한국화재소방학회 논문지, 제23권 제3호, 2009년
[논 문]

J. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.
Vol. 23, No. 3, 2009

주택 실물화재실험에 의한 화재감지기 응답특성에 관한 연구

A Study on the Response Characteristics of Fire Detector by Full-scale Experiment of Fire Phenomena in the Row House

사공성호 · 김시국* · 이춘하* · 정종진†

Seong-Ho Sakong · Shi-Kuk Kim* · Chun-Ha Lee* · Jong-Jin Jung†

한국소방산업기술원 소방산업기술연구소, *호서대학교 소방방재학과
(2009. 4. 7. 접수/2009. 6. 19. 채택)

요 약

본 논문은 주택 실물화재실험에 의한 화재감지기 응답특성에 관한 연구로서 철거가 예정된 연립주택을 화재실험대상으로 선정하여 현재 가장 많이 사용되고 있는 감지기 종류인 열감지기(차동식, 정온식, 아날로그식)와 연기감지기(광전식, 아날로그식, 단독경보형)를 주택내부에 설치여 화재감지기의 응답특성을 분석하고, 추가적으로 건물내부로의 화염전파 및 화재확대를 관찰하기 위해 열전대를 설치하여 온도변화를 측정하였다. 실험결과 주택에서 효과적인 화재감지시스템을 구축하기 위해서는 연기감지기가 열감지기보다 주택용 감지기로 적합한 것으로 나타났다.

ABSTRACT

This paper is for response feature of fire detectors not only to analysis response feature of fire detector, but also to observe flame spread of inside-building and fire enlargement by using the row house which is supposed to be broken up. Many kinds of popular detectors such as heat type detector(differential type, fixed temperature type, Analogue type)and smoke type(light scattered type, Analogue type, single alarm type) were installed in the house in order to check for the change of temperature by installing of thermocouples. As a result, smoke detectors are better than heat detectors when it comes to making effective fire-detect system in the row house.

Keywords : Heat detector, Smoke detector, Full scale experiment, Flame spread, Row house

1. 서 론

주택은 인간을 자연적 피해 및 사회적 침해로부터 보호하기 위한 건물로 인간의 삶에 가장 필요한 요소 중에 하나이다. 사회가 발전하면서 주택의 모습은 생활환경의 편리성 및 고급화를 추구해 나갔지만,[1] 반면에 주택에서의 화재는 줄어들지 않는 추세이다. 2008년도 소방방재청에서 발표한 '2008년 화재발생현황 분석'[2]에 의하면 2008년 한 해 동안 49,631건의 화재가 발생하였고, 이 중 주거지역에서의 화재가 12,285건으로 전체 화재건수의 24.8%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 주거지역에서의 화재를 원인별로 살펴보면 부주의 52.5%, 전기적원인 20.7%, 원인미상 9.5%, 방화의심 8.1% 등으로 부주의에 의한 화재가 많이 발생되는 것으로 나타났다.[3]

주택에서 부주의로 인한 화재는 여러 가지 요인들이 있을 수 있으나, 음식물조리 중의 부주의가 가장 많은 부분을 차지하고 있다.

이와 같이 주택화재를 예방하기 위한 효율적인 대책 마련이 시급한 실정이지만, 기존까지의 연구들은 문헌 및 시뮬레이션을 통한 이론적 해석연구로 그 예방대책을 제시하였지만, 실제화재에 적용하기에는 다소 부족한부분이 있어 실제화재에 접목시킬 수 있는 현실적인 대책 방안이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 철거가 예정된 연립주택을 화재실험대상으로 선정하고 현재 가장 많이 사용되고 있는 감지기 종류인 열감지기(차동식, 정온식, 아날로그식)와 연기감지기(광전식, 아날로그식, 단독경보형)를

† E-mail: samjjung@hanmail.net

주택내부에 설치한 후, 실물화재 실험을 실시하여 화재감지기의 응답특성을 분석하고, 추가적으로 건물내부로의 화염전파 및 화재확대를 관찰하여 효과적인 화재감지시스템 구축을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 실 험

2.1 실험대상

본 연구에 사용된 화재실험대상은 Figure 1에서 보는 바와 같이 철거가 예정된 지하 1층, 지상 4층의 연립주택으로 중앙계단식의 형태로 되어 있다. Figure 2는 화재실험 연립주택의 평면도를 나타낸 것으로 한 세대의 크기는 약 56m^{2}이고 거실, 주방, 방(3개)으로 이루어져 있다. 실물화재실험은 2층에서 실시하였고,

Figure 1. Experiment object.

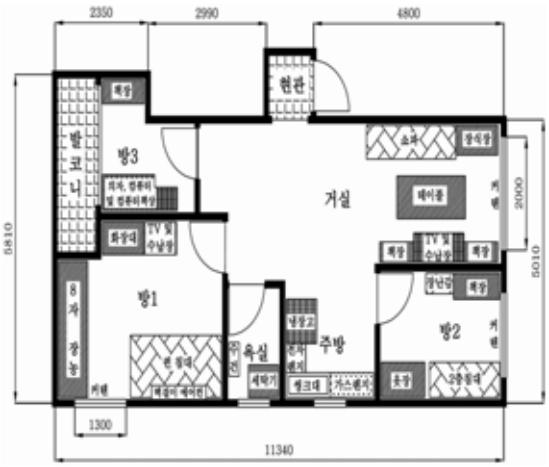

Figure 2. A plane figure of experiment object.

Table 1. The Internal Conditions in the Row House

구 분	상 태
거실 창문(2,000mm × 1,200mm)	20cm 개방
방1	20cm 개방
방1 내부창문(1,300mm × 1,300mm)	20cm 개방
방2	닫 힘
방3	닫 힘
현 관	닫 힘

연립주택 내부에는 TV와 냉장고 침대 등을 배치하여 일반적인 가정집 실내를 재현하였다. 또한 일정한 공간내의 화재는 환기조건 및 내부공간의 환경조건에 따라 화재성상 및 화재감지기 응답시간에 차이가 많이 발생하므로 내부조건은 Table 1과 같이 설정하였다.

2.2 화재시나리오

주택에서의 화재는 다양한 종류의 원인으로 인하여 발생한다. 그 중 부주의로 인한 화재는 주택화재 원인에서 가장 높은 비율을 차지하고 있다.

따라서 본 실험에서는 불을 가장 많이 다루는 주방을 발화지점으로 선정하고, 주방의 가스레인지 위 프라이팬에서 튀김을 하던 중 거주자의 부주위로 프라이팬의 식용유가 지속적인 가열로 인해 자연발화 되어

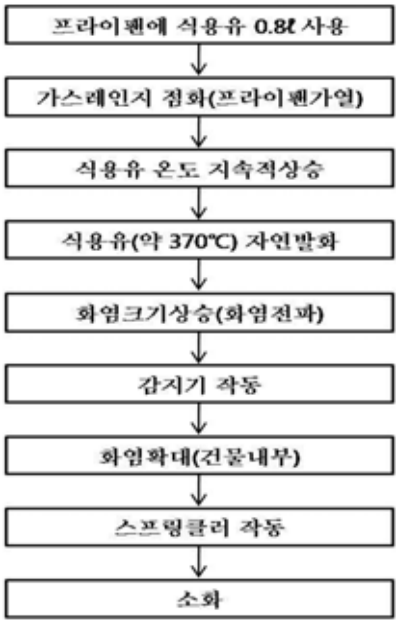

Figure 3. Fire scenario.

화재가 발생하는 것을 화재원인으로 설정하였다. Figure 3은 화재시나리오를 나타낸 것이다.

2.3 실험방법

주택 실물화재실험에 의한 감지기 응답특성을 파악하기 위하여 출고 후 사용되지 않은 새 감지기 중 현재 가장 많이 사용되고 있는 감지기 종류인 열감지기(차동식, 정온식, 아날로그식)와 연기감지기(광전식, 아날로그식, 단독경보형)를 주택내부에 설치하였다. Figure 4에서 보는 바와 같이 주방과 거실에 감지기를 부착하여 화재전파에 따른 감지기의 응답특성을 분석하였다. 또한 주방에 우수제품 감지기와 일반제품 감지기를 설치하여 우수제품과 일반제품의 응답특성을 비교하였고, 방3에는 연기감지기를 설치하여 실제 화재가 발생한 후 연기가 확산되어 갈 때 문이 닫혀 있는 방안에 연기가 들어와 감지기가 작동하는지 확인하기 위해 설치하였다. 또한 Figure 4에서 보는 바와 같이 추가적으로 화염전파 및 화재확대를 관찰하기 위하여 주방 및 거실, 현관 부근에 열전대스탠드를 설치하고 화재실내의 온도변화를 측정하였다. Figure 5는 주택내부에 설치된 열전대스탠드의 사진이다.

Figure 4. The placement of fire detector and thermocouple stand.

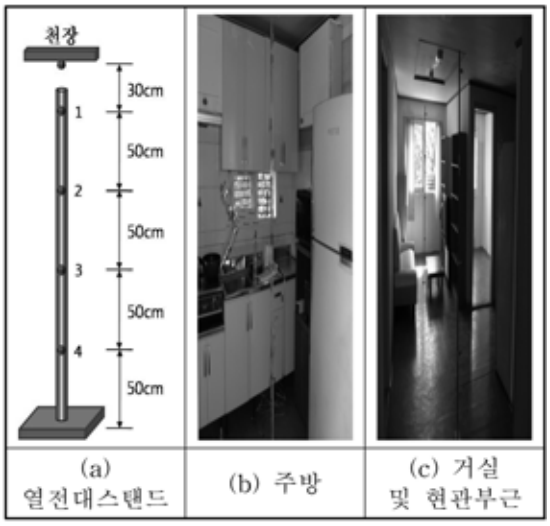

Figure 5. Photograph of thermocouple stand.

3. 실험결과 및 고찰

Table 2는 주택 실물화재실험에 의한 감지기 응답특성의 결과를 나타낸 것이다. 가스레인지 점화 후 식용유가 서서히 가열되면서 온도가 상승하게 되고 식용유의 온도가 100°C 이상 되면 식용유에서 발생되는 유증기양이 현저히 증가하게 된다. 식용유의 온도가 300°C 이상 되면 유증기양이 훨씬 많아져 식용유가 자연발화되기 7분전, 즉 점화 후 약 10분 후에 주방에 설치된 단독경보형감지기가 가장 먼저 작동되고 순차적으로 주방에 설치된 아날로그형연기감지기, 광전식감지기(우수)가 작동되었다. 그 다음으로 거실에 설치된 광전식감지기(우수)와 단독경보형감지기, 주방에 설치된 광전식감지기(일반), 방3 입구에 설치된 광전식감지기(우수) 순으로 작동되었다.

점화 후 약 17분경 식용유에서 자연발화가 일어나 프라이팬에서 불이 발생하고 화염이 치솟으면서 주택내부의 온도는 급격히 상승하여 순식간에 화재가 확대된다. 화염의 열기가 열감지기의 작동온도점까지 도달하게 되면서 약 18분경에 주방에 설치된 차동식감지기(일반)를 시작으로 주방에 설치된 차동식감지기(우수), 아날로그형열감지기, 정온식감지기(우수), 거실에 설치된 차동식감지기(우수), 주방에 설치된 정온식감지기(일반), 방3 입구에 설치된 차동식감지기(우수)순으로 열감지기가 작동되었다. 화재발생 약 2분 후 주방과 거실 천장에 설치된 상수도직결형 스프링클러가 작동하여 소화를 시작하고 약 11분 후에 소화가 완료되는 것을 확인할 수 있었다.

이와 같은 실물화재실험결과, 연기감지기의 응답특성이 열감지기의 응답특성보다 약 8분 정도 빠르게 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 우수제품과 일반제품의 응답특성에는 별다른 차이점을 발견할 수 없었다.

Table 2. Results of Response Times of the Fire Detectors

작동 순서	감지기	설치 장소	작동시간
가스레인지 점화(00분 00초)			
1	단독경보형감지기	주방	10분 08초
2	아날로그형연기감지기	주방	10분 12초
3	광전식감지기(우수)	주방	10분 43초
4	광전식감지기(우수)	거실	10분 44초
5	단독경보형감지기	거실	11분 07초
6	광전식감지기(일반)	주방	11분 19초
7	아날로그형연기감지기	거실	12분 25초
8	광전식감지기(우수)	방3 입구	15분 20초
식용유 자연발화(17분 03초)			
9	차동식감지기(일반)	주방	18분 03초
10	차동식감지기(우수)	주방	18분 08초
11	아날로그형열감지기	주방	18분 23초
12	정온식감지기(우수)	주방	18분 31초
13	차동식감지기(우수)	거실	18분 43초
14	정온식감지기(일반)	주방	18분 43초
15	차동식감지기(우수)	방3 입구	18분 43초
스프링클러 작동(18분 52초) 소화시작			
소화완료(30분 00초)			
미 작 동	정온식감지기(우수)	거실	거실창문 개방
	광전식감지기(우수)	방3	출입문폐쇄
	아날로그형열감지기	거실	거실창문 개방

또한, 거실에 설치된 열감지기와 방3에 설치된 광전식감지기(우수)는 스프링클러가 작동할 때까지도 작동하지 않는 것을 확인할 수 있었다. Figure 6은 화재감지기의 응답특성을 그래프로 나타낸 것이다.

Figure 7은 가스레인지로부터 약 1.5m 떨어진 주방에 설치된 열전대스탠드에서 측정한 주방의 온도특성을 그래프로 나타낸 것이다. 가스레인지 점화 후 식용유가 서서히 가열되면서 발생한 유증기로 인해 주방천장의 온도가 가장 먼저 상승하고, 그 다음으로 30cm 아래에 설치된 주방1 센서의 온도가 서서히 상승하다 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있었으며, 주방2 · 3 · 4 센서들은 자연발화가 되기 전까지 약간의 온도 상승 후 거의 변화 없이 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있었다.

점화 후 약 17분경 식용유에서 자연발화가 일어나

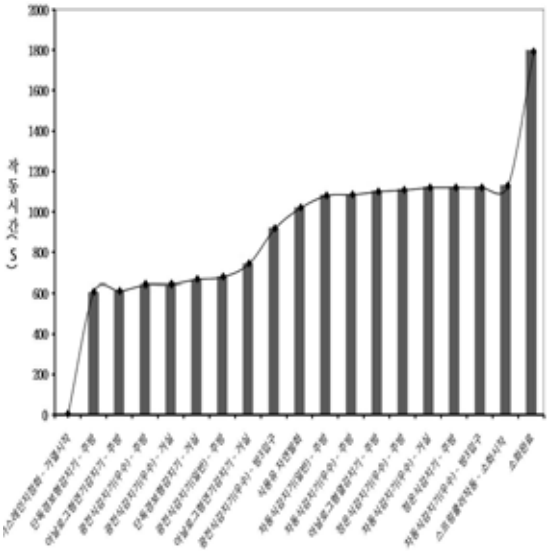

Figure 6. The response characteristics of fire detectors.

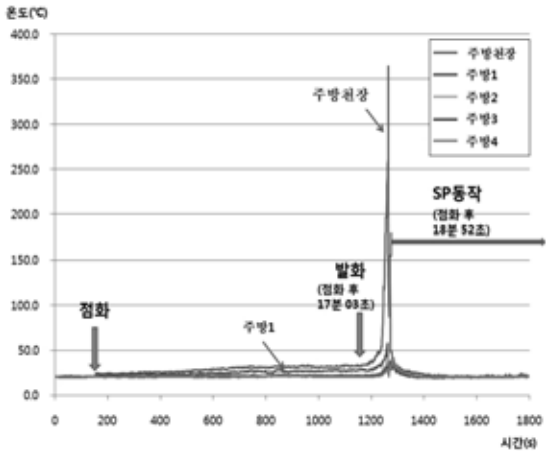

Figure 7. Temperature characteristics in the kitchen.

프라이팬에 불이 발생하고 화염이 치솟으면서 주방천장의 온도는 약 350°C까지 상승하고, 30cm 아래에 설치된 주방1 센서의 온도는 약 50°C까지 상승한다. 또한, 주방2 · 3 · 4 센서들은 약 40°C까지 온도가 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 주방1 센서의 온도는 천장(230cm)에서 30cm 아래인 높이에서 측정된 온도로 식용유가 자연발화 하더라도 화재감지가 조기에 된다면 신장이 180cm 이상인 사람도 충분히 피난이 가능한 온도임을 확인할 수 있었다.

Figure 8은 거실에 설치된 열전대스탠드에서 측정한

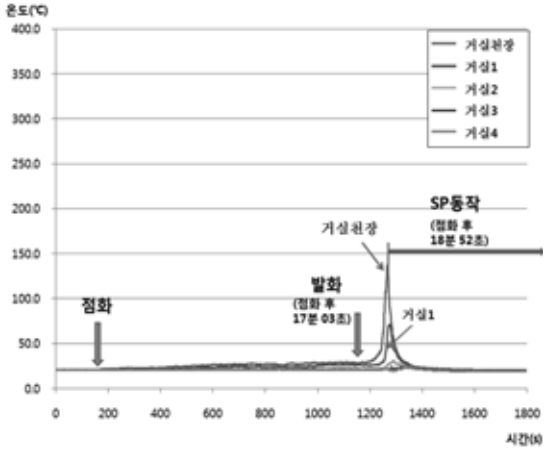

Figure 8. Temperature characteristics in the living room.

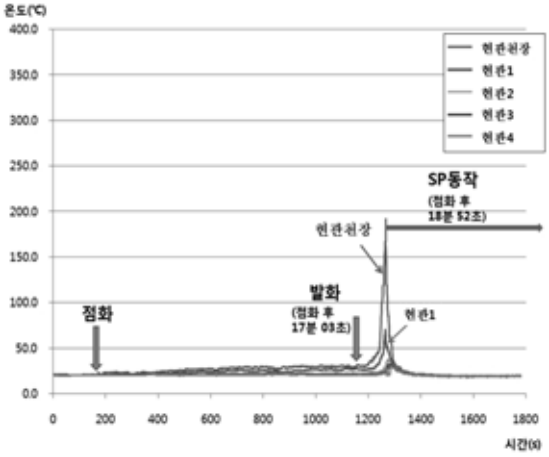

Figure 9. Temperature characteristics in the entrance.

거실의 온도특성을 그래프로 나타낸 것이다. 가스레인지 점화 후 식용유가 서서히 가열되면서 발생한 유증기가 주방천장을 타고 거실로 이동하여 거실천장의 온도를 상승시키지만, 주방처럼 화원과 직접적으로 근접해 있지 않기 때문에 자연발화전까지의 온도상승율은 매우 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 또한 실험의 내부조건에서 제시된 바와 같이 방1의 문과 거실의 창문이 20cm 개방되어 있어 식용유에서 발생한 유증기가 방1과 거실 밖으로 일부 배출되기 때문에 거실의 온도상승율이 낮게 나타난다.

점화 후 약 17분경 식용유에서 자연발화가 일어나 프라이팬에 불이 발생하고 화염이 치솟으면서 주방천장의 온도는 약 350°C까지 상승할 때, 거실천장의 온도는 약 140°C까지 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 거실천장으로부터 30cm 아래에 설치된 거실1 센서의 온도는 약 70°C까지 상승하고, 거실2 · 3 · 4 센서들은 온도변화가 거의 없는 것을 볼 수 있었다. 거실에서도 마찬가지로 화재감지가 조기에 된다면 충분히 피난이 가능한 온도임을 확인할 수 있었다.

Figure 9는 현관부근에 설치된 열전대스탠드에서 측정한 현관부근의 온도특성을 그래프로 나타낸 것이다. 가스레인지 점화 후 식용유가 서서히 가열되면서 발생한 유증기가 주방천장을 타고 거실과 현관으로 이동하여 실내전체의 온도를 상승시키지만, 자연발화전까지의 온도는 처음 실내온도보다 약 5°C 정도 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 튀김기름이 가열되어 대량의 유증기가 발생하여도 온도상승에는 크게 영향을 주지 않는 것으로 생각된다.

점화 후 약 17분경 식용유에서 자연발화가 일어나 프라이팬에 불이 발생하고 화염이 치솟으면서 주방천장의 온도는 약 350°C까지 상승할 때, 현관부근 천장의 온도는 약 170°C까지 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 현관부근 천장으로부터 30cm 아래에 설치된 현관1 센서의 온도는 약 70°C까지 상승하고, 현관2 · 3 · 4 센서들은 약 35°C까지 온도가 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 현관부근의 온도가 거실에서 측정한 온도보다 높게 나타난 것은 화원에서의 거리가 현관보다 가깝기 때문이다. 또한 현관부근에서도 마찬가지로 화재감지가 조기에 된다면 충분히 피난이 가능한 온도임을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 논문은 주택 실물화재실험에 의한 화재감지기 응답특성에 관한 연구로서 철거가 예정된 연립주택을 화재실험대상으로 선정하여 현재 가장 많이 사용되고 있는 감지기 종류인 열감지기(차동식, 정온식, 아날로그식)와 연기감지기(광전식, 아날로그식, 단독경보형)를 주택내부에 설치여 화재감지기의 응답특성을 분석하고, 추가적으로 건물내부로의 화염전파 및 화재확대를 관찰하기 위해 열전대 스탠드를 설치하여 온도변화를 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 실물화재실험결과 연기감지기는 가스레인지 점화 후 식용유가 서서히 가열되어 온도가 상승하게 되고 식용유의 온도가 100°C 이상 되면 식용유에서 발생되는 유증기양이 현저히 증가하고 300°C 이상 되면 유증기양이 훨씬 많아져 식용유가 자연발화 되기 7분 전, 즉 점화 후 약 10분 후에 단독경보형감지기를 시작으

로 순차적으로 작동되었다. 그러나 열감지기의 경우 가스레인지 점화 후 약 17분경 식용유에서 자연발화가 일어나 화염이 치솟으면서 가스레인지 후드와 주방천정으로 옮겨 붙고 화재가 상당히 진행된 이후인 약 18분경에 주방에 설치된 차동식감지기(일반)를 시작으로 순차적으로 작동하였다. 이와 같은 결과 실제화재시 연기감지기의 응답특성이 열감지기의 응답특성보다 약 8분 정도 빠르게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

2) 열전대스탠드를 설치하여 건물내부의 온도변화를 측정한 결과 가스레인지 점화 후 식용유가 서서히 가열되면서 발생한 유증기가 주방천장을 타고 거실과 현관으로 이동하 것을 확인할 수 있었다. 점화 후 약 17분경 식용유에서 자연발화가 일어나 프라이팬에 불이 발생하고 화염이 치솟으면서 주방천장의 온도는 약 350°C, 현관부근 천장의 온도는 약 170°C, 거실천장의 온도는 약 150°C까지 상승하는 것을 확인할 수 있었고, 천장으로부터 30cm 아래에 설치된 주방1 센서의 온도는 약 50°C, 거실1 센서의 온도는 약 70°C, 현관1 센서의 온도는 약 70°C까지 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 주방1 · 거실1 · 현관1 센서에서 측정된 온도는 천장(230cm)에서 30cm 아래인 높이에서 측정된 온도로 식용유가 자연발화 하더라도 화재감지가 조기에 된다면 신장이 180cm인 사람도 충분히 피난 가능한 온도임을 확인할 수 있었다.

3) 주택에서 효과적인 화재감지시스템을 구축하기 위해서는 연기감지기가 열감지기보다 주택용 감지기로 적합한 것으로 나타났다. 그러나 일반주택의 경우 자동화재탐지설비 설치대상이 아니기 때문에 감지기를 필연적으로 설치해야하는 의무가 없다. 하지만 주택화재의 경우 화재가 상시 발생되는 장소이기 때문에 조기감지만 제대로 된다면 화재 시 인명 및 재산피해를 최소한으로 줄일 수 있는 것을 실험으로 확인할 수 있었다.

따라서 주택에서 효과적인 화재감지시스템을 구축하기 위해서는 연기감지기 중 회로구축을 하지 않아도 화재경보 신호를 자체적으로 발산할 수 있는 단독경보형감지기를 주택에 설치하는 소방안전 대책이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 내무부· 한국소방검정공사, “자동화재탐지설비의 효율화 방안 및 '97 확인시험결과”, 연구논문 · 기술자료집, Vol.1, No.1, pp.3-21(1998).
2. 소방방재청, “2008년 전국화재발생현황”(2009).
3. 소방방재청, “2007년도 화재통계연감”(2009).
4. 백원돈, 김시국, 옥경재, 이춘하, 지승욱, “이온화식연기감지기의 사용기간에 따른 응답특성 연구”, 한국화재소방학회, Vol.22, No.4, pp.61-64(2008).
5. 이복영, 정길순, 이병곤, “이온화식연기감지기 기류응답특성 연구”, 한국화재소방학회, Vol.17, No.2, pp.6-9(2003).
6. 방재시험연구원, “화재감지기의 응답특성평가 연구” (2003).
7. Robert M. Gagnon and Ronald H. Kirby, “A Designer’s Guide to Fire Alarm Systems”, NFPA, pp.213-236(2003).
8. Richard W. Bukowski and Wayne D. Moore, “Fire Alarm Signaling Systems”, NFPA, pp.105-107(2003).