

Zone Model을 활용한 장대도로터널 화재성상 예측방법에 관한연구

한정철* · 김세종* · 이주희* · 권영진* · SUZUKI Hidekazu**
호서대학교* · 교토대학교**

A Study on the Prediction Methods of Fire Behavior Using Zone Model in Rord Tunnel

Han, Jung Chul* · Kim, Se Jong* · Lee, Ju Hee*
Kwon, Young Jin* · SUZUKI Hidekazu**
HOSEO Univ* · KYOTO Univ**

요 약

본 연구는 Zone Model을 활용하여 장대도로터널의 화재성상 예측방법의 고찰을 목적으로 1/5 Scale 모형실험 및 MLZ_{SUZUKI} 결과 분석과 CFD와 MLZ의 비교 분석을 실시하였다. Modeling한 모형터널의 해석시간이 MLZ 1분, FDS 약 6시간으로 CFD에 비하여 360배의 시간 감소와 다층으로 구분하여 구간의 온도변화 및 환기풍에 의한 열기류의 움직임 등의 상황이 해석됨으로 향후 MLZ을 활용하여 터널화재의 위험성 예측에 용이할 것으로 판단된다.

1. 서 론

최근 산업발전에 따른 교통량 및 물류수송량이 증가되고 있다. 그에 따라서 교통시설 확충 사업으로 인하여, 도로터널이 점차 증가하고, 또한 장대화가 되는 추세이다. 도로터널이 증가함에 따라 화재 사례 및 화재 원인도 다양해지고 있다. 이와 같이 증가하는 도로터널의 화재 위험성 때문에 화재성상 예측방법에 대한 연구가 국내외에 진행되었으며, 2009년 에는 정량적 위험도 평가(QRA)¹⁾의 도입으로 더욱 활발히 진행되고 있다. 화재성상 예측방법으로 축소모형실험, CFD(FDS, STAR-CCM+ 등), Zone Model로 나눌 수 있다. Zone Model은 하나의 밀폐구역을 뜨거운 층과 차가운 층으로 나누어 같은 층 내의 조건들은 그 층 전체를 같다고 가정하여 해석하며, Multi Zone Model(이하 MLZ)은 두 개의 층 이상으로 공간을 나누어 Zone Model에 비하여 상세하게 해석 가능하지만, CFD에 비하여 활용이나 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구는 Zone Model을 활용하여 교토대학교 터널 화재시 환기풍의 영향성에 관한 연구의 1/5 Scale모형실험 및 MLZ_{SUZUKI}의 결과분석과 FDS와 MLZ의 비교분석을 통하여 MLZ을 이용한 도로터널 화재성상예측방법을 고찰하는데 그 목적이 있다.

2. 터널화재의 환기풍의 영향성에 관한 연구

모형실험은 교토대학교 SUZUKI의 터널 화재의 환기풍의 영향성에 관한 연구²⁾를 바탕으로 실시하였다. 터널 화재의 환기풍의 영향성에 관한 연구는 그림 1과 같이 1.8m, 폭 1.8m, 길이 27.7m의 1/5 scale 터널모형체 내부 24.5m, 높이 1.2m 위치에 팬(φ250mm) 2기를 설치하고 자연풍, 0.25 m/s, 0.50 m/s, 0.75 m/s, 1.00 m/s, 1.25 m/s 6조건으로 설정하였다. 화원은 모형터널 바닥 및 높이 0.6m의 2조건에 메탄올을 이용하여 직경 300mm, 390mm, 500mm, 600mm의 용기에 각각 화재강도 16.8kW, 34.2kW, 60.4kW, 90.4kW를 설정하였다. 또한 그림 4와 같이 열전대를 통하여 내부의 온도 및 다점풍속계를 이용하여 유속을 측정하였다.

자연환기의 경우 상부에만 온도 상승을 볼 수 있으며, 연층의 두께는 일정했다. 화원의 높이를 0.6m상태 또한 0m와 마찬가지로 연층의 두께가 발열속도에 의지하지 않고 일정하며, 연층의 두께가 얇아지며 최고온도가 높아지는 것으로 화원의 높이가 연층 두께와 온도에 영향을 미치는 것을 확인했다.

기계환기의 경우는 바람이 들어오는 쪽은 열기류가 성층 상태를 유지하고 있지만, 바람이 나가는 쪽은 성층 상태가 무너져 하부까지 온도가 상승하는 것을 확인했다. 화원 높이가 0.6m위치 일 때는 터널의 바닥까지 온도가 상승하는 것은 아니고, 화원 높이 이상에서만 온도 상승을 확인하였다. 또한 MLZ_{SUZUKI}를 통하여 모형실험을 해석한 후 그림 2와 같이 실험값과의 비교를 통하여 MLZ의 타당성을 나타냈다. 그림 2의 실험결과와 MLZ_{SUZUKI}온도결과를 비교한 결과, MLZ_{SUZUKI}온도결과는 측정된 온도보다 약 5~10℃의 편차가 있지만 유사한 값이 나오는 것을 확인할 수 있었다.

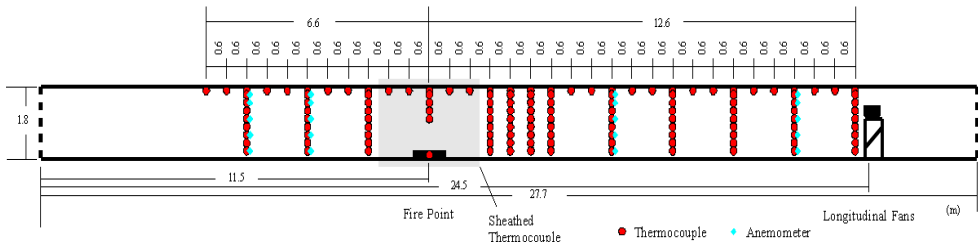


그림 1. 모형터널 설정

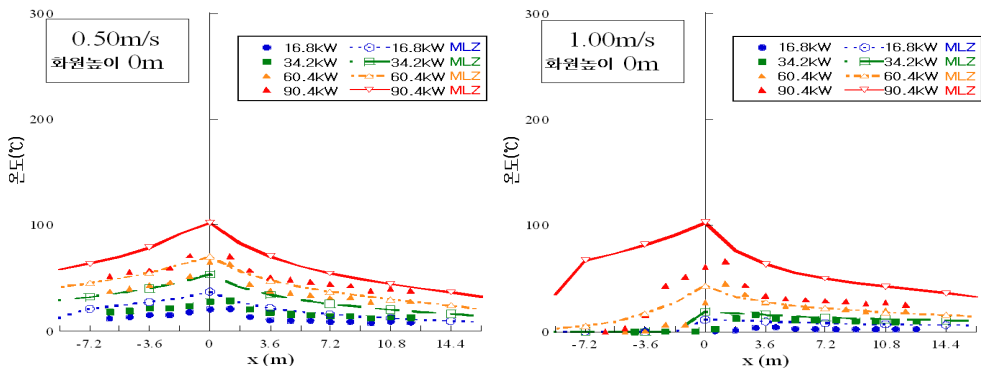


그림 2. 모형터널 실험 및 MLZ 결과

3. MLZ 및 CFD 분석

3.1 Modeling

MLZ의 경우 그림1과 같이 높이 1.8m, 폭 1.8m, 길이 27.7m의 터널에 수평 방향으로 1.8m마다 분할하고 15개 블록을 구성 및 수직방향으로 10개 분할하였다. 화원설정은 메탄올을 6번 바닥위치에 각각 16.8kW, 34.2kW, 60.4kW, 90.4kW설정했으며, 환기팬은 13번과 14번 사이에 0.5m/s, 1m/s 2조건으로 실시했다. 또한 벽 및 천장은 석고보드, 바닥은 합판으로 설정하고, 시간은 300초로 실시했다.

한편, FDS의 경우 화원설정을 바닥위치에 16.8kW로 설정하고, 풍속 0.5m/s, 1m/s 2조건으로 400초 실시했다. 모형터널과 동일하게 Modeling 하였으며, 열전대의 위치 또한 동일하게 설정했다.

3.2 Multi Zone Model

MLZ를 Modeling한 결과 그림 3, 4에 나타낸 바와 같이 MLZ의 온도 값은 MLZSUZUKI 온도 값과 편차가 약 20℃정도 차이가나지만 온도의 기울기는 유사한 것으로 나타났다.

그림 5와 같이 MLZ를 통하여 모형터널 내부를 확인해 본 결과 환기풍의 영향을 받은 미세한 공기변화 등은 CFD에 비하여 확인할 수 없었지만, 환기풍에 의한 열기류의 이동 및 큰 변화의 경우는 확인할 수 있었다. MLZ 해석에 소요되는 시간은 Case당 약 1분이 소요됐다.

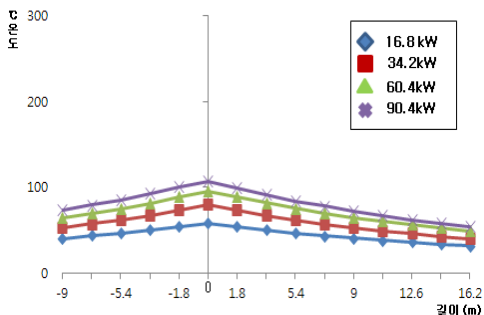


그림 3. 풍속0.5m/s시 천정 밑 온도(300s)

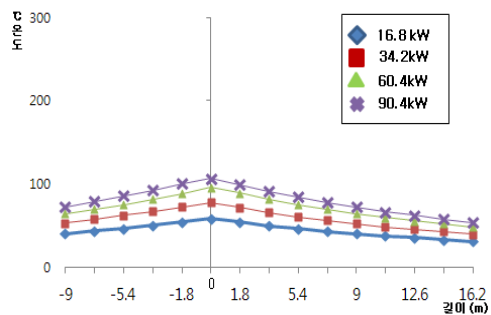


그림 4. 풍속1m/s시 천정 밑 온도(300s)

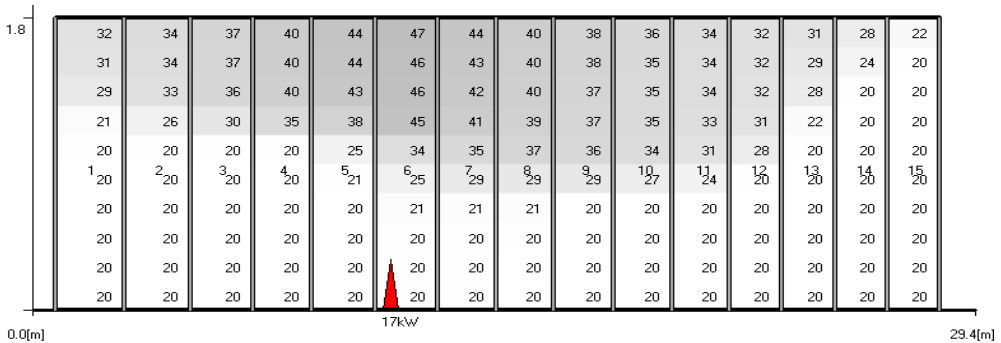


그림 5. MLZ의 모형터널 내부 상황 (1m/s, 300s)

3.3 CFD (FDS)

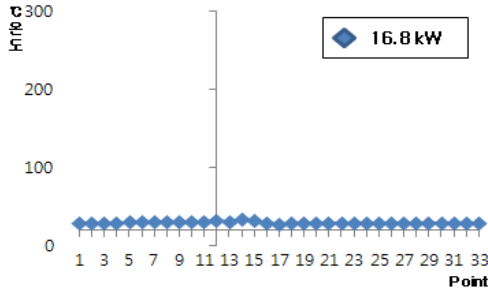


그림 6. 풍속0.5m/s시 천정 밑 온도(300s)

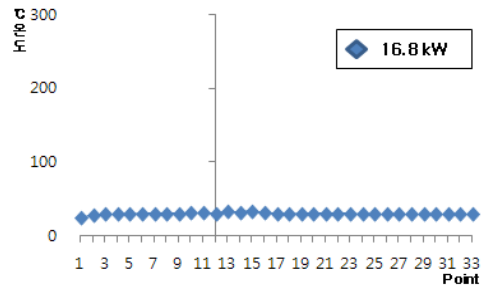


그림 7. 풍속1m/s시 천정 밑 온도(300s)

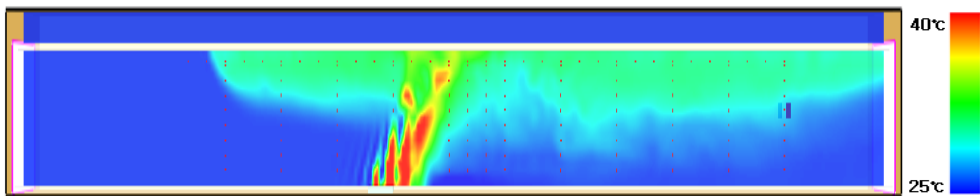


그림 8. FDS의 모형터널 내부 상황 (1m/s, 300s)

FDS로 해석결과 환기풍이 0.5m/s일 때 온도는 그림 6, 7과같이 SUZUKI의 온도 분포와 유사한 것을 확인할 수 있었다.

또한, 모형터널 내부 공간은 그림 8과 같이 환기풍에 의한 공기의 온도 변화와 확산, 화재 plume의 움직임 등을 Mesh별로 세부적으로 확인할 수 있었지만, Case 해석시간이 약 6시간정도로 MLZ에 비해 360배 소요되었다.

4. 결론

1/5 Scale 모형실험 및 MLZ_{SUZUKI}값 비교·분석과 MLZ를 활용한 결과는 다음과 같다.

- 1) Modeling한 모형터널의 해석시간이 MLZ 1분, FDS 약 6시간으로 CFD에 비하여 월등한 시간 감소와 내부 온도변화의 유사함을 통하여 도로터널의 화재성상 예측에 용이할 것으로 판단된다.
- 2) Zone Model은 2개의 층으로 구분하여 고온층과 저온층으로만 해석하는 것과 다르게 MLZ의 경우 다층으로 구분하여 구간의 온도변화 및 환기풍에 의한 열기류의 움직임 등의 상황이 유사하게 해석되는 것으로 판단된다. 특히, 향후 MLZ의 장·단점을 분석 및 보완을 통하여 정확성과 빠른 해석시간으로 계속적으로 증가하는 도로터널의 위험성평가에 활용할 수 있을 것으로 전망된다.

참고문헌

1. 국토해양부, 도로터널 방재시설 설치 및 관리지침. p92~p103. 2009. 04
2. SUZUKI Hidekazu, トンネル火災における換氣風の影響に関する研究, 京都大學工學部建築學科