

관 내 오리피스플레이트의 직경변화에 따른 내부유동에 관한 해석적 연구

고동국^{*}·임익태^{*}·이상영^{**}^{*}전북대학교 기계설계공학과, ^{**}(주)일신이앤에프

e-mail:kdg2002@jbnu.ac.kr

Analytical study on internal flow according to the diameter
of orifice plate within the pipe

Dong-Guk Ko^{*}^{*}Dept. of Mechanical Design Engineering, Jeonbuk National University

요약

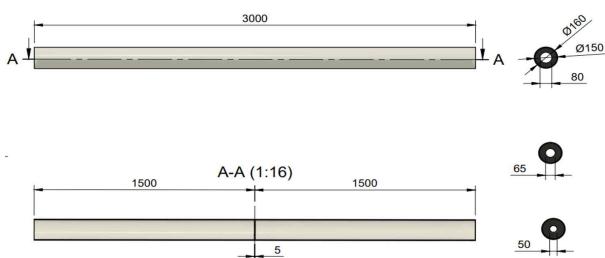
본 논문은 스프링클러와 같은 소방시설에 사용되는 관 내 오리피스플레이트의 직경변화에 따른 전·후 유동특성을 전산해석기법(Computatioanl Fluid Dynamics)을 활용하여 분석한 것이다. 해석변수는 물의 유입속도와 오리피스의 직경이다. 해석결과 오리피스 직경이 50mm일 경우 오리피스를 통해 토출된 물은 오리피스 후면에서 재순환 영역과 2차 유동을 형성하였다. 반면 오리피스 직경이 80mm일 경우 오리피스를 통과한 물의 중심 최고 속도는 18.4%였으며 균일한 유동분포와 대칭구조를 나타내었다.

1. 서 론

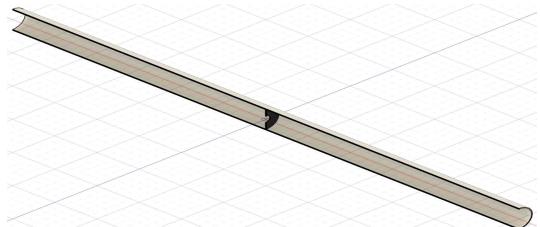
스프링클러와 같은 소방시설은 화재·소화에 매우 중요한 설비이며 적정량의 유량과 유속이 보장되어야 한다. 현재 소방법규에 따라 감압밸브를 설치하여 적정 유속(6.0 m/s)을 유지하고 있으나 가격이 비싸고 부피와 무게 때문에 시공성과 공간 활용성에 제약이 있다.^[1]

이를 대체하기 위해서는 소형·경량의 단순한 장치가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 적정수준의 압력 저감으로 배관시스템을 보호하고 유지관리를 용이하게 하기 위한 방안으로서 오리피스플레이트를 착안하였으며 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 해석기법을 활용하여 오리피스플레이트 직경변화에 따른 관내 유동특성을 분석하였다. 또한 균일 유동을 발생시킬 수 있는 최적의 형상 데이터에 대한 기초자료를 확보하고자 하였다.

2. 수치해석



[그림 1] 오리피스플레이트가 설치된 관(pipe) 내부형상



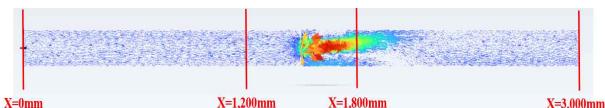
[그림 2] 오리피스플레이트가 설치된 관(pipe) 내부 절단면

[그림 1]은 본 연구에 사용된 파이프내 오리피스플레이트를 설치한 것이며 파이프 전체 길이는 좌·우 각각 1,500 mm, 총 3,000 mm이다. 파이프 내경은 150 mm이며 해석변수인 오리피스플레이트 내경은 50 mm, 65 mm, 80 mm이다. 작동유체는 물(H₂O)을 사용하였다. [그림 2]는 오리피스플레이트가 설치된 관의 내부 절단면을 나타낸 것이다. 플레이트 위치는 실제 시공과 동일하게 파이프 중심에 배치하였다. 본 연구에서는 토출되는 유체의 유동에 대한 오리피스플레이트의 영향을 파악하고자 오리피스의 직경변화에 따른 유동구조를 분석하였다. 또한 유입되는 유체의 유속에 따른 오리피스플레이트 전·후 및 토출구에서의 유동 특성을 고찰하였다. 해석에 사용된 유체의 거동은 정상류와 난류 유동으로 가정하였다. 난류모델은 스월유동(swirl flow)을 고려하여 Shear Stress Transport(SST) $k-\omega$ 모델을 활용하였으며 압력과 속도의 보정은 압력기반 커플드 알고리즘(pressure-based coupled algorithm)을 적용하였다. 수치해석 계산을 위한 솔버는 ANSYS-FLUENT 2020 R2이며 해석결과의 수렴오차(convergence

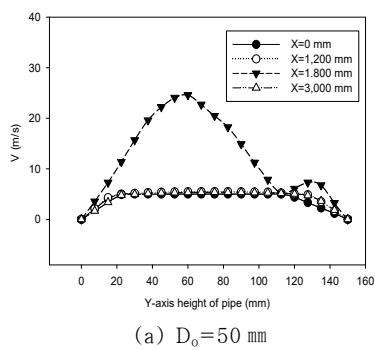
tolerance)는 0.001이다.^[2] 유입되는 물의 속도는 1 m/s, 3 m/s, 5 m/s이며 파이프의 유입구와 유출구 경계조건은 각각 물의 유입속도와 대기압이다. 유로 벽면을 따라 흐르는 물의 속도는 0으로(no-slip condition) 설정하였다.

[그림 3]은 수치해석 시 관 내 속도분포와 유동해석 결과를 도출하기 위한 측정위치를 나타낸 것이다. 위치는 관 입구(X=0 mm)와 출구(X=3,000 mm) 그리고 오피스플레이트 전·후 각각 300 mm(X=1,200 mm, X=1,800 mm)이다.

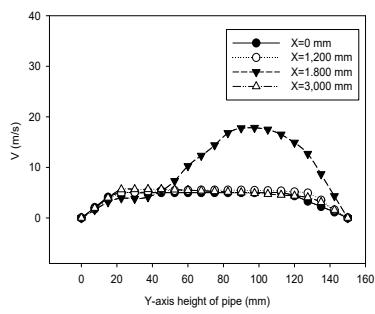
3. 결과 및 고찰



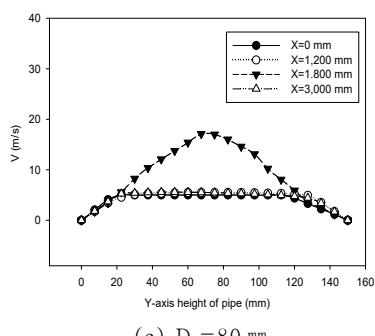
[그림 3] 오피스플레이트 직경(D_0)이 50 mm일 경우 속도분포 및 측정위치



(a) $D_0 = 50 \text{ mm}$



(b) $D_0 = 65 \text{ mm}$



[그림 4] 물의 유입속도가 5 m/s일 경우 오피스플레이트 직경변화에 따른 관 내 속도 값

유동해석 결과 관 내부로 유입된 물은 오리피스 플레이트 앞 부분인 $X=1,400 \text{ mm}$ 까지 그리고 $X=2,200 \text{ mm}$ 이후 일정한 속도 값을 보였는데 이는 입구와 출구의 직경이 같아 평균 유속 또한 동일하기 때문이다. 반면 물의 유속은 플레이트를 통과한 후 축소된 오리피스 직경으로 인해 증가하였으며 오리피스 후면에 압력 강하로 인한 재순환 영역(recirculation region)이 형성되었다.

[그림 4]는 관 내로 유입되는 물의 속도가 5 m/s일 경우 측정위치에 따른 물의 속도 값을 플레이트의 오리피스 직경변화에 따라 나타낸 것이다. [그림 4]의 (a), (b), (c)는 각각 오리피스 직경이 50 mm, 65 mm, 80 mm인 경우 측정위치에 따른 속도 값을 의미한다. 관 벽면에서의 유속은 벽면의 점성에 의해 0%이다. 오리피스 플레이트의 $X=0 \text{ mm}$, 1,200 mm, 3,000 mm에서는 유사한 속도 값을 나타낸 반면 $X=1,800 \text{ mm}$ 에서는 서로 다른 유동분포를 보였다. $D_0=50 \text{ mm}$ 일 경우 유속은 관 아래면에서 중심으로 올라갈수록 점차 증가하였으며 높이 $Y=60 \text{ mm}$ 에서 최고 값을 보인 후 $Y=130 \text{ mm}$ 에서 2차유동(secondary flow)에 의해 다시 상승하였다. 또한 $Y=60 \text{ mm}$ 와 $Y=120 \text{ mm}$ 사이에는 역압력 구배에 의한 재순환 영역(recirculation region)이 형성되어 속도 값이 감소하였다. $D_0=65 \text{ mm}$ 일 경우 오리피스를 통과한 물의 최고 속도는 점차 관 상부로 이동하였으며 ($Y=98 \text{ mm}$) 최고 속도 값은 17.8%였다. 반면 $D_0=80 \text{ mm}$ 일 경우 오리피스를 통과한 물의 최고 속도는 17.1%였으며 관의 중심을 기준으로 대칭분포를 형성하고 재순환 영역 또한 나타나지 않았다.

4. 결 론

본 연구에서는 전산해석기법을 활용하여 배관시스템에 사용되는 오리피스플레이트의 전·후 유동특성을 오리피스 직경변화에 따른 분석하였으며 아래와 같은 결론을 얻었다.

- 1) 관 벽면에서의 유속은 점성에 의해 0%였다.
- 2) 오리피스 직경이 50 mm일 경우 오리피스를 통해 토출된 물은 오리피스 후면에서 재순환 및 2차 유동을 형성하였다.
- 3) 오리피스 직경이 80 mm일 경우 오리피스를 통과한 물의 중심 최고 속도는 18.4%였으며 균일한 유동분포와 대칭구조를 나타내었다.

후 기

본 성과물은 중소벤처기업부에서 지원하는 2025년도 산학연 Collabo R&D사업(RS-2025-02316746)의 연구수행으로 인한 결과물을 밝힙니다.

참고문헌

- [1] Byeon, J. U., Kim, C. H., Park, S. H., Lee, M. W. and Kang, M. C., "Effects of Flow Rate and Discharge Pressure with Compressing Spring in Non-diaphragm Type Stem of Water Pressure Reducing Valve", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 5, pp. 103–109, 2019.
- [2] ANSYS Co., ANSYS Fluent User's Guide, 2022.