

스코틀랜드 킹스게이트 쇼핑센터의 설계사례

1. 머리말

스코틀랜드에 있는 킹스게이트(Kingsgate) 쇼핑센터는 최근에 5,000만 파운드를 들여 리모델링하여 재개장되었다. 에든버러에서 약 14마일 북쪽에 있는 파이프 시 던펌린에 위치한 이 쇼핑센터는 재개장 후 면적이 34,374㎡로 확장되어 15,050㎡에 달하는 새로운 한 개 층의 공간을 추가적으로 제공할 수 있게 되었다. 27개의 새 점포가 입점했으며 대형 소매점 데번햄즈는 2개의 층을 점유하여 6,425㎡의 규모의 핵점포(상권 내에

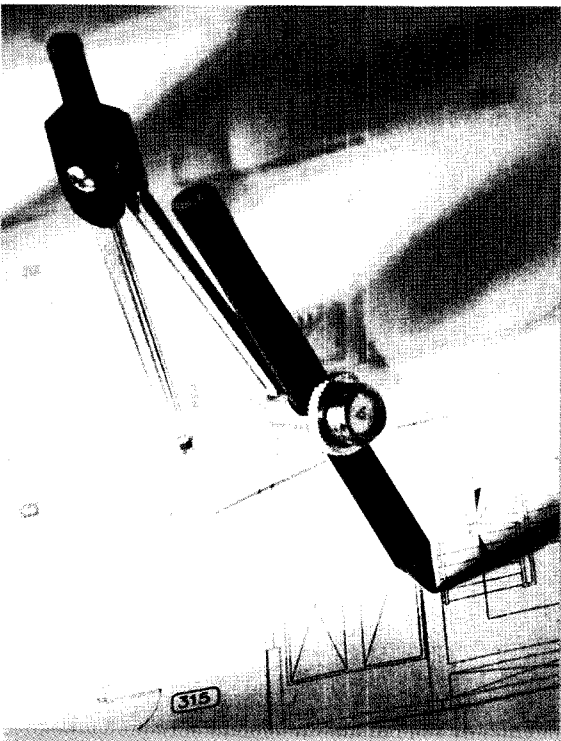
서 가장 변화한 점포로 대형 유통센터나 대형 점포, 브랜드 인지도가 높은 점포를 말함)로 들어서게 되었다. 그리고 중앙 몰 위층 부분에 3개 층의 주차장이 신축되어 711대 차량 분의 주차 공간이 새롭게 만들어졌다.

SAFE Consulting에서 책임을 맡은 이 프로젝트의 화재공학적인 설계는 다음과 같다.

- 연기 및 열 방출 환기 시스템(SHEVS)의 설계
- 복도와 피난계단을 최대한 모두 사용할 수 있는 피난 설계
- 'BRE Colin Bailey Method'를 적용한 합성 슬래브 철골조의 화재공학적인 구조 설계

화재공학적인 설계는 '스코틀랜드 비주거용 건축물 규제에 관한 기술핸드북 2007(Scottish Building Regulations Non-Domestic Technical Handbook 2007)'에 대한 대안을 뒷받침할 수 있다. 분석 방법들로 적용된 몇 가지들은 그 첫 번째 이론으로부터 전개되었고, 결과적으로 이 프로젝트에 인명 안전의 관점에서뿐만 아니라, 공간 설계와 건물의 기능성에 이점을 가져다주었다. 화재공학적인 분석방법들은 기술핸드북 '건축물의 화재 안전 설계에 대한 화재안전 공학적인 이론의 적용(PD 7974: Application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings)' 중 강제성 기준인 0~7 부분을 준용하는 것을 목표로 했다.

킹스게이트 쇼핑센터 리모델링 공사에서 이 프로젝트가 참여한 부분은 확장된 2개 층의 소매점 부분과 윗



부분에 신축된 주차장 공간이다.

새로운 공간 설계로 중앙 몰 하부에 위치한 상점들과 상부 층 상점들은 보이드(void) 구조의 큰 에스컬레이터로 연결하였고, 소매점 구역 내 모든 식음료 판매점 부분을 연결하는 고객용 복도는 피난로의 대안 기능도 하게 되었다. 그리고 새로운 핵 점포는 완전히 분리된 2개 층 부분으로 계획하였다. <그림 1>에서 보듯이, 화재 공학적 설계로 몰(mall)은 2시간의 내화성능을 갖는 대형 구획 부분과 1시간 동안 방화구획되는 몇몇 작은 부분들로 분리되었다.

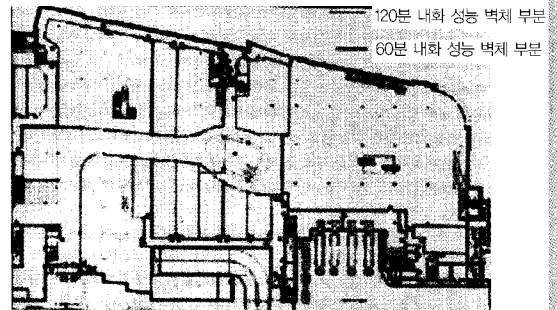
2. 연기 및 열 방출 환기 시스템(SHEVS) 설계

쇼핑센터의 SHEVS 설계 변수들은 기술핸드북의 안에서 권장하듯이 우선 표준방식에 따라 수작업 계산을 통해 산출되었다. 이러한 방법은 몰에서 발생하는 특정한 상황을 고려하여 설계안에 대하여 보수적인 비교평가를 가능하게 했다. 수작업 계산을 통해 설계에 대한 기초 변수들을 설정함으로써 비교평가 수준은 더욱 복잡한 필드모델링과 상호 참조할 수 있도록 설정·수행되었다. 그리고 이러한 작업은 설계에 있어서 심각한 문제점이 없다는 것을 확인할 수 있는 민감도(sensitivity) 분석으로서의 역할도 하였다.

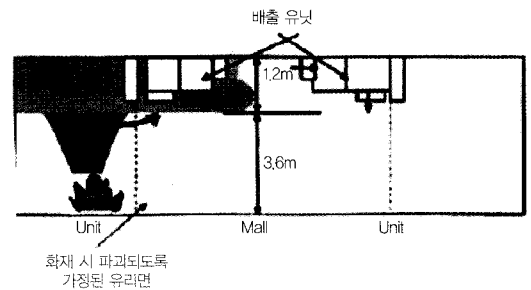
필드모델링은 쇼핑센터에서 화재가 발생했을 때 연기와 열의 이동에 대한 정보를 삼차원적으로 분석하고 다양한 시간대별로 온도와 정보들을 공간상에 시각적으로 표현해준다.

필드모델링은 크게 두 가지 이유에서 상호 참조되었다. 첫 번째, SHEVS 설계에서 배기 지점(extraction point)들을 개별 점포 바로 앞 바깥쪽에 위치시켰다. 컨설턴트들은 필드모델링을 사용함으로써 고온의 어떠한 국부적인 지점에서도 직접 체크할 수 있었는데, 이러한 방법은 측정 지점을 덕트의 바로 옆에 위치시킴으로써 가능했다. 덕트를 실제 화재에서 발생하는 화염을 바로 뽑아낼 수 있는 위치에 설치하여 덕트를 우회하여 연기가 다른 구역으로 확산되고 또 영향을 미치는 것을 막을 수 있었다.

두 번째로, 필드모델은 화재로부터 발생하는 연기가 몰의 개방된 부분을 통해 다른 층으로 이동하는 움직임을 파악하는 데 사용되었다. 일정하지 않은 모양으로 개방된 개구부들과 에스컬레이터가 설치된 부분들은 잠재적으로 복잡한 형태의 연기 기동을 만들게 되는데, 특히 모델링은 코너가 있는 곳에서 연기가 소용돌이치게 되는 것처럼 화재가 발생했을 때 위쪽으로 방출된 연기는 국부적으로 깊은 곳에 도달하면 기류에 영향을 받게 됨을 보여주었다.<그림 2 참조>

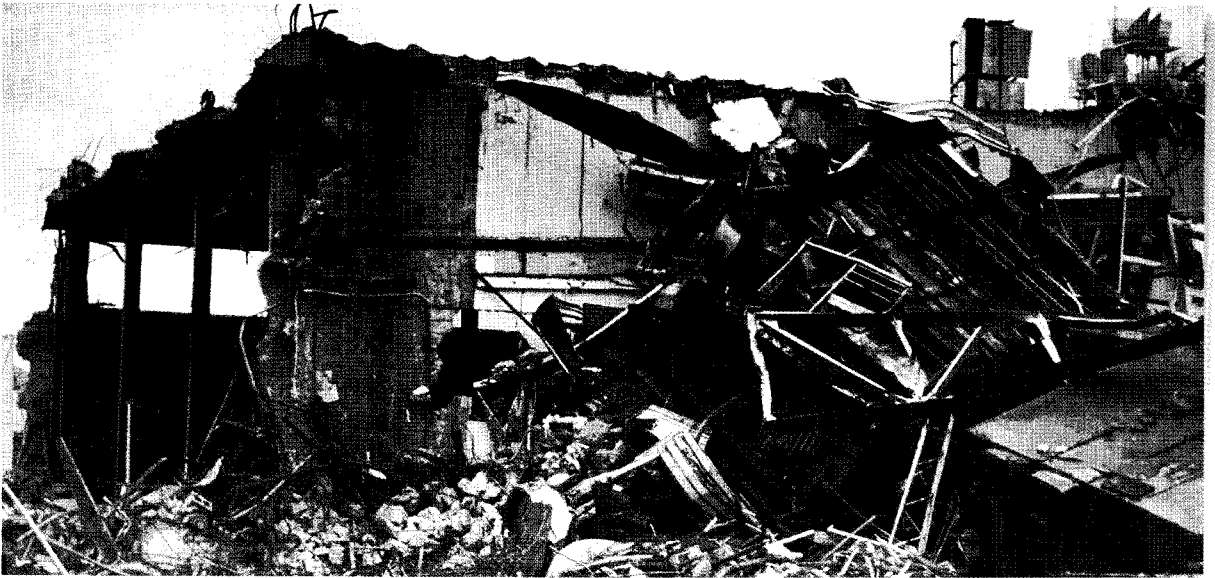


<그림 1> 몰의 방화구획 부분의 분리



<그림 2> SHEVS의 위치

모델링 결과는(SHEVS 설계에서 부분적으로 적용된) 배기팬이 연기와 열을 높은 위치에 정체되도록 하며, 발생하는 연기를 할당된 구역 내에 가둘 수 있음을 증명했다. 그리고 피난 경로에 영향을 미칠 수 있는 국부적으로 깊은 곳들이 쇼핑센터의 바닥 개구부가 있는 부분으로 인해 전혀 발생되지 않음을 증명했다. 이렇게 건물 내에서 연기 기동의 흐름 상태를 광범위



하게 평가함으로써 우리는 몇몇 특정한 장소들에서는 대피 가능 시간을 더욱 길게 확보할 수 있고, 설계의 전반에 걸쳐 피난 경로를 유동적으로 배치할 수 있다는 이점을 얻을 수 있게 되었다.

3. 피난 대책

쇼핑센터 확장공사로 예상되는 수용인원은 4,000명 이상이며 핵 점포에서만 1,000명 이상의 인원이 설계에 적용되었다. 이렇게 한정된 공간에 건물구조와 피난 경로에 익숙하지 않은 많은 사람들이 거주한다는 점은 높은 위험성이 있음을 뜻한다. 쇼핑센터에 근무하는 직원들이 고객들을 얼마나 효율적으로 대피시킬 수 있느냐 하는 효율성에 따라, 상점 내 사람들이 피난에 소요되는 시간도 훨씬 길어질 수 있다.

기술핸드북은 피난하는 데까지 준비되는 시간을 고려하지 않는다. 대신, 안내서는 피난 경로 폭을 피난인수 1인당 5.3mm의 크기로 총계를 내어 설계하도록 권장한다. 그리고 가이드는 쇼핑센터내 거주자 각 개인들의 피난 행동 양식을 고려하여 대중이 접근하기 쉬운 출입구와 경로는 가장 폭이 넓게 설계하도록 권고한다. 왜냐하면 피난하는 사람들은 출구를 선택할 때

그들에게 가장 익숙한 곳을 이용하는 경향이 있기 때문이다.

이러한 관점은 PD 7974-6 부분(Human factors : 인적 요소, Life safety strategies : 인명 안전 계획, Occupant evacuation : 거주자 피난, Behaviour and condition : 행동과 조건(Sub-system 6))에도 반영되어 있는데, 상점에서의 이러한 피난 형태는 다음과 같다.

‘상점 내 특정한 몇몇 장소에는 많은 사람들이 밀집되게 되는데, 이것은 체류 시간 동안 사람들은 피난 출구를 불구직하게 선택하기 때문이다. 그리고 종종 상점들의 비상 출구들은 일반적인 접근 형태가 아닌 복잡한 평면형태로 배치되기도 한다. 또 고객들은 그들이 출입했던 익숙한 출구를 선택하는 경향이 있다.’

만약에 주 출입 경로가 대피의 목적으로 사용되지 못하거나, 이 경로가 불이나 연기에 의해 막혀버린다면, 이러한 행동양식을 고려해두고 피난 경로를 배치하는 것은 인구의 분산과 출구 선택에 대한 불확실성으로 인해 문제의 여지가 발생하게 된다.

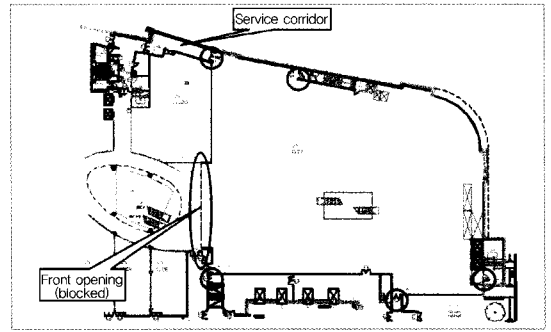
기술핸드북을 그대로 준용하는 것은 상대적으로 쉬운 부분이므로, 각기 다른 시나리오를 통해 피난 상황을

시험해보는 작업이 추가적으로 수행되었다. 시뮬레이션 프로그램은 'STEPS' 라고 하는 화재 상황에서 보행자들의 움직임을 실험할 수 있는 적은 용량의 프로그램을 사용하였다. 그리고 거주자들의 움직임과 피난 개시 시간은 무작위로 적용되도록 설정하였고 몇몇 출입구들은 폐쇄되도록 세팅한 후 대피 시간을 측정하였다. <그림 3 참조>

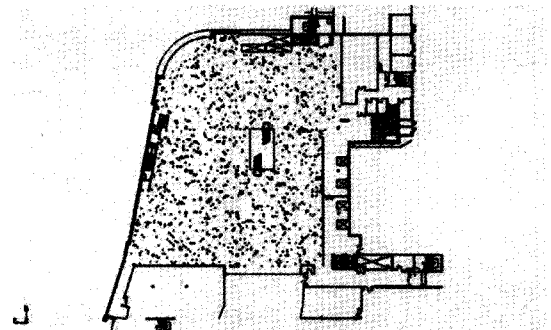
설계에 있어 가정된 합리적이면서도 최악의 시나리오는, 한 장소에서 화재가 발생하고 상호 근접해 있는 두 개의 출구와 몰로 통하는 주 출입구가 자동 방화셔터에 의해 차단되어 버리는 경우이다. 이 경우 상점 주위에는 단 하나의 출구만이 남게 되고 에스컬레이터들은 작동되지 않게 된다.

이러한 시나리오들은 거주자들이 특정한 출입구를 선택하지 않는다고 하는 조건과, 만약 특정한 구역에서의 인구 밀집도가 높을 때에는 몇몇 출입구가 다른 출입구에 비해 더 많이 사용될 수도 있다는 조건을 가상 실험하기 위해 사용되었다. 이렇게 쇼핑몰의 피난 모델을 분석함으로써 건물 내 인구 밀집도가 높은 구역과, 경로가 막힌 출입구 앞에 사람들이 줄지어 서서 대기하는 효과를 고려하는 것이 가능했다. 화재모델링의 결과 값과 비교했을 때 피난모델링은 몇몇 출입구들이 사용되지 않았을 때조차도 피난 종료시간이 피난 한계시간 내에 들어온다는 것을 보여주었다. 그리고 모델들은 출입구들을 골고루 분산 배치한다면 판매시설 특유의 특이한 피난 상황까지도 무난히 만족할 수 있음을 증명할 수 있었다.

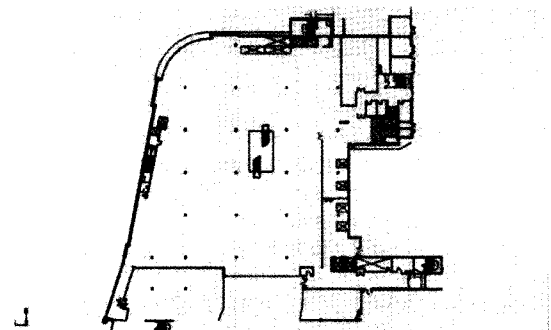
이러한 결과적인 분석은 피난 사항이 단순히 피난구의 폭을 계산하는 것처럼 쉽게 결정되지 않는 복잡한 종류의 건물에 있어서 중요하게 고려되어야 할 부분이다. 그리고 기술핸드북과 PD 7974-6의 의도를 만족하면서, 모델링을 통해 설계에 더욱 수준 높은 설치 기준을 추가적으로 적용할 수 있었다. 이번 시나리오에 대한 STEPS 모델의 결과는 <그림 4~6>에서 개략적으로 살펴볼 수 있다.



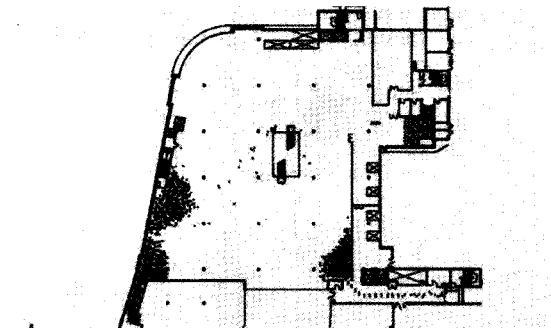
<그림 3> STEPS 모델 결과



<그림 4> 60초가 경과했을 때 G07 구역의 피난 상태



<그림 5> 150초가 경과했을 때 G07 구역의 피난 상태



<그림 6> 330초가 경과했을 때 G07 구역의 피난 상태



60분이라는 내화 시간 동안 상승되는 온도를 받게 되는 합성 철골 구조의 반응을 평가하기 위하여 구조적인 화재 분석도 실시되었는데, 기둥의 위치 덕분에 상부 몰과 주차장 1층 부분의 일체화된 바닥부분은 설계안대로 적용이 가능한 것으로 판명되었다

이 분석 방법으로는 'BRE Colin Bailey Method'가 채택되었는데, 이 방법은 2003년 BRE 카딩톤(Cardington) 지역에서 복합 철골 구조물에 실제 화재 시험을 통하여 고안된 것으로, 이런 종류의 구조물이 화재 발생 시 만족스러운 성능을 발휘함을 증명해냈다.

4. 구조적 분석

킹스게이트 쇼핑센터의 복합 슬래브를 분석하기 위해 이 방법을 적용한 결과 대부분의 2차 보들은 상승된 온도의 영향을 받아 많이 처지게 되어, 결국 복합 슬래브는 인장막 현상(tensile membrane action)과 맞물려 전혀 보호받지 못하는 상태가 된다는 것을 보여

주었다. 일체화된 슬래브 패널 내에서 화재가 한계점에 도달했을 때 합성 슬래브는 하중을 보호받지 못하는 여재(餘材) 보에서 방어할 수 있는 테두리보들로 전달하였다.

그리고 합성 슬래브에서 철망 보강재의 위치와 크기는 60분 동안의 화재시험 시간 동안 전달할 수 있는 최대 하중을 결정지을 수 있는 중요한 역할을 하였다.

건물 상부에 위치해 있는 몰에서, 방화구획 벽체의 위치 선정이 화재가 발생한 상황에서 강철 보의 변형을 최소화하고 방화구획에 대한 법적 요구사항을 유지할 수 있는지 주의 깊은 검토가 이루어졌다.

이번 실험의 목적은 복합구조물에서 기준이 요구하는 슬래브의 내화성능이 2차 보에 대한 추가적인 보호 성능을 제공하지 못한다는 결과를 확인함으로써 복합 구조물에서 방화 벽체의 법적 내화 성능 기준이 합리적임을 살펴보는데 있었다.

이러한 결과는 구조물에 있어서 내화 성능을 최적화하고 고객들에게 상업적 가치를 더해줄 수 있게 해주었다.

킹스게이트 쇼핑센터는 확장 리모델링 공사를 통해 최첨단의 화재공학적인 디자인 이론을 적용할 수 있었다. 연기 제어에 대한 설계안을 평가하고, 화재 발생 시 시나리오대로 몰과 개인 상점으로부터 피난할 때 가용될 수 있는 한계 시간을 보여주기 위해서 FDS(Fire Dynamics Simulator : 화재에 의해 발생하는 유체의 흐름을 수치적으로 계산하는 동역학 모델)를 사용하였다.

그리고 피난하는 사람들이 몇몇 출입구를 사용하지 못하는 상황에서 피난 가능성을 확인하기 위해서 STEPS 모델이 사용되었다.

그 결과 화재 공학적 평가는 설계가 적용 가능한지, 그리고 피난을 고려해 복도의 폭이 적정한지를 증명해주었다. 마지막으로 화재에 대비하여 건물을 보호하는데 소요되는 불필요한 시간과 공사비용을 절감할 수 있도록 2차 보에 대한 보호성능을 최적화할 수 있는 구조에 대한 화재공학적 평가 또한 실시되었다. ㉞