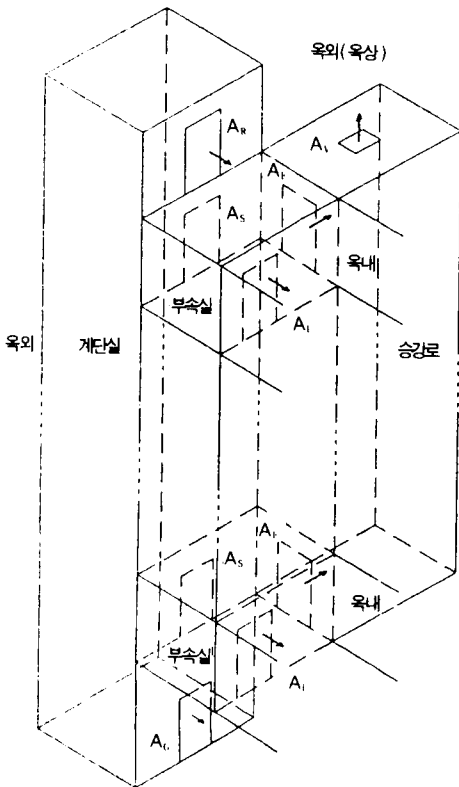


## 급기압제연설비의 누설량 산출공식의 유도(Ⅲ)

김 상 옥  
(소방인연합회장, 기술사)

〈전호에 이어〉

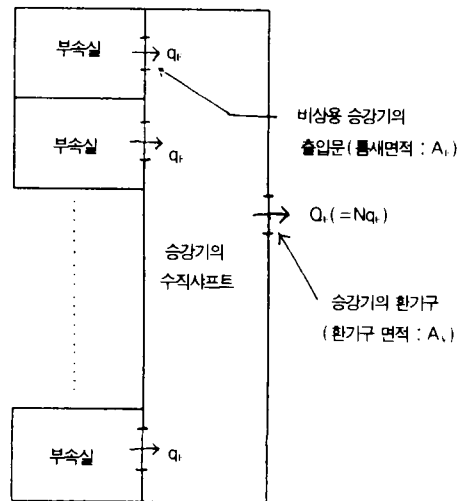
(3) 「계단실 및 그 부속실의 동시제연」으로서 계단실에 창문이 설치되어 있지 않고, 부속실에 비상용 승강기가 설치되어 있는 경우(예시도 3) :



예시도 3 : 계단실 및 그 부속실의 동시제연

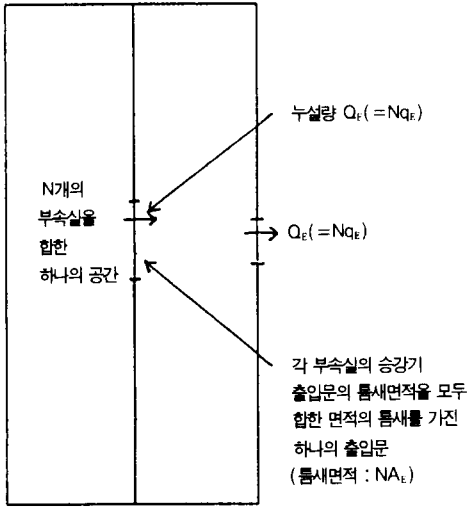
[ 부속실 : 승강장겸용 ]  
[ 계단실 창문 : 없음 ]

이와 같은 조건의 상황에 있어서는, 계단실의 경우 전술한 예시도 1의 계단실 상황과 조금도 다르지 아니하므로, 계단실로부터의 누설량( $Q_s$ )은 ③식의 경우와 같다. 그러나 부속실의 경우 공기의 누설이 비상용 승강기의 출입문의 틈새를 통하여 승강기의 수직 샤프트를 경유, 수직 샤프트 상부의 구멍(이를 소방기술기준에서는 “환기구”라 칭하고 있다)으로도 일어나므로, 이에 대한 누설량의 산출이 필요하게 된다. 이 산출에 있어서 혼동하지 않아야 할 것은, 비상용 승강기의 수직샤프트를 경유하는 부속실의 공기누설을 일으키는



(부속실의 수 : N)

〈그림 1〉



(그림 2)

누설틈새들간에는 「직렬관계」가 성립된다는 사실이다. 그것은 아래의 (그림 1)과 같이 생각하면 쉽게 이해할 수 있다.

(그림 1)의 상황은 다시 (그림 2)와 동일한 상황으로 단순화하여 생각할 수 있다. 따라서, 경유공간이 없는 상태로 N개의 모든 부속실로부터 직접  $Q_E(Nq_E)$ 만큼의 공기누설이 일어나는 상황을 가상하였을 경우,  $Q_E$ 만큼의 누설을 가능케 할 수 있는 가상된 출입문의 누설틈새면적(이를 등가틈새면적이라고 한다)을  $A_f$ 라고 하면, 직렬관계의 원리에서(그림 2 참조) 다음의 관계식이 성립된다.

$$\frac{1}{A_f^2} = \frac{1}{(NA_E)^2} + \frac{1}{A_V^2} \dots\dots\dots ⑥$$

위의 식을 정리하면,

$$A_f = \frac{NA_E \times A_V}{\{(NA_E)^2 + A_V^2\}^{1/2}} \dots\dots\dots ⑦$$

그러므로 비상용 승강기의 출입문을 통해 수직 샤프트를 경유하여 누설되는 공기량( $Q_E$ )은 다음 식으로 나타내어진다.

$$Q_E = K \times A_f \times P^{1/2} \times 1.25$$

$$= K \times \frac{NA_E \times A_V}{\{(NA_E)^2 + A_V^2\}^{1/2}} \times P^{1/2} \times 1.25 \dots\dots ⑧$$

이제 비상용 승강기의 출입문을 통한 누설공기량이 위의 식과 같이 산출되게 되었으므로, N개의 모든 부속실로부터의 총누설량은 ②식의 누설량과 ⑧식의 누설량을 합산함으로써 다음과 같이 구할 수 있게 된다.

$$\begin{aligned} \text{부속실 N개의 누설량}(Q_L) &= ②\text{식} + ⑧\text{식} \\ &= K \times N \times A_1 \times P^{1/2} \times 1.25 + K \\ &\quad \times \frac{NA_E \times A_V}{\{(NA_E)^2 + A_V^2\}^{1/2}} \times P^{1/2} \times 1.25 \\ &= K \times N \times \left[ A_1 \times \frac{A_E \times A_V}{\{(NA_E)^2 + A_V^2\}^{1/2}} \right] \\ &\quad \times P^{1/2} \times 1.25 \dots\dots\dots ⑨ \end{aligned}$$

여기서  $A_1 \times \frac{A_E \times A_V}{\{(NA_E)^2 + A_V^2\}^{1/2}} = A_f$ 라고 놓으면, ⑨식은 다음과 같이 단순한 형태로 나타낼 수 있는 바, 이는 소방기술기준의 별표에 표기되어 있는 산출공식과 일치한다.

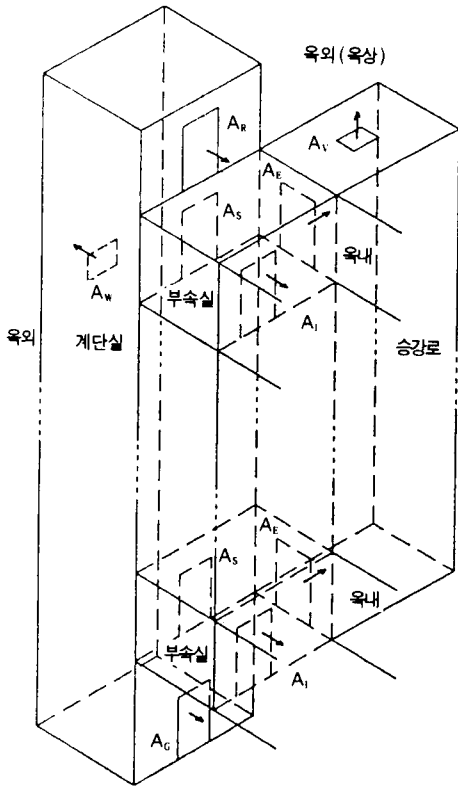
$$Q_L = K \times N \times (A_1 + A_f) \times P^{1/2} \times 1.25 \dots\dots\dots ⑩$$

이상과 같이 모든 부속실의 누설량이 산출되었으므로, 계단실까지 포함한 가압공간의 총누설량은 ③식과 ④식을 합산함으로써 구해진다.

(4) 「계단실 및 그 부속실의 동시제연」으로서 부속실에 비상용 승강기가 설치되고, 계단실에 창문이 설치되어 있는 경우(예시도 4) :

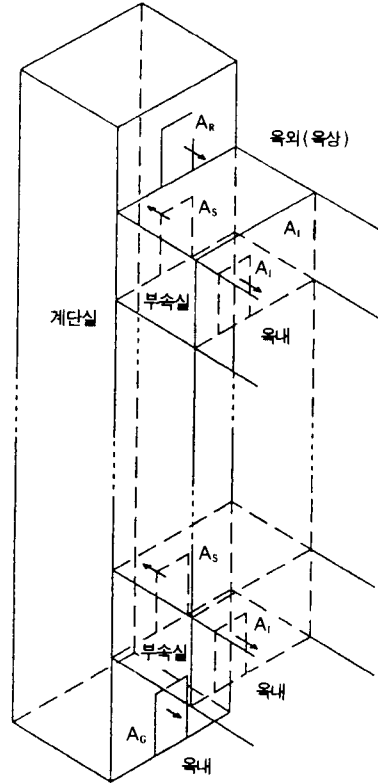
이 조건의 상황은 계단실에 창문이 설치되어 있다는 것 외에는 전술한 (4)의 경우와 전적으로 동일하므로, 계단실과 모든 부속실을 합한 가압공간의 총누설량은 ③식, ④식 및 ⑩식을 합산함으로써 구할 수 있게 된다. 즉, 창문을 통한 누설량이 추가되는 것이다.

(5) 「부속실만의 단독제연」으로서 계단실에 창문이 없고, 부속실에는 비상용 승강기가 없는 경우(예시도 5) :



예시도 4 : 계단실 및 그 부속실의 동시제연

[부속실 : 승강장겸용]  
[계단실 창문 : 있음]



예시도 5 : 부속실만의 제연

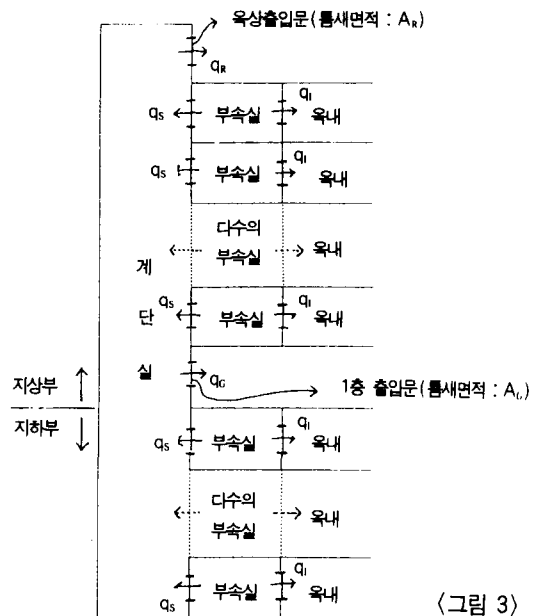
[부속실 : 승강장 비겸용]  
[창문 : 없음]

이 조건의 상황에서 부속실로부터의 공기누설은 부속실과 옥내간의 출입문 틈새를 통하여 옥내로 누설하는 것과 부속실과 계단실간의 출입문 틈새를 통해 계단실을 경유하여 누설하는 것의 두가지 경우에 대해 각각 누설량을 산출하여 합산한 것이 될 것이다. 이와 같은 누설상황은 <그림 3>과 같이 나타낼 수 있다.

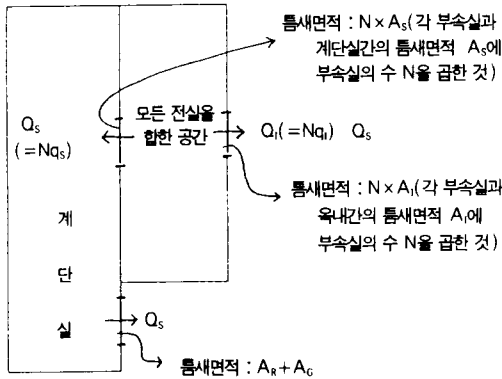
또한, <그림 3>의 누설상황은 <그림 4>의 경우처럼 단순화하여도 서로 동일한 상황이 될 수 있음을 쉽게 이해할 수 있다.

<그림 4>에서 볼 때,  $Q_i$ 는 ②식의 경우와 같음은 쉽게 알 수 있다. 즉,

$$Q_i = K \times N \times A_i \times P^{1/2} \times 1.25$$



<그림 3>



(그림 4)

그러나, 공기량  $Q_s$ 는 계단실이 경유공간이 되어 누설되는 것이므로, 틈새면적  $NA_s$ 와  $(A_R + A_G)$ 는 상호 직렬관계에 있으며, 이 직렬관계의 등가 틈새면적을  $A_l$ 라고 하면, 다음의 관계식이 성립된다.

$$\frac{1}{A_l^2} = \frac{1}{(NA_s)^2} + \frac{1}{(A_R + A_G)^2} \dots\dots\dots ⑪$$

위의 식으로부터

$$A_l = \frac{NA_s \times (A_R + A_G)}{[(NA_s)^2 + (A_R + A_G)^2]^{1/2}} \dots\dots\dots ⑫$$

따라서,

$$Q_s = K \times \frac{NA_s \times (A_R + A_G)}{[(NA_s)^2 + (A_R + A_G)^2]^{1/2}} \times P^{1/2} \times 1.25 \dots\dots\dots ⑬$$

여기서,  $\frac{NA_s \times (A_R + A_G)}{[(NA_s)^2 + (A_R + A_G)^2]^{1/2}} = A_T$ 라고 하면,

$$Q_s = K \times N \times A_T \times P^{1/2} \times 1.25 \dots\dots\dots ⑭$$

그러므로, 모든 전실의 총누설량( $Q_L$ )은 ②식과 ⑭식을 합산한 양이 될 것임에 따라  $Q_L$ 은 다음식과 같이 된다.

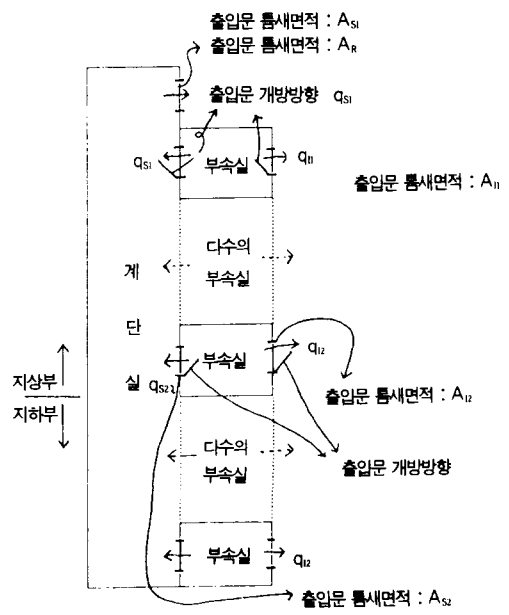
$$Q_L = ②식 + ⑭식$$

$$= K \times N \times A_l \times P^{1/2} \times 1.25 \times K \times N \times A_T \times P^{1/2} \times 1.25$$

$$= K \times N \times (A_l + A_T) \times P^{1/2} \times 1.25 \dots\dots\dots ⑮$$

위의 ⑮식은 소방기술기준 별표에서 주어진 공식과 일치한다. 위의 산출공식을 적용함에 있어 유의하여야 할 것은 1층(피난층)의 출입문과 옥외출입문은 그것이 각각 외여닫이형인 경우 그 개방방향에 따라 누설틈새면적의 설정치가 달라질 수 있다는 점이다. 이에 대하여는 당해 소방기술기준의 제10조 제1호에 명기되어 있으므로 이를 참고하면 될 것이다.

그런데, 위의 산출공식(⑮식)은 1층에 부속실이 없는 경우에 대하여 유도된 것이다. 만약 1층에 부속실이 있는 경우,  $A_G = 0$ 로 하면서  $N$ 의 값을 1층 부속실도 포함한 수치로 하여 ⑮식을 적용한다면, 엄밀히 말하여 옳지 않다. 왜냐하면 1층(피난층) 부속실 출입문들의 개방방향이 여타층 부속실들의 출입문 틈새면적과 달라질 수 있기 때문이다. 그러므로 1층에 부속실이 있는 경우, 다음(그림 5)를 참조하면서 그 누설량을 산출해보자.



(그림 5)

위의 (그림 5)에서 볼 때, 누설경유공간이 되는 계단실내로 누설되어 들어가는 모든 틈새면적( $A_{ST}$ )은 다음과 같이 될 것이다.

$$A_{ST} = (N-1)A_{S1} + S_{S2} \dots\dots\dots ⑬$$

$A_{ST}$ 와  $A_R$ 은 상호 직렬관계에 있으므로, 이 경우의 등가틈새면적을  $A_K$ 이라 하면 다음의 관계식이 성립된다.

$$\frac{1}{A_K^2} = \frac{1}{A_{ST}^2} + \frac{1}{A_R^2} \dots\dots\dots ⑭$$

위의 식으로부터,

$$A_K = \frac{A_{ST} \times A_R}{[(A_{ST}^2 + A_R^2)]^{1/2}} \dots\dots\dots ⑮$$

따라서, 모든 부속실로부터 계단실을 경유한 누설공기량( $Q_{ST}$ )은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Q_{ST} &= K \times A_K \times P^{1/2} \times 1.25 \\ &= K \times \frac{A_{ST} \times A_R}{(A_{ST}^2 + A_R^2)^{1/2}} \times P^{1/2} \times 1.25 \dots\dots\dots ⑯ \end{aligned}$$

또한, 모든 부속실로부터 옥내로 누설되는 공기량( $Q_{IT}$ )은 다음과 같다.

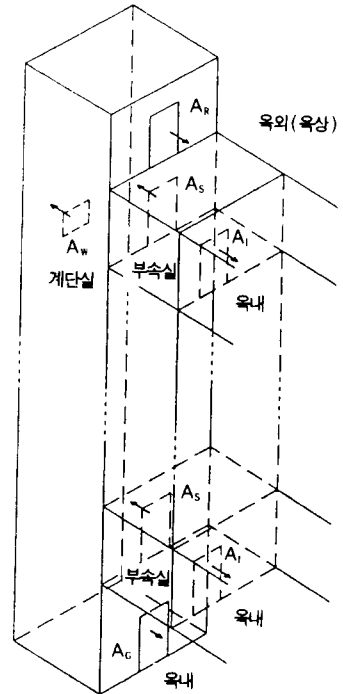
$$\begin{aligned} Q_{IT} &= K \times (N-1)A_{I1} \times P^{1/2} \times 1.25 + K \times A_{I2} \\ &\quad \times P^{1/2} \times 1.25 = K \times [(N-1)A_{I1} + A_{I2}] \\ &\quad \times P^{1/2} \times 1.25 \dots\dots\dots ⑰ \end{aligned}$$

모든 부속실로부터의 누설량( $Q_L$ )은 당연히  $Q_{ST}$ 와  $Q_{IT}$ 를 합산한 양이어야 할 것이므로,

$$\begin{aligned} Q_L &= ⑬\text{식} + ⑰\text{식} \\ &= K \times \left[ (N-1)A_{I1} + A_{I2} + \frac{A_{ST} \times A_R}{(A_{ST}^2 + A_R^2)^{1/2}} \right] \\ &\quad \times P^{1/2} \times 1.25 \dots\dots\dots ⑱ \end{aligned}$$

⑱식에 ⑬식을 대입하면,

$$\begin{aligned} Q_L &= K \times \left[ (N-1)A_{I1} + A_{I2} \right. \\ &\quad \left. + \frac{[(N-1)A_{S1} + A_{S2}] \times A_R}{\{[(N-1)A_{S1} + A_{S2}]^2 + A_R^2\}^{1/2}} \right] \end{aligned}$$



예시도 6 : 부속실만의 제연  
[ 부속실 : 승강장 비겸용 ]  
[ 창문 : 있음 ]

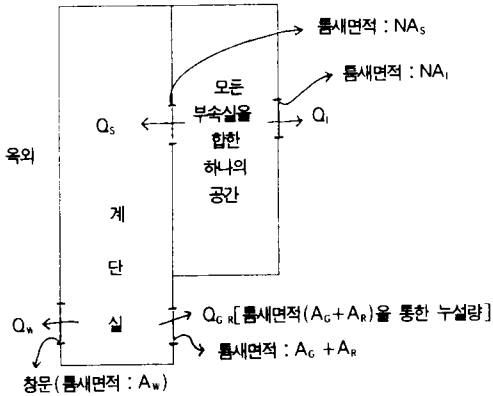
$$\times P^{1/2} \times 1.25 \dots\dots\dots ⑳$$

(6) 「부속실만의 단독제연」으로서 계단실에 창문이 설치되어 있고, 부속실에 비상용 승강기가 없는 경우(예시도 6) :

이 조건의 상황은 계단실에 창문이 설치되어 있다는 점 외에는 전술한 (5)의 경우와 다르지 않다. 따라서 1층에 부속실이 없는 경우, 모든 부속실과 옥내 사이의 누설공기량은 ⑳식과 같으며, 1층에 부속실이 있는 경우에는 ㉑식과 같다. 그러나 부속실과 계단실간의 누설에 있어서는 전술한 (5)의 경우처럼 계단실의 누설 경유공간이 되므로, 1층에 부속실이 없는 경우와 있는 경우에 대하여 각각 살펴보자.

- ① 1층에 부속실이 없는 경우
- 1층에 부속실이 없는 경우의 상황은 다음의

〈그림 6〉의 경우처럼 단순화하여도 상호 동등한 상황이 될 것이다. 〈그림 4〉의 경우를 참조하면 쉽게 이해될 것이다.



〈그림 6〉

위의 〈그림 6〉에서 볼 때,  $Q_s = Q_{G,R} + Q_w$ 이다. 틈새면적  $A_w$ 와  $(A_G + A_R)$ 은 각각 틈새면적  $NA_s$ 와 직렬관계에 있고,  $A_w$ 와  $(A_G + A_R)$ 은 상호 병렬관계에 있음이 분명하다.

그러므로 직렬관계에 있는 틈새면에 대하여 등가틈새면적을 구하여,  $Q = K \times A \times P^{1/2}$ 이라는 기본식의  $A$ 에 등가틈새면적을 대입하면 될 것이나, 그 등가틈새면적을 구하는 일이 그다지 용이치 않다. 왜냐하면, 문(Door)의 경우 그 틈새를 통한 누설량은 차압( $P$ )의 1/2승에 비례하지만 창문에 있어서는 차압의 1/1.6승에 비례하기 때문에 창문의 틈새면적  $A_w$ 에  $A_G$  및  $A_R$ 를 직접 합산한 값을 틈새면적으로 하여 틈새면적  $NA_s$ 와 직렬관계의 공식에 바로 대입할 수는 없기 때문이다.

그러므로 이 경우의 누설량은 「1. 급기량 산출을 위한 기본사항」의 「(2) 누설경로의 직렬배열」에서 그 관계식을 유도하는 과정과 동일한 원리에 입각하여 산출되어야 한다. 부속실만의 가압이므로 누설의 경유공간인 계단실과 옥외간의 차압은 부속실과 옥외간의 차압( $=P$ )보다 작을 것이다.

따라서 계단실과 옥외간의 차압을  $P_0$ 라고 할 때, 부속실과 계단실간에는  $(P - P_0)$ 의 차압이 형성될 것이므로, 부속실과 계단실간의 누설량( $Q_s$ )은 다음의 식으로 나타날 것이다.

$$Q_s = K \times NA_s \times (P - P_0)^{1/2} \times 1.25 \quad \dots\dots\dots 24$$

그리고  $Q_w$  및  $Q_{G,R}$ 은 각각 다음과 같이 된다.

$$Q_w = K \times A_w \times P_0^{1/1.6} \times 1.25 \quad \dots\dots\dots 25$$

$$Q_{G,R} = K \times (A_G + A_R) \times P_0^{1/2} \times 1.25 \quad \dots\dots\dots 26$$

\* 26식에서 차압  $P_0$ 가 사용된 것은 계단실과 옥내간에도  $P_0$ 의 차압이 형성되기 때문이다. 소방방법 기술기준에도 명기되어 있듯이 가압공간으로부터 옥내로 유입되는 공기를 옥외로 배출(수직풍도 등)하여 옥내의 기압을 옥외와 동등하게 하는 것임에 유의할 것.

23식에서  $Q_s = Q_{G,R} + Q_w$ 이므로, 24식 = 25식 + 26식이 된다. 즉,

$$K \times NA_s \times (P - P_0)^{1/2} = K \times A_w \times P_0^{1/1.6} \times 1.25 + K \times (A_G + A_R) \times P_0^{1/2} \times 1.25 \quad \dots\dots\dots 27$$

위의 27식을 정리하면,

$$(A_G + A_R) \times P_0^{1/2} + A_w \times P_0^{1/1.6} = NA_s \times (P - P_0)^{1/2} \quad \dots\dots\dots 28$$

모든 부속실로부터의 누설량( $Q_L$ )은 〈그림 6〉에서  $Q_i$ 와  $Q_s$ 를 합산한 양이므로,

$$\begin{aligned} Q_L &= 24\text{식} + 23\text{식} \\ &= K \times NA_s \times (P - P_0)^{1/2} \times 1.25 + K \times NA_i \times P^{1/2} \times 1.25 \\ &= K \times N \times [A_s \times (P - P_0)^{1/2} + A_i \times P^{1/2}] \times 1.25 \quad \dots\dots\dots 29 \end{aligned}$$

28식 및 29식은 소방기술기준 별표에 명기되어 있는 산출식들과 일치한다. 그런데, 29식에 의하여 누설량  $Q_L$ 을 구하려 하면 반드시  $P_0$ 의 값을 알아야 하는 바, 그것은 28식에 의하여 구하여야 한다. 그러나 28식은 2차 방정식의 풀이처럼 손

쉽게 풀어지지 않는다.

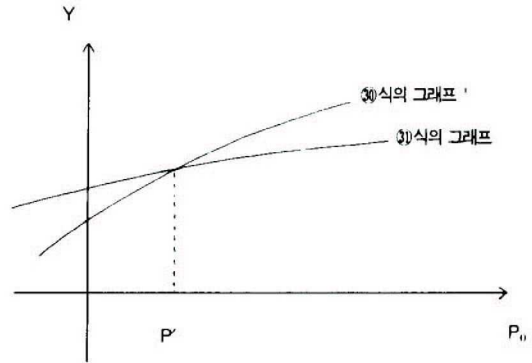
그것은 함수 그래프를 이용하면서, 시행착오법 (Trial & Error Method)으로 풀어야 한다. 그 결과치는 다소 근사치가 될 것이나, 공학계산으로의 활용에는 문제될 것이 없다. 함수그래프를 이용한 시행착오법에 따라 근사치는 다음과 같은 방식으로 구할 수 있다.

먼저 ㉔식을 Y라고 놓으면 다음의 두 식을 얻을 수 있다.

$$Y = (A_G + A_R) \times P_0^{1/2} + A_W \times P_0^{1/1.6} \dots\dots\dots ㉔$$

$$Y = N \times A_S \times (P - P_0)^{1/2} \dots\dots\dots ㉕$$

위의 두 식에서  $A_G$ ,  $A_R$ ,  $A_W$ ,  $N$ ,  $A_S$  및  $P$ 는 설계조건에 따라 설정되어버리는 상수가 될 것이므로, 각 식에서의 변수는  $P_0$ 와  $Y$ 가 될 것이다. 그러므로 두 식을 각각  $P_0$ 축 및  $Y$ 축으로 된 함수 그래프로 나타내어 각 식의 그래프가 만나는 지점의  $P_0$ 축의 값( $P'$ 라고 하자)을 구하여  $P'$ 를 근사치로 삼을 수 있다. 이것을 그림으로 나타내면



〈그림 7〉

〈그림 7〉과 같다.

위의 함수 그래프에서 얻어진  $P'$ 를 중심으로  $P' \pm \alpha_1$ ,  $P' \pm \alpha_2$ ,  $P' \pm \alpha_3$ , …… 등의 몇가지 수치를 ㉔, ㉕식의 값( $Y$ 치)이 가장 근접하게 되는  $P' \pm \alpha$ 치를 우리가 얻고자 하는  $P_0$ 의 값으로 결정함으로써, 매우 적은 오차로 누설량을 계산할 수 있게 된다.

