

직선배관에서 균일한 공기 흡입을 하는 오리피스 직경변화에 대한 연구

A study on the variation of orifice diameter in a straight pipe giving equal-sampling rate

김진국 / 공학박사, 특수연구팀 선임연구원

Abstract

The objective of this paper is to investigate the variation of orifice diameter in a straight pipe which can give equal-sampling rate. This can be utilized for designing orifice in air-sampling smoke detector. The elements which should be considered for designing orifices was presented and the calculation procedure was also given in this paper. The effects of pipe length, the number of orifices, fan pressure was described.

1. 서론

건물내에 설치되는 감지기는 스포트형 감지기로 열감지기의 경우는 오동작이 발생할 가능성이 적지만 감도가 느리고 연기감지기의 경우는 감도는 좋지만 오동작 발생 가능성 때문에 많은 문제점을 가지고 있었다. 그리고 조금의 연기에 의해서도 피해를 입을 수 있는 컴퓨터와 같은 정밀한 전자 계측기 그리고 반도체 제조 공장과 같이 공기의 청정도가 제품의 성능에 영향을 줄 수 있는 청정실(clean room)의 경우는 초기에 화재를 감지할 수 있는 감지기가 필요하게 되었다. 그래서 오동작이 없는 연기감지기의 개발 필요성이 대두되었고 배관에 구멍을 내고 흡입한 공기를 한 곳에 모은 뒤 필터를 통하여 오동작 원인이 될 수 있는 입자를 제거한 후 고감도의 연기감지기를 이용하여 초기에 화재를 감지할 수 있는 공기 흡입식 연기감지기가 개발되었다.[1]

공기 흡입식 감지기는 그림. 1과 같이 하나의 긴 배관에 여러개의 오리피스가 존재하기 때문

에, 화재발생 공간의 오리피스로 흡입된 연기는 화재가 발생하지 않은 오리피스를 통하여 들어 온 공기에 의하여 희석되게 되고 오리피스의 개수가 증가할 수록 희석 정도가 심하게 된다. 따라서 오리피스의 개수를 점점 증가시키면, 감지가 가능한 최저 연기농도보다 낮은 연기농도가 연기감지부로 유입되어 화재를 인식할 수가 없게 된다. 그리고 오리피스의 개수에 따라서 같은 화재에 대해서도 연기감지기로 유입되는 연기농도가 다르기 때문에 이러한 방식의 감지기는 화재 발생유무만을 판단하고 화재의 강도에 대한 정보를 제공할 수 없는 것처럼 보인다. 하지만 각 오리피스에서 같은 량의 공기를 유입할 수 있으면 연기의 희석정도를 정량적으로 알 수 있기 때문에 정량적인 정보제공이 가능하게 되고, 연기감지기의 감도에 따라서 적절한 오리피스 개수를 선택하면 각 오리피스에 감지가 가능한 연기 감도도 설정할 수 있다. 즉 공기 흡입식 감지기의 성능은 감지부의 감도와 배관 설계에 의하여 결정된다.

따라서 본 연구에서는 차후 배관 설계용 소프트웨어를 개발하기 위하여 우선 직선 배관에서 일정한 공기흡입량을 주는 오리피스의 크기 변

화에 대한 연구를 수치계산을 통하여 수행하였다.

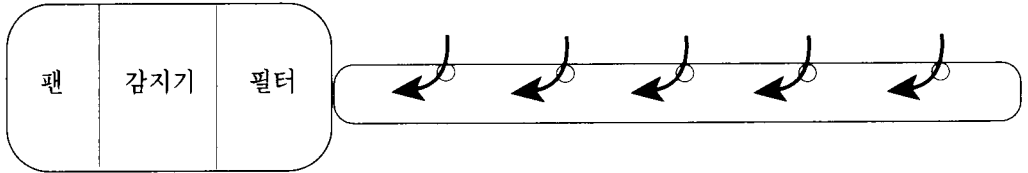


그림 3. 공기 흡입식 감지기의 개념도

2. 공기흡입식 감지기의 구성과 감도한계

공기흡입식 감지기는 크게 감지부와 배관으로 구성되어 있으며, 감지부는 공기를 흡입하기 위한 팬과 고성능의 연기감지기 그리고 공기에 존재하는 부유입자를 걸러내기 위한 필터로 구성된다. 그리고 배관은 화재감시가 필요한 곳에 설치된다. 그리고 배관에 보편적으로 일정한 간격으로 샘플링 오리피스(sampling orifice)를 만들고 여기서 흡입된 공기를 고성능의 연기감지기를 이용하여 화재를 감지하는 장비이다. 이 연기감지기의 성능은 일반 스포트 형 감지기에 비하여 상당히 민감하게 설정되어 있고, 이 감지기를 작동시킬 수 있는 연기의 최저농도를 감지하한(the sensor threshold)라고 하고, 감지기 작동이 가능한 오리피스로 들어오는 연기의 최저농도를 경보하한(the alarm threshold)라고 한다.

3. 계산에 사용되는 관계식

공기의 흡입은 감지부의 팬에 의하여 이루어지고, 오동작의 원인이 될 수 있는 주위의 먼지와 같은 부유입자를 걸러내기 위한 필터가 설치되어 있다. 따라서 같은 팬 압력에 대하여 흡입되는 공기량은 배관과 감지기, 필터의 압력손실 특성에 의하여 결정되어 진다. 이 압력손실량이 주어지면 층류배관의 압력손실 관계식과 베르누이 방정식을 이용하여 배관과 오리피스에 의하

여 실제 들어오는 공기량을 계산할 수 있다. 그러나 감지부의 압력손실은 제품의 특성이기 때문에 본 연구에서는 감지기와 필터의 영향을 무시하고 팬의 압력만을 고려하였다. 그리고 이러한 기준압력이 주어지면 배관의 특성(배관길이, 곡관의 종류, 오리피스의 개수 및 직경)에 의하여 들어오는 공기량이 결정된다. 그리고 실용상으로 중요한 것은 같은 화재강도에 대하여 연기감지부가 같은 화재강도로 감지하게 하기 위하여 동일한 량의 공기를 흡입할 수 있도록 오리피스를 설계하여 연기가 흡입되는 오리피스에 관계없이 들어오는 연기가 일정한 농도로 희석되게 만들어야 한다. 이러한 공기흡입식 감지기의 성능에 영향을 미칠 수 있는 요소를 정리하여 보면 다음과 같다.

- 샘플링 오리피스 직경
- 샘플링 오리피스의 총 개수
- 오리피스 사이의 관 길이
- 관의 전체 길이
- 관의 내경

그리고 설계에 사용되는 관계식은 다음과 같다.

- 오리피스의 유동 관계식
- 베르누이 방정식
- 층류 배관의 압력손실 관계식
- 수렴조건

팬과 필터의 압력손실 특성은 제품마다 다르기 때문에 여기서는 사용하지 않고 직접 팬 압력을 경계조건으로 준다. 그리고 오리피스 유동 관계식, 베르누이 방정식 그리고 배관의 압력손실 관계식은 유체역학의 입문서[2]에 잘 나타나 있으므로 여기서는 설명하지 않는다. 그리고 수렴시키기 위한 조건 설정은 원하는 계산결과에 따라서 적절히 주어져야 한다.

4. 계산 흐름도(flow chart)

본 계산에서는 다양한 결과를 얻기 위한 계산이 수행되었으며, 그 중의 하나에 대한 계산 흐름도를 그림.2에 나타내었다. 여기서 관의 출구는 팬과 연결되는 부분을 말하며, 총 유량은 여기서 흐르는 유량을 나타낸다. 먼저 계산에 앞서 초기 조건 및 가정은 다음과 같다.

- 팬의 압력
- 배관의 총길이
- 최초 오리피스 직경
- 오리피스 개수
- 총 유량
- 관 전체의 유동은 층류

위의 총 유량은 압력손실이 없는 경우에 팬에 의하여 흡입될 수 있는 유량으로 가정한다. 각 오리피스에서 균일한 유량을 흡입해야 하므로 총 유량을 오리피스의 개수로 나누면 각 오리피스의 흡입량이 된다. 다음으로 첫번째 오리피스까지의 압력손실을 계산하면 첫번째 오리피스 위치의 압력을 알 수 있다. 이 압력과 배관밖의 압력을 이용하여 오리피스의 흡입량에 해당하는 오리피스의 직경을 계산한다. 계산된 오리피스 직경이 초기조건에서 주어진 직경보다 작을 때까지 총유량을 줄여나간다. 유량감소량은 초기 가정에 의한 총유량의 0.1%로 하였다. 다음으로 총 유량에 각 오리피스에서 흡입해야 하는 유량을 첫번째 오리피스에서 두번째 오리피스 사이의 배관에서 흐르는 공기량이 된다. 다시 이것을 이용하여 배관의 압력손실을 계산하고 두번째 오리피스의 직경을 계산한다. 이러한 순서를 반복하면 마지막 오리피스까지의 직경을 계산할 수 있다.

5. 결과 및 토의

5.1 관 길이 증가에 따른 관 내부 압력과 오리피스 직경분포

우선적으로 관 길이 방향으로 압력 분포 및 오리피스 직경의 분포의 특성을 알기 위하여, 최초 오리피스의 직경(1mm), 오리피스 간격(4m), 팬 압력(100Pa)을 일정하게 하고, 두가지 관 길이에 대하여 계산을 수행하였다. 그림.3은 관의 길이 방향에 따른 관내부의 압력분포를 계산결과를 나타내는 데 가로축은 관의 전체길이로 나눈 길이이고, 세로축은 관 내부 진공압력의 크기를 나타낸다. 관의 길이가 짧을수록 전체적인 압력분포가 상대적으로 균일함을 알 수 있다. 따라서 흡입 공기량은 압력차의 자승근에 비례하기 때문에 관의 길이가 길어질수록 압력손실량이 증가하여 같은 유량을 흡입하기 위해서는 오리피스의 직경의 차이도 크게 됨을 예상할 수 있다. 그리고 그림.4는 이러한 예상과 일치하는 오리피스의 직경의 분포를 보여준다. 여기서 초기의 오리피스의 직경이 정확하게 1mm가 되지 않는 것은 유량을 기준으로 오리피스 직경을 계산하였기 때문이며 정확히 1mm를 만들기 위해서는 더 엄밀한 오차범위를 설정하면 된다. 본 계산에서는 엄밀한 정밀도보다 그 경향에 초점을 두었다.

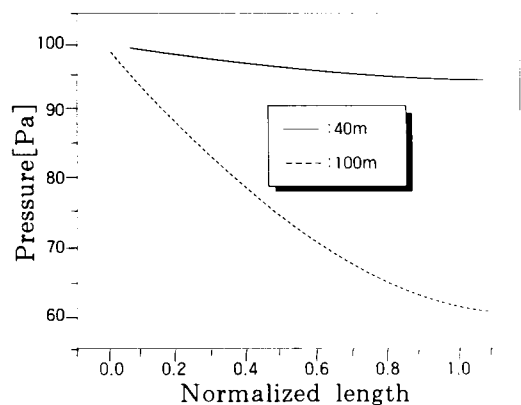


그림.3 관의 길이 증가에 따른 관 내부의 진공압력 분포 변화

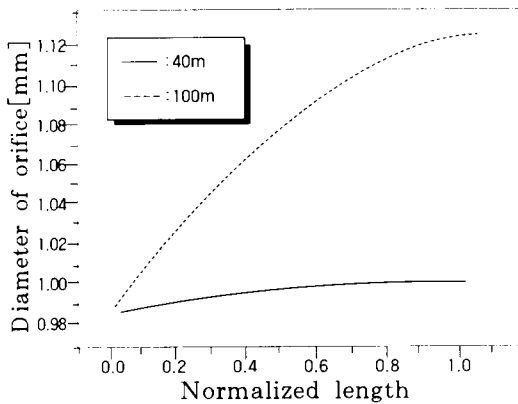


그림.4 관의 길이 증가에 따른 오리피스 직경 분포 변화

5.2 관 길이 증가에 따른 관 내부의 최대 Re수의 변화

본 계산에서 압력 손실을 계산하기 위해서 층류 유동을 가정하였다. 따라서 계산 결과 중 유속을 이용하여 Re수를 평가할 필요가 있다. 표.1은 팬 압력이 100Pa인 경우에 오리피스 간격을 동일하게 하여 관 길이를 증가시키면서 계산된 최대 Re수를 나타낸다. 보통체는 계산시 주어진 조건이고 강조체는 계산된 결과이다. 최초 오리피스의 직경을 1mm로 한 경우 관 길이가 100m될 때까지 관 전체가 층류임을 보여준다.

표.1 4m 간격의 오리피스에서 최초 직경을 1mm로 한 경우에 관 길이 증가에 따른 관 내부의 최대 Re수

Do(1) [mm]	Remax	Orifice 개수	관 길이 [m]	fan압력 [Pa]
1	132	5	20	100
1	265	10	40	100
1	397	15	60	100
1	530	20	80	100
1	662	25	100	100

표.2는 표.1과 조건이 동일하고 다만 최초 오리피스 직경을 2mm로 둔 경우인데 관 길이가 80m와 100m인 경우에 관 내부의 압력이 주위 압력(대기압)보다 높게 계산이 된다. 따라서 관출구에서 멀어질수록 진공압의 크기가 작아지므로 말단 오리피스 위치의 관 내부 압력이 대기압에 가까워 질 때가 적용가능한 관의 최대길이가 된다.

표.2 4m 간격의 오리피스에서 최초 직경을 2mm로 한 경우에 관 길이 증가에 따른 관 내부의 최대 Re수

Do(1) [mm]	Remax	Orifice 개수	관 길이 [m]	fan압력 [Pa]
2	530	5	20	100
2	1076	10	40	100
2	1589	15	60	100
2	-	20	80	100
2	-	25	100	100

앞에서 관의 길이를 증가시켜 나가면 대기압 이상의 압력이 관 내부에 생성되었다. 그래서 모든 조건을 동일하게 두고 팬이 압력을 증가시켜 가면서 내부의 압력과 오리피스의 직경의 분포를 살펴 보았다. 이 계산 결과를 그림.5와 6에 나타내었다. 그림.5에서 팬 압력의 크기에 관계없이 유사한 감소경향을 보이고 있음을 알 수 있으며, 오리피스의 직경의 경우는 팬 압력이 50Pa인 경우 직경의 크기가 상대적으로 급격히 증가하고 있음을 보여준다. 따라서 어느 정도 압력이상이 되어야만 오리피스 직경의 크기가 유사하게 됨을 알 수 있다.

표.3은 팬 압력의 증가에 따른 관내 최대 Re수를 계산한 표이다. 현재의 조건에서는 모든 조건에서 관내의 유동이 층류이기 때문에 계산결과는 유효함을 알 수 있다.

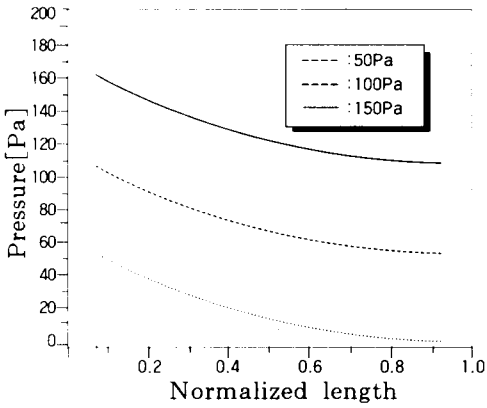


그림.5 팬압력 증가에 따른 압력 분포의 변화

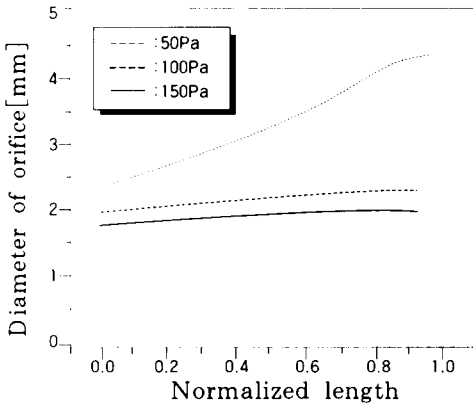


그림.6 팬압력 증가에 따른 오리피스 직경의 변화

표.3 최초 오리피스 직경을 2mm일 때 팬 압력의 영향

Do(1) [mm]	Remax	Orifice 개수	관 길이 [m]	fan압력 [Pa]
2	1124	15	50	50
2	1391	15	50	75
2	1606	15	50	100
2	1769	15	50	125
2	1967	15	50	150

5.3 최대 Re 수를 지정하였을 경우의 오리피스 직경의 변화

층류유동을 보장하기 위하여 최대 Re 수를 입

력조건으로 하여 오리피스 개수만을 변화시켜 가면서 최초 오리피스 직경의 크기의 변화를 살펴 보았다. 최대 Re를 지정하였다는 것을 총유량을 결정된 것과 같으므로 표.4에서 보는 바와 같이 오리피스 개수가 증가할수록 최초 오리피스 직경은 감소하고 있으며 이는 개수가 증가함에 따라서 하나의 오리피스에서 유입되는 공기량이 감소해야하는 물리적인 경향을 따르고 있다.

표.5는 오리피스 개수는 고정하고 팬의 압력을 증가시켜가면서 최초 오리피스의 직경의 변화를 살펴보았다. 압력이 증가할수록 같은 직경에 대하여 많은 공기량을 유입할 수 있으므로, Re 수

표.4 Remax =1500일 때 오리피스 개수의 증가에 따른 초기 오리피스직경의 변화

Do(1) [mm]	Remax	Orifice 개수	관 길이 [m]	fan압력 [Pa]
2.37	1500	10	50	100
1.67	1500	20	50	100
1.36	1500	30	50	100
1.18	1500	40	50	100
1.05	1500	50	50	100

가 일정하게 유지하기 위해서는 오리피스의 직경이 작아져야 한다. 표.5는 그러한 경향을 잘 보여주고 있다.

표.5 Remax =1500일 때 팬 압력의 영향 변화

Do(1) [mm]	Remax	Orifice 개수	관 길이 [m]	fan압력 [Pa]
2.31	1500	15	50	50
2.08	1500	15	50	75
1.93	1500	15	50	100
1.82	1500	15	50	125
1.74	1500	15	50	150

6. 결론

- 1) 직선 배관에서 동일한 유량을 흡입할 수 있는 오리피스 직경을 설계하는 프로그램을 제작하였다.
- 2) 관의 길이가 짧을수록 관내부의 압력과 오리피스의 직경이 상대적으로 균일한 분포를 가진다.
- 3) 동일한 조건에서 관의 길이를 증가시킬 경우 말단의 오리피스가 대기압에 가까워질 때가 설계 가능한 최대 관길이이다.
- 4) 최대 Re수를 고정하였을 경우, 오리피스 개수를 증가시키거나 팬 압력을 증가시키면 오리피스의 직경이 감소하게 된다.

참고문헌

- [1] 소방 2000년, 1997, 9월호
 [2] F. M. White, Viscous fluid flow, 2nd., McGaw-Hill, 1991 (FLK)

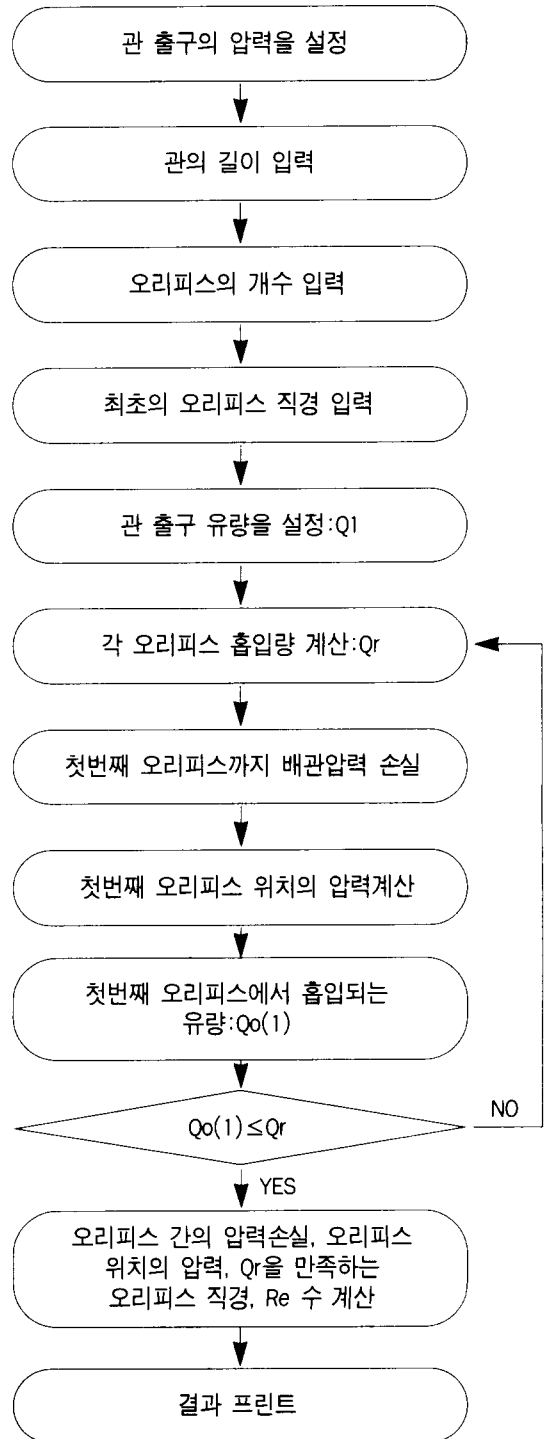


그림.2 계산 흐름도