

산림화재로부터 문화재를 보호하는 소방시설에 관한 연구 -미분무수설비를 중심으로-

A Study of the Suppression System based on the Fire Protection System the Korea Cultural Property due to the Forest Fire -About Water Mist System-

공 하 성

Ha-Sung Kong

동신대학교 소방행정학과
(2007. 11. 10. 접수/2007. 12. 14. 채택)

요 약

우리나라 대부분의 문화재인 사찰은 목조 건축물로 가연성이 높고 도심과 떨어진 산속에 있어 화재 진화에도 소방력의 접근성이 용이하지 않아 초기 진화가 어렵다. 또한 장기 지속적인 화원으로부터 문화재 보호를 위한 수원의 확보 및 자체 소방시설도 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 산불로 인한 화재의 초기 진화 및 장기 지속적인 화원으로부터 문화재를 보호하고자 기존의 수계설비보다 피해를 최소화 할 수 있는 미분무수 설비를 적용하여 우리나라 문화재의 지형적 위치를 고려한 가연물의 발화에너지를 제거 하는 방식의 소방시설과 차단벽을 활용한 방식의 소방시설을 제안하였다.

ABSTRACT

Most of the Korea temples of cultural property are wooden buildings and easy combusted. They are often located in mountain area far away from the city. It is very difficult to approach the fight area. The putting out is very difficult in the initial fire time. And for protecting the cultural property in the long-term continuous fire source there are some restrictions in water source and suppression system. In this paper the initial putting out fire due to the forest fire and the protection of cultural property in the long-term continuous fire source were researched. The improved project about fire control facilities of the Korea cultural property was proposed. In the proposed project the facilities using Water mist which can reduce more loss than existing facilities using water are applied. In view of the topographic position the method of eliminating the energy of combustibles and wall for cutting off the heat in the fire control facilities are also mentioned.

Keywords : Forest fire, Water mist, Energy of combustibles

1. 서 론

1.1 연구의 배경

최근 아시아계 국가들의 화재로부터 문화재 보호에 대한 의식이 높아지고 있다. 이는 문화재가 대부분 목조로 되어있고, 목조의 항상 건조된 상태와 연소성이 강한 특성으로 인해 일단 어떤 화재에 의해서든 착화되면 매우 빠른 속도로 화염이 전파되어 소실되기 때문에 가장 치명적이며 회복하기 어려운 상태가 된다.

목조문화재가 주류를 이루는 사찰, 서원 등은 일반에 공개되어 있고 내부 또는 주위에 관리 등의 생활공간이 인접해 있으므로 늘 화재에 노출된 상태라 하겠다. 이에 자체적으로 소방기구를 배치하여 화재에 대응하고 있으나, 소방기구의 작동에 대한 훈련 부족과 도심과 멀리 떨어진 거리에 위치하여 소방활동이 원활하지 못하여 피해가 크다.

1.2 연구의 목적

Table 1과 같이 국내의 중요 문화재의 주류를 이루는 목조 건축물은 그 목조 자체가 가연성이 높은 재질

†E-mail: 119@dsu.ac.kr

Table 1. Status of the Cultural Property According to City or District: 3,300 place (1,960 Buddhist temples, 1,343 Wood cultural property)¹⁾

지역 구분	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주	계
사찰	205	268	271	56	25	52	21	369	164	52	59	20	42	132	193	31	1,960
문화재	96	15	25	24	15	16	4	60	70	114	134	100	151	368	132	19	1,343
계	301	283	296	80	40	68	25	429	234	166	193	120	193	500	325	50	3,303

이다. 또한 건축물 내부에 소장된 문화재도 주로 목조로 이루어져 있어 외부의 화인에 의하여 착화되면 매우 빠른 속도로 연소되므로 초기 진화가 힘들다.

또한 전통사찰 및 목조 문화재 등에 대한 자위소방대 편성현황을 보면 전국 사찰 3,303개소중 665개대, 8,174명으로 조직되어 있어 전국 대비 20% 밖에 안되는 실정이다. 그중 전통사찰은 260개대 3,778명(전국대비 13.3%)으로 편성, 운영되어 있고, 목조문화재는 405개대 4,396명(전국대비 30.2%)으로 편성되어 있다. 하지만 자위소방대 운영실태를 파악한 결과 조직 편성만 되어 있고 대원별 임무 및 행동요령은 미숙한 실정으로 파악되었다.²⁾ 따라서 초기진화의 성공률이 낮다고 할 수 있겠다.

특히 문화재 주위의 산림구조는 화재의 저항이 약한 수목들이 많아서 대형화재로 이어질 수 있다. 이러한 대형화재의 진행은 문화재의 일정거리에도 도달하면 간접적으로 화재를 유발할 수 있다.

본 연구에서는 문화재의 위치적 제한과 개선된 소방시설을 제안하여 문화재 손실을 최소화 하는데 있다.

1.3 연구의 범위와 방법

화재 방호를 위한 소방시설을 설치할 경우 작은 손상으로 최대의 방호성을 유지할 수 있도록 설치되어야 하며, 구조적 손상이 가능한 없어야 하고 시각적으로도 약간의 손상만이 허용되어야 한다.

만약 시각적 손상과 물리적 손상을 선택할 수 있는 경우, 역사적 건축물의 경우 다시 재생이 곤란하기 때문에 물리적 손상을 발생시킬 수 있는 방법은 피하는

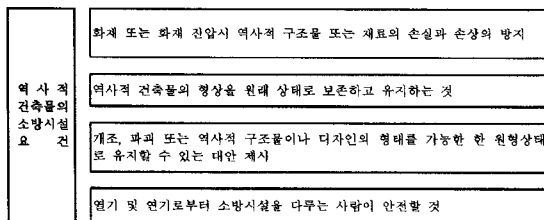


Figure 1. Fire protection system's requisite of the cultural property.

것이 좋다.

소방시설을 문화재에 설치할 경우 Figure 1과 같은 요건을 고려하여 문화재의 최소의 손상으로 최대의 화재보호 기능을 수행할 새로운 방법의 소방시설이 필요하다고 할 것이다.

이를 위해서 일본의 소방시설 설치사례를 고찰하여 국내 현실에 맞는 소방시설을 제시해 보았다.

2. 본 론

2.1 산림화재의 열전달분석

산림화재로부터 비화나 착화로부터 문화재를 보호하기 위하여 Figure 2와 같이 화재 저지선을 제시하였다. 일반화재와는 달리 산림화재는 이격거리가 있더라도 열의 전달 방식 중 복사에너지에 의하여 목조 건축물 화재의 원인이 된다.

Figure 3은 산림화재로 인한 복사열의 영향을 측정 한 결과로 화염의 높이가 20m이고, 폭 50m인 산림화재로 인한 목재 건축물에 발화가 일어나는데 필요한 시간과 복사열을 측정한 것을 나타내고 있다.

Figure 3에서 열복사에 의해 목조 주택의 벽에서 90초 내에 유도 발화가 일어나기 위해서는 화재로부터 30m 이내의 이격 거리와 화재로부터 40m 이격된 목조 주택의 벽에서 유도발화가 발생되는데 10분 이상 시간이 경과됨을 나타내고 있다.

이러한 모델링의 결과에 의하면 목조건물의 벽체가 90초 이내에 발화하기 위해서는 산림화재와 거리가 30m 이하가 되어야 하기 때문에 발화시간 이전에 기존의 소방 장비로 목조건축물을 보호할 수 있다는 가정을 할 수 있을 것이다.

그러나 이러한 결과에는 기존의 인간에 의해 사용되는 소화시스템의 한계를 보여주고 있다. 왜냐하면 사람에게 5초안에 2도 화상을 입히는 복사열이 나무를 발화시키기 위해서는 27분 이상이 소요되기 때문이다.

즉 오랜 시간이 소요되는 산림화재로부터 특수한 보호장비 없이 인간이 목조 건물을 방어하기에는 불가능하다고 하겠다.

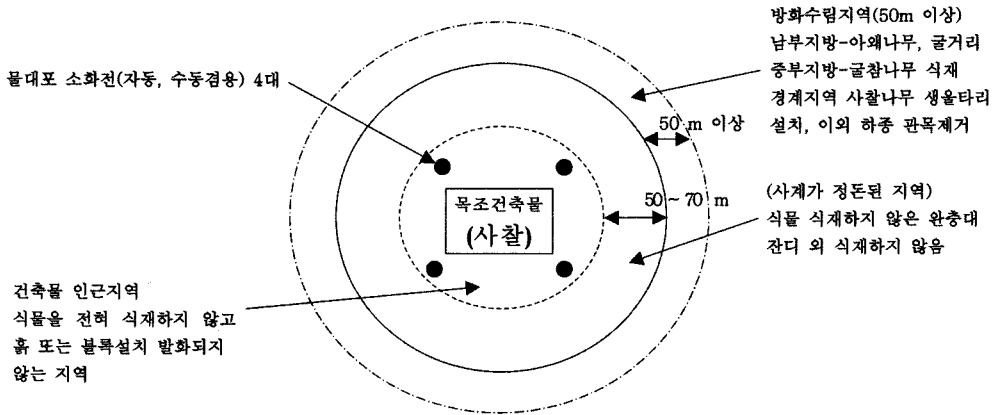


Figure 2. Fire protection line preventing autoignition or flying fire.

[출처:불교신문 2120호/4월12일]

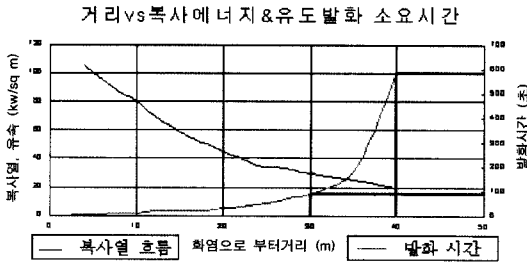


Figure 3. Relation of time and radiant energy of fire occurring to the radiant heat.



Figure 4. Operation of the water gun at main temple.

출처: 연합뉴스 2005.8.25 『일본 사찰 문화재 방재시설 탐방』

2.2 새로운 소방시설의 설계

2.2.1 새로운 소방시설의 해결되어야 할 과제

문화재 주위에 소방시설을 설치할 경우 가장 중요한 문제는 화재건물 또는 인근의 다른 화재대상(산림화재 등)으로부터 인접 또는 인근건물에 불꽃과 열이 확산 되는 것을 방지하는, 이른바 연소방지에 대한 문제이다.

산림화재나 주위 건축물의 화재로부터 문화재를 보호하기 위해서는 무엇보다 중요한 점은 앞에서 언급한 복사열을 차단하는 것이다. 이러한 복사열 또는 화재 위험으로부터 건축물을 보존하기 위해 소방시설을 설치하는데 기존의 소방시설들은 위에서 지적한 물리적 손상이나 미관을 해치는 문제점들을 가지고 있다.

최근 주변국가 중 일본은 이러한 문제점들을 다음과 같이 개선해 가고 있다.

(1) 일본문화재를 보호하는 소방시설

와카야마현 고야산(高野山)은 산 전체가 불교 성지라 할 만한 곳이다. 이에 어울리게 해발 800m 지점 일대에 자리잡은 분지를 중심으로 약 4km에 걸쳐 사

찰 52곳에 400여 채 건물이 밀집해 있다.

2004년 세계문화유산에 등재된 이곳에는 일본 국보 21건, 중요문화재 137건, 지방문화재 13건이 포진해 있으며, 이 중 건축물은 국보가 2건, 중요문화재가 18건이 현존해 있다.

일본 국가 지정문화재 9%가 고야산에 있으니 어떤 곳보다 이를 지키기 위한 방재에 신경을 쓸 수 밖에 없을 것이다. 이 중 고카와사의 방재 시설을 대표적으로 들 수 있다. 이 시설은 문화재의 소방설비시 요건을 고려하여 2001년~2003년의 기간에 걸쳐서 계획이 수립되었다.

Figure 4는 와카야마현 분하사 본당의 화재를 진압하기 위한 물대포로 문화재 손상을 최소화하기 위한 방수형태를 보여주고 있다.

이 방수총은 방수 대상 건물에서 일정 거리에 떨어져 설치되어 있다. 사정거리는 25m가 되며, 노즐 하나의 방수용량은 0.7 Pa 압력으로 분당 500-600l를 쏘

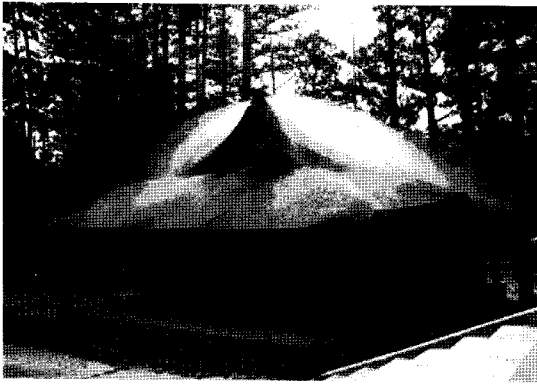


Figure 5. Operation of the fire protection system on roof of temple.

출처: 연합뉴스2005.8.25 『일본 사찰 문화재 방재시설 탐방』



Figure 6. Operation of the fire protection system look like sprinkler.

출처 : 연합뉴스 2005.8.25 『일본 사찰 문화재 방재시설 탐방』

아내게 된다.

Figure 5는 일본 국보인 부동당과 지붕에 설치된 소화시설은 방재용 스위치를 작동하면 용마루 양쪽 끝에 몇 개나 되는 수도꼭지 같은 시설이 있어 물을 뽑아냄으로서 외부의 화인으로부터 방재하고 복사 에너지에 의해 소방 활동에 제재를 받지 않는 모습을 나타내고 있다.

Figure 6은 일본 불교 성산인 와카야마현 고야산 고식 건물인 어영당의 화재시 소화를 위한 스프링클러가 작동하는 모습이다. 이 설비는 상향식 스프링클러 헤드를 응용한 설비로서 사각 건물 주변 바깥을 돌아가며 설치된 노즐이 물을 분출한다. 이렇게 방사된 물은 물 대포와 같은 원리로 곡선을 그리며 간접적으로 지붕에 떨어져 최소한의 피해와 동형식과 같은 물의 장벽을 형성하여 화염으로부터 보호한다.

이 세 가지 소방시설은 산림화재에 의한 복사 에너지에 효과적으로 차단할 수 있고, 원활한 소방활동을 할 수 있도록 설계되었다.

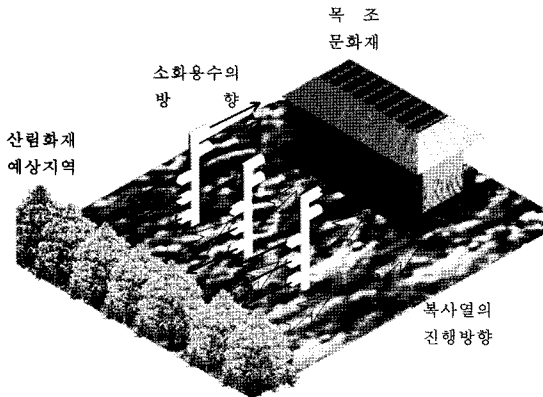
2.2.2 새로운 소방시설의 소화원리

국내의 현실은 일본에 비하여 산림 화재시 비화나 착화보다 산림구조상 복사에너지에 의한 화재의 노출이 더 크다.

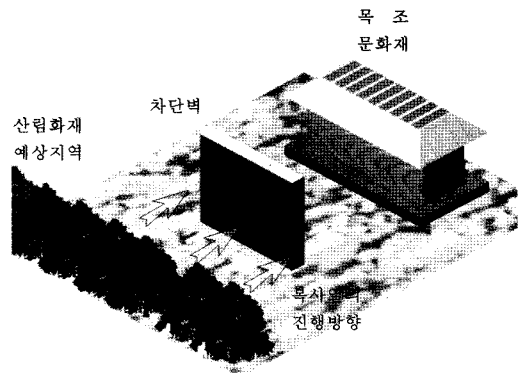
그러므로 새로운 형태의 소방시설은 복사열을 차단하는데 중요도를 두고 제안하였다.

(1) 발화원인 복사열 제거 방법

산림화재로부터 소방시설로 복사열을 차단하는 방법은 Figure 7과 같이 복사열을 제거할 수 있는 정도의



(a) Cutting off the radiant heat by using the fire-fighting water



(b) Cutting off the radiant heat by using the wall for cutting off the radiant heat

Figure 7. Method for cutting off the radiant heat.

소화용수를 이용하여 발화에너지를 제거하는 방법과 차단벽을 설치하여 복사열을 차단하는 두 가지로 구분해 보았다.

Table 2. Water Mist System Applied to the Fire of Three Elements

방법	원리
가연물의 발화점 저하	미분무수의 냉각효과로는 매우 작은 물방울의 분해의 결과로 열을 흡수할 수 있는 총 표면적과 물의 증발열의 최대치가 증가하는 것이다.
산소 공급원 차단	산소를 배제하여 화재를 억제하거나 진화할 수 있다. 수증기를 팽창시켜 정상적인 공기를 제거하고 화재가 발생한 지점부근의 산소량을 줄이는 것이다.
점화원의 차단	미분무수설비를 사용하여 빛과 열을 약하게 하는 것으로 작은 물방울은 열을 흡수하거나 분산하여 인근의 물건에 불이 옮겨지는 것을 줄인다. 또한 대류현상에 의해 수증기가 상승함으로써 복사과장을 흡수 및 굴절시키는 차단막이 형성되어 화재를 억제하는 방법이다.

(2) 새로운 소방시설에 적용될 미분무수설비
소방시설을 구상함에 있어 입자가 적은 물을 분사함으로써 Table 2와 같이 연소의 3요소에 적용하여 소화하는 방법을 채택하였다.

Table 3은 미분무수를 이용한 소방시설이 현행 소화설비의 가스계 설비나 스프링클러설비보다 문화재 보호시 유의성이 있다는 것을 나타내고 있다.

2.2.3 새로운 소방시설의 도안

(1) 미분무수로 발화에너지를 제거하는 소방시설
문화재를 산림화재의 복사열로부터 보호하기 위해 기존의 미분무수를 적용시킨 소방시설로 상부의 헤드는 물을 방사하여 문화재로부터 발화에너지를 제거하고 중·하부 헤드는 기화된 수증기로 장벽을 만들어 복사에너지의 굴절과 주변의 발화를 막는 역할을 한다.

Figure 8은 문화재의 외형이나 경관을 해치지 않고 필요시에만 사용할 수 있도록 설치된 모습을 도시하였다.

Table 3. Comparison Between the Present Fire Protection System and the Water Mist System

구분	형식	현행소화설비		미분무수설비
		가스계 소화설비	스프링클러설비	
소화약제		CO ₂	물	물
소화원리		질식	냉각효과	질식효과 냉각효과 피복효과
문화재 화재별 적용성		· 인체에 유해 · 인명사고로 적용 불가	· 초기 소화성능은 우수하나 물에 의한 2차 수손 피해가 크다 · B급·C급 화재 진압 불가	· 초기소화성능이우수 · 소화수 사용량이 적음 · A급·B급·C급 화재 적용가능

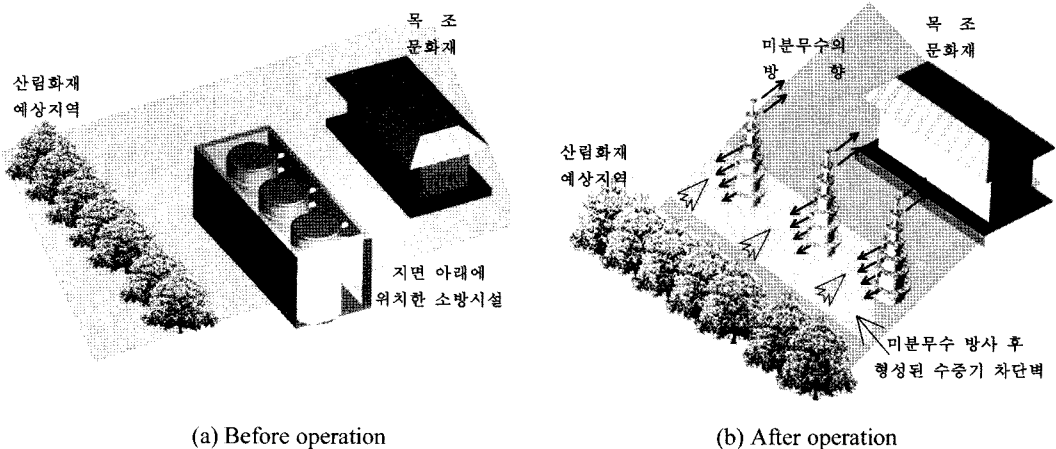
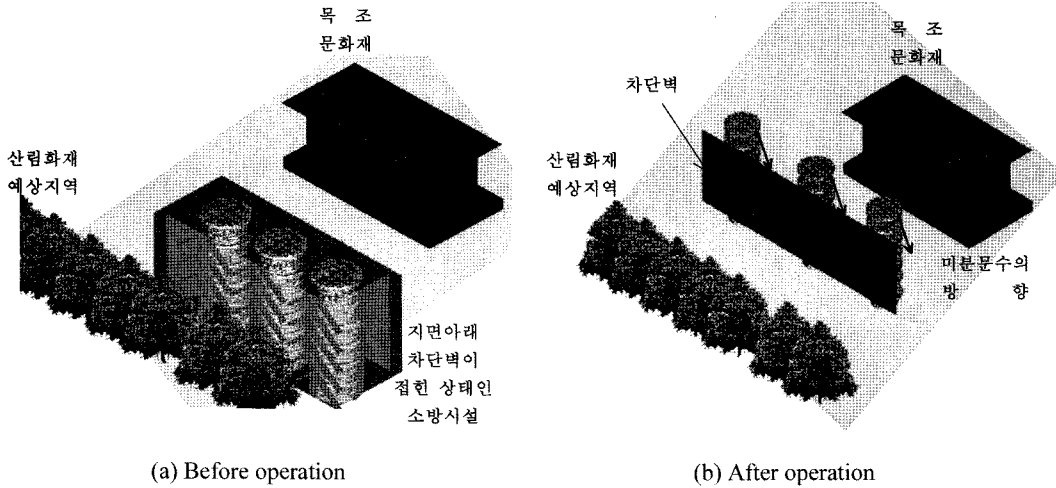


Figure 8. Fire protection system applied the water mist system.



(a) Before operation

(b) After operation

Figure 9. Fire protection system applied water mist system and the wall for cutting off the radiant heat.

(2) 미분무수 시설과 차단벽을 이용한 소방시설

Figure 9는 미분무수로 발화에너지를 제거하는 소방

시설을 응용한 시스템으로 지하에 설치된 내열성이 뛰어난 천 등으로 상승하는 배관을 이용하여 차단벽을 세워 복사열을 막고, 상부에서 미분무수로 방사하여 차단벽의 발화점의 저하를 시켜 내열성을 향상시키는 시스템이다.

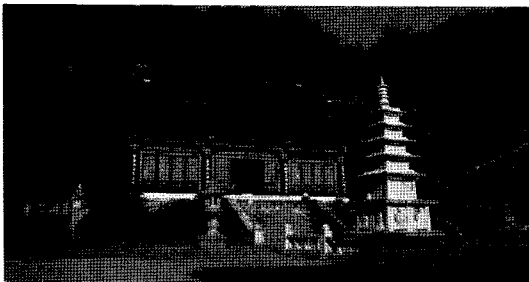


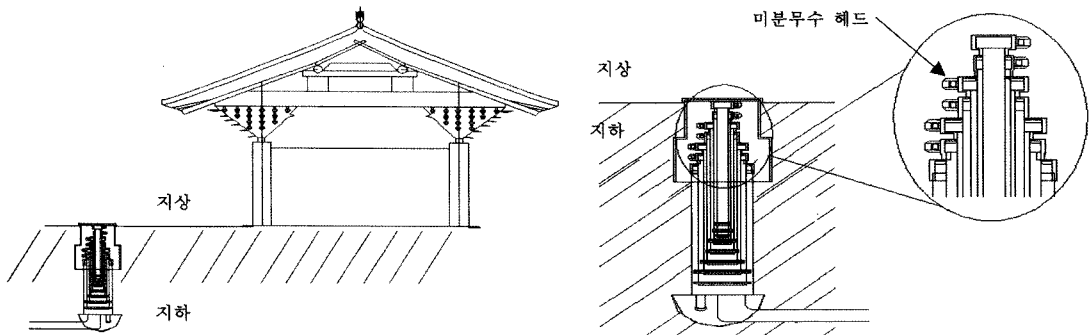
Figure 10. View of the hall of Paradise.

[출처 : www.empas.com]

2.2.4 새로운 소방시설의 설계

(1) 새로운 소방시설의 설계 대상 및 환경적 가정

새로운 소방시설의 설계는 Figure 10과 같이 일반적인 목조사찰의 극락전을 선택하였다. 또한 환경을 고려하여 건물뒤편으로는 산림과 접하여 있다는 가정을 하고 건물 뒤편과 극락전의 사이에 설치하며 평상시 위치는 주위 미관 등을 고려하여 지하에 설치한다.



(a) State considered beauty of the cultural property.

(b) Detail drawing of the view.

Figure 11. Mode of the Water mist system cutting off the radiant heat before operation.

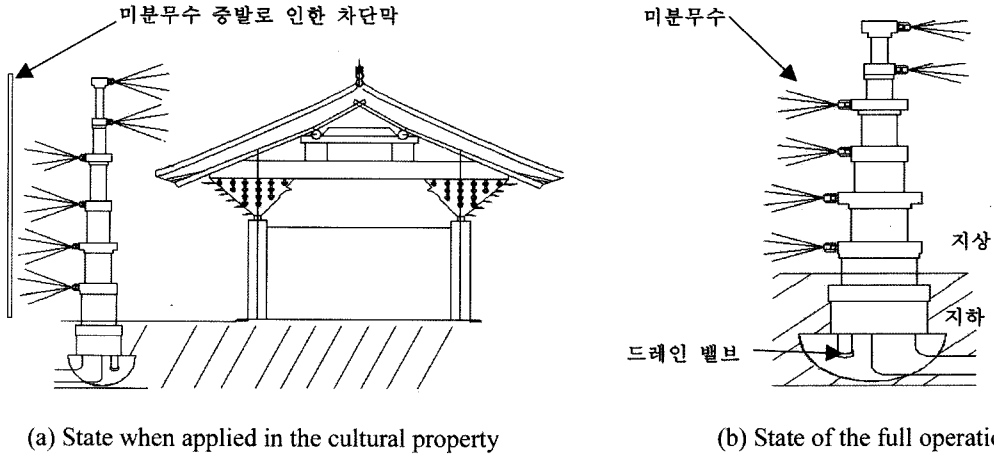


Figure 12. Using the Water mist system cutting off the radiant during the operation.

(2) 미분무수로 발화에너지를 제거하는 소방시설의 설계 및 작동 개요

이 시스템은 평상시는 가벼운 대리석 등을 이용하여 Figure 11(a)와 같이 상부를 은폐시켜 미관을 고려하였고, Figure 11(b)와 배관이 지하에서 겹쳐지도록 하여 부피를 최소화시킨 상태로 하였다.

화재위험이 발생할 경우 Figure 12(b)와 같이 펌프 등에 의한 가압용수로 배관이 상승 후 Figure 12(a) 처럼 설치된 물 분무헤드를 통해 가연물의 발화온도 저하 및 복사열을 제거하기 위한 소화용수를 분사한다.

(3) 미분무수 시설과 차단벽을 이용한 소방시설의 설계 및 작동 개요

이 시스템에서 중요한 점은 정사각형의 지하공간에서 화재로부터 방호벽을 설치하여 대상물을 보호할 수 있다는 점이다.

Figure 13은 지하에 있는 여러 배관들이 수압의 힘으로 상승하고 이 상승력을 이용하여 철재와이어를 작동시키고 와이어에 달려있는 지지봉이 펼쳐짐에 따라 Figure 14(b)와 같이 지지봉에 붙어 있는 방호벽이 펼쳐지는 것이다.

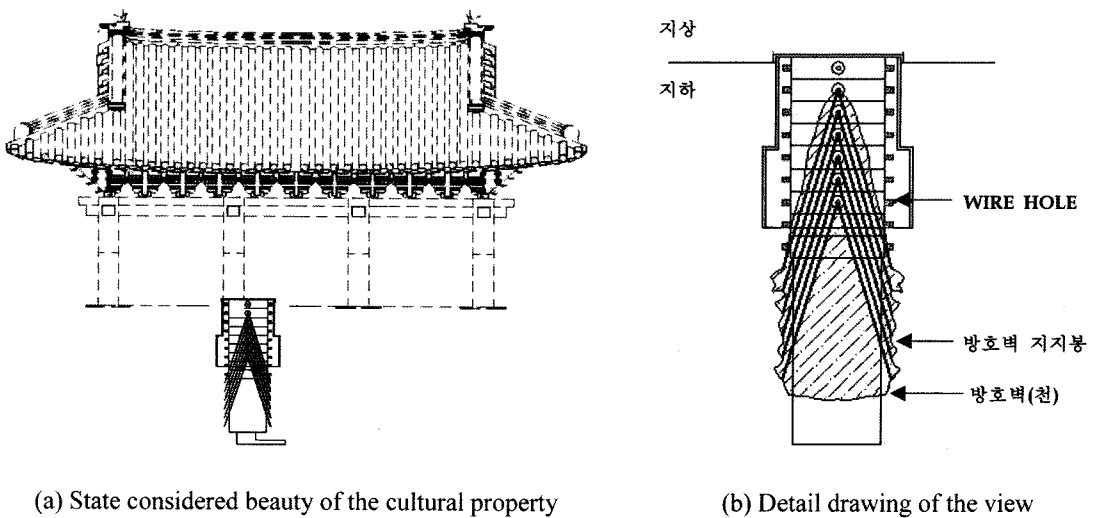


Figure 13. State of the fire protection system applied the Water mist system and the wall for cutting off the radiant heat before operation.

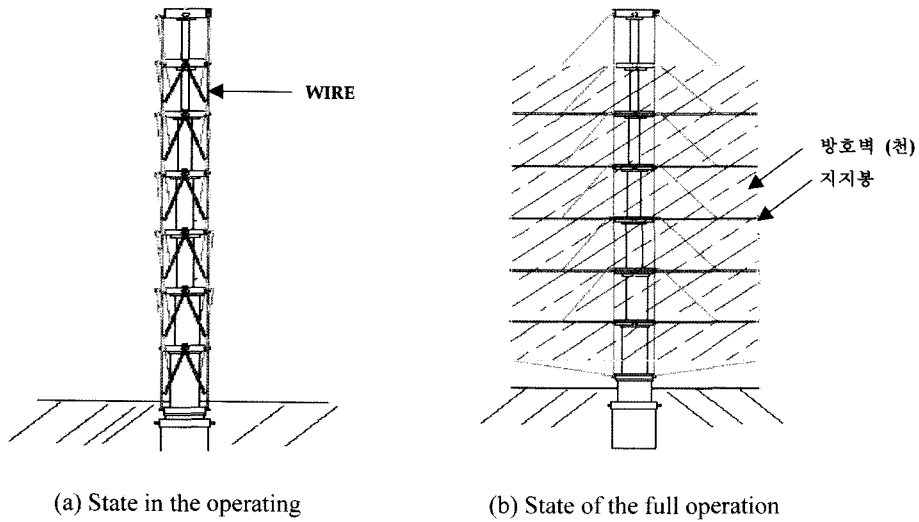


Figure 14. State of the Fire protection system applied the Water mist system and the wall for cutting off the radiant heat during the operation.

3. 결 론

본 연구에서는 산림화재로부터 문화재를 보호하기 위하여 화인에 대한 분석을 하여 기능적인 부분을 연구하였다.

소화방식으로 현행 소화설비와 비교분석 후 적용범위와 능력 및 문화재의 최소 손실이 발생하는 미분무수설비를 선택하였다. 이 미분무수설비를 적용한 소화용수로 발화에너지를 제거하는 소방시설과 소화용수와 차단벽을 이용한 소방시설의 두 가지 형태를 제시하였다.

제시된 두 소방시설의 특징은 소방용수의 유압에 작동되고, 산림화재의 화인으로부터 문화재를 보호하며, 미관을 고려하였다.

향후 위치적 특성을 고려한 시간적인 비상전원 시스템과 소방용수의 일정 압력을 유지시켜 주는 기계적인 부분의 추가적인 연구가 있어야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 동신대학교 학술연구비에 의해서 연구되었음.

참고문헌

1. 정광수, "산불의 예방과 진화대책", 박영사(2004).
2. 소방방재청, "전통사찰, 목조문화재등 소방안전대책" (2005).
3. 김태식, "일본 사찰 문화재 방재시설 탐방", 연합뉴스 (2005).
4. 김종진, "Water Mist 소화시스템", 주식회사 윈(2007).
5. 정순교, "문화재 화재예방 및 진압대책", 한국소방안전협회, 소방안전 94호, pp.18-21(1997).
6. 손연수, "목조문화재의 방염", 한국소방안전협회, 소방안전 73호, pp.8-12(1993).
7. 문화재청, "낙산사 화재복구 및 전통사찰 화재예방대책"(2005).
8. 산림청, "산불예방과 진화체계"(2005).
9. 최대원, "국가간 비교를 통한 재해관리시스템 구축방안연구", 대구대학교 대학원 박사학위 논문(2003).
10. 김은진, "목조건축 문화재의 방재에 관한 연구", -경남지역의 사찰을 중심으로-, 경남대학교 산업대학원 석사학위논문(2002).
11. 황의철, "사찰건축의 방재계획에 관한 연구", -호남지역 8사찰건축을 중심으로-, 조선대학교 산업대학원 석사학위논문(1998).
12. 불교신문 2120호, 2007년 4월 12일.
13. www.empas.com