

# 토네이도를 이용한 인명안전

- 슈투트가르트의 메르세데스 벤츠 전시관의 배연 기법 -

*Dr. RUDIGER DETZER & HOLM KLUSMANN*

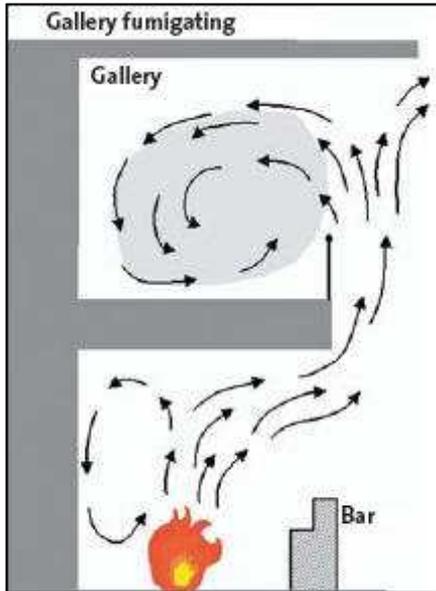
독일의 슈투트가르트(Stuttgart)에 있는 메르세데스 벤츠 신축 전시관에서는 세계에서 가장 큰 인공 폭풍을 만들어낸다. 화재가 발생하면 이 인공 폭풍이 40m 높이로 상승하면서 연기로부터 피난로와 전시공간을 보호한다. 이것은 복합 전시관 건물에 있어서 아주 혁신적인 배연기법으로서 아이디어가 기발할 뿐만 아니라, 축소모델 실험결과를 실제 건물에 적용한 아주 훌륭한 사례가 되었다. 토네이도 기법은 함부르크에 있는 Imtech Deutschland GmbH & Co.KG 연구원에서 실물의 1/18로 축소된 모형실험을 통하여 개발되었다.

## 1. 개발 배경

공공건물에는 방문객들에게 개방감을 주기 위하여 흔히 각층 거실 바닥과 연결된 큰 아트트리움이 설치되어 있다. 아트트리움과 연결된 각각의 실들은 독특한 디자인으로 시각적인 즐거움을 주기 위해 흔히 곡면으로 만들어진다. 화재안전의 관점에서 보면, 이러한 디자인은 연기를 제거하기가 쉽지 않게 된다.

돌출된 갤러리나 상부 거실로 통하는 천장에 개구부가 설치된 아트트리움인 경우에는 화재 시 연기를 제거하기가 더욱 어렵게 된다.

만약 이러한 갤러리 하부에서 화재가 발생하여 성장하면 화연이 상부 갤러리의 바닥 천장을 타고 확산되고 건물의 모서리 부분으로 유동하게 된다. 열기류로 인하여 화원 상부 내부공간으로부터 공기가 유입되고 이러한 순환이 반복될 것이다. 이러한 순환의 영향으로 갤러리는 짙은 연기로 가득하게 된다. [그림1]은 연기가 움직이는 과정을 보여주고, [그림2]는 공항에서의 실제 테스트 사진이다. 이러한 공간을 연기로부터 보호하기 위하여 특별한 유동적 해법이 요구되었다.



[그림1] 전시공간이 연기로 오염되는 원리



[그림2] 연기로 오염된 실제 테스트 사진(공항)

## 2. 슈투트가르트의 메르세데스 벤츠 신축 전시관

메르세데스 벤츠 신축 전시관의 규모는 높이가 47.5m, 용적이 210,000m<sup>3</sup>이며, 16,500m<sup>2</sup>의 전시면적을 가진 건물이다. 이 전시관의 각 층에는 메르세데스 벤츠사의 자동차와 관련 기술제품들을 전시한다. 구조는 3각 골조구조로 바닥면적이 3,500m<sup>2</sup>이며 중앙부에 8층, 40m 높이의 아트리움이 있다.

주 용도인 전시공간은 삼각 아트리움 주위로 배치되었으며, 꼭대기까지 나선형 태의 내부구조로 되어 있다. 전시 공간은 단층 또는 2층 구조가 번갈아 설치되었으며, 개별 전시공간들은 서로 램프로 연결되어 있다.

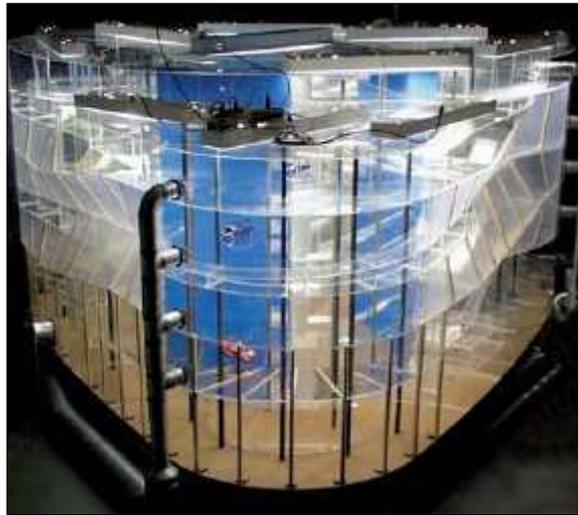
## 3. 문제점 규명과 배연 필요조건

전체 건물이 하나의 방화구획이지만 방문자들의 피난로를 연기로부터 보호하고, 인접지역으로의 화염 확산을 방지하기 위하여 화재가 발생한 전시구역 내부에 연기를 제한하는 것이 요구되었다. 전시 구역에서 방출된 연기는 건물 내부 개구부를 통하여 중앙홀로 유동한 다음, 자연배기시스템과 같은 자연적인 방법 또는 아트리움 천장의 배연설비를 이용하여 배출되어야 한다.

함부르크에 소재한 Imtech사가 화재안전 검사자인 Halfkann + Kirchner 와 프로젝트 책임자인 Drees + Sommer와 공동으로 배연기법을 개발하게 되었다.

#### 4. 모형 연구

문제를 해결하기 위해 우선 함부르크에 소재한 Imtech R&D센터에 전시관의 1/18 축소모형을 아크릴수지로 만든 다음 실험을 수행하였다. [그림3]은 축소모형 사진이다.



[그림3] 건물 축소모형 (1/18 축소)

건물 내 세부 공간배치가 연기의 유동에 영향을 미치므로 모형연구로 배연기법을 개발하기 위해서는 실제건물과 세부적으로 동일한 배치구조로 모형을 제작해야만 실제 건물에서의 연기의 유동을 예측할 수 있다. 연기 유동의 동질성을 확보하기 위한 필수조건은 흔히 유사성 인자(similarity criteria)로 규정한다.

일반적인 유사성 원칙에 따르면, 물리적으로 동질성이거나 또는 전체적인 상태를 포함하여 고려중인 과정에 중요한 영향을 미치는 모든 인자들이 유사하면, 두 가지 물리적 절차는 유사한 것으로 간주된다.

모형 실험을 수행하기 위한 필요조건들은 물리적인 진행과정을 나타내는 3차원 방정식에서 유도되는데, 등은 난류흐름의 경우에는 다음 요소와 관련된 미분방정식이 된다.

- 운동
- 에너지
- 열이동

다음의 유사 인자들은 유동과정을 위한 운동방정식에서 유도할 수 있다.

Reynolds' number  
Re number

$$Re = \frac{w \cdot l}{v}$$

Euler's number  
Eu number

$$Eu = \frac{\Delta p}{p \cdot w^2}$$

Archmedes' number  
Ar number

$$Ar = \frac{g \cdot l \cdot \Delta t}{T_{\infty} \cdot W^2}$$

Strouhal number  
Sr number

$$Sr = \frac{l}{w \cdot \tau}$$

에너지 방정식은 Prandtl number로 귀결된다.

Prandtl number  
Pr number

$$Pr = \frac{\varsigma \cdot C_p}{\ddot{e}}$$

유사성 인자 Nusselt는 열전도 방정식으로 유도된다.

Nusselt number  
Nu number

$$N = \frac{\acute{a} \cdot L}{\ddot{e}}$$

계속 언급되었듯이 Re number는 자유난류흐름인 경우에는 유사성에 영향을 미치지 않는다. 그러므로 시스템 인자에서 적용되어야 할 주요 인자는 Archmedes' number인 Ar, Euler's number인 Eu와 불규칙한 유동에서의 Strouhal number이다.

공기를 사용할 경우 경험적으로 Prandtl number는 동일하다고 가정할 수 있고 Nusselt number도 근사적으로 동일하다고 볼 수 있다.

Nusselt number는 화염이 건물의 벽면을 따라 장시간 유동하면 영향을 미치게 되는 벽체에서의 열이동을 나타낸다.

만약 연기의 유동이 주로 열적 요인이 아닌 유속강도에 영향을 받는다면 Eu와 Sr number만 적용해도 유동과정을 충분히 유사하게 예측할 수 있다.

기하학적으로 물리적 유사성을 적용한 초기의 전시관의 배연 기법 실험에서는 만족할 만한 성과를 얻을 수 없었다.

앞에서 설명한 바와 같이 atrium 상부로 배연을 시도한 실험들에서는 전시관 층에서의 연기유동과정 및 atrium과 각 층 전시관 사이의 보상 열유속으로 인하여 전체 전시관이 연기로 오염되는 결과를 초래하였다.

사용자의 요구조건을 충족하고 건축적인 성능에 근거한 건물허가를 얻기 위해서는 atrium의 중심을 향한 기류를 생성시키는 새로운 혁신적인 기법이 개발되어야만 했다.

자연에서 이러한 유동형태는 오직 토네이도에서만 볼 수 있다. 원칙적으로 토네이도에서 배연기법에 필요한 특성들을 발견하게 되었다.

그러므로, 전시관의 atrium에서 인공적으로 이러한 유동형태를 만들기 위한 방법들이 시도되었다. 이러한 과정 중에 일반적인 추진 제트를 사용하여 와류가 형성될 수 있는 방향으로 풍류를 불게 함으로써 토네이도를 생성할 수 있었다. 추진 제트는 안정된 토네이도를 생성하기 위해 중앙홀의 6층 높이에 설치되었다.

대수적인 나선형틀을 통과하여 atrium에 수직방향으로 생성된 회오리바람의 중심을 향하여 부는 유선형 풍류와 중심 주위의 고속류로 인하여 토네이도의 중심과 주위 사이에는 엄청난 압력차가 발생하게 된다. 이 압력차는 회전류 축을 따라서 일정하므로 atrium 전체 높이에 걸쳐서 필요한 압력차를 유지하게 된다.

전시층으로부터 atrium으로 이동하는 화연은 회전풍류와 혼합되고 압력차에 의해 중심으로 이동하게 된다. 그런 다음 연기는 8층에 설치된 플랫폼과 관련 배출구를 통하여 회오리바람의 중심에서 제거된다. 배연구는 플랫폼 하부의 중심에 위치한다.

이러한 과정 중에 전시 층에서 atrium 주위로 추가로 공기가 공급되는데, 그 해당층 배출을 위한 시스템만 개방되어 공기를 공급하게 된다. [그림4]에서 토네이도의 회전풍류의 중심을 연기유동을 통하여 볼 수 있다.



[그림4] 토네이도의 소용돌이 핵심 모형

토네이도의 생성과 유지에 영향을 미치는 요소에는 아트리움 천장에 설치되는 발생장치도 포함된다. 이러한 장치설치에 관한 세부사항들은 면밀한 검토가 필요하며 유동성도 조절되어야 한다.

이러한 방법은 연기가 확산될 수 있는 다른 지역, 심지어 전통적인 방식에서는 반드시 방호되어야 하는 피난 램프와 같은 장소가 차폐된다 하더라도 필요한 수준으로 방호할 수 있다.

### 5. 실제 건물에서의 적용

전시관은 2003년에 착공하여 2005년 3월에 외벽이 완료되었으며, 배연설비는 2005년 11월에 설치되어 시험되었다.

Imtech이 모형 실험을 통하여 개발하여 신축 메르세데스 벤츠 전시관에 적용한 배연 기법은 현장 실물 테스트 통하여 그 성능이 입증됨으로서 인정되었다.

실물 테스트를 통하여 아트리움에서 토네이도를 이용한 배연 기법[그림5, 6]이 전시관이 연기의 확산으로부터 안전하게 방호되는 것을 시연했을 뿐만 아니라 또한, 실험실에서 개발된 유동흐름을 안정화 할 수 있는 세부적인 조치가 필요하다는 것도 알 수 있었다. 피난램프의 방호조치도 또한 기대했던 결과를 나타내었다.



[그림5] 가시적인 나선류 모델



[그림6] 전시관 아트리움에서의 배연 토네이도

메르세데스 벤츠 전시관 사례는 복합전시관 건물에서 혁신적인 배연기법을 활용한 아이디어도 뛰어나지만 축소모형 실험결과를 실제 건축물에 적용한 훌륭한 사례가 되었다.

출처 : Vds S+S Report (2007.4)

번역 : 경영기획팀 사공람 과장