

# CFAST 와 FLUENT 화재유동해석을 통한 승객피난 시뮬레이션 결과 비교분석

## The Comparative Analysis of Passenger Evacuation Results Using CFAST and FLUENT

장용준\*\*  
Jang, Yong-Jun

이창현\*  
Lee, Chang-Hyun

박원희\*\*  
Park, Won-Hee

정우성\*\*  
Jung, Woo-Sung

---

### ABSTRACT

The evacuation simulation study was performed with the boundary condition of a fire simulator, referring to Dae-gu Subway Fire Accident which was a real station fire. The subway station was modelled from B3F station building to B2F waiting room in fire simulation.

Also, a fire simulation were performed with CFAST and FLUENT. In CFAST, the total 29 zones were divided into 18 station buildings in B3F and 11 station buildings in B2F. In FLUENT, the simulated space had the same establishment as zone of CFAST. The study focused on possibility for application of fire simulation in underground station by comparing the resulted values from two simulators.

For application of fire effect, the fire data were loaded directly to EXODUS in the case of CFAST and performed a passenger evacuation simulation. In the case of FLUENT, Out Data values of a fire simulation were difficult to be compatible with EXODUS. Two resulted values of passenger evacuation simulation by fire simulation were compared with the Dae-gu Subway Fire Accident in reality.

---

### 국문요약

본 연구에서는 실제역사화재 사고인 대구지하철화재사고를 참고하여 화재시뮬레이터의 경계조건으로 시뮬레이션을 수행 하였다. 화재시뮬레이션의 경우는 총 지하 3층의 역사 중 사망자가 가장 많이 발생한 지하3층 역사와 지하2층 대합실까지 모델링하여 시뮬레이션을 실시하였다. 화재시뮬레이터는 CFAST 와 FLUENT를 이용하여 수행하였으며, CFAST의 경우는 총 29개의 Zone으로, 지하3층 역사 18개, 지하2층 역사 11개로 나누어 시뮬레이션 하였다. FLUENT의 경우는 총24개의 Zone으로 나누었으며, 지하승강장의 경우는 CFAST의 Zone과 동일하게 설정하였다. 2개의 시뮬레이터에서 나온 결과값들을 비교하여 지하역사 화재시 적용가능성 여부를 연구하였으며, 피난시뮬레이션인 EXODUS를 이용하여 각각의 화재시뮬레이션의 결과를 EXODUS의 HAZARD 경계조건으로 하여 피난 시뮬레이션을 진행 하였다. 화재영향의 적용은 CFAST의 경우 EXODUS로 자동적으로 화재 DATA가 Lode 되는 방식으로 하였으며, FLUENT의 경우는 화재시뮬레이션 OUT DATA값들이 EXODUS와 호환이 어려우므로 직접 결과값들을 수식으로 변환하여 EXODUS HAZARD에 적용하여 승객피난시뮬레이션을 수행하였다. 또한 이를 실제 대구지하철화재사고와 비교분석하였다.

---

\* 책임저자, 한국철도기술연구원, 환경화재연구팀

E-mail : [changhy@krti.re.kr](mailto:changhy@krti.re.kr)

Tel : (031) 460-5356 FAX : (031) 460-5319

\*\*한국철도기술연구원, 환경화재연구팀, 정희원

## 1. 서론

현재 지하역사의 경우 그 방대하고 복잡한 구조로 인하여 실제 화재실험이나 승객피난실험이 금전적으로나 그 위험성 때문에 사실적으로 불가능한 사항이다. 이에 대처방안으로 컴퓨터를 이용한 화재해석 기법의 발달로 인해 실제 화재사고와 같은 시나리오를 작성하고 이를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 미리 위험여부를 예측해 볼 수 있게 되었다. 또한 승객피난 시나리오의 경우도 컴퓨터를 이용하여 피난방법들을 예측해 볼 수 있어서 이를 참고하여 설계기법에 이용할 수 있게 되었다. 하지만, 현재 이러한 화재 해석이나 피난해석 프로그램들이 많이 사용되어지고 있고 각각의 시뮬레이터마다 장단점이 있기 때문에 어떠한 시뮬레이터를 이용할 것 인가는 연구자의 몫이다. 또 해석공간에 따라 적합한 시뮬레이터가 다르기 때문에 신뢰성 여부를 판단하기 위해서는 실제실험과 비교 검토가 필요하지만, 지하역사의 경우 앞서서도 설명한바와 같이 실제 실험은 곤란한 점이 많다.

따라서 본 연구에서는 실제 화재사고인 대구지하철 중앙로 역사 화재사고를 모델로 하여 Zone Model의 대표적인 CFAST와 Field Model의 대표적인 FLUENT를 이용하여 지하역사 화재해석을 수행하였다. 물론 2가지 화재시뮬레이터가 해석 방식 자체가 다르기는 하지만, 같은 화재시나리오를 경계조건으로 하였을 때 어떠한 결과값을 가지는지 보았고, 이를 EXODUS 승객피난모델과 연계하여 실제 화재사고 Data와 비교분석하였다.

## 2. 본론

### 2.1 시뮬레이션모델 경계조건(공통)

본 연구는 대구지하철 중앙로역사 화재사고를 모델로 화재시나리오를 작성하였다. 중앙로 역사의 경우 지하1층 대합실, 지하2층 대합실, 지하3층 승강장으로 총 3개의 층으로 구성되어져 있다. 화재시뮬레이션의 경우는 지하1층 대합실의 경우는 사망자가 발생하지 않았기 때문에 일단 지하2층 대합실을 벗어나면 Safety Zone으로 가정하여 지하2층 대합실까지 화재시뮬레이션을 실시하였고, 피난시뮬레이션의 경우는 지하1층 대합실을 벗어나 지상까지 피난하는 시간을 계산하였다.

지하 3층 승강장부터 지하1층 승강장을 거쳐 지상까지 연결통로는 그림 2.1.1에서 보는 바와 같다. 또한 지하1층에서 지하상가로 연결되어지는 통로는 화재발생시 자동으로 방재셔터가 내려지기 때문에 통행이 불가하므로 피난통로에서 제외하였다. [4]

전동차는 상행, 하행 6량씩 총 12량으로 1량의 재원은 그림 2.1.2와 같으며, 12량 모두 전소하는 것을 가정하였다. 전동차 1량당 발열량 계산을 위해,  $t^2$ , Fast-성장곡선을 선택하였으며, 표2.1.1[7] 을 참고하여 다음과 같이 계산하였고, Co 발생량의 경우는 1량당 104.7Kg/량 이 발생한다고 가정하였다.

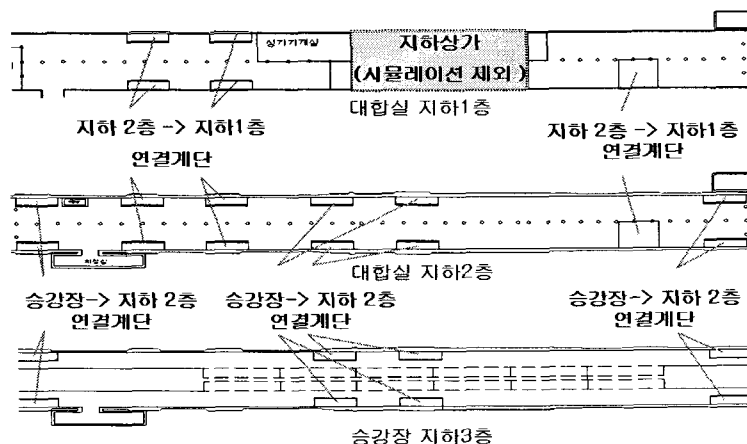


그림 2.1.1 중앙로 역사 CAD 도면

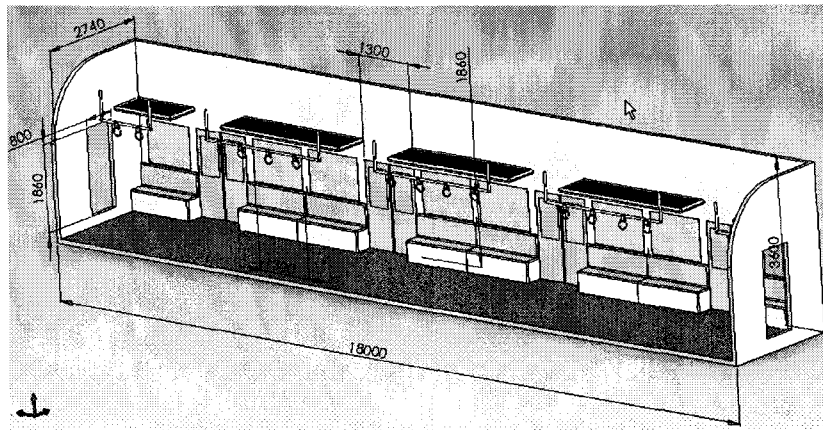
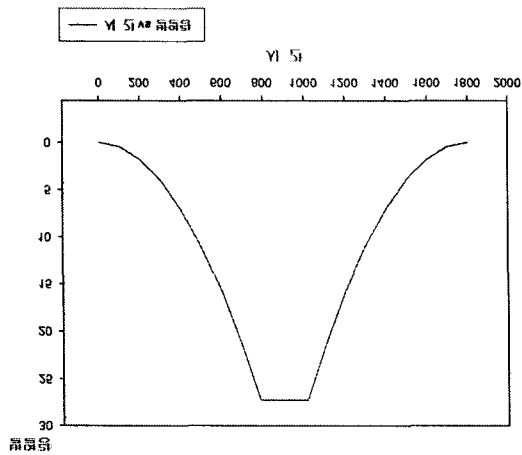


그림 2.1.2 전동차 재원

표 2.1.1 열차 1량의 발열량

항목	사고차량			
	재질	적용량 [Kg/량]	시편발열량 [MJ/Kg]	량당 발열량 [MJ/량]
내장판	F.R.P	970	12.2	11834
단열재	폴리에틸렌(P.E FOAM)	124.8	18.5	2309.5
바닥재	P.V.C	332.2	3.9	1295.6
의자	폴리에스테르	318	15.8	5024.4
계		1745		20464



H B B

그림 2.1.3 열차1량당 발열량(Fast)

$$\dot{Q} = at^2 \Rightarrow 1MW = 150^2(\text{sec})$$

$$(fast) \Delta \alpha = 4.4 \times 10^{-5}$$

$$\Rightarrow \alpha t_1^2 \left[ 1800 - \left( \frac{4t_1}{3} \right) \right] = 20464 MJ$$

$$\Delta t_1 = \text{약 } 787(\text{sec})$$

$$\Delta \dot{Q} = 4.4 \times 10^{-5} \times 787^2$$

$$= 27.25 MW \text{ (1량당 발열량)}$$

그림 2.1.3 은 시간에 따른 열차1량당 열발생량 그래프이고 계산결과는 위에서 보는 바와 같이 열차 1량 당 최고 27.25MW까지 발생하는 것으로 나타났다. 이를 토대로 화재시나리오를 표 2.1.2 와 같이 작성하였으며, 이를 이용한 피난시나리오 작성도 표2.1.2 에 정리하였다.

표 2.1.2 화재 및 피난시나리오

화재시나리오		피난시나리오	
사용프로그램	CFAST, FLUENT	사용프로그램	EXODUS
CFAST Zone	승강장 18개	총 시뮬레이션 시간(s)	최종피난인원
	대합실 1층 11개		
FLUENT Zone	승강장 18개	화재위험도(HAZARD) 입력방식(CFAST)	=>DATA Loading 방식
	대합실 1층 6개		
총 시뮬레이션시간(s)	900	화재위험도(HAZARD) 입력방식(FLUENT)	=>결과파일 (EXODUS용Data 파일로 포맷 변환)
초기온도(대기온도)(℃)	20	총 피난인원	1000명
대기압(Pa)	101300	객차별 피난인원	총(640명) *문헌 참고[4]
OUT PUT DATA(s)	10	승객별 특성치(피난속도, 연령, 신장, 피난방법등.)	*문헌 참고[4]
전동차 1량당 열발생량 (MW)	27.25	반응시간	*문헌 참고[4]
전동차 1량당 Co발생량(Kg/량)	104.7	피난경로, 출구선택방법	Near Door
화재 규모	12량 전소(가정)		
연소모델	metane (CH <sub>4</sub> )		

화재시뮬레이션 결과는 FLUENT 결과값과 CFAST결과값의 비교와 EXODUS 승객피난시뮬레이션 적용을 위해 Zone별로 산출하였다. CFAST의 경우는 승강장 1층의 경우 18개의 Zone으로 나누었으며, 2층 대합실은 11개의 Zone으로 나누었다. FLUENT는 승강장의 경우 CFAST와 동일하며, 2층 대합실은 6개의 Zone으로 분할하였다. 총 시뮬레이션 시간은 900s 로 하였으며, 결과값은 10s마다 적용하였다. 연소 모델은 실제재질을 적용하기는 불가능한 점이 많으므로 시뮬레이터상에 있는 Metane을 이용하였다. 화재위험도(HAZARD)입력 방식에 있어서는 CFAST의 경우는 EXODUS에서 직접 Data Loading 하는 방식으로 하였으며, FLUENT의 경우는 데이터를 Coding 하는 방식과 근사식을 만들어 직접입력하는 방식중 Data Coding 방식을 택하여 시뮬레이션을 진행하였다. 총 피난시간은 최종피난인원이 대합실1층의 출구로 나가는 시간으로 하였다. 총 피난인원은 문헌을 참고하여 전동차 안의 인원들은 실제 조사된 값가 같이 640명으로 하였으며, 이외의 인원 360명은 위치별 피난경로 선택 경향을 보기 위하여 역사에 Random으로 배치하였다. 승객별 특성치는 실제대구지하철 화재사고 조사문헌에 나와 있는 값을 사용하였다. 피난 경로 및 출구선택 방법은 Near Door 방식으로 승객들의 현위치에서 가장 가까운 출구를 찾아 피난하도록 Setting 하였다. 이러한 화재 및 피난시나리오를 시뮬레이션의 경계조건으로 하여 시뮬레이션을 진행하였으며, 시간흐름에 따른 시나리오는 문헌상에 표기된 그림2.1.4 의 타임테이블을 참고하였다. 그림 2.1.3 은 CFAST와 FLUENT의 지하역사 모델링 화면이다.

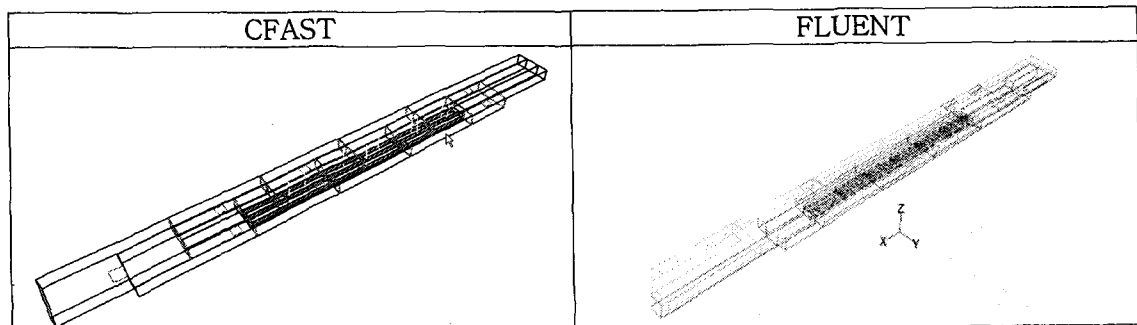


그림2.1.3 CFAST와 FLUENT 지하역사 모델링

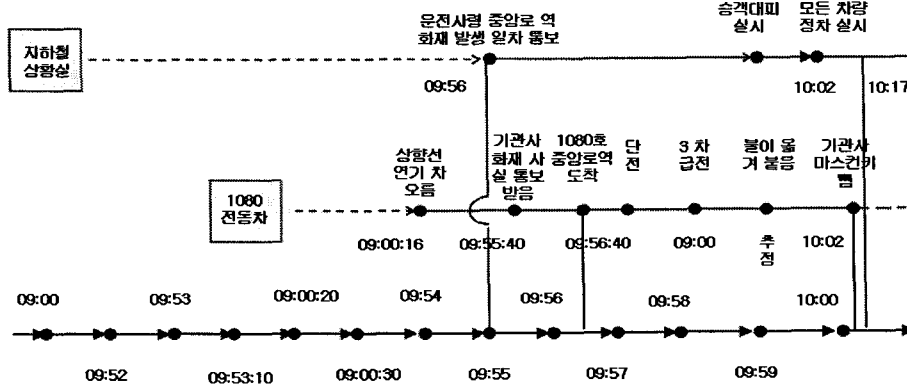


그림 2.1.4 상황별 Time Table

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

3.1 화재 시뮬레이션 결과 비교

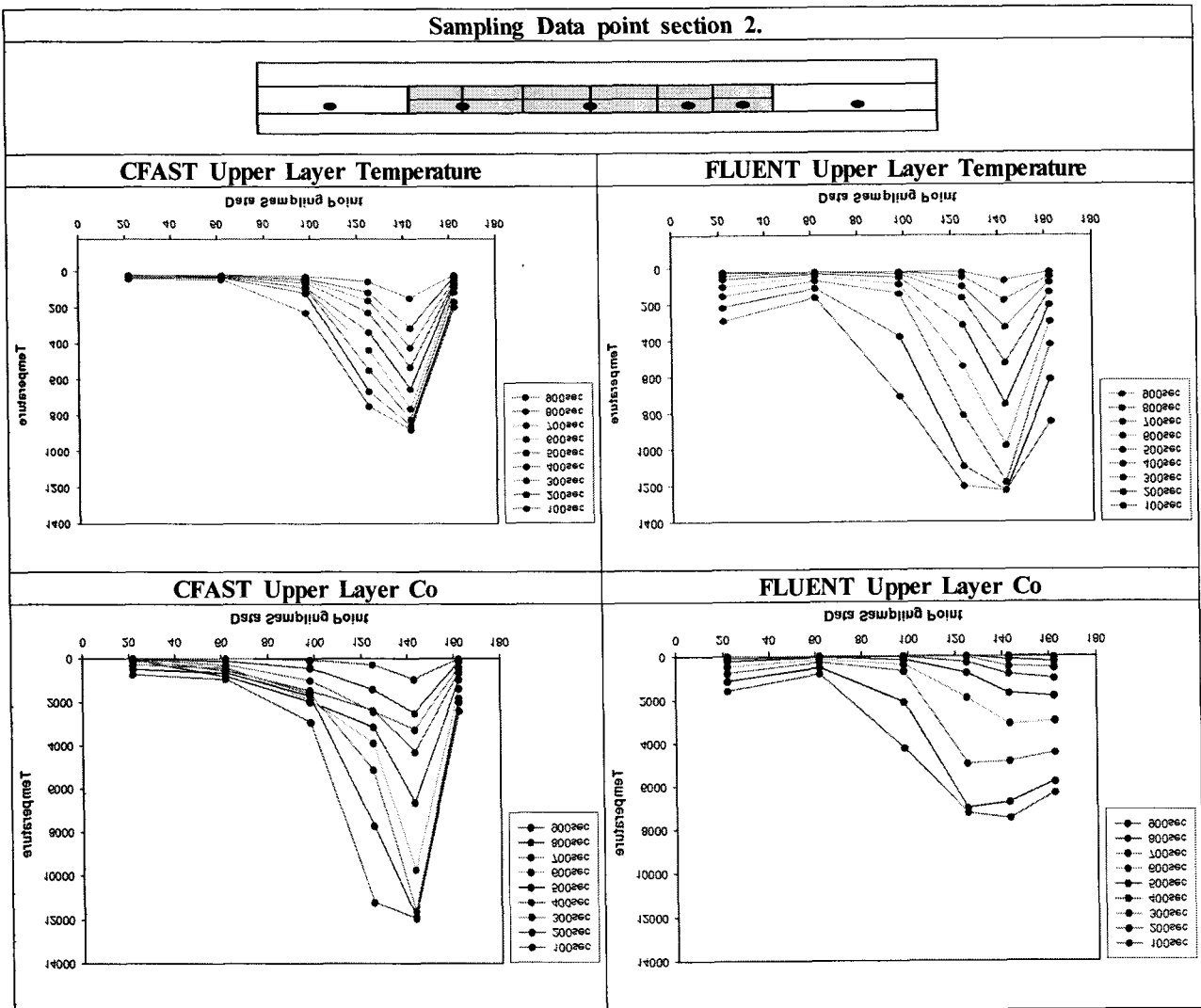


그림 3.1.1 section2. CFAST/ FLUENT 결과 비교

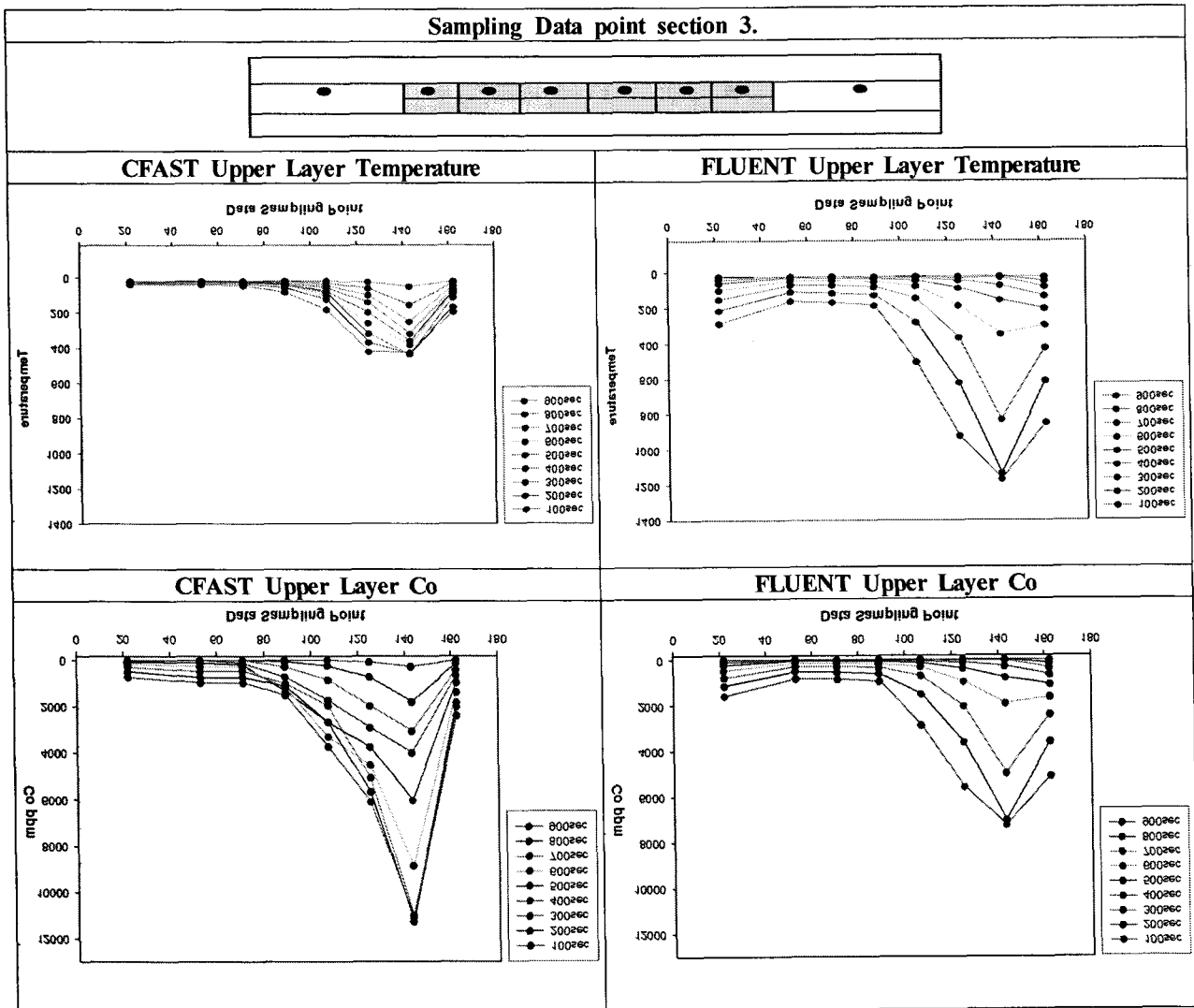


그림 3.1.2 section3. CFAST/ FLUENT 결과 비교

화재시물레이션의 비교는 열차 횡 방향의 Zone을 기준으로 총 4개의 Section으로 나누어 비교해 보았다. 그림3.1.1, 3.1.2 는 화재지점과 인명피해가 가장 많이 발생한 1079호와 1080호 열차부분의 2, 3번 Section의 Upper Layer 온도를 비교한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 Section2의 경우를 보면 약 400sec까지 CFAST의 온도가 FLUENT의 온도보다 비교적 높게 형성되었지만, 비슷한 결과치를 보였다. 하지만, 300sec 이후 1079호 2번 객차에 화재가 전파되면서, 이로 인한 영향으로 FLUENT의 온도가 갑작스럽게 상승하는 현상을 보였다. 하지만 CFAST의 경우는 거의 영향을 받지 않고 일정하게 온도가 상승하였다. Co발생량의 경우는 두 시물레이션에서 적용한 방법의 차이로 인해 직접 비교는 어렵지만, 온도 비교와 마찬가지로 화재위치에서 가까운 부분에서만 큰 변화를 보였다.

위의 결과에서 보는바와 같이 CFAST와 FLUENT의 결과값에는 많은 차이를 보였다. 이러한 결과는 물론 Zone Model과 Field Model의 차이점으로 인하여 이러한 결과를 보였지만, 두 시물레이터의 화재모델링 부분에서도 차이점이 많기 때문에 이러한 차이를 보인다 생각된다. CFAST의 경우 구획설정에 있어서 최대 30개의 Zone설정밖에 할 수 없었으며, 특히 화재전파에서 중요하다고 생각되는 개구부의 형

태나 위치 그리고 개수(46개)에서도 제한사항이 많기 때문에 이러한 결과를 얻은 것으로 보인다.[2] 이러한 제한사항으로 인하여 방대하고 복잡한 지하역사 모델링에 있어서 CFAST의 경우 많은 어려움이 따르며, 수치해석에 있어서 시뮬레이터 상에 많은 ERROR를 수반하게 된다. 또한 본 연구에서 사용된 화재시나리오에서처럼 그 화재규모가 큰 화재의 경우에는 CFAST 사용시 쉽게 그 결과값이 발산되어 버리는 현상을 보였다. 하지만, 시뮬레이션 시간에 있어서 그 시간이 짧고, 화재규모가 작은 경우에는 FLUENT와 비슷한 결과값을 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

### 3.2 피난시뮬레이션 결과

표 3.2.1 CFAST/ FLUENT 피난시뮬레이션 결과

EXODUS 승객피난 시뮬레이션 결과		
	CFAST	FLUENT
총 피난인원	1000명	1000명
평균 피난시간	19분 58초	13분 10초
평균 사망인원	48명	245명

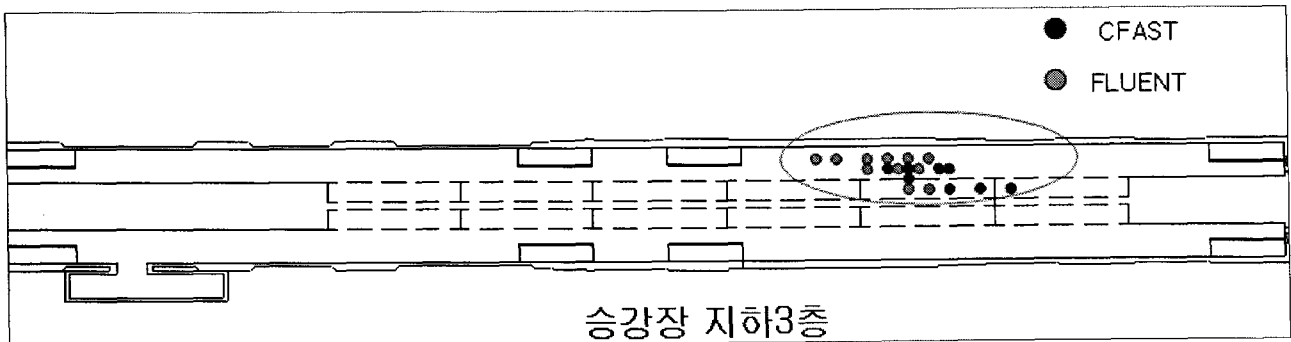


그림 3.2.1 section3. CFAST/ FLUENT 승객사망위치

피난시뮬레이션은 CFAST와 FLUENT의 결과값들을 이용하여 진행하였다. 총5번의 시뮬레이션을 실시하여 평균값을 산출하였다. 그 결과는 표3.2.1 에서 보는 바와 같다. 결과를 보면, 평균피난 시간이 많은 차이를 보임을 알 수 있다. 실제 대구지하철 사고시 발생한 사망자가 약 200여명[4] 으로 조사되었으므로 FLUENT쪽이 더 근사한 결과를 나타내었다.

EXODUS의 경우 최종 피난인원이 출구를 빠져나갔을 때 시뮬레이션이 종료[3] 되므로 CFAST보다 많은 사망자를 발생시킨 FLUENT의 경우가 피난시간이 짧게 나타난 것이다. 하지만, 그림3.2.1 에서 보는 것처럼 사망자의 위치는 CFAST와 FLUENT모두 비슷하게 나타남을 볼 수 있다. 또한 이번 연구에서 실제 대구지하철 사고와 달리 객차안이 아닌 승강장 쪽에서 사망자가 많이 발생 하였다. 이는 객차로의 화재 전파보다, 승강장 쪽의 온도가 더욱 빠르게 상승 하므로 객차문이 개방 되었을 때 승객들이 사망하는 것으로 보인다. 실제 화재라면, 승객들이 빠져나가지 못하고 객차안에서 사망하였을 것으로 생각된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 현재 많이 사용되어지고 있는 CFAST와 FLUENT를 이용하여 화재시뮬레이션을 하였고 이를 이용하여 피난시뮬레이션을 수행하였다. FLUENT의 결과를 이용한 사망자 수가 대구지하철 화재사고 데이터에 더욱 가깝게 나왔다. CFAST의 경우 FLUENT보다 쉽고 빠르게 계산결과를 산출할 수 있고, 또한 이번 연구에 사용된 EXODUS피난 시뮬레이션에도 쉽게 적용할 수 있는 장점이 있지만, 본 연구에 사용된 지하역사의 경우 그 크기가 방대고 복잡하므로 CFAST를 사용한 화재시뮬레이션은 많은 제약이 따르기 때문에 원하는 결과값 산출이 어려울 것으로 보인다. 따라서 CFAST를 이용하여 지하역사 화재 모델링 하기 위해서는 더욱 많은 연구가 진행 되어져야 할 것이다.

#### 5. 참고자료

1. Guillermo Rein, Amnon Bar-Ilan, Carlos Fernandez-Pello, Norman Alvares, "A Comparison of Three Fire Models in the Simulation of Accidental Fires" pp 758 2004.
2. Walter W. Jone, Richard D.peacock, Glenn P. Fornet, paul A.reneke,"cfast manual (version 5)" NIST(National Institute of Standards and Technology) 2004.
3. UGMT Ltd(a subsidiary of the University of Greenwich)"buildingEXODUS V4.0 user guide technical manual" 2004.
4. "대구지하철 화재조사연구 백서" 경북대학교 도시환경설비연구실
5. 신승철, 조형규, 최재필, "피난 시뮬레이션의 검토 및 공간분석기법의 응용 가능성 대한건축학회학술 발표 논문집 pp 611-614 2004.
6. 건설교통부 "도시철도 정거장 및 환승편의시설 보완 설계지침" 2002.
7. 이덕희 (2005), "서울 지하철 전동차 내장재 교체에 따른 화재안전도 평가", 한국철도기술연구원