의 함량은 2.638 ~ 6.509 ppm으로 모든 충전소에서 최종 필터를 거친 후에도 전이된 오일이 남아있는 결과를 보여주고 있으며, 선행 연구 사례와 비교결과 오차범위가 낮고 일관된 경향을 보이고 있다.

2. M/S 압축기에 사용되는 윤활유 일부는 고온·고압으로 NG와 함께 압축되어 증기(Vapor) 형태로 필터(filter)에서 걸러지지 않고 일부가 전이되며, 전이된 오일은 Dispenser의 필터를 통해 잔여 오일을 제거 최종 CNG차량으로 주입된다. 하지만 본 연구 과제를 통해 Dispenser 의 최종필터를 거친 CNG에서도 일부 오일이 남아 차량으로 전이되는 것을 확인 할 수 있었다.

3. 무게 측정법은 화학적 분석 방법에 비해 간편

한 절차로 구성되어 있어 오일전이 정량분석이 용이할 뿐 아니라 샘플링에 필요한 장비 제작 시 압력, 온도, 유량측정을 위한 장비 구성을 간편하게 할 수 있으며, 제작비용이 저렴한 이점이 있다. 또한, CNG차량 충전 시 고압 상태에서 전이된 오일 양을 별도의 가공이나 후처리 없이 확인할 수 있는 장점이 있다.

4. 본 연구에서 수행된 무게 측정법에 의한 CNG 오일전이 농도의 정량적 분석은 타 문헌과 비교해 충분히 신뢰가 있음을 확인하였으며, 추 후 심화된 연구를 통해 정량분석 절차를 체계화 시킬 필요가 있을 것으로 판단된다.

#### REFERENCES

- [1] J. S. Lee, J. O. Han, J. M. Chae, Y. C. Lee, S. H. Hong, J. S. Lim, S. G. Jay, Y. H. Hong, "Minimizing Oil Carry-over of Natural Gas Vehicle fueling Station", *KIGAS*, 19-26, (2005)
- [2] L. Thomason, "The Achilles Heel of Natural Gas Vehicles: The Symptoms, Diagnosis and Prevention of Oil Carry-over", A Natural Gas Vehicle Institute Technical Paper.
- [3] C. T. Billiet, R. M. Fielding, "A Quantitative Method to Determine Oil Carry-over from High Efficiency Coalescing Filters in Compressed Gases Under Varying Dynamic Conditions and the Interpretation of Results to Assist Filter System Design", International Compressor Engineering Conference, 398-407, (1998)
- [4] M. Czachorski etc, "Validation Testing of a Gravimetric Method to Measure CNG Compressor Oil Carry-over", IGT project No. 30649-11 (1998)
- [5] B. Faust, "Modern Chemical Techniques", Royal Society of Chemistry, Neville, (1997)