옥외소화전의 디스크 형상을 고려한 압력손실에 관한 연구

유우준 · 심명규* · 성건혁 · 유재범* · 염문천* · 유홍선†

중앙대학교, *한국소방산업기술원

A Study on the Effects of Various Disk Shape of Hydrant on the Pressure Drop

Woo Jun You · Myoung Gyu Shim* · Kun Hyuk Sung · Jae Bum Yu* · Moon Cheon Youm* · Hong-Sun Ryou†

Dept. of Mechanical Engineering, Chung-Ang University

*Korea Fire Institute of Industrial & Technology

(Received August 6, 2013; Revised December 6, 2013; Accepted December 6, 2013)

요 약

본 연구에서는 옥외소화전의 디스크 형상을 고려한 압력손실에 관한 실험 및 수치해석 연구를 수행하였다. 옥외소화전의 압력손실은 국제 시험규격인 Underwriters Laboratory (UL)에서 제시하고 있는 시험방법을 적용하였으며, 옥외소화전의 입 · 출구 배관 직경을 고려한 압력손실 실험 장치를 제작하였다. 본 연구에서 사용한 옥외소화전은 입구 직경 150 mm 1개와 토출부 직경 63.5 mm 2개 그리고 직경 114.3 mm 1개인 구조로 직경 63.5 mm인 토출부는 유량범위 760 L/min~2,270 L/min, 직경 114.3 mm인 토출부는 3,030 L/min~6,060 L/min 범위에서 압력손실을 측정하고 유량계수를 구하였다. 동일한 실험조건에서 상용해석프로그램인 ANSYS Ver.14.0을 사용하여 압력손실 측정값과 해석결과를 비교하여 정확성을 확인하였으며, 다양한 디스크 형상을 모델링하여 압력손실에 중요한 영향을 미치는 인자를 분석하였다. 그 결과 옥외소화전은 디스크의 경사 각도가 0°~45°인 경우 유량계수는 494.46~680.64 (L/min/kPa^{0.5})로 경사각이 작을수록 압력손실이 가장 낮게 나타나는 것을 수치적으로 분석하였다. 본 연구 결과는 옥외소화전의 성능인 압력손실을 예측하기 위한 디스크 형상의 설계 자료로 활용이 가능함을 확인하였다.

ABSTRACT

In this study, the effects of various disk shapes of hydrant on the pressure drop are experimentally and numerically analyzed. The test methods for measuring pressure drop of hydrant are comply with standard of Underwriters Laboratory (UL). The hydrant as used in this study has one inlet, diameter 150 mm, and three outlet, 114.3 mm diameter for one outlet and 63.5 mm diameter for the others. The pressure of the hydrant are measured in the range 760 L/min~2,270 L/min for 63.5 mm outlet and 3,030 L/min~6,060 L/min for 114.3 mm outlet. Also, the numerical results of pressure drop are compared with the experiments to verify the accuracy and to analyze the of various valve shape of hydrant on the pressure drop. The engineering parameters, flow coefficients, are reduced from 181.57 to 136.35 (L/min/kPa^{0.5}) with inclined angle of disk from 0° to 45°. These results are able to practical use for design hydrant to minimize pressure drop.

Keywords : Hydrant, Disk shape, Flow coefficient, Loss of head, Inclined angle, Open area of hydrant's disk

1. 서 론

옥외소화전은 캡, 덮개, 연결구, 본체, 밸브막대, 디스크, 시트, 연장통 그리고 밸브통 등으로 구성되어 있으며, 소방호스와 관창을 연결하여 옥외소화설비에 사용되는 주요 제품 중 하나이다⁽¹⁾. 건축물의 실내초기화재 진압용으로 설치되는 옥내소화설비와는 달리^(2,4), 옥외소화설비의 설

치 대상은 플랜트 또는 화학공장 등 대형화재를 일으킬 수 있는 위험물을 취급하는 장소로 화재 발생시 초기 진압에 실패하게 되면, 인명 피해와 동시에 대형 화재로 인한 유독성 가스가 주변 지역에 확산되어 환경오염 및 생태계 등에 심각한 영향을 줄 수 있다. 따라서 옥외소화설비의 설치목적은 초기화재 뿐만 아니라 중기화재의 소화 및 연소확대방지에 있으며, 화재 발생시 신속하게 화재를 진압할

† Corresponding Author, E-Mail: cfdmec@cau.ac.kr
TEL: +82-2-820-5280, FAX: +82-1-813-3669

ISSN: 1738-7167
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2013.27.6.001>

수 있을 만큼 많은 양의 소화용수를 화재 발생 구역에 공급해 주어야 한다. 또한 옥외소화전 내부로 유체가 흐르는 동안 디스크와 시트 등이 동작할 때 진동(vibration), 눌러 붙음(sticking), 채터링(chattering) 및 디스크 손상이 발생하지 않아야 하고⁽⁵⁻⁷⁾, 옥외소화전을 사용하지 않을 때에는 물을 차단하여 동파, 부식, 누수 및 누설로 인한 경제적인 비용손실이 없어야 하며, 내부의 압력손실을 작게 하여 안정된 펌프의 효율이 유지될 수 있도록 설계되어야 한다. 따라서 UL (Underwriters Laboratory)이나 FM Global 등에서는 옥외소화전의 압력손실에 관한 시험기준을 적용하고 있으며, UL의 경우 토출부의 직경이 63.5 mm인 경우 유량 범위 1,890 L/min (500 gpm)인 조건에서 압력손실 13.7 kPa 이하 그리고 토출부 직경 114.3 mm인 경우 유량 범위 3,780 L/min (1,000 gpm)와 5,680 L/min (1,500 gpm)에서 압력손실 각각 30.1 kPa와 89 kPa 이하로 제품의 성능을 확보하도록 규정하고 있다⁽⁵⁾. 본 연구에서는 이러한 옥외소화전의 구성 부품 중 압력손실에 영향을 주는 주요 인자를 분석하였으며, 물의 개폐 역할을 담당하는 디스크의 형상에 따라서 유량계수를 구하고 옥외소화전의 밸브 설계를 위한 기초 실험 자료를 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 실험장치 제작

Figure 1은 본 연구를 위해서 제작한 옥외소화전의 압력손실 실험장치로 그림의 중심부에 시료를 설치하였다. 옥외소화전 내부의 흐르는 물의 양을 측정하기 위해서 유량계 1개 (MUT 1100: 최대 측정범위 600 m³/h, 분해능 0.01 m³/h, 최대 값의 $\pm 0.15\%$ 정확도)를 입구 측에 설치하였으며, 압력변화를 측정하기 위해 압력계(PSH: 측정범위 0~0.5 MPa, 최대 값의 0.15% 정확도)를 입·출구 배관에 각각 1개 설치하였다. 물을 공급하기 위한 펌프(Hyosung: 양정 450 m³/h, 150

Figure 1. Experiment apparatus for pressure drop of hydrant.

HP, 1.6 MPa)를 옥외소화전의 입구쪽 배관에 설치하였으며, 옥외소화전 입구 배관은 직경 150 mm의 스테인레스 스틸(C=150) 그리고 출구쪽 배관은 직경 125 mm의 구상아연(C=120)을 설치하였으며, 압력과 유량을 DAQ (PCI 1711, 샘플속도 100 kHz, 분해능 12 bit)에 의하여 측정하였다.

Figure 2의 (a)는 토출부 직경이 114.3 mm인 실험 장치의 개략도로 유량계는 유동의 안정성을 확보하기 위해서 옥외소화전의 입구쪽까지 길이/직경 비를 고려하여 설치하였다. 압력손실을 측정하기 위한 압력계는 옥외소화전 입구에서 830 mm 그리고 토출부에서 1810 mm 떨어진 지점에 각각 1개씩 설치하였다. Figure 2의 (b)는 토출부가 2개이고 직경이 63.5 mm인 압력손실 실험 장치 개략도로 옥외소화전 입구에서 830 mm 그리고 토출부에서 850 mm 떨어진 지점에 압력계를 각각 1개씩 설치한 실험장치 개

Figure 2. Schematic diagram of hydrant - (a) 63.5 mm outlet (b) 114.5 mm outlet.

Table 1. Experiment Results of Pressure Drop in Hydrant (114.3 mm)

Outlet Num.	Flow Rate Q_i (L/min)	Inlet Pressure P_1 (kPa)	Outlet Pressure P_2 (kPa)
1	3028.3	60.409	17.162
1	3811.9	80.807	21.869
1	4587.9	107.579	29.518
1	5360.1	135.528	35.304
1	5723.5	151.709	39.423
1	6090.7	168.184	43.345

Table 2. Experiment Results of Pressure Drop in Hydrant (63.5 mm)

Outlet Num.	Flow Rate Q_i (L/min)	Inlet Pressure P_1 (kPa)	Outlet Pressure P_2 (kPa)	
			Left	Right
2	756.7	53.8	34.421	35.304
2	1135.0	71.1	46.189	48.445
2	1513.3	94.5	62.959	65.214
2	1893.3	124.7	84.043	86.985
2	2271.7	160.9	109.540	112.188

략도를 보여주고 있으며, 본 연구에서 측정된 공급유량과 1·2차측 압력값을 Table 1 (114.3 mm)과 Table 2 (63.5 mm)에 나타내었다.

2.2. 수학적 모델^(5,8)

옥외소화전의 전체 압력손실은 입·출구 직경에 따른 속도 편차, 소화전 형상, 밸브의 구조와 중력에 의해서 발생하며, Figure 1과 같은 실험장치에서 입·출구 압력계로 측정된 전체 손실은 식(1)과 같다.

$$P_s = P_1 - P_2 \quad (1)$$

여기서 P_s (kPa), P_1 (kPa) 그리고 P_2 (kPa)는 각각 실험 장치에서 측정된 전체 압력차, 입구부 압력 및 토출부 압력을 나타낸다. 또한, 옥외소화전 입·출구 직경 차이에 의한 속도 편차 손실은 식(2)와 같다.

$$P_{VHD} = 2.25 \times 10^{-10} \times \left[\frac{Q_0^2}{d^4} - \frac{Q_i^2}{D^4} \right] \quad (2)$$

여기서 P_{VHD} (kPa), ρ (kg/m^3), Q_0 (L/min), Q_i (L/min), A_0 (m^2) 그리고 A_i (m^2)는 각각 속도편차에 의한 압력 손실, 물의 밀도, 출구 체적유량, 입구 체적유량, 출구 면적 ($\pi D^2/4$) 그리고 입구면적 ($\pi d^2/4$)을 나타낸다. 또한, Figure 1과 2에서 보듯이 옥외소화전의 압력손실만을 측정하기 위해서는 압력계를 설치한 배관부의 손실을 제외해야 하므로 식(3)의 Hazen-Williams 식을 이용하여 길이방향 손실을 구할 수 있다⁽⁵⁾.

$$P_i = \left(\frac{14.85 L_i Q_i^{1.85}}{C^{1.85} D^{4.87} 10^8} \right), P_o = \left(\frac{14.85 L_o Q_o^{1.85}}{C^{1.85} d^{4.87} 10^8} \right) \quad (3)$$

여기서 P_i (kPa), P_o (kPa), L_i (m), L_o (m), D (m), d (m) 그리고 C 는 각각 옥외소화전의 입구손실, 출구손실, 옥외소화전 입구에서부터 압력계가 설치된 거리, 옥외소화전 출구에서 압력계가 설치된 배관까지의 거리, 입구직경, 출구직경 그리고 배관 표면의 조도 또는 거칠기 등에 의해서 결정되는 Hazen-Williams 계수를 의미한다. 따라서 최종 Figure 2와 같은 실험 장치에서 소화전 형상과 디스크 구조에 의해서 발생하는 압력손실은 식(4)과 같다.

$$P_{\text{Loss}} = P_s - (P_{VHD} + P_i + P_o + \rho gh) \quad (4)$$

여기서 P_{Loss} (kPa), g (m/s^2) 그리고 h 는 각각 소화전 형상과 밸브 구조에 의해서 발생하는 압력손실, 물의 밀도, 중력가속도 그리고 옥외소화전의 입구와 출구 중심의 수직거리($h=1.58$ m)를 나타낸다.

2.3 압력손실 실험결과

Figure 3은 옥외소화전의 내부 형상으로 왼쪽 그림은 실험에 사용한 샘플이며, 오른쪽 그림 (a)는 시험에 사용한 옥외소화전을 모델링한 형상을 보여주고 있다. 국내의 옥

Figure 3. Simplified schematic diagram of hydrant's disk shape.

Figure 4. Experiment results for 2.5 inch outlet diameter of hydrant.

외소화전의 경우 제품 규격 및 제조 공정 등으로 전체 높이가 정해져 있기 때문에 디스크 경사각도와 개방높이는 서로 반비례 관계를 갖게 된다. Figure 3의 (b), (c) 그리고 (d)는 디스크 경사각도(θ)가 0° , 15° 그리고 45° 로 증가함에 따라서 개방높이(h_{upper})가 달라지는 구조를 모델링한 것으로 경사각도가 작아질수록 개방높이가 증가하는 경우에 해당한다. 본 연구에서는 옥외소화전의 주요 인자인 디스크 경사각도(θ)와 개방높이(h_{upper})의 변화에 따라서 압력손실을 분석하기 위해서 Figure 3의 (a)에 해당하는 해석결과와 압력손실 실험결과를 비교하여 해석의 정확성을 검증하고 (b), (c) 그리고 (d) 각각의 디스크 밸브 구조에 따라서 유량계수를 도출하고자 한다.

Figure 4은 Figure 3과 같은 디스크 형상을 갖고 있는 옥외소화전을 설치한 후 63.5 mm 토출부 좌우 2개를 모두 개방하여 공급유량 760 L/min (200 gpm)에서 2,710 L/min (600 gpm)까지 380 L/min (100 gpm)씩 증가하면서 식(1)의 압력차를 측정한 후 식(2)와 식(3)을 이용하여 식(4)의 압력손실을 구한 결과이다. 좌우의 압력측정값이 서로 다른 이유는 토출부 배관에서 빠져나가는 양을 바이 패스(bypass)하는 과정에서 좌우 설치조건이 서로 상이하여 발생한 설비의 오차로 보다 정확한 실험을 위해서는 물을 회수하는 배관부 형상을 고려하여 실험 장치를 설계해야 할 것으로 사료된다. 하지만 그림에서 보듯이 좌우의 압력손실 모두 유량이 증가하면서 비례하는 경향이 같은 것을 확인할 수 있으며, UL 시험기준인 1,890 L/min (500 gpm)에서 13.7 kPa 미만으로 기준범위를 초과하지 않는 것을 확인할 수 있다.

Figure 5는 직경 114.3 mm 토출부 배관 1개를 개방하여 공급유량 3,030 (800), 3,780 (1,000), 4,540 (1,200), 5,300 (1,400), 5,670 (1,500) 그리고 6,060 (1,600) L/min (gpm) 각각에 대해서 식(4)의 압력손실을 구한 것으로 유량 3,780 L/min 정도에서 기준범위 34.5 kPa보다 약 2.5 kPa 정도 차

Figure 5. Experiment results for 4.5 inch outlet diameter of hydrant.

이가 나지만, 유량 5,670 L/min(1,500 gpm)에서 약 19.5 kPa 정도로 유량이 증가할수록 압력손실의 차이가 더욱 증가하게 되는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 옥외소화전의 압력손실이 토출부 직경과 내부 디스크 형상 구조에 따라서 달라질 수 있음을 의미하며, 식(5)와 같이 유량계수 C_d 와 지수상수 n 의 관계식을 사용하여 정량적인 분석을 수행하고자 한다⁽⁸⁻¹⁰⁾.

$$Q = C_d \times P_{Loss}^n \quad (5)$$

Figure 6은 옥외소화전의 유량계수를 구하기 위해서 토출부 직경 63.5 mm의 좌우 압력손실 평균값과 직경 114.3 mm의 압력손실 값을 식(5)와 같은 관계식에 의해서 곡선 적합한 결과로 본 연구에서 사용한 옥외소화전은 R-square 0.99 정도에서 유량계수 C_d 가 494.46 (L/min/kPa^{0.5})이고 지

Figure 6. Curve-fit results of loss of head with various mass flow rate.

수상수 n 은 0.56임을 실험적으로 구하였다. 특히, Figure 6의 결과에서 보듯이 토출부의 직경 63.5 mm와 114.3 mm인 경우 모두 동일한 유량계수와 지수상수를 갖고 있는 것을 확인할 수 있는데 이러한 이유는 식(4)에서 옥외소화전의 전체 압력손실 중 입·출구 직경 차이에 의한 부손실과 식(5)에서 배관 길이방향으로 주손실을 제외하였기 때문이며, 옥외소화전의 압력 손실은 내부 형상과 디스크 구조가 중요한 인자임을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 Figure 3의 시료를 모델링 하여 옥외소화전의 디스크 형상 변화가 압력손실에 미치는 영향을 수치해석 기법을 사용하여 분석하였다.

2.4 수치해석 결과

2.4.1 해석 결과 검증

Figure 7은 ANSYS ICEM-CFD V14.0⁽¹¹⁾을 사용하여 옥외소화전을 모델링한 형상을 보여주고 있다. 격자 독립성 테스트를 통해 약 70만 개의 격자 수를 선택하였으며, 난류 유동 해석을 위해서 표준 $k-\epsilon$ 난류 모델과 벽함수(wall function)를 적용하였다. 해석영역은 Figure 2에서 보듯이 옥외소화전을 포함하여 압력센서가 설치된 입·출구 배관부위에서 직경의 2배 이상인 공간까지로 정하였다. 경계조건으로 실험에서 측정된 유량 값을 기반으로 하여 배관 입구 직경을 고려한 유속 조건을 적용하였으며, 출구 부분에서는 Pressure-outlet 조건을 적용하였다. 소화전 벽면은 강체이며 벽면에서는 No-slip 조건을 사용하였다. SIMPLE algorithm을 활용한 유한체적법(FVM) 기반의 ANSYS FLUENT Ver.14.0을 사용하여 소화전 내부의 정상상태 유동해석을 수행하였으며, 수렴조건으로서 Residual

Figure 7. Modeling for test sample of the hydrant using ansys 14.0.

Figure 8. Comparison of experiment data with numerical results.

값은 10^{-3} 이하로 유지하였다. 각각의 해석 조건에 대한 해석 시간은 6 nodes-3.4 GHz CPU 시스템에서 약 30분이 소요되었다.

Figure 8은 옥외소화전의 토출부 배관 직경이 114.3 mm와 63.5 mm 각각의 경우 압력손실 해석 결과와 실험으로 구한 계산값을 비교한 결과로 유량범위 1,890 (500)~2,270 (600) L/min (gpm)에서 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 해석 모델의 경우 설계 도면을 바탕으로 유동장을 형성한데 비해서 실험 결과는 Figure 4에서 기술된 바와 같이 토출부 배관으로 빠져나가는 유량을 바이패스 하는 과정에서 공급유량의 차이가 발생하고 배관의 접합부를 연결하는 직경값과 주물을 형성하는 과정에서 오차가 발생하여 설계 도면과 정확히 일치하지 않기 때문에 해석결과와 차이가 발생한 것으로 사료된다. 하지만 오차범위 약 5% 내에서 전체 경향성이 동일한 것을 확인할 수 있다.

2.4.2 디스크 형상을 고려한 압력손실 해석결과

Figure 9는 옥외소화전의 디스크 밸브의 경사각도(θ)가 0° , 15° 그리고 45° 인 각각의 경우에 대해서 모델링한 형상과 압력손실 해석결과를 보여주고 있다. 경사각도의 크기와 상관없이 옥외소화전의 입구에서 유입된 유동이 디스크의 정면으로 부딪히고 상부의 개방면적으로 빠져나가면서 압력이 크게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 특히, Case 1, 2, 3에서 보듯이 디스크 경사 각도가 감소할수록 입구에서 유입된 유동이 디스크 정면에 부딪히기 때문에 압력손실이 크게 증가할 수 있지만, 출구로 향하는 높이(h_{upper})가 증가하여 개방 면적이 넓어지기 때문에 전체 압력손실이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 디스크를 둘러싸고 있는 몸체의 형상이 동일하기 때문에 경사각도가 증가함에 따라서 출구의 면적이 좁아져서 유속의 크기가 증가하게 되어 옥외소화전의 압력손실은 디스크 개방

Figure 9. Numerical analysis of inner pressure variation of hydrant.

Figure 10. Curve-fit results of pressure drop with various inclined angle of disk using numerical results.

면적이 더욱 중요한 인자로 사료된다.

Figure 10은 옥외소화전의 디스크 각도가 0°, 15° 그리고 45°인 각각의 경우에 대해서 Figure 4의 실험과 동일한 유량조건에 대해 압력손실을 해석한 결과이다. 해석결과를 기반으로 하여 식(5)에서 유량계수를 곡선 접합하여 구하였으며, 그 결과 유량계수는 0°, 15° 그리고 45°인 각각의 경우에 대해서 680.64, 612.48 그리고 511.21 (L/min/kPa^{0.5}) 이고 지수상수는 0.49~0.50 범위를 유지하여 경사각도에 비례하여 압력손실이 증가 하는 것을 확인할 수 있다. 즉,

디스크 각도가 작을수록 토출부로 향하는 유입면적을 결정해 주는 높이(h_{upper})가 증가하여 옥외소화전의 압력손실은 감소하게 된다. 특히, 디스크 형상 각도에 따라서 유량계수를 구하게 되면 실험조건인 유량의 크기가 변함에 따라서 식(5)를 사용하여 압력손실을 예측할 수 있으며, 본 연구의 결과는 옥외소화전의 설계를 위한 기초 자료로 활용이 가능할 것으로 사료된다.

3. 결 론

본 연구에서는 옥외소화전의 압력손실 시험방안을 분석하고 디스크 형상을 고려한 압력손실에 관한 연구를 수행하였다. 옥외소화전의 전체 압력손실은 속도편차, 옥외소화전 형상, 디스크 구조와 중력에 의해서 발생하며 본 연구에서는 국제 시험규격인 UL의 압력손실 시험방법을 적용하여 옥외소화전의 압력손실을 실험적으로 구하였다. 그 결과 본 연구에서 사용한 옥외소화전의 경우 유량계수는 494.46 (L/min/kPa^{0.5})이고 지수상수 n 은 0.56으로 토출부의 직경변화와 관계없이 유량계수와 지수상수가 동일한 것을 실험적으로 확인하였으며, 그 이유는 계산과정에서 입구 직경 크기 변화에 따른 속도 편차에 의한 부손실의 영향을 제외하였기 때문에 유량계수가 동일한 것으로 판단된다.

디스크 형상 변화가 옥외소화전의 압력손실에 미치는 영향을 분석하기 위해서 ANSYS FLUENT V14를 이용하여 유동해석을 실시하였으며, 압력손실 측정값과 해석결과를 비교하여 정확성을 확인하였다. 그 결과 유량범위

1,890 (500)~2,270 (600) L/min (gpm)의 경우를 제외하고 오차범위 약 5% 내에서 해석값이 일치하는 것을 확인하였으며, 내부 유동 변화에 따른 압력손실은 디스크 형상이 주요 인자임을 수치적으로 분석하였다.

해석결과와 정확성을 검증한 후 옥외소화전의 디스크의 경사 각도가 0° , 15° 그리고 45° 이고 각각에 대해서 디스크 개방높이(h_{upper})가 달라지는 경우에 대해서 옥외소화전을 모델링한 후 압력손실과 유량의 상관관계를 분석하였으며, 그 결과 유량계수는 680.64, 612.48 그리고 511.21 ($L/min/kPa^{0.5}$)이고 지수상수 n 은 0.49 ~0.50 범위임을 수치해석 모델을 사용하여 분석하였다. 특히, 디스크 경사 각도가 작을수록 입구에서 유입되는 유량이 밸브대에 부딪히면서 압력손실이 증가하지만 토출부로 향하는 유입면적을 결정해 주는 개방높이(h_{upper})의 크기가 증가하여 전체 압력손실이 작아지는 것을 확인하였으며, 본 연구에서 구한 유량계수는 옥외소화전의 설계를 위한 기초 자료로 활용이 가능할 것으로 사료된다.

References

1. NEMA, "Approval and Inspection Standard of Hydrant", 2012 - 58, Administrator at National Emergency Management Agency (2012).
2. S. H. Min and S. H. Jeong, "A Study on Improvement of Discharge Pressure Measurement of Indoor Fire Hydrant System", Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering, Vol. 26, No. 3, pp. 67-72 (2012).
3. J. S. Nam, C. S. Baek, J. B. Kim, et al., "A Comparative Study of the Performance for Hose Reel Hydrant System and Indoor Hydrant System", Proceedings of the Korea Institute of Fire Science and Engineering Conference, pp. 104-107 (2008).
4. K. C. Choi and S. H. Jeong, "A Study on the Status of Waterproof Pressure of Indoor Hydrant Proportioner by a Survey", Proceedings of the Korea Institute of Fire Science and Engineering Conference, pp. 255-263 (2009).
5. UL, "Hydrants for Fire-Protection Service", UL 246 8th (2011).
6. FM Global, "Approval Standard for Fire Hydrant(Dry Barrel Type) for Private Fire Service", Class Number 1510 (1990).
7. FM Global, "Approval Standard for Fire Hydrants(Wet Barrel Type) for Private Fire Service", Class Number 1511 (1990).
8. R. W. Fox and A. T. McDonald, "Introduction to Fluid Mechanics", 5th Edition, John Wiley & Sons Canada, Ltd (1998).
9. M. J. Lee, N. I. Kim and H. S. Ryou, "Air Tightness Measurement with Transient Methods using Sudden Expansion from a Compressed Chamber", Building and Environment, Vol. 46, pp. 1937-1945 (2011).
10. P. J. DiNenno, P. E. Craig and L. Beyler, "SFPE Handbook of Fire Protection Engineering", 4th Edition, the National Fire Protection Association (2008).
11. ANSYS Co., "ANSYS Ver.14.0" (2012).