

액화석유가스 20kg 용기의 가스누출량에 대한 실험적 연구

한국가스안전공사 이 장 우

한국가스안전공사 박 찬 옥

한국가스안전공사 여 창 훈

한국가스안전공사 박 찬 일

요 약

본 연구는 가스사고의 전형적이고 대표적인 폭발사고와 관련하여 LP가스용기밸브, 압력정기, 중간밸브(불밸브) 및 염화비닐호스로부터의 가스누출량이 어느 정도 되는지에 대하여 이론적으로 계산한 가스누출량과 실제 가스누출량에 대하여 실험을 통하여 연구함으로써 체적공간에서의 폭발과정과 점화원 및 사고경위를 조사하는데 중요한 자료로 활용하고 의도적이거나 취급 또는 시공상의 부주의에 의한 가스누출 발생시 사고당시 가스누출량을 확인하는데 활용하고자 연구하게 되었다.

1. 서 론

LP가스의 사고가 증가하고 특히 LP가스용기 밸브를 고의적으로 개방하여 가스를 누출 및 폭발시키는 범죄형 사고사례가 증가하고, 마감처리미조치등 시설미비로 인한 가스누출로 대형폭발사고가 끊이지 않고 있다. 우리는 이러한 현장에서 LP가스용기외면에서 결로현상과 성에현상 및 결빙현상을 확인하게 되고, 아주 많은 량의 가스가 누출되었다고 추정하고 있다. 대형 폭발사고가 발생하였을 때 흔히 이론적계산식에 의하여 누출량을 계산하고 있지만, 기상조건등 주위 환경에 따라 LP가스용기에서의 가스발생과 누출량이 상이하게 나타나므로 이에 대한 실제 가스누출량을 규명하고자 하였다.

2. 실 험

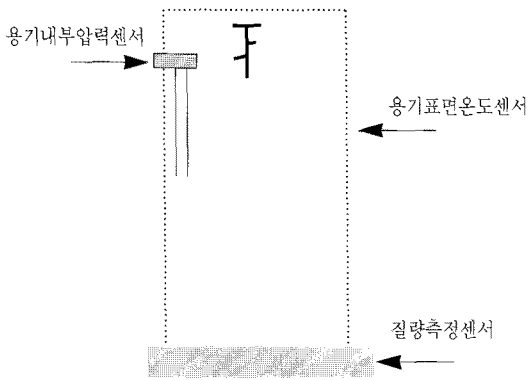
2. 1 실험장치

실험장치는 LPG20kg충전용기, 전자저울, 압력센서 및 기록장치가 사용되었으며, 압력센서는 용기내부에 설치하였고,

용기표면온도의 측정은 기록방치를 이용하였고, 전자저울로 누출량을 확인하였다. 누출되는 가스가 체류되어 점화원에 의해 폭발을 일으킬 수 가능성을 배제하기 위하여 실험세트로부터 35m의 위치에 기록장치 등을 설치하였다.

2. 2 실험방법

LP가스20kg가 충전된 가스용기 내부에 압력센서를 설치하였고, 용기의 표면온도센서는 용기외부 표면의 상부에 설치하였으며, 전자저울을 이용하여 시간당 누출되는 량을 측정하였다. LP가스가 누출되면서 전자저울의 가스누출에 따른 감소량을 5분간격으로 측정하였고, 가스누출량과 관계있는 결로현상과 성에 및 결빙에 이르는 과정을 시간대별로 측정하였다. LP가스용기의 경우 실험을 시작할 때마다 LP가스20kg 충전용기를 사용하였으며, LP가스의 누출량에 따른 표면온도의 변화량과 현상을 조사하기 위하여 용기표면온도측정센서를 [그림 1]과 같이 설치하였다.



[그림 1. 실험장치 개략도]



<사진 1> 용기밸브누출사례 <사진 2> 97.12.27 사고사례

3. 실험결과 및 고찰

3. 1 LP가스용기밸브의 가스누출

LP가스20kg충전용기의 용기밸브를 완전히 개방하고 가스를 누출시켰을 때 5시간 30분에 14.77kg을 누출시킬 수 있었다. 누출 개시후 3분만에 5.96kg이 누출되고 용기내부압력은 0MPa, 용기표면온도는 영하 30.1℃로 급격히 낮아졌다. 가스 누출결과는 [표 1]과 같다. 기상조건은 대기온도 13~16℃, 습도 86%, 기압 1017.85hpa, 최대풍속 3.5m/s, 강우량은 없었다.

[표 1. LP가스용기밸브의 가스 누출량]

경과시간(분)	누적누출량(kg)	내부압력(MPa)	표면온도(℃)
0	0	0.63	15.5
3	5.96	0	-30.1
8	6.31	0	-33
13	6.49	0	-32.1
18	6.69	0	-29.6
23	6.92	0	-28.5
28	7.15	0	-30.5
33	7.33	0	-31.7
38	7.49	0	-33.3
43	7.66	0	-33.2
48	7.81	0	-32.4
53	7.94	0	-31.3
58	8.09	0	-32.0
63	8.25	0	-32.7

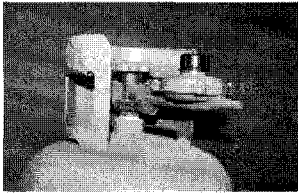
3. 2 압력조정기 가스누출

LP가스20kg충전용기의 용기밸브에 압력조정기(내경 9mm)를 설치하고 용기밸브를 완전히 개방시켜 가스를 누출시켰을 때 20kg을 14시간10분 동안 19.98kg을 누출시킬 수 있었다. 최초 10분동안 1.29kg을 누출되었다. 누출개시후 30분경에는 5.11kg이 누출되고 이때의 용기내부압력은 0.12MPa이며, 1시간 경과시 7.62kg으로 실제 압력조정기의 시간당 누출량인 4kg보다 2배정도 많이 누출되는 것을 알 수 있었다. 용기표면온도는 영하 0.2℃로 된 20분경과시 용기표면에 결로 및 성애가 발생하기 시작하였다. 가스누출결과는 [표 2]와 같다.기상조건은 대기온도 11~19.5℃, 습도 78%, 기압 1005.1hpa, 최대풍속 0.5m/s, 강우량은 없었다.

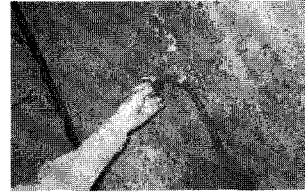
[표 2. 압력조정기의 가스 누출량]

경과시간(분)	누적방출량(kg)	내부압력(MPa)	표면온도(℃)
0	0	0.66	16.0
5	0.18	0.53	16.1
10	1.29	0.43	11.5
15	2.38	0.33	5.6
20	3.45	0.24	-0.2
25	4.37	0.17	-4.2
30	5.11	0.12	-9.1
35	5.73	0.09	-12.6
40	6.25	0.06	-15.2
45	6.67	0.04	-17.7
50	7.07	0.03	-19.8
55	7.37	0.02	-20.5
60	7.62	0.01	-22.5

※ 압력조정기 사양 : 조정압력(2.8±0.5KPa), 용량(4kg/h)



〈사진 3〉 압력조정기 가스누출



〈사진 2〉 '99.5.12 사고사례

3. 3 중간밸브(콕) 가스누출

LP가스20kg충전용기의 용기밸브에 압력조정기를 설치하고 이후에 염화비닐호스 3m의 말단부에 중간밸브(내경 6.5mm)를 설치하고 용기밸브를 완전히 개방시켜 가스를 누출시켰을 때 20kg을 9시간13분 동안 18.89kg을 누출시킬 수 있었다. 염화비닐호스보다 누출량이 매우 떨어졌으며 누출 개시후 30분경에는 2.67kg이 누출되고 이때의 용기내부압력은 0.38MPa이며, 1시간 경과시 5.69kg 누출되어 압력조정기로 직접적인 누출량보다 적었다.

용기표면온도는 영하 1.1°C로 된 50분경과시 용기표면에 결로 및 성애가 발생하기 시작하여 누출되는 량이 기화량과의 관계를 확실히 보여 주었다.

가스누출 결과는 [표 3]과 같다. 기상조건은 대기온도 16.0~17°C, 습도 70.5%, 기압 1013.75hpa, 최대풍속 3.1m/s, 강우량 없었다.

[표 3. 중간밸브(콕)의 가스 누출량]

경과시간(분)	누적누출량(kg)	내부압력(MPa)	표면온도(°C)
0	0	0.69	17.7
5	0.11	0.64	17.7
10	0.62	0.57	15.8
15	1.14	0.52	13.8
20	1.65	0.47	12
25	2.15	0.42	10.3
30	2.67	0.38	9.1
35	3.22	0.34	5.4
40	3.72	0.31	3.0
45	4.2	0.28	0.9
50	4.7	0.25	-1.1
55	5.2	0.21	-3.3
60	5.69	0.19	-4.4

3. 4 염화비닐호스 가스누출

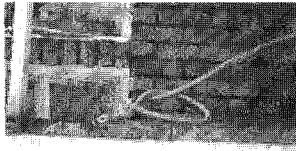
LP가스20kg충전용기의 용기밸브에 압력조정기를 설치하고 이후에 염화비닐호스(내경9.5mm) 3m를 설치하고 용기밸브를 완전히 개방시켜 가스를 누출시켰을 때 20kg을 3시간10분 동안 12.67kg을 누출시킬 수 있었다. 누출 개시후 32분경에는 4.6kg이 누출되고 이때의 용기내부압력은 0.2MPa이며, 약1시간 경과시 7.56kg 누출되어 압력조정기와 유사하였다.

누출량에 따른 기화열에 따른 용기표면에 결로 및 성애가 발생은 약 27분경부터 나타나 확실히 보여 주었다.

가스누출 결과는 [표 4]와 같다. 기상조건은 대기온도 15.3~17°C, 습도 86.3%, 기압 1015.31hpa, 최대풍속 4.0m/s, 강우량 0.7mm였다.

[표 4. 염화비닐호스의 가스 누출량]

경과시간(분)	누적누출량(kg)	내부압력(MPa)	표면온도(°C)
0	0	0.57	15.7
2	0.62	0.57	15.7
7	1.29	0.49	12.3
12	1.96	0.42	9.3
17	2.62	0.36	5.6
22	3.33	0.3	1.6
27	3.97	0.25	-1.0
32	4.6	0.2	-2.5
37	5.22	0.16	-5.8
42	5.73	0.13	-7.3
47	6.16	0.10	-18.1
52	6.66	0.06	-15.1
57	7.15	0.06	-17.8
62	7.56	0.04	-19.3



〈사진 5〉 '97.11.11 사고사례

■ 참고문헌

1. 한국가스안전공사, “가스방출실험보고서” 1997.
2. 한국가스안전공사, “가스사고연감” 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002.

4. 결 론

본 연구는 LP가스폭발사고현장에서 LP가스 누출량에 대하여 논란이 되고 있는 가스누출량에 대하여 규명하고자 하였다. 이론적계산방법에 의한 가스누출량이 사실적인지 아닌지에 대한 의문점이 있었다. 물론 이론적계산방법이 증명되는 자료의 가치가 높다고 하지만 실제적인 가스누출량을 검증한 이번 실험에서 용기밸브, 압력조정기, 중간밸브(콕) 및 염화비닐호스로부터의 실제적인 시간당 가스 누출량을 규명할 수 있었다.

또한, 용기표면에 결로현상과 성에현상 및 결빙현상에 대한 용기표면온도의 변화량을 알 수 있었으며, 가스누출이 지속되면서 용기내부의 압력이 떨어지는 변화량을 실험에서 알 수 있었으며, 압력의 변화량에 따라 가스의 누출량이 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있었다.

또한 용기밸브에서 직접누출되는 경우에는 3분 경과시 5.96kg이 누출되었고, 반대로 중간밸브(콕)를 통해서서는 10분이 경과된 시점에서도 0.62kg밖에 누출되지 않아 큰 차이를 보였다. 용기밸브, 압력조정기, 중간밸브(콕) 및 염화비닐호스의 약 1시간동안 누출된 양을 [표 5]와 같이 비교하였다

[표 5. 60분 경과시의 가스누출량 비교]

누출부위	경과시간(분)	누적누출량(kg)	내부압력(MPa)	표면온도(℃)
용기밸브	63	8.25	0	-32.7
압력조정기	60	7.62	0.01	-22.5
중간밸브(콕)	60	5.69	0.19	-4.4
염화비닐호스	62	7.56	0.04	15.3

LP가스20kg용기 충전된 상태에서 용기를 세움 상태로 하여 용기밸브 완전개방하고 자연적으로 5시간18분 동안 14.77kg이 누출되었다.