

지하매설 가스배관의 가스 누출시 지하 확산거동에 관한 연구

최 송 천 · 조 영 도 · 김 교 선*

한국가스안전공사 연구개발실

*강원대학교 화학공학과

(1999년 5월 17일 접수, 1999년 9월 13일 채택)

A Study on the Diffusion Behavior of Leak Gas from Underground Gas Pipeline

S.C. Choi · Y.D. Jo · K.S. Kim*

R&D Center, Korea Gas Safety Corporation, 332-1 Daeya-Dong, Shihung, 429-712

*Dept. of Chemical Engr., Kang Won University

(Received 17 May 1999 ; Accepted 13 September 1999)

요 약

지하에 매설된 도시가스 배관에서의 누출 가스에 대한 확산 거동을 관찰하기 위하여 지중 확산 실험조를 제작하여 실험하였다. 실험조는 도시가스 공급위치와 농도의 측정위치를 변화시킬 수 있도록 acryl로 제작하였으며, MOS 센서를 이용하여 도시가스 농도를 측정하였다. 가스의 지하 확산을 측정하기 위한 토질로서 주문진 표준사와 화강풍화토를 이용하였으며, 가스누출 속도 변화에 따른 도시가스 농도 변화를 시간에 따라 측정하였다. 누출점으로부터 센서의 측정위치가 가까울수록 또는 누출 속도가 증가할수록 가스의 감지시간이 감소하였으며, 누출가스 농도의 빠른 증가로 인하여 정상상태시 높은 농도를 나타내었다. 또한, 주문진 표준사보다 다짐에 의해 밀도가 증가한 화강풍화토에서 초기에 농도가 낮게 측정되었으나, 시간이 지남에 따라 농도가 높게 나타났다.

Abstract - An experimental chamber was fabricated to observe the gas diffusion behavior of leak gas from underground city-gas pipeline. It was made of acryl so that feeding of gas and the measuring points of the gas could be varied in each experiment. The MOS sensors were used to measure the concentrations of leak gas. The soil media such as the Jumunjin standard sand and the granite weathered soil were used to measure the gas diffusion and the change of leak gas concentrations was measured with time for various gas flow rate. As the distance between the leak point of gas and the measuring point of MOS sensor decreases, or the leak rate increases, the detection time of gas at a measuring points decreases and the gas concentration increases quickly and the concentration of the gas at steady state also increases. As the density of granite weathered soil is higher than that of Jumunjin standard sand for compaction, the detection time of leak gas in the granite weathered soil was longer than that in the Jumunjin standard soil. The leak gas concentrations in the granite weathered soil were lower than those in the Jumunjin standard sand at the beginning of gas leaking from a pipe, but inverse phenomenon was occurred at steady state.

Key Words : Underground Gas Pipeline, Gas Diffusion, Gas Leak, Diffusion in soil

1. 서 론

지하에 매설된 가스배관은 가스 소비량의 증가에 따라 계속적으로 증설되고 있는 현실이다. 도시가스 배관 설치 후 현재 약 20년이 경과된 시점에서 배관의 노후화에 의한 부식과 초기 시공불량에 의한 결함, 급속한 도시화에 따른 지하 매설물간의 상호 간섭과 지하굴착 공사 등에 의한 가스 누출사고가 빈번히 나타나고 있다.

도시가스의 누출 사고는 긴급 대응 조치를 취하지 않을 경우 대형 사고로 이어질 가능성이 있으나, 세심한 주의를 기울이면 예방 가능한 단순 누출 사고가 대부분이다.

국내에서는 1995년의 대형 가스 폭발사고 이후 도시가스배관에서의 가스누출에 의한 폭발시 예상되는 피해 영향 범위와 그 손실 규모의 최소화 및 사고 대처방안의 기초자료를 위한 연구가 계속되어 왔다[1]. 또한, 도시가스시설 전반에 대한 안전관리의 선진화를 위한 지능형 안전관리시스템 개발에 대한 타당성 검토 및 원격 감시/관리 시스템의 개선방안이 제시되기도 하였다[2].

최근, 해외에서는 지하 매설 가스배관의 정확한 누출위치 탐지를 위해 장비개발 및 탐지기술 개선에 막대한 투자를 행하고 있으며, 국내에서는 현재 누출탐지 기법의 적용에 대한 선행 연구를 행하고 있는 실정이다[3].

도시가스를 공급하는 도시가스회사는 물론, LNG를 수입하여 공급하는 가스공사 배관망에서 누출 위치를 정확히 탐지하여 보수하는 작업은 안전성 및 경제성 측면에서 중요하다고 보여진다. 특히 지중에서 가스가 누출되었을 경우 확산 방향 및 농도 분포도를 예측하는 것은 매우 중요하다.

1980년대 이후 VOC에 의한 환경 문제가 심화되면서 지하에서 오염물 이동 및 변환에 관한 다상이론 연구가 매우 활발히 진행되기 시작하였다. Zhou[4]와 Young[5]은 지하 저장탱크에서 새어나온 유류의 이동현상을 전산모형과 실험을 통하여 해석하였으며, 이때 기체상태의 확산은 일반적으로 정상적인 분자확산과 Knudsen flow에 의해 이루어짐을 알 수 있었다.

일본의 공해자원연구소[6]에서는 매설배관의 부식 등으로 인한 지하에서 누출된 C_3H_8 및 CH_4 의 확산 및 토양다짐 정도에 따른 영향을 약 2년간의 현장 실험을 통하여 수행하였다. 콘크리트 포장 전과 포장 후 동일한 조건에서 메탄가스를 $1.1m^3/hr$ 의 유량으로 45시간 상방향으로 방출하면서 시간에 따른 농도의 변화를 측정하였다. 포장상태에서 누출된 메탄

가스의 농도는 포장을 하지 않았을 때의 농도보다 동일한 위치에 대해서 높게 나타났다. 또한 매설한 토지가 단단하게 다져지면서 가스가 횡방향으로 확산해 가는 것을 알 수 있었다. 즉, 포장의 영향에 대한 실험결과 가스농도의 감소시간을 비교해 보면 C_3H_8 은 포장전후로 거의 변하지 않았으나, CH_4 가스는 5배이상 변화였다.

본 연구에서는 지하 가스배관에서의 정확한 누출 위치 예측을 위한 기초 연구로서 토양내에서의 가스 거동 현상을 밝히기 위하여 실험실내에서 확산 실험조를 제조하여, 토양 조건과 공급 가스의 유량 변화에 따른 가스의 농도 변화를 측정하고, 가스 농도가 정상상태에 도달한 후 가스 공급을 중단하고 질소가스를 공급하면서 확산 실험조내의 가스 농도가 감소하는 속도를 측정하였다.

2. 실험방법

2.1. 실험장치 제작

2.1.1. MOS 센서 및 CATLAS를 이용한 도시가스(LPG+Air) 농도 측정

실험에 사용한 MOS(metal oxide semiconductor, LAVS-1HC)센서는 low hydrocarbon gas의 농도 측정용으로 사용 범위는 0~5,000 ppm이다. MOS 센서의 작동원리는 환원분위기 또는 연소분위기에서 가스가 센서에 흡착되는 과정에서 가스와 센서사이의 전자기동에 의하여 센서의 전기전도율이 변화게 되며, 센서가 이를 millivolts 단위의 전압변화로 감지하게 된다. MOS 센서의 일반적인 특성은 가스에 대한 감지 속도가 빠르고, 수명이 길며 환경에 의한 영향이 비교적 작다.

본 실험에 사용한 MOS 센서는 신호처리장치인 CATLAS(미국 California, Universal Sensors and Devices)에 연결하여 사용하였다. CATLAS에 센서를 연결한 후 CATLAS를 동작시키면 CATLAS는 자동으로 센서의 종류를 감지하여 작동한다. 센서를 CATLAS에 연결한 후 주의할 점은 초기에 센서를 신선한 공기 중에서 놓고 작동을 시켜 baseline을 맞추어야 한다. 센서가 가스를 감지하게 되면 출력 신호가 CATLAS로 전송되어지고 CATLAS는 이 출력신호를 일정한 시간 간격으로 출력시킨다.

2.1.2. MOS 센서 보정을 위한 실험 장치 구축

MOS 센서에서 가스가 감지되어 CATLAS에 나타나는 출력신호는 직접적인 가스의 농도가 아니라 CATLAS의 출력전압(mV)으로 나타난다. 따라서 본 실험을 하기에 앞서 MOS 센서의 출력신호를 농도

값으로 바꾸기 위한 calibration curve를 구해야만 한다. MOS 센서의 calibration을 위하여 4가지의 가스 농도를 정하고 이에 대한 출력신호를 기록함으로써 calibration curve를 얻었다. 가스의 농도를 조절하기 위하여 도시가스와 질소의 유량을 조절하여 혼합하였다. 실험에 사용한 도시가스는 그 주성분이 프로판이 약 65 %, 공기가 35 %로 이루어져 있으며, calibration에 이용한 프로판의 농도조절을 위한 도시가스와 질소 각각의 유량과 그때 얻어진 프로판의 농도를 Table 1에 나타냈다.

Table 1. The flow rate of leak gas and N₂ in calibration and the resulting propane concentration.

프로판 농도	498 ppm	994 ppm	1656ppm	3577 ppm
도시가스 (cc/min)	4.98	9.96	16.6	16.6
N ₂ (cc/min)	6500	6500	6500	3000

Calibration curve를 얻기 위한 실험 장치를 Fig. 1에 나타냈으며, calibration을 하기에 앞서 MOS 센서를 신선한 공기 중에서 base를 0으로 맞춘 후 calibration column에 넣었다. 도시가스와 질소유량을 각각 MFC(mass flow controller, 미국, MKS)를 사용하여 정확하게 조절하여 공급하였으며, 공급된 가스는 균일한 조성을 유지하기 위하여 두 개의 premixer를 사용하여 충분히 혼합한 후 calibration column에 공급하였다. MOS 센서 출력신호의 안정화를 위하여 혼합가스를 40분 이상 충분히 공급하였으며 센서의 출력신호가 안정한 값을 보일 때의 출력신호를 기록하였으며, 센서별로 calibration 실험을 각각 수행하였다.

2.1.3. 가스의 지중 확산 실험 장치 구축

본 실험에 사용한 확산 실험조는 내면의 크기가 100×50×75cm(W×H×D)이고, 확산 실험조는 밀면세 지점에서 각각 가스를 공급할 수 있도록 제작하였다. Fig. 2에 본 실험을 위해 제작된 확산실험조의 가스누출점과 측정점을 보였으며, 실험장치는 Fig. 3에 나타내었다. 또한 균질지만 조성을 위하여 Fig. 4에 강사장치를 제작하였다.

확산 실험조에는 배관 시공시의 모형을 구축하기 위하여 국내 토양중 대표적인 모래 및 흙을 설정(주문진 표준사, 화강풍화토)하고 비중실험(KS F2308), 입도분석실험(KS F2302), 액·소성한계실험(KS

F2304) 및 다짐실험(KS F2312)을 통한 물성실험을 행한 후 최종 검증된 토양으로 실험을 행하였다.

주문진 표준사(또는 화강풍화토)를 채우기에 앞서 가스 농도 측정을 위한 MOS 센서를 보호하기 위하여 각 측정점에 내면의 지름이 22mm인 PVC 파이프를 설치하였다. 파이프의 길이는 확산 실험조에서 도시가스 농도측정 깊이를 변화시키기 위하여 25cm와 50cm로 하였다. 각 PVC 파이프는 철사를 이용하여 확산 실험조 내에서의 위치를 고정시켰으며, PVC 파이프의 위치를 일정하게 유지시키면서 주문진 표준사(또는 화강풍화토)를 확산 실험조내에 균일하게 채웠다. 특히, 화강풍화토를 채울 때는 균일한 층을 만들기 위하여 일정한 압력을 가하여 다져주었다. 처음에는 확산 실험조를 이루는 아크릴의 손상을 막기 위하여 확산 실험조에 약 10cm 정도의 두께로 화강풍화토를 채운 후 다져 주었으며, 그 다음부터는 7cm정도로 화강풍화토를 채운 후 매번 다져주었다. 확산 실험조내에 주문진 표준사(또는 화강풍화토)를 완전히 채운 후 PVC 파이프에 연결한 철사를 제거하였으며, MOS 센서를 PVC 파이프의 안쪽에 삽입하였다. 파이프의 윗 부분은 가스의 누출을 방지하기 위하여 완전히 밀폐시켰다.

본 실험에서는 가스공급유량과 누출점을 변화시키면서 가스 확산 거동을 측정하였다. 가스 확산 실험은 확산 실험조의 윗 부분은 대기 중에 노출된 상태에서 수행하였다. 가스 공급을 시작한 후 출력신호가 정상상태에 도달할 때까지 가스 농도 측정을 하였으며, 정상상태에 도달한 이후에는 질소가스를 공급하면서 시간에 따른 가스농도의 변화에 대하여 실험을 하였다. 도시가스 농도, 기체유량, media 종류 등을 변화시키면서 도시가스의 지중 확산에 대하여 실험을 하였으며 각 실험조건에 따른 실험번호를 Table 2에 나타냈다.

Table 2. Condition of gas flow rates, soil media, gas feeding points and test time in various tests.

	실험 1	실험 2	실험 3	실험 4	실험 5	실험 6
가스누출속도 (cc/min)	20	143	203	181	104	145
질소(N ₂)가스 purging 속도 (cc/min)	-	-	200	200	100	200
전체 실험 시간 (min)	487	1002	505	532	603	842
토양 매질	주문진 표준사	주문진 표준사	주문진 표준사	화강 풍화토	화강 풍화토	화강 풍화토
가스 누출점	누출점 1	누출점 1	누출점 3	누출점 2	누출점 2	누출점 1

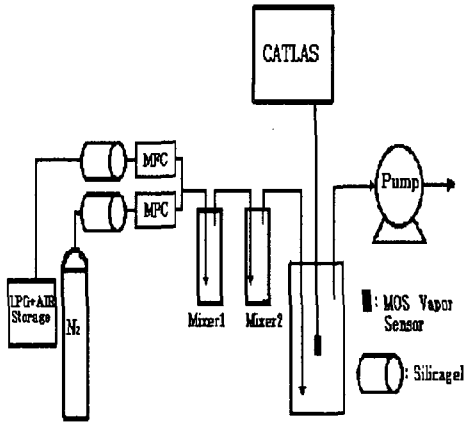


Fig. 1. The schematic of experimental apparatus for calibration of MOS sensors.

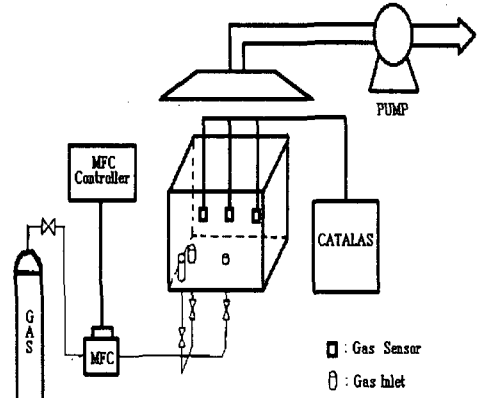
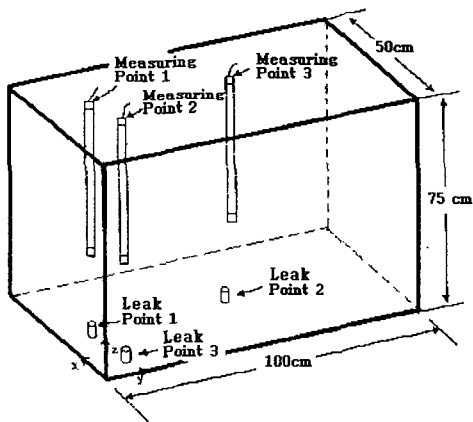


Fig. 3. The schematic of experimental apparatus for gas diffusion measurements in soil media.



(x, y, z)		(x, y, z)	
Leak point 1	(25, 5, 0)	Measuring point 1	(25, 20, 50)
Leak point 2	(25, 50, 0)	Measuring point 2	(10, 20, 25)
Leak point 3	(5, 5, 0)	Measuring point 3	(25, 50, 25)

Fig. 2. Schematic of measuring points 1, 2 and 3 and the gas leak points 1, 2 and 3 in the container for gas diffusion experiments.

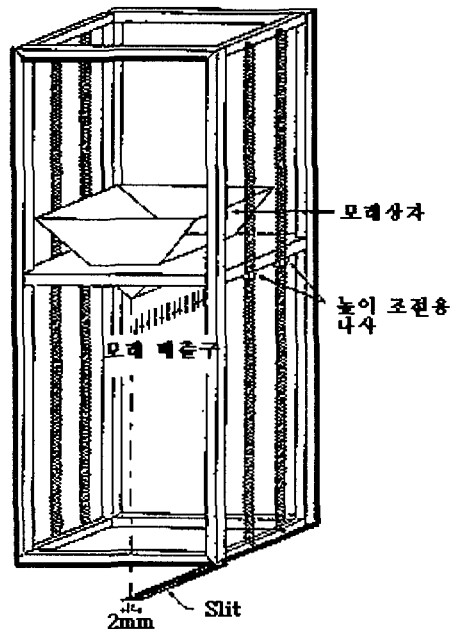


Fig. 4. The ranning device for Jumunjin standard sand.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. MOS 센서의 보정 실험 결과

Fig. 5는 가스 농도 변화에 따른 센서 #1과 센서 #2의 calibration의 결과이며, 센서 #1과 #2에서 가스 농도가 증가함에 따라 CATLAS에서의 센서출력이 거의 비례하여 증가하였다. MOS 센서의 calibration을 위하여 센서별로 동일한 도시가스 농도를 공급하면서 센서출력 실험을 하였다. 센서에 따라 같은 가스 농도에 대하여 각각 다른 출력값을 보였다. 이는 각 센서에서의 유효흡착면적이 동일하지 못하여 같은 가스 농도에 대하여 전자 이동 속도가 틀리기 때문에 출력이 틀리게 측정되는 것으로 분석된다. 따라서, 본 실험에서는 센서별로 calibration curve를 각각 작성하여 각 센서의 출력에 따른 가스의 농도를 계산하였다.

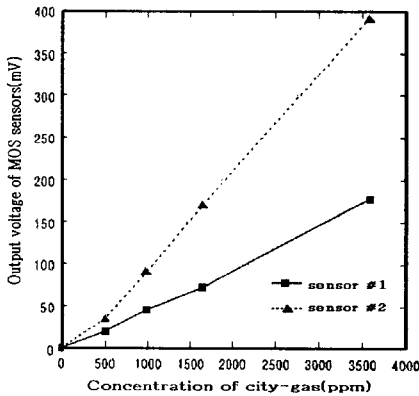


Fig. 5. The calibration curves of MOS sensors(MOS output voltages-vs-leak gas concentrations).

3.2. 표준사를 이용한 가스의 지중 확산 실험 결과

Fig. 6은 실험 1과 실험 2의 결과이며, 두 실험은 주문진 표준사로 가스 누출지점 1에서 유량을 변화시켰을 때의 측정점 1 및 2에서의 시간에 따른 가스 농도 변화의 결과이다. 측정점 1은 가스 공급 지점으로부터 수평거리 15cm, 수직거리 50cm에 위치해 있고, 측정점 2는 가스 공급 지점으로부터 수평거리 21cm, 수직거리 25cm에 위치해 있다.

실험 1에서는 가스유량이 20 cc/min이며 가스 누

출 지점으로부터 수직거리가 가까운 지점인 측정점 2에서 가스의 농도가 먼저 감지되기 시작하였으며, 또한 가스 농도도 높게 측정되었다.

실험 2에서는 가스유량이 143 cc/min으로서 실험 1보다 유량이 빠르게 하였다. 가스의 초기 감지시간은 측정 센서의 거리가 가까운 측정점 2의 위치에서 거리가 먼 측정점에서 보다 빨리 나타났다. 또한, 측정점 2의 농도 증가 속도가 빠르게 나타났다. 가스 누출지점에서 가까운 지점(측정점 2)에서의 가스 농도가 더 먼 지점(측정점 1)에서 보다 높게 나타났다.

실험 1과 실험 2를 비교하여 같은 측정 지점에서의 도시 가스 농도 측정결과를 보면 누출 가스의 유량이 빠를 때 가스 농도가 높게 나타남을 알 수 있다. 측정점 1과 2에서 각각 적은 가스유량에서 많은 가스유량으로 변화함에 따라 가스의 농도가 빨리 감지되고 높은 농도로 측정됨을 알 수 있었다. 또한 측정점 1과 2의 가스 농도 감지 시간의 차이는 가스 누출 유량이 작은 실험 1에서 약 25분 정도의 시간 차이를 보이며, 누출 유량이 실험 1에서 보다 123cc/min가 많은 실험 2에서는 약 15분 정도의 차이를 보인다. 같은 측정점에서의 농도 증가 속도 또한 실험 1보다 누출유량이 큰 실험 2에서 빠르게 증가됨을 알 수 있었다.

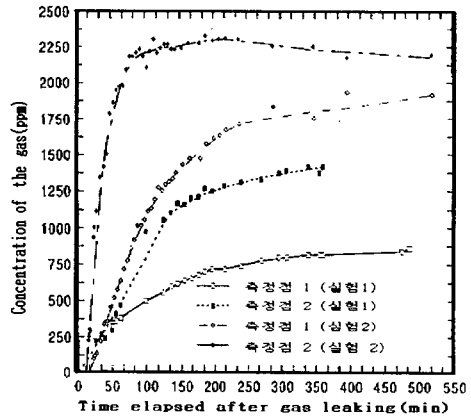


Fig. 6. The changes of gas concentrations with time in the measuring point 1 and 2 for various gas flow rates to the leak point 1 (soil medium : Jumunjin standard sand).

Fig. 7은 실험 3의 결과로서 도시가스를 누출점 3에서 203cc/min의 유량으로 공급하였다. 실험 3에서

의 측정점 3은 가스 누출 지점으로부터의 수직거리가 25cm으로써 측정점 2와 동일하나 수평거리는 측정점 2보다 약 33cm 더 멀다. 가스 누출점으로부터 가까운 측정점 2에서 센서 감지 속도가 빨랐으며, 거리가 먼 측정점 3에서의 감지시간과의 차이는 약 35분 정도였다. 전체적인 확산 경향은 실험 1 및 2(누출점 1)와 비슷한 경향을 나타냈으며, 누출점에서 가까운 측정점 2에서의 농도가 먼지점(측정점 3)보다 빨리 증가하고 높게 나타났다.

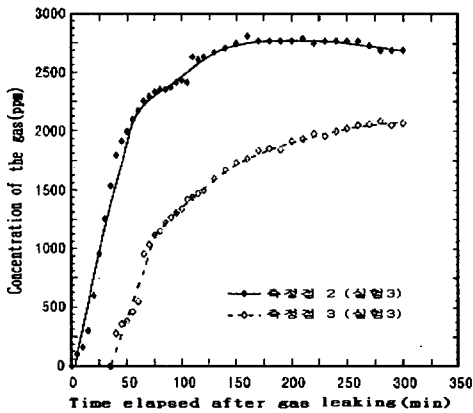


Fig. 7. The changes of gas concentrations with time in the measuring point 2 and 3 for the gas flow to the leak point 3 (soil medium : Jumunjin standard sand).

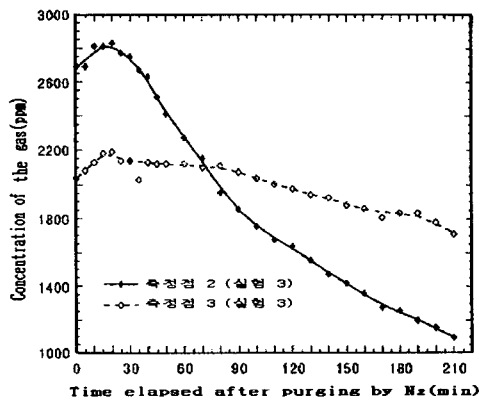


Fig. 8. The changes of gas concentrations with time in the measuring point 2 and 3 after purging by N₂ to the leak point 3 (soil medium : Jumunjin standard sand).

실험 3에서는 도시가스를 일정시간 누출시켜 정상상태에 도달한 이후 질소를 200cc/min으로 공급하면서 가스농도가 떨어지는 속도를 측정하였으며, 실험 결과를 Fig. 8에 나타냈다. 질소를 공급한 이후 초기에는 가스 농도가 약간 증가하는 경향을 보였다. 그러나, 시간이 지남에 따라 가스 누출 지점으로부터 가까운 쪽인 측정점 2의 농도가 급격하게 떨어졌으나 가스 누출 지점으로부터 먼 지점인 측정점 3의 농도는 서서히 떨어지는 경향을 나타냈다.

질소 공급을 시작할 때는 가스 누출 지점으로부터 가까운 거리에 있는 측정점 2의 농도가 높게 나타났다으나, 질소를 공급한지 약 80분이 지난 다음의 가스 농도는 누출 지점에서 먼 거리에 있는 측정점 3에서 농도가 높게 나타났다.

표 3에서 볼 수 있듯이 정상상태의 90% 농도에 도달하는 시간은 가스 누출 속도에 거의 관계없으며, 누출점과 측정점 사이의 거리에 비례하며, 비례계수는 약 4 min/cm로 추정할 수 있었다.

Table 3. Time to reach pseudo steady-state(Jumunjin standard sand).

누출점과 측정점간의 거리	정상상태의 90% 농도 도달시간	누출속도(ml/min)
32.8	75	143
52.2	200	143
32.8	133	20
52.2	230	20
29.6	140	203
55.2	250	203

Table 4. Time to reach pseudo steady-state(Granite weathered soil).

누출점과 측정점간의 거리	정상상태의 90% 농도 도달시간	누출속도(ml/min)
25	115	181
41.8	260	181
25	115	104
41.8	260	104
29.6	225	145
55.2	400	145

3.3. 화강풍화토를 이용한 가스의 지중 확산 실험 결과

Fig. 9는 실험 4와 실험 5의 결과이며, 실험 4와 5는 화강풍화토를 확산 실험조에 채운 다음 동일한 가스 누출 지점(leak point 2)에서 유량을 변화시키면서 가스 농도를 시간에 따라 측정하였다. 측정점 2의 위치는 가스 누출지점으로부터 수평거리 33.5cm, 수직거리 25cm에 위치해 있으며, 측정점 3의 위치는 가스 누출지점으로부터 수평거리 0cm, 수직거리 25cm에 위치해 있다.

실험 4에서는 가스를 누출 지점 2에서 181 cc/min으로 공급하면서 가스의 농도를 측정하였다. 가스 누출 지점으로부터 가까운 지점인 측정점 3에서는 가스를 누출시킨 후 약 8분 후에 가스의 농도가 감지되었다.

가스 누출 지점으로부터 먼 거리인 측정점 2에서는 가스 누출 후 약 40분 후에 가스 농도가 감지되었다. 가스의 농도는 가스 누출 지점에서 가까운 거리인 측정점 3에서 높게 나타났으며, 가스 누출 후 약 100분이 경과한 후에 가스의 농도 증가 속도가 감소하였으나, 거리가 먼 측정점 2에서는 농도 증가가 계속되고 있었다. 가스를 누출시킨 후 약 300분이 경과한 다음에도 가스의 농도는 서서히 증가하고 있었으며, 주문진 표준사에서 가스 확산 실험(실험 3)과 비교하였을 때, 화강풍화토에서의 가스 확산이 보다 느리게 진행됨을 알 수 있었다.

실험 5는 가스를 누출점 2에서 104 cc/min로 가스를 누출시켜 측정지점 2, 3에서의 시간에 따른 농도 측정 결과를 나타내었다. 가스 누출 지점으로부터 가까운 위치의 측정점 3에서는 가스 누출 후 약 10분 후에 가스 농도가 감지되었고 측정점 3보다 먼 지점인 측정점 2에서는 초기 감지 시간이 약 50분이었다. 또한, 가스 누출 지점에서 가까운 측정점 3에서 가스 농도가 빠르게 증가하였으며 농도도 높게 측정되었다.

실험 4, 5의 결과에서 누출가스의 유량이 증가함에 따라 누출 지점으로부터 가깝게 위치한 측정점 3에서의 초기 농도 감지시간은 큰 차이를 보이지 않았으나, 정상상태에서의 가스 농도는 누출유량이 약 77 cc/min가 큰 실험 4의 경우가 실험 5에서 보다 약 800 ppm 높게 나타났다. 가스 누출 지점으로부터 먼 거리의 측정점 2에서는 실험 4, 5의 결과에서 누출가스의 유량이 변화함에 따라 초기 감지 시간은 10분 정도의 차이를 보였으며, 정상상태에서의 가스 농도 차이는 누출유량이 큰 지점에서 약 400 ppm 정도로 높게 측정되었다. 따라서, 실험 4, 5의 결과로부터 가스의 농도 확산 속도는 누출유량이 큰 경

우가 빠르게 진행됨을 알 수 있었다.

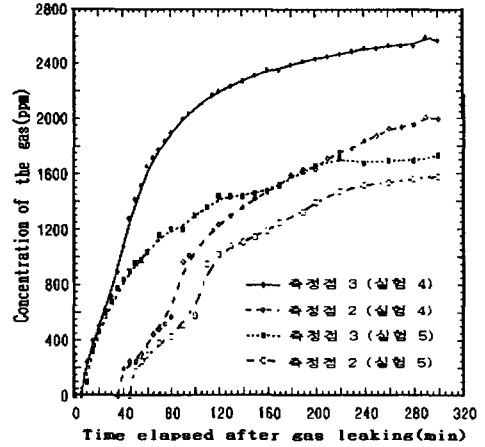


Fig. 9. The changes of gas concentrations with time in the measuring point 2 and 3 for various gas flow rates to the leak point 2 (soil medium : granite weathered soil).

Fig. 10은 실험 4와 5에서 가스를 일정시간 누출시켜 가스 농도가 정상상태에 도달한 후, 가스의 누출을 중단시키고 누출지점에서 각각 질소를 공급하면서 확산 실험조내에서 가스 농도가 떨어지는 속도를 측정한 결과이다. 실험 4에서는 질소를 200 cc/min로 공급하였으며 실험 5에서는 질소를 100 cc/min로 공급하였다. 실험 4에서 질소 가스를 공급한 이후 초기에는 가스의 농도가 약간 증가하는 경향을 보였으나 시간이 지남에 따라 가스의 농도가 감소하였다. 질소 가스의 공급지점으로부터 가까운 거리인 측정점 3에서는 거리가 먼 측정점 2에서 보다 초기에는 가스 농도가 높았으나 시간이 지남에 따라 가스의 농도가 급격히 감소하였다. 질소를 공급한지 약 130분 후에는 측정점 2에서 보다 농도가 낮아졌으며 약 230분 후에는 처음의 도시가스 농도의 절반 이하로 떨어졌다. 측정점 2의 경우, 가스의 농도 감소가 느리게 진행되어 질소가스를 공급한지 약 230분 후의 가스 농도는 초기농도에 비해 150 ppm 정도 떨어졌다.

실험 5에서도 질소 가스를 공급한 후 가스의 농도는 초기에는 증가하는 경향을 보이거나 시간이 지남에 따라 가스의 농도는 감소하였다. 가스 공급 지점에서 가까운 측정점 3의 경우가 먼 거리에 있는 측정점 2에서 보다 빨리 감소함을 보이고 있다. 따라

서, 질소가스의 공급유량이 증가할수록 가까운 위치에서의 도시가스 농도는 급격히 감소함을 알 수 있었다.

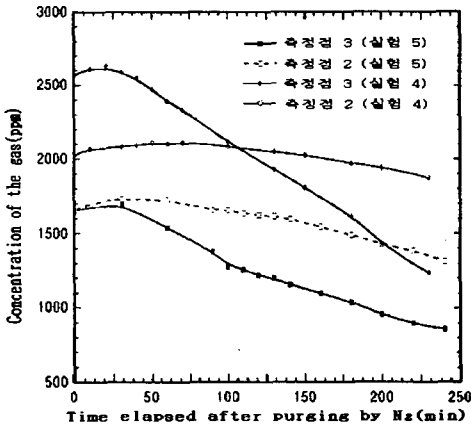


Fig. 10. The changes of gas concentrations with time in the measuring point 2 and 3 after purging by N_2 to the leak point 2 (soil medium : granite weathered soil).

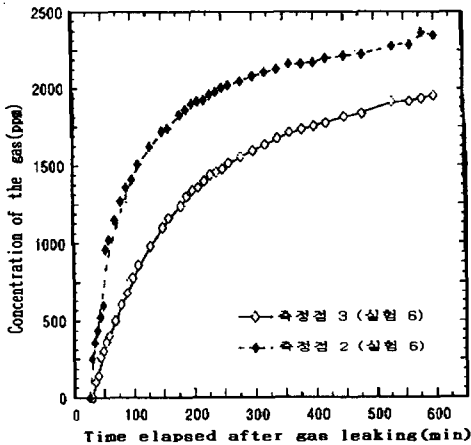


Fig. 11. The changes of gas concentrations with time in the measuring point 2 and 3 for the gas flow to the leak point 3 (soil medium : granite weathered soil).

Fig. 11은 실험 6의 결과로서, 누출지점 1에서 145 cc/min의 유량으로 가스를 누출시키고 측정지점 2, 3에서 가스 농도를 시간에 따라 측정한 결과이다. 가스의 농도는 가스 누출지점으로부터 제일 가까운 측정점 2에서 먼저 감지 되기 시작하였으며, 농도 증가 속도 또한 빠르게 나타났다. 가스를 누출시킨 후 약 600분 이상의 시간에서도 약간씩 가스의 농도가 증가하는 경향을 보이고 있으며, 측정점 2의 경우 도시가스 공급 이후 약 150분 이상에서는 농도 증가속도가 감소하고, 측정점 3에서는 약 180분 정도에서 농도 증가 속도가 감소하였다. 약 200분이 지난 후부터 두 지점에서의 농도차이가 400 ppm 정도로 유지하면서 포물선적(parabolic) 거동을 나타내었다.

Fig.12는 가스를 누출시키기 시작하여 600분이 지난 후 가스의 누출을 중단하고 질소를 200 cc/min의 유량으로 공급하기 시작한 후 가스 농도의 감소를 시간에 따라 측정한 결과이다. 실험 4, 5에서와 마찬가지로 질소 가스 공급 후 초기에는 도시가스 농도가 약간 증가하는 경향을 보이니 시간이 지남에 따라 도시가스의 농도는 감소하였다. 가스 공급 지점으로부터 가까운 측정점 2의 경우 도시가스 농도 감소가 더 빠르게 진행되었다.

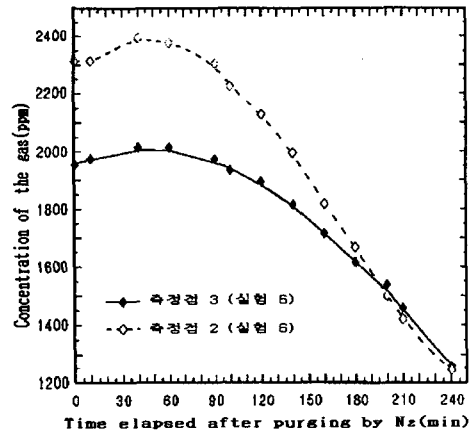


Fig. 12. The changes of gas concentrations with time in the measuring point 2 and 3 after purging by N_2 to the leak point 1 (soil medium : granite weathered soil).

표4에 나타나 있듯이 정상상태의 90% 농도에 도달하는 시간은 표3의 주분진 표준사에 비하여 증가

하였으며, 비례계수는 약 7 min/cm로 추정할 수 있었다.

현재, 도시가스배관의 지표면에서 누출검지를 행하는 불꽃이온화 검지기(FID)에 의한 가스누출 검지시 1ppm이상에서 경고음이 울리도록 설정되어 있으나, 실제 도로 포장면 아래 지하 가스배관에서 가스누출의 경우 지표면 위(포장면 바로 아래)에 농도가 매우 높게 나타나는 실정으므로 포장경계면에서의 누출검지가 실제적으로 이루어지고 있다(6). 따라서, 1.2미터의 지하에 매설된 가스배관에서 누출이 발견되었을 경우, 지표면 근처에서 가스 농도가 거의 일정한 값(정상상태의 90%)을 나타내면 가스누출은 최소 약 10시간 이전부터 시작되었음을 알 수 있다.

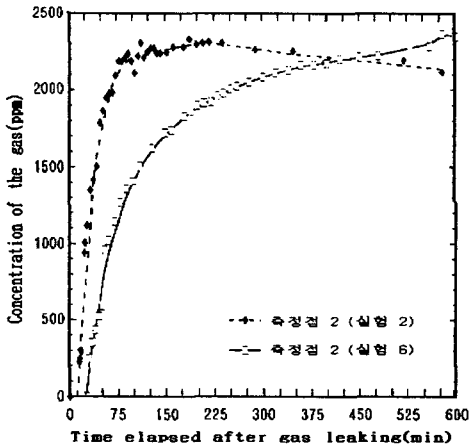


Fig. 13. The comparison of gas concentrations with time for the soil mediums of Jumunjin standard sand and granite weathered soil in the measuring point 2 for the gas flow to the leak point 1.

Fig. 13은 실험 2와 실험 6에서의 경우, 측정점 2에서의 결과를 나타냈으며, 이때 가스 누출 지점 1에서 가스의 누출 유량은 실험 2에서 143 cc/min이고, 실험 6에서는 145 cc/min이다. 실험 2는 주문진 표준사에서의 가스의 확산을 측정된 것이며, 실험 6은 화강풍화토에서 가스의 확산을 측정된 결과이다. 주문진 표준사에서는 화강풍화토의 경우 보다 가스의 초기 농도감지 시간이 빨랐으며, 농도 증가 속도도 빠르게 나타났다. 이는 화강풍화토에서는 다짐에 의해 확산 실험조내에 토질이 더 조밀하게 채워져서 가스 확산 속도가 느려졌기 때문으로 분석된다. 실험 2의 경우 가스 누출 시작 후 약 80분 후에는 농도가 일정한 경향을 나타냈으나, 실험 6의 경우는 계속하여 약간씩 증가하는 경향을 보였다. 화강풍화토에서의 가스 확산의 경우(실험 6) 표준사에서의 실험(실험 2)보다는 농도 증가 속도가 떨어졌으나, 약 430분 이후에는 농도가 높게 나타났다. 그 원인으로 같은 누출가스의 유량에 대하여 주문진 표준사에서는 화강풍화토에서 보다 확산에 의하여 실험조의 상부 표면으로부터 바깥으로 더 잘 빠져나가므로, 정상상태에서는 화강풍화토에서의 가스 농도가 주문진 표준사에서 보다 높게 나타난 것으로 사료된다.

결 론

본 연구에서는 지하매설 가스배관에서의 지중 확산 거동을 예측하기 위하여 주문진 표준사와 화강풍화토에서의 누출가스의 확산 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 주문진 표준사는 화강풍화토에 비하여 가스 확산속도가 빠르고 임의의 지점에서 가스농도가 정상상태에 도달하는 시간이 짧다.
2. 정상상태 90% 농도 도달시간은 가스 누출 속도에 관계없이 누출지점과 측정점 사이의 거리에 비례한다.
3. 거리에 따른 정상상태의 90% 농도에 도달하는 시간은 주문진 표준사와 화강풍화토에서 근사적으로 각각 4 min/cm, 7 min/cm로 추정할 수 있었다.
4. 지하매설 1.2미터의 깊이의 가스배관에서 가스가 누출 되었을 경우, 지표면 근처에서 누출가스의 일정 농도를 감지하기까지는 토질과 지반 다짐도에 영향을 다소 받지만 배관에서의 가스누출은 최소 약 8시간 이전부터 시작되었음을 알 수 있다.
5. 본 연구를 바탕으로 향후 지하에서의 가스누출시 가스누출 속도, 토양 조건, 누출점과 측정점 사이의 거리 및 누출지점에서의 수직거리에 대한 확산 거동 관계를 결합시킨 정량적인 관계식 유도에 관한 정밀 분석 연구가 필요하리라 예상 된다.

참 고 문 헌

- (1) 정인구, 유상빈, 이수경, 김래현 : "파이프라인에서의 가스누출 확산과 폭발 영향 평가" 한국가스

- 학회논문집 2(2), 61(1998).
- (2) 최송천, 이경식, 조영도, 조지환 : “지능형 안전 관리시스템 개발 타당성 검토”, 한국가스안전공사(1997).
- (3) 최송천, 이경식, 조영도 : “지하매설 가스배관의 누출부위 탐지법에 관한 연구”, 한국가스안전공사 KGS-98-148(1998).
- (5) Young, W. S. : “Proceedings of The Conference on Southwestern Ground Water Issues”, National Water Well Association, Dublin, USA, 426(1986)
- (6) 일본공해자원연구소 : “지중에서 누출된 가스의 확산”, 일본공업기술원(1986).

- (4) Zhou J. : “Numerical and Experimental Analysis of Diesel and JP-5 Transport in Unsaturated Solids”, Ph.D. Thesis, UCLA, USA(1994).