

## 국내 FDS연구동향 및 적용사례분석

김봉찬 · 이 랑 · 김동은 · 이주희\* · 권영진

호서대학교 소방방재학과 · 호서대학교 메카트로닉스 학과\*

### A Case Analysis and Research Trends of FDS in Domestic

Kim, Bong Chan · Lee, Rang · Kim, Dong Eun · Lee, Ju Hee · Kwon, Young Jin

Hoseo University Fire and Disaster Protection Engineering

Hoseo University Mechatronics Engineering\*

#### 요 약

본 연구는 국내 FDS연구동향 및 적용사례를 분석한 것으로서, 분석한 결과 FDS는 법의 개정 및 화재사고와 밀접한 관계를 가지는 것으로 판단되었다. 또한 FDS 수치해석시의 격자 민감도, 벽면의 난류유동 등의 문제점이 파악되어, 향후 개선되어야 할 것으로 판단된다.

#### 1. 서 론

건축물은 생활의 편리성 및 공간의 효율성을 중심으로 그 형태가 발전하여 현재는 초고층화·대형화·지하심층화 되어 화재 발생 시 대형화재가 발생할 가능성이 크다. 이에 2005년 성능위주설계가 입법화 되었으며, 2012년부터 ‘초고층·지하연계 복합건축물 재난관리에 관한 특별법’이 시행을 앞두고 있으나, 아직까지 화재성상예측 및 설비적 측면의 뚜렷한 방안이 마련되어 있지 않은 실정이다. 효율적인 평가방안으로서 CFD기법을 이용한 시뮬레이션이 있으며, 특히 국내에서는 NIST에서 개발한 FDS (Fire Dynamics Simulator)를 많이 사용하고 있다. 그러나 FDS 화재모델링에는 한계성이 존재하기 때문에 그 문제점을 파악하고 개선점을 찾아야만 한다.

이에 본 연구에서는 국내에서 학술적으로 검증된 학술논문, 학술지 그리고 학위논문을 중심으로 국내 FDS의 연구동향을 살펴보고, FDS의 적용사례를 분석을 통하여 문제점을 도출하였다. 또한 향후 FDS 관련 연구방향에 기초적 자료로서 활용되고자 한다.

#### 2. 국내 FDS 연구 동향

국내 FDS 연구 동향은 2000년을 기준으로 2011년 전반기까지의 한국화재소방학회, 대한기계학회, 한국철도학회, 한국안전학회 등의 학술논문 및 학회지 논문, 그리고 학위논문

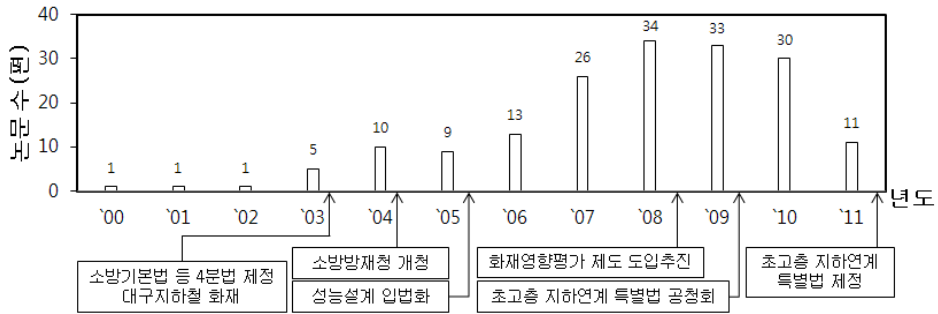


그림 1. 연도별 논문 수

표 1. 적용대상별 논문 수

년도	설비	터널	구획화재	복합건축물	실험비교	지하철	FDS 분석	공장	원전	선박	기타	합계
2000	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1
2001	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
2002	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
2003	1	-	1	-	1	2	-	-	-	-	-	5
2004	-	1	-	-	2	3	2	-	-	2	-	10
2005	3	1	-	-	1	2	-	-	1	-	1	9
2006	2	1	1	1	2	3	-	-	-	2	1	13
2007	5	4	1	7	1	5	-	-	1	2	-	26
2008	3	4	4	1	8	10	1	-	-	-	3	34
2009	2	5	1	2	8	10	1	1	-	1	2	33
2010	1	-	7	4	2	8	-	1	4	2	1	30
2011 전반기	3	-	1	2	-	1	-	-	1	1	2	11
합계	21	17	16	17	25	44	4	3	7	10	10	174

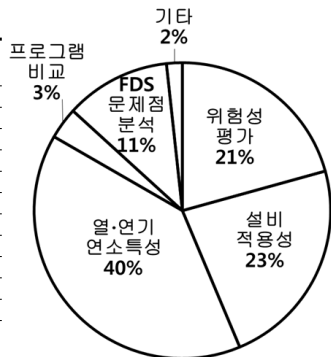


그림 2. 연구분야별 분류

174건을 수집하여 수량적인 측면에서 연도별, 대상별, 연구분야별로 분류하였다.

FDS 관련 연구는 그림 1에서와 같이 2000년부터 지속적으로 증가하는 추세이며, 2003년부터 급증하는 것을 볼 수 있는데 이것은 2003년 대구 지하철화재가 발생한 후 지하심층화, 대형화 된 공간에 대한 위험성이 부각되었기 때문인 것으로 사료되며, 2008년 총 35건으로 가장 많은 논문 수를 기록한 것은 2009년부터 시행된 성능위주설계(PBD)가 큰 역할을 한 것으로 판단된다.

표 1에서는 대상별로 분류한 것으로 지하철 및 지하역사에 관련된 논문이 44건으로 가장 많은 것으로 나타났으며, 다음으로는 25건으로 실험과 시뮬레이션의 비교, 21건으로 설비의 순으로 나타났다.

그림 2에서는 연구분야별로 분류한 것으로 열, 연기 및 연소특성에 관한 분야가 40%로 가장 높은 비율로 나타났고, 다음은 23%로 설비의 적용성분야로 나타났으며, 다음으로는 21%로 화재위험성·피난안전성 평가의 순으로 나타났다.

### 3. FDS 적용사례 분석

FDS 적용사례 분석은 실험과 FDS의 결과값을 비교분석한 49편 중 FDS Ver.5가 사용되기 시작한 2007년을 기점으로 2011년까지의 논문을 대상으로 문제점을 분석하였다.

표 2. FDS 적용사례 분석

년도	저자	제목	적용사례 분석
2007	지문하 외 2명	성능기반 화재모델(FDS)을 이용한 원전 방화지역 화재위험 분석조건에 대한 민감도 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 폭발, 폭굉 등 음속에 가까운 유동해석에는 적합하지 않음</li> <li>• 형상이 복잡한 공간의 난류 해석은 기대할 수 없음</li> <li>• 격자의 크기에 따라 결과값이 상이해짐</li> <li>• 약 50%의 불확실성을 내포하고 있음</li> </ul>
2007	이덕희 외 2명	철도차량 화재모델링에서의 재료별 연소특성 시험법 조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실물에 대한 근거 있는 시험결과와 활용이 필요</li> </ul>
2007	고경찬	터널화재에서 제트팬방식과 균일배기방식의 제연효율에 관한 수치연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 화재성장을 지나치게 빨리 예측하나 ramp로 조절 가능</li> </ul>
2007	이성은 외 1명	회오리 화염의 연소특성과 FDS를 이용한 회오리 화염 해석에 관한 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fire whirl이 약 70%정도 높게 나타남</li> <li>• 실제 실험에서 열손실등의 영향들에 의한 것으로 판단</li> </ul>
2007	김종윤 외 4명	Jet fan 급접 화재 발생 시 제연 특성 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실험시의 열손실에 대한 고려가 힘들</li> </ul>
2008	배송용 외 4명	발염량의 차이에 따른 Fire Whirl의 유통특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 화염의 높이 및 gap을 통해 유입되는 공기의 속도는 실험결과에 비해 다소 낮게 예측</li> </ul>
2008	배송범 외 6명	화재분석모델을 이용한 이중격실화재 검증 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 격자 민감도분석이 필수</li> </ul>
2008	배송범 외 5명	환기가 제한된 두 개 격실 화재에서 FDS 검증분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 환기 지배형 화재인 격실화재에서 산소 농도가 증가 하였음에도 불구하고 격실 최대온도에는 변화가 없었음</li> <li>• 환기가 제한된 이중격실 화재에서 실험값과 유사한 경향을 나타내었으나 격실 최대온도 등 대부분 주요 변수들이 다소 낮게 모사됨.</li> </ul>
2008	박계원 외 3명	FDS 모델링을 통한 실대화재시험 비교분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 샌드위치 패널 화재 시험시 강판과 심재 간에 열전달 특성이 정밀하게 해석되지 못하는 한계</li> <li>• 샌드위치 패널의 붕괴 및 패널 틈새간 화염분출 등의 유관관찰을 할 수 없음</li> </ul>
2008	박외철	FDS를 사용한 수직벽화재 시뮬레이션의 문제점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 스마고린스키 상수가 0.1일 때 온도분포가 실험과 비교적 잘 일치</li> <li>• 벽면에서의 열유속에는 두 연소율의 경우에 모두 큰 오차가 발생</li> </ul>
2008	지문하 외 1명	FDS를 이용한 교번식 미분무방식의 소화 성능 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 입자분포와 직경에 대한 불확실성과 민감도 해석이 필요</li> </ul>
2009	김성찬 외 2명	생성을 개념에 기초한 화재모델의 신뢰성에 대한 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 화염 외부의 연기 내 CO 농도는 생성율에 기초하여 고려되어야 함</li> <li>• soot의 생성이나 산화화 관련된 물리적 모델은 전혀 고려하지 않음</li> </ul>
2009	임경범 외 2명	터널 화재 시 피난통로 확보를 위한 안전성 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 터널 입구유동에서 난류가 존재하지 않으며 벽면에서도 난류 유동을 무시하고 있음</li> </ul>
2009	박외철	프로필렌 수직벽 화재의 수치적 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 열유속이 실험모델에 비해 지나치게 높게 나타남</li> </ul>
2009	신인호 외 3명	행탄연소실험을 이용한 FDS code의 적용성 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 격자크기의 선정은 가장 중요한 사항</li> <li>• 개방공간에 대한 해석에서는 빠른 화재성장속도의 단점이 보완됨</li> </ul>
2009	장용준 외 3명	환기가 있는 터널에서의 화재유동 해석의 정확성에 대한 고찰	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 환기가 강한 경우 FDS의 예측 성능이 많이 떨어지는 것을 확인</li> </ul>
2009	고권현 외 3명	환기부족 구획화재에 대한 FDS 해석 및 검증	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 혼합분율 값의 오차는 환기 부족 조건이 심화됨에 따라 커짐</li> </ul>
2009	양성진 외 2명	FDS 열분해 모델을 이용한 콘칼로리미터 (ISO 5660) 화재 시뮬레이션	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 열분해 지연현상들을 일일이 표현할 수 없음</li> <li>• 급격한 곡선의 기울기가 예측됨</li> </ul>
2009	김성찬 외 1명	FDS 화재해석 모델에 적용된 CO와 연기 생성을 개념에 대한 고찰	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공간내부 연소조건 변화에 따라 실제 연소생성물의 농도와 수치 해석결과는 다를 수 있음</li> </ul>
2009	양성진 외 1명	TGA 분석을 통한 중합체 열분해율이 화재 성장에 미치는 영향성에 대한 수치해석연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 최대 열방출율을 기록하고 그 값이 급격하게 저하되는 현상이 발생</li> </ul>
2010	황철홍 외 3명	구획화재에서 환기조건 변화가 화재특성에 미치는 영향 1, 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FDS는 시간이 증가할수록 CO<sub>2</sub>의 감소 및 CO의 증가와 같은 비정상적인 반응특성을 정확하게 예측하지 못함</li> </ul>
2010	배송범 외 5명	이중격실 Pool 화재에 대한 FDS 검증분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FDS에서 환기량 미소변화는 온도 및 열유속의 민감도에 별다른 영향을 주지 못하지만, 열방출률 미소변화에 온도 및 열유속은 상당히 민감함을 확인</li> <li>• 산소농도는 상층부 및 하층부에서 열방출률 및 환기량의 미소변화에 민감하게 반응하며 특히 상층부의 경우에는 열방출률 미소변화가 환기량 미소변화 보다 더 민감하게 영향을 받음</li> </ul>
2010	고권현 외 3명	환기부족 구획화재에 대한 FDS 해석 및 검증	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO와 soot의 질량분율 등의 화학종 농도의 예측에 있어서 환기부족 조건에서는 상당한 오차를 보임</li> <li>• 실험과의 차이는 환기부족 조건이 심화될수록 커짐</li> <li>• CO나 soot의 발생을 보다 정확하게 예측하기 위해서는 환기 조건에 따른 생성율의 변화를 고려할 수 있는 새로운 방법이 필요</li> </ul>

표 2는 2007년부터 2011년까지의 적용사례를 정리한 것으로 적용사례에 따른 FDS의 문제점을 분석하였다. FDS의 문제점으로 가장 많은 부분을 차지하는 것은 격자의 민감도에 관한 것이었으며, 벽면에서의 난류유동예측이 무시되는 것이다. 또한 환기량의 변화에 따라 실험과의 결과 값이 크게 달라지는 것으로 나타났으며, 환기부족의 조건에서는 CO

와 soot의 질량분율 등의 화학종 농도의 예측부분에서 상당한 오차가 발생하게 되는 것으로 해석되었다. 그리고 샌드위치패널과 같은 형상의 모델링에서는 샌드위치패널의 화재특성을 표현하기에는 한계가 있고, 특히 붕괴 및 틈새의 발생에 화염분출 등의 유관관찰이 불가능한 것으로 해석되었다.

실험과의 시뮬레이션의 비교 시 실험에서의 열손실에 대한 고려가 힘든 것으로 나타났으며, 빠른 화재성장예측과 열유속, 최대열방출율을 기록하고 급격하게 값이 저하되는 것 또한 문제점으로 지적되었다.

#### 4. 결 론

국내 FDS의 연구동향을 살펴보고 FDS의 적용사례를 분석을 통하여 문제점을 도출한 결과는 다음과 같다.

- 1) 국내의 FDS 연구동향은 2003년 대구지하철 화재를 기점으로 빠른 증가추세를 보이며, 2008년 가장 많은 수의 논문이 나온 것은 2009년부터 시행된 성능위주설계(PBD)에 영향을 받은 것으로 사료된다. 또한 시뮬레이션 대상으로는 지하철 및 지하역사가 가장 많은 44건으로 나타났으며, 연구분야에서는 40%로 열·연기 및 연소특성에 관한 분야였다. FDS관련 연구는 법의 개정 및 화재사고와 밀접한 관계를 가지는 것으로 판단된다.
- 2) FDS 적용사례분석을 통해 격자의 민감도, 벽면의 난류유동, CO와 soot의 발생에 관한 오차, 환기조건에 따른 결과 값의 오차, 샌드위치패널의 모사 한계성 등이 수치해석시의 문제점으로 나타났다.

향후, 지속적으로 증가하는 초고층 건축물 및 대형공간에 따라 시뮬레이션 연구 또한 지속적으로 증가할 것으로 사료되며, 분석된 문제점들에 대한 개선이 필요할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 2011년 소방방재청 차세대 핵심소방안전기술개발 과제 1665005762[NEMA-차세대-2011-3] 지원에 의하여 수행하였으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 지문학 외 2명 (2007). “성능기반 화재모델(FDS)을 이용한 원전 방화지역 화재위험 분석 조건에 대한 민감도 해석” 한국화재소방학회 논문지. 제 21권 제2호. pp98-104.
2. 이성은 외 1명 (2007). “회오리 화염의 연소특성과 FDS를 이용한 회오리 화염 해석에 관한 연구” 한국화재소방학회. 춘계학술논문발표집. pp332-337.
3. 배용범 외 5명 (2008). “환기가 제한된 두 개 격실 화재에서 FDS 검증분석” 한국화재소방학회. 추계학술논문발표집. pp438-443.
4. 김성찬 외 2명 (2009). “생성을 개념에 기초한 화재모델의 신뢰성에 대한 연구” 한국화재소방학회 논문지. 제 23권 제4호. pp130-136.
5. 고권현 외 3명 (2009). “환기부족 구획화재에 대한 FDS 해석 및 검증” 한국화재소방학회 논문지. 제 23권 제5호. pp103-109.
6. 황철홍 외 3명 (2010). “구획화재에서 환기조건이 변화가 화재특성에 미치는 영향 (Part 1: FDS의 성능평가)” 한국화재소방학회 논문지. 제 24권 제3호. pp131-138.