

MPA유량계 압력감지공의 위치와 유출계수

김기현* 최성길*

Location of pressure sensing holes in MPA flowmeter and discharge coefficients

Raymond K. Kim*, Sung Kil Choi*

*Key Words: Flowmeter (유량계), DP flow element (차압식유량계),
Averaging Pitot Tube (평균피토투브 유량계),*

ABSTRACT

MPA (Multi-Point Averaging) flow element is a new type of differential pressure (DP) flow-sensing device that was developed by Seojin Instech to improve the operating characteristics of the conventional Averaging Pitot Tube (APT) flow elements. Operating characteristics of a flowmeter in general can be defined in terms of measurement accuracy and range. Improvement of accuracy and expanding the range of flow measurement were the two main objectives of the development. To achieve these dual objectives several upstream and downstream pressure-sensing holes were placed in MPA flow element. During the course of the development it was found that certain arrangements of the pressure-sensing holes improved measurement accuracy but did not expand operating flow range of Averaging Pitot Tubes. Development tests were performed with water between Reynolds number of 50,000 and 1,000,000 in the four-inch test line at the Alden Research Laboratory, U.S.A. Purpose of this paper is to present the relationship between the various locations of the pressure-sensing holes and the performance characteristics of MPA flow element. Furthermore, the operating characteristics of the best performing MPA are compared with those of typical orifice and APT.

(주) 서진인스텍 부설연구소

1. 서론

MPA는 차압식 유량계의 일종으로서 2003년에 서진인스텍이 새로 개발한 것이다. 과거 30년 동안 여러 산업계에서 널리 사용되어 온 평균피토투브 (Averaging Pitot Tube (APT))는 구조상 관경을 가로질러 한 방향으로 설치되기 때문에 접근하는 유속분포의 형상에 따라 측정된 유량에 적지 않는 오차를 초래할 수 있다. 이 단점을 보완하기 위하여 압력감지공의 수를 약3배 늘여서 단면 전체에 Tchebychef 배분법에 따라 골고루 배치한 것이 MPA이다 (Figure 1참조).

이렇게 배치된 MPA의 전압압력감지공 (stagnation pressure tap)은Fig. 2에서 볼 수 있는 바와 같이 유속분포가 어떤 모양을 갖게 되더라도 그 상태에 적절히 반응하여 정확한 평균 유속을 반영하는 압력을 생성한다. 또 이런 압력공 배치는 유량의 증감에 따라 변화하는 유속분포 (Reynolds number effect)에도 신속민감하게 반응하여 정확한 유속평균의 측정을 가능케 한다.

Stagnation pressure tap (또는 total pressure) 은Tchebychef 배분법에 따라 sensor의 상류쪽에 설치되어 있으나, 하류쪽 압력감지공 (하단압력감지공 또는 static pressure 또는 low pressure tap) 은

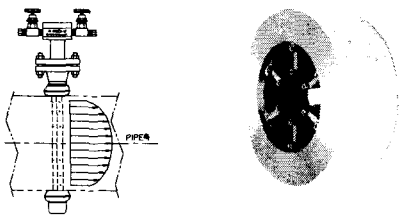


Fig. 1 A comparison of APT (left) and MPA

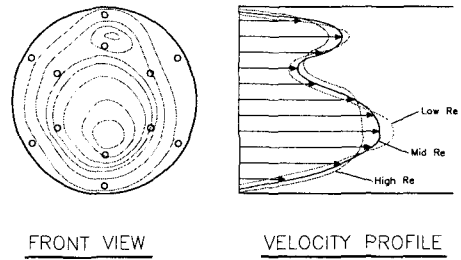


Fig. 2 Location of stagnation pressure taps in MPA and an imaginary velocity distribution (left), and an exaggerated view of Reynolds number effect

차압을 가장 많이 발생시키며 유출계수 (Cd)가 Reynolds number의 영향을 별로 받지 않는 위치에 설치함이 유리하다. 이 가장 유리한 지점은 이론과 경험을 통해 대충 선택될 수도 있지만 최종적으로는 반듯이 그 특성을 시험을 통해서 확인하여야 한다.

MPA를 개발하면서도 여러 가지 위치를 검토하였으나 이 논문에서 그 중 가장 중요한 것 세 가지의 시험결과에 관해서 이야기하고 그런 위치를 선택하였을 때 얻을 수 있는 MPA의 성능곡선 (Calibration curve) 을orifice와 평균피토투브 등 기존의 유량계 성능과 비교하고자 한다.

2. MPA low pressure tap의 종류

MPA를 개발하면서 시험한 하단압력감지공의 위치는 Style A, B와C셋이 있었는데 Figure 3에 설명되어 있다.

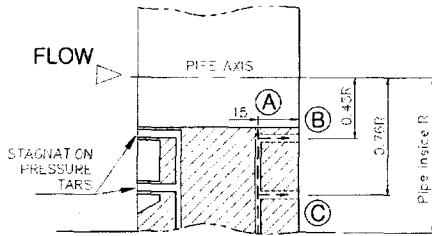


Fig. 3 Locations of low pressure taps A, B and C, which are used only one at a time.

Style A: Sensor의 끝에 위치한 직경2mm의 압력 감지공의 구멍이 pipe의 중심축을 향해 있으며 구멍의 방향은 흐름의 방향에 수직적이다.

Style B: 직경3mm의 구멍이 Sensor의 후단에 흐름과 같은 방향으로 뚫여 있으며 그 위치는0.45R 지점이다 (R=pipe의 반경).

Style C: B와 같으나 구멍의 위치가0.76R이 되는 지점이다.

이A, B와C Style은 각각 별도로 sensor마다 한 개씩 사용되며 다른 style과 동시에 병용되지 않는다.

3. 성능시험 (Calibration) 시설

내경4인치의 MPA flow element, orifice와APT flow element 들은 미국의 Alden Research Laboratory (Holden, Massachusetts)의Hooper Low Reynolds Number Facility의Line 4에서 물로서 시험되었다. (Figure 4 and 5). 모든 MPA, orifice및APT 유량계 는flow straightener가 설치되지 않은 37D (37x4"=148")의 상단 직관부와5D의 하단 직관부 사이에 설치해서 시험하였다. 시험

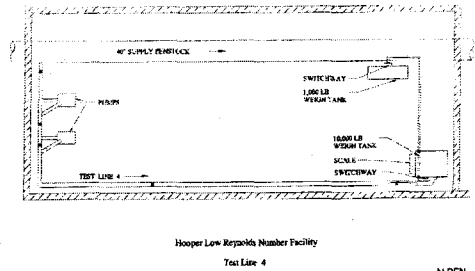


Fig. 4 Line 4 of Hooper Low Reynolds Number Facility

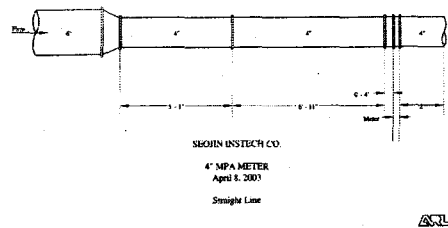


Fig. 5 Upstream and downstream piping arrangement

유량범위는 $50,000 < \text{Reynolds number} < 1,000,000$ 였으며 유량은 $\pm 0.25\%$ 의 측정불확도를 유지하고 있는 10,000 pound weigh scale system으로 측정되었으며 자세한 시험절차와 Data acquisition method에 관해서는Alden Research Laboratory Report ARL NO. 87-03/959에 수록되어 있다.

4. 시험결과와 해석

4.1 Style A를 사용한 MPA 유량계

Fig. 6에 표시된 MPA(A)의 시험결과는 Cd를 Reynolds number의 함수로 그린 그래프인데 범위가 50,000에서 600,000 (turndown ratio = 12:1) 까지이며 그 구간에서의 평균 Cd 값은 $0.8128 \pm 0.2\%$ 이다. Reynolds number 50,000일 때의 물의 속도는0.7 m/sec 였다. 이 결과에서 매우 주목되는 점은 12:1이나 되는 유

량범위 내에서 Cd의 편차범위가 +/- 0.2%라는 점이다. 왜냐하면 이 때까지 사용되어 온 많은 차압식 유량계 중 어떤 유량계도 이렇게 정확하고 넓은 측정범위를 가진 것이 없었기 때문이다. 그리고 차압식 유량계로서 측정가능한 최소유속이 0.7m/sec 라는 점도 경우에 따라서는 매우 유리한 특성이 될 수 있다.

4.2 Style B와C를 사용한 MPA 유량계의 시험결과

Fig. 7은 Style B와C를 같은 방법으로 시험한 결과를 비교하기에 편리하도록 Style A의 결과와 함께

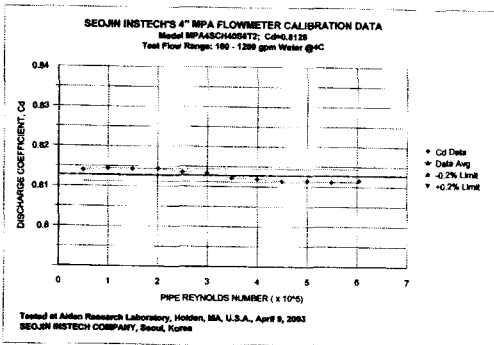


Fig. 6 Calibration of MPA with Style A static pressure taps

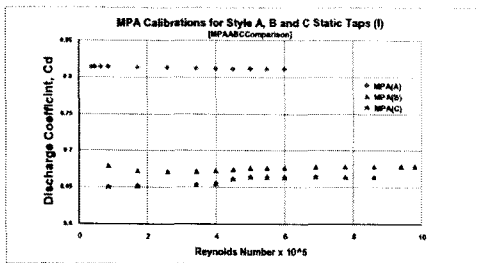


Fig. 7 Comparison of three calibration curves

표시한 것이다. 이 그래프에서 쉽게 볼 수 있는 것은 Style A의 Cd 값이 B와C에 비해서 훨씬 크다는 점인데, 유출계수는 유량에 비례하고 차압의 평방근에 반비례하는 수치이기 때문에 그 이외의 별다른 의미는 없으며 유량계를 사용하는데도 장단점이 없다.

차압식 유량계의 특성 중에서 가장 중요한 점은 Cd의 값이 유량의 증감에 따라서 너무 많이 변화하지 않는 것이 좋다는 점이다. 즉 Reynolds number의 증감에 따라 Cd값이 큰 폭으로 변하면 측정오차의 폭도 커지기 때문이다. Fig. 7에서 Style B와 C의 Cd곡선들이 A의 곡선에 비해서 변화의 폭이 크다는 것을 알 수 있다. 그러나 0.6부터 0.85까지 변화하는 Cd의 값을 한 그래프에서 표시하기 위하여 Cd의 Scale을 크게 잡았기 때문에 BC를 A에 자세히 비교하기에는 적당하지 않다. 그래서 이들 data를 다른방법으로 재 처리하여 쉽게 그 차이를 볼 수 있도록 한 것이 Fig. 8 이다.

Table 1 Summary of performance characteristics of MPA(A), (B) and (C)

	UNITS	MPC(A)	MPC(B)	MPC(C)
LINEAR Re RANGE	x 10 ⁴ s	0.5-6.0	2-10	2-8.5
TURNDOWN RATIO	-	12:1	5:1	4.25:1
MINIMUM VELOCITY	m/sec	0.7	3.0	2
AVERAGE Cd	-	0.8128	0.7761	0.6630
DEVIATION	%	+/- 0.2	+/- 0.25	+/- 0.05

“A”의 Cd는 전체 측정영역 내에서 변화폭이 좁기 때문에 전체 측정치의 평균을 계산한 결과

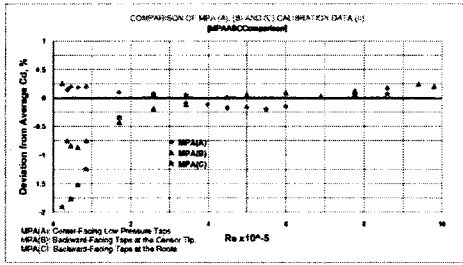


Fig. 8 Deviation of Cd's from the individual average Cd

0.8128로 나타났다. 이 평균치에 비교한 각 Cd의 편차는 $\pm 0.2\%$ 였으며 그 편차 하나하나를 그래프에 기재하였다. "B"와 "C"를 이와 동일한 방법으로 처리하여 같은 그래프에 실었으니 "A"와는 많이 다르다는 점을 쉽게 알아볼 수 있다. 이들 "A" "B" "C"의 Cd를 비교 분석한 결과를 요약하여 Table 1에 게재하였는데, 유량계를 사용하는 사람의 입장에서 보면 다음의 몇 가지 특성들이 매우 흥미롭다.

1. MPA(A)를 사용하면 액체의 유속을 0.8에서 10 m/sec 까지 (12:1)를 $\pm 0.2\%$ 의 정확도로 측정할 수 있으며,
2. MPA(B)를 사용해서는 3에서 15 m/sec (5:1)의 유속을 $\pm 0.25\%$ 의 정확도로 측정할 수 있을 것이고,
3. MPA(C)를 사용하면 2에서 8.5 m/sec (4.25:1) 까지를 $\pm 0.05\%$ 의 정확도로 측정할 수 있을 것이라는 것이다.

MPA(A)의 Cd가 이렇게 월등히 우수하게 나타난 이유는 stagnation pressure와 static pressure tap

사이의 독특한 기하학적관계에 기인하는 것으로 해석된다.

유량계 사용자들은 일반적으로 저 유속에서 고 유속까지 정확 하게 측정할 수 있는 유량계를 선호하기 때문에 MPA(A)에 매력을 느낄 것이다.

그런 반면 그렇게 측정범위는 넓지않아도 0.05% 정도의 정확도를 유지하기를 원한다면 MPA(C)를 생각해 볼 수도 있을 것이다.

여기서 정확도라고 하는 것은 Cd 값의 평균값에 대한 편차를 이야기하는 것으로서 측정에사용하는 DP transmitter 등의 계측기정확도를 함께 고려해야 하는 Overall Measurement Accuracy와는 구별되어야 한다.

5. APT 및 Orifice 와의 성능비교

평균피토투브 (APT)의 단점을 보완하기 위해서 개발된 MPA 유량계가 과연 어느 정도 그 목적을 달성하였는가를 검토하기 위하여 Alden Lab의 같은 시설에서 시험한 한 개의 상업용 APT와 orifice ($d/D=0.6$)의 calibration data와 비교하여 그래프로 나타낸 것이 Fig. 9이다. 이 그래프에서 쉽게 볼 수 있는 점은:

1. 유출계수의 편차가 시사하는 APT와 orifice의 측정 정확도는 Re 20,000에서 950,000까지는 MPA와 대동소이 하다고 할 수 있겠으나, 그 이하에서는 정확도가 많이 떨어진다.
2. APT와 orifice가 정확하게 측정할 수 있는 유량 범위는 MPA(A)에 비해서 Table 2에 표시된 바와 같이 매우 좁다: MPA의 12:1에 비해서 4:1정도 밖에 안된다.

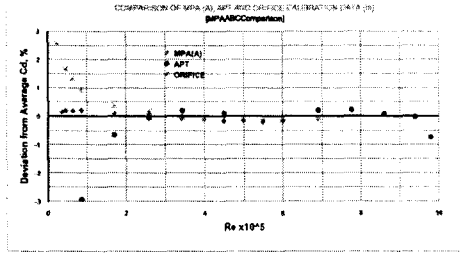


Fig. 9 Comparison of APT and orifice calibration data to MPA(A)

Table 2

Summary of performance characteristics of MPA(A), APT and orifice

	UNITS	MPC(A)	APT	ORIFICE
LINEAR Re RANGE	x 10 ⁵	0.5-6.0	2.5-9.5	2-7
TURNDOWN RATIO	-	12:1	3.8:1	3.5:1
MINIMUM VELOCITY	m/sec	0.7	1.7	1.7
AVERAGE Cd	-	0.8128	0.6073	0.6157
DEVIATION	%	+/- 0.2	+/- 0.25	+/- 0.5

6. 결론

Style "A" 정압감지공이 sensor에 설치된 MPA 유량계는 orifice나 평균피토투브 유량계에 비해 측정영역이 월등히 넓고 측정정확도가 탁월하다고 간주된다.

이 결론은 엄격히 말하자면 액체에 적용되는 것이나 지금 진행 중인 기체시험결과가 기체에도 용된다는 것을 곧 확인하게 될 것으로 기대된다.

측정영역이 4:1 정도로 좁아도 +/- 0.1% 이하의 정확도가 요구되는 곳에는 MPA(C)를 고려할 수 있다