

C-04

## 화재현장 적용을 위한 소방로봇의 내열 및 냉각시스템에 관한 연구

이우준, 김종권, 오주환, 손봉세\*  
동일파텍㈜ 필드로봇연구소, 경원대학교\*

### A Study On the Cooling System of Fire-fighting Robot for the Application on the Real Fire Place

Woo-Jun.Lee, Jong-Kwon.Kim, Ju-Hwan.Oh, Bong-Sei.Son\*  
DRB fatec field robot R&D center, Kyungwon.univ.\*

#### 1. 서론

세계에는 많은 소방로봇들이 존재한다. 그러나 그들중에 대부분이 실외화재진압로봇에 초점을 맞추어져 있고 실내화재의 진압로봇 개발부문에서는 아직 미진한 상태이다. 실내화재진압과 와 실외화재진압의 경우 다양한 차이가 존재한다. 실외화재진압의 경우 화원과 적정한 거리를 떨어져 소화 작업을 하기 때문에 로봇의 경우 소방차와 같이 단순히 내부의 열을 시켜줄 수 있는 노즐로서 자기방어가 가능하지만 대구지하철 화재와 같은 질은 농연과 고온이 발생하는 화재지역에 투입되어지게 만들어진 실내소방로봇의 경우 기본적으로 계단 승,하강 능력 및 협소한 공간의 주행을 위해 높이, 폭, 무게가 제한되며 내부에서 발생하는 강한 열로 인하여 내열 및 냉각시스템이 로봇에는 구비가 되어야 한다.

또한, 실내화재는 가연물의 특성에 따라 엄청난 양의 농연과 열이 발생되기 때문에 질은 농연을 투시할 수 있는 영상시스템이 필요하며 화재 진행상황에 따라 낙하물 또는 내부폭발, 역류에 대한 장갑 및 보호대책이 꼭 필요하다.

본 고에 소개될 실내화재진압로봇은 이러한 문제점을 해결하고 소방관이 보다 효율적인 진압작업과 인명구조작업을 도와줄 수 있는 소방로봇으로 개발되었다.

본론에서는 실내화재진압로봇의 제원에 대해서 설명하고 소방로봇이 개발과정에 있어서 가장 중요한 내열시험과 냉각시스템의 시험 결과 및 진행상황에 대해서 논하고자 한다.

#### 2. 본론

소방로봇은 실내화재 진압 및 소방관의 인명구조 보조를 전제로 개발하였다. 따라서 화재현장에서 계단승월과 같은 어려운 환경에서의 원활한 이동성이 기본이며, 내화, 단열, 소화, 방수 등의 기능이 필수적으로 보유되어야 한다. 현재 개발된 소방로봇은 하부 주행 장치인 모바일플랫폼, 작업환경 분석 및 시야확보를 위한 센서모듈, 실내화재에서

내부 시스템을 보호를 위한 냉각시스템, 화재진압용 소화포로 등 구성되어 있다. 그림1은 실제 제작된 소방로봇의 사진이며 표 1에서는 로봇의 제원을 정리하였다

	Spec.
Weight	500kgf
Size	1435x830x1050mm(LxWxH)
Payload	200kg(소방호스 견인)
Speed(max)	20km/h(max)
등판각도	35°(계단주행)
동력원	LIPB
구동시간	2hr(필드환경)
냉각	질소냉각 (외부 500C°)
방수	생활방수
통신(유선)	200mm(내열피복)
통신(무선)	9km(필드환경)
소방포	40mm, 2자유도 전동식

표 1. 소방로봇 제원

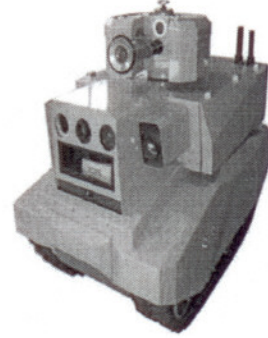


그림 1. 제작된 소방로봇

### 2.1 내열시험

앞서 서론에서 말한 바와 같이 실내화재진압로봇에 있어서 가장 중요한 기능 중 하나는 높은 고열에서 얼마나 견딜 수 있게 개발을 하는가가 관건이다. 실내화재진압로봇의 크기가 한정되어 있기 때문에 냉각시스템만으로 고열을 견디기는 희박하다. 먼저 로봇의 외부바디를 재질과 내부단열재질의 선택이 실내화재진압로봇의 내열성능의 50%를 좌우한다고 할 수 있다.

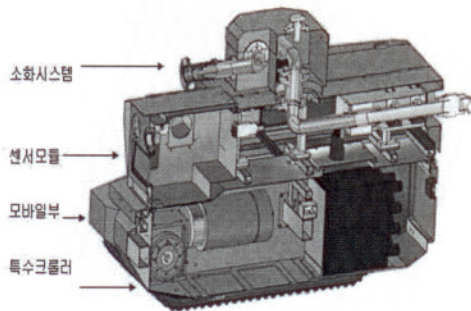


그림 2. 소방로봇의 측면단면도

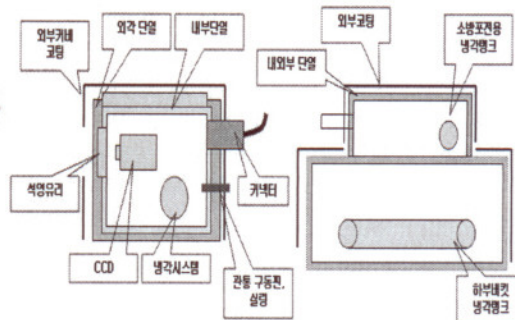


그림 3. 소방모듈별 내열대책

#### 2.1.1 코팅재질

실내화재진압로봇 외부재질 선택시 중요한 사항은 고온과 물에 직접 노출이 되기 때문에 변형과 녹슴이 없어야 한다. 따라서 이 부분에 있어서 가장 중요한 코팅재질을 선택하여 시편시험을 통하여 다음과 같은 결론에 이르게 되었다.

- 실험목적 : 소방로봇 외부장갑의 내열처리 공법 선정
- 실험방법 : 내열처리된 장갑소재표면에 800도 화염을 5분간 가열 후 표면 검사
- 코팅재종류 : 세라믹 코팅 3종, 금속코팅 1종, 테프론 1종, SUS 광판 1종

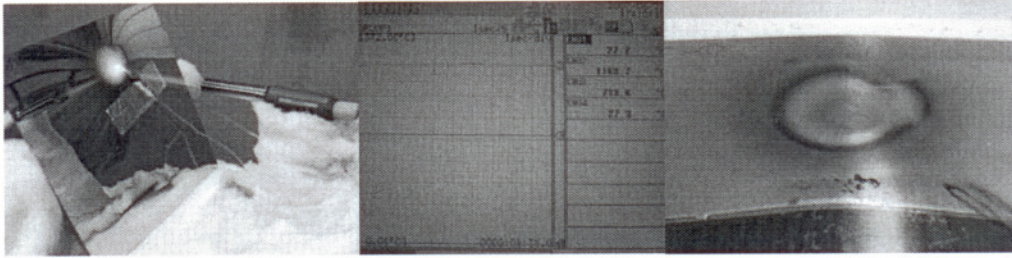


그림 5. 외부시험      그림 6. 데이터 획득(전달열)      그림 7. 실험 후 재질상태

그림5에서는 가스버너를 이용하여 한점에 지속적으로 불을 주사하고 그부분에 열전대를 부착시켜 측정치 온도(800도)를 유지하면서 시험을 하였다. 시험결과는 세라믹 코팅재질이 어떠한 재질보다 높은 온도에 변형이 없으며 외부도 색부분도 변하지 않았다. 그러나 원하는 색상을 다양하게 내기 어렵고 충격시 잔 균열이 발생한 우려가 있다는 단점을 가지고 있다. 국내외적으로 많은 코팅방법들이 존재하나 대부분이 고가이기 때문에 이 재질이 현재로서는 가장 적합한 것으로 판단된다.

### 2.1.2 무한궤도 시험

실내 화재진압 로봇의 궤도는 무게 및 속도를 고려하여 순수 고무로 된 무한궤도로 되어있다. 여기에 있어서의 문제점은 순수고무의 경우 200도씨 밖에 내열성능을 보유하고 있지 못하다. 우리는 그림 8 에서 보는 각 물질의 내열성능에 따라 재질을 선택하고 350도씨에서 견딜 수 있는 내열 궤도를 개발하게 되었다.

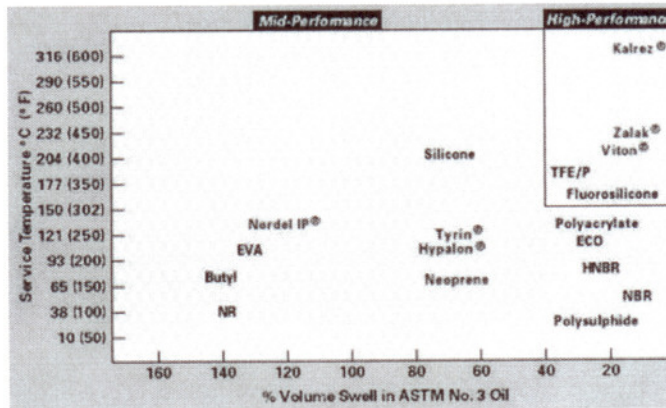


그림 8. 물성별 내열성능

- 실험목적: 로봇의 바퀴에 해당하는 무한궤도가 고온의 화재실 내에서 1시간 이상 문제 없이 구동이 가능한지 확인
- 실험장치 및 방법
  - 전기로 내에서 1시간 동안 가열 - 가열온도 : 200~400℃
  - 균열이나 용융 등의 이상 현상 관찰
  - 기계적 강도 변화 측정
- 실험결과

- 가열온도범위 : 0 ~ 400℃
- 최고가열온도 : 400℃
- 가열시간 : 각 1시간
- 결과정리

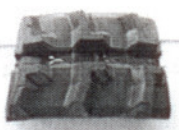


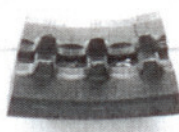
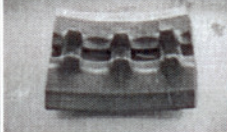

가열온도(℃)	시험전	350	400
바깥면			
안쪽면			

표 2. 내열케도 형상데이터

### 2.1.3 모듈상자 내열실험

실내화재진압로봇의 내열능력을 높이기 위하여서는 최대한 밖에서 들어오는 열을 차단할 시켜야할 재질이 필요하다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 모듈 박스를 제작하여 온도변화를 측정하였다.

- 실험방법

- 중형, 소형의 모듈상자 2종에 대해 단열방식을 달리하여 내열성능 평가
- 가시창 제작
- 냉각장치의 효율성 확인 및 개선방안 마련
- 각 모듈상자에 열전대 2개씩 설치하여 온도변화 측정

- 실험결과

분류	소형A		소형B		중형A		중형B		연소로 내부온도
	가시창 無	가시창 有	가시창 無	가시창 有	단열재1(외)	단열재1(내)	단열재2(외)	단열재2(내)	
10분	58	60	58	61	52	51	35	34	280
15	74	76	78	79	69	67	46	49	318
20	84	84	86	87	88	88	59	63	322
25	103	115	104	107	109	107	74	81	337
30	125	143	118	134	137	136	86	97	352
40	176	184	157	165	179	179	105	124	188

표3. 내열시험데이터

실험결과 중형상자 단열의 경우 외부 단열재 1코팅보다 내부에 단열재2의 처리를 하는 것이 훨씬 유리하다는 결론에 이르렀고 센서모듈에 열영상 카메라 및 적외선 카메라를 보기위해 장착되어있는 특수유리에 경우 투과되는 열량에 의한 내부온도변화는 거의

차이가 없었다. 여기서 추측할 수 있는 것은 가시창의 크기가 작아 창을 통한 복사열전달 비율이 (상자 전체의 전도나 대류효과에 비해) 크지 않기 때문으로 판단되며, 또한 가열 후 곧 가시창에 그을음이 끼어 창의 투과율이 낮아져 복사열전달이 원활하지 않은 것으로 판단되었다.

2.2 냉각시스템 시험

단열재는 냉각시스템을 사용하지 않고 실내화재진압로봇이 목표로 하는 성능을 이룰 수 있으나 이러한 방법은 단열재의 두께가 많이 두꺼워야 가능하다. 이러한 것을 해결할 수 있는 냉매를 이용하여 일정온도를 일정시간동안 유지하는 방법이 가장 효과적이라 할 수 있다.

- 최고가열온도 : 700℃
- 평균가열온도 : 550℃
- 가열시간 : 총25분
- 결과정리

분류	중형	소형	가열로내부	비 고
특징	가시창, 내부단열재2 냉각장치	외부단열재11+ 내부단열재2 냉각장치	중단 높이	
온도	그림 11참조			

표4. 내열시험방법

- 1) 소형상자 냉각장치 약 900초 경과 후 기능상실
- 2) 중형상자 냉각장치 약 1100초 경과 후 기능상실
- 3) 냉각장치 가동중 소형상자 내부 최고온도 66℃ 이하로 유지
- 4) 냉각장치 가동중 중형상자 내부 최고온도 56℃ 이하로 유지



그림 9.모듈상자 내열시험

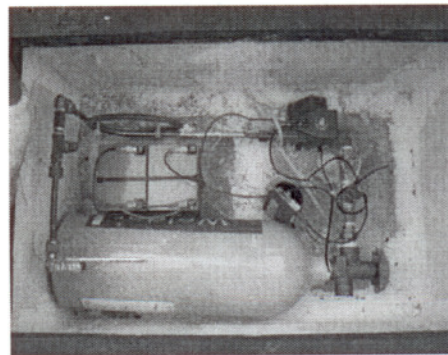


그림 10. 내부냉각탱크

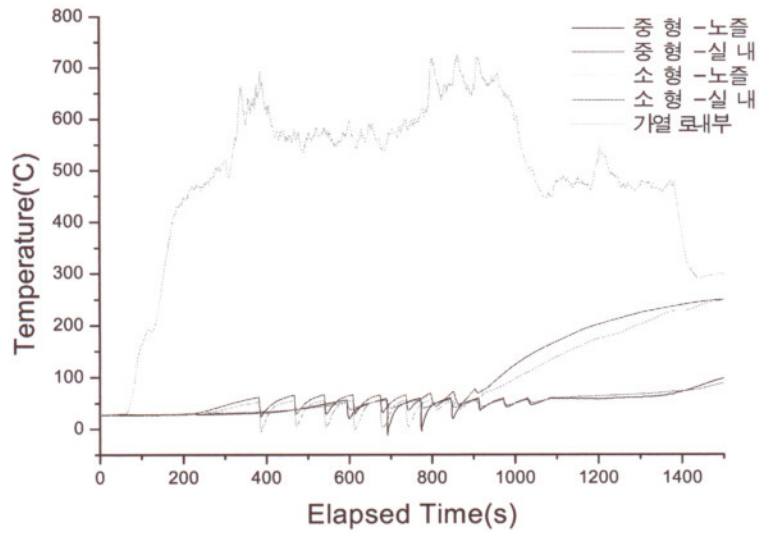


그림 11. 냉각시험 결과

### 3. 결론

본고에서는 실내화재진압로봇에서 개발되어지고 있는 내열 및 냉각시스템의 시험결과 및 진행상황에 대하여 간략히 소개하였다. 현재까지 개발된 로봇은 각 기능을 테스트를 마친 상태이며 고온의 테스트 현장에서 실차를 투입하여 목표성능에 도달되어진다면 진다면 머지않은 미래에 실내화재진압로봇의 활약이 기대된다