

산불로부터 목조문화재 보호를 위한 수막노즐의 성능에 관한 연구

김경진 · 송동우* · 이수경*†

(주)한국소방엔지니어링 R&D센터, *서울과학기술대학교 에너지안전공학과

A Study on Performance of Water Curtain Nozzles for Protection of Wooden Cultural Properties from Forest Fire

Kyung-Jin Kim · Dong-Woo Song* · Su-Kyung Lee*†

Korea Fire Protection Engineering R&D Center,

*Seoul National University of Science & Technology Department of Energy Safety Engineering

(Received September 26, 2011; Revised May 9, 2012; Accepted June 8, 2012)

요 약

중요 목조문화재를 산불이나 인접 건축물의 화재로부터 보호하기 위한 방안으로 수막노즐을 제시하였다. 바닥으로부터 일정압력 이상으로 상승하는 물줄기로 수막을 형성하여 복사열을 차단함으로써 200~250 °C에서 발생하는 목재의 열분해를 막기 위한 것으로 기존에 설치되어 있는 강원도 낙산사와 전라남도 무위사의 수막노즐의 설치상태를 확인해 보았고 이를 보완·개량하기 위한 방안으로 평상시 덮개에 덮인 노즐을 설치하여 경관을 손상시키지 않게 하였고 사용 시 수직상승하여 물을 분사할 수 있는 상하승강식 노즐봉과 이를 효과적으로 설치하는 방법에 대하여 연구되었다.

ABSTRACT

This study suggests the water curtain nozzles as the way to protect important wooden cultural properties from an adjacent building fire or a forest fire. They are designed to block off the pyrolysis of timbers which occurs at 200~250 °C by forming a water curtain with the flow of water that spouts over a certain pressure from the bottom. The existing water curtain nozzles installed at the following sites were examined: NakSan-sa (Temple) in Gangwon-do (Province) and in Muwisa (Temple) in Jeollanam-do (South Province). As a way to improve and complement the system, this study designed nozzles with covers in order not to disrupt the landscape. Connected pipes are elevated and jet water when they are in use. Possible ways to install the connected elevating pipes to jet water effectively were investigated.

Keywords : Wooden cultural properties, Water curtain nozzle, Forest fire

1. 서 론

1.1 연구의 목적

본 연구는 예측 가능한 산불 및 주위 산림화재로부터 문화재를 효과적으로 보호하기 위하여 지면 아래에 노즐을 설치하고 화재시 수직으로 물을 분사하여 수막을 형성하게 함으로써 목조문화재를 산불로부터 보호하기 위한 수막노즐봉 및 수막노즐을 개발하고 이를 적절히 설치하는 방안을 제시하기 위함이다.

1.2 연구의 필요성

문화재보호법 제1장 제3조에 의하면 ‘문화재의 보존·관리 및 활용은 원형 유지를 기본 원칙으로 한다’라고 되어 있다. 그러므로 문화재를 보존·관리함에 있어 원형이 훼손

되어서는 안 되며 경관을 훼손시켜서도 안 된다.

수막노즐은 산불로부터 문화재를 효과적으로 보호할 수 있다는 장점이 있음에도 불구하고 강원도 낙산사와 전라남도 무위사 등 한정적으로 설치되고 있는 이유 중의 하나는 경관을 훼손시키고 있기 때문으로 파악된다. 이는 수막노즐의 장점만을 부각시킨 연구는 있었으나, 경관을 훼손시키지 않기 위한 노즐의 연결부분에 대한 연구는 없었던 것으로 해석되며, 원형의 보존과 경관의 보존이라는 기본적인 요구사항을 충족시키고 효과적인 수막을 형성시키기 위한 노즐봉 및 노즐의 개발이 필요하게 되었다.

1.3 산불로 인한 문화재 소실 사례

2005년 4월 4일 강원도 양양군 야산부근에서 발생한 산불이 강풍을 타고 빠르게 연소되며 대형 산불로 발전되었

†Corresponding Author, E-Mail: lsk@seoultech.ac.kr
TEL: +82-2-970-6374, FAX: +82-2-977-9303

다. 산불은 낙산사의 절반 이상을 소실시켰고 보물 제 1362호 건칠관세음보살상이 안치되어 있는 원통보전과 보물 제479호인 낙산사 동종은 산불로 인하여 완전히 소실되었다. 2007년 11월 낙산사 동종은 복원이 되었으나 1469년(예종 1년)에 만들어진 문화재로서의 가치가 사라졌으므로 지정문화재에서는 지정해제가 되었다⁽¹⁾.

2. 수막시스템 설치기준 및 사례

2.1 국내의 소방시설 기준

국가화재안전기준(NFSC)에서 문화재를 화재로부터 보호하기 위하여 별도로 문화재에 설치토록 되어있는 소방시설은 소화기와 옥외소화전 뿐이다⁽²⁾.

문화재를 적극적으로 지키기 위하여 노력하여야 하는 문화재보호법에서조차 문화재를 보호하기 위하여 설치하여야 하는 소방시설의 설치는 강제규정이 아닌 권장규정으로 남아있을뿐이다⁽³⁾.

2.2 전라남도 무위사 설치사례

무위사에 설치된 수막시스템의 경우 분무형태로 수막이 형성되게 하고 있고 방수높이는 높지 않으며 균등하지 않아 노즐별 적절한 마찰손실과 방사압의 계산이 이루어지지 않은 듯하다. 설치된 노즐이 개방되어 있어야 하며, 배관을 보호하여야 하므로 수막시스템의 상부는 철판으로 덮여 있어외관을 손상시키고 있다.

2.3 강원도 낙산사 설치사례

낙산사 원통보전의 외부 산림쪽에는 직사형태의 수막노즐을 촘촘히 설치되어 수막을 형성하게 하였고 사람들의 이동이 잦고 외관상의 수막노즐로 인해 미관이 손상 될 수 있는 부분에는 부채꼴형 노즐을 설치하였으나 설치간격이 넓어 적절한 수막을 형성하기 어려워 보인다.

2.4 일본의 소방시설 기준

일본은 1950년 문화재보호법 제정 한 후 1961년 중요

건축물문화재 등에 자동화재탐지설비와 소화설비 등을 의무설치토록 하고있으며, 중요 건축물문화재의 방재시설 사업으로 자동화재탐지설비, 소화설비, 피뢰설비를 중점적으로 설치하고 있다. 방재시설로는 경보설비, 소화설비, 피뢰설비, 방범설비 등을 설치토록 의무화 하고 있다⁽⁴⁾. Table 1은 일본의 방재시설을 나타낸 것이다.

2.5 일본 고야산 어영당

와카야마현 고야산(高野山) 어영당(御影堂)의 경우 회(檜)나무 껍질로 지붕을 마감한 목조건축물로서 건물 외벽에서 1 m 가량 떨어진 땅속에 수막 노즐을 설치해 화재시 건물 높이 이상으로 물을 뿜어내도록 수막설비가 설치되어 있다⁽⁵⁾.

3. 수막노즐의 개발

3.1 목재의 특성

사찰의 외장, 석가래, 보 등을 구성되어 있다. Table 2은 목재의 구성성분의 종류에 따른 비율 및 열분해온도를 나타내고 있다. 목재는 200 °C에서 초기 열분해가 발생되고 이 열분해 가스가 주위의 점화원으로 연소가 시작되는 메커니즘을 가지고 있다. 산불화재에서도 약 200~250 °C에서 복사열로 인해 목재의 열분해가 지속적으로 발생하여 탄화 및 착화온도에 도달하여 대형 목재 화재로 전파되므로, 외부의 화염으로부터 수막 노즐 및 수막을 형성하여 목재에 물을 분사하게 되면, 외부 복사열원에 노출된 목재의 탄화를 억제시키고 온도상승을 억제시켜 보호 대상물을 화재로부터 보호할 수 있게 된다⁽⁴⁾.

3.2 수막노즐에서의 고려사항

산불 또는 주위 화원으로부터 문화재를 보호하기 위한 방안으로 문화재 주변에 수막노즐을 설치하여 효과적으로 복사열을 차단하는 방법이 있다. 수막설비의 효과적인 사용과 설치를 위해 고려되어야 하는 사항들은 다음과 같다.

가. 수막노즐 및 방사된 물로 인한 문화재의 훼손이 없어야 한다.

나. 수막노즐로 인하여 불편함을 주거나 주위의 경관에 훼손을 주지 않아야 한다.

다. 주위의 화재로부터 발생하는복사열을 차단하여야한다.

라. 노즐은 이물질로 인한 막힘이 없어야 한다.

마. 주위의 장애물로 인하여 수막형성에 방해받지 않

Table 1. Prevention Facilities in Japan

	Facilities
Alarm facilities	Automatic alarm system, leakage alarm, emergency alarm system, broadcast equipment of emergency, security alarm system, etc
Extinguishment facilities	Fire hydrant, water spray extinguishing system, sprinkler system, power driving extinguishing system, fire extinguisher, etc.
Lighting protection system	Air terminal, independent lightning rod, independent overhead ground wire, etc.

Table 2. Constituents of Timber

Constituent	Ratio (%)	Temperature of Pyrolysis (°C)
Cellulose	40~44	240~350
Hemicellulose	20~40	200~260
Lignin	18~35	280~500

아야 한다.

3.3 고안된 수막노즐봉

수막노즐 대상물이 200 °C 이상이 되지 않도록 산불이나 주위 화원으로부터 복사열을 차단 하여야 하며, 수막노즐로 인한 문화재와 주위 경관의 훼손을 최소화 하였다. 또한, 직접 물의 방사형태를 결정해 주는 노즐부분과 노즐이 효과적으로 사용될 수 있도록 도와주는 노즐봉에 대한 연구도 병행되었다. Figure 1은 개발된 수막노즐의 도면으로 노즐봉 TIP 1은 내부에 프로펠러 모양의 구조를 만들어 와류를 형성토록 하여 분사태로 분사되도록 한 것이며, 노즐봉 TIP 2는 내부의 일부 물흐름을 조정하여 직사형태로 분사되도록 제작된 것이다.

고안된 수막노즐의 연결봉은 평상시 지면 아래에 잠추

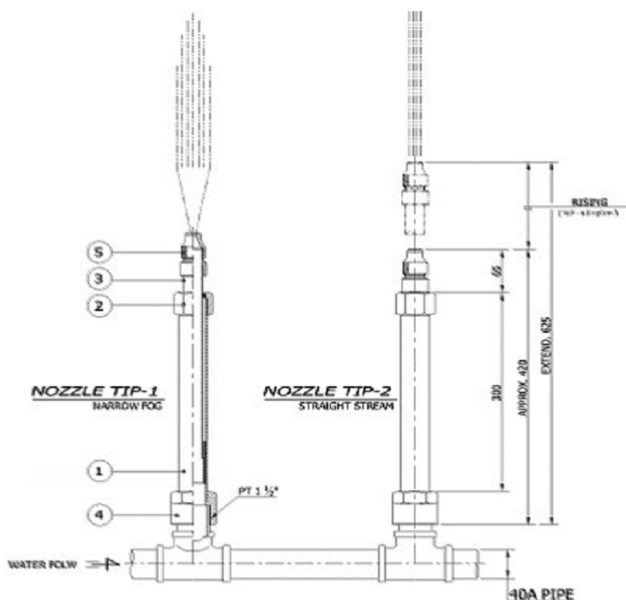


Figure 1. Drawing of water curtain nozzles.



Figure 2. Before and after Photos of operation of water curtain nozzles.

어져 있는 상태에서 방사를 위하여 배관내 가압수가 1.0 kgf/cm² 이상이 되면 노즐봉과 노즐이 분리되며 축이 상부로 돌출하는 상하승강식을 적용하였다. 이러한 노즐의 연결봉은 주위의 작은 돌이나 나뭇가지 등의 장애물이 있을 경우에도 직접적으로 영향을 받지 않고 지면위로 돌출되게 하여 효과적으로 노즐의 성능을 발휘할 수 있도록 하였다.

연결봉의 평상시 기본적인 치수는 410 mm이며, 확장시 치수는 625 mm 작동시 215 mm가 돌출되게 되어 있다. Figure 2는 수막노즐의 작동 전, 후를 비교한 사진이다.

3.4 수막노즐 덮개

개방형 노즐을 사용하는 수막노즐의 특성상 노즐에 이물질이 낄 수 있고 이 이물질은 장시간 고착에 의하여 계획된 방사패턴을 유지하지 못하게 하거나 방사 자체를 불가능하게 할 수 있다는 것이다. 이를 막기 위하여 노즐 상부에는 작동시 방해가 되지 않는 덮개등으로 가려 놓아야 할 필요가 있다. 따라서 각각의 노즐 연결봉 상부에는 캡을 씌워 펌프 가동시 연결봉에 걸린 수압에 의하여 연결봉이 상승할 때 상부의 캡을 밀고나와 분사할 수 있는 형태로 제작되어야 한다. 지면에 노출된 캡의 커버는 주변의 색과 동일하게 처리하여 평상시에도 외관상 표시가 나지 않아야 한다. 2~3 m마다 대략 8 cm 정도의 캡이 주위색과 동일하게 배치되어 있다면 외관상 혐오감을 주지는 않게 될 것이다. Figure 3은 수막노즐의 덮개를 도면으로 보여 준 것이다.

3.5 원형수막노즐

내부 구조가 다른 노즐봉 TIP 1과 노즐봉 TIP 2에 원형노즐을 부착시켰을 때의 성능시험 결과는 다음과 같다.

3.5.1 수직방사높이 특성 비교

방사높이는 측벽에 분사하여 건물로부터 수직으로 높이를 측정 한 것으로, Figure 4는 노즐의 TYPE-1(narrow fog; 노즐봉 TIP 2에 원형노즐 부착)과 노즐의 TYPE-2(straight; 노즐봉 TIP 1에 원형노즐 부착)의 압력에 따른 방사높이

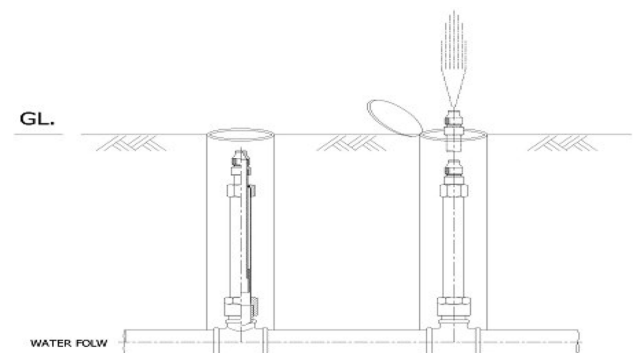


Figure 3. Drawing of cover of water curtain nozzles.

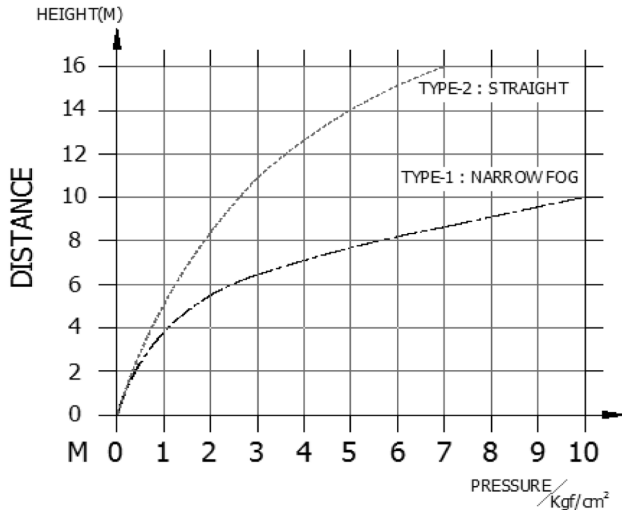


Figure 4. Shooting range graph (TYPE-1, 2).

Table 3. Shooting Range (TYPE-1, 2)

Pressure (kgf/cm ²)	Shooting Range (m)	
	TYPE-1	TYPE-2
1	3.8	4.7
2	5.7	8.2
3	6.5	11.5
4	7.0	12.5
5	7.4	14
6	8.2	15
7	8.5	16
8	9.0	
9	9.5	
10	10.0	

곡선 그래프이며, Table 3은 압력에 따른 방사높이 값을 제시한 것이다. 이에 따르면 7 kgf/cm²의 압력에서 TYPE-2의 방사높이가 16m로 TYPE-1인 8.5 m보다 88 % 이상의 높이까지 방사되었으며, TYPE-1은 10 kgf/cm²에서 10 m 높이까지 방사됨을 알 수 있었다. TYPE-2의 방사패턴은 3 kgf/cm² 정도까지는 물의 퍼짐없이 직선적으로 올라가며, 4 kgf/cm² 이상부분에서는 물기둥의 형태는 유지하되 외부로의 퍼짐현상이 나타난다.

TYPE-1인 narrow fog nozzle의 경우에는 내부의 프로펠러를 거치며 분사되는 물은 기둥의 형태를 이루며 40~50 cm의 폭으로 수직 상승하였으며, 3 kgf/cm² 이상의 압력에서는 압력의 증가에 따라 위로부터 물의 입자가 가늘어져 주위로 퍼지는 현상이 나타난다.

3.5.2 유량 비교

Figure 5는 노즐의 TYPE-1(narrow fog)와 노즐의 TYPE-2(straight)의 압력에 따른 토출량을 제시한 그래프이며,

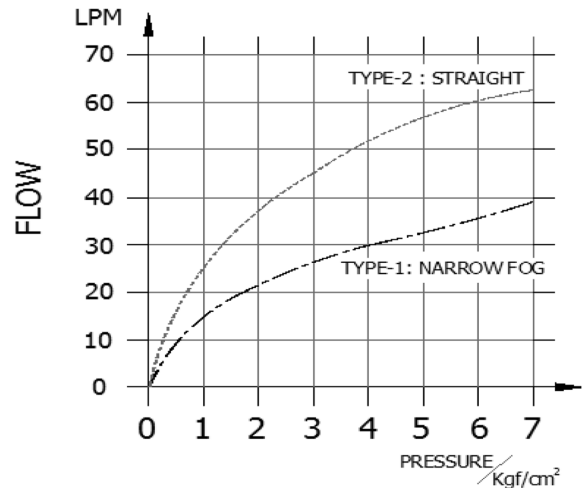


Figure 5. Flow rate graph (TYPE-1, 2).

Table 4. Flow Rate (TYPE-1, 2)

Pressure (kgf/cm ²)	Flow Rate (m)	
	TYPE-1	TYPE-2
1	15	26
2	22	37
3	26.5	45
4	30.5	52
5	34	58
6	35	60.5
7	37.5	62.5

Table 4는 압력에 따른 토출량 값을 제시한 것이다. 노즐 TYPE-1의 압력에 따른 토출량곡선에 의하면 7 kgf/cm²의 압력에서 TYPE-2의 방수량이 62.5 lpm이고 TYPE-1이 37.5 lpm으로 TYPE-1 보다 66 % 이상 많았다. TYPE-1과 TYPE-2의 방사패턴은 5 kgf/cm² 정도에서 퍼진 물은 바로 아래로 떨어지지 않으며 주변 기류의 영향을 받아 주변을 적시게 됨을 알 수 있었다.

3.6 부채꼴형 수막노즐

넓은 범위로의 분사를 고려하기 위하여 노즐봉 TIP 2의 연결봉에 110°로 분사되도록 오리피스 부분에 각을 주어 제작된 12 mm 구경의 부채꼴형 노즐로 수막형성을 유도하였다.

부채꼴형 노즐로 방사하였을 경우, Figure 6과 같이 노즐의 형상대로 110° 각을 유지하며 방사되는 고압의 물이 넓게 퍼지며 상부와 측면으로 뿜어나감을 실험을 통하여 볼 수 있었다.

3.6.1 수직방사높이 특성

Figure 7은 노즐의 TYPE-3(wide fog nozzle; 노즐봉 TIP 1에 부채꼴형 노즐 부착)의 압력에 따른 방사높이곡선

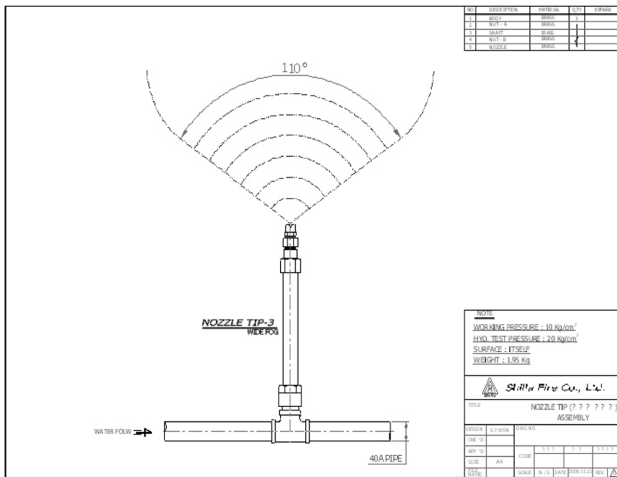


Figure 6. Spray patten of water curtain nozzles.

Table 5. Shooting Range (TYPE-3)

Pressure (kgf/cm ²)	Shooting Range (m)
	TYPE-3
1	3.2
2	4.8
3	6.0
4	7.0
5	7.5
6	8.0
7	8.5

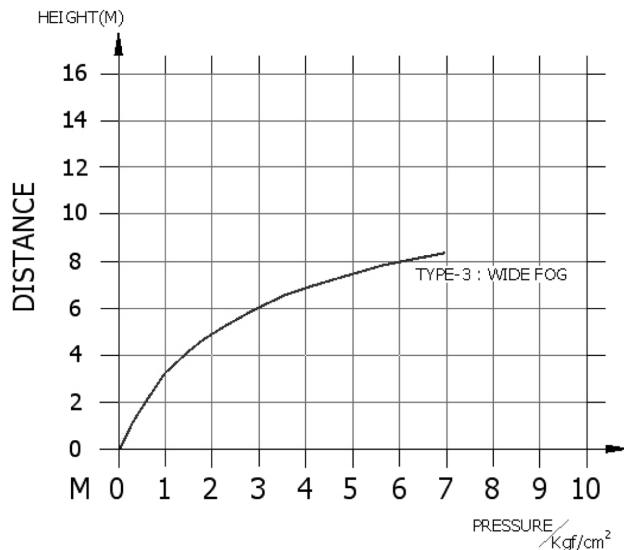


Figure 7. Shooting range graph (TYPE-3).

그래프이며, Table 5는 압력에 따른 방사높이 값을 제시한 것이다. 부채꼴형 노즐을 장착시킨 TYPE-3(wide fog nozzle)의 압력에 따른 방사높이 곡선에 의하면 7 kgf/cm²의 압력에서 8.5 m의 방사높이를 보이며 4 kgf/cm²까지의 상승하

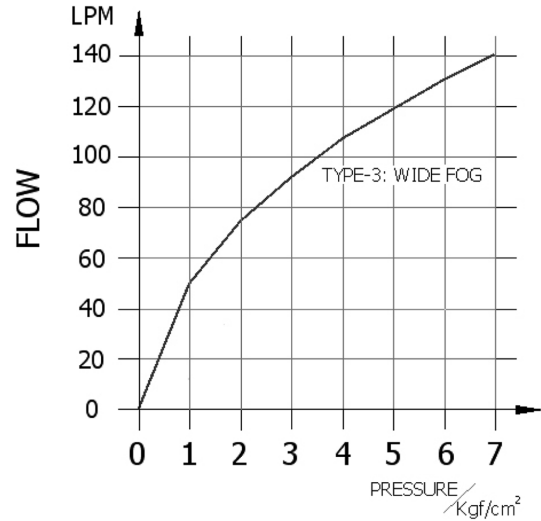


Figure 8. Flow rate graph (TYPE-3).

Table 6. Flow Rate (TYPE-3)

Pressure (kgf/cm ²)	Shooting Range (m)
	TYPE-3
1	53.5
2	75.5
3	92.6
4	107.0
5	119.6
6	131.0
7	141.5

던 방사높이곡선이 5 kgf/cm² 이후에서 둔화됨을 확인 할 수 있었다.

실제 7 kgf/cm² 이상에서는 부채꼴 형태를 유지하던 물줄기가 미분화되며 8 m 이상 높이까지 올라가는 하나 기류의 영향을 심하게 받는다. 방사패턴상 4 kgf/cm²까지는 물줄기가 보일정도로 직시주수의 형태를 보였으며 5 kgf/cm² 이상에서는 물줄기외에 물방울 미립자가 형성되어 주위로 비산되는 것을 확인할 수 있었으므로 4 kgf/cm² 이전보다는 5 kgf/cm² 이후에서 바람의 영향으로 입자들이 비산되는 것을 알 수 있었다.

3.6.2 유량 특성

Figure 8은 TYPE-3(wide fog nozzle; 노즐봉 TIP1에 부채꼴형 노즐 부착)의 압력에 따른 토출량 그래프이며, Table 6은 압력에 따른 토출량 값을 제시한 것이다.

부채꼴형 노즐을 장착시킨 TYPE-3의 압력에 따른 토출량 곡선에 의하면 방사높이(Shooting range) 특성과는 다르게 4 kgf/cm²의 압력에서 107 lpm, 7 kgf/cm²의 압력에서 141.5 lpm이 토출되어 토출압력에 따라 토출량이 증가됨을 볼 수 있었다.

3.7 실험 결과

원형노즐을 장착한 노즐봉 TIP 1과 노즐봉 TIP 2의 실험결과에 의하면, 노즐봉 TIP 2를 사용한 TYPE-1(narrow fog nozzle)은 7 kgf/cm^2 에서 방사높이 8.5 m, 37.5 lpm을 토출하였으며, TYPE-2(straight nozzle)은 방사높이 16 m, 62.5 lpm을 토출하므로 TYPE-1은 상대적으로 적은 토출량에 방사범위가 넓어 문화재 주위에 균등하게 배치시 적은 물량으로 상대적 효율성을 기대할 수 있고 TYPE-2의 경우 방사높이는 15 m까지 상승하나 물줄기가 직선형태로 올라가게 되므로 높은 대상물에 촘촘한 간격으로 설치가 필요하고 상대적으로 많은 수원을 필요로 하게 되므로 대상물이 높고 다량의 수원을 확보한 문화재에 대하여 사용이 가능함을 알 수 있었다.

동일한 노즐봉 TIP을 사용하고 110° 각도의 부채꼴형 노즐을 장착한 경우에 실제방사높이는 8.5 m로 높지 않으므로 낮은 대상물에 넓은 간격으로의 설치가 필요하며, TYPE-1보다 간격을 넓게 배치시킬 수 있으므로 상대적으로 적은 수원으로 효과적인 수막노즐을 형성하게 됨을 알 수 있었다.

TYPE-1(narrow fog nozzle)과 TYPE-3(wide fog nozzle)의 경우 5 kgf/cm^2 이상에서는 미세한 물방울 입자들이 형성되며 발생된 물방울 입자들로 인한 물의 표면적이 넓어져 물분무설비에서와 같이 증발 및 냉각효과로 인한 복사열 차단 효과의 상승효과를 기대해 볼 수 있다. 특히, TYPE-3은 7 kgf/cm^2 에서 141.5 lpm이라는 다량의 물이 방사되며 수막을 형성한 이후의 물방울들은 주위 7~9 m에 걸쳐 비산하므로 다수의 노즐로부터 방사될 경우 효과가 뛰어난 것으로 판단된다. 그러나 이 경우 수막을 형성하는 높이가 8.5 m 정도이므로 그 이상 높이의 문화재인 경우 적용성이 떨어질 것이다. 또한, 기류의 영향을 고려하여 문화재에 최대한 가깝게 설치할 필요성이 있다. 부채꼴형 노즐의 특성상 전면은 넓게 분사되고 측면이 얇게 분사되므로 효과적인 복사열의 차단을 위하여 가연물의 정도 및 화세에 따라 TYPE-3로부터 분사되는 물이 2겹 이상 겹치게 설계하는 것이 이상적이라 판단된다.

4. 결 론

수막설비는 지속적으로 물의 막을 형성시켜 비산하는 불똥을 막고 수열되는 복사에너지를 낮춰 산불과 인접 동물의 화재로부터 문화재를 보호하기 위한 것이다. 아무리 문

화재 보호를 위한 설비라 할지라도 경관을 훼손시켜서는 안되기에 평상시 지하에 설치하여 일정 압력 이상에서 수직상승하여 물을 분사시킬 수 있는 노즐봉을 고안하였고 토사나 이물질 등에 의한 영향을 받지 않도록 하기 위해 덮개를 제시하였다.

노즐봉에 사용하기 위한 노즐로 원형노즐과 부채꼴형 노즐을 고안하여 시험한 결과, TYPE-1인 narrow fog nozzle은 7 kgf/cm^2 에서 8.5 m까지 방사되며, 기둥과 같은 원형으로 균일하게 방사됨을 알 수 있었고 TYPE-2인 straight nozzle은 10 m 높이까지 방사되나, 물의 퍼짐현상이 적어 높은 대상물에 촘촘히 설치되어야 함을 알 수 있었으며, TYPE-3인 wide fog nozzle은 토출량이 상대적으로 많았으나 110° 의 부채꼴형으로 넓게 방사되므로 노즐 간 간격을 넓게 배치시킬 수 있음을 알 수 있었고 노즐에서 7 kgf/cm^2 이상으로 분사될 경우 작은 물방울이 비산되며 주위를 넓게 포용하며 물분무 효과 또한 기대할 수 있을 것으로 판단되므로 각 노즐의 특성에 맞게 이를 적절히 활용할 수 있기를 기대한다. 또한, 380 V의 전원이 공급되지 않는 사찰의 특성을 고려하여 엔진펌프를 사용하고 개방형 노즐의 분당 방사량을 감안하여 지하에 수조를 설치함으로써 대형산불이 지나가는 동안에도 급수시스템의 안정적 가동을 위한 방안의 고려 역시 필요하다.

우리나라의 목조문화재 보호를 위한 소방시설에 대한 연구는 많지 않으며, 수막노즐을 이용한 연구 또한 부족한 것이 현실이므로 문화재를 화재로부터 보호하기 위한 연구는 계속되어야 할 것이다.

참고문헌

1. M. G. Kim, "A Review of Mountain Fire Disaster in Korea", Kwandong University (2008. 2).
2. Installation, Maintenance, and Safety Control of Fire-Fighting Systems Act Enforcement Decree [attached Table 4].
3. Cultural Heritage Protection Act article 14.
4. M. S. Oh, "A Study of Improvement of Cultural Heritage Disaster Management, Focused on Temple Fire Prevention", Mokwon University (2005. 12).
5. W. S. Kim, "A Study on Fire Safety of Korea Traditional Wooden Building", University of Seoul (2008. 8).