

# 실내화재진압로봇의 현장운용성 향상을 위한 실용성 평가

## Evaluation of Field working Improvement for an Indoor Fire-fighting Robot

곽지현\* · 이우준\*\* · 김종권\*\*  
Kwark, Ji-Hyun\* · Lee, Woo-Jun\*\* · Kim, Jong-Kwon\*\*

### Abstract

Fire-fighters have been struggling against heat and dense smoke caused by fire when it occurs especially at the basement or the inner place of a building. An indoor fire-fighting robot with well heat-resistance, great searching cameras and good extinguishing ability has been recently developed. It never suffocate, coming into the fire district and extinguishes fire directly. In this study, several experiment was conducted to promote field working ability of the fire-fighting robot. As a result, heat resistance, water discharge and field working appeared satisfactory.

**key words** : Fire-fighting robot, Field working

## 1. 서론

건물 내부나 지하실에서 화재발생 시 짙은 연기 속에서 시야확보가 가능하고, 화염으로 인한 고열을 극복 하면서 인명 및 화재를 탐색할 수 있으며, 특히 계단이나 문턱 등 다양한 장애물들을 통과하여 소화활동을 수행할 수 있는 실내화재진압로봇을 개발하였다. 이 로봇에 대하여 현장운용성을 극대화하기 위해 핵심성능인 냉각성능과 방수성능 등이 계속하여 개선되었으며 그 결과 보다 안정적이고 효과적인 현장운용능력을 갖 추게 되었다. 본 연구에서는 이러한 사항을 중점으로 실용성을 평가하고자 한다.

## 2. 성능평가항목 및 평가방법

본 연구를 위해 개발된 화재진압로봇은 고성능 카메라가 장착된 몸체부와 캐터필러(무한궤도)가 장착된 구동부, 그리고 방수총이 장착된 방수탑으로 구성되어 있으며 이전 버전에 비해 전고가 약 330mm 낮아져 안정감이 높아졌다. 그동안 로봇의 효과적인 현장운용을 위해 개선해야 할 주요항목은 내열성능과 방수성능으로, 다음과 같은 방법으로 성능을 평가하였다.

### 2.1 내열성능평가

이 화재진압로봇은 화재가 난 건물 내부에 직접 투입되어 운용되므로 화재현장의 평균온도 이상에서 일정시간 내열성능이 확보되어야 한다. 따라서 플래시오버 발생전 화재실의 평균 최고온도에 달하는 섭씨 500°의 조건에서 30분 이상 내열시험을 실시하여 로봇 내외부의 온도변화를 관찰하였다.

시험은 그림과 같이 소형가열로 내에 로봇을 설치하고 [표 1]과 같은 위치에 열전대를 부착하여 가열하는 동안 실시간으로 온도변화를 관찰하였다. 시험 도중 운전자는 로봇의 모듈상자 내부온도가 50℃ 이상이 되면 카메라 장치의 보호를 위해 자기냉각기능을 활용하여 몸체 내외부에 물을 분사함으로써 상자 내부온도가 60℃ 이하로 유지될 수 있도록 조종하였다.

\* 정회원 · 방재시험연구원 기술연구부문 선임연구원 · 공학박사 [kwark@kfpa.or.kr](mailto:kwark@kfpa.or.kr)  
\*\* 정회원 · DRB Fatec 필드로봇연구소

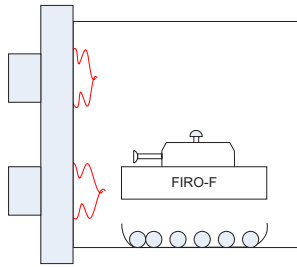


그림 1 내열시험 개략도



그림 2 내열시험 장면

[표 1] 로봇 내열시험을 위한 온도측정위치

위치	1	2	3	4	5	6
1차시험	몸체전면	몸체중앙	캐터필러	모듈상자 내부		로내
2차시험	모듈상자 내부		수냉판 상단	방수탑 내부		로내

**2.2 방수성능평가**

전동식방수총은 소화작업에 직접 이용되는 핵심장치이므로 각 성능을 확인하기 위해 전동식방수총의 인정 기준(FIS019)과 소방용관창의 FILK인정기준(FS035)을 준용하여 다음과 같은 항목에 대해 성능시험을 수행하였다.

**2.2.1 시험항목 및 평가방법**

가. 방수량시험

- 1) 화재진압로봇(이하 로봇)에 시험체를 장착한 채로 배관에 연결한 후, 방수압력을 0.3 MPa ~ 1 MPa 까지 0.1 MPa 씩 증가시킨다.
- 2) 방수총의 방수형태를 직사 및 완전방사로 하여 각 방수압력(P)에 따른 방수량(Q)을 측정한다.
- 3) 직사 및 완전방사 시의 방출계수(K)를 다음 식에 의해 산출한다.(소수점 셋째자리에서 반올림)

$$K = \frac{Q}{\sqrt{10P}} \quad (Q : L/min, P : MPa)$$

나. 방사각도 및 방수거리 시험

- 1) 방사각도 시험은 풍속 4.4 m/s 이하의 조건에서 시험방수압력으로 방사하여 최대 퍼짐폭에 따른 방사 거리 및 방사각도를 측정한다.
- 2) 방수거리시험은 방수총을 양각 (30±5)°로 맞추고 풍속 4.4 m/s 이하의 조건에서 시험방수압력으로 직사하여 지표면에 집주방수 된 거리를 측정한다.
- 3) 시험방수압력은 제조사 사양의 1차측 최소압력과, 최대압력을 말한다.
- 4) 방사각도는 120° 이상이어야 한다.

다. 누설시험

- 1) 시험장치 내의 공기를 제거하여 정수압력이 방수총에 가해지도록 연결하고, 분당 1.5 MPa 이내의 비율로 1.5 MPa의 정수압력을 2분간 가하여 방수총의 누설량을 측정한다.
- 2) 누설량은 10 ml/min × 안지름(mm)/25(mm) 이하 이어야 한다.

라. 내압시험

시험장치 내의 공기를 제거하여 정수압력이 방수총에 가해지도록 연결한 후, 0에서 2.0 MPa까지 수압을 가하여 압력이 안정되면 5분간 균열이나 변형, 누수 등이 있는지 관찰한다.

마. 염수분무시험

- 1) KS D 9502에 따라 8시간 분무, 16시간 방치를 5사이클 반복한다.
- 2) 부식생성물이 있는 경우 물로 씻고 부식이 전면적인지 부분적인지 확인하며, 현저한 부식이 발생하

지 않아야 한다.

바. 고온 및 저온시험

시험체의 노즐을 폐쇄상태로 하여 항온조에 넣고 온도 (60±1) ℃, 습도는 자연상태에서 16시간 동안 방치하고, 다시 온도 (-30±1) ℃, 습도는 자연상태에서 24시간 동안 방치한 후, 방수량시험을 실시한다.

2.3 현장운용능력평가

2.3.1 시험장치

이전 버전에 비해 성능이 개선된 로봇의 현장운용능력을 평가하고자 30m(L)×18m(W)×12m(H)의 실내 화재시험장에 그림 3과 같이 실제 건물내부와 유사하게 계단과 경사로, 좁은 통로를 모사한 협소구역, 문턱과 출입문을 모사한 수직장애물, 화재로 인한 각종 낙하물과 기타 장애물을 모사한 요철구간, 화원에 해당하는 목표물(타겟)등을 구성하였다.

2.3.2 시험방법

- 1) 현장운용능력을 평가하기 위해 조종자는 시험장 밖에서 원격조종장치의 모니터를 통해 로봇을 조종한다.
- 2) 화재로 인해 어두운 실내에서 적외선카메라와 열화상카메라를 이용하여 통로를 찾는다.
- 3) 계단과 경사로를 통과하고 출입문을 통과해 진행한다.
- 4) 협소구역(크랭크코스) 통과 능력을 검증한다.
- 5) 수직장애물과 요철구간 통과능력을 평가한다.
- 6) 목표물을 찾아내어 방수총으로 진압한다.
- 7) 위 코스들을 적절히 재배치하여 시험을 반복하고, 진압활동 시간을 측정하여 현장운용능력을 검증한다.

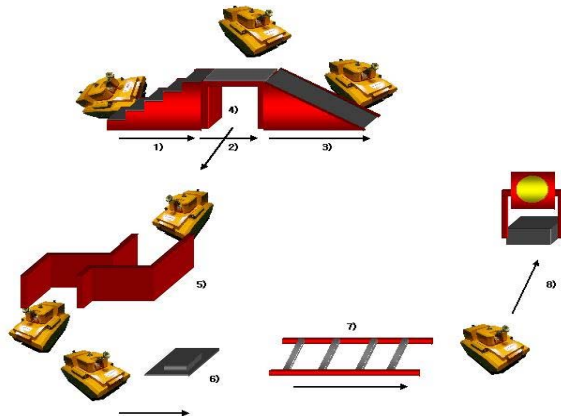


그림 3 현장운용을 위한 화재시험장 및 화재모형

3. 평가결과 및 고찰

3.1 내열성능 평가

이 화재진압로봇은 철재 몸체와 고열에 견딜 수 있는 캐티필러로 구성되어 있어 기본적으로 열에 강하게 설계되어 있으나, 고가의 영상장비와 통신장비들은 열에 약하므로 초기 개발단계에서는 이들을 단열처리 된 모듈상자 속에 넣어 몸체 내부에 장착하였다.

상반기 시장검증사업에서 이러한 모듈상자의 단열방식에 따라 내화성능을 확인해 보았는데 단순한 단열제의 적용은 모듈상자 내부의 온도를 20분 이상 보장해주지 못하였다.

또한 냉매분사장치를 설치하여 일정온도(60℃) 이상이 되면 자동으로 냉매가 분사되어 증발되면서 내부의 온도를 낮추어 주는 방식을 적용해 보았는데 장치가 작동하는 동안은 내부 최고온도가 적절히 유지되었으나 약 15~20분후 냉매가 소진되면서 기능을 상실하였다. 이 방법은 냉각장치의 부피가 너무 커 컴팩트한 로봇의 설계에 걸림돌이 될 것으로 보여 하반기 사업단계에서 로봇 몸체 내외부에 냉각수를 분사하는 새로운 방

식을 고안하였다.

냉각수는 소화호스를 통해 공급되는 소화용수의 일부가 방수탑 상단의 스프링클러 헤드와 몸체 내부의 수냉판 위로 보내어지게 되는데, 스프링클러 헤드에서 분사되는 물은 로봇 몸체 전체를 냉각하는데 이용되고, 수냉판 위로 공급되는 물은 수냉판과 모듈상자와의 열교환을 통해 상자내부의 온도가 상승하지 않도록 보호해준다.

1차 내열시험에서 가열 시작 약 10분 후 노 내부는 500℃에 달했으며, 수냉장치를 가동하자 로봇 몸체의 온도는 300~400℃에서 100~300℃로 떨어졌고, 다시 수냉장치를 멈추자 온도가 상승하였다. 이 시험에서는 모듈상자 내부 벽면에 단열재를 부착하였는데 수냉작용의 도움으로 최고온도가 60℃ 이하로 유지되었다.

단열재의 부착은 상자내부의 유효공간을 많이 차지하므로 효율성을 높이기 위해 단열재 없이 수냉장치만으로 냉각이 가능한지 여부를 2차 시험에서 타진해 보았다.

시험결과 그래프에서 보듯이 수냉장치 가동과 함께 방수탑 내부는 200℃ 이하로 유지되었으며, 특히 카메라가 장착된 모듈상자 내부는 60℃ 이하로 계속 유지되어 수냉방식만으로 로봇이 활동할 수 있는 최대시간 동안 충분히 냉각이 가능할 것으로 판단된다.

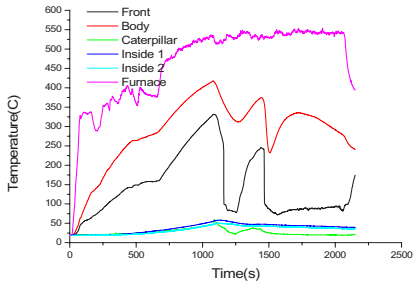


그림 4 1차 내열시험 온도 그래프

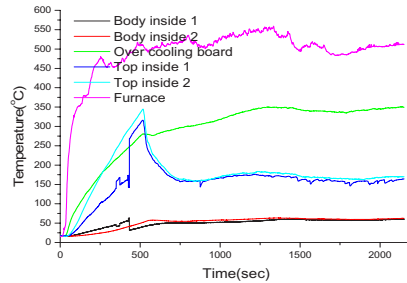


그림 5 2차 내열시험 온도그래프

### 3.2 방수성능 평가

#### 3.2.1 방수량시험

[표 5] 방수량 시험결과 - 직사

방수압 (MPa)	방수량 (ℓ/min)	방출계수 (K)	제조사 사양
0.3	270	155.9	-
0.4	310	155.0	-
0.5	350	156.5	-
0.6	380	155.1	-
0.7	410	155.0	-
0.8	440	155.6	-
0.9	470	156.7	-
1.0	490	155.0	-
평균	-	155.6	160

[표 6] 방수량 시험결과 - 완전방사

방수압 (MPa)	방수량 (ℓ/min)	방출계수 (K)	제조사 사양
0.3	310	179.0	-
0.4	360	180.0	-
0.5	400	178.9	-
0.6	440	179.6	-
0.7	480	181.4	-
0.8	510	180.3	-
0.9	540	180.0	-
1.0	570	180.2	-
평균	-	179.9	180

#### 3.2.2 방사각도 및 방수거리 시험

[표 4] 방사각도 및 방수거리 시험결과

시험방수압력 (MPa)	방사각도(°)	방사거리(m)	직사 방수거리(m)	방수거리(m) (직사,제조사 사양)
최소	160	5.2	21	20
최대	120	6.2	35	35

\* 제조사 사양과의 편차 : 최소방수압력시 - 5%, 최대방수압력시 - 0%

3.2.3 누설, 내압, 염수분무시험

정수압력 1.5MPa에서 누설이 없었으며, 또한 시험압력에서 5분간 균열이나 변형, 누수 없었고, 염부분무시험결과 현저한 부식이 발생하지 않았음.

3.2.4 고온 및 저온시험

고온 및 저온 ℃에서 각각 16시간, 24시간 방치 후 외관상 문제점은 발견되지 않았으며 방수량시험 결과 이상 없었음.

3.3 현장운용능력 평가

3.3.1 시나리오 1

건물내 진입→협소구역 통과→경사로 진입→계단 하강→수직장애물 및 요철구간 통과→목표물 발견

1) 시험결과

건물내 진입	협소구역 통과	경사로 진입	계단하강	수직장애물 및 요철구간 통과	목표물 발견
0:00	0:30	1:15	1:45	2:40	3:00

3.3.2 시나리오 2

건물내 진입→터널구간 통과→계단 상승→경사로 하강→협소구역 통과→장애물구간 통과→목표물 발견

1) 시험결과

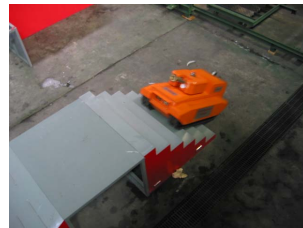
건물내 진입	터널구간 통과	계단상승	경사로 하강	협소구역 통과	장애물구간 통과	목표물 발견
0:00	0:20	1:15	1:35	2:30	3:00	3:20



협소구역



출입문



계단진입



계단상승



요철구간



수직장애물

그림 6 현장운용능력 평가 주요장면

4. 결 론

인명 및 화재탐색과 소화활동을 위해 개발된 실내화재진압로봇의 현장운용능력을 극대화하기 위해 개발과정에서 발생한 개선사항들에 대하여 성능을 보완하고 그에 따른 실험 및 평가를 수행한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

가. 내열성능 - 냉매장치 대신 수냉판에 의한 몸체 내부의 냉각방식 채택과 방수탑 상단의 물분사헤드 적용으로 보다 효과적이고 우수한 내열성능을 확보하게 되었다. 이에 따라 생산비용 절감과 로봇의 콤팩트화가

가능하게 되어 로봇의 전고를 낮추고 더욱 안정적인 계단승월 및 장애물 통과 능력을 갖게 되었으며, 또한 물공급이 계속되는 한 장시간의 소방활동이 가능케 되었다.

나. 방수성능 - 화재진압의 기본이 되는 방수성능이 다양한 방수조건에서 확인되었다. 직사와 완전방사를 적절히 조율하면 건물 내의 화재를 효과적으로 진압할 것으로 사료된다.

다. 현장운용성 - 이전 버전에 비해 전고가 330mm나 낮아진 신형 로봇은 주행안정성 및 승월기능이 크게 향상되어 35°계단 및 경사로와 요철구간, 수직장애물 등을 보다 안정적으로 신속히 통과할 수 있게 되었다.

### 감사의 글

본 연구는 지식경제부의 하반기 서비스로봇 시장검증사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. D. Drysdale, *An Introduction to Fire Dynamics* (New York: Wiley, 1985), p.36
2. *실내화재진압로봇의 화재진압성능평가(하반기) 연구보고서*, 방재시험연구원, 2008.