

# 화재시뮬레이션을 활용한 노래방 화재 위험성 분석

김태권\*, 박종철<sup>2</sup>

<sup>1</sup>계명대학교 기계자동차공학과, <sup>2</sup>계명대학교 대학원 기계공학과

## Analysis of fire hazard of karaoke utilizing the fire simulation

Tae Kwon Kim<sup>1\*</sup> and Jong Choel Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical and Automotive Engineering, Keimyung University

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Keimyung University

**요약** 본 연구에서는 노래방 화재의 위험성을 예측하기 위하여 2-zone model CFAST 소프트웨어를 이용하여 해석을 수행하였다. 모델은 3차원 비정상 상태이다. 또한, CFAST의 해석 결과와 실제 화재 재현 실험결과를 비교 분석하여 CFAST의 정확성이 검증되었다. 해석 결과 화재가 발생된 방에서 화재발생 5분 이내에 산소농도는 10% 까지 감소하며, 이산화탄소 농도는 5%까지 증가하였다. 따라서 노래방과 같은 밀폐된 공간에서는 유독가스에 의한 질식으로 더 위험한 상황이 발생한다는 것을 예측할 수 있다.

**Abstract** In this study, 2-zone model CFAST software was used to predict the fire hazard of karaoke. Model is a three-dimensional unsteady state. Accuracy of CFAST is verified by comparing result of CFAST analysis with result of real fire experiment. For analysis results, the oxygen concentration were reduced to 10% within 5 minutes in room 5, the carbon dioxide concentration were increased to 5%. Therefore, at the enclosed space like karaoke, we can predict that dangerous situation would occur and people be suffocated because of toxic gas.

**Key Words** : CFAST, Fire hazard, Karaoke, Zone model

### 1. 서론

재난종합 상황 중 하나인 화재는 전국 최근 5년('08~'12)간 총 225,935건이다. 인명피해는 11,134명(사망 1,711명, 부상 9,423명)으로 집계되었다. 5년간 화재발생 건수가 가장 높은 년도는 08년도 49,631건으로 가장 높으며, 10년도에는 가장 낮은 41,863건으로 기록되어 있다. 주요 발화 원인에 대한 2012년의 통계자료를 따르면 총 화재발생 43,249건 중 비 주거 지역에서의 화재 발생은 13,201건이 발생하였다. 이 중 부주의로 인한 화재가 43.5% (5748건), 전기적 요인 41.9% (5,525건), 기계적 요인 12.2% (1,609건)의 순서로 발화 요인이 집계되었다(소방방재청).

특히, 많은 사람들이 이용하여 사람들이 밀집되어 있는 다중이용업소 예전 차질 큰 인명피해를 발생 시킬 수

있는 공간으로 이에 대한 위험성을 인지하고 확실한 대비가 중요하다. 다중 이용 업소에 포함되는 업소는 음식점, 주점, 노래연습장, 비디오물감상실 등이 해당된다. Fig. 1은 2012년 다중이용업소 화재 건수를 세부적으로 나타낸 그래프이다. 음식점이 140건으로 가장 많이 발생하였고, 주점이 126건, 노래연습장이 112건 발생하였다. 여기서 비슷한 내부 구조를 지닌 주점과 노래연습장의 화재 발생 건수가 전체의 46.3%를 차지하고 있어 다중이용업소 중 화재에 가장 취약한 구조를 가지는 것을 알 수 있다.

이에 본 연구에서는 한국건설기술연구원과 삼성방재연구소에서 발표한 노래방 화재 재현 실험 보고서의 데이터를 바탕으로 컴퓨터를 이용한 화재 시뮬레이션인 CFAST를 사용한 해석을 수행하여 위험요소와 정도를 예측하고자 한다.

\*Corresponding Author : Tae Kwon Kim(Keimyung Univ.)

Tel: +82-53-580-5551 email: tkkim@kmu.ac.kr

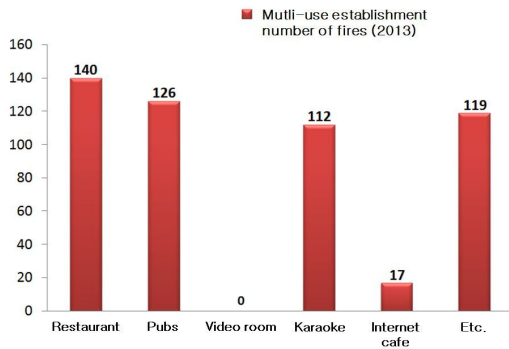
Received January 16, 2014

Revised February 25, 2014

Accepted May 8, 2014

[Table 1] Recommended size limit of compartments

| Group         | Conditions appropriate | Conditions consider | Corridor flow algorithm |
|---------------|------------------------|---------------------|-------------------------|
| $(L/W)_{max}$ | $L/W < 3$              | $3 < L/W < 5$       | $L/W > 5$               |
| $(L/H)_{max}$ | $L/H < 3$              | $3 < L/H < 6$       | $L/H > 6$               |
| $(W/H)_{max}$ | $W/H > 0.4$            | $0.2 < W/H < 0.4$   | $W/H < 0.2$             |



[Fig. 1] Multi-use establishment number of fires

## 2. 본론

### 2.1 CFAST 수치해석 모델

CFAST는 미국 National Institute of Standards and Technology(NIST)에서 제공하는 모델로 존 모델(CCFM)에서 필요한 사항을 조합하여 FAST모델로부터 재구성한 모델이다. 존 모델인 CFAST에 사용되는 모델링 방정식은 보통 미분방정식의 초기 값을 가진 수학적 형태를 갖고 있다. 그러한 방정식은 이상기체의 법칙, 에너지 보존법칙, 질량보존의 법칙을 사용하여 유도되어졌다. 아래 수식을 살펴보면 식 (1)은 경계층의 압력을 계산하는 식이며, 식 (2)는 경계층의 체적을 계산하는 식이고, 식 (3)과 식 (4)는 경계층의 온도를 계산하는 식이다.

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\gamma - 1}{V} (\dot{h}_L + \dot{h}_V) \quad (1)$$

$$\frac{dV_U}{dt} = \frac{1}{\gamma P} \left[ (\gamma - 1) \dot{h}_U - V_U \frac{dP}{dt} \right] \quad (2)$$

$$\frac{dT_U}{dt} = \frac{1}{c_p \rho_U V_U} \left[ (\dot{h}_U - c_p \dot{m}_U T_U) + V_U \frac{dP}{dt} \right] \quad (3)$$

$$\frac{dT_L}{dt} = \frac{1}{c_p \rho_L V_L} \left[ (\dot{h}_L - c_p \dot{m}_L T_L) + V_L \frac{dP}{dt} \right] \quad (4)$$

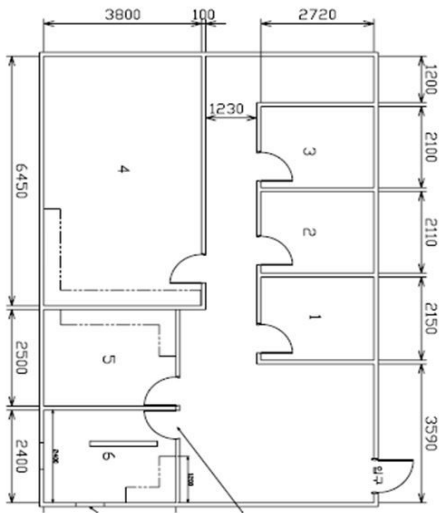
CFAST는 화재가 발생할 경우 건축물의 구획실을 통해 연기, 유해가스, 온도의 전개 분포를 계산하기 위해 사용되는 2-존 화재 모델이다. 모델링은 시각형으로만 구현 가능하고, 최대 30개의 구획실로 제한적 설정이 가능하다. 최소  $1m^3$ 의 작은 영역에서부터 최대  $1000m^3$ 의 영역까지 모델링이 가능하며, 구획실의 크기와 재질 설정이 가능하다. 또한 문과 유리창, 바닥과 천정의 기계적인 환기구 같은 구획 간의 연결이 가능하며, 화재 발생 위치와 크기를 조절할 수 있다. 화재가 발생하는 물질은 열전도성, 비열, 밀도, 두께 및 화재특성 등에 의해 결정된다.

구획실의 모델링에 있어서 가장 적당한 존 모델은 폭과 길이가 너무 차이 나지 않는 구획을 설정하는 것이다. 구획실의 수평적인 치수가 크면 유동형태는 비대칭의 유동형태를 나타 낼 것이며, 너무 좁으면 온도는 나선형의 확산형태로 온도가 확산되어 고른 온도분포를 갖지 못한다. 따라서 구획실의 높이(H), 폭(W), 길이(L)의 비율에 적당한 한계치를 이해하여야 하며 권장되는 치수사항을 Table 1에 나타내었다[1].

### 2.2 화재 재현 실험데이터와 CFAST 해석 데이터 비교분석

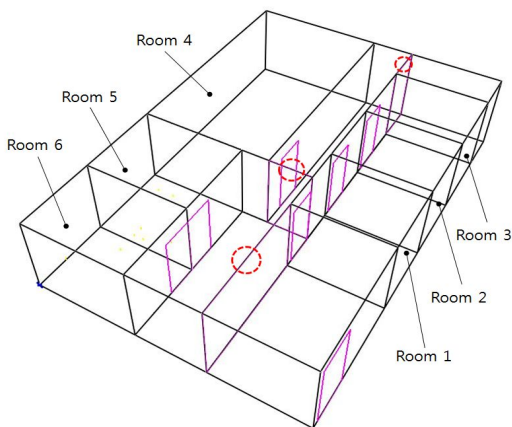
화재 재현 실험 데이터는 한국건설기술연구원에서 2012년 7월에 시행한 노래방 식물화재 실험을 통해 연소 성상 및 연기거동 특성 파악을

위해 시행한 화재 재현 실험이다. Fig 2는 화재 실험 대상은 노래방의 단면도이며 화재 발생 시나리오는 5번방의 모니터 내부 분진에 의한 발화로 시작하여 화재가 발생된다. 발생된 화재는 4번방과 6번방에 화재 확산 전에 안전을 위해서 화재를 진압 하였다. 노래방 내부의 연소가스와 온도를 측정하였으며, 연소 형상을 획득 하기 위해 CCTV를 설치하여 데이터를 도출 하였다[2].



[Fig. 2] Drawing of the Karaoke

Fig. 3는 노래방 실물화재 실험의 단면도를 참고하여 CFAST 를 통하여 구획실을 모델링 하였다. 앞서 언급한 CFAST 의 구획실 설정이 오로지 사각형으로만 구현되는 특성으로 노래방의 로비는 4개의 사각형 구획으로 나누어 모델링을 하였다. 나누어진 구획들을 연결시켜 주기 위해서 Fig. 3에서 적색 원으로 표시한 부분을 천정까지 이어져있는 하나의 통로형태로 설정하여 100% 개방 상태로 조건을 지정해 주었다.

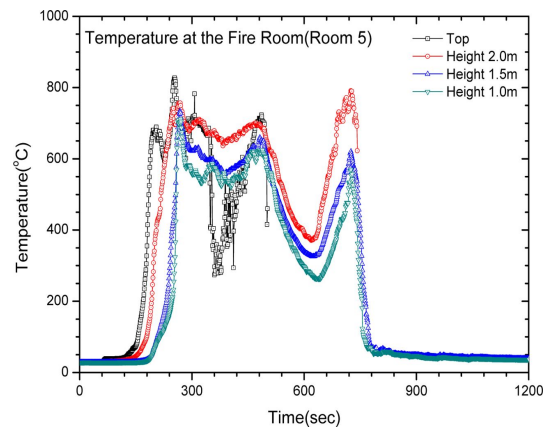


[Fig. 3] Modeling in CFAST

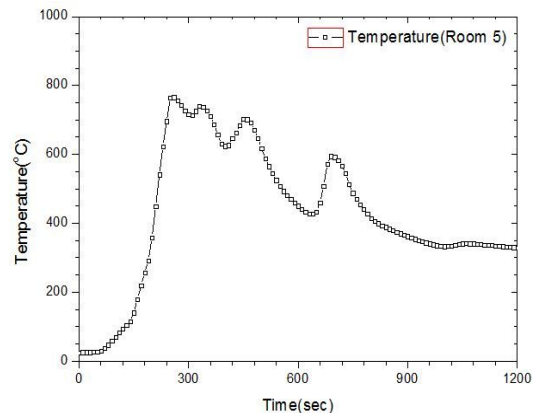
구획실의 높이는 2.4m로 지정해 주었고 각 방의 문의 높이는 1.9m로 지정해 하였으며, 화재시간은 1200초로

설정 하였다. 경계조건으로는 내부 조건은 온도 25°C, 압력은 대기압, 습도는 50%로 주었고 외부 조건은 온도 30°C, 대기압으로 설정하였다. 이와 같은 경계조건을 CFAST에서 설정하여 화재 재현 실험 데이터와 비교 분석 후 화재의 위험적인 상황을 예측 하였다.

먼저 CFAST 해석 결과의 신뢰성을 높이기 위하여 실제 화재 재현 실험의 온도를 비교 분석한다. Fig. 4는 화재 재현 실험으로 측정된 5번방의 온도 데이터 값이다. 그래프를 살펴보면 약 240초 부근에서 화재가 급격하게 성장하게 되며, 이후 420초 부근까지 약간 감소하는 경향을 나타내다가 480초에 다시 온도가 700°C 까지 올라가며 화재가 성장하는 경향을 보여준다. 그 후에 화재가 600초 까지 감소하는 경향을 보이다가 650초부터 다시 화재가 성장하는 경향을 보여준다. 650초에 화재가 성장하는 것은 다른 방으로 화재가 확대되기 시작하는 것으로 생각되며 이를 2차 화재 발생지점으로 명칭 한다.



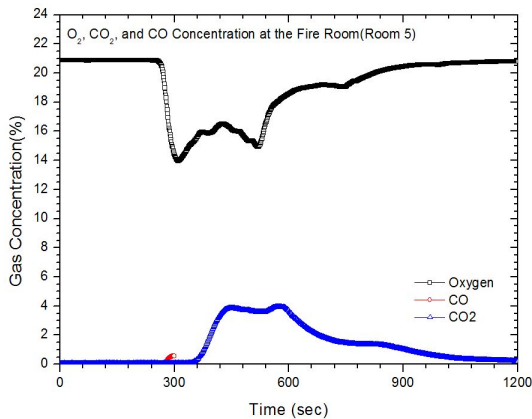
[Fig. 4] Temperature data of real fire experiment (Room 5)



[Fig. 5] Upper temperature data in CFAST(Room 5)

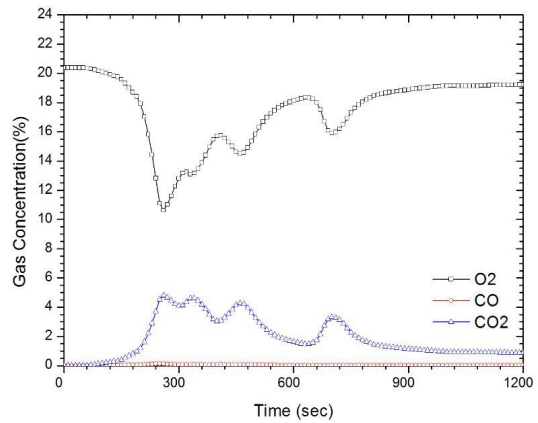
Fig. 5는 CFAST로 시뮬레이션 한 결과 값으로 5번방의 상부 층(1.2m~2.4m)의 온도를 나타내며, Fig. 4의 데이터와 비교를 하기 위해선 2m와 1.5m의 평균온도가 Fig.5의 온도 데이터와 같은 위치의 온도라고 생각하면 된다. Fig. 5를 살펴보면 Fig. 4와 동일하게 화재가 발생한 후 240초 부근에서 화재가 급격하게 성장하는 것을 확인 할 수 있으며, 단계별로 350초에서 발화되며, 480초에서 다른 발화가 일어난다. 이후 600초 까지 화재가 감소하며 약 660초에 2차 화재가 발생하는 동일한 경향을 보여준다. Fig. 4에서는 720초 이후에 급격한 온도 감소가 발생하여 780초 이후에는 상온에 근접하는 경향을 보여주며, Fig. 5에서는 720초 이후에 천천히 감소하여 1200초 까지 350°C를 유지하는 경향을 보여준다. 이는 실제 재현 실험에서 1, 2, 3번방으로 화재가 확산되는 2차 발화지점에서 안전을 위해 700초 이후에 화재 진압을 하여 이와 같은 경향을 나타낸다. Fig. 4와 Fig. 5를 비교하였을 때 온도와 발화 시간의 약간의 차이는 있지만 정성적으로 같은 경향을 보여준다.

다음으로 화재가 발생 했을 때 위험한 요소인 가스 농도에 대한 분석이다. Fig. 6는 화재 재현 실험에서 측정된 5번방의 가스 농도로 산소, 일산화탄소, 이산화탄소의 측정 값 이다. 먼저 산소 농도를 살펴보면 재현 실험에서 5번방의 산소 농도는 초기 21%에서 화재가 발생하는 240 초 부근에서부터 감소하기 시작하여 300초 지점에서 14%까지 감소되는 것을 확인할 수 있다. 이후 420초 부근에서 16%까지 증가하다가 520초 부근에서 15%까지 감소한다. 이는 화재가 발생하는 지점과 산소가 소모되는 지점이 일치하는 경향을 보여준다. 후에 750초에서 감



[Fig. 6] Gas concentration data of real fire experiment (Room 5)

소하는 경향을 나타내려다가 초기 값인 21%에 다시 근접하게 되는데 이는 앞서 말한 화재 진압으로 인한 결과로 볼 수 있으며 Fig. 7과 비교 했을 때 명확한 차이점을 볼 수 있다. Fig. 7을 살펴보면 재현 실험과 달리 산소 농도가 처음 발화되는 지점에서 10%에 가깝게 감소하게 된다. 이는 가연물의 물성 값의 차이와 CFAST 내에서의 작은 환풍구도 제외한 단순한 모델링으로 인하여 화염특성이 서로 달라 이와 같은 현상이 나타나는 것으로 생각 된다.



[Fig. 7] Gas concentration data in CFAST (Room 5)

[Table 2] Effect of O<sub>2</sub> concentration to human

| Oxygen concentration (%) | Effect                                     |
|--------------------------|--|
| 13-16                    | Reduced concentration, Sickness            |
| 10-13                    | Dizziness, amnesia                         |
| 6-10                     | Loss consciousness, Crick                  |
| 6-0                      | Decreased respiration rate, Cardiac arrest |

Table 2는 산소 농도에 따라 인체에 미치는 영향을 나타낸다. 이를 바탕으로 CFAST 해석을 통한 산소농도를 살펴보면 첫 화재가 발달하는 240초 부근에서 산소농도가 10%에 근접하게 감소하게 되므로 만약 5번방에 사람이 있으면 5분 이내에 의식을 잃을 수 있는 조건이 형성된다. 이후에도 화재 발생 중 13~16%의 산소농도를 나타내어 인체에 유해한 영향을 끼친다.

다음으로 이산화탄소의 농도를 살펴보면 재현 실험의 Fig. 6을 살펴보면 360초 부근에서 발생하기 시작하여 600초까지 약 4%를 180초간 유지하며, 이후 감소하는 경향을 보여준다. 이산화탄소 농도 역시 2차 화재 발생지점에서 화재진압으로 인하여 840초 부근에서 발생하려다가 다시 감소하는 경향을 보여준다. CFAST 해석 결과인 Fig. 7을 살펴보면 재현 실험과는 달리 120초 부근에서 서서히 발생하여 350초에 5%에 도달한다. 이후 재현 실험과는 달리 변동 폭이 존재하며 480초 까지 평균적으로 4%의 농도를 유지하다가 감소하는 경향을 보여준다.

Fig. 6와 Fig. 7을 살펴보면 실제 재현 실험에서 이산화탄소 발생이 뒤로 밀려나는 경향을 보여주는데 이는 발화물질의 물성 조건과 같은 화재 조건에 따라 불완전 연소가 발생하여 이산화탄소가 늦게 발생한 것으로 보인다. 또한 구조적인 조건으로 발생되었던 이산화탄소가 환풍기와 문으로 빠져나가면서 조금 늦게 측정되기 시작하였을 것으로 생각된다. 실제 재현실험에서 이산화탄소 발생 시작시간이 CFAST 해석 결과와 차이가 발생하지만 이후 발생하는 경향은 같으므로 정성적으로 같다.

[Table 3] Effect of CO<sub>2</sub> concentration to human

| Carbon dioxide concentration (%) | Effect                                 |
|----------------------------------|--|
| 3-4                              | Breathing disorder, Headache, Vomiting |
| 6                                | Increased respiration                  |
| 8-10                             | Loss consciousness                     |
| 20                               | Central nervous system disability      |
| 30                               | Lethal dose                            |

Table 3는 이산화탄소 농도에 따라 인체에 미치는 영향을 나타낸다. 이를 바탕으로 CFAST 해석을 통한 이산화탄소 농도를 살펴보면 120초 부근에서 발생하기 시작하여 240초에 5%까지 도달하며 이후로 240초간 평균 4%를 유지하므로 화재 발생 후 5분 이내에 호흡장애, 두통 등의 증상이 발생할 것으로 예상된다.

### 3. 결론

본 연구는 노래방의 화재 위험성을 분석하기 위해 컴

퓨터를 이용한 해석 프로그램인 CFAST를 사용하여 화재발생을 해석하고 위험성을 분석하였다. 또한, 오차를 줄이기 위해 CFAST의 해석 결과와 실제 화재 재현실험과 비교 분석하였다. 이를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

실제 재현 실험에서의 온도그래프를 살펴보면 약 240초 부근에서 화재가 급격하게 성장하게 되며, 480초에 다시 온도가 700°C 까지 올라가며 화재가 성장하는 경향을 보여준다. CFAST의 해석결과 역시 동일한 온도결과를 나타내며 약간의 오차는 있지만 정성적으로 경향이 같다. 실제 재현 실험에서 720초 이후에 급격한 온도 감소는 안전을 위한 화재진압으로 인한 결과이다.

실제 재현 실험에서 측정한 산소 농도를 살펴보면 재현 실험에서 5번방의 산소 농도는 초기 21%에서 14%까지 감소되는 것을 확인할 수 있다. CFAST 해석 결과는 재현 실험과 달리 산소 농도가 10%에 가깝게 감소하게 된다. 이는 가연물의 물성 값의 차이와 CFAST 내에서의 작은 환풍구를 제외한 단순한 모델링으로 인하여 화염특성이 서로 달라 이와 같은 현상이 나타나는 것으로 생각된다.

실제 재현 실험에서 측정된 이산화탄소의 농도를 살펴보면 360초 부근에서 발생하기 시작하여 600초까지 약 4%를 유지하며, 이후 감소하는 경향을 보여준다. CFAST 해석 결과는 재현 실험과는 달리 120초 부근에서 서서히 발생하여 350초에 5%에 도달한다. 이후 재현 실험과는 달리 변동 폭이 존재하며 480초 까지 평균적으로 4%의 농도를 유지하다가 감소하는 경향을 보여준다. 실제 재현 실험에서 이산화탄소 발생이 뒤로 밀려나는 경향을 보여주는데 이는 발화물질의 물성 조건과 같은 화재 조건에 따라 불완전 연소가 발생하여 이산화탄소가 늦게 발생한 것으로 생각된다.

CFAST를 이용한 화재 위험성 분석을 수행한 결과 실제 재현 실험 데이터와 경향은 동일하나 세밀한 부분까지 확인하기 어려운 점이 있었다. 이를 개선하기 위해서 이와 비슷한 화재 위험성 분석을 수행할 때 유동장 해석 프로그램 등을 활용하여 화학종을 추가시킴으로써 가능할 것으로 생각된다. 화재 분석을 위해 다수의 프로그램을 병행하여 사용한다면 좀 더 정확한 결과를 확인할 수 있을 것으로 예상된다. 향후 노래방 이외에 실내에서 발생하는 화재의 경우 본 연구내용을 기반으로 해당되는 연구에 맞는 경계조건을 가지고 추가적인 연구 진행이 가능할 것으로 생각된다.

## References

- [1] Walter W. Jones, Richard D. Peacock, Glenn P. Forney, Paul A. Reneke, Kevin B. McGrattan., "Fire Simulation Practice", Donghwa, 2007.
- [2] Y. H. Yoo, Y. H. Choi, O. S. Kweon, et al., "Real Scale Fire Test for the Karaoke Fire Risk Analysis", Journal of KOSHAM, Vol. 12, No.6, pp. 001~006, 2012.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.9798/KOSHAM.2012.12.6.001>
- [3] S. K. Lee, "Introduction of fire simulation", A-jin, 2008.

---

### 김 태 권(Tae Kwon Kim)

[정회원]



- 1981년 3월 ~ 1995년 8월 : 한국 기계연구원 실장
- 1992년 8월 : 한국과학기술원 기계 공학과 연소공학전공 (Ph.D.)
- 1996년 9월 ~ 현재 : 계명대학교 기계자동차공학과 교수

<관심분야>  
연소공학

---

### 박 종 철(Jong Choel Park)

[준회원]



- 2013년 2월 : 계명대학교 기계자동차공학 (학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 기계자동차공학 대학원생

<관심분야>  
연소공학