

B-01

소방 자동차용 관창의 분무특성에 관한 연구

이동명, 김엽래, 박승옥*
경민대학 소방과학과, *(주)육송

A Study on the Spray Characteristics of Nozzle for Fire Engine

Lee D. M., Kim Y. R., Park S. O.
Kyungmin College, *Yooksong Co. Ltd.

1. 서론

화재진압 시 가장 많이 사용되고 화재진압의 70% 이상을 담당하는 소방 자동차용 관창은 방수량의 조정과 직(直)·방사(放射)형태의 분무형태만이 조절토록 한 단순기능의 제품이지만, 수많은 화재현장을 보아서 알 수 있듯이 화재진압에 가장 공헌도가 큰 소방기구 중의 하나이다. 일반적으로 관창은 펌프에서 수류(水流)를 노즐까지 정류(整流)하면서 속도를 증가시키기 위한 소방기구이고, 노즐은 관창에 따라 정류된 수류를 더욱 증폭하고 효과적으로 방출하여 그 도달거리를 크게 하는 기구로서 방수압력에 의해 분무량이 변할 수 있도록 돼있다.

소방자동차용 관창은 전면 스프레이형 분무노즐로서 곁통의 외부에 합성고무로 제작된 노즐커버(nozzle cover)를 겸하는 디플렉터가 붙은 금속나사 링이 붙여져 있고, 방사분무는 노즐커버의 고치(高齒)와 저치(低齒)을 번갈아 교체하면서 방사선상에 설치한 디플렉터에 의해 항상 균일한 full-cone 방수를 할 수 있다.

분무노즐형 관창은 직사분무와 방사분무가 가능하고, 이들 분무형태는 관창커버(deflector)의 회전에 따라 이동하는 니들(needle)의 위치에 의해 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 용이하고, 배연효과도 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 소방자동차용 관창의 분무특성(분무량과 분무거리, 분무형태)을 수치해석으로 시뮬레이션하고, 그 결과 데이터로부터 새로운 모델의 개발에 활용함으로써 관창의 원천기술 확보와 기술의 유연성 구축, 동종업계의 기술력 파급효과 증대 및 소방분야의 기술개발 활성화 등에 이바지하고자 한다.

2. 분무특성 이론

2.1 분무유량

소방자동차용 관창의 분무부분은 Fig. 1과 같고, 관창의 분무특성은 관창내부의 니들의 위치에 따라 결정되므로 관창의 노즐부분은 Fig. 1과 같이 오리피스로 모델링 할 수 있다.

관창입구와 출구의 압력 p_1, p_2 , 관창입구의 직경 D_1 , 오리피스의 직경 D_0 , 관창입구의 유속 V_1 그리고 비중량 γ 인 소화수가 관창으로부터 방사될 때 방사되는 소화수의 방사 속도 V_2 는 호스와 관창 내에서 발생하는 마찰손실과 위치에너지의 차이를 무시하고 점 1과 단면 2의 축류부의 분류간의 관계를 베르누이 방정식으로부터 식(1)과 같이 정의할 수 있다.

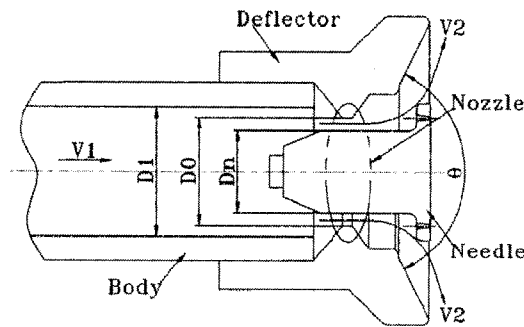


Fig. 1. Orifice model of the spray nozzle

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

식(1)에서 C_c 는 수축계수이고, C_v 는 속도계수를 의미하며, 관창으로부터 분무되는 소화수의 이론 분무유량 Q 는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

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

소화수의 분무유량은 파이프 내부의 저항이나 유동수축, 마찰에 의한 압력손실 등이 보정되어야 하며, 식(4)에서 $C_d = C_c C_v$ 로서 보정계수 또는 분무계수라 한다.

2 분무거리

r축 방향과 θ 의 각도로 속도 v_0 로 분무된 소화수를 t 초 후 수평방향의 속도를 v_x 수

직방향의 속도를 v_y 라 하고, 물과 공기의 마찰저항계수인 항력계수를 C 라고 하면 분무 거리는 식(3)과 같다.

$$S = C \frac{2v_0^2}{g} \sin \theta \cdot \cos \theta = C \frac{v_0^2}{g} \sin 2\theta \quad (3)$$

2.3 관창출구의 분무유동

관창으로부터 소화용수가 화점으로 분무될 때 관창출구의 분무유동은 비정상 점성 비압축성의 2차원으로 간략화 하였다. 분무유동의 지배방정식은 식(4)~(6)와 같고, 식(4)~(6)에서 ρ 는 유체의 밀도, t 는 시간, u, v 는 각각 x, y 방향의 속도성분이고, p 는 압력, ν 는 동점성계수를 의미한다.

$$\text{연속방정식 : } \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

운동량방정식

$$x \text{ 방향 : } \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (5)$$

$$y \text{ 방향 : } \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (6)$$

3. 분무특성 시뮬레이션 및 고찰

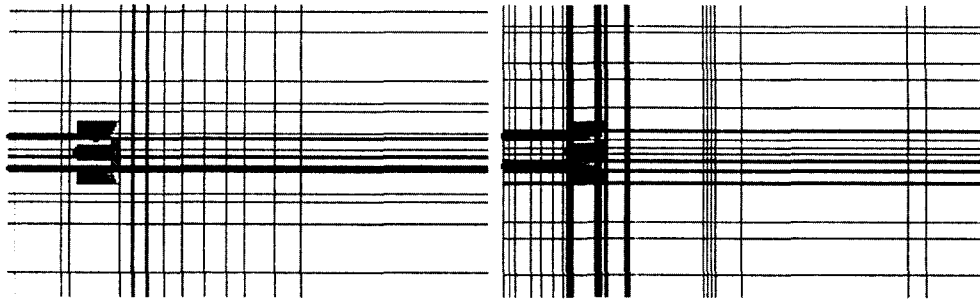
소방자동차용 관창의 분무형태는 관창커버의 회전에 따라 이동하는 니들의 위치에 의해 이루어지고, 그 밖의 분무특성 또한 노즐과 니들의 형상에 따라 결정된다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 관창의 니들형상을 직각형과 원추형으로 모델링하고, 분무특성을 시뮬레이션 하였다. 분무특성의 수치해석을 위한 해석조건은 다음과 같다.

Table 1. Analysis conditions of the nozzle

| 사 용 유 체 | 물 |
|----------------|------------------------|
| 비 중 량 | 1000kgf/m ³ |
| 노즐 입구의 직경 (D1) | 0.036m |
| 노즐 출구의 직경 (D0) | 0.030m |
| 니 들 의 직 경 (Dn) | 0.023m |
| 노즐 입구의 압력 (p) | 2~8bar |
| 관창커버의 각도 (θ) | 130° |

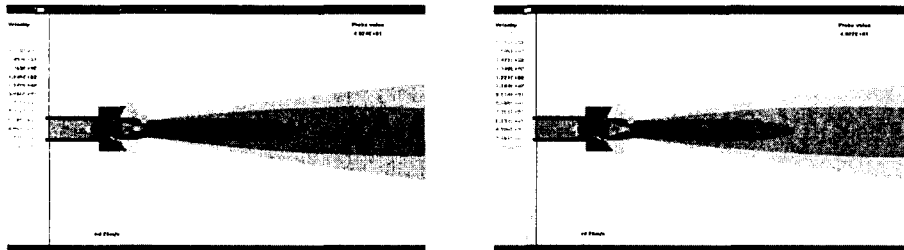
식(4)~(6)의 분무유동 지배방정식으로부터 관창출구에서의 분무특성은 범용 유체해석 코드인 PHOENICS를 이용하였다. Fig. 2는 관창의 분무특성을 해석하기 위해 사용된 격자

의 형태를 나타낸 것이며, Fig. 2에 나타낸 바와 같이 노즐출구와 노즐출구의 중심에서는 격자간격을 조밀하게 하여 분무 소화수의 유동장 변화를 좀 더 세밀하게 검토하였다.

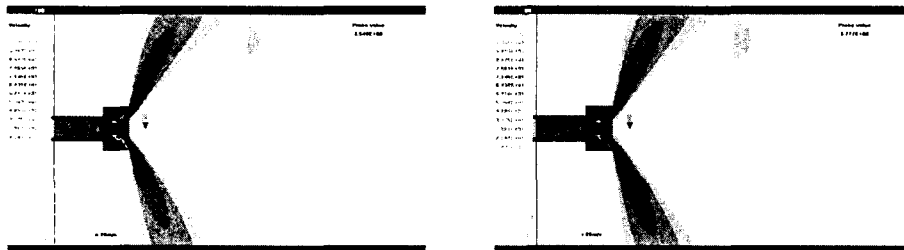


(a) Square type of needle (b) Cone type of needle
Fig. 2. Computational mesh for calculation for flows around of nozzle

Fig. 3은 니들의 형상에 따른 직사분무형태를 나타낸 것이고, fig.4는 방사분무형태를 나타낸 것이다.



(a) Square type of needle (b) Cone type of needle
Fig. 3. Streamlines for straight discharge of the spray nozzle (For $p=3\text{bar}$)



(a) Square type of needle (b) Cone type of needle
Fig. 4. Streamlines for fog discharge of the spray nozzle (For $p=3\text{bar}$)

직사분무인 경우 시뮬레이션 결과로부터 관창입구의 압력이 높아질수록 직각형이나 원추형 니들 모두 분무형태에는 큰 차이가 없지만 노즐출구의 유속이 빨라짐을 알 수 있었고, 직사분무의 형태는 노즐로부터 3m 거리에서 약 30.5cm 원형 내에서 정격 분무량 90%를 분무할 수 있음을 확인하였다. 그리고 분무형태를 보면 노즐커버에 의해 커버의 주변에만 방사분무의 형태를 보이고, 커버를 지난 분류는 곧 바로 직사분무의 형태를 나타내

고 있다. 노즐입구압력이 같은 경우 직각형과 원추형 니들에 대한 유속은 약간의 차이를 보이지만 유동장의 유선형태가 같게 나타났고, 유동장은 노즐출구에서 분무되는 물의 직사분무상태를 잘 나타내고 있다. 방사분무와 비교해 볼 때 압력의 변화에 따라 니들의 전·후부에서 캐비테이션이 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.

방사분무인 경우 시뮬레이션 결과로부터 노즐입구압력이 높아질수록 직각형이나 원추형 니들 모두 직사분무와 마찬가지로 분무형태에는 큰 차이가 없지만 관창출구의 유속이 빨라짐을 알 수 있었고, 봉상주수에서부터 분무되는 분무지름의 크기는 점차 커짐을 알 수 있었다. 방사분무의 방사각은 디플렉터의 내측각도(θ)에 따라 방사각을 제한시킬 수 있었고, 관창출구에서의 압력 역시 직사분무와 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 분무되는 소화용수의 방사분무상태를 잘 나타내고 있다. 직사분무와 비교해 볼 때 방사분무인 경우에는 압력의 변화에 따른 유선형태의 변화로 인해 니들 후부에서만 캐비티가 형성되는 것을 볼 수 있다. 이것은 직사분무와는 달리 니들부분에서 분방사형태로 바뀌어 분무되었기 때문에 니들 후부에서만 캐비티가 형성되는 것으로 볼 수 있다. 직사나 방사분무의 경우 일반 오리피스와 같이 하류 쪽으로 분류의 수축이 발생하였다.

Fig. 5와 6은 수치해석의 결과로부터 분무형태에 따라 직각니들과 원추니들에 대한 방수량을 나타낸 것으로 직사와 방사분무의 방수량은 관창커버의 회전에 따라 이동하는 니들의 위치에 따라 이루어지기 때문에 Fig. 5의 직사분무가 Fig. 6의 방사분무보다 유량이 훨씬 많아짐을 알 수 있고, 반동력 또한 니들의 위치에 따라서 변화한다.

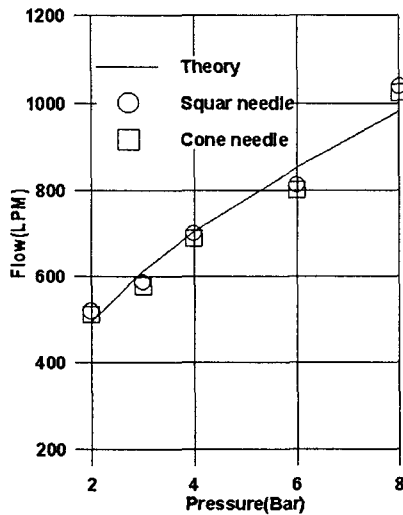


Fig. 5. Flow of straight waterproof

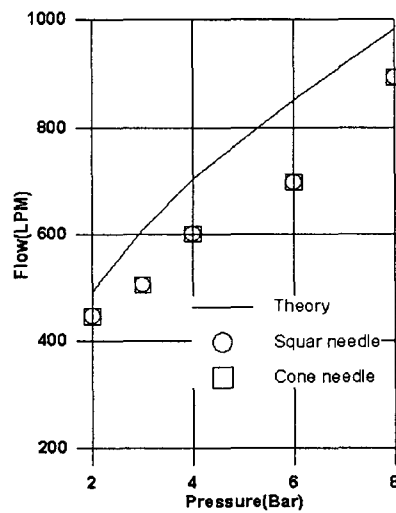


Fig. 6. Flow of fog waterproof

Fig. 7과 8은 수치해석의 결과로부터 분무형태에 따라 직각니들과 원추니들에 대한 방수거리를 나타낸 것이고, 방수거리 계산에서 항력계수는 실험값인 0.5를 적용하였다. Fig. 7은 화점으로부터 관창의 경사각이 30°인 경우이고 Fig. 8은 화점으로부터 관창의 경사각이 45°인 경우이다. Fig. 7과 8에 나타낸바와 같이 두 니들의 방수거리는 관창의 관련규정에서 제시하는 압력 6~7kgf/cm²일 때 방수거리 45m보다는 모두 2배 이상의 큰 값으로 나타났다.

두 니들 모두 분무량은 관창의 관련규정에서 제시하는 압력 3kgf/cm²일 때의 분무량 380~400LPM보다는 모두 1.5배 이상의 큰 값으로 나타났고, 이론 방수량과는 약 2% 범위 내의 오차를 나타냈으며, 분무거리 또한 이론 분무거리와 약 3~4% 범위 내의 오차로 나타냄으로서 만족스러운 결과를 얻었다.

이상의 결과고찰로부터 유속과 분무량, 분무거리가 원추니들보다 직각니들이 다소 크게 나타났지만, 유동면적 축소에 따른 유동비의 감소로 인해 압력손실이 커져 캐비테이션이 발생함으로 캐비테이션이 작은 원추니들을 관창의 새 모델로서 추천한다.

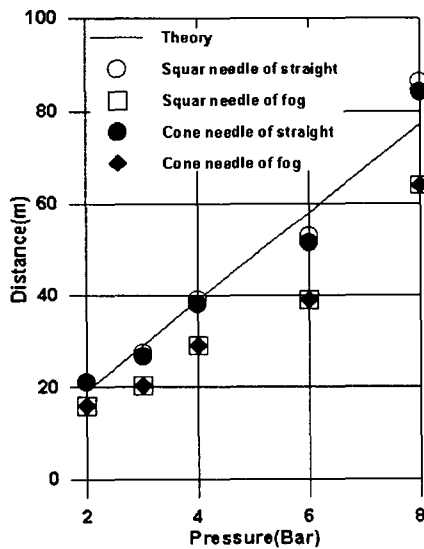


Fig. 7. Waterproof distance of spray nozzle(at sinθ=30°)

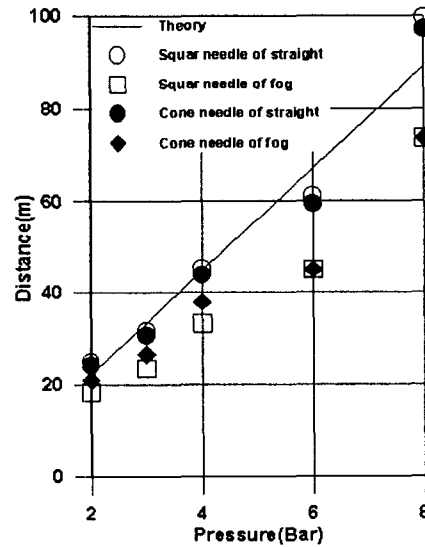


Fig. 8. Waterproof distance of spray nozzle(at sinθ=45°)

4. 결론

관창의 분무특성을 고찰하기 위해 해석이론을 정립하고 수치해석으로부터 분무량과 분무거리, 분무형태를 시뮬레이션하였다. 결과 데이터로부터 관창의 분무형태가 노즐과 니들의 위치에 따라 결정됨을 알 수 있었고, 관창의 유동특성은 노즐과 니들의 형상에 따라 그 특성이 결정됨을 알 수 있었다.

본 연구의 결과로부터 새로운 모델의 관창을 개발하는데 엔지니어링 데이터로 활용할 수 있을 것으로 보며, 또한 관창의 원천기술 확보, 동종업체의 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. 이동명, 김엽래, 박승욱, "레이저를 이용한 화재진압용 관창개발에 관한 연구", 2003년 한국화재·소방학회 추계학술논문발표회 논문집, pp. 157-163(2003).
6. Phoenix Co., Ltd., Phoenix Manual(2000).

본 연구는 2002년 “경기지방 중기청 산·학·연 컨소시엄 공동기술 개발사업”으로 이루어진 것이며, 이에 감사드립니다.