

관창의 유동특성에 관한 연구 A Study on the Flow Characteristics of the Spray Nozzle

이 동 명[†]

Dong-Myung Lee[†]

경민대학 소방과학과
(2003. 7. 10. 접수/2003. 8. 14. 채택)

요 약

본 연구에서는 관창의 유동특성예측을 위한 해석이론을 정립하고 수치해석으로부터 방수량과 방수형태를 예측하였다. 예측 데이터로부터 관창의 방수형태가 노즐과 니들의 위치에 따라 결정됨을 알 수 있었고, 관창의 유동특성은 노즐과 니들의 형상에 따라 그 특성이 결정됨을 알 수 있었다. 관창의 유동특성과 예측 데이터로부터 화재진압의 효율성을 극대화할 수 있는 새로운 관창의 모델이 제시되었다. 본 연구의 결과가 새로운 모델의 관창을 개발하는데 필요한 자료로 활용할 수 있을 것으로 보며, 또한 관창의 원천기술 확보, 동종업계의 기술력 파급효과 증대 및 소방분야의 기술개발 활성화 등에 이바지하고자 한다.

ABSTRACT

This study established analysis theory for flow characteristics prediction of the spray nozzle and predicted discharge and discharge type of the spray nozzle from numerical analysis. It could know that discharge type of the spray nozzle from prediction data determine to position of nozzle and needle, and flow characteristics prediction of the spray nozzle could know that the characteristics according to shape of nozzle and needle is decided. New model of the spray nozzle that can maximize efficiency of fire suppression from flow characteristics and prediction data of the spray nozzle is presented. The result of this study utilize to data necessary to develop new model of the spray nozzle. Also the result of this study wish to contribute to resource technology security of the spray nozzle, technique ripple effect enlargement of same kind industry and technical development activation of fire protection field etc.

Keywords : Spray nozzle, Nozzle, Needle, Straight, Fog, Discharge

1. 서 론

일반적으로 관창은 소방대상물 내·외에 설치하는 옥내·외 소화전용과 포 소화발포용, 소방 자동차용 등으로 화재진압 시 가장 많이 사용되고 화재진압의 70% 이상을 담당하는 중요한 소방기구 중의 하나이다. 기존의 관창은 방수량의 조정과 직사·분무방수의 방수형태만이 조절토록 한 단순기능의 제품이지만, 수많은 화재현장을 보아서 알 수 있듯이 화재진압에 가장 공헌도가 큰 소방기구는 역시 관창이다.

관창은 펌프에서 수류를 노즐(nozzle)까지 정류하면서 속도를 증가시키는 소방기구이고, 노즐은 관창에 따라 정류된 수류를 더욱 증폭시켜 효과적으로 방출하여 그 도달거리를 크게 하는 역할을 하며, 방수압력에 의해 방수량을 변화시킬 수 있다.

특히 분무노즐형 관창은 직사방수와 분무방수가 가능하고, 이들 방수형태는 관창커버의 회전에 따라 이동하는 니들(needle)의 위치에 따라 이루어진다. 또한 분무노즐형은 화재 시 흡열에 따른 냉각소화효과가 뛰어나고, 옥내화재에서는 산소희석 또는 질식소화효과가 있으며, 복사열과 열기류로 인해 화점에 접근할 수 없는 경우 보호수막의 형성으로 화점의 접근이 용이하

[†] E-mail: dm2526@hanmail.net

고, 배연효과도 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.¹⁾ 이러한 장점으로부터 최근 관창은 분무노즐을 가장 많이 사용하고 있다.

하지만 국내 관창 제작사의 경우 독자적인 노하우나 기술력이 아주 미미한 상태로 거의 대부분 외국사의 제품을 모방하고 있거나, 비싼 로열티를 지불하고 제작하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 방수량의 조정과 직사와 분무방수의 방수형태를 갖는 가장 대표적인 분무노즐인 소방 자동차용 관창을 선정하고, 선정된 관창의 유동특성예측을 위한 해석이론과 수치해석으로부터 방수량과 방수형태를 예측하였으며, 예측 데이터로부터 새로운 관창개발의 모델을 제시하였다. 또한 새로운 모델의 관창을 제시함으로써 화재진압의 효율성을 높이고, 관창의 원천 기술 확보와 기술의 유연성 구축, 동종업계의 기술력 파급효과 증대 및 소방분야의 기술개발 활성화 등에 이바지하고자 한다.

2. 관창의 유동특성

2.1 유동해석이론

관창은 관창내부(노즐)의 니들위치에 따라 직사 또는 분무방수의 형태를 갖게 되고, 관창의 노즐과 니들 부분은 오리피스와 같은 역할을 하게 된다. 따라서 관창내의 소화용수 유동은 Fig. 1과 같이 파이프내의 오리피스와 같이 모델링할 수 있다.²⁾

Fig. 1과 같이 관창의 소화용수가 화점으로 방수될 때 소화용수의 유동특성을 해석하기 위한 비정상 점성 비압축성 2차원 유동의 지배방정식은 식 (1)~(3)과 같고, 식 (1)~(3)에서 ρ 는 유체의 밀도, t 는 시간, u, v 는 각각 x, y 방향의 속도성분, p 는 압력 그리고 v 는 동점성계수를 의미한다.

$$\text{연속방정식} : \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

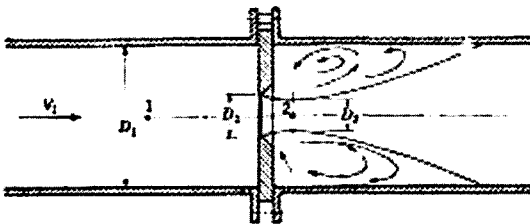


Fig. 1. Orifice model of the nozzle.

운동량방정식

x 방향 :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = v \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

y 방향 :

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = v \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

2.2 방수량

Fig. 1에서 관창입구와 출구의 압력을 p_1, p_2 관창입구의 직경을 D_1 , 오리피스의 직경을 D_0 , 관창입구의 유속을 V_1 그리고 비중량 γ 인 소화용수가 관창으로부터 방수될 때 방수되는 소화용수의 방수속도 V_2 는 호스와 관창 내에서 발생하는 마찰손실과 위치에너지의 차이를 무시하고 점 1과 단면 2의 축류부의 분류간의 관계를 베르누이 방정식으로부터 식 (4)와 같이 정의할 수 있다.^{2,3)}

$$V_2 = C_v \sqrt{\frac{2g(p_1 - p_2)/\gamma}{1 - C_c^2(D_0/D_1)^4}} \quad (4)$$

식 (4)에서 C_c 는 수축계수이고, C_v 는 속도계수를 의미하며, 관창으로부터 방수되는 소화용수의 이론 방수유량 Q 는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = C_d A_0 V_2 = C_d A_0 \sqrt{\frac{2g(p_1 - p_2)/\gamma}{1 - C_c^2(D_0/D_1)^4}} \quad (5)$$

소화용수의 방수유량은 파이프 내부의 저항이나 유동수축, 마찰에 의한 압력손실 등이 보정되어야 하며, 식 (5)에서 $C_d = C_c C_v$ 로서 보정계수 또는 유량계수가 된다.

2.3 방수거리

관창으로부터 소화용수가 화점을 향해 수평방향인 x 축 방향으로 방수될 때, 화점을 향한 관창의 경사각도를 θ , v_0 의 속도로 방수되는 t 초 후의 소화용수의 속도는 수평방향의 속도벡터 v_x 와 수직방향의 속도벡터 v_y 는 식 (6)과 같다.

$$v_x = v_0 \cos \theta, \quad v_y = v_0 \sin \theta - g \cdot t \quad (6)$$

t 초 후 소화용수가 도달하는 수평방향의 방수거리 x 와 수직방향의 방수거리 y 는 식 (7)과 같게 된다.

$$x = v_0 \cos \theta \cdot t, \quad y = v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (7)$$

식 (7)에서 $y = 0$ 일 때 x 값이 소화용수의 방수거리

S가 된다. 따라서 소화용수의 이론 방수거리 S는 식 (8)로 나타낼 수 있고, 식 (8)에서 방수되는 소화용수의 속도 v_0 는 식 (4)으로부터 구할 수 있다.

$$S = \frac{2v_0^2}{g} \sin\theta \cdot \cos\theta = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\theta \quad (8)$$

식 (8)은 물과 공기의 마찰저항을 무시하였으므로, 실제로는 마찰저항계수를 고려하여 계산해야 한다. 식 (8)에서 마찰저항계수인 항력계수 C를 고려하면 식 (9)와 나타낼 수 있다.^{2,3)}

$$S = C \frac{2v_0^2}{g} \sin\theta \cdot \cos\theta = C \frac{v_0^2}{g} \sin 2\theta \quad (9)$$

3. 관창의 유동해석 및 고찰

분무노즐형 관창은 일반적으로 걸통의 외부에 합성 고무로 제작된 관창커버를 겸하는 디플렉터(deflector)가 붙은 금속나사 링이 붙여져 있고, 분무방수는 관창커버의 고치(高齒)와 저치(低齒)를 번갈아 교체하면서 방사선 상에 설치한 디플렉터에 의해 항상 균일한 full-cone 방수를 할 수 있다. 관창의 방수형태는 노즐과 니들의 위치에 따라 결정되고, 관창의 유동특성은 노즐

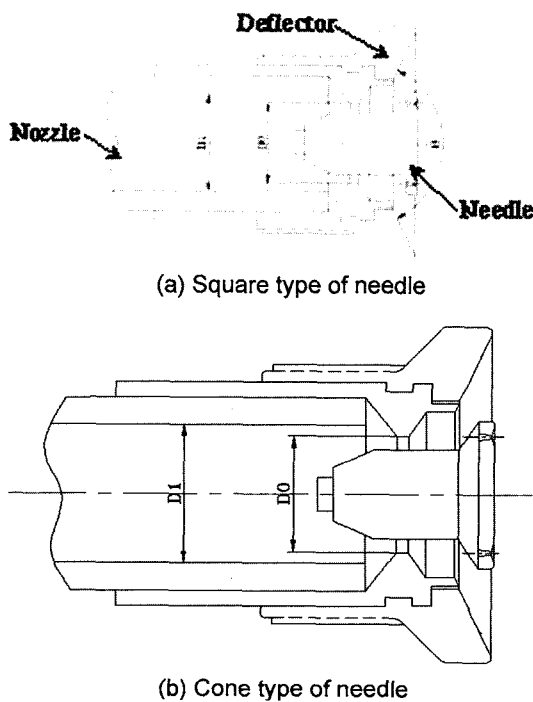


Fig. 2. Numerical analysis modelling of the nozzle.

Table 1. Analysis conditions of the nozzle

소화용수	물	니들직경(D _n)	0.023 m
비중량	1000 kgf/m ³	노즐 입구의 변화압력(p)	2~8 bar
노즐 입구의 직경(D ₁)	0.036 m	방사각도(θ)	128°
노즐 출구의 직경(D ₀)	0.030 m		

과 니들의 형상에 따라 그 특성이 결정되어진다.

따라서 관창설계에서 관창의 핵심부품인 노즐과 니들의 형상설계가 무엇보다 중요하다. 노즐과 니들의 형상설계에 앞서 관창의 유동특성을 확인하기 위해 유동해석으로부터 방수형태가 개선될 수 있도록 Fig. 2와 같이 니들의 형상을 직각과 원추형으로 모델링하였다.

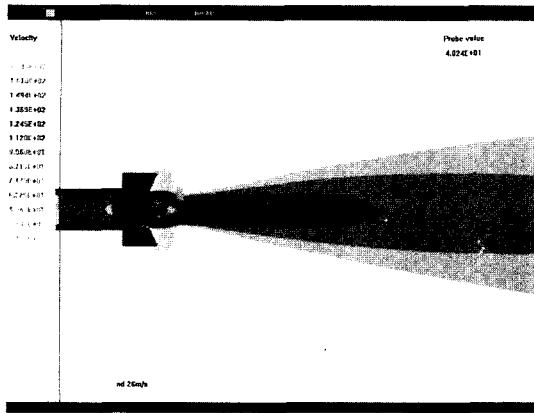
관창의 유동특성 해석을 위한 해석조건은 Table 1과 같고, 노즐입구의 직경(D₁)은 참고문헌 1에서 제시한 관창노즐의 방수량과 노즐압력에 대한 방수량 곡선으로부터 결정하였다. 그 밖의 설계조건은 NFPA, 관련규정 및 참고문헌^{4,7)}에 따라 Table 1과 같이 설정하였다.

관창의 유동특성은 Fig. 2에 모델링한 직각과 원추형상의 니들에 대해 노즐입구의 압력을 2~8 bar로 변화시키면서 범용 유체해석 code인 Phoenix⁸⁾를 이용하여 시뮬레이션하였고, 니들의 위치에 따라 결정되는 직사방수와 분무방수의 방수형태와 방수형태에 따른 관창출구의 속도분포 등을 살펴보았다.

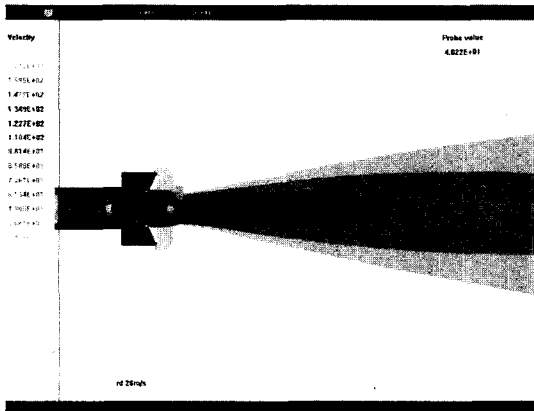
직사방수의 경우 관창입구의 압력을 2~8 bar로 변화시켰을 때 유동특성을 시뮬레이션하였고, 직각형상의 니들과 원추형상의 니들에 대한 노즐출구의 방수형태는 압력의 변화에 관계없이 같은 형상을 나타내기 때문에 본 논문에서는 관창입구의 압력이 3 bar인 경우만을 Fig. 3에 예시하였다.

Fig. 3에서 (a)는 직각형 니들에 대한 직사방수형태를 나타낸 것이고, (b)는 원추형 니들에 대한 직사방수형태를 나타낸 것이다.

직사방수인 경우 시뮬레이션 결과로부터 관창입구의 압력이 높아질수록 직각형이나 원추형 니들 모두 방수형태에는 큰 차이가 없지만 노즐출구의 유속이 빨라짐을 알 수 있었고, 직사방수의 형태는 노즐로부터 3 m 거리에서 약 30.5 cm 원형 내에서 정격 방수량 90%를 방수할 수 있음을 확인하였다. 그리고 방수형태를 보면 노즐커버에 의해 커버의 주변에만 분무방수의 형태를 보이고, 커버를 지난 분류는 곧 바로 직사방수의 형



(a) Square type of needle

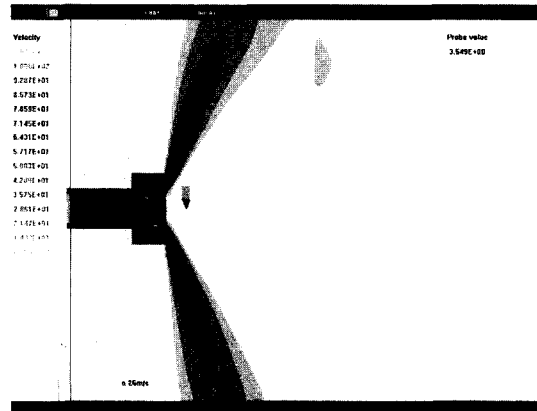


(b) Cone type of needle

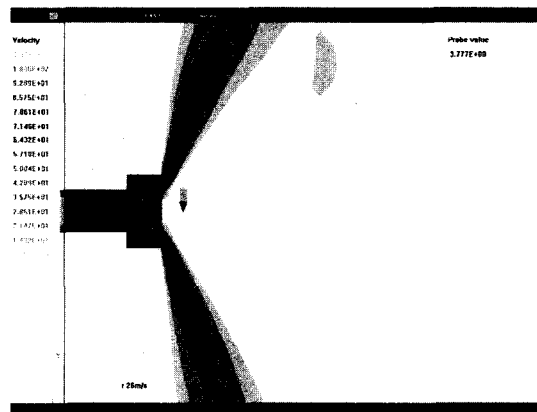
Fig. 3. Streamlines for straight discharge of the spray nozzle(For p=3 bar).

태를 나타내고 있다. 노즐입구압력이 같은 경우 직각형과 원추형 니들에 대한 유속은 약간의 차이를 보이지만 유동장의 유선형태가 같게 나타났고, 유동장은 노즐출구에서 방수되는 물의 직사방수상태를 잘 나타내고 있다. 분무방수와 비교해 볼 때 압력의 변화에 따라 니들의 전·후부에서 캐비테이션(cavitation)이 형성되었다. 이것은 유속이 증가함에 따라 일반적으로 압력손실이 커지기 때문이며, 다시 말하면 노즐의 유동면적이 니들부분에서 급격한 유동면적 축소 즉, 유동비의 감소로 인해 압력손실이 커졌기 때문인 것으로 판단되었다.

분무방수의 경우도 역시 관창입구의 압력을 2~8 bar로 변화시켰을 때 유동특성을 시뮬레이션하였고, 직각형상의 니들과 원추형상의 니들에 대한 노즐출구의 방수형태는 압력의 변화에 관계없이 같은 형상을 나타내



(a) Square type of needle



(b) Cone type of needle

Fig. 4. Streamlines for fog discharge of the spray nozzle (For p=3 bar).

기 때문에 본 논문에서는 관창입구의 압력이 3 bar인 경우만을 Fig. 4에 예시하였다.

Fig. 4에서 (a)는 직각형 니들에 대한 방수형태를 나타낸 것이고, (b)는 원추형 니들에 대한 방수형태를 나타낸 것이다.

분무방수인 경우 시뮬레이션 결과로부터 노즐입구압력이 높아질수록 직각형이나 원추형 니들 모두 직사방수와 마찬가지로 방수형태에는 큰 차이가 없지만 관창출구의 유속이 빨라짐을 알 수 있었고, 분상주수에서부터 방수되는 방수지름의 크기는 점차 커짐을 알 수 있었다. 분무방수의 방사각은 디플렉터의 내측각도(θ)에 따라 방사각을 제한시킬 수 있었고, 관창출구에서의 압력 역시 직사방수와 마찬가지로 대기 중으로 방출됨에 따라 관창입구의 압력이 변하더라도 대기압과 같은 크기를 나타냈다. 또한 관창입구의 압력이 같은

경우 직각형과 원추형 니들에 대한 유속과 유동장의 형태가 같게 나타났고, 유동장은 관창출구에서 방수되는 소화용수의 분무방수상태를 잘 나타내고 있다. 직사방수와 비교해 볼 때 분무방수인 경우에는 압력의 변화에 따른 유선형태의 변화로 인해 니들 후부에서만

캐비티가 형성되는 것을 볼 수 있다. 이것은 직사방수와는 달리 니들부분에서 분무에서 방수형태로 바뀌어 방수되었기 때문에 니들 후부에서만 캐비티가 형성되는 것으로 볼 수 있다.

Fig. 5와 6은 수치해석의 결과로부터 방수형태에 따라 직각니들과 원추니들에 대한 방수량을 나타낸 것이다. Fig. 5와 6에 나타낸바와 같이 두 니들의 방수량은 관창의 관련규정^{4,7)}에서 제시하는 압력 3 kgf/cm²일 때 방수량 380~400 LPM보다는 모두 1.5배 이상의 큰 값으로 나타났고, 이론 방수량과는 약 2% 범위 내의 오차로 두 니들 모두 관창의 새 모델로서 적용이 가능함을 나타내고 있다.

또한 직사방수와 분무방수의 방수량은 관창커버의 회전에 따라 이동하는 니들의 위치에 따라 이루어지기 때문에 Fig. 5의 직사방수가 Fig. 6의 분무방수보다 유량이 훨씬 많이짐을 알 수 있고, 반동력 또한 니들의 위치에 따라서 변화한다.

Fig. 7과 8은 수치해석의 결과로부터 방수형태에 따라 직각니들과 원추니들에 대한 방수거리를 나타낸 것이며, 방수거리 계산에 사용된 항력계수는 실험값²⁾인 0.5를 적용하였다. Fig. 7은 화점으로부터 관창의 경사각이 30°인 경우이고 Fig. 8은 화점으로부터 관창의 경사각이 45°인 경우이다.

Fig. 7과 8에 나타낸 바와 같이 두 니들의 방수거리는 관창의 관련규정^{4,7)}에서 제시하는 압력 6~7 kgf/cm²

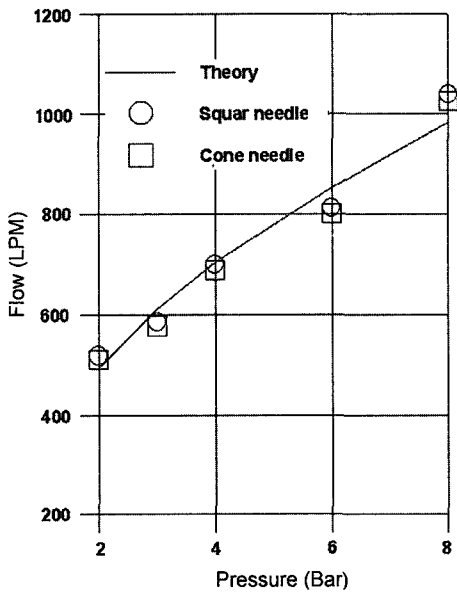


Fig. 5. Flow of straight waterproof.

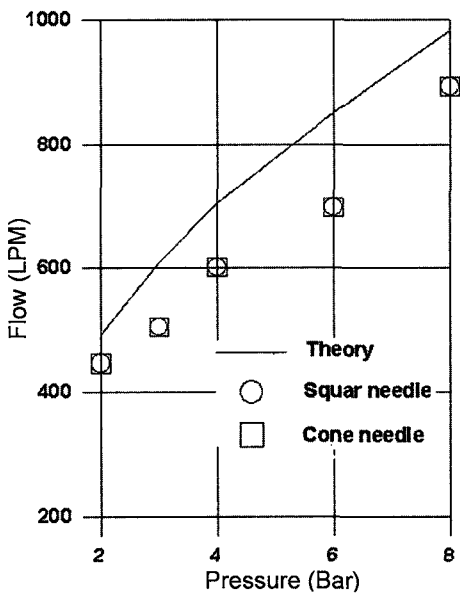


Fig. 6. Flow of fog waterproof.

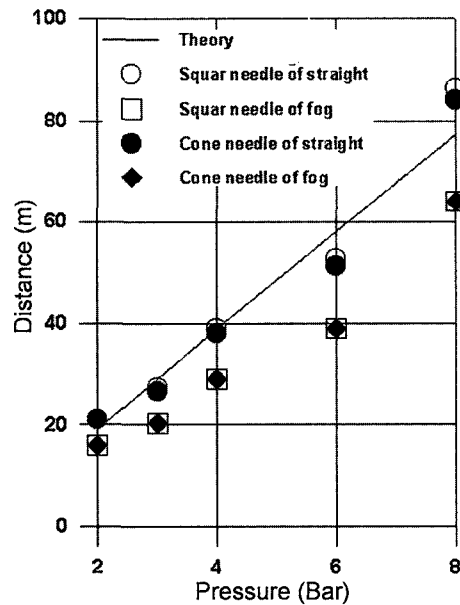


Fig. 7. Waterproof distance of spray nozzle(at sinθ=30°).

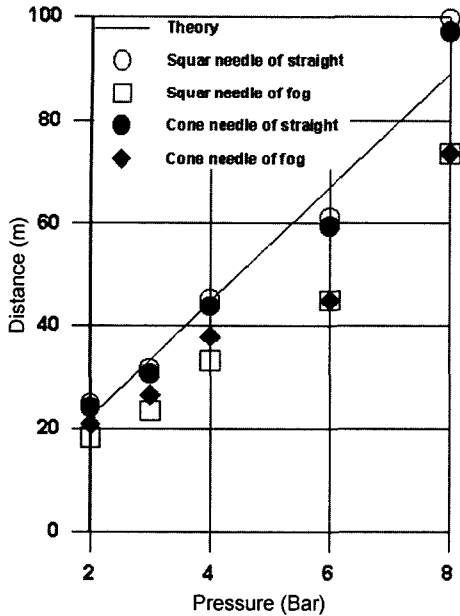


Fig. 8. Waterproof distance of spray nozzle(at $\sin\theta=45^\circ$).

일 때 방수거리 45 m보다는 모두 2배 이상의 큰 값으로 나타났고, 이론 방수거리와는 약 3~4% 범위 내의 오차로 두 니들 모두 관창의 새 모델로서 적용이 가능함을 나타내고 있다.

Fig. 7과 8을 비교해보면 관창으로부터 방수되는 분류를 최대한 멀리 보내려면 소방수는 화점을 향해 관창을 45° 각도로 방수해야함을 알 수 있다.

이상의 결과고찰로부터 유속과 방수량, 방수거리가 원추니들보다 직각니들이 다소 크게 나타났지만, 유동면적 축소에 따른 유동비의 감소로 인해 압력손실이 커져 캐비테이션이 발생함으로 캐비테이션이 작은 원추니들을 관창의 새 모델로서 적용하는 것이 바람직할 것이다.

4. 결 론

관창의 유동특성에측을 위한 해석이론의 정립과 수치해석으로부터 방수량과 방수형태를 예측하였으며, 예측 데이터로부터 관창의 방수형태가 노즐과 니들의 위치에 따라 결정됨을 알 수 있었고, 관창의 유동특성은 노즐과 니들의 형상에 따라 그 특성이 결정됨을 알 수 있었으며, 화재진압의 효율성을 극대화할 수 있는 새로운 관창개발의 모델을 제시하였다.

본 연구의 결과로부터 새로운 모델의 관창을 개발하는데 필요한 자료로 활용할 수 있을 것으로 보며, 또한 관창의 원천기술 확보, 동종업계의 기술력 파급효과 증대 및 소방분야의 기술개발 활성화 등에 이바지할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 東京消防機器研究會, 消防機器便覽, pp.4081-4163(昭和51).
2. D. F. Young, B. R. Munson, and T. H. Okiishi, Fundamentals fo Fluid Mechanics, Wiley, pp.464-471(2001).
3. Victor L. Streeter, E. Benjamin Wylie, Fluid Mechanics, McGraw-Hill, 2nd, pp.89-167(1992).
4. NFPA 1964, "Standard for spray nozzles (shut-off and tip)"(1993).
5. KS 규격, KS B6604, "노즐(소화호스용)" (1988).
6. 한국검정공사, "관창의 형식승인 및 검정기술기준", KOFEIS 0702.
7. 이동명, 김엽래, 박승욱, "레이저를 이용한 화재진압용 관창개발에 관한 연구", 2003년 한국화재·소방학회 춘계학술논문발표회 논문집, pp.157-163(2003).
8. Phoenix Co., Ltd., Phoenix Manual(2000).