

레이저를 이용한 화재진압용 관창개발에 관한 연구

이동명, 김엽래, 박승옥*
 경민대학 소방과학과, *(주)육송

A Study on the Development of Spray Nozzle
 for Fire Suppression Used Laser

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

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 직(直)·방사(放射)형태의 분사형태만이 조절토록 한 단순기능의 제품이지만, 수많은 화재현장을 보아서 알 수 있듯이 화재진압에 가장 공헌도가 큰 소방기구는 역시 관창이다.

건물내부의 화재나 야간 화재시 연기와 조명시설의 차단으로 인한 어두움으로 화재 주변을 식별하기가 매우 어렵다. 따라서 화재진압을 위한 관창 사용자는 시야가 좁아지고 판단이 흐려지게 되어 오인방수를 할 수 있으며, 이러한 오인방수로 인한 인명과 재산피해를 더욱 가중시킬 수도 있다. 화재주변의 식별과 판단을 위해 현재 소방헬멧에 플래시를 붙여 사용하고 있으나 소방헬멧에 부착된 플래시는 투시거리(최고 5~10M)가 짧고 화점을 향해 소화수를 분사할 때 그 방향으로 정확하게 조준하기 어려우며 연기를 투시할 수가 없어 구조·구급자나 장애물의 식별에 상당한 어려움이 있다. 아울러 기존 관창은 방수량과 분사형태만 조절하는 기능이 너무 단순하고 국내 제작사의 경우 독자적인 노하우나 기술력이 아주 미미한 상태로 거의 대부분 외국사의 제품을 모방하고 있고, 비싼 로열티를 지불하고 제작하고 있거나 수입·판매하고는 실정이다.

본 연구에서는 분사패턴을 향상시켜 화재진압의 효율성을 높이고, 레이저를 이용하여 조명기능과 연기투시기능을 부가시킴으로써 어두운 건물내부나 화재의 연기로부터 주변의 장애물 또는 구조·구급자를 정확하게 식별/판단토록 하여 화재진압을 극대화 할 수 있는 최첨단 화재진압용 관창을 개발함으로써, 관창의 원천기술 확보와 기술의 유연성 구축, 동종업계의 기술력 파급효과 증대, 소방분야의 기술개발 활성화 등에 이바지할 것으로 사료된다.

2. 레이저를 이용한 관창설계

2.1 설계조건

레이저를 이용한 화재진압용 관창은 관창부와 레이저 발생 장치부로 나누고, 관창은

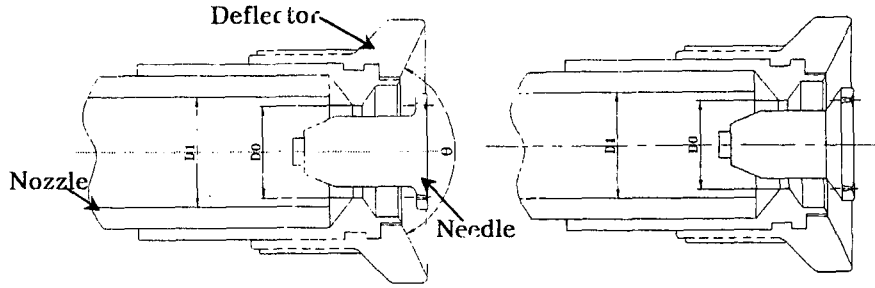
분사패턴을 향상시켜 화재진압의 효율성을 높이고 레이저 발생장치는 조명과 연기투시기능을 갖도록 하였다. 관창은 소방 자동차용 관창을 선정하고 방수량의 조정과 직·방사형태의 분사형태를 개선하고 조명기능과 연기투시기능을 갖춘 관창을 개발하기 위해 NFPA 1964, KS B6604 등의 관련법규 및 규격 등의 엔지니어링 데이터^{1,2,3,4)}와 기존 제품을 바탕으로 설계조건을 표 1과 같이 설정하였다.

Table 1 개발관창의 설계조건

항 목		설 계 기 준	
관	용도/규격	소방 자동차용/40A	
	분사형태/노즐	직·방사형태/전면 스프레이형	
	방 수 량	380~400LPM(압력 3kgf/cm ²)	
	방사거리	45M(6~7kgf/cm ²)	
창	분사형태	직사(直射)	노즐로부터 3m 거리에서 30.5cm 원형 내에서 정격 방수량 90%를 방수 할 수 있도록 응집력 있는 분사
		방사(放射)	방사각도 120°~140°
	유량조절	可	
레이저	발 광 원	반도체 레이저	
	충 전 기	충전용 Battery(3~5V)	
	조명/연기투시기능	有	
	투 시 거 리	50M 이상	
	레이저 등급	Class 2(5mW 이하)	

2.2 관창의 분무특성 및 고찰

관창의 분무특성은 노즐과 니들의 형상에 따라 그 특성이 결정되므로 노즐과 니들의 형상설계가 무엇보다 중요하다. 따라서 노즐과 니들의 형상설계에 앞서 관창의 분무특성을 확인하기 위해 유동해석으로부터 분무형태가 개선될 수 있도록 그림 1과 같이 니들의 형상을 직각과 원추형으로 모델링하였다.



(a) Square type of needle		(b) Cone type of needle	
사 용 유 체	물	니 들 의 직 경 (D _n)	0.023 m
비 중 량	1000kgf/m ³	노즐 입구의 압력 (p)	2~8bar
노즐 입구의 직경 (D ₁)	0.036m	방 사 각 도 (θ)	128°
노즐 출구의 직경 (D ₀)	0.030m		

Fig. 1 Numerical Analysis Modelling and analysis conditions of the nozzle

관창의 분무특성(유동특성)을 위한 비정상 점성 비압축성 2차원 유동의 지배방정식은 식(1)~(3)과 같다. 식(1)~(3)에서 ρ 는 유체의 밀도, t 는 시간, u, v 는 각각 x, y 방향의 속도성분, p 는 압력 그리고 ν 는 동점성계수를 의미한다.

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

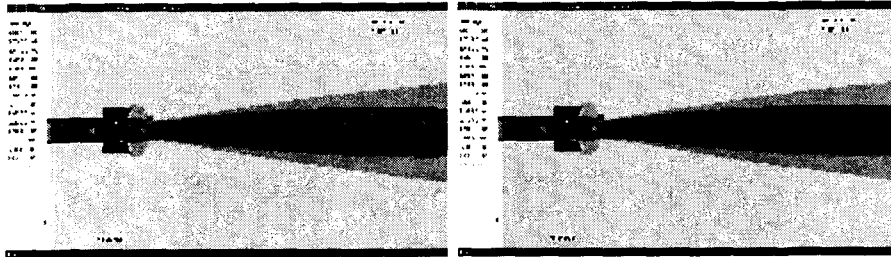
운동량방정식

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

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

분사형태가 니들의 위치에 따라 결정되는 직사분무와 방사분무인 경우에 대하여 노즐입구에서의 압력을 2~8bar로 변화시키면서 관창출구의 속도분포와 속도벡터에 의한 직·방사의 유동장(분사형태 및 속도분포)을 살펴보았다. 관창의 유동특성 해석을 위한 해석조건은 다음과 같고, 유동특성은 범용 유체해석 code인 PHOENICS를 이용하였다⁵⁾.

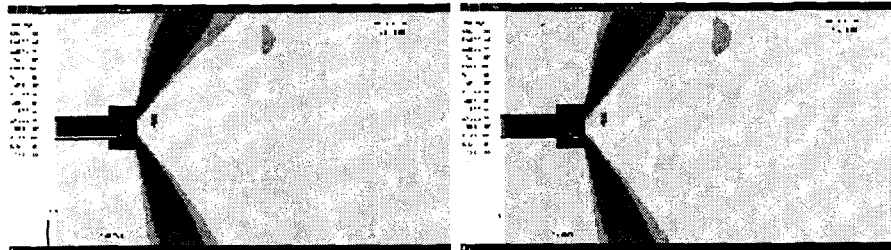
직사분무의 경우 노즐입구의 압력을 2~8bar로 변화시켰을 때 직각형상의 니들과 원추형상의 니들에 대한 노즐출구의 유동장을 시뮬레이션하였고, 본 논문에는 노즐입구의 압력이 3bar인 경우만을 그림 2에 나타냈다.



(a) Square type of needle (b) Cone type of needle
 Fig. 2 Streamlines for straight spray of nozzle(For $p=3\text{bar}$)

직사분무의 경우 시뮬레이션 결과로부터 노즐입구압력이 높아질수록 직각형상이나 원추형상의 니들 모두 유선형태에는 큰 차이가 없지만 노즐출구의 유속이 빨라짐을 알 수 있었고, 직사분무의 형태는 노즐로부터 3m 거리에서 30.5cm 원형 내에서 정격방수량 90%를 방수할 수 있음을 확인하였다. 그리고 분무형태를 보면 캡에 의해 캡의 주변에만 방사분무의 형태를 보이고, 캡을 지난 분류는 곧 바로 직사분무의 형태를 나타내고 있다. 노즐입구압력이 같은 경우 직각형상과 원추형상의 니들에 대한 유속은 약간의 차이를 보이지만 유동장의 유선의 형태가 같게 나타났고, 유동장은 노즐출구에서 방사되는 물의 직사분무상태를 잘 나타내고 있다. 방사분무와 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 판명되었다.

방사분무의 경우 노즐입구의 압력을 2~8bar로 변화시켰을 때 직각형상의 니들과 원추형상의 니들에 대한 노즐출구의 유동장(속도분포)을 시뮬레이션하였고, 본 논문에는 노즐입구의 압력이 3bar인 경우만을 그림 3에 나타냈다.



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

방사분무의 경우 시뮬레이션 결과로부터 노즐입구압력이 높아질수록 직각형상이나 원추형상의 니들 모두 직사분무와 마찬가지로 유선형태에는 큰 차이가 없지만 노즐출구의 유속이 빨라짐을 알 수 있었고, 방사분무에서부터 방사되는 방사지름의 크기는 점차 커짐을 알 수 있었다. 방사분무의 방사각은 디플렉터의 내측각도(128°)에 따라 방사각을 제한시킬 수 있었다. 노즐출구에서의 압력 역시 직사분무와 마찬가지로 대기 증으로 방출됨에 따라 노즐입구압력이 변하더라도 대기압과 같은 크기를 나타냈다. 또한 노즐입구압력이 같은 경우 직각형상과 원추형상의 니들에 대한 유속과 유동장의 유선의 형태가 같게 나타났고, 유동장은 노즐출구에서 방사되는 물의 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 니

들부분에서 분무형태가 방사형태로 바뀌어 분사되었기 때문에 니들 후부에서만 캐비티가 형성된 것으로 판단된다.

표 2는 분무형태에 따라 직각니들과 원추니들의 유량을 계산한 것이며, 표 3의 설계 조건에서 제시한 압력 3kgf/cm²에서 방수량 380~400LPM보다 직각니들과 원추니들 모두 약 1.5배 큼으로 두 니들 모두 관창설계에 적용가능하다.

Table 2 관창노즐의 출구 방수량

압 력 (Bar)	이 론 값 방수량 Q(ℓ/min)	수 치 해 석 결 과			
		방 수 량 Q (ℓ/min)			
		직각니들		원추니들	
		직 사	방 사	직 사	방 사
2	493	518.0	447.0	510.0	447.0
3	611	585.0	505.0	577.0	505.0
4	705	699.0	601.4	688.4	601.4
6	851	812.0	698.0	801.1	698.0
8	982	1038.4	892.8	1024.3	892.8

표 3은 분무형태에 따라 직각니들과 원추니들의 방사거리를 계산한 것이고, 표에 나타난 바와 같이 관창으로부터 방사되는 분류를 최대한 멀리 보내려면 소방수는 화원을 향해 관창을 45° 각도로 분사해야 한다. 표 3의 설계조건에서 제시한 압력 6~7kgf/cm² 범위에서 방수거리 45m보다 직각니들과 원추니들 모두 약 2배 정도 큼으로 두 니들 모두 관창설계에 적용가능하다.

하지만 이상의 결과들로부터 유속과 방수량, 방사거리가 원추니들보다 직각니들이 다소 크지만, 유동면적 축소에 따른 유동비의 감소로 인해 압력손실이 커져 캐비테이션이 발생함으로 캐비테이션이 작은 원추니들을 관창설계에 적용하는 것이 바람직할 것이다.

Table 3 관창노즐의 방사거리

압 력 (Bar)	이 론 값		수 치 해 석 결 과							
	방사거리 S(m)		방 사 거 리 S (m)							
	30°	45°	직각니들				원추니들			
			30°		45°		30°		45°	
			직사	방사	직사	방사	직사	방사	직사	방사
2	19.0	22.5	21.0	16.0	24.8	18.4	21.0	16.0	24.1	21.0
3	28.0	33.4	27.4	20.4	31.6	23.5	26.6	20.4	30.7	26.6
4	39.0	45.0	39.1	29.0	45.1	33.3	38.0	29.0	43.8	38.0
6	58.0	67.0	52.8	39.0	61.0	45.0	51.4	39.0	59.3	45.0
8	77.2	89.1	86.3	64.0	99.6	73.6	84.0	64.0	97.0	73.6

2.3 레이저 장치

화재진압용 관창에 부착할 레이저 장치는 표 3의 설계조건에 의해 개발하고 개발된 레이저 장치의 성능은 다음과 같고, 광학출력을 일정하게 유지시키기 위하여 안정화 회로를 사용하였다.

■ 레이저 장치의 성능 및 특성

레이저의 종류	반도체 레이저	레이저 발진 파장	650nm
Optical out-put power	~3mW (Max 5mW)	투시거리	300m(조명 및 연기 투시기능)
Beam divergence	최소 1mrad(조절가능)	작동온도	-25℃ ~ +60℃
레이저 빔의 형태	<ul style="list-style-type: none"> • 빔 패턴 : Y자형 • 빔 크기 : Φ~200mm 	사용 전원 및 연속 사용가능시간	<ul style="list-style-type: none"> • DC 3~5V • 2~3시간(충전가능)

3. 레이저를 이용한 관창 prototype 제작

레이저를 이용한 화재진압용 관창의 prototype은 표1의 설계조건과 관창 및 레이저 장치의 설계데이터로부터 그림 4와 같이 제작하였다.

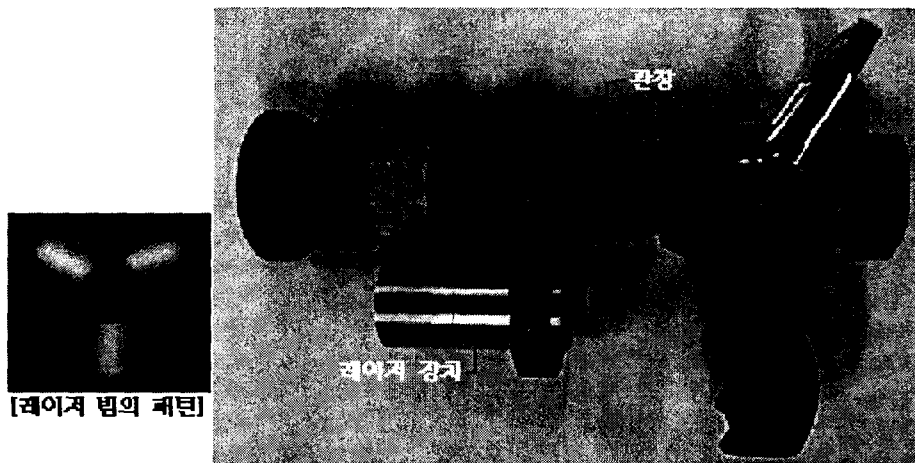


Fig.4 레이저를 이용한 화재진압용 관창의 prototype

4. 결론

관창과 레이저 발생장치의 이론 및 메커니즘을 정립하고, 설계 및 엔지니어링 데이터를 마련하였으며, 이를 바탕으로 『레이저를 이용한 화재진압용 관창』의 prototype을 제작하였다. 개발된 관창은 기존 관창과는 달리 다음과 같은 특성을 갖는다.

- 1) 관창에 레이저빔 장치를 부가함으로써 관창과 조명기능, 연기투시기능을 동시에 발휘할 수 있도록 설계·제작된 최첨단 소화장비이며, 이들 기능으로부터 화재진압을 극대화할 수 있다.
- 2) 분사형태를 개선하고 조명과 연기투시기능을 갖춤으로써 화재진압은 물론 장애물과 구조·구급자를 쉽게 판단할 수 있어 사용자의 오인방수로 인한 인명 및 재산피해를 최소화할 수 있다.
- 3) 2등급의 레이저를 이용함으로써 레이저로 인한 인명피해가 전혀 없다.
- 4) 충전용 배터리를 사용함으로써 장시간 사용할 수 있고, pistol type의 ball valve가 부착되어 취급 및 사용이 편리하고 유량조절이 쉽다.

참고문헌

1. NFPA 1964, "Standard for spray nozzles(shut-off and tip)", 1993
2. KS 규격, KS B6604 "노즐(소화호스용)", 1988
3. 한국검정공사, "관창의 형식승인 및 검정기술기준", KOFEIS 0702
4. 내무부, 한국검정공사, 소방기계기구편람(상), pp.2-25~40, 1984
5. PHOENICS co. ltd., PHOENICS Manual, 2000

본 연구는 2002년 "경기지방 중기청 산·학·연 컨소시엄 공동기술 개발사업"으로 이루어진 것입니다.