

# CO<sub>2</sub>용기의 양측정에 관하여 (LEVEL 측정기)

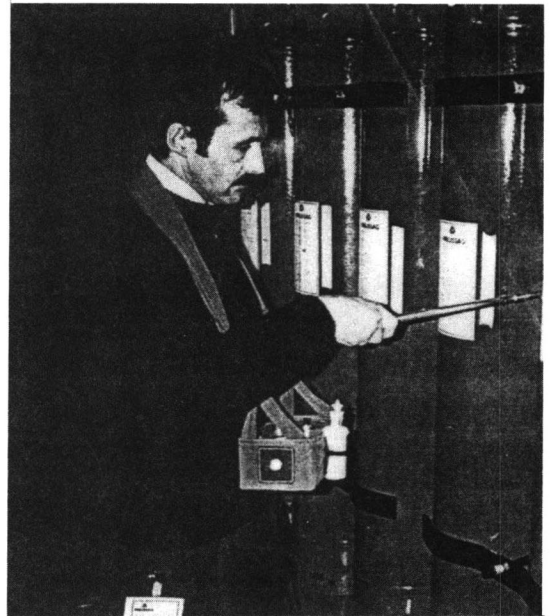
김영국 / 남양산업(주) 연구개발실 과장

## 가. 서 론

전역 방출방식에 사용되는 CO<sub>2</sub>용기나 소화기는 적어도 6개월에 1회 정도는 가스의 누설을 검사하여 10% 이상의 가스가 누설시 가스를 재충전하여야 한다.

현실적으로 설치된 후 몇년이 경과된 CO<sub>2</sub>용기의 가스량을 점검해 보면 용기의 반이상 이 비어 있는 경우가 태반이다. 밸브가 100% 완벽한 제품이라고 보장할 수 없으므로 누설된 CO<sub>2</sub>를 보충하지 않을 경우 화재시 약제의 부족에 의해 소화의 기능을 발휘하지 못하는 것이다. 특히, 전역 방출방식의 CO<sub>2</sub> 소화장치에서는 CO<sub>2</sub>가스량이 누설에 의해 법정 규정을 만족하지 못하는 경우, 소화의 기능을 전혀 발휘하지 못한다. 따라서, 고가의 장비를 설치하고 이를 유용하게 사용하기 위해서는 점검하는 업무를 소홀히 해서는 아니된다.

CO<sub>2</sub> GAS의 양을 점검하는 방법으로는 용기의 무게를 측정하는 방법이 제일 정확하고 보편적으로 사용되고 있다. 그러나 고정 지지된 부분을 풀어내고 저울에 올려 놓는 방법은 많은 시간과 노력이 필요하다. 따라서, 현재는 방사선 원리를 이용하여 용기의 외벽에서 CO<sub>2</sub>의 액상 수위를 측정하여 CO<sub>2</sub> GAS의 양을 측정하는 방법이 점차적으로 늘어나고 있다. 이에 따라 CO<sub>2</sub> GAS가 액상과 기상으로 나누어지는 경계를 해석하여, 수위 측정기에 의한 CO<sub>2</sub> GAS의 양을 점검하는데 적용하고자 한다.



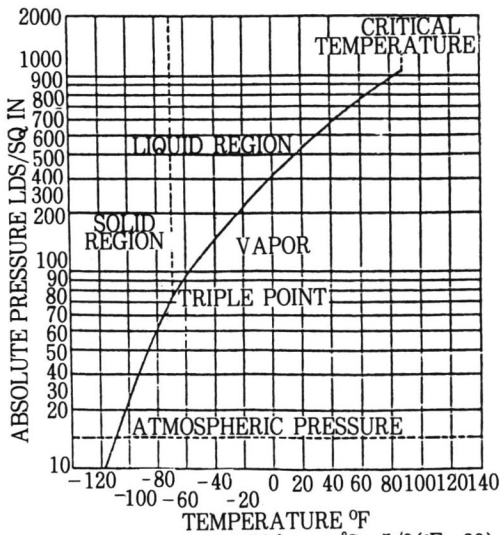
CO<sub>2</sub> 액상수위를 측정하여 CO<sub>2</sub> GAS의 누설을 점검하는 모습

## 나. 용기내의 상태 변화

1) CO<sub>2</sub>가스의 액상 기상의 경계를 알기 위해서는 먼저 CO<sub>2</sub> 가스가 용기내에서 행하는 온도에 따른 상변화에 대하여 먼저 알아보아야 한다.

옆의 그래프는 CO<sub>2</sub> GAS의 상태도 이다.

이에 따라서 융점(-78°C)이하에서 CO<sub>2</sub>가스는 고



For SI Units : 1 psi = 0.0689 bars : °C = 5/9(°F - 32)

체상태의 DRY ICE 상태로 존재하며, 융점에서 삼중점(-56.6°C)까지는 고체와 기체의 혼합상태로 존재한다.

삼중점에서 임계점(31.35°C)까지는 포화상태 즉, 액체와 기체의 혼합상태이며, 임계점 이상에서는 기체 상태만 존재한다.

따라서 -56.6°C부터 31.35°C까지는 액상과 기상의 경계가 이루어 지는 것이다.

2) 그러면 용기내에 충전된 CO<sub>2</sub> GAS도 동일한 상변화를 행하는가 살펴보자. (여기서는 일반적으로 충전비 15를 기준으로 살펴본다.)

### 포화 이산화탄소 CO<sub>2</sub>에 대한 상태량

온도 t (°C)	압력 p (kp/cm <sup>2</sup> )	비체적		밀도		엔탈피		증기열 r= i <sup>*</sup> -i <sup>'</sup> (kcal/kg)	엔트로피		$\frac{r}{T} = \frac{s^* - s'}{T}$ ( $\frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}}$ )
		액체 v <sup>'</sup> (dm <sup>3</sup> /kg)	기체 v <sup>*</sup> (dm <sup>3</sup> /kg)	액체 ρ <sup>'</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	기체 ρ <sup>*</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	액체 i <sup>'</sup> (kcal/kg)	기체 i <sup>*</sup> (kcal/kg)		액체 $\left(\frac{s'}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}}\right)$	기체 $\left(\frac{s^*}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}}\right)$	
-50	6.87	0.867	55.407	1153.5	18.1	75.01	155.57	80.56	0.9020	1.2631	0.3611
-45	8.49	0.881	45.809	1134.5	21.8	77.30	155.89	78.59	0.9120	1.2565	0.3445
-40	10.25	0.897	38.164	1115.0	26.2	79.59	156.17	76.58	0.9218	1.2503	0.3285
-35	12.26	0.913	32.008	1094.9	31.2	81.85	156.39	74.51	0.9314	1.2443	0.3129
-30	14.55	0.931	27.001	1074.2	37.0	84.19	156.56	72.37	0.9408	1.2385	0.2977
-25	17.14	0.950	22.885	1052.6	43.8	86.53	156.67	70.14	0.9501	1.2328	0.2827
-20	20.06	0.971	19.466	1029.9	51.4	88.93	156.72	67.79	0.9594	1.2272	0.2678
-15	23.34	0.994	16.609	1006.1	60.2	91.44	156.70	65.26	0.9690	1.2218	0.2528
-10	26.99	1.019	14.194	980.8	70.5	95.09	156.60	62.51	0.9787	1.2163	0.2376
-5	31.05	1.048	12.141	953.8	82.4	96.91	156.41	59.50	0.9890	1.2109	0.2219
0	35.54	1.081	10.383	924.8	96.3	100.00	156.13	56.13	1.0000	1.2055	0.2055
+5	40.50	1.120	8.850	893.1	113.0	103.10	155.45	52.35	1.0103	1.1985	0.1882
+10	45.95	1.166	7.519	858.0	133.0	106.50	154.59	48.09	1.0218	1.1917	0.1699
+15	51.93	1.223	6.323	817.9	158.0	110.10	153.17	43.07	1.0340	1.1835	0.1495
+20	58.46	1.297	5.269	771.1	189.8	114.00	151.10	37.10	1.0468	1.1734	0.1266
+25	65.59	1.409	4.232	709.5	236.3	118.80	147.33	28.53	1.0628	1.1585	0.0957
+30	73.34	1.680	2.979	595.1	335.7	125.90	140.95	15.05	1.0854	1.1351	0.0497
+31	74.96	2.156	2.156	463.9	463.9	133.50	133.50	0	1.1098	1.1098	0

위의 CO<sub>2</sub> 상태량 표의 30°C 경우에  
 $x+y=G$  .....①

$$1.68x+2.979y=1.5G-\frac{15G}{73.34} \text{ .....②}$$

여기서 x=액체상태의 CO<sub>2</sub> GAS 중량(kg)  
 y+기체상태의 CO<sub>2</sub> GAS 중량(kg)  
 G=CO<sub>2</sub> GAS 충전량(kg)  
 1.68=액체 CO<sub>2</sub>의 비체적(ℓ/kg)  
 2.979=기체 CO<sub>2</sub>의 비체적(ℓ/kg)  
 15=충전비(ℓ/kg)  
 73.34=30°C에서의 압력(kg/cm<sup>2</sup>)

$\frac{15G}{73.34}$  = 충전전 용기내에 있는 공기가 차지하  
 는 부피(ℓ)

①과 ②식을 연립하여 풀면 y값이 마이너스 값으로 나타난다. 기체가 마이너스 값이 존재할 수 없으므로 이때의 상태는 액체와 기체의 혼합상태가 아닌 압축된 액체상태만이 존재하는 것을 알 수 있다.

따라서, 이때는 액상과 기상이 분리되지 않으므로 수의 측정에 의한 CO<sub>2</sub> GAS양은 산정할 수가 없다.

그러면 어느 시점에서부터 압축된 액체상태의 CO<sub>2</sub> 만 저장되는가. 이를 조사해 보면,

온도(°C)	압 력 (kg/cm <sup>2</sup> )	액체의 비체적(ℓ/kg)	기체의 비체적(ℓ/kg)
25.6	66.4	1.436	3.997
26.7	68.2	1.480	3.747

25.6°C에서

$$x+y=G$$

$$1.436x+3.997y=1.5G-\frac{15G}{68.2}$$

두식을 연립하여 풀면  $y=0.016G$

26.7°C에서

$$x+y=G$$

$$1.480x+3.747y=1.5G-\frac{15G}{68.2}$$

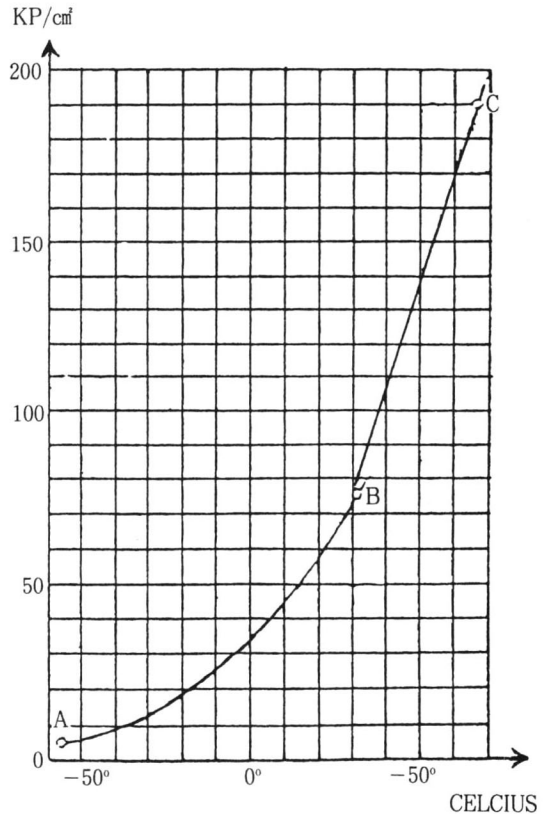
두식을 연립하여 풀면  $y=-0.000886G$

보간법에 의해서 26.65°C 정도부터 압축 액상상태가 생성되는 것을 추측할 수 있다.

위의 결과를 정리하여 충전비 15로 충전된 CO<sub>2</sub> 용기내의 온도에 따른 상변화를 살펴보면 아래와 같이 CO<sub>2</sub>의 상태가 변함을 알 수 있다.

고체	고체+기체	액체+기체	액체	기체
-78°C	-56.6°C	27°C		31.45°C

이에 따라 26.65°C부터는 온도 상승에 따른 포화 증기압의 상승이 아닌 압축 액체이므로, 압력의 변화가 급격히 상승됨을 추측할 수 있다. 이에 의해 CO<sub>2</sub> GAS는 상온(20°C)에서 단지 58kg/cm<sup>2</sup>의 압력이나, 시험압력은 250 kg/cm<sup>2</sup>로 요구하는 것이다.



Pressure-Temperature Diagram for CO<sub>2</sub> at various Degrees of Filling

### 다. 온도에 따른 용기내의 상태량 변화

앞에서 언급한 CO<sub>2</sub> GAS의 상변화를 토대로 실제적인 용기내 가스의 온도에 따른 기화 및 액화 관계를 검토해 보자.

여기서는 68ℓ 용기에 CO<sub>2</sub> GAS 45kg를 충전한 용기에 한하며, CO<sub>2</sub> 저장실의 온도가 40℃이하이나, 26.65℃ 이상에서는 압축액체 상태로 인해 불가능하므로 0~25℃까지만 해석해 본다.

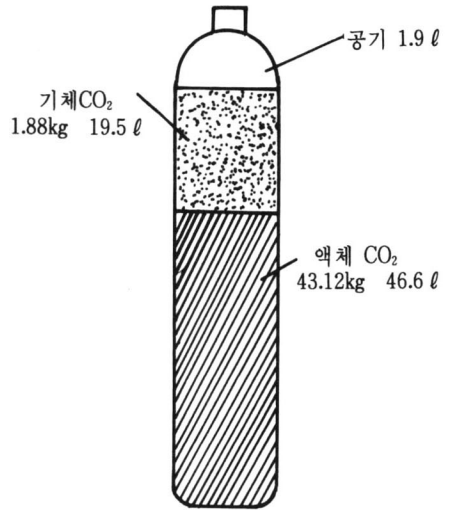
1) 0℃의 경우

$$\left. \begin{aligned} x &= \text{액체상태의 CO}_2 \text{ 중량(kg)} \\ y &= \text{기체상태의 CO}_2 \text{ 중량(kg)} \end{aligned} \right\} \text{이라고 보면}$$

$$x + y = 45 \dots\dots\dots ①$$

$$1.081x + 10.383y = 68 - \frac{68}{35.54} \dots\dots\dots ②$$

①, ②식을 연립하여 풀면 x=43.12kg, y=1.875kg 이에 따라 액체 CO<sub>2</sub>는 43.12kg이 46.6ℓ의 부피를 차지하며 기체 CO<sub>2</sub>는 1.88kg이 19.5ℓ의 부피를 차지하고



충전초기에 용기내에 있던 공기는 1.9ℓ의 부피를 차지하는 상태로 형성된다.

2) 5℃, 10℃, 15℃, 20℃, 25℃도 이와 같은 방법으로 계산하면,

온도		0℃	5℃	10℃	15℃	20℃	25℃	26.65℃
액체 CO <sub>2</sub>	중량(kg)	43.12	42.94	42.79	42.71	42.87	43.74	45
	부피(ℓ)	46.6	48.09	49.89	52.23	55.61	61.63	67
기체 CO <sub>2</sub>	중량(kg)	1.88	2.06	2.21	2.29	2.13	1.26	0
	부피(ℓ)	19.5	18.23	16.63	14.45	11.23	5.33	0
공기의 부피(ℓ)		1.9	1.68	1.48	1.31	1.16	1.04	1.0

위의 도표에서 우리는 특이한 현상을 발견할 수 있다.

온도가 상승함에 따라 공기부피가 줄어들고 액체 CO<sub>2</sub>의 부피가 늘어나며 기체 CO<sub>2</sub>의 부피가 줄어드는 것은 아주 정상적인 변화이다. 그러나 액체 CO<sub>2</sub>의 중량이 줄어들다가, 20℃부터 늘어나며 기체 CO<sub>2</sub>의 중량은 늘어나다가, 20℃부터 다시 줄어드는 현상이 발생한 것이다. 이는 폐쇄된 용기내에서 CO<sub>2</sub> GAS가 고압으로 인해 특이하게 액화상태로 변화는 역전이의 현상이 일어남을 알 수 있다. 이는 20℃ 상태에까지는 포화상태이지만, 20℃ 이후에서부터 전장에서 언급된 26.65℃까지는 밀폐된 용기로 인하여 포화 상태

에서 압축액체 상태로의 변환과정을 추측할 수 있다.

이에따라 20℃부터 압력이 정상상태를 벗어난다는 것이다.

### 라. 상태량 변화에 따른 용기의 LEVEL 변화

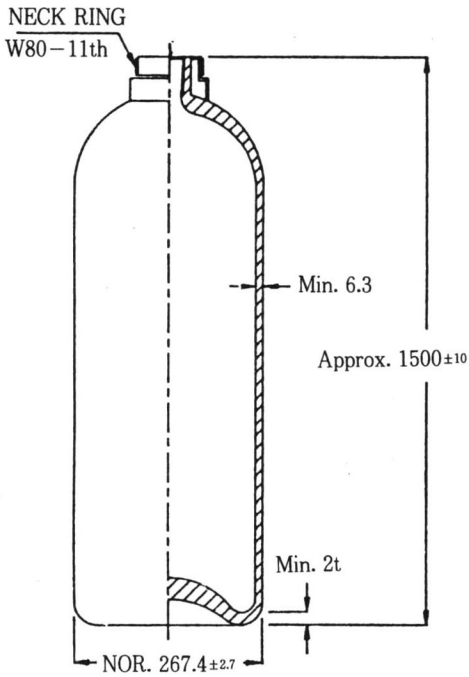
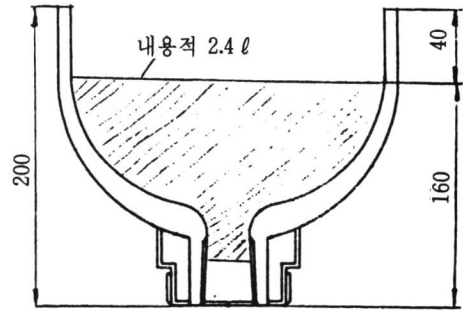
현재 우리나라에는 남양산업(주), 한국고압(주), (주)협동 3개 업체에서 전역 방출 방식에 사용하는 68ℓ CO<sub>2</sub> 용기를 생산하고 있다. 이들 용기는 크기 및 두께가 동일하다. 다만, 용기의 저부 및 두부가 조금씩 다르나, 이 오차가 미치는 수위의 차이는 미미

하므로, 여기서는 남양산업(주)에서 생산하는 68ℓ 용기에 대해서 조사해 보았다.

외경=267.4φ

두께=6.3t

내경=254.8φ



1) 다항 2의 표를 사용하여 높이를 계산하면

1-1) 0°C에서

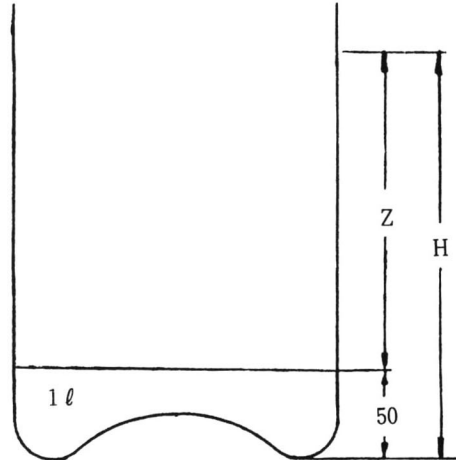
$$H=Z+50$$

$$Z=(V-1)/\frac{\pi}{4} D^2$$

$$\therefore H=4(V-1)\frac{\pi}{4} D^2+50$$

여기서 H=LEVEL의 높이(mm)

V=액체 CO<sub>2</sub>의 체적(ℓ)=46.6



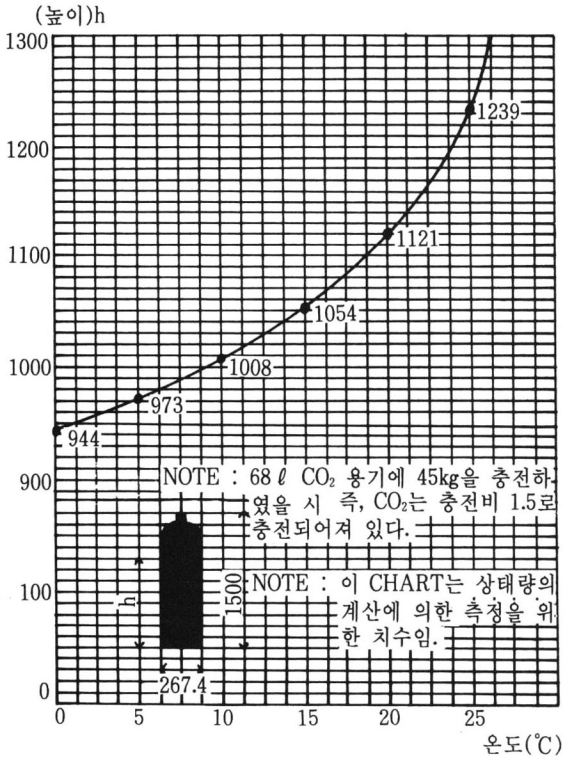
D=용기의 내경(m)=0.2548

$$H=4(46.6-1)/\pi(0.2528)^2+50=944$$

1-2) 동일한 방법으로 계산하면

온도	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	26.65°C
높이	944	973	1008	1054	1121	1239	1385

이에따라 산정한 CO<sub>2</sub> 용기의 LEVEL 그래프는 아래와 같다.



## 마. 결 론

본 조사에서 용기내의 CO<sub>2</sub> GAS의 상태변화, 상태량 변화 및 이에 따른 CO<sub>2</sub> GAS의 수위변화에 대해 살펴보았다.

우리가 여기서 주의해야 할 점은 CO<sub>2</sub> GAS가 17°C 이하에서는 Saturated상태이고 26°C~31°C까지는 Compressed Liquid 상태로 존재하며 17°C~26°C까지는 Saturated 상태에서 Compressed Liquid 상태로 변환하는 과정에 있는 관계로, LEVEL 측정에 의한 CO<sub>2</sub> GAS 양측정은 26°C 이상일 경우에는 점검이 불가능하다는 것이다.

본 조사가 실험적 검증은 거치지 못하여 다소 미흡하지만 소방 업무에 종사하는 분들에게 조금의 도움이라도 되었으면 한다.

## 참고자료

1. NFPA REG 12, CARBON DIOXIDE SYSTEM
2. 화공 열역학 - 대원도서(김 학 식)
3. LIQUID LEVEL INDICATOR MANUAL-KIDDE GRAVINER
4. 소방 유체 역학 및 약제 화학 - 일진사
5. CO<sub>2</sub> FIRE EXTINGUISHING SYSTEM - UNITOR
6. 건축 방재 핸드북 - 대광서림(남 신 우)

## 수탁시험 업무문의

☎ 서울 745-7770 · 744-7853

여주 (0337) 82-3526

분 야	문의번호(교환)
기초이화학및소화기	235
경 보 설 비	231
소 화 설 비	232
연 소 시 험	242
방 내 화 시 험	241
방 염 성 능 시 험	237