

천연가스 공급기지내 가스필터 성능개선에 관한 연구

조용범 · 전경수 · 허재영 · 유경훈*

한국가스공사, 생산기술연구원*
(1998년 3월 7일 접수, 1998년 3월 31일 채택)

Study on improvement of efficiency of gas filter at the natural gas valve station.

Y.B.Cho · K.S.Jeon · J.Y.Her and K.H.You*

*Korea Gas Corp. Korea Institute of Industrial Technology**
(Received 7 March 1998; accepted 31 March 1998)

요 약

천연가스 공급배관내의 이물질 제거를 위하여 한국가스공사에서는 현재 250 μm 공극 크기를 갖는 금속 스트레이너형의 필터를 사용하고 있다. 하지만 배관내의 이물질 크기를 조사한 결과 필터 공극 크기보다 작은 이물질이 상당량 있는 것으로 파악되었으며, 따라서 이들 이물질로 인하여 필터 후단부의 각종 밸브류나 계량 측정 기기들에 악영향을 미치고 있는 실정이다.

미세한 크기의 이물질들을 없애기 위해서는 필터의 공극 크기를 줄여야 하는데, 이 경우에는 필터 전, 후단의 차압발생으로 인하여 원하는 유량의 가스를 공급하기 어려운 일이 생길 수 있으므로 차압발생을 신중히 고려하여 필터 공극 크기를 결정하여야 한다.

본 연구에서는 손실계수 K를 이용하여 가스필터의 성능평가 방법을 제시하였다.

Abstract - To eliminate foreign substance like metal rust and sand in natural gas pipeline, 250 μm strainer filter is used present in Korea Gas Corporation. But particles smaller than 250 μm passing the filter have bad effects to the valves and the measuring equipments. In order to eliminate small particle in the pipeline, it is necessary to cut down the pore size of filter.

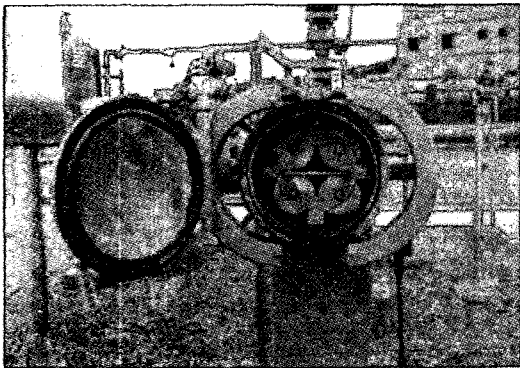
When we cut down the pore size of filter, the pressure difference between the front of filter and that of the rear part is increasing and disturb normal condition of gas supply. So it is very important to control the condition between the pore size of filter and the pressure difference.

In this study, using head loss coefficient K, the estimation method of efficiency of gas filter according to the pore size and the pressure difference is presented.

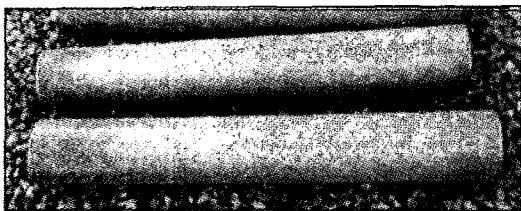
Key words : Gas filter, Head loss coefficient, Collection efficiency

1. 서 론

가스필터는 공급배관으로부터 흡입되는 이물질 제거하여 각 기기들의 소손 및 오동작을 방지하며 수요자에게 안정된 양질의 가스를 공급하기 위해 설치하는 설비로서 Fig.1 에 나타낸 바와 같이 본체부와 엘리먼트부로 이루어진다. 필터 엘리먼트의 성능은 현재 상용운전시에는 250 μ m 이상의 입자를 90% 이상 제거시킬 수 있도록 규정 되어 있어, 공극 크기가 250 μ m 인 와이어 메쉬형의 필터 엘리먼트를 사용하고 있다.



Filter body and setted filter element



Filter element

Fig 1. Filter body and element

그러나, 이 크기의 엘리먼트는 성능이 만족스럽지 못하여 운전 결과 적잖은 이물질들이 통과하여 하류에 위치한 계량기 및 밸브의 오차와 오동작 등을 유발시키는 원인의 하나가 되고 있다. 이는 배관내에 250 μ m 크기 이하의 이물질이 있기 때문이며, 실제로 배관내에 있는 이물질을 채취하여 그 크기를 전자현미경으로 관찰한 결과 5 μ m 정도의 크기를 갖는 미세한 이물질도 다량 관찰 되었다. 따라서 필터 기능을 충분히 만족 시키려면 5 μ m 크기의 이물질을 필터링 할 수 있는 엘리먼트의 개발이 필요하다.

이를 위해서는 엘리먼트의 공극 크기를 줄여야 하는데, 공극 크기가 너무 작아지면 필터 전,후단의 압력 차이가 허용치(0.5kgf/cm²) 보다 커져 원하는 유량의 흐름에 방해가 초래된다. 따라서 유량의 흐름에 방해를 주지 않는 범위내에서 최대한으로 엘리먼트 공극 크기를 줄이는 방법을 찾아야 할 것이다. 현재까지는 공극 크기와 필터 전,후단의 차압 발생에 대한 적절한 평가 방법이 없어 임의로 엘리먼트 공극 크기를 줄여 현장에 적용하는데 무리가 있었다.

본 연구에서는 유속에 따른 차압발생을 추정함으로써 필터엘리먼트의 평가 방법을 확립하여 이를 근거로 개선된 공극 크기를 갖는 엘리먼트의 현장적용을 목적으로 하고 있다.

평가 방법의 확립은 차압 발생과 손실계수 K 값을 구함으로써 이룰 수 있었다.

손실이 발생하는 가스필터 엘리먼트에서의 유동은 매우 복잡하기 때문에 이론적으로 완전하게 다루기는 어렵다. 따라서, 본연구에서 다루는 실험적인 데이터는 그야말로 평균적인 설계치가 될 것으로 판단된다. 흔히들 이러한 손실을 수두손실계수(head loss coefficient)를 정의함으로써 다룰 수 있다. 손실계수 K는 수두손실(head loss) $h = \Delta P / \rho g$ 를 파이프시스템의 속도수두(velocity head) $U^2 / 2g$ 와의 비로 나타낼 수 있다. 여기서, ΔP 는 압력강하, ρ 는 기체밀도, U 는 유동속도(m/s), g 는 중력가속도(9.8m/s²)이다.

$$K = \frac{h}{U^2 / 2g} = \frac{\Delta P}{\rho U^2 / 2} \quad (1)$$

물리적인 이해를 돕기 위하여 파이프 요소들의 손실계수를 예를 들어 관찰하기로 한다. 표 1에 파이프직경 4 in의 플랜지이음한 경우의 게이트(gate) 밸브 및 글로브(globe) 밸브가 부분적으로 열릴 때 손실계수 K의 개략적인 증가량을 보여주고 있다.

표 1. Valve 개방에 따른 손실계수의 변화¹⁾

조 건	Gate 밸브	Globe 밸브
완전개방	0.16	6.0
25% 폐쇄	0.48~0.8	9.0~12.0
50% 폐쇄	1.92~3.52	12.0~18.0
75% 폐쇄	11.2~19.2	36.0~48.0

밸브가 부분적으로 열릴 때 상당히 큰 손실이 발생됨을 알 수 있다. 이는 가스필터 엘리먼트가 분진이 축적됨에 따라서 손실계수가 커질

것임을 시사해주는 것이다.

2. 실험 방법

2.1. 실험 장치

LNG 가스필터의 분진포집성능 및 압력강하(차압)에 대한 관계를 분석하기 위한 본 연구에 도입된 실험장치 시스템은 다음과 같이 6가지의 구성요소로 이루어졌으며, 중요 장치에 대해서만 설명하도록 한다.

- (1) 시험풍동
- (2) 유속 및 차압측정장치
- (3) 분진발생장치
- (4) 에어로졸 샘플링 및 전달장치
- (5) 분진농도 측정장치
- (6) 가스필터 시제품

2.1.1. 시험풍동

가스필터의 분진포집 성능실험에 사용될 시험풍동에 대한 조립도가 Fig 2에 도시되어 있다. 본 풍동은 가스필터 엘레먼트가 장착될 시험부의 하류에 설치된 원심송풍기(turbo fan)에 의해 작동되는 흡입형(suction type) 풍동으로서 정격설계풍속은 분진이 공급되기 전인 초기의 깨끗한 엘레먼트가 장착된 상태에서 10m/s이며 최대설계풍속은 15m/s이다. 풍동은 내경 0.21m의 아크릴 원관으로 이루어져 있다. 풍동내의 평균속도는 0에서 15m/s 사이에서 가변될 수 있도록 풍동의 입구에 수동조절 댐퍼(damper)를 장착하였다.

2.1.2. 시험분진과 분진발생장치

시험분진 : KS 8종 분진으로서 입자크기 분포는 표 2와 같다.²⁾

표 2. KS 8종 시험분진의 입자크기분포

입자크기, μm	체위, %
1	-
2	-
4	-
5	61±5
6	-
8	-
10	43±3
20	27±3
30	15±3
40	9±3
75	3 이하

표에서 보듯이 5 μm 입자크기영역이 가장 많고 10 μm 이상의 크기도 상당히 많음을 알 수 있으므로 제어대상 입체입자크기인 5 μm 에 대한 필터링성능분석실험에 있어 매우 적합함을 알 수 있다.

2.2. 실험 방법

본 연구에서 시험한 가스필터 엘레먼트 시제품은 총 4가지로서 기존의 250 μm 메쉬 스크린(mesh screen) 엘레먼트와 3가지 개선모델후보인 150 μm , 5 μm 메쉬 스크린 엘레먼트, fiber-glass 여재(media) 엘레먼트이다.

- (1) 250 μm 스크린엘레먼트 : 외부 60 mesh + 내부 편칭판
- (2) 150 μm 엘레먼트 : 외부 100 mesh + 내부 편칭판
- (3) 5 μm 엘레먼트 : 외부 60 mesh + 중간 2500 mesh + 내부 편칭판
- (4) 여재 엘레먼트 : 외부 편칭판 + 중간 fiber-glass media(평균공극 : 120 μm) + 내부 편칭판

LNG 가스필터 엘레먼트의 성능분석은 우선 분진공급량(dust fed)에 따른 가스필터 엘레먼트를 가로지르는 압력강하(차압)와 유속(유량)을 측정하여 분진공급량에 따른 압력강하와 유속과의 관계를 확립함으로써 달성될 수 있다³⁾. 한편, 일반적인 메쉬스크린(mesh screen)의 특성상 자신의 간극(opening, aperture)의 크기, 즉 본 연구에서의 250 μm , 150 μm , 5 μm 등에 의해서 일반적으로 이보다 큰 입자들은 엘레먼트에 의하여 제거되고 이보다 작은 입자들은 통과될 것이 자명하나 메쉬스크린이 제조업체에서 제조될 때 100% 모두 정확하게 상기의 간극대로 이루어져 있지는 아니할 것이므로 부가적으로 가스필터 엘레먼트의 상류, 하류에서의 분진농도를 1회 정도 측정하여 분진제거성능(포집효율)을 살펴보았다.

본 연구에서는 상기의 성능분석방법을 미국 ANSI/ASHRAE 표준규격⁴⁾ 52.1-1992의 처분형 에어필터(disposable air filter)에 근거하여 다음과 같은 절차로 수행하였다.

(1) KS 분진이 최초로 가스필터 엘레먼트에 공급되기 전에 가스필터 엘레먼트 양단에 걸리는 초기 압력강하를 잰다.

(2) 엘레먼트가 장착되는 시험부로 공급되는 상류지점에서 그 횡단면을 따라 벽면으로부터의 기류속도분포를 측정하고 초기 평균유속을 산출한다.

(3) 상기 (1)항과 (2)항으로부터 초기 속도수 두손실계수 K 를 산출한다. 이때 손실계수 K 는

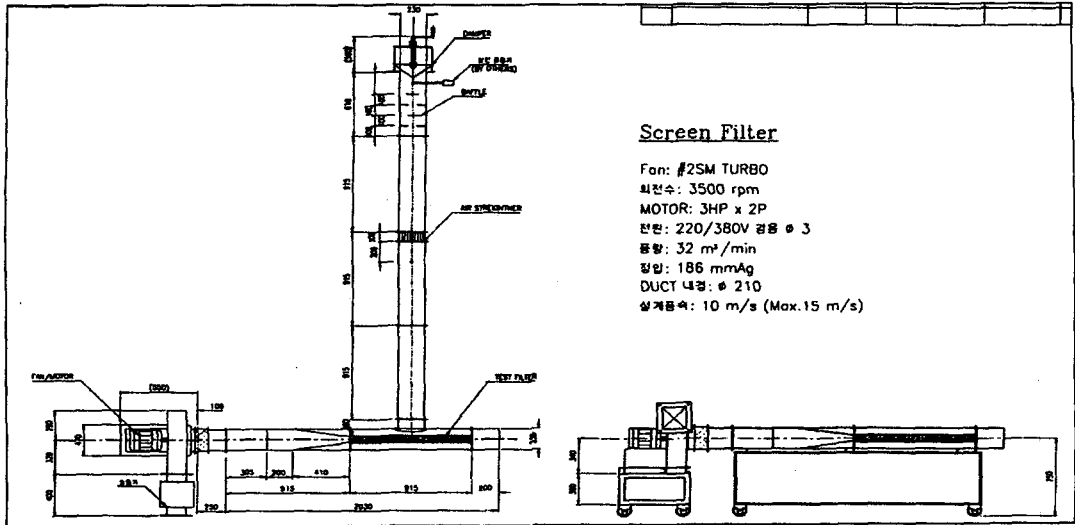


Fig. 2. A drawing of experimental gas filter estimation

다음의 공식을 사용한다.

$$K = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2} \rho_{air} U^2} \quad (2)$$

여기서, K 는 손실계수(loss coefficient) (dimensionless), ΔP 는 가스필터 엘레먼트의 상하류의 압력강하(Pa), ρ_{air} 는 공기의 밀도 (1.2kg/m^3), U 는 엘레먼트로 공급되는 기류의 평균유속(m/s)이다.

(4) 미량(0.5g)의 분진을 투입하면서 엘레먼트의 상, 하류에서의 입자 수농도 또는 질량농도를 측정하고 포집효율(collection efficiency)을 산출한다. 이때, 질량농도기준 포집효율은 다음의 공식을 이용하여 산출한다.

$$\eta = 100 \left(1 - \frac{W_u}{W_d} \right) \quad (3)$$

여기서, η 는 포집효율(collection efficiency, dimensionless), W_u 와 W_d 는 각각 가스필터 엘레먼트의 상류와 하류에서의 분진질량농도 (mg/cm^3)이다.

(5) 상류에 투입될 KS 분진의 증분량을 풍동유입구지점에 투입한다. 단, 1개의 분진증분량은 $\pm 0.01\text{g}$ 의 오차로 무게를 측정하고 대략적으로 20g의 분진증분이면 충분하나 분진포집이 $5\mu\text{m}$ 엘레먼트의 경우는 압력강하가 클 것이 예상되므로 5g 정도로 선정한다.

(6) 압력강하를 측정하고 상류 평균유속을 산출한다.

(7) 상기 (6)의 측정값을 이용하여 손실계수 K 를 산출한다.

(8) 총분진공급량이 100g이 될 때까지 상기 (5)항과 (6)항, (7)항을 반복한다.

(9) 분진공급량에 따른 손실계수 K 의 변화곡선을 구한다.

3. 결과 및 고찰

각 시작품 필터엘리먼트에 대한 실험 데이터를 표 3 - 6에 나타내었다.

표 3. 250 μm 엘레먼트의 성능측정결과

분진 공급량 (g)	U (m/s)	ΔP (mmH ₂ O)	K	η ($d_p \geq 5\mu\text{m}$)	η (전체)
0	10.94	99.69	13.61	거의 0	거의 0
20	10.84	98.98	13.76	-	-
60	10.73	99.34	14.10	-	-
100	10.35	99.34	15.15	-	-

표 4. 150 μ m 엘레먼트의 성능측정결과

분진 공급량 (g)	U (m/s)	ΔP (mmH ₂ O)	K	η ($d_p \geq 5\mu$ m)	η (전체)
0	10.23	95.97	14.98	거의 0	거의 0
20	10.07	95.55	15.40	-	-
60	9.94	99.43	16.44	-	-
100	9.97	102.71	16.88	-	-

표 5. 5 μ m 엘레먼트의 성능측정결과

분진 공급량 (g)	U (m/s)	ΔP (mmH ₂ O)	K	η ($d_p \geq 5\mu$ m)	η (전체)
0	10.52	106.6	15.74	-	-
25	5.83	206.6	99.32	0.83	0.71
35	3.23	230.6	361.2	-	-

표 6. 여재 엘레먼트의 성능측정결과

분진 공급량 (g)	U (m/s)	ΔP (mmH ₂ O)	K	η ($d_p \geq 5\mu$ m)	η (전체)
0	10.05	128.1	20.72	0.26	0.76
5	10.23	127.3	19.88	-	-
20	10.11	130.2	20.81	-	-
40	141.3	141.3	23.46	-	-
60	142.5	142.5	23.61	-	-
100	140.0	140.0	24.46	-	-
1270	147.5	147.5	26.59	-	-

이들 결과들로부터 분진공급량에 따른 손실 계수는 Fig 3 같은 함수로 표현된다는 사실이 판명되었다. 여기서 함수라고 말할 수 있는 것은 가스필터 엘레먼트의 손실계수가 엘레먼트의 표면에 포획된 분진량에 따라 변화되기 때문이다. 유체역학적 특성인 손실계수만의 측면에서만 본다면 그림에서 관찰할 수 있는 바와 같이 높은 분진공급량에 대해서도 초기의 손실 계수상태를 가장 낮게 그대로 유지해주는 250 μ m 메쉬스크린 엘레먼트가 가장 좋은 성능이라고 말할 수 있다. 하지만 250 μ m 엘레먼트와 150 μ m 엘레먼트는 본 연구에서 가장 관심을 가지고 있는 임계입자크기 5 μ m 근처의 분진들을 전혀 제거시키지 못하기 때문에 본 연구의 시험분진들에게는 무용지물이라고 말할 수 있다. 손실계수가 분진공급량이 아니라 엘레먼트의 표면에 포획된 분진량의 함수라고 표현하는 것도 이 때문이다. 따라서 250 μ m와 150 μ m 엘레먼트는 시험분진을 거의 포획할 수 없기 때문에 Fig.3과 같은 양상이 나타난 것이 명확하다.

결론적으로 본 연구의 성능분석실험 수준에서 각 엘레먼트들의 성능은 아래의 표로 요약될 수 있다. 표에서는 단지 O(good)과 X(poor)의 극단적인 경우로만 표현하였다.

엘레먼트 종류	유체역학적 특성 (Fig 3 참조)	분진제거특성 (η for $d_p \geq 5\mu$ m)
250 μ m 메쉬스크린	O	X (거의 0)
150 μ m 메쉬스크린	O	X (거의 0)
5 μ m 메쉬스크린	X	O (0.83)
Fiber-glass 여재	O	X (0.26)

실제적으로 천연가스 공급기지내의 배관내에서 어느정도의 분진량이 공급될 수 있는나에 대한 정보가 현상태에서 명확히 알려진 바가 없기 때문에 분진제거성능이 뛰어난 5 μ m 메쉬스크린 엘레먼트가 현상태에서 가장 적합한 결과를 보이고 있지만, 공급배관내의 총공급분진량의 수준이 35g보다 훨씬 밀도는 수준이라면 그림에서 보여주는 0.5kgf/cm²(4998mmH₂O)에 대한 손실계수의 설계상한치인 K=1225에는 영원히 도달될 수 없기 때문에 유체역학적 측면에서도 안정적이지만 만약 그렇지 못하다면 빈번한 교체가 요구될 것이기 때문에 사용여부는 경험에 의존하여 결정해야 할 것으로 판단된다.

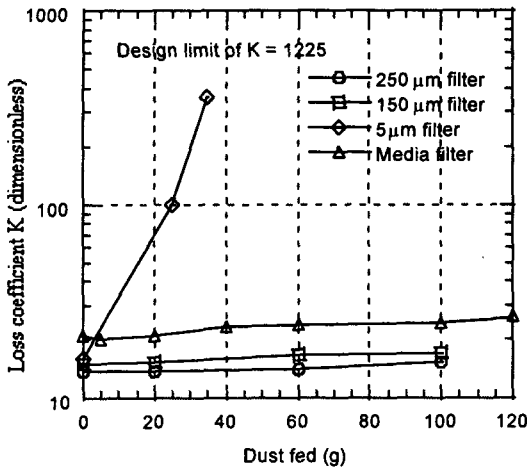


Fig. 3. variation of the velocity head loss across the gas filters with respect to dust head

4. 결 론

가스필터의 성능평가 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 속도수두손실계수 K를 이용하여 가스필터의 성능을 평가할 수 있었다.
- 2) 250, 150 μ m 필터 엘리먼트는 차압발생 문제는 없었으며 포집효율이 0%였다.
- 3) 5 μ m 필터 엘리먼트는 이물질이 35g 정도 쌓이면 차압발생이 문제가 되었으며 포집효율이 83%의 필터링 성능을 보였다.
- 4) 평균 공극 크기가 120 μ m인 depth type의 Fiber-glass 여재 엘리먼트는 차압발생 문제는 없었으나 포집효율이 26%의 필터링 성능을 보였다.

참고문헌

1. AMCA Publication 200-95 *Air Systems*, 1995, Air Movement and Control Association, Inc., Arlington Heights.
2. 한국공업규격 KS A0090-1987, "시험용 더스트".
3. Hinds, W.C., 1982, *Aerosol Technology*, John Wiley & Sons, New York.
4. ANSI/ASHRAE 52.1-1992, "Gravimetric and Dust-Spot Procedures for Testing Air-Cleaning Devices Used General Ventilation