

자동식소화기용 이용성금속 감지부 형상에 따른 열감응 특성에 관한 연구

Heat Response According to Fusible Metal Shapes in Automatic Fire Extinguishers

박 용 환[†]

Yong-Hwan Park[†]

호서대학교 소방학과

(2003. 8. 11. 접수/2003. 11. 28. 채택)

요 약

주택화재 특히 아파트 저층부나 일반주택은 자동화설비 대신 수동식소화기에 의존하고 있어서 사람이 없거나 노약자만 있을 시에는 화재에 매우 취약하다. 따라서 화재로 인한 희생을 줄이기 위해서는 발생한 화재를 초기에 자동으로 진압하는 것이 가장 중요하며, 이를 위하여 자동감지장치가 탑재된 경제성 있는 자동식소화기가 개발되었다. 본 논문에서는 자동식 소화기의 핵심 기능인 열감지부의 최적 성능을 찾기 위하여 감지부 형상과 가열속도에 따른 작동온도와 응답특성 관계를 규명하였다. 자동감지소화기의 감지부의 이용성금속과 캡의 경우 두 재질 모두 열전도성이 우수한 금속임에도 불구하고, 각각의 미소한 두께 변화는 주변 대기의 가열속도가 낮을수록 작동온도에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이용성금속 및 캡의 두께를 얇게 할수록 선형적으로 감소하였으며 작동시간을 최고 40초까지 단축할 수 있는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

Low story apartments and housings with manual fire extinguishers are very susceptible to fire damages, when people are absent or there are old and weak peoples. To reduce such fire damages, automatic fire suppression at the early stage is very important, and thus automatic and cost-effective fire extinguisher was developed. This study revealed that the reaction temperature and response time are greatly influenced by the small thickness variation of the detective parts and heating rates. The influence of the thickness of the detective parts was shown significant when the heating rate was low. The reduction in the thickness could lower the response time to 40 seconds.

Keywords : Automatic fire extinguisher, Fusible metal, Heat detector, Reaction time

1. 서 론

최근 급속한 경제발전과 건축기술의 향상으로 건축물의 대형화, 복합화, 초고층화가 광범위하게 추진되고 있으며, 점차 첨단화, 지능화된 소방설비를 포함한 자동방재시스템을 갖춘 인텔리전트 빌딩도 많이 출현하고 있다. 그러나 소방법상으로는 일정 규모 이상의 건물과 특수 위험물 저장 시설에만 자동식 소화설비를 갖추게 되어 있을 뿐이어서, 대부분의 많은 소형 건물

들은 아직도 수동식 소화전 설비나 수동식 소화기에 크게 의존할 수밖에 없는 실정이다. 특히 소형 사무실이나 단독주택, 저층 아파트, 재래시장, 집단 상가, 소규모 유흥시설, 소규모 청소년 및 경로 시설 등에는 여전히 변변한 자동소화설비 하나 없이 단지 몇 개의 수동식 소화기에 의존함으로써 구조적으로 화재에 취약할 수밖에 없는 문제점을 안고 있으나 크게 개선의 방향이 보이지 않고 있다. 이로 인해 야간이나, 외출 중에 화재가 일어났을 경우, 또 맞벌이 부부 및 고령인구 증가에 따라 어린이나 노인들만 집을 지키고 있을 시에는 화재발생으로 인한 인명 및 재산상의 피해 규

[†]E-mail: yhpark@office.hoseo.ac.kr

모는 더욱 커질 수밖에 없다.¹⁾

현재 자동화산소화용구는 고층아파트의 주방 등 특정 장소에만 설치되고 있으며, 자동식 스프링클러 설비는 설비 규모상 모든 건물에 확대 적용하기가 거의 불가능하다. 이에 따라 정부에서는 간이 스프링클러 설비 활용 등 대안 마련에 나서고 있으나, 여전히 설치비용 문제로 소규모 유흥다중시설 등 특수 용도에 국한될 전망이다.^{2,5)}

이의 개선책으로 수동식 소화기처럼 대부분의 화재 종류에 적합하고, 가격이 저렴하며, 설치공간이 작아 일반 주택이나 사무실 등 좁은 공간에도 손쉽게 비치할 수 있고, 사람이 없는 경우에도 자동으로 동작할 수 있도록 열감응에 의한 자동 소화기능을 새로이 가미한 소형 자동식 소화기가 국내에서 최근에 개발되었다.⁶⁾

이에 따라 본 연구에서는 본 소화기의 핵심 장치인 자동감지부의 최적 설계를 위하여 이용성금속 감지부의 두께 및 대기 가열속도 변화에 따른 감열부 작동온도 및 반응시간 등 열 감응 특성을 평가하고자 하였다.

2. 자동식 소화기 개요

2.1 국내의 기술동향

일반적으로 자동식소화기는 가연성가스의 누출이나 화재발생시 정보를 발하고 가연성가스의 누출을 자동으로 차단하여야 하며, 화재발생시에는 감지부 작동에 의해 소화약제를 압력에 의하여 자동으로 방사하여 소화하는 것을 말한다.

본 연구에 사용된 자동식소화기는 기존의 레버 작동식 수동식 소화기 용기에 이용성금속을 사용한 자동감지 작동장치를 밸브나 몸체에 부착한 것으로, 무인 소형공간의 단순화재에 손쉽게 대응하기 위하여 개발되었다. 현재 국내외에서 시판되고 있는 자동식소화기와는 그 구조에서 근본적인 차이가 있으며, 작동 메커니즘은 오히려 자동화산소화용구와 비슷하다.^{6,8)} 그러나 필요에 따라서는 별도의 조작 없이 레버를 눌러 사용하는 기존의 수동소화기처럼 사용도 가능하다.

2.2 감지부 작동원리

Fig. 1에서 보는 바와 같이 자동식소화기의 용기는 원가절감과 제작의 수월성을 위하여 기존의 수동식 소화기 용기를 그대로 사용할 수 있게 하였으며, 용기 이외의 부분은 별도로 고안되고 제작된 자동감지부와 노즐, 손잡이를 사용하고 있다.

본 연구에 사용된 소화약제, 용량 및 가압방식은 각각 ABC 분말 소화약제 3.3 kg 용량의 축압식이며, 축

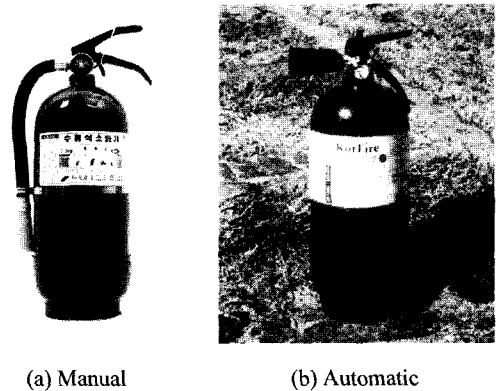


Fig. 1. Fire extinguishers.

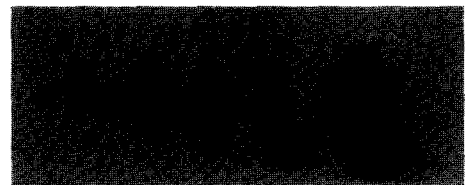
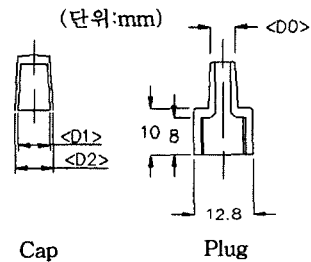


Fig. 2. Heat detecting components.

압력은 약 9.8 kg/cm²로 하였다. 기존의 소화기와 가장 큰 차이점 가운데 하나인 노즐은 자동분사에 대비하여 원활한 방사가 이루어질 수 있도록 호스 부분을 없애고 노즐이 직접 본체에 부착되도록 설계되어 있다.

현재 국내 소방법에 의해 수동식 소화기와 자동식 소화기 및 자동화산소화용구는 해당 기술기준에 의해 그 성능을 평가받도록 되어 있으나, 본 용도와 같은 자동식소화기에 대한 별도의 기술기준은 없는 실정이다. 따라서 적용대상이나 작동방식에는 다소간의 차이가 있지만 자동식소화기로서의 성능특성상 가장 중요한 부분의 하나인 감지부에 대한 성능기준은 유사할 것으로 가정하였다.^{9,11)}

본 소화기의 자동감지기구는 작동원리가 단순하면서도 동작이 확실한 이용성금속을 이용한 열감응식의 기계적 메커니즘으로 되어 있는데, Fig. 2에서 보는 바와

같이 소화기 용기 토출구를 금속마개로 막은 다음 저용점 금속으로 접합한 상태에서 화재 발생 열에 의해 저용점 금속이 먼저 용융되어 접합강도가 떨어지면 스프링 압력에 의해 튕겨져 나오면서 용기 내부의 소화약제가 노즐을 통하여 방사되도록 고안되어 있다.

3. 감지부 성능시험

자동식 소화기에서 사용되는 이융성 금속성 감지부의 특성을 평가하기 위한 시험에는 강도시험, 작동시험, 감도시험의 세 가지가 있다. 이 중 강도시험 결과에 대해서는 이미 기술기준을 충분히 만족하는 것으로 나타났기 때문에, 본 연구에서는 감지부의 온도 특성과 관계가 있는 작동온도와 감도특성에 대한 성능평가를 실시하였다.

이를 위하여 Table 1 및 Table 2와 같이 감지부를 구성하고 있는 캡과 이융성금속의 두께 치수를 모두 8가지 경우로 변화시켜 가며, 동일한 가열조건 하에서 열에 대한 감도, 즉 반응시간이 어느 정도 되는지 살펴 보았다. 이때 가열조건은 자동식 소화기의 소방 기술기준에 의한 가열속도와 자체적으로 실시한 현장 화재실험에서 구한 가열속도의 2가지 조건으로 시험하고 그 결과를 비교하였다.

Fig. 3은 감지부 작동온도시험에 사용된 가열수조와 감도시험에 사용된 가열로, 그리고 시험온도 및 시험시간을 기록한 데이터저장장치가 탑재된 컴퓨터를 나

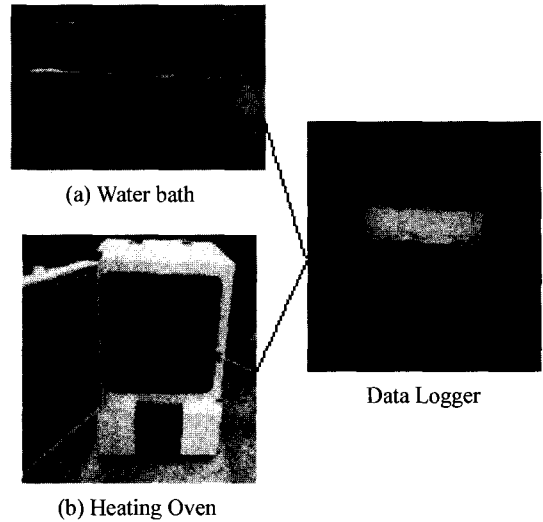


Fig. 3. Experimental test set-up.

Table 3. Chemical compositions of the fusible metal

| Composition | Percent(%) | Density(kg/m ³) |
|-------------|------------|-----------------------------|
| Bi | 50.0 | 9.80 |
| Pb | 26.6 | 11.36 |
| Sn | 13.4 | 7.35 |
| Cd | 10.0 | 8.65 |
| Total | 100.0 | - |

Table 1. Thickness variation of fusible metal(Tcap=0.7mm) (unit:mm)

| Specimen No. | D1 | Tfm | D2 |
|--------------|----|-----|-----|
| Group A | N1 | 6.8 | 8.2 |
| | N2 | 7.0 | 8.4 |
| | N3 | 7.2 | 8.6 |
| | N4 | 7.4 | 8.8 |

*Tfm=(D1-D0)/2, D0=6.4

*Tcap=(D2-D1)/2

Table 2. Thickness variation of caps (Tfm=0.2 mm) (unit:mm)

| Specimen No. | D1 | D2 | Tcap |
|--------------|----|-----|------|
| GroupB | N5 | 8.2 | 0.7 |
| | N6 | 8.4 | 0.8 |
| | N7 | 8.6 | 0.9 |
| | N8 | 8.8 | 1.0 |

타내고 있다.

열 감지용으로 사용되는 저용점 금속은 국내에서 쉽게 구입이 가능하고 신뢰성이 높은 공칭작동온도 72°C의 것을 선정하여 사용하였는데, Table 3은 본 연구에 사용된 이융성금속의 주요 화학적 성분과 개략적인 함량을 나타내고 있다.

3.1 작동온도시험

작동시험은 화재시 이융성금속이 열에 의해 용융됨으로써 자동감지부가 작동하게 되는 온도를 알기 위한 시험이다. 기술기준은 이융성금속형 감지부를 가열 수조 내 비이커에 넣고 그 감지부의 공칭작동온도보다 20°C 낮은 온도로부터 매분 1°C 이내의 비율로 상승시키는 경우 감지부가 작동하는 온도의 실제 측정값은 공칭작동온도의 ±3% 이내이어야 한다.⁹⁻¹¹⁾

이를 위하여 본 연구에서는 모두 8종류의 시험편에 대하여 가열 수조와 증탕용 비이커를 사용하여 작동시험을 실시하였는데, Fig. 4와 Fig. 5는 각 시험편별 실

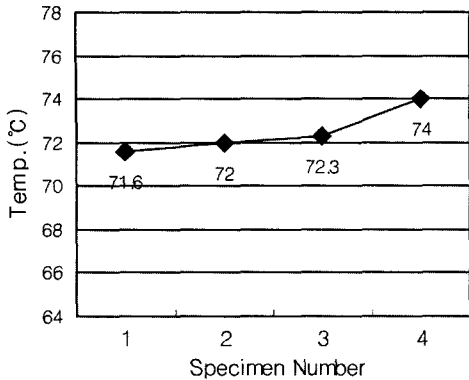


Fig. 4. Response temperature of Group-A specimens.

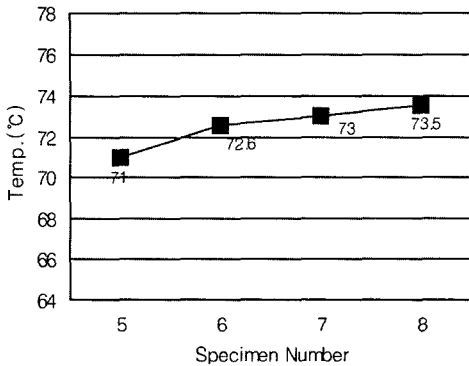


Fig. 5. Response temperature of Group-B specimens.

험결과를 그래프로 나타낸 것이다. 이 때 시험편 N1과 N5는 같은 형상조건이다.

감지부의 작동은 화재 열전달에 의해 캡 내부에 있는 이음성금속의 용융이 이루어짐으로써 발생하는데, Fig. 4와 Fig. 5에서 보는 바와 같이 이음성금속의 용융온도는 시험편에 관계없이 동일함에도 불구하고 이음성금속의 두께가 두꺼워질수록, 또 캡의 두께가 두꺼워질수록 자동감지부의 작동온도는 조금씩 증가하는 것으로 나타났다.

이것은 열전도율이 벽 두께에 반비례하기 때문에 캡 두께가 증가하면 가열 수조내 물의 온도로부터 내부에 있는 이음성금속으로의 열전달이 늦어지고, 따라서 접합면에서 이음성금속의 용융온도에 도달할 때까지 걸리는 시간이 길어지게 되며, 그 사이에 가열 수조의 물의 온도는 조금씩 더 상승하였기 때문으로 분석된다.

한편, 캡의 두께가 일정하고 이음성금속의 두께만 점점 두꺼워진 경우에는 이음성금속의 용융온도 도달시간에는 별 차이가 없지만, 이음성금속 두께 증가에 따

른 내부온도 저하로 용융되는데 소요되는 시간의 증가가 작동온도 증가로 이어졌기 때문으로 분석되었다.

그러나, 그림에서 보는 바와 같이 본 연구에 사용된 두께 치수는 시험편의 종류에 관계없이 공칭작동온도 72°C를 기준으로 할 때 시험편의 최대 온도편차 범위가 +2°C, -1°C인 것으로 나타났으며, 이는 허용 편차 범위인 ±3% 이내에 있는 것으로 나타나 모두 기술기준에 부합하는 형상조건인 것으로 나타났다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 이음성금속의 두께가 0.5 mm인 시험편 4의 경우 최고 한계온도인 74°C에 도달함으로써 0.5 mm 이상의 접합 두께는 부적합함을 나타내고 있다. 최저 한계온도 도달에는 어느 정도 여유가 있으나 접합두께가 0.2 mm 이하로 너무 얇을 경우에는 실질적으로 제조상 접합이 용이하지 않은 것으로 나타났다. 또 Fig. 4에서 보는 바와 같이 캡의 두께가 1.0 mm 일 경우에도 최고한계온도에 근접함으로써 캡의 두께를 1.0 mm 이상으로 하는 것도 바람직하지 않음을 알 수 있다. 캡의 두께를 0.7 mm 미만으로 하는 것은 가공상의 어려움이 발생하여 역시 부적합한 것으로 나타났다.

3.2 감도시험

감도시험은 화재시 감지부가 대기 중의 온도에 얼마나 신속히 반응하는지를 알아보기 위한 시험으로, 초기소화를 목적으로 하는 자동식 소화기에 있어서 매우 중요한 평가 항목이다.^{10,11)}

통상 감지부를 가열 시험로에 넣은 후 공칭작동온도 구분에 따라 해당 작동시간 내에 작동하여야 하는 것으로 되어 있다. 이때 가열로에 Fig. 6(A)의 가열온도-시간곡선에 따라 가열되는데, 가열로 내의 온도가 50°C에 도달하였을 때 감지부를 1 kg/cm²의 압력을 가한 상태에서 가열로 내에 투입하고 투입 후 작동 시까지

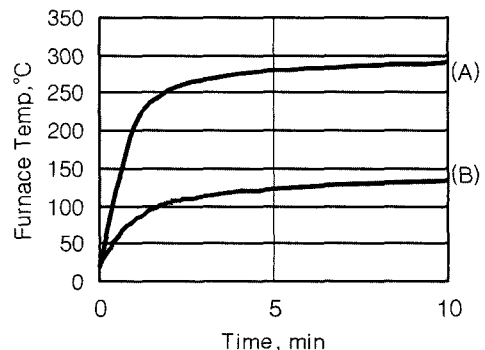


Fig. 6. Two types of heating temperature-time curves.

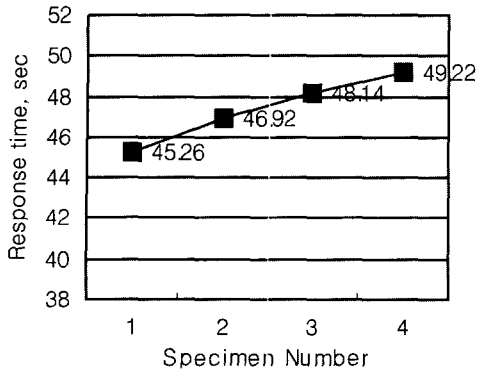


Fig. 7. Response time of Group-A according to heating curve (A).

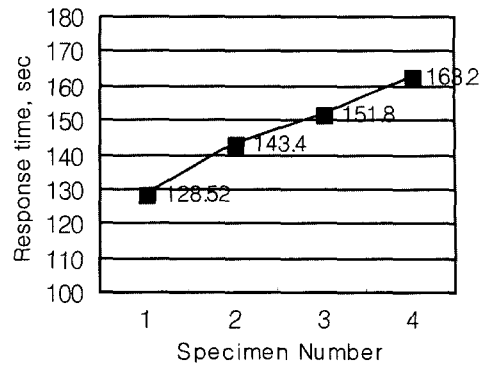


Fig. 9. Response time of Group-A according to heating curve (B).

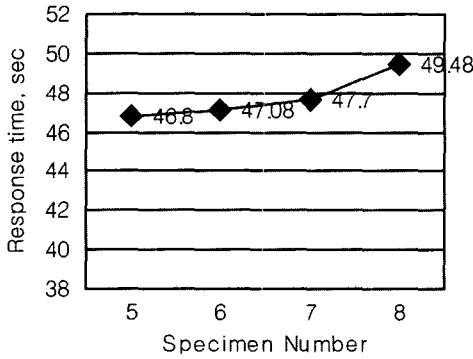


Fig. 8. Response time of Group-B according to heating curve (A).

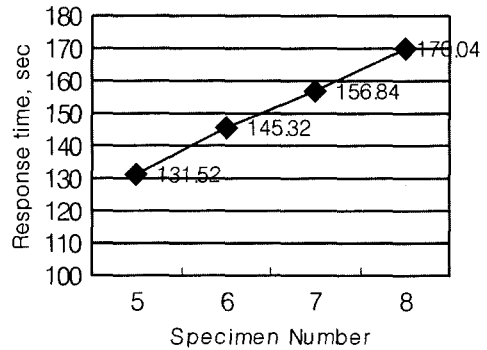


Fig. 10. Response time of Group-B according to heating curve (B).

의 시간을 측정하게 되어 있다. 기술기준에 의거하면 75°C 미만의 경우 작동시간은 1분 이내로 되어 있다.

그러나 본 자동식소화기의 경우 용도가 기존의 자동 확산소화용구와는 달리 소화기가 발화 예상지점의 상단 바로 위에 위치하지 않는 경우도 있기 때문에 작동 시간에 있어서는 이 기준을 그대로 적용하기가 어려운 면이 있다. Fig. 6(B)는 실제 화재시험에서 화재와 가장 멀리 떨어진 경우에 얻어진 감지부 주변 대기의 온도상승곡선으로 본 연구에서 감도시험의 가열온도-시간곡선으로 적용하여 그 결과를 비교하였다.

Fig. 7 및 Fig. 8에서 보는 바와 같이 가열곡선 (A)에 대해서는 모든 시험편은 작동시간이 45~50초 범위로 나타났으며, 이는 기준 작동시간 60초 보다 짧은 값이어서 자동식 소화기로서의 적합함을 보여주고 있다.

Fig. 9 및 Fig. 10은 가열속도 (B)의 경우에 대한 작동시간을 나타낸 것으로 120~170초의 범위를 나타내었으며, 시험편 N1(또는 N5)이 작동시간이 가장 짧은

것으로 나타났다. 이러한 이유는 시험편 N1의 경우는 캡의 두께는 일정한 반면, 이용성금속의 두께가 가장 얇았고, 시험편 N5의 경우는 이용성금속의 두께는 일정한 반면 캡의 두께가 가장 얇았기 때문에 주위 대기 온도로부터 용융온도에 이르는 열전달 시간이 가장 짧았던 것으로 분석되었다.

또한 가열속도가 비교적 빠를 시에는 작동시간에 큰 차이를 보이지 않았으나, 가열속도가 느릴 경우에는 감지부의 형상조건이 작동시간에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

이상의 실험결과로 미루어 볼 때 가열속도에 관계없이 본 실험조건 중에서 가장 짧은 작동시간에 반응하는 감지부의 형상 조건으로 캡 두께는 약 0.7 mm, 이용성금속의 두께는 약 0.2 mm로 하는 것이 가장 바람직한 것으로 나타났다.

그러나 화재 발생지점이 가장 멀리 떨어진 경우라는 것을 감안하더라도 2분 이상의 작동시간은 화재 성상의 특성을 고려할 때 화재 진압에 어려움이 있을 수가

있으며, 따라서 작동시간을 1분 이내로 줄이기 위해서는 공칭작동온도를 보다 낮게 설계하여야 할 것으로 판단되나, 이에 대한 최적 온도기준은 보다 자세히 연구되어야 할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구를 통하여 얻어진 결과를 요약하면

1. 자동감지소화기의 감지부의 이음성금속과 캡의 경우 두 재질 모두 열전도성이 우수한 금속임에도 불구하고, 각각의 미소한 두께 변화는 주변 대기의 가열속도가 낮을수록 화재시의 작동온도에 더 큰 영향을 미친다.
2. 본 자동식 소화기를 위한 가장 최적의 감지부의 치수 조건으로는 캡 두께 약 0.7 mm, 이음성금속의 두께 약 0.2 mm로 하는 것이 가장 바람직한 것으로 나타났다.
3. 이음성금속 및 캡의 두께를 얇게 할수록 선형적으로 감소하여 작동시간을 최고 40초까지 단축할 수 있는 것으로 나타났으며, 다만 원거리 화재시라도 작동시간을 유효 소화시간 1분 이내로 줄이기 위해서는 공칭작동온도를 보다 낮게 설계하여야 할 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. 행정자치부, “화재방호정책자료집”, pp.25-28(2000. 2).
2. 소방검정공사, “주거용 스프링클러 설비도입에 대하여”, 소방검정, Vol. 11, No. 2, pp.22-34(1992. 10).
3. 일본화재학회, “주거용 스프링클러 설비”, 일본화재학회지, Vol. 42, p.39(1992. 5).
4. 진중신, “주택에서의 스프링클러설비의 경제성에 대한 연구(III)”, 소방2000년, No. 9, pp.90-97(1990. 8).
5. 이춘하 외, “주거용 스프링클러 설비의 도입에 관한 연구”, 한국화재소방학회 추계학술대회 논문집, pp.252-258(2001).
6. 박용환, “이음성금속 응용 자동감지형소화기의 소화특성에 관한 연구”, 화재소방학회논문지, 한국화재소방학회, Vol. 17, No. 1, pp.1-7(2003).
7. NASA, “Selective Automatic Fire Extinguisher for Computers”, NASA Report(1990).
8. C. W. Wilson, T. M. Trujillo, and D. Zallen, “Selective Automatic Fire Extinguisher for Class A with Notification”, NASA Report(1983).
9. KOFEIS, “수동식 소화기의 형식승인 및 검정기술기준 · 시험세칙”, 한국소방검정공사(1999).
10. KOFEIS, “자동식 소화기의 형식승인 및 검정기술기준 · 시험세칙”, 한국소방검정공사(1999).
11. KOFEIS, “자동확산소화용구의 형식승인 및 검정기술기준 · 시험세칙”, 한국소방검정공사(1999).