

차량 장착형 가스검사장비의 흡입부 성능개선을 위한 구조 최적화 설계에 관한 연구

문평강, 신오순

승실대학교

ansvudrkd9@gmail.com, osshin@ssu.ac.kr

Research on structural optimization design to improve intake performance of vehicle-mounted gas inspection equipment

Moon Pyung Kang, Shin Oh Soon
Soongsil Univ.

키워드: 차량장착형가스누출검사장비성능개선, 유로내경변경실험, 흡입유량유속확인실험

요약

본 논문은 지하매설 가스 배관 설치 관리 대상 업체가 법정 보유 운행 하여 안전검사에 활용하고 있는 차량 장착형 가스검사장비의 성능개선을 목적으로 하고 있다. 이 가스검사장비의 성능에 미치는 요인에는 여러가지가 있으나 이 논문은 기존 흡입부 구조를 분석하여 성능개선에 도움이 되도록 구조를 최적화하고자 하는 연구를 기반으로 한다. 기존 장비의 개발 변천사는 가스센서의 성능에 치중되어왔다. 센서의 성능향상 개발은 꾸준히 이루어져왔으나 이에 반해 흡입부에 구조에 대한 최적화 설계에는 관심을 높게 두지 않았다. 그로 인해 특별한 표준 없이 각 제조사별 설치 편의성에 맞게 개발되어 온 것이 차량 장착형 가스검사장비의 흡입부 형태의 현실이다. 본 논문은 기존 흡입부 형태의 문제점을 분석하고 흡입부 구조 최적화를 위한 적절한 실험 설계를 제시하며 실제 실험을 통해 개선 여부 및 성능향상 정도를 확인하고자 한다.

I. 서론

1.1 연구배경

2020 년대는 기후 대 위기의 시대를 맞이하여 에너지 산업의 대 변혁의 시대이다. 지구온난화의 주범인 온실가스를 줄이기 위해 전세계적으로 도교의정서와 파리 협정에 OECD 국가들을 포함한 195 개국이 각국 수준에 맞는 NDC (온실가스감축목표)를 설정하고 이를 지키려고 노력 중이다. 우리나라도 2030년까지 NDC 40%감축을 목표로 산업 전반에도 큰 영향을 미치고 있다. 에너지산업부문이 가장 큰 변화의 흐름의 선봉이 되고 있다. 석탄을 원료로 전기를 생산하는 석탄(유연탄)화력발전은 온실가스의 주범인 CO₂를 생산하는데 가장 큰 문제로 부각 되었다. 이로 인해 근 몇 년간 태양광과 풍력 등 신재생에너지로의 전환에

힘써왔으나 이는 전력 수급의 불안정이라는 문제를 야기하였다. 그리하여 생산출력을 빠르게 전환할 수 있는 LNG 발전소의 건설이 급부상하게 되었다. 아이러니하게도 CO₂ 다음으로 온실가스의 주범인 CH₄는 CO₂를 줄이고 100%신재생에너지 시대가 오기 전까지 대체 연료로써 그 역할을 15년 이상 담당하게 될 전망이다. 실제로 국내 LNG 가스 산업의 총량은 오히려 증가하는 추세임을 볼 수 있다.

LNG 산업에서 가장 중요한 것은 안전관리이다. LNG는 폭발 위험이 있는 가연성 물질로써 5~15% vol에서 폭발하며 누출되었을 때 잠재적으로 대형사고로 이어질 수 있는 가스이다. 이 때문에 가스관련 공기업도 총 3개의 기관으로 나누어져 철저한 감독과 관리가 이루어지고 있다. 안전관리에 대한 법정

장비들 중 최첨단기술을 자랑하는 것은 차량 장착형 가스 검지기이다. 이 차량 장착형 가스 검지기의 센서 감도는 현존 최고 수준인 ppb (1/10 억)단위로 이루어지는 추세이며 1 개의 센서에서 2 개이상 최대 3 개의 가연성가스도 검사해내 가스 구별도 별도의 긴 분석과정 없이 명확하게 판별해 내는 상황이다.

1.2 연구목적

가스 배관의 안전 검사 프로세스에서 첨병 역할을 하며 가장 첫번째의 역할을 해 내고 있는 장비는 차량 장착형 가스 검지기이다. 앞서도 다루었던 것과 같이 센서의 개발과 성능은 급격하게 향상되었다.

도입년도	1970 ~	2013 ~	현재	2021 ~
감지원리	FID (수소이온화 방식)	OMD (광학원자)	TDLAS (다라이오드레이저 흡수분광법)	MD-Infrared (중적외선 레이저 흡수 분광법)
장비사면				
장비명	차량용FID감시장비	차량용OMD감시장비	TRACER LASER (2레이저 센서)	SELMA Tracer Ethane
출력범위	메탄 0~10,000 ppm	메탄 0~10,000 ppm	메탄 0~10,000 ppm	메탄 0~10,000 ppm
분해능	1ppm	1ppm	1ppm	0.5ppm 0.01ppm (10ppb)
제조 및 판매권	선두전자	체프: 미국 HEATHSA 판매권: 선두전자	선두전자	스위스 PERGAM 선두전자
장점	• 일반전 차량 탑재형 검지기	• 수소용 사용하며 알고 도로에서 설치 가능 • 저속 및 40km/h 이상의 고속에서도 검지 가능	• 레이저센서 장착 2개로 인해 검지면 넓어 누출 가스 탐지 가능 • 현재 가스안전관리 전 차에서 사용중인 표준 장비	• 도시가스 누출 여부를 즉시 확인 가능 • ppm 보다 더 정밀한 ppb단위 계측으로 미세누출 판단 가능 • 메탄(C2H6), 에탄(C2H4), 비이오 가스 및 도시가스 여부 즉시 확인 가능 • 용량계를 장착하여 최대 150m 까지 바깥에 설치 누출 가스 검지 가능 • 운행 속도 최대 80km/h
단점	• 수소를 사용하며 폭발 위험성 있음 • 차대(10cm)검지기 • 차대에 장착 시 안전 장치 및 가스 센서 위치 표시 불가능 • 예산감지불가	• 위험성 시간이 오래 걸림 • 소변에 위험 • 차대에 장착 시 안전 장치 및 가스 센서 위치 표시 불가능 • 예산감지불가	• Loop 라인서 활용 사실상 불가 • 예산감지불가	• 도시가스 여부 판별은 불가 • 메탄(C2H6) 판별은 불가 • 고가의 가격

[그림 1] 차량장착형 가스누출검사장비 센서기술 변천사

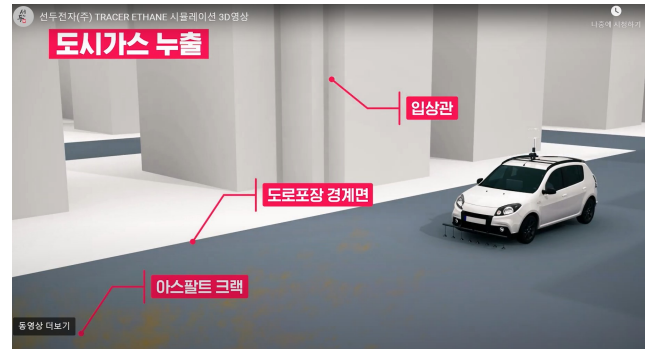
그러나 최근 초고사양 센서를 장착한 차량용 장비에 대한 사용자들의 만족도는 센서의 성능향상에 비해서 크게 향상되지 않는 것으로 밝혀졌다.

많은 사용자들이 그 이유로 흡입부의 구조가 20년 전의 오래된 방식을 따르고 있어 전체 성능이 극적으로 향상되고 있지 못한 것이라 추측한다. 이를 바탕으로 현재 흡입부의 구조를 확인하고 문제를 분석하여 실제 실험을 통한 개선 여부 및 성능향상 정도를 확인하고자 한다.

II. 차량 장착형 가스검사장비와 흡입부

2.1 차량 장착형 가스검사장비 전체시스템

차량 장착용 가스검사장비는 지하에 매설된 배관에서 누출되는 가스를 검사해내는 장비로써 짧은 시간에 광범위한 영역의 가스 누출 검사를 시행할 때 사용된다.



[그림 2] 차량장착형 가스검사장비의 사용용도

지금으로부터 약 10년 전부터 차량 장착형 가스 검사장비의 기술변화가 급속화 되었다. 2010년에 미국에서 출시된 Optical Methane Detector는 세계최초로 레이저방식의 센서를 차량 전면부에 비치하여 즉각적인 반응속도와 복잡한 흡입 메커니즘을 생략하는 등 혁신을 가지고 왔다.



[그림 3] Optical Methane Detector의 전면부

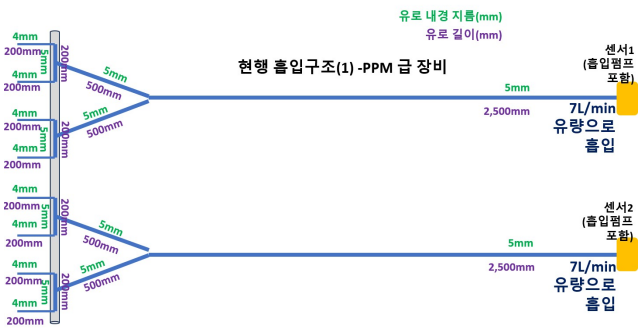
그러나 이 방식은 핵심이 되는 센서부(발광부,수광부)가 외부에 노출되어 온,습도의 영향을 많이 받아 사용가능일 수가 연간 150일 내외정도로 효율성이 떨어지는 문제가 발생하였다. 이 문제를 해결할 수 있는 대안으로 고성능의 센서부를 차량 트렁크에 탑재하고 전면부에 흡입부를 설치하여 샘플가스를 흡입시키는 장비가 개발되었다.



[그림 4] 최신 차량장착형 검사장비의 전체 시스템

2.2 현존 최고사양 차량 장착형 가스검사장비 흡입부

현재 국내 차량장착형 가스검사장비가 전세계에서 가장 효율성이 높은 것으로 평가되며 그 차량용 가스 검사 장비의 흡입부 구조는 다음 그림과 같다.



[그림 5]TRACER LASER 차량착형 가스검사장비 흡입부

2.3 흡입부 구조의 전제조건과 요구사항

흡입부 구조에서의 기본적 요구사항은 다음과 같다.

- 모든 흡입구에서 센서까지 도달하는 길이는 동일 해야 한다.
- 전체 흡입구의 넓이는 가로 1,560mm(차량전폭대비 80~85%)이내이어야 한다. <국내 SUV 차량전폭기준: 1,800~1,900mm>
- 흡입 유량 및 센서의 종류는 기존과 동일하게 적용한다.
- 흡입구의 외부 노출이 불가피한 이유로 1,2 번째의 유로 연결에는 각각 T자, T자 커넥터를 사용하며, 후단은 모두 Y자 커넥터를 사용한다.
- 구조 변경시 유로 내경은 계산 값에 근사한 상용 가능한 유로 내경으로 한다.

우레탄호스: (외경 x 내경 mm)

12X9, 12X8, 10X6.5, 8X5.5, 8X5, 6X4 - 1,2 차

실리콘호스: (외경 x 내경 mm)

6X4.5, 6X4, 4X3 - 3 차

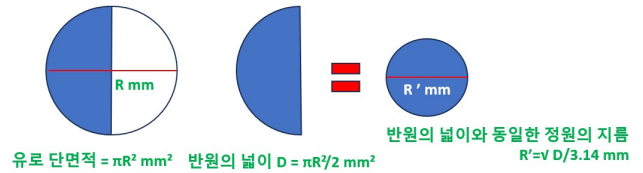
III. 최적화된 유로설계를 위한 적정 실험 설계

3.1 기존 흡입구조의 형태와 문제점

위의 [그림 5]에서와 같이 기본적인 흡입구조의 문제는 1 차흡입구에서 내경 4mm 유로 2 개가 내경 5mm 유로 1 개로 연결된다는 것이다. 또한 2 차에서는 내경 5mm 유로 2 개는 1 개의 내경 5mm 호스와 연결된다. 이는 급격한 유로의 축소로 인해 마찰 손실이 큰 구조인 것이 분명하다.

3.2 유로 단면적 적정 분배에 따른 실험 설계

이를 변경하기 위해 n 차 단의 유로 단면적의 1/2 에 해당하는 반원의 넓이와 동일한 정원의 지름을 도출하여 n-1 차 단의 내경으로 재설계하기로 하였다.



[그림 6] 유로 단면적 n 차 단과 n-1 차 단의 적정 유로 내경 도출

아래 [표 1]은 기존 유로와 위의 적정 유로 환산을 통한 재설계를 바탕으로 실험을 설계한 것이다.

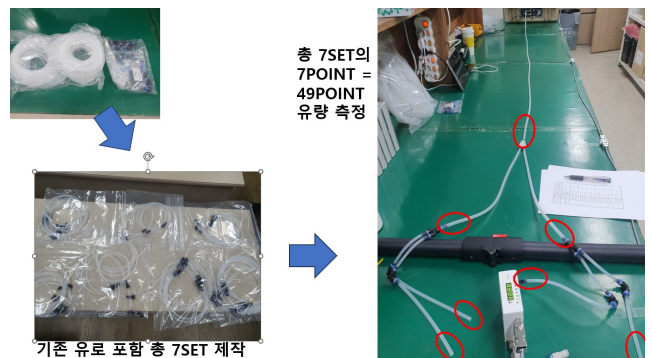
	1차 (외경x내경) 우레탄 호스	2차 (외경x내경) 우레탄 호스	3차 (외경x내경) 실리콘 호스
1번 실험	6X 4.5mm	4X 3mm x 2ea (R'=3.181)	4X 2mm x 2ea (R'=2.121)
2번 실험	8X 5mm	6X 3.5mm x 2ea (R'=3.535)	4X 2.5mm x 2ea (R'=2.474)
기존	8X 5mm	8X 5mm x 2ea	6X 4mm x 2ea
3번 실험	8X 5.5mm	6X 4mm x 2ea (R'=3.889)	4X 3mm x 2ea (R'=2.828)
4번 실험	10X 6.5mm	6X 4.5mm x 2ea (R'=4.596) -실리콘	4X 3mm x 2ea (R'=3.181)
5번 실험	12X 8mm	8X 5.5mm x 2ea (R'=5.656)	6X 4mm x 2ea (R'=3.889)
6번 실험	12X 9mm	10X 6.5mm x 2ea (R'=6.363)	6X 4.5mm x 2ea (R'=4.596)

[표 1] 유로 단면적 적정 환산 도출로 인한 실험 설계

IV. 실험 및 평가

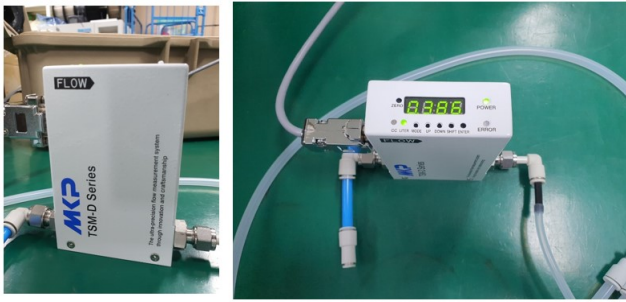
4.1 유량 측정 실험

위 실험 설계에 대한 타당성을 입증하기 위해 실제 흡입 유량 변화를 확인해보고 유량변화에 따른 유속을 환산해 실험해보았다. 기존 유로 샘플 뿐 아니라 1 번실험부터 6 번실험까지 총 7 개의 샘플을 제작하여 테스트하였으며, 한 set 당 7 개 point 를 측정하여 총 49 개의 포인트에서 유량을 측정하였다.



[그림 7] 총 7 개의 set 제작 및 측정

정확하고 정밀한 유량 측정을 위해 상용단위 (L/min)으로 소수점 3 자리까지 측정 가능한 디지털 유량계로 유로 각 부분의 유량을 측정하였다.



[그림 7] 유량관단을 위한 디지털 유량계 TSM-D220

4.2 유량 환산 및 결과

아래 [표 2]는 총 49 개 POINT 유량 측정에 대해 소수점 2 자리로 반올림하여 측정치를 최종적으로 확인한 결과이다.

TEST NO	내경구경 1차-4ea 2차-2ea 3차-1ea	1차 유량 (단위: L/min)			3차 유량 (단위: L/min)
		1차 유량	2차 유량	3차 유량	
0 (기준유로)	1차-4mm	0.40	0.98	5.56	
	2차-5mm	0.41			
	3차-5mm	0.38			
		0.43			
1	1차-2mm	1.19	2.96	5.55	
	2차-3mm	1.17			
	3차-4.5mm	1.12			
		1.14			
2	1차-2.5mm	0.95	2.20	5.64	
	2차-3.5mm	0.93			
	3차-5mm	1.42			
		1.54			
3	1차-3mm	1.77	3.15	5.51	
	2차-4mm	1.01			
	3차-5.5mm	1.69			
		1.28			
4	1차-3mm	1.28	2.54	5.66	
	2차-4.5mm	1.11			
	3차-6.5mm	1.08			
		1.26			
5	1차-4mm	1.33	3.13	5.65	
	2차-5.5mm	1.18			
	3차-8mm	1.52			
		0.70			
6	1차-4.5mm	0.41	0.83	5.65	
	2차-6.5mm	0.41			
	3차-9mm	0.36			
		0.48			

[표 2] 기준유로와 6 개의 샘플유로의 흡입유량확인

위의 [표 2]에서 3 차에서의 유량은 대부분 동일하지만 6 번 실험을 제외하고 모두 1, 2 차에서의 유량이 크게 향상된 것을 볼 수 있다. 특히 3 번 실험이 가장 큰 폭의 변화를 가지고 왔다. 이 데이터를 바탕으로 1, 2 차 유량의 평균을 구하고 1, 2 차의 평균 유속으로 환산할 수 있다.

TEST NO	1차 유량 평균	2차 유량 평균	1차 평균 유량 환산치			2차 유량 환산치			3차 유량 환산치			1차 평균 유속 (m/s)	2차 평균 유속 (m/s)	3차 유속 (m/s)
			1차 평균 유량 환산치	2차 평균 유량 환산치	3차 평균 유량 환산치	1차 유량 환산치	2차 유량 환산치	3차 유량 환산치	1차 유량 환산치	2차 유량 환산치	3차 유량 환산치			
0 (기준 유로)	0.405	1.000	0.024	0.060	0.334	1.44	3.60	20.04	1.1304	2.8260	15.7314			
1	1.155	2.875	0.069	0.172	0.333	4.14	10.32	19.98	3.2499	8.1012	15.6843			
2	1.210	2.885	0.073	0.173	0.338	4.38	10.38	20.28	3.4383	8.1483	15.9198			
3	1.438	3.295	0.086	0.198	0.331	5.16	11.88	19.86	4.0506	9.3258	15.5901			
4	1.183	2.815	0.071	0.169	0.340	4.26	10.14	20.40	3.3441	7.9599	16.0140			
5	1.183	3.075	0.071	0.184	0.339	4.26	11.04	20.34	3.3441	8.6664	15.9669			
6	0.415	0.820	0.025	0.049	0.339	1.50	2.94	20.34	1.1775	2.3079	15.9669			

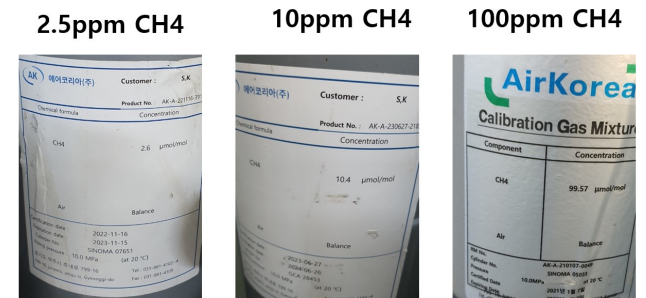
[표 3] 1, 2 차 유량의 평균과 이를 유속으로 환산한 표

위의 [표 3]에서 1 차 평균 유속은 기준유로 대비 3 번 실험에서 약 3.58 배 이상의 유속을 보였으며, 2 차에서는 기준 유로 대비 3 번 실험에서 약 3.3 배의 유속의 차이를 보이며 반응속도와 측정값의 성능개선의 가능성을 확인할 수 있다.

V. 결론 및 향후과제

유로 내경의 단면적을 적절하게 변화시켜 유량과 유속의 향상을 이끌어 내었으며 이는 실제 장비의 성능의 중요한 척도인 반응속도와 측정값에 영향을 미칠 것이라 기대한다. 하지만 이에 대한 명확한 실험이 필요하며 추후 추가적인 실험을 통해 이를 명확하게 입증하는 과정이 필요할 것이다. 추후 실험 계획은 다음과 같다.

표준가스 2.5ppm, 10ppm, 100ppm의 메탄(CH₄) 가스를 대상으로 실험할 예정이며 아래 작성된 표를 통해 반응속도와 최고농도를 산출하여 성능향상 여부를 확인할 예정이다.



[그림 8] 테스트 표준가스 SPEC

TEST NO	내장 가스 (1% CH4 2% CH4 5% CH4)	1% (0.1%) 1% (0.1%) 1% (0.1%)	1자유황-> m3/min 환산치	1차 평균 유속 (m/s)	2.5PPM CH4 가스백 TEST 반응속도	10PPM CH4 가스백 TEST 반응속도	100PPM CH4 가스백 TEST 반응속도	2.5PPM CH4 가스백 TEST 최고농도	10PPM CH4 가스백 TEST 최고농도	100PPM CH4 가스백 TEST 최고 농도
0 (기준 유속)	1% 4.8mm 2% 5.5mm 5% 5.5mm	0.40 0.41 0.38 0.43 1.19 1.17 1.12 1.14	1.44	1.1304						
1	1% 2mm 2% 3mm 5% 4.5mm	0.95 0.93 1.42 1.54 1.77	4.14	3.2499						
2	1% 2.5mm 2% 3.5mm 5% 5mm	1.01 1.09 1.28 1.28	4.38	3.4383						
3	1% 3mm 2% 4mm 5% 5.5mm	1.01 1.09 1.28 1.28	5.16	4.0506						
4	1% 3mm 2% 4.5mm 5% 5.5mm	1.11 1.06 1.28 1.28	4.26	3.3441						
5	1% 4mm 2% 5.5mm 5% 6mm	1.33 1.18 1.52 0.70 0.41	4.26	3.3441						
6	1% 4.5mm 2% 6.5mm 5% 6mm	0.41 0.36 0.48	1.50	1.1775						

[표 4] 향후 진행할 반응속도와 최고농도 테스트

테스트의 반응속도와 최고농도는 정확성을 위해서 측정 시 동영상 촬영으로 진행할 예정이며 촬영된 동영상으로 최고농도는 0.1ppm 단위로, 반응속도는 1/100 초 단위로 확인하여 기록할 예정이다.