

주택형화재경보기 작동에 따른 피난안전해석 The Analysis of Evacuation Safety by Smoke Alarm in Housing Fire

최영상[†] · 전흥균 · 백열선*

Young-Sang Choi[†] · Heung-Kyun Jeon · Yeul-Sun Bak*

대구보건대학 소방안전관리과, *김천대학교 소방학과
(2011. 8. 23. 접수/2011. 11. 2. 수정/2011. 12. 9. 채택)

요 약

야간의 주택화재는 피난개시의 지연으로 인명피해 위험이 높아지게 된다. 따라서 주택용화재경보기를 설치하여 조기에 화재경보를 해주어 피난개시시간을 단축시킬 때의 피난안전을 해석하였다. 주택을 연구의 대상 건물로 하여 CFAST를 사용해서 화재특성과 화재경보기 작동시간을 분석하였고, 이를 building EXODUS의 위험인자로 사용하여 4인 가족에 대한 피난시뮬레이션을 하였다. 피난개시시간을 다르게 하였을 때 170초에 피난을 개시한 경우 최초 사망자가 발생하였으나 주택용화재경보기작동시간 37.1초를 피난개시시간으로 한 경우는 안전한 피난이 되었다. 해석결과 주택용화재경보기를 설치할 경우 주택화재로부터 인명과 재산피해를 줄이는데 효과가 있다고 판단하였다.

ABSTRACT

This study was performed to analysis the influence of smoke alarm detector on evacuation safety in housing fire. The analysis was conducted by CFAST fire simulation program and building EXODUS evacuation program. The effects of the earlier response time on evacuation safety were investigated by using evacuation simulation program with several steps of different response time and smoke alarm activation time for 4 occupants. The smoke detector was activated 37.1 second after fire. The first two mortuary were occurred for 170 seconds of response time at the end of living room near exit. But for the 37.1 seconds of response time 4 occupants evacuated safely. From this study, the fire alarm detector is more important for safety evacuation in housing fire.

Key words : Evacuation safety, Evacuation simulation, Building EXODUS, CFAST, Response time, Evacuation time

1. 서 론

산업의 발달과 문명의 발전은 다양한 형태의 에너지 사용을 늘어나게 하고 있어 지구의 온난화는 물론이고 인간의 안전한 삶에도 위험을 미치고 있다. 그 중에서도 에너지원의 잘못된 사용으로 인해 2009년에 우리나라에서 발생한 화재는 47,318건이나 된다.¹⁾

화재장소별로는 주거시설에서 11,767건, 비주거시설에서 16,482건이 발생하였고 다음으로 차량과 임야 순서였다. 화재발생원인으로는 부주의에 의한 화재가 22,763건으로 가장 많았다. 부주의에 의한 화재원인 중에서는 담배꽂초 방치가 6,901건이었고 음식물조리 중

에 3,250건, 빨래를 삶다가 190건이나 발생하여 주거 시설에서 발생할 수 있는 부주의에 의한 원인이 가장 많이 분석되었다.¹⁾

특히 2009년의 주거시설화재는 연간화재발생건수의 25%를 차지했으며 화재발생으로 인한 연간인명피해(사망 409명, 부상 2,032명) 중에서 주거시설화재로 인한 인명피해(사망 226명, 부상 1,080명)가 전체의 55%나 되어 매우 심각한 수준이다.¹⁾

또한 주거시설에는 가연성 물질이 많고 취사와 난방 그리고 조명을 위해 가스나 전기의 사용이 빈번하게 이루어지고, 부주의에 의한 화재위험이 더 높음에도 불구하고 단독주택(이하 주택으로 표기)의 경우 화재경보시설이나 스프링클러와 같은 자동식소화시설이 없어 초기소화나 신속한 피난을 어렵게 하여 인명피해를 더

[†]E-mail: choiys@dhc.ac.kr

키우고 있는 실정이다.^{2,4)}

우리나라는 건축법⁵⁾에서 건축물을 단독주택과 공동주택으로 구분하는데 단독주택, 다중주택, 다가구주택 그리고 공관이 단독주택에 해당하며 아파트, 연립주택, 다세대주택 그리고 기숙사가 공동주택에 해당한다. 그러나 현행 소방법⁶⁾에서는 아파트와 기숙사를 제외하고는 주택의 화재안전을 확보하기 위한 규제가 전무하여 최소한의 대처방안도 마련되지 않고 있어 화재로 인한 인명피해위험이 더 큰 실정이다.

이와는 대조적으로 이미 미국에서는 95% 이상의 주택에 연기감지기가 보급되었고, 영국에서는 85% 그리고 일본에서는 45%의 주택용화재경보기 보급률을 보이고 있으며 스웨덴, 핀란드, 오스트리아, 캐나다, 독일 그리고 프랑스 등에서는 법제화를 완료한 상태이다.^{2,3)}

그러나 우리나라에서는 최근에서야 주택에서의 화재경보기 설치에 대한 법규⁷⁾가 마련되어 2012년 2월 시행을 앞두고 있으므로 주택용화재경보기를 설치할 경우 구체적으로 어떤 효과가 있는지를 분석하여 주택화재로 인한 인명피해를 줄이는 방안으로 정착시킬 근거를 마련하는 것이 필요하다고 본다.

그러한 필요성에 따라 주택화재시 초기소화나 신속한 피난이 가능하도록 하기 위해서는 화재경보기나 주택용 스프링클러의 도입타당성을 분석한 연구들이 선행되었다. 박재성은 ‘주택화재 발생원인 및 특성에 대한 개선과제’라는 연구에서 국내주택화재의 현황분석을 통해 주로 야간의 화재로 인한 인명피해가 크다는 결론을 얻었으며 미국에서는 주택에 감지기와 스프링클러를 동시에 설치한 경우에 사망자를 82%까지 감소시킨 사례를 통해 국내 주택에서의 도입필요성을 제시하였다.²⁾

소수현은 ‘단독경보형 감지기의 효율성 및 성능, 사례’라는 연구에서 미국, 영국, 일본의 단독경보형감지기의 설치현황과 더불어 국내주택에 적용하기 위한 제도적 및 기술적 개선방안을 제시하였고,³⁾ 정희만은 ‘도심형 주택화재 사례 및 개선방안’의 연구에서 화재감지 및 경보시설의 설치 필요성을 제안하였다.⁴⁾

최영상 등은 ‘주택화재시 화재경보기와 스프링클러의 작동시간과 효과에 대한 연구’에서 스프링클러의 효과와 화재경보기의 작동시간을 분석하였으며,⁸⁾ 백열선 등은 ‘주택화재시 피난개시시간에 따른 피난안전해석’의 연구에서 피난개시시간에 따른 인명피해현황을 분석하여 피난개시시간을 단축시키기 위해 주택용화재경보기 도입의 필요성을 제시하였고,⁹⁾ 진흥균 등은 ‘아파트화재사례 전산모사를 통한 화재위험성평가에 관한 연구’에서 화재경보기의 작동시간 파악과 조기피난개

시를 위한 비상방송설비의 중요성을 지적하였다.¹⁰⁾

그러나 이들 선행연구에서는 주택화재에서 화재경보기의 도입필요성을 주장하였으나 피난안전해석에 대한 연구는 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 주택화재를 연구대상으로 하고 현행 소방법규에 적용을 받지 않는 주택에서 주택용화재경보기(단독경보형화재감지기)를 설치한 경우 화재경보기의 작동이 피난안전에 미치는 영향을 분석하는데 목적을 두었다.

이를 위해 화재시물레이션을 통해 화재위험성과 화재감지기의 작동시간을 파악하고, 그 결과를 피난해석 전용 프로그램의 입력 값으로 사용하여 화재시의 피난 안전을 해석하는 연구방법을 사용하였다.

2. 화재 및 피난시물레이션

2.1 화재시물레이션

본 연구에서는 미국표준연구소(NIST)에서 개발한 CFAST V6.0¹¹⁾을 이용하여 화재시물레이션을 수행하였다.

이 프로그램은 화재실과 연기가 확산되는 해석공간을 상하 2개의 영역(zone)으로 나누고, 상부의 뜨거운 공기층(hot zone)과 하부의 차가운 공기층(cold zone)으로 구분시켜 각 층에서는 온도나 가스농도 등의 물리적 특성이 균일하다고 가정하는 대표적인 Zone Model이다.¹¹⁻¹³⁾ 화재시물레이션 시간은 CFAST의 초기값(default)인 900초로 하였다.

본 연구의 대상인 주택은 가로 14m 세로 12m 규모의 1층 건물이다. 화재발생시 피난에 대한 위험도가 가장 높은 조건을 만들기 위해 출구는 현관(door 1)으로만 한정하고, 거실에서 화재가 발생하여 피난의 주 통로가 되는 현관 그리고 방문의 상부 틈새를 통해 방안으로까지 연기가 확산된다고 가정하였다.

Figure 1은 본 연구의 대상건물인 주택의 평면도를 나타낸 것이다. 오른쪽 외벽에 Door 1이라고 표시된 것이 현관의 출입문이다.

주택은 현행소방법의 적용대상이 아니므로 화재감지기나 스프링클러가 설치되어 있지 않고, 배연설비도 설치되어 있지 않으며 야간화재를 가정하여 모든 방문과 창문은 닫은 상태로 화재시물레이션을 하였다.

거실과 주방중간부분에 화재감지기를 설치한 경우의 감지기작동시간을 파악하여 그 시간을 피난시물레이션에서 피난개시시간 입력 값으로 제공한다.

본 연구에서는 대상건물인 주택의 거실에서 야간에 화재가 발생하여 화재발생 사실을 초기에 알지 못하여 연소가 계속 확대 된다고 가정하였다. 화재는 소파(sofa)

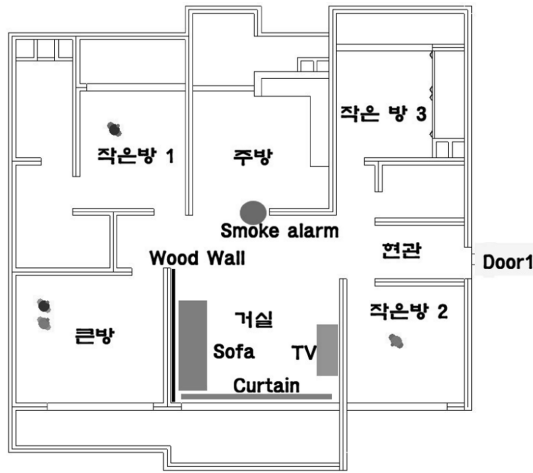


Figure 1. A ground plan and location of populations and exit.

에서 시작하여 20초 후에 커튼(curtain)으로 옮겨 불고, 다시 30초 후에는 나무벽면(wood wall)으로 확대되며 최초 화재발생 후 100초 후에는 TV세트로 확산되는 것으로 가정하여 화재시나리오를 구성하였다.

해당 가연물의 최대열방출율(HRR, Heat Release Rate)을 포함한 연소특성자료는 본 연구에 사용한 화재시뮬레이션 프로그램인 CFAST가 제공하는 연소실험데이터를 적용하였다.

Figure 2는 화재시나리오에 따라 4가지 가연물의 열방출율¹¹⁾을 종합한 설계화재이다.

화재시뮬레이션에서 수평유동개구부(Horizontal flow vent)를 고려할 때 거실에서 주방과 현관으로는 바닥에서 천장까지 높이가 동일하다고 가정하고, 야간의 화재상황을 고려하여 방문을 닫은 방으로는 문 상부의

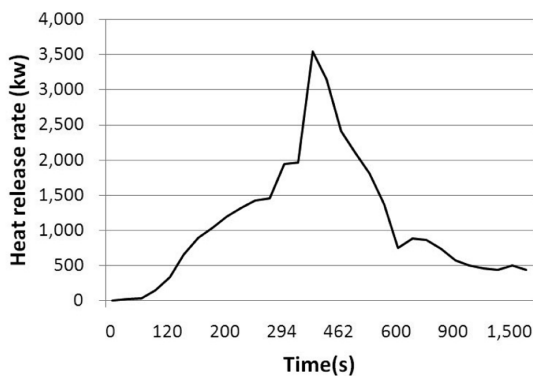


Figure 2. Design fire.

틈새로만 연기가 유입된다고 가정하여 CFAST의 수평유동조건을 입력했다.

2.2 피난시뮬레이션

본 연구에서 피난해석을 위해 사용한 피난시뮬레이션 프로그램은 영국의 그리니치대학 화재공학연구그룹(FSEG)에서 개발한 building EXODUS V4.0이다.^{15,16)}

주택화재에서 피난안전을 해석하기 위해 화재시뮬레이션결과로 얻어진 연기층의 높이와 온도를 비롯하여 일산화탄소(CO)와 이산화탄소(CO₂) 그리고 산소농도 분포를 구하고 그 값들을 building EXODUS의 화재생성위험물자료(Hazard data)로 활용하여 실제 화재에 가까운 상황에서 피난안전을 해석하였다.

Building EXODUS 모델은 방호공간으로부터 열, 연기, 유독가스과 같은 위험인자를 극복하며 피난하는 사람의 피난경로를 추적할 수 있으며 모두 6가지의 중요부속모델(core sub-model)로 구성되어 있다.

거주자모델(Occupant sub-model)은 나이, 체중, 성별, 위치 등 20여개의 거주자 특성을 고려할 수 있도록 구성되어 있고, 이동모델(Movement sub-model)은 거주자가 현재 위치에서 최적의 인접위치로 이동할 때 추월하기, 옆으로 가기와 같은 물리적 이동을 포함하여 제어한다. 또 위험성모델(Hazard sub-model)은 열, 연기, 유독성가스, 출구의 개폐와 유용성 등을 제어하며 유독성모델(Toxicity sub-model)은 위험성모델로부터 제공되는 유독성물질이 거주자에게 미치는 영향을 결정한다. 그리고 피난행태모델(Behaviour sub-model)은 거주구역의 가장 가까운 출구와 익숙한 출구를 모두 인식하는 피난행동(global behaviour)과 현재 상황에 대한 거주자 개인의 반응을 결정하는 피난행동(local behaviour)으로 구성되어 그 결과를 이동모델의 자료로 연계시켜준다.

따라서 본 연구의 조건에서도 피난개시시간이 지연될 경우 연기층의 높이가 낮아지면 기어서 피난하는 피난행동특성을 반영하여 피난 속도가 늦어지도록 시뮬레이션을 하였다.

Figure 3은 피난해석에 사용된 주택의 평면도에 거주자를 배치하기 위해 0.5 m 간격으로 된 교점(node: 0.5 m × 0.5 m 규격의 정사각형구조)을 망(mesh of node)으로 채우고, 각각의 교점들을 호(arc)로 연결하여 전체적인 피난해석영역을 node 분포로 나타낸 것이다.

각각의 node는 한명의 거주자가 점유하는 영역을 나타내며 arc로 연결된 node를 통해서 이동이나 피난이 이루어지는 것으로 프로그램이 되어 있다.

본 연구의 대상인 주택은 방이 4개이고 거실과 주방

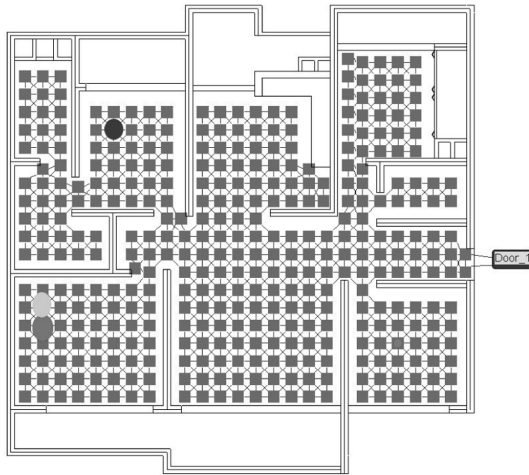


Figure 3. Geometry for evacuation simulation.

으로 구성되어 있다. 큰방에는 40대 부부가, 작은 방에는 10대 남여가 각각 1명씩 거주하는 것으로 하여 1세대 4인 가족인 경우를 가정하였다.

Figure 1에서 색깔을 다르게 하여 원형의 무늬로 표시된 점과 Figure 3의 node 위에서 원형의 무늬로 표시된 점은 거주자의 성별과 나이를 구분하여 위치를 나타낸 것이다.

동일한 조건에서 화재피난시 피난개시시간(response time)을 변화시켜가며 피난해석을 수행하였다. 피난시 물레이션에서는 Figure 1과 Figure 3에 나타난 것처럼 화재가 발생한 거실과 현관을 통과하여 출구(door 1)로만 피난하는 것으로 가정하였고, 거실의 소파에서 화재가 먼저 발생하여 다른 가연물로 연소가 확대되고 현관과 방으로도 연기가 확산된다고 가정하여 화재와 피난시나리오를 구성하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 화재시물레이션 결과

Figure 4는 화재발생 60초 후에 거실(compartment 3)과 방으로 연기가 확산된 모습을 나타낸 것이다.

이번 연구에서는 주택형화재경보기의 작동이 피난안전에 미치는 영향을 분석하는 것이 연구의 목적이므로 거실과 주방 중간 위치의 천장에 주택형화재경보기를 설치한다고 가정하여 CFAST 시물레이션에서 화재감지기(fire alarm detector)작동시간을 측정하였다.

Table 1은 화재시물레이션 프로그램인 CFAST의 계산결과(text file)에서 연기감지기(smoke alarm)와 열감



Figure 4. Spread of smoke and populations on 60 seconds after fire.

Table 1. Fire Alarm Detector Activated Time

작동시간	화재감지기 종류
37.1초	Smoke Alarm
125.5초	Heat Alarm (68 °C)
131.1초	Heat Alarm (73 °C)

지기(heat alarm)가 작동한 시간을 나타내는 것이다. CFAST의 기본 값(default value)을 적용한 계산결과를 표의 첫 번째 칸에 나타내었는데 화재 발생 후 37.1초에 연기감지기(smoke alarm sensor)가 작동되어 이때부터 화재경보가 가능함을 알 수 있다.

정온식열감지기(68 °C용)¹⁴⁾는 화재 발생 후 125.5초에, 다른 정온식열감지기(73 °C용)는 화재 발생 후 131.1초에 작동된 것으로 나타났다.

Figure 5는 피난통로가 되는 거실과 현관 그리고 큰방에서의 연기층 높이변화를 나타낸 것이다.

피난의 통로가 되는 거실과 현관의 연기층 높이가 인명안전기준에서 정한 호흡한계선^{13,17)}인 바닥으로부터 1.8m까지 하강하는데 걸린 시간은 화재발생 후 약 50초에 불과했다. 주택은 구획면적이 작고 거실과 현관이 개방된 상태여서 거실과 현관에서의 연기층은 서로 유사한 높이분포를 보였고, 화재 발생 후 140초 이후에는 두 곳의 연기층이 바닥에서 0.5 m 정도까지 하강하여 피난을 할 경우 기어서도 이동하기 어려운 상황이 될 수 있음을 볼 수 있다. 따라서 화재 발생 후 피난개시가 늦어질수록 위험해 짐을 알 수 있다.

그러나 큰방에서는 야간화재를 가정하여 문을 닫은

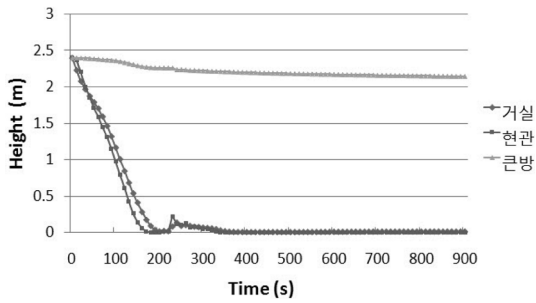


Figure 5. Smoke layer height distributions.

상태에서 문의 상부 틈새로만 연기가 확산되는 것으로 화재시나리오를 구성하였기에 큰방에서의 연기층 높이는 가장 낮은 경우가 2.14 m로 천장부근에만 머물러 있는 것을 볼 수 있다.

따라서 취침 중에 화재가 발생한 경우라면 연기층의 높이가 낮아져 취침중인 사람이 화재 초기에 화재를 인지하고 잠에서 깨어나 피난을 한다는 것이 가능하지 않을 것이라 추측을 해 볼 수 있다.

이는 결국 야간의 주택화재에서 인명피해가 커지는 직접적인 이유 중의 하나라고 판단 할 수 있다. 특히 주택화재의 시간대별 인명피해현황²⁾에서도 취침시간대(21시~06시)에 집중적으로 사망자가 많이 발생하는 결과와도 연관성이 있으므로 주택용화재경보기의 설치가 필요함을 입증해준다.

Figure 6은 연기층의 온도변화를 나타낸 것이다. 화재발생 후 연기층의 온도가 급격하게 상승하여 약 220 초에 거실에서는 400 °C, 현관에서는 220 °C 정도로 각각 최대에 도달하는 것으로 나타나 인명안전기준에서 열에 의한 영향을 받지 않도록 규정한 60 °C¹⁷⁾를 훨씬 초과함을 알 수 있다.

그러나 큰 방에서는 27 °C 정도에 불과하여 고온의 영향으로 화재를 인지하기도 불가능한 것을 알 수 있다.

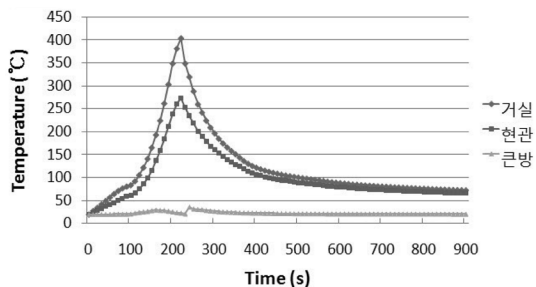


Figure 6. Smoke layer temperature distributions.

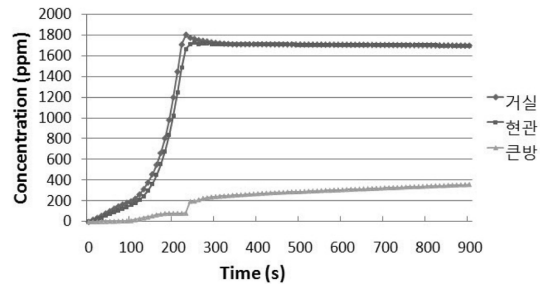


Figure 7. CO concentration distributions.

Figure 7은 화재 발생 후 일산화탄소(CO) 농도분포를 나타낸 것이다. 거실과 현관에서는 서로 유사한 CO 농도 분포를 보였으나 큰방에서는 역시 급격한 CO 농도의 증가가 없어서 조기에 유독가스에 의한 영향으로 잠에서 깨고 화재를 인지한다는 것도 쉽지 않음을 알 수 있다.

그러나 화재발생 장소인 거실에서의 CO 농도는 화재발생 후 230초 만에 인명안전기준¹⁶⁾에서 규정한 CO 한계치인 1,400 ppm을 훨씬 초과한 1,800 ppm(0.18%)까지 증가하여 시간이 지날수록 유독가스에 의한 인명피해 발생가능성이 크다고 볼 수 있다.

실제로 CO의 경우 0.16% 농도에서는 20분 정도에 두통, 현기증, 토기가 생기고 2시간 이상이면 사망¹³⁾하게 되므로 화재 발생 후 피난 시간이 지연될수록 산소 농도가 낮아지고 CO 농도가 높아지면서 위험한 상태가 될 수 있다고 본다.

Figure 8은 이산화탄소(CO₂)의 농도분포를 나타낸 것이다. 거실과 현관에서는 서로 유사한 CO₂ 농도 분포를 보였으나 큰방에서는 역시 급격한 CO₂ 농도의 증가가 없음을 알 수 있다.

그러나 화재발생 장소인 거실에서의 CO₂ 농도는 화재발생 후 150초 만에 3%를 넘어서고, 250초 후에는 7%까지 높아져 인명안전기준¹⁷⁾에서 규정한 CO₂ 한계

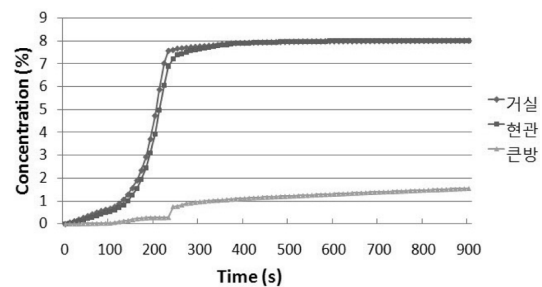


Figure 8. CO₂ concentration distributions.

치인 5%를 초과하였다.

이때는 스스로 호흡량이 증가하는 것을 느끼게 되고, 8% CO₂ 농도에서는 고도의 호흡곤란증상¹³⁾이 생기게 되므로 피난시간이 늦어질수록 유독성가스에 의한 질식 위험도 증가할 수 있음을 알 수 있다.

따라서 화재 발생 후 피난 시간이 지연될수록 산소 농도가 낮아지고 CO나 CO₂ 농도가 함께 높아지면서 인명안전에 위험한 상태가 될 수 있다고 본다.

그러므로 주택화재에서는 조기에 화재발생 사실을 알 수 있도록 화재경보기를 설치하는 것이 인명안전에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 판단 할 수 있다.

보다 구체적인 인명안전에 대한 효과를 분석하기 위해서는 위의 화재시물레이션 결과를 화재위험요소로 활용하여 피난시물레이션^{15,16)}을 수행해 보면 인명피해 발생여부를 더 과학적으로 검증할 수 있을 것으로 판단되어 피난개시시간별로 피난해석을 수행하였다.

3.2 피난시물레이션 결과

피난시물레이션 프로그램은 입력인자 중에서 피난대상자의 특성을 반영할 수 있도록 거주자 배치기능 (Population mode) 에서 거주자별 피난개시시간을 다르게 적용할 수 있는 특징¹¹⁾이 있다.

Table 2는 피난시물레이션에 사용된 거주자 행동특성을 나타낸 것으로 보통의 4인 가족으로 구성되어 있으며 나이, 성별, 키, 체중, 피난개시시간은 피난시나리오에 따라 입력하였고 나머지 값들은 프로그램의 초기값(default)을 사용하였다.

Table 2. The Characteristics of Populations

구분	입력 값		비고
나이	40~50세	10~20세	부부와 자녀
체중	60~80 kg	40~80 kg	부부와 자녀
키	1.6~1.8 m	1.5~1.8 m	부부와 자녀
피난개시시간 (Response Time)	170초부터	170초부터	10초 간격으로 단계별 변화 화재경보기 작동시간(37초) + 피난지연(준비)시간(10초)
	47~57초	47~57초	
민첩성 (Agility)	3~7	3~7	공통
이동성 (Mobility)	1	1	공통
이용 출구 (Target Exit)	door 1	door 1	공통



Figure 9. Spread of smoke and location of populations after fire.

우선 본 연구의 화재시나리오 조건에서 피난을 시작하는 피난개시시간(response time)을 변화시키며 피난 안전을 해석하여 최초로 인명피해가 발생하는 피난개시시간을 파악하였다.

피난개시시간을 170초로 한 경우부터 사망자가 발생되기 시작하였다.

Figure 9는 화재시물레이션에서 얻어진 위험인자를 입력하여 피난시물레이션을 실시한 것으로 화재발생 후 170초, 180초, 190초 그리고 210초일 때의 연기확산도와 피난자의 위치변화를 나타낸 것이다.

피난개시시간을 170초로 한 경우를 기준으로 하였기에 170초 이전 상태에서는 연기가 큰방의 천장부근으로 확산되어도 거주자 4명이 화재사실을 알지 못해 처음의 위치에 그대로 있는 것이다.

화재실인 거실에서부터 현관과 주방 그리고 큰방과 작은 방으로 연기가 확산되고 있으며 시간이 지날수록 연기 농도가 짙게 나타남을 보여준다.

이 그림은 CFAST의 특성에 따라 연기층의 분포를 수평면으로 나타낸 것이어서 거실, 주방, 현관 그리고 방으로 연기가 퍼져나간 것처럼 보이지만 각각의 방에서는 Figure 5의 연기층 높이분포에서 나타낸 것처럼 천장부근으로만 연기가 체류하고 있는 상황이다.

화재 발생 후 180초 때의 연기분포와 피난자 위치를 보면 피난개시시간인 170초를 10초 정도 지난상태여서 4명의 거주자는 처음의 위치에서부터 피난을 시작한 것을 볼 수 있고, 190초에서는 현관까지의 거리가 상대적으로 더 짧은 작은방 2의 거주자는 이미 피난을 완료하여 그림에서는 보이지 않지만 큰방과 작은방 1의 거주자는 거실로 피난 한 것을 볼 수 있다.

화재발생 후 210초가 되면서 이미 사망자가 발생하기 시작하여 2명이 사망한 것으로 나타났다.

Figure 10은 피난개시시간을 170초로 한 피난시물레이션을 한 결과로 거주자 4명 중 화재발생 약 190초

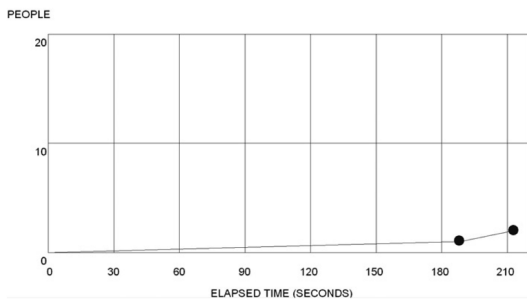


Figure 10. Total evacuation time.

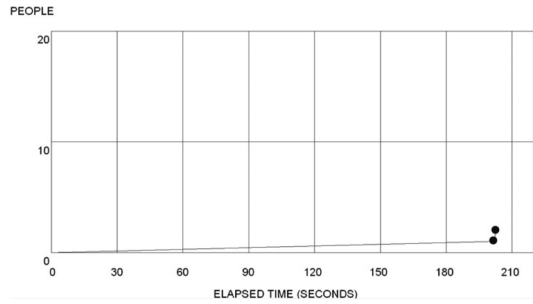


Figure 11. Total mortuary number and elapsed time.

후에 1명이 그리고 다른 1명은 205초에 피난을 완료한 것을 볼 수 있으나 나머지 2명은 사망자여서 피난자 수 그래프에는 나타나지 않았다.

Figure 11은 사망자 수를 나타낸 것으로 피난개시시간을 170초로 하여 피난시물레이션을 실시하였을 때 화재발생 약 195초 후에 2명이 사망한 것으로 나타났다.

본 연구에 사용된 피난시물레이션 프로그램에서는 사망자가 발생하는 경우 사망자 발생위치와 해당 사망자들의 최초 출발위치를 확인할 수 있는데 그 기능을 이용하여 사망자발생위치를 Figure 12에 나타냈다. 2명의 사망자들은 현관을 빠져나가지 못하고 거실의 끝부분 즉 현관부근에서 모두 사망한 것으로 나타났다.

그리고 그 사망자들의 출발위치를 나타낸 것이 Figure 13으로 사망자 2명은 현관으로부터 상대적으로 거리가 먼 큰방에 있던 거주자로 Table 2에 나타낸 것처럼 4대 부부인 것을 알 수 있다.

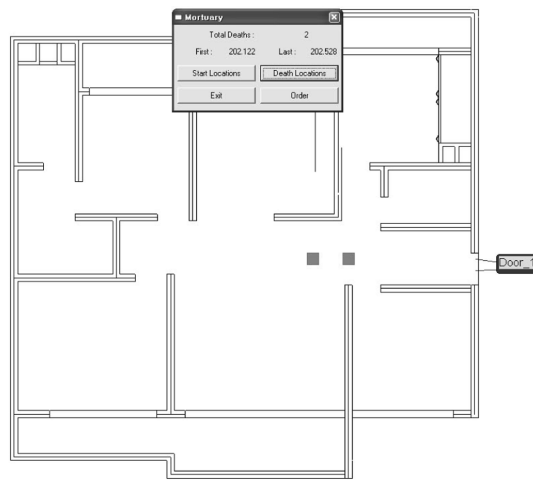


Figure 12. Location of mortuary.

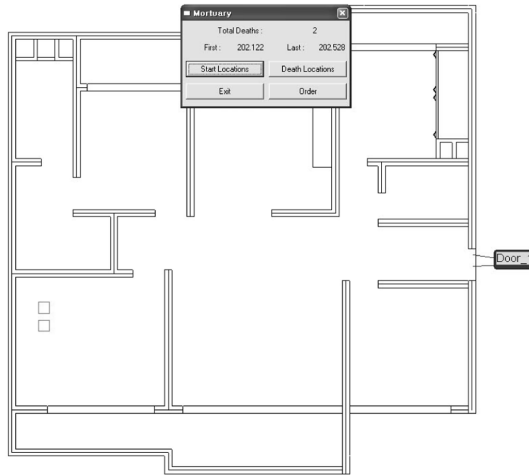


Figure 13. Evacuation start location of mortuary.

이는 Figure 8의 연기층 높이변화에서도 알 수 있듯이 화재발생 후 200초에는 이미 연기가 거실에서는 바닥으로부터 0.4 m까지, 현관에서는 0.24 m까지 하강하였고, 거실에서의 CO 농도는 1,200 ppm, CO₂ 농도도 4.74 %이고 실내의 온도도 350 °C까지 증가하여 피난에 영향을 미치는 상태가 되었고 그 결과 사망에까지 이른 것으로 판단된다.

따라서 피난개시시간이 늦어진 경우 거실과 현관으로 고온의 연기와 유독성가스가 확산되어 피난에 장애를 받게 되므로 안전한 피난이 불가능함을 알 수 있다. 그러므로 위험한 조건이 되기 전에 피난을 완료할 수 있도록 피난개시시간을 단축시키는 것이 필요하다고 본다.

이를 위해 거실에 주택용화재경보기를 설치할 경우 화재경보가 조기에 이루어진다면 피난에 어떤 영향을 미치는지를 분석하는 것이 본 연구의 목적이므로 Table 1에 나타난 것처럼 CFAST 프로그램에서 구한 화재경보기 작동시간인 37.1초를 피난개시시간으로 하여 피난시뮬레이션을 실시하였다.

화재경보가 시작되는 37.1초에서 약 10초~20초 정도의 피난준비시간(피난 지연시간)을 가정하여 Table 2에 나타난 것과 같이 피난개시시간(response time)만 47초에서 57초 사이로 입력하여 다시 피난해석을 하였다.

Figure 14에 피난을 개시한 후의 연기확산정도와 거주자의 피난위치를 나타냈다.

화재발생 후 100초에는 이미 피난이 완료된 것을 볼 수 있고, Figure 9와 비교해 불 때 연기의 농도도 질지 않고, Figure 5의 연기층 높이분포에서도 현관과 거실에 약 1 m 정도까지만 연기가 하강하여 피난개시시간

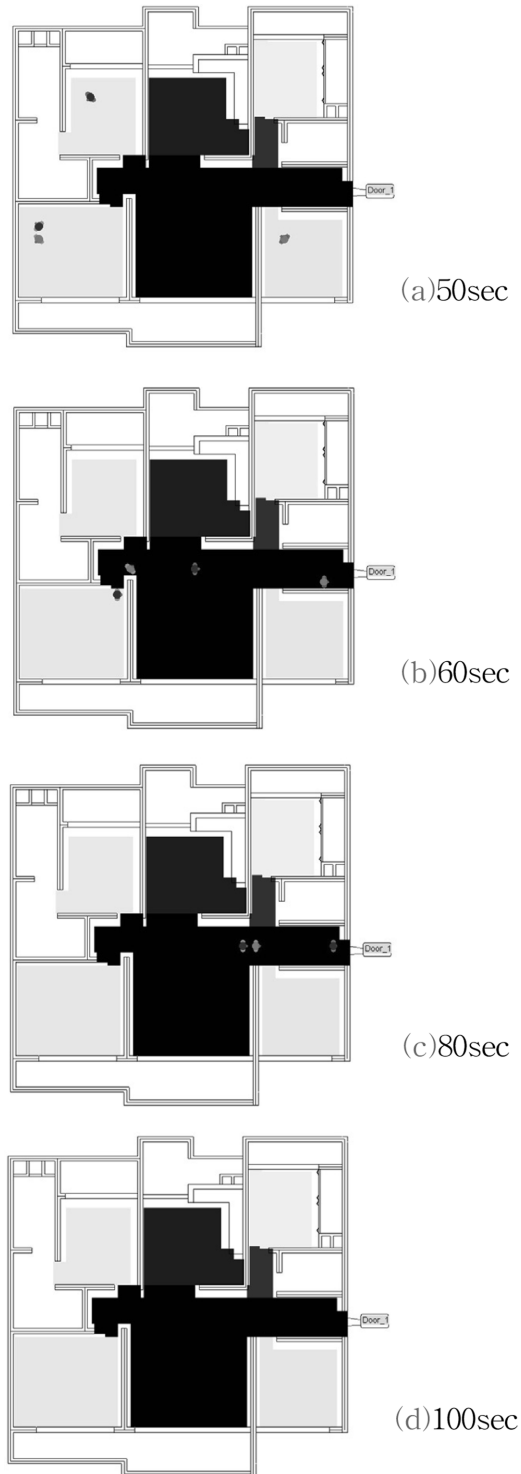


Figure 14. Spread of smoke and location of populations after fire.

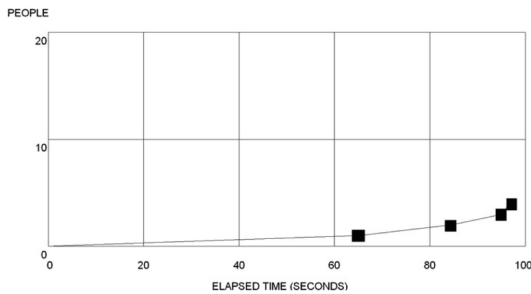


Figure 15. Total evacuation time with four people.

이 짧을수록 더 안전하다고 판단할 수 있다.

Figure 15는 피난개시시간을 47초에서 57초 사이로 입력하여 피난시물레이션을 하였을 때 거주자의 피난 완료시간을 나타낸 것으로 주택의 거주자 4명 모두가 안전하게 피난을 완료하는데 걸린 시간은 97초로 나타났다.

따라서 특히 야간의 주택화재에서 인명피해를 줄이기 위한 방법 중의 하나로 주택용화재경보기를 설치한다면 취침 중이라 해도 조기에 화재경보를 듣고 초기 대응을 할 수 있으므로 인명피해는 물론이고 화재확대에 따른 재산피해를 막는데도 큰 도움이 된다고 판단된다.

4. 결 론

야간의 주택화재시 취침 중이라면 화재사실을 조기에 알 수 없어 피난개시시간이 지연됨에 따라 인명피해 위험이 높아지게 된다. 따라서 주택용화재경보기를 설치하여 조기에 화재경보를 해주어 피난개시시간을 단축시킬 때 인명안전에 미치는 영향을 분석하였다.

화재 및 피난시물레이션 전용 프로그램을 이용하여 화재경보기를 설치할 경우의 피난안전해석을 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 피난의 통로가 되는 거실과 현관에서의 연기층 높이가 피난에 영향을 미칠 수 있는 1.8 m까지 하강하는데 걸리는 시간은 화재발생 후 50초 정도였고, 화재 발생 140초 후에는 바닥에서 0.5 m 정도까지 하강하여 피난하기 어려운 상황이 되었다.

2) 큰방의 연기층 높이는 2.14 m 정도로 천장부근에만 머물러 있어 연기층의 높이가 낮아져 취침중인 사람이 화재를 조기에 인지하고 잠에서 깨어나 피난을 한다는 것이 가능하지 않을 것으로 판단되었다.

3) 따라서 본 연구의 실험 조건에서는 피난개시시간을 170초로 하였을 때 2명의 거주자가 사망하는 것으로 나타났다.

4) 사망자들의 최초 출발위치는 큰방이었고, 사망자 위치는 현관시작부분이어서 피난개시시간이 늦어지면 피난이 불가능한 것으로 확인되었다.

5) 화재시물레이션에서 연기감지기가 작동한 37.1초를 피난개시시간으로 하여 피난해석을 한 결과 인명피해는 없었다.

따라서 야간의 주택화재라면 피난개시시간이 늦어질 경우 거실과 현관으로 연기와 유독성가스가 확산되어 피난에 장애를 받게 되므로 피난개시시간을 단축시키는 것이 필요하다고 본다. 이를 위해 화재경보기를 설치할 경우 주택화재에서 인명과 재산피해를 줄이는데 효과가 있다고 판단된다.

참고문헌

- 소방방재청, “2009 화재발생현황 분석”, pp.1-4(2010).
- 박재성, “주택화재 발생원인 및 특성에 대한 개선과제”, 소방방재청 주택화재 예방대책 세미나, pp.19-27(2010).
- 소수현, “단독경보형 감지기의 효율성 및 성능, 사례”, 소방방재청 주택화재 예방대책 세미나, pp.31-46(2010).
- 정희만, “도심형 주택화재 사례 및 개선방안”, 소방방재청 주택화재 예방대책 세미나, pp.49-58(2010).
- 남재호, “건축관계법규해설”, 제12판, 도서출판 세진사, pp.17-18(2010).
- 백열선, 최영상, “소방관계법규”, 초판, 도서출판 골드, pp.164-169(2007).
- 소방방재청, “소방시설의 설치유지 및 안전관리에 관한 법률”(2011).
- 최영상, 박종탁, “주택화재시 화재경보기와 스프링클러의 작동시간과 효과에 대한 연구”, 대구보건대학 논문집 제30집, pp.1-9(2010).
- 백열선, 최영상, “주택화재시 피난개시시간에 따른 피난안전해석”, 김천대학교논문집 제31집, pp.213-229(2010).
- 전홍균, 최영상, 추홍록, “아파트 화재사례 전산모사를 통한 화재위험성 평가에 관한 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.24, No.4, pp.69-78(2010).
- Richard D. Peacock, Walter W. Jones, Paul A. Reneke and Glenn P., “CFAST User’s Guide, Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6)”, Forney NIST Special Publication 1041, pp.3-86(2008).
- 황준호, 김운형, 정영대, 정현, 지호성, 편석범, “화재시물레이션 실무”, 초판, 동화기술, pp.37-106(2007).
- 중앙소방학교, “화재·피난시물레이션”, pp.6-168(2009).
- 남상욱, “소방시설의 설계 및 시공”, 개정3판, 성안당,

- pp.284-375(2010).
15. E.R. Galea, "Principles and Practice of Evacuation Modeling", 9th, FSEG of the University of Greenwich (2008).
 16. E.R. Galea, "Introduction to Building EXODUS (V4.05)-User's Guide", FSEG of the University of Greenwich (2006).
 17. 소방방재청, "소방시설의 성능위주 설계방법 및 기준" (2011).