지하주차장 제연 및 환기 겸용시스템의 구성과 국외적용사례 소개

■ 안 정 헌 / 세원시스템벤트(주) 대표, ahn@systemvent.com
■ 이 태 규 / 세원시스템벤트(주) 이사, lee@systemvent.com

서 론

건물 내에서 화재가 발생하였을 경우, 일반적으로 상승된 온도에 의해 재실자를 위험에 노출시키는 빈도가 연기에 의해 사망에 도달하는 빈도가 큰 것으로 알려져 있다. 화재가 대체로 발생 구획에 제한되는 반면 연기는 화재발생지점에서 인접한 공간으로 잘 퍼진다. 연기는 계단과 엘리베이터와 같은 비상탈출경로를 오염시킴으로 인해, 거주자의 피난을 방해함으로써 안전지역으로 탈출하지 못하게 막는다. 따라서 화염의 열보다 연기가 많은 사람들이 위험하도록 노출하기 쉽고 이로 인해 열에 의한 부상보다 연기 흡입으로 인하여 사망하는 경우가 더 많다.

특히, 연기는 거주자의 안전한 피난에 방해가 될 뿐만 아니라 화재를 진압하는 소방관의 안전에 많은 위험요소를 제공하게 된다. 이러한 위험요소는 빌딩의 높이와 바닥면적의 증가에 따라 증가하게 된다. 이는, 빌딩내가 연기로 차는 데 걸리는 시간이 피난에 걸리는 시간 보다 짧기가 쉽기 때문이다. 이런 맥락에서 대형, 고층빌딩은 피난시간이 과도하다고 여겨지는 모든 빌딩으로 정의된다. 이런 빌딩에서 발생한 화재는 내부에서 소화되어야만 화염에 접근하고 조절하는데 시간지연을 유발하고 따라서 빌딩내로 퍼지는 연기의 발생을 제거하여 연기전파시간을 지연시킬 수 있다. 이를 위해, 국내에 건설되는 모든 대형, 고층건물은 스프링클러설비를 적용하고 있다. 계단실과 연결된 전실에는 연기가 피난통로로 이동하지 않도록 가압시스템을 구성하고 있다. 본 고에서는 지하주차장과 같이 주차된 자동차에서 화재가 발생할 경우, 주변에 가연성물질이 많을 뿐만 아니라 지하주차장의 대형화로 인하여 대형참사를 유발할 수 있는 지하주차장에 설치되는 제연/환기겸용 시스템에 대해 소개하고 이와 관련되어 소방방재청에서 추진하고 있는 지하주차장 제연시스템적용 관련 법규제정 추진현황을 소개하고자 한다.

화재의 종류와 연기가시도

화재의 종류

화재와 연기는 건물내 생명과 재산에 가장 큰 위험들이다. 이 위험은 빌딩내 화재가 발생할 확률과 화재로 인한 연기가 확산될 정도에 의해 정의된다. 따라서 설계자는 화재가 빌딩의 어디서나 발생 할 수 있다는 것을 가정하여야 하고 화재의 확산을 제한하여 생명과 재산상의 피해를 최소화하도록 설계해야 한다. 화재위험평가(Fire risk assessment)는 떠오르는 분야로 설계자들이 화재와 연기의 영향을 평가할 수 있게 한다. Beck과 Yung이 개발한 것과 같은 화재위험평가 방법론은 모든 종류의 화재를 고려한다. 예를 들어 연기를 내며 타는 것(smoldering), 서서히 타는 것(flaming-nonflashover), 그리고 갑자기 타는 것(flashover)등 빌딩내의 모든 곳에서 발생하는 화재를 고려하고 전반적인 화재와 연기가 거주자에게 주는 위험에 대하여 평가한다. 연기의 유동은 화재시 발생하는 열기류에의한 상승력으로 화재실에 매우 빠르게 확산, 전파가 되기 때문에 효과적인 제어는 화재를 진압하는 소화설비 못지않게 매우 중요한 방재설비중의 하나이다.

제연설비의 목적은 화재 또는 기타 사고등으로

발생한 연기, 유독가스 등이 사람이 거주하는 공간이나 피난로(복도, 계단전실, 피난계단)에 침입하는 것을 방지하거나 침투한 연기를 기계력 또는 자연력으로 제어하여 위험 한계농도 이하로 유지하므로써 불특정 다수인이 안전한 장소로 피난할수 있도록 지원함과 동시에 소방대원의 화재진압 활동을 돕는데 있다.

따라서 방연계획은 소방대상물의 안전계획을 수립하는데 있어서 매우 중시해야 하는 부분으로서 설계단계에서부터 철저한 검증이 필요하며, 특히 피난계획과 관련하여 종합적인 방재계획이 이루어져야 한다.

화염의 전파와 연소의 3단계

연소는 가연성 물질의 기화, 생성된 가스가 공기중의 산소와 혼합, 그리고 혼합체가 발화하기까지의 가열로 특성지어질 수 있다. 뒤따르는 화학적 반응은 다양한 결과를 낳는다. 화염을 지탱하고 확장시키는 열이 발생하고 유독성 가스도 나오지만 이산화탄소와 수증기가 주성분인 반응가스가 생성되며 불완전 연소로 인하여 탄소, 검댕이(soot) 등이 생성되어 연소물 중에서 보이는 부분을 형성하게 된다.

화염은 다음의 두가지 상황이 일어날 때 한공간에서 다른 공간으로 확산된다. 첫째, 열이 한공간에서 다른 공간으로 이동하여야 한다. 둘째, 이 열이 이동한 공간의 가연성소재에 발화를 일으켜야 한다. 이런 현상은 아래와 같은 여러 가지 방법으로 이루어진다.

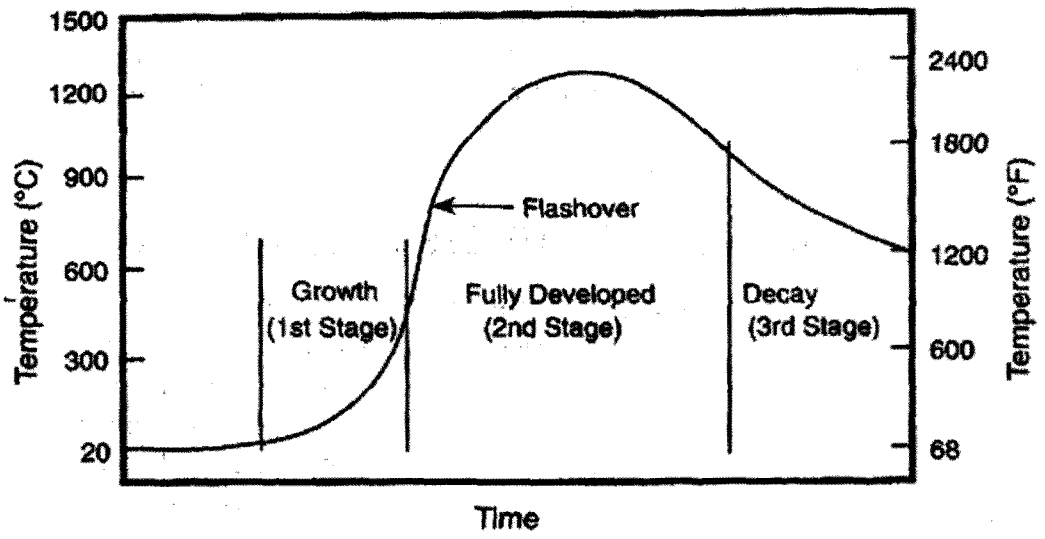
① 전도 : 금속과 같이 전도성이 좋은 물질을 통한 열전도는 발화점으로부터 먼 곳에서도 연소가 일어날 수 있는 높은 온도 조건이 될 수 있게 한다.
② 대류 : 고온 가스를 빌딩에 빨리 확산 시키고 산소부족으로 타지 못한 가연성 가스를 먼 곳으로 운반할 수 있는 대류현상은 산소와의 혼합을 도와서 화염이 형성되게 한다.
③ 복사 : 복사열은 창문의 커튼과 같이 열린 공간에서 멀리 떨어진 곳의 가연성 소재에 먼 거리에도 불구하고 발화가 될 수 있게 한다.
④ 화염의 확산 : 가연성 물질의 표면을 따라서 인접한 공간으로 화염이 전파된다.
⑤ 폭발 : 연소되고 있는 물질의 폭발에 의한 추진력은 빌딩내 화염의 급속한 전파를 야기한다.

빌딩에서 화염이 발달하는 속도는 다양하고 환기, 가연성 물질의 양과 분포, 안감의 재질, 방재시설의 여부에 따라 변화한다. 과거의 화재에 대한 연구에 따르면 화염발달의 일반적 특성에 대하여 몇가지 언급을 하는 것이 가능하다. 먼저 불꽃연소(flaming combustion)로 시작하면 다음과 같은 3단계의 뚜렷한 단계로 구성된다. 시간-온도에 대한 곡선이 **그림** 1과 같이 3단계를 표시한다.

① 성장(Growth) : 화염이 확산함에 따라 온도가 급속히 상승하는 단계이다. 이 발달단계는 연소표면의 가열과 활성화된 연료와 공기의 혼합까지로 제한된다. 이 단계의 마지막에서 고온가스층으로부터 나온 복사열에 의해 가연성 물질들이 가열되면 갑작스런 플래시오버(Flashover)가 발생할 수 있다.
② 완전 발달(Fully developed) : 플래시오버이후 온도가 천천히 상승하는 단계이다. 일반적으로 완전 발달한 화염이라고 불리며 이는 화염에 공기의 공급이 제한되고 있다는 것을 의미한다.
③ 쇠퇴(Decay) : 온도가 떨어지는 단계이다. 이 시간대에 연료의 활성화된 부분이 소진되고 화염이 꺼진다.

첫번째 단계에서 화염의 발달속도는 화재발생시 빌딩내 거주자의 인명피해를 결정하는 주요인이 된다. 화염발달속도에 영향을 주는 한요소는 내부 마감재의 재질이다. 보다 가연성인 재질은 난연성 재질의 마감일 경우보다 화염의 발달속도를 빠르게 할 것이다. 동반하는 연기와 열의 빠른생성은 연기확산율을 가속하고 거주자가 안전하게 피난할 수 있는 시간여유를 줄이게 된다.

완전발달단계와 쇠퇴의 초기단계는 빌딩구조체에 가해지는 상해의 정도에 의해 결정되고 이 시기



[그림 1] 화염발달의 3단계

에 연기의 빌딩내 확산으로 인하여 거주자에 영향을 줄 수 있다. 이 시기의 존속시간은 연기발생 기간이 될 것이며 존속시간에 영향을 주는 다른 주요 요인들은 환기, 화재와 인근한 지역의 가연성 소재의 양과 분포이다.

연소생성물질의 종류

화재에 의해 생성되는 연기는 고체와 액체입자들과 연소에 의한 가스로 이루어져 있다. 화재에 의해 발생한 연기입자와 유독가스는 화재로 인한 사망의 주원인이 되고 있다. 연기 입자의 주된 위험은 가시성을 떨어뜨린다는 것이고 유독가스의 해는 사람을 무력하게 한다는 것이다. 연기입자로 인해 가시성이 떨어지면 거주자가 탈출하기 힘들어지고 유독가스의 영향을 보다 오랫동안 받게 된다. 오랜시간동안 높은 농도의 유독가스에 노출되면 무력증으로 사망으로까지 갈 수도 있다. 어떤가스나 증기는 자극제로 작용하여 거주자의 피난을 방해하기도 한다. 예로써 염산같은 물질이 소량배출되면 직접적으로 호흡기와 눈에 자극을 주게 된다. 이런자극제들이 경계심을 거주자들에게 줄 수도 있지만 연기가 없는 경우에도 출구를 못찾아 피난을 하지 못하게 할 수도 있다.

유기물질의 연소시 발생하는 유독물질에 대한 많은 연구가 실제적인 위험평가를 위하여 수행되었다. 이중 한 방법은 물질을 태우고 실험동물이 닫힌공간에서 연소가스에 노출되게 한 후 관찰하는 것이다. 물론 연소가스의 성분을 정제하여 함량을 조사하는 연구도 당연히 이루어졌다. 가스크로마토 그래피나 질량 스펙트로메트리 등의 발달로 조성해석에 많은 진보가 있었다. 최근까지의 연구결과로 12가지의 연소가스 주성분을 해석함으로써 유독성분을 예측하는 것이 가능해졌다. CO, CO_2, HCN, HCl, 그리고 낮은 O_2에 대해 집중적으로 연구되었다. CO, HCN, 낮은 O_2농도와 높은 CO_2에 의해 마비증세가 발생한다. 마취성 가스는 중추신경계에 영향을 주어 무력감을 야기하고 심혈관계통에 영향을 준다. 대부분의 마취성 가스는 대뇌에 저산소증을 유발하여 마취성을 띄게 한다. 인체는 산소의 공급을 극대화할 수 있도록 적응하는 능력이 있으므로 어느 정도의 마취성 가스 하에서는 별 이상 없이 중독의 영향을 인지하지 못하고 지낸다. 그러나 일단 어느 정도의 경계값에 도달하게 되면 그 효과는 급속하고 심각하다. 마치 알콜의 효과와 같이 무기력, 또는 환희감을 느끼지만 몸의 상태는 매우 안 좋아지고 계속적으로 노출되면 빠르게 혼

수상태로 빠지고 사망하게 된다.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc.의 매뉴얼에 따르면 발단경계값(Threshold Limit Values, TLV)과 여러 가지 유독가스에 대한 기술을 하고 있다. TLV는 하루 8시간 주당 40시간을 일하는 것으로 보고 인체에 악영향을 끼치지 않을 만큼의 노출농도를 시간가중치를 고려한 평균값으로 정의하고 있다.

① 일산화탄소(CO)

일산화탄소는 가장 중요한 마취성 가스이다. 불완전연소에 의하여 생기며 대다수의 화재시에 많은 양이 발생하게 된다. 흡입된 일산화탄소는 헤모글로빈과 결합하여 질식을 일으킨다. 헤모글로빈은 원래 산소를 운반하여야 하지만 일산화탄소와 결합하게 되면 세포로 산소를 운반할 수 없게 되어 질식이 일어나게 되는 것이다. 한 연구에 따르면 화재로 인한 사망자중 54%에서 치명적인 수준인 50%이상의 탄화헤모글로빈이 검출되었다. 반면 69%의 사상자가 30%가량의 무기력증을 나타내는 수치를 보였다. 사람이 부작용없이 매일 노출될 수 있는 일산화탄소의 농도는 50 ppm이다. 이 수치는 탄화헤모글로빈의 수치를 10%이하로 유지하게 하는 것이다. 400 ~ 500 ppm정도의 농도가 1시간 동안 흡입되어도 자각 증상이 나타나지 않고 1000 ~ 1200 ppm의 농도에 1시간 노출되면 불쾌감이 나타난다. 1500 ~ 2000 ppm에 1시간동안 노출되면 위험하며 4000 ppm이상의 농도에 노출되면 1시간이내에 사망하게 된다.

② 이산화탄소(CO_2)

이산화탄소는 모든 빌딩의 화재에서 대량으로 생성된다. 이산화탄소의 흡입은 호흡기를 자극하여 호흡량을 늘리고 이로 인하여 산소와 다른 유해한 가스의 흡입량을 늘이게 된다.

이산화탄소의 TLV는 5000 ppm이다. 호흡기의 자극은 5% 농도 즉 50,000 ppm에서 일어나기 시작하고 30분이 경과하면 중독증상이 나타난다. 70,000 ppm이상에서는 수 분내에 혼수상태에 빠지게 된다.

③ 시안화수소(HCN)

HCN은 폴리아크릴, 나일론, 울, 폴리우레탄, 포름알데히드, ABS등 질소가 분자구조에 있는 물질이 연소할 때 발생한다. HCN은 세포의 호흡을 줄이고 헤모글로빈의 산소운반을 방해한다. HCN의 TLV는 10 ppm이고 20 ~ 40 ppm의 농도에서 몇 시간 동안이나 아무 자각증세 없이 흡입될 수 있다. 1시간동안 심각한 증세없이 흡입될 수 있는 최대양은 50 ~ 60 ppm이다. 120 ~ 150 ppm의 농도에서는 반시간에서 한시간이면 위험하다. 또한 3000 ppm이상이라면 바로 즉사할 수도 있다.

④ 염산(HCl)

염산은 PVC가 화재로 분해될 때 생성된다. 흡입되면 염산은 호흡기 위쪽을 자극하고 손상하여 질식에 이르거나 사망하게 된다. 염산의 TLV는 5 ppm이다. 반시간에서 한시간 동안 노출되는 허용한도는 50 ppm이다. 1000 ~ 2000 ppm에서는 짧은 시간의 노출도 매우 위험하다.

⑤ 이산화질소(NO_2, N_2O_4)

질소산화물의 기본적인 형태는 일산화질소(NO)와 두가지 형태의 이산화질소(NO_2, N_2O_4)이다. 이산화질소는 매우 유독하며 질소가 함유된 물질이 연소할 때 생성될 수 있다. 일산화질소는 대기 중에서 존속기간이 매우 짧다. 왜냐하면 대기중의 산소와 결합하여 이산화 질소가 되기 때문이다. 이 화합물은 역시 강한 자극제이며 특히 점막을 자극한다. 흡입되면 수분과 결합하여 질산과 아질산을 생성하여 호흡관의 세포를 손상시킨다.

이산화질소의 TLV는 5 ppm이다. 62 ppm이상이면 즉각적인 자극이 시작된다. 117 ~ 154 ppm의 농도에는 짧은 노출로도 위험하고 240 ~ 775 ppm에서는 즉사할 위험도 있다.

연기에 의한 가시성 감소

연기위험을 고려할 때 중요한 세가지 요인이 있다. 그것은 첫째 최대광학밀도, 둘째 연기발생률, 셋째 총연기생성량이다. 인명피해를 일으킬 수 있는 화재의 규모는 상대적으로 작다. 예를 들어 쿠션하나가 발화되어도 큰 방의 반대쪽 비상구 표시

가 흐릿해 질 정도로 연기가 많이 나올 수 있다. 따라서, 광학 밀도측정치와 가시성의 상관관계가 필요하다. 왜냐하면 비상구 표시나 문, 창문 등을 볼 수 있는것은 피난을 하는 개인들에게는 매우 중요한 문제이기 때문이다. 연기를 통한 가시성의 측정 중 대부분은 물체가 더 이상 보이지 않는 곳 까지의 거리로 규정하고 있다. 가시성은 연기의 산란, 흡수계수와 연기입자의 크기, 색깔, 연기밀도 그리고 연기의 눈에 대한 자극도 등 여러 가지 요인에 따라 변한다. 그리고 가시성은 표지의 발광 여부에 따라서도 변한다. 비상구 표지가 방사형인지 반사형인지 그리고 후면방사형인지 전면방사형인지 등에 따라서도 변하게 된다. 개개인의 시력이나 심리적 상태도 또한 영향을 줄 수 있을 것이다.

같은 조건에서 동일한 사람에게 실험을 하여도 여러 차례 시험을 하면 가시 관측의 변화가 25%에서 30%가량 변화한다. 하지만 Jin, Malhotra, Rasbash 등에 의해 광범위한 실험이 수행되었으며 이를 통하면 실험에서 가시성과 연기의 광학밀도 사이에는 뚜렷한 상관관계가 있음을 알 수 있다. 이들 자료로부터 가시관측거리한계와 광학밀도 사이에 간단한 상관관계를 다음과 같이 끌어낼 수 있다. Butcher와 Parnell에 따르면 전면조명의 경우에 아래와 같은 식이 성립한다.

$$\text{Visibility (meter)} = 1/\text{ Optical Density per meter} \quad (1)$$

Jin의 결과에 따르면 후면조명의 경우 전면조명의 경우보다 2.5배 가시성을 얻을 수 있다.

$$\text{Visibility (meter)} = 2.5/\text{ Optical Density per meter} \quad (2)$$

가시성과 거리에 따른 광학밀도의 관계는 식 (5), (6)으로 나타나고 **그림 2**와 같다.

Jin과 Yamada는 예상한 바와 같이 연기밀도가 증가함에 따라 걷는 속도가 감소한다는 것을 발견하였다. 벽, 바닥 등에 대한 가시성이 떨어짐에 따라 이동주체의 속도가 떨어지는 것이다. 짙은매운 연기는 눈물 때문에 사람이 표지를 볼 수 없게 하고 벽을 따라서 혹은 갈지자로 걷게 만든다. 그러나 옅은 연기에서는 걸음 속도가 자극적인 연기이건 아니건 간에 상관없이 비슷하였다.

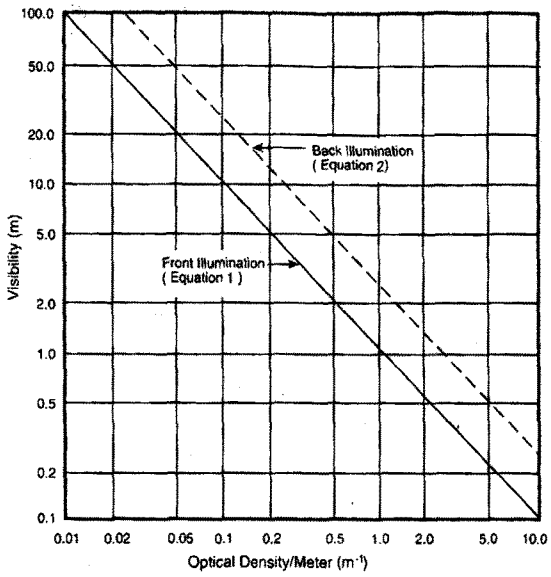
연기제어를 위한 설계규범

건물 내 연기위험에 대비하는 설계규범은 연기밀도에 기반을 둘 수 있다. 가시성을 감소시키는 연기밀도는 빌딩내 거주자를 가두고 피난을 막거나 유독성 가스 등에 노출되는 시간을 증가시킨다. 광학밀도를 낮추는 설계규범은 거주자들이 연기에 노출되어도 당황하지 않고 눈에 자극을 견딜 수 있을 정도로 연기밀도를 낮출 수 있어야 한다. **표 1**은 여러 연구자에 의해 제안된 허용가능한 가시성을 거리와 광학밀도를 냐타내고 있다. Jin은 건물에 익숙하지 않은 사람들에게는 15 ~ 20 m의 가시거리가 필요한 반면 건물에 익숙한 사람들에게는 3 ~ 5 m의 가시거리면 충분하다고 주장하였다. 표 1과 같이 주위환경에 익숙하지 않은 많은 방문객이 드나들고 피난경로도 매우 긴 초고층빌딩의 한계광학밀도는 0.04 ~ 0.08이다.

화재시 최대연기허용정도에 대한 정보는 별로 많지 않다. Wakamatsu는 광학밀도/m를 4.3으로 가정하였다. Gross, Loftus, 그리고 Robertson은 NBS 연기시험챔버의 실험을 통하여 5.5이상의 광학밀도/m가 몇몇 재질에서 발생됨을 발표하였다. NRCC에 의해 수행된 측정에 따르면 초기 단계의 몇몇 화염은 3.8광학밀도/m 정도를 가정하였다. Butcher와 Parnell은 10.0까지 보고한 바 있다. 시험의 수가 적긴 하지만 이 정보들은 4.0에서 10.0 정도의 광학밀도 조건 사이에 역화조건(adverse

<표 1> 가시거리와 광학 밀도 한계

연구자	가시 거리	광학밀도/m
Jin	15–20 m (생소한 거주자) 3–5 m (익숙한 거주자)	0.045 0.17–0.30
Kawagoe	20 m	0.045
Wakamatsu	25 m	0.043
LA 소방국	14 m	0.076
Rasbash, Malhotra	4.5 m	0.21



[그림 2] 광학밀도와 가시도의 관계

fire condition)이 나타날 수 있다는 것을 보여준다. Wakamatsu는 광학밀도 4.3을 가지는 화재지역에 대한 1:100 스케일의 모델에 대하여 허용 가능한 광학밀도를 계산하는 수치적 연구를 구축하였다. 유도하는 과정에서 그는 임계 가시거리 25 m와 관련하여 광학밀도/m 0.043을 하한으로 가정하였다.

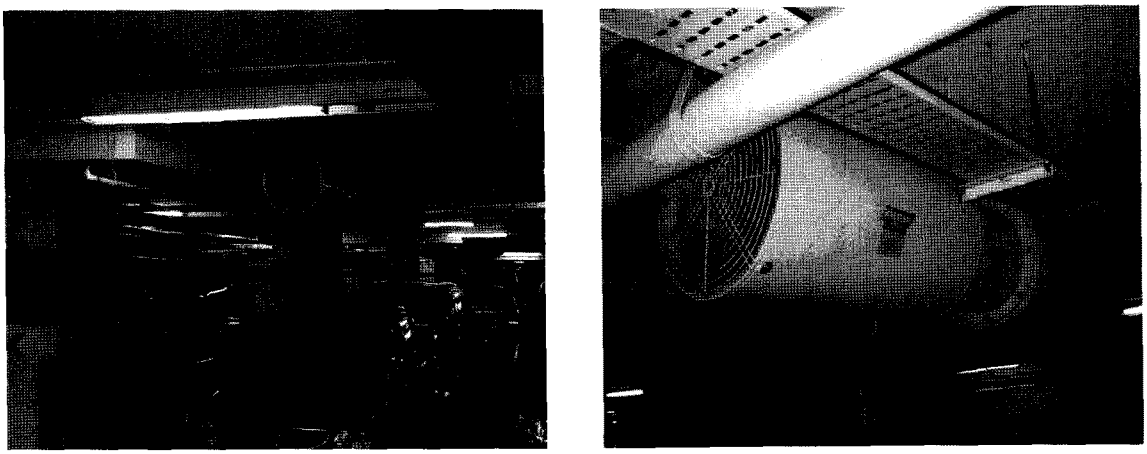
지하주차장에 적용되는 제연시스템의 국외사례

지하주차장 제연팬 설치사례(말레이시아 Pavilion Shopping Center)

말레이시아 수도 도심에 있는 pavilion shopping center에 제연/환기겸용 유인팬을 설치한 사례가 **그림 3**과 같다. 당건물의 개요는 **그림 4**와 같으며 지하주차장의 환기 및 제연팬의 운전개념은 **그림 5 b)**와 같이 5개의 존으로 구획되어 운전되고 있다. 또한 스프링클러도 제연팬과 동시에 설치되어 있다.

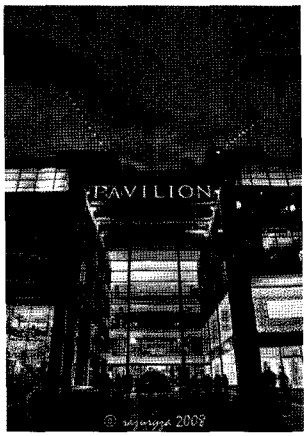
제연 및 환기팬의 운전개념

지하주차장에 화재가 발생하였을 경우, 연기를 배기구로 이송시키기 위해서는 적정한 풍속이 유지되어야 하며 이와 같이 지하 주차공간을 경유하여 배기 팬룸으로 고온의 연소가스가 유입되며, 배기덕트가 화재층만 개방됨에 따라 장시간이 경과할 경우 닥트의 내열성의 한계로 인하여 연소할 우려가 충분있으므로 덕트재료에 대한 안전성을 확보에 대해 고려해야 된다. 이와 더불어 화재발생물질의 배출풍속은 연기이동의 반대방향으로 불어



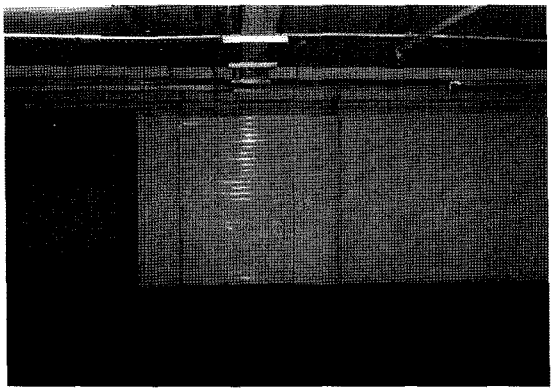
a) 지하주차장 기류유인팬 b) 지하주차장 기류유인팬

[그림 3] 말레이시아 pavilion shopping center지하주차장 상부에 설치된 유인팬

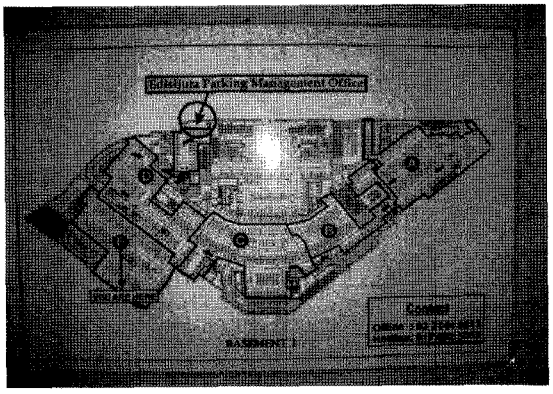


연면적	343,700 sqm
층 수	지하3층 지상 19층 (7층의 쇼핑몰, 19층 office,호텔)
완 공	2008년
개 요	6개의 쇼핑공간으로 세분화 되어있는 쇼핑몰로 3,300개의 주차공간으로 구성 되어있음. 쇼핑몰의 지하주차장은 덕트를 이용하지 않고 기류유도팬이 설치되어있으며, 주차장은 zone별 구획되어 있음.

[그림 4] pavilion shopping center 건물개요 및 지하주차장 운용개요

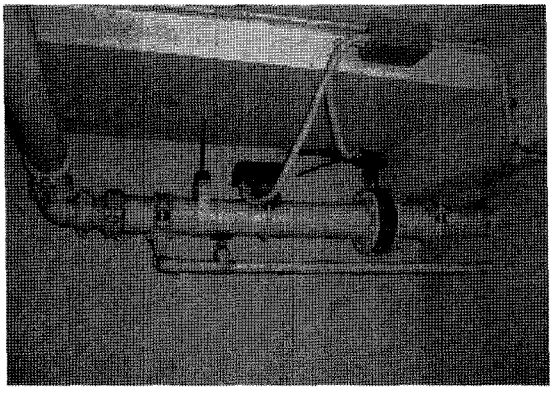


a) 지하주차장 팬룸 모습



b) Zone 별 지하주차장 구획도

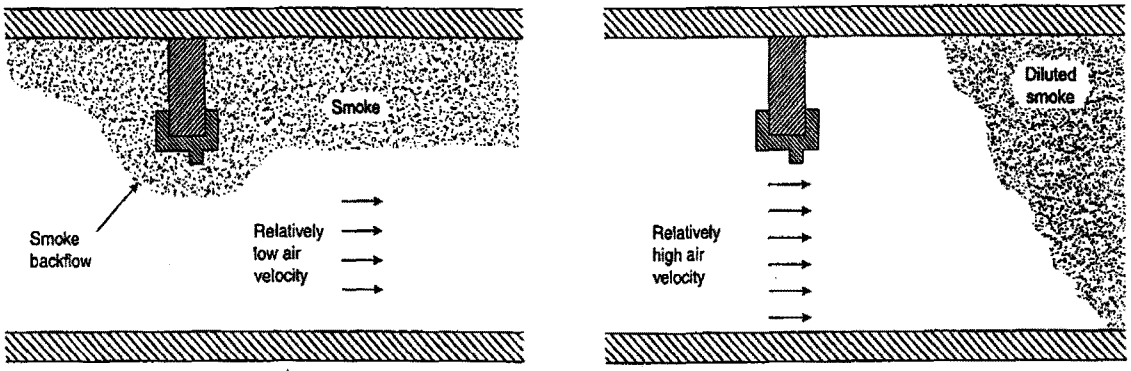
[그림 5] pavilion shopping center의 지하주차장 팬룸 및 환기/제연시스템 운전구획도



a) 지하주차장 flow control valve

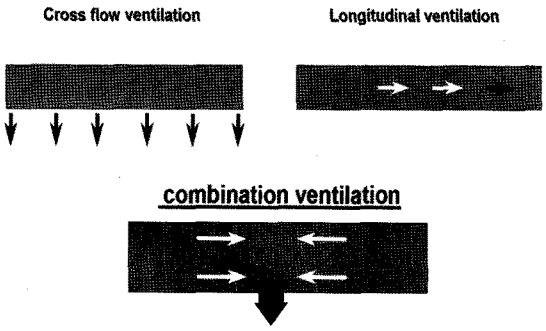
b) 지하주차장 팬룸 모습

[그림 6] pavilion shopping center의 지하주차장 팬룸 및 스프링클러 설치모습



a) 풍속이 기준치 이하일 경우 b) 풍속이 기준치 이상일 경우

[그림 7] 제연풍속에 따른 제연개념도



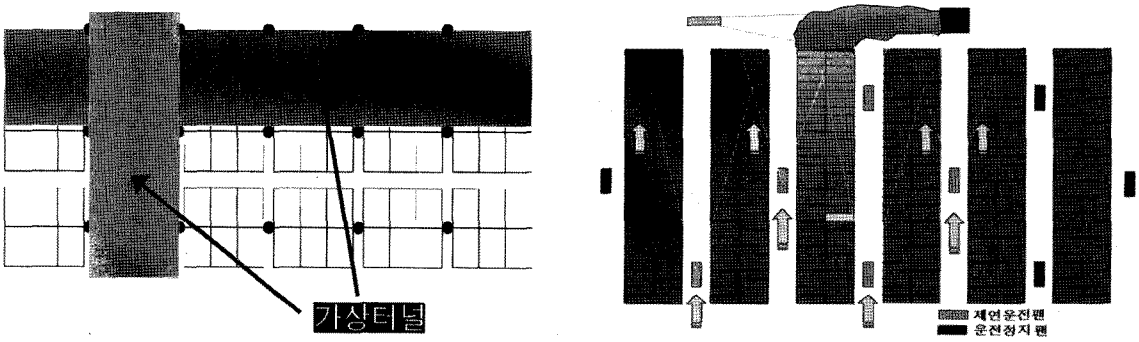
[그림 8] 기존환기시스템의 유동방향과 환기팬의 개선방안

줌으로서 연기의 확산을 방지할수 있으며, 화재의 열방출률이 클수록 방연풍속이 증가되어야 한다.

예를들면, 열방출율이 2.4 MW 화재의 경우 적정 방연풍속은 4 m/sec, 열방출율이 125 KW 화재의 경우 적정방연풍속은 1.5 m/sec이며 스프링클러가 설치되었을경우에는 연기층의 냉각으로 인하여 연기의 유동력이 떨어지는 것을 고려하여 0.25 ~ 1.25 m/sec범위로 유지하면 충분하다고 알려져 있다.

지하주차장에 적용되는 제연/환기겸용 시스템의 구성

지하주차장의 환기만을 위해, 유인팬 및 급배기



a) 발화지점을 기준으로 설정된 가상터널 b) 발화지점 주변의 유인팬의 운전개념도

[그림 9] 발화지점을 기준으로 한 제연운전 제어개념도

메인팬을 운전한다고 가정할 경우, **그림 8**과 같이 장변(축방향) 혹은 단변으로 일방향유동을 발생시키는 단순한 유동지만 화재가 발생하여 제연을 수행할 때, 일방향유동이 발생하면 화재발생물질은 지하주차장 전체로 확산하게 된다 이를 위해, 고안된 유동이 발화지점을 기준으로 배기 메인팬 위치까지 가상터널(virtual tunnel)로 유지하는 결합환기방식이 적용되어야 하며 그 주변에 있는 유인팬은 정지해야 된다.

즉, 화재가 발생한지점을 기준으로 제연운전이 가능한 최단구간을 설정하여 **그림 9**와 같이 가상터널내부에 존재하는 유인팬은 운전되고 그 외의 영역에 위치한 유인팬은 정지하도록 함으로써 화재생성물질의 전파가 지하주차장 전체로 확산되지 않아 소방관이 발화지점 부근으로 쉽게 접근하여 빠른 진화작업을 수행하고 인적, 재산적 피해를 최소화 할 수 있는 제연겸용 환기시스템의 개발이 절실히 필요한 시점이다.

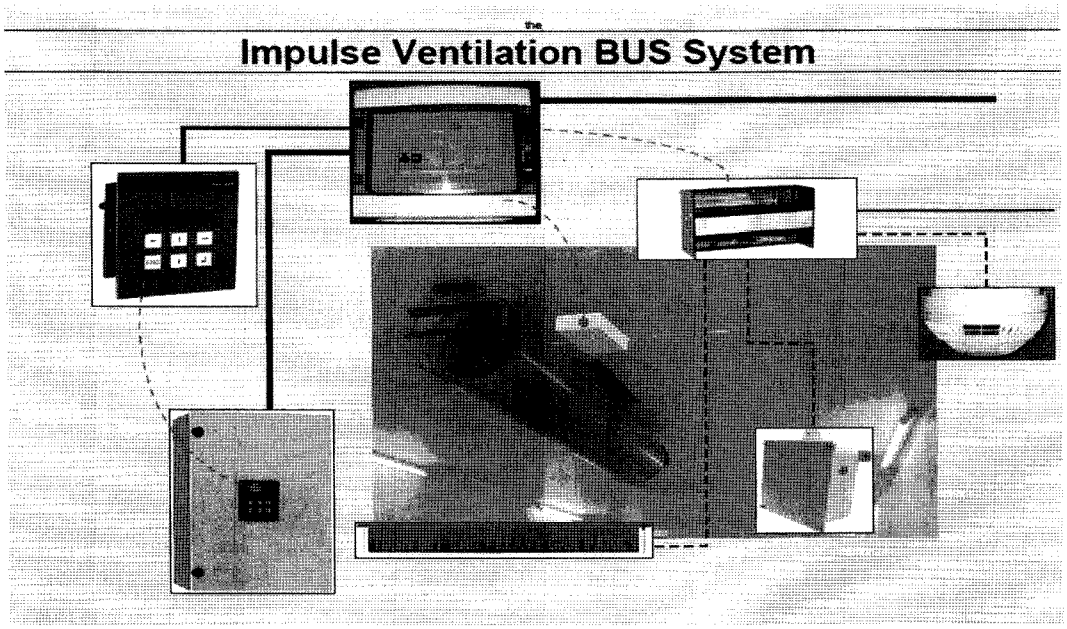
그림 9와 같이 발화지점을 중심으로 주변에 위치한 유인팬만 운전되고 다른 존에 위치한 유인팬이 정지되면서 제연운전을 수행하기 위해서는 다음과 같은 조건이 성립되는 시스템을 구성해야 한다.

① 운전모드(환기, 제연)에 따른 제어성능의 정확성확보
② 운전모드(환기, 제연)에 적합게 국소/전체운전이 가능한 유인팬의 배치기술 모듈화
③ 제연운전이 270℃이상 고온에서 2시간동안 가능하고 환기/제연운전모드 변환이 가능한 유인팬의 적용

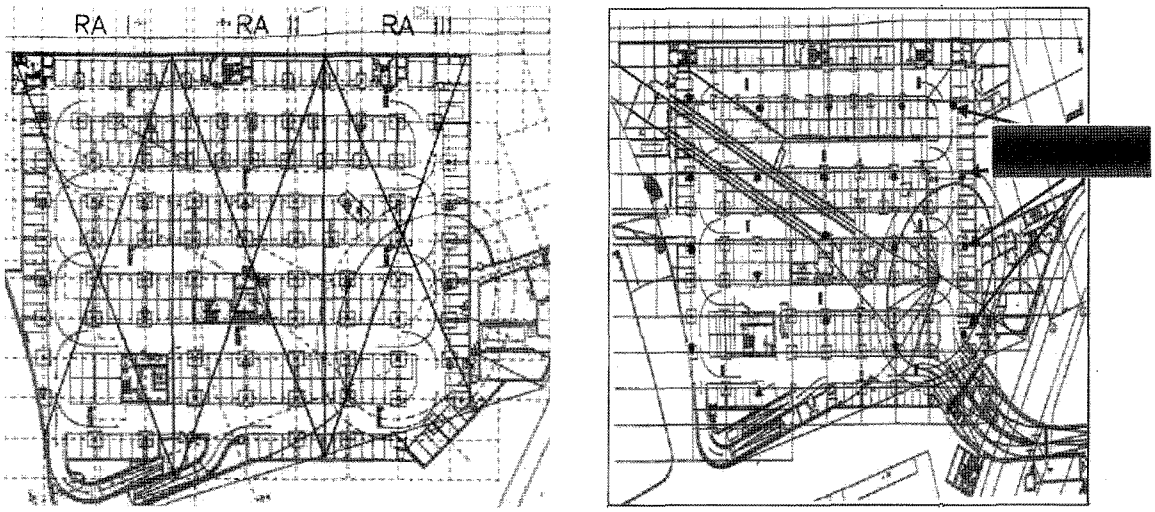
상기에 제시된 제어가 조합된 제연/환기겸용 시스템의 제어 구성도는 **그림 10**과 같다.

그림 10과 같이 구성된 제어시스템은 다음과 같이 5단계로 풍량조절하면서 운전할 수 있도록 CO 센서를 활용한 제어알고리즘이 구성되어져 있다.

1단계 : 표준환기
환기시스템이 신선외기를 지속적으로 주차장에 공급한다.
2단계 : CO 50 PPM 경보



[그림 10] 제연/환기경용 시스템의 제어 개념도



a) 지하주차장 구획개념도 b) 구획별 CO 설치개념도

[그림 11] 제연/환기겸용 시스템의 유인팬 설치를 위한 유인팬/CO설치개념도

유인 팬(jet fan)을 중풍으로 운전한다.

3단계 : CO 100 PPM 경보

유인팬(jet fan)을 강풍으로 운전한다.

4단계 : CO 250 PPM 경보

급, 배기팬을 강풍으로 운전하고 차량의 출입을 차단한다.

5단계 : 제연운전

화재가 감지된 지점의 유인팬은 운전하고 그 외 지역에 위치한 유인팬은 정지한다.

대형 주차장에서 이와 같은 제연시스템의 운전이 가능하도록 하기 위해서는 가상터널(virtural tunnel)을 구성되도록 제어시스템의 죠닝이 필요하며 이를 위해서 해야 될 CO 센서와 유인팬의 설치를 위한 죠닝개념도는 **그림 11**과 같다.

결 론

국내의 도심지에 건설되는 건축물은 초고층, 대형화되고 있는 현실이고 이와 더불어 거주자의 주차를 위해, 지하주차장이 대형화 복층화되고 있다. 국내에서도 이러한 현실을 감안하여 지하주차장에 설치되는 소화활동설비를 스프링클러와 더불어 제연시스템이 적용하기 위해, 2009년 기초연구를 완료한 실정이다. 본 고에서는 지하주차장의 제연시스템이 필요성과 제연시스템이 갖춰야 할 기능을 개괄적으로 살펴보았으며 당사에서는 이러한 제어시스템의 개발을 완료하였으며 국외에 본 시스템을 판매하기 위해, 지속적으로 기술영업을 진행하고 있다.

참고문헌

1. George T., 1994, Tamura, Smoke Movment and Control, NFPA.
2. Backman , Johan., 2002, "Railway Safety - Risks and Economics", Stockholm: Royal Institute of Technology, Department of Infrastructure and Planning.
3. ISO/TS 13571, 2002, "Life-threatening components of fire Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data."