◎ 해 설

천연가스의 열량조절

허 재 영*

1. 개 요

우리나라가 천연가스를 처음 도입할 당시에는 인도네시아 한 군데에서만 천연가스를 도입하였기 때문에 조성이나 발열량, 웨버지수 등이 일정하였으며 특히 LNG로 액화시키는 과정에서 정제가 자연스럽게 이루어지는 LNG 고유의 특성까지 있어서 우리나라가 사용하던 천연가스의 품질은 전 세계 최고라 해도 전혀 무리가 없는 수준이었다. 이렇게 좋은 조건에서 출발한다는 것이 천연가스 산업의 발달 측면에서 보면 그다지 좋은 것이라 말할 수 없다. 대개의 경우 외국에서는 천연가스 산지에서 직접 천연가스를 공급받고 또 정제 기술이 충분히 발달하지 않은 시대에 천연가스 사용을 시작하였기 때문에 우리와 정 반대의 입장이며 이 때문에 유량 측정이나 가스 이용기기의 튜닝 기술에서 우리보다 많은 고민을 해야 했던 역사적 배경을 가지고 있다.

전 세계에서 생산되는 천연가스의 품질은 각양각색이며 일반적으로는 메탄, 에탄, 프로판, 부탄, 펜탄 이외에 이산화탄소, 질소, 헬륨 등의 성분들이 다양한 조성비로 포함이 되어 산지 별로 각기 다른 발열량 값 (그림 1)과 웨버지수를 갖는다. LNG 교역의 지역성 탈피와 함께 불거진 품질 문제는 현재로서는 우리나라와 미국에서만 관심의 대상이 되고 있으나 곧 일본과 유럽 등으로도 이러한 문제가 퍼져나갈 것으로 보인다.

천연가스의 품질 조건을 얘기할 때에 일반적으로는 발열량이나 웨버지수 이외에도 특정 성분의 함량이나 가스 비중, 물과 탄화수소의 이슬점 등 여러 가지가 포함이 된다. 특정 성분이라는 것은 환경이나 설비 부식, 연소 조건 등에 영향을 미칠 수 있는 황화수소나 기타 황 화합물, 일산화탄소, 올레핀 성분 등을 말한다. 따라서 기존에 사용되던 천연가스와 품질 조건이 다른 천연가스가 들어올 때에는 당연히 이렇게 품질 조건을 구성하는 다양한 요소들이 천연가스 설비의 안전, 수용가 설비의 안전, 계량이나 정산, 수용가의 연소 조건 등에 어떻게 영향을 주는지에 대한 사전 검토가 필요하다.

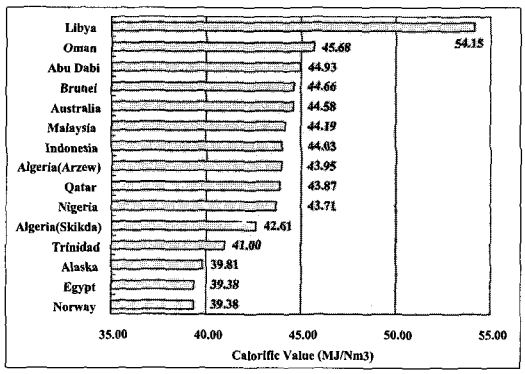


그림 1. 세계 각국에서 생산되는 LNG의 발열량 값

2. 열조의 방법

열조라고 하는 것은 실제로는 산지에서 천연가스를 정제하는 과정에서부터 시작된다. 천연가스의 성분 중에 프로판과 부탄을 어느 정도 빼 내느냐에 따라 천연가스의 발열량이 결정된다. 이렇게 산지에서 한번 결정된 발열량은 도입지에 도착하면 또 다시 여러 가지 방법을 통해 열조되는데 이들 방법을 정리해 보면 표 1과 같다. 유럽 국가에서는 여러 산지에서 생산되어 배관으로 수송되는 천연가스가 유럽 전역에 거미줄처럼 형성되어 있는 배관망을 통해 공급되기 때문에 모든 배관을 흐르는 천연가스의 발열량을 감시하

* 한국가스공사
E-mail : jyher@kogas.or.kr

표 1. 열조의 방법

	열조의 방법	실제 사례
발열량을 높이는 열조	고열량 천연가스를 섞어 주는 방법	영국, 네덜란드 등 유럽 국가
	LPG를 섞어주는 방법	일본과 미국
발열량을 낮추는 열조	저열량 천연가스를 섞어 주는 방법	영국, 네덜란드 등 유럽 국가
	불활성기체를 섞어주는 방법	미국

는 것은 매우 중요한 일이다. 배관과 배관이 합쳐지는 지점에서 열조가 되며 이 열조의 조절은 두 배관의 유량을 조절함으로써 가능해진다.

표 1의 방법 중 "발열량을 높이는 열조"의 "LPG를 섞어주는 방법"은 또 표 2와 같이 천연가스와 LPG가 어떤 상태에서 섞이는가에 따라 방법이 세 가지로 나누어진다. 표에 나와 있는 바와 같이 각 방법이 각각 장단점이 있다.

3. 조성의 변화

LPG 열조를 하는 경우 천연가스 물성에서 가장 눈에 띄는 물성 변화는 조성의 변화이다. LPG의 주성분이 프로판이기 때문에 프로판의 조성비가 커지는 것이며 LPG의 혼합량이 많아지면 에탄보다도 조성비가 높아질 수 있다. 이렇게 조성이 변하면 우선 가스분석기의 불확도에 영향을 줄 수 있어 이를 분석해야 하고 유량 측정 설비의 구성도 재검토해야 하며 또 수용가의 연소조건에 영향을 줄 수 있어 이에 대한 검토를 하고 필요하면 대응을 해야 한다. 표 3은 조성 사례를 임의로 가상하여 열조 전후의 조성 차이를 나타낸 것이며 프로판이 100%인 LPG를 섞은 것으로 가상한 것이다.

4. 발열량과 가스비중의 변화

LPG 열조에 사용되는 LPG의 주성분은 프로판이며 프로판의 발열량이 천연가스보다 높기 때문에

표 2. LPG를 섞어주는 열조의 종류

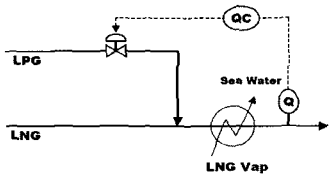
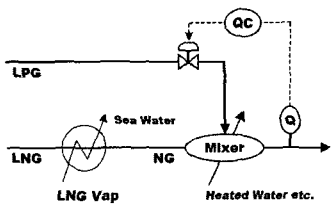
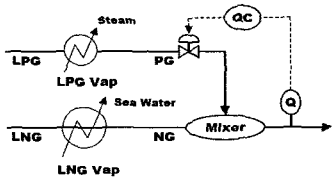
종류	방 법	특 징	설비 개략도
L/L 혼합 방법	- LNG와 LPG를 액상으로 혼합한 후 기화기를 통해 기화시키는 방법 - 기화기 후단에서 발열량을 측정하여 LPG 주입량을 제어	- 넓은 열량조절범위 - 운영비 저렴 - 고가의 LNG 승온설비 필요 - 기존 기화기의 개조 필요	
L/G 혼합 방법	- 기화기를 통해 기화된 LNG와 액체상태의 LPG를 믹서(Mixer)로 혼합하는 방법 - LPG 기화를 위해 기화된 LNG 온도는 최소한의 일정 온도 이상을 유지해야 함.	- LPG 기화량이 한정적이며 이에 따라 열량조절범위 또한 제한적 - 초기 투자비 및 운영비는 G/G 혼합 방법보다 낮음.	
G/G 혼합 방법	- 기화기를 통해 기화된 LNG와 LPG 기화기를 통과한 기체상의 LPG를 믹서로 혼합시키는 방법 - LPG 기화를 위해 약 120 ℃ 가량의 열매체와 기화 설비 필요	- 열조범위가 넓고, 정확 - 초기 투자비와 운영비용이 비쌈.	

표 3. 조성 사례 별 열조 전후의 조성 차이

사례		CO2	N2	C1	C2	C3	IC4	NC4	IC5	NC5	발열량	
											MJ/m^3	kcal/m^3
사례1		0.000	0.239	88.227	7.125	2.848	0.762	0.757	0.036	0.006	45.047	10,759
사례2	열조전	0.000	0.018	91.047	5.486	2.477	0.493	0.474	0.005	0.000	43.878	10,480
	열조후	0.000	0.018	90.902	5.477	2.633	0.492	0.473	0.005	0.000	43.967	10,501
사례3	열조전	0.005	0.150	92.185	4.930	1.900	0.380	0.430	0.010	0.010	43.187	10,315
	열조후	0.005	0.148	90.912	4.862	3.254	0.375	0.424	0.010	0.010	43.969	10,502
사례4	열조전	0.000	0.060	93.490	5.080	1.160	0.080	0.110	0.010	0.010	42.272	10,096
	열조후	0.000	0.058	90.732	4.930	4.076	0.078	0.107	0.010	0.010	43.971	10,502
사례5	열조전	0.000	0.016	97.175	2.400	0.255	0.031	0.072	0.051	0.000	40.897	9,768
	열조후	0.000	0.015	92.113	2.275	5.450	0.029	0.068	0.048	0.000	43.962	10,500
사례6	열조전	0.420	1.630	91.410	4.930	0.960	0.230	0.180	0.240	0.000	41.770	9,977
	열조후	0.404	1.568	87.955	4.744	4.703	0.221	0.173	0.231	0.000	43.962	10,500

LPG 열조는 발열량을 높일 때 사용하는 열조 방법이다. 한편 또 프로판은 발열량이 높은 만큼 비중도 높기 때문에 발열량과 가스비중의 증가율은 대체로 유사하다.

표 4는 천연가스를 구성하는 각 성분의 가스비중과 증가율, 웨버지수 등을 나타낸다. 웨버지수의 정의는 다음과 같으며 가스비중의 단위가 없기 때문에 웨버지수의 단위는 발열량과 같다.

$$\text{웨버지수} = \text{발열량} / (\text{가스비중})^{\frac{1}{2}}$$

발열량의 값이 10,500 kcal/m^{3}이고 가스비중이 0.624인 천연가스를 기준으로 하였을 때의 비교값인 증가율을 보면 발열량 값과 가스비중의 증가율이 대체로 일치하는 것을 볼 수 있다. 이러한 비례 관계는 메탄이나 에탄, 프로판, 부탄, 펜탄 등 천연가스를 구성하는 주성분들이 모두 탄소와 수소로만 구성되어 있기 때문에 생기는 현상이다.

따라서 만약 천연가스 안에 불활성기체가 미량이라면 발열량의 변화율과 가스비중의 변화율은 거의 같다. 표 4는 몇 가지 조성에 대한 실제 사례를 나타내는 것으로 이러한 사실을 확인할 수 있으며 보다 명료하게 보기 위해 그래프로 나타낸 것이 그림 2이다.

표 4. 조성 사례 별 열조 전후의 가스비중, 증가율, 웨버지수

사례		발열량		가스 비중	발열량 증가율 (기준값:10,500 kcal/m^3)	가스비중 증가율 (기준값:0.624)	웨버지수	
		MJ/m^3	kcal/m^3				MJ/m^3	kcal/m^3
사례1		45.047	10,759	0.6417	2.5	2.8	56.234	13,431
사례2	열조전	43.878	10,480	0.6203	-0.2	-0.6	55.712	13,306
	열조후	43.967	10,501	0.6234	0.0	-0.1	55.686	13,300
사례3	열조전	43.187	10,315	0.6105	-1.8	-2.2	55.273	13,202
	열조후	43.969	10,502	0.6232	0.0	-0.1	55.697	13,303
사례4	열조전	42.272	10,096	0.5945	-3.8	-4.7	54.825	13,095
	열조후	43.971	10,502	0.6222	0.0	-0.3	55.744	13,314
사례5	열조전	40.897	9,768	0.5717	-7.0	-8.4	54.089	12,919
	열조후	43.962	10,500	0.6217	0.0	-0.4	55.755	13,317
사례6	열조전	41.770	9,977	0.6099	-5.0	-2.3	53.485	12,775
	열조후	43.962	10,500	0.6447	0.0	3.3	54.752	13,077

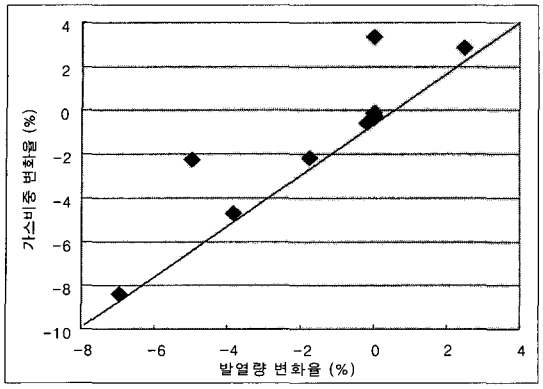


그림 2 발열량 변화율과 가스비중 변화율 사이의 관계

이러한 사실은 또 열조의 중요한 기술적 의미 한 가지를 설명한다. LPG 열조의 경우 LPG의 주성분이 프로판과 부탄뿐이라면 발열량의 변화율과 가스비중의 변화율은 같을 것이라는 것인데 이 사실은 계량과 연소조건에 있어 매우 중요한 의미를 가진다.

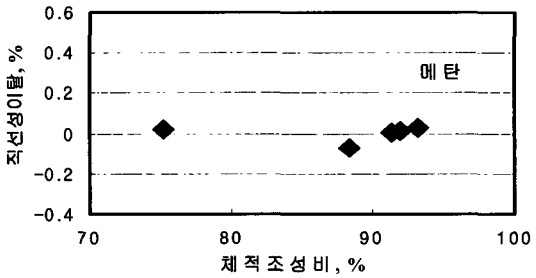
5. 불활성기체의 역할과 웨버지수 변화

그림 2를 보면 앞서 기술한 발열량과 가스비중의 비례관계에서 예외적인 사례가 2개 포인트 있는 것을 알 수 있다. 바로 사례 6의 열조 전과 후에 해당하는 조성의 경우인데 이러한 예외적인 사례는 불활성기체 때문이다. 표 4를 보면 사례 2에서 5까지는 발열량을 10,500 kcal/m^3 정도로 조절하면 웨버지수는 대체적으로 13,300 kcal/m^3 정도로 조절됨을 알 수 있다. 사례 6의 경우만 13,077 kcal/m^3 로 전혀 엉뚱한 값으로 조절되며 이것도 불활성기체 때문이고 이 때문에 불활성기체가 적지 않게 포함되는 경우 발열량조건과 가스비중 조건, 웨버지수 조건을 동시에 맞추기가 불가능한 경우가 생길 수 있다는 사실에 주목해야 한다.

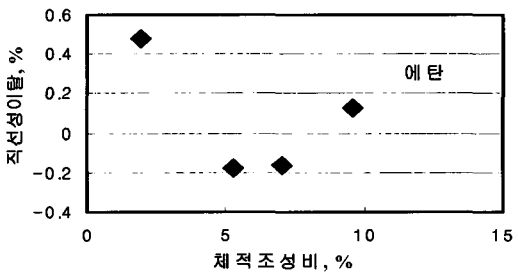
이러한 사실 때문에 불활성기체가 들어있는 천연가스를 들여올 경우에는 보다 정밀한 사전 검토가 필요하며 단순하게 발열량을 조절하는 열조만으로 계량이나 연소조건 문제를 해결하였다고 생각하는 것은 잘못이다. 만약 불활성기체의 함량이 너무 많아서 열조를 통해 발열량 조건과 가스비중 조건, 웨버지수 조건을 정해진 조건에 맞추지 못하는 경우에는 도입을 포기하거나 기존가스를 다량으로 혼합하여 불활성기체의 조성비를 낮추는 등의 특단의 조치가 필요한 것이다.

6. 유량측정에 미치는 영향

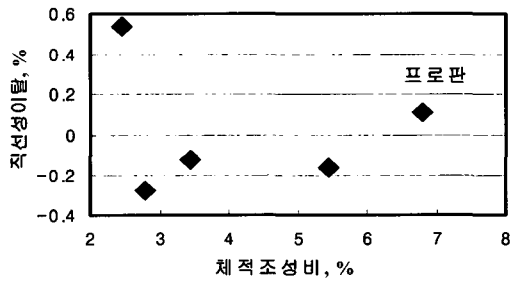
조성의 변화나 가스비중, 발열량 등의 변화는 유량측정 설비의 구성에 직접적인 영향을 미친다. 과거에 조성이나 기타 물성치들이 균일할 때에는 예를 들어 가스분석기와 같은 고가장비를 굳이 모든 유량측정설비에 부착할 필요가 없었다. 만약 LPG 열조의 하한치가 낮아서 충분한 열조가 이루어지지 않아 조성 변화의 폭이 클 경우에는 가스밀도를 측정하기 위한 기준



(A) 메탄 직선성



(B) 에탄 직선성



(C) 프로판 직선성

그림 3. 천연가스 성분별 가스분석기의 측정 직선성 사례

밀도계나 실밀도계 혹은 가스분석기가 필요하다. 밀도 값을 직접 측정하는 실밀도계가 설치되어 있지 않는 경우, 즉, 기준밀도계나 가스분석기를 이용하고 온도 및 압력 등을 측정하여 프로세서 내에서 밀도를 계산해야 하는 경우에는 밀도 계산을 위한 프로그램이 설치되어 있어야 한다.

또 경우에 따라 가스분석기의 운영 방법에도 차이를 줄 수 있는데 이는 천연가스의 조성이 다양해지면서 모든 성분의 조성비 변화 범위가 넓어지기 때문이다. 그래서 직선성 실험을 통해 사용코자 하는 가스분석기의 특성 실험을 거쳐야 한다.

8. 가스 이용 기기의 연소 조건

천연가스가 사용되는 용도는 다양하며 가정에서 소형취사용과 개별난방용, 음식점이나 목욕탕 등에서 대형 취사용과 급탕용, 발전용, 차량용, 산업용 등에 사용된다. 무수히 많은 연소 기기가 사용되며 이들 연소기기들이 천연가스의 품질 조건이 달라질 때 어떻게 반응할 것인지가 체계적으로 밝혀져야 할 것이다.

2005년까지 국내에 도입되던 천연가스는 43.75~45.00 MJ/Nm³ 정도의 발열량 값을 가지며 55.5~56.3 MJ/Nm³ 정도의 웨버지수 값을 갖는다. 그러던 것이 2006년부터는 이집트와 중미에서 천연가스가 들어오면서 40.19~45.00 MJ/Nm³ 정도로 발열량 값의 범위가 확장되었고 웨버지수 값의 범위도 53.2~56.3 MJ/Nm³ 정도로 확장되었다. 물론 아직까지는 저열량 가스의 양이 문제가 크게 심각할 정도로 큰 양은 아니기 때문에 이들 여러 산지의 천연가스들이 탱크 안에서 섞이면서 실제 공급되는 발열량 범위는 크게 줄어든다. 그러나 저열량 가스 도입량이 늘고 특히 겨울철에 천연가스를 특별히 많이 쓰는 시기에는 저열량 천연가스가 열량이 높은 천연가스와 충분히 섞이지 않은 상태로 나갈 수가 있어 이에 대한 검토가 선행되어야 한다.

다양한 조성과 발열량 값을 가지는 실험가스를 가지고 기초적인 연소 실험이 진행된 바 있으며 그 실험 결과 중 일부가 표 5와 그림 3에 나타내어져 있다. 표 5에는 실험에 사용된 조성과 그에 따르는 실험가스의 가스비중, 발열량, 웨버지수 등의 물성치 값이 표기되어져 있다. 이 실험이 진행되기 전에 해당 실험가스의 호환성을 13A (일본), A.G.A (미국), KNOY (미국), WEAVER (미국), GILB (영국) 등의 몇 가지 판별법을 통해 확인한 결과 호환성이 양호한 것으로 판별되었으며 그림 3의 화염 육안 식별 결과, 또 그 밖에 확산 버너에서의 화염 모습, 화염 길이 측정 결과, 최대 화염 온도, 배기 가스 측정 결과, 열량 측정 실험 결과 등을 모두 종합하여 판단하였을 때 일반적인 연소기기 호환성에는 문제가 없는 것으로 보인다. 실험 결과를 보완하기 위한 체계적인 실험이 진행되어야 하겠으나 이러한 기초 실험들의 현재까지의 결과로는 천연가스의 도입 조성이 그대로 수용가까지

표 5. 기초실험에 사용된 실험가스들의 조성

	C1	C2	C3	i-C4	n-C4	i-C5	n-C5	N2	prop-ylene	비중	고위발열량 (MJ/Nm^3)	웨버지수 (MJ/Nm^3)
기준 가스	90.09	6.04	2.54	0.54	0.58	0.02	0	0.19	0	0.6268	44.17	55.79
실험 가스1	93.23	0.03	6.6	0.11	0.03	0	0	0	0	0.6216	43.96	55.76
실험 가스2	91.64	1.93	4.75	0.16	0.1	0	0	0.42	1	0.6261	43.96	55.56
실험 가스3	87.06	8.4	3.48	0.42	0.54	0.02	0.01	0.07	0	0.6449	45.36	56.49
실험 가스4	93.49	5.08	1.16	0.08	0.11	0.01	0.01	0.06	0	0.5945	42.27	54.82
실험 가스5	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5549	39.87	53.52

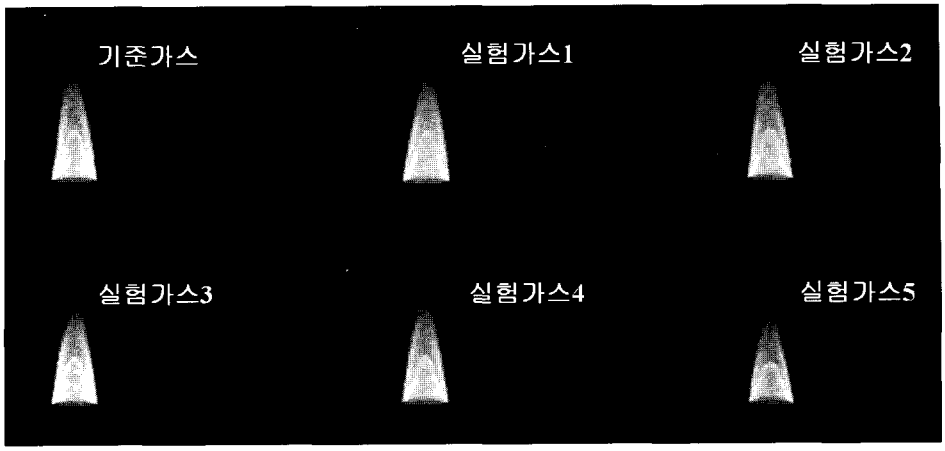


그림 4. 각 실험 가스 별 화염의 모습

가더라도 연소 기기의 화염이 꺼지거나, 심각한 불완전 연소 상태의 발생, 역화 등과 같은 현상은 생기지 않을 것으로 기대된다.

문제는 연소기기의 효율과 관련된 문제나 화염의 온도, 길이, 화염의 흔들림 등 보다 세밀한 조건들이 산업체나 발전소, 내연기관 등에 어떤 영향을 미치는지와 그래서 천연가스의 조성, 발열량, 웨버지수 등의 품질 조건에 어떤 제한이 필요한지, 아니면 민감한 연소기기나 내연기관 등에 부가 장치가 필요한 것은 아닌지 등에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다. 주로 국외의 극히 일부 국가에서 이와 관련된 사전 연구가 진행된 것으로 알려져 있으나 그 실험 결과는 연소기기 제작자나 수용가의 이해관계로 인해 제대로 발표되지 않고 있다. 이러한 문제들은 국내 천연가스 산업에만 문제가 국한되는 것이 아니고 가스이용기기나 천연가스 차량을 수출할 때에도 검토되어야 할 부분이며 예를 들어 동남아에서는 훨씬 조악한 조성의 천연가스가 실제 사용되므로 이러한 문제에 대한 분석은 반드시 선결되어야 할 문제들인 것이다.

8. 맺음말

고유가 시대가 열리면서 전 세계의 에너지 시장이 격변하고 있다. 우리나라에서도 이에 대한 영향을 많이 받아 도입되는 천연가스의 조성이 다양해지고 있다. 이와 함께 국내 천연가스 산업의 구조개편도 병행이 되어 천연가스의 품질에 대한 관심도 높아지고 있다. 또 환경 문제가 점점 사회적인 주요 이슈로 부각되면서 천연가스 차량이나 냉난방기의 개발, 연료전지 관련 연구 등이 진행되고 있어 천연가스의 조성 변화가 곳곳에 미치는 영향들에 대한 검토는 매우 중요한 과제로 주목해야 할 것이다. 이미 저열량 가스의 도입은 시작이 되었고 이에 대한 영향에 대해서는 최대한 시급히 연구가 되고 분석이 되어 대책이 준비되어야 하기 때문에 국내 전문가들의 관심이 절실히 필요한 때이다.

설비 안전 문제나 유량 측정, 공정 거래, 설비 보완, 제도 보완 등의 측면에서 접근하여 분석과 대책 마련을 위한 연구가 보다 폭넓게 장기간에 걸쳐 지속적으로 진행되어야 하며 연소기기의 실험에 대한 부분도 단계적으로 진행하여야 한다.