

地下生活空間 開發 要素技術 研究

- 換氣 및 防災技術 分野 -

조정식 / 한국건설기술연구원 선임연구원

김세동 / 한국건설기술연구원 선임연구원

이태원 / 한국건설기술연구원 선임연구원

김태형 / 한국건설기술연구원 연구원

1. 서론

지하공간은 인간에게 매우 중요한 부분으로 인식되고 사용되어 왔다. 이런 지하공간을 주거 생활공간으로 활용하기 위해서는 쾌적하고 안전한 시설, 즉 환기 및 방재시설을 갖추는 것이 필수적이라 할 수 있다.

우선, 환기기술 분야를 살펴보면, 환기의 주목적은 지하생활공간에서 활동하는 사람에게 신선한 공기를 공급하고 유독성 가스 및 부유분진 등을 허용농도 이하로 희석시켜 쾌적환경을 유지하는 것이다.

지하공간내 공기중에는 일산화탄소, 질소산화물, 포름알데히드, 라돈, 석면·부유분진 등의 유해물질이 많기 때문에 환기시스템을 갖추어 항상 신선한 공기를 공급할 수 있도록 하여야 한다. 또한 지하공간은 고온 다습한 환경이 되기 쉬우므로 온·습도의 조절이 중요하다.

지하공간은 자연광의 부족, 공조설비의 불충분성 등으로 인하여 정신적·심리적 부담을 갖

게 된다. 이러한 부담을 감소시켜 주는 대책으로는 환기, 온습도 유지 및 오염방지 등의 환경 제어기술로 지하공간이라는 느낌없이 지상에서의 생활과 동일한 생활을 영위할 수 있도록 하는 것이 최선이다. 따라서, 국내 지하공간 활용 기술의 자립화와 안전관리 체계화를 이룰 수 있도록 환기설비분야의 근본적인 대책을 마련하여야 한다.

다음으로, 방재기술 분야로서는 지하공간은 폐쇄적 인공환경으로 계획되기 때문에 화재, 지진 등의 재해 발생시에 대비한 대책을 마련하여야 한다. 특히 화재가 발생하게 되면 덕트가 연기확산을 조장하게 되며 최종 피난 장소인 지상까지의 피난이 용이치 않으므로 심층부로부터의 탈출이 매우 곤란하다.

따라서 필요한 피난유도설비 및 각종 소화시스템을 마련하여 두는 이외에 화재 대책의 기본적 방침을 설정하여 둘 필요가 있다. 화재에 대하여는 화재의 미연 방지, 화재의 조기 발견,

화재의 초기 소화 및 구획화, 그리고 안정장소의 대피 유도에 대한 대책이 필요하다.

즉, 지하공간의 내장재를 불연화시키고 독성 가스 방출재료 사용금지, 가연물을 삭감하여 화재발생 확률을 되도록 줄여야 하며 화재감지장치나 감시모니터로 화재를 조기 발견하도록 하여야 한다. 일단 화재가 발견되면 소화기, 실내 소화전 등을 활용한 소화는 물론 자동소화 시스템에 의한 스프링클러 등을 사용하여 초기 소화시키도록 하여야 하며, 구획의 상황을 파악하여 지하공간을 구획화시키고 안전장소로 인간을 대피 유도시켜야 한다.

이러한 직접적인 대책을 포함한 감시·통보설비를 충실하게 하고 화재 발생시의 안전한 피난 경로의 확보, 피난 유도방법, 지하공간의 연기제어 등의 종합적인 대책을 마련하여야 한다.

2. 국내 지하공간의 실태 및 외국 지하공간 시설 특성조사

2.1 지하생활공간의 환경 및 방재안전에 관한 조사

지하생활공간 시설에서 영업 또는 근무하는 사람을 대상으로 환경 상태, 방재상의 안전의식과 방재특성, 화재 및 정전발생 사례 등을 조사하여 지하생활공간에 있어서의 환경 상태 및 화재 위험 요인을 분석하였다.

1) 지하공간의 환경

대부분의 응답자들의 지하공간내의 환경상태가 불량한 것으로 지적하였으며, 공조시설 및 환기설비의 효율적인 운영이 이루어지지 못하고 있는 것으로 판단된다.

또한 실내 조명기준에 미달되는 등 조명환경도 좋은 상태를 유지하고 있지는 않았다. 따라서, 조사대상자의 대부분은 방재안정상의 위험요인보다는 일상생활에 밀접한 환경조건의 악화에 관심을 보인 것으로 판단된다.

2) 지하공간의 안정성 및 위험요인

지하상가에서의 가장 위험요인으로는 화재로 인한 위험이라고 지적하고 있으며, 화재가 발생할 요인으로는 전기누전이 가장 크다고 응답하였다.

이의 원인으로는 지하상가에서의 가스사용 규제로 가스사용설비 대신에 전기사용설비가 급증하고 있는 반면, 전기에 대한 안전의식의 부족으로 전기사용설비의 안전관리가 문제점으로 지적되고 있는 것으로 판단된다.

3) 화재시 불안요인

지하상가에서 화재가 발생할 경우 불안요인으로 연기의 농연으로 인해 대피곤란과 출입구 쪽으로 사람들의 쏠림으로 인한 혼란이 예상된다고 지적하고 있다. 따라서, 지하공간에서의 화재발생시에는 심한 패닉현상이 예상되며, 연기에 대한 배연대책과 계단등 피난로의 안전대책, 그리고 소방대가 용이하게 구조, 소화활동이 가능한 진입로의 확보대책 등의 방재안전대책이 요구된다.

4) 화재 및 정전발생 사례

조사대상자의 26%가 화재가 발생된 적이 있다고 하였으며, 조사대상자의 74%가 정전이 발생되었다고 지적하고 있다. 따라서 정전에 대비한 전기안전대책 및 무정전 전원공급대책이 필요할 뿐만 아니라 화재 대응책으로서 완벽한 방재안전시설의 설치와 철저한 유지관리 방안이 이루어져야 할 것이다.

5) 심리적 불안감 및 지하근무 희망 여부

조사대상자의 78%가 지하공간에서 근무하는 것에 심리적 불안감을 느낀다고 하였으며, 조사대상자의 70%가 지하공간에서 일하고 싶지 않다고 응답하였다. 원인으로는 지하공간내의 환경상태의 악화와 지하시설의 안전성에 대한 부정적인 견해를 갖고 있는 것으로 분석된다.

2.2 외국의 지하생활공간 개발현황 및 시설특성 조사

선진외국에 있어서는 지하공간이 다목적으로 활발하게 이용되고 있으며, 이들 지하생활공간은 환기시설, 자연채광 유도시설, 그리고 비상시에 대비할 수 있는 방재 및 피난시설 등 안전 확보 및 쾌적환경 조성에 역점을 두고 개발되고 있었다.

1) 지하에 대한 심리적·생리적 영향의 완화

지하에 대한 밀폐공간의 이미지와 심리적·생리적인 영향을 완화하기 위해서는 넓은 내부공간과 아트리움식 높은 천정구조, 지하공간을 지상으로 부터 용이하게 연결할 수 있는 출입구의 설계, 자연채광의 도입 디자인의 다양화를 추구함으로써 심리적·생리적 영향을 완화하였다.

2) 쾌적한 환경조건 조성

지하 내부환경은 옥외 기후조건과는 거의 영향을 받지 않으며, 연간을 통해서 극히 적은 에너지로 쾌적한 온열환경을 유지할 수 있는 반면에 신선한 공기의 부족과 공기오염 등에 대해서 유해한 환경을 지적하는 사람이 많다.

따라서, 쾌적한 환경조건을 확보하기 위해서 실내 온습도의 제어, 쾌적환기의 채용, 간접조명방식의 채용 등 쾌적환경을 연출하고 있었다.

3) 자연채광의 부족에 대응

지하공간은 밀폐된 공간이고 폐쇄된 공간으로서 자연채광의 확보가 매우 어렵다. 따라서, 지하공간에 자연채광이 가능하도록天窗구조로 설계하고, 또한 Top Light 시설을 채용하여 밝고 안락한 조명환경을 연출하였다.

4) 방향·위치 확인의 부족에 대처

지하공간은 미로성의 이미지가 많고, 방향감각 및 지각의 상실을 초래하여 심리적 불안을 야기시키게 되므로 視覺·聽覺에 의해 강하게 인상을 주는 디자인을 설계하며, 방향 인식이 가능한 ㅁ ㅁ의 기둥 등을 채용, Glass의 파티즌 구분, 강제 송풍방법을 채용하여 심리적인

영향을 최소화하고 있었다.

5) 방재안전의 확보

지하공간에서의 정전, 화재, 가스사고 등이 발생할 경우에는 지하특성상 심리적 공포감은 물론 심한 패닉현상이 발생되기 쉽다. 따라서, 유사시에 대비하여 방재안전시설의 완벽한 설치와 철저한 유지관리가 요구된다. 특히 지하공간의 정전대책, 가스안전대책, 배연대책, 피난로 확보, 구조·소방활동 등의 종합적인 방재안전대책이 강구되어야 한다.

가) 정전 대책

- ① 2계통 수전방식 채용
- ② 비상용 예비전원설비의 설치
- ③ 축전시설비 및 직류전원공급장치의 설치
- ④ 비상조명설비의 확보

나) 가스 안전 대책

- ① 가스의 사용 제한
- ② 가스를 사용하는 점포마다 유사시 가스공급 밸브를 자동차단할 수 있는 자동 가스차단 장치의 설치
- ③ 가스 누설시 주공급배관의 밸브가 자동차단할 수 있는 가스차단장치의 설치
- ④ 가스사용장소를 상시 감시할 수 있으며, 안전사고 발생여부를 감지할 수 있는 가스누설 경보시스템의 설치

대) 소방 대책

소화설비, 경보설비, 피난설비, 소화용수설비, 소화활동설비의 설치

라) 방재센터의 기능 강화

- ① 중앙집중 감시가 가능한 방재센터의 설치
- ② 하이테크 방재안전시스템의 도입
- ③ 지하공간의 24시간 감시체제 확립

6) 건축구조적 방재 계획

가) 불연재료 및 난연재료의 사용

나) 건축물의 내화구조 및 방화벽의 설치

다) 건축물의 피난시설 확보 - 직통계단 및 피난계단의

설치

라) 피난 및 소화에 필요한 통로의 확보

마) 지하층의 방화구획화 및 방화문의 설치

3. 지하생활공간의 환기설계 및 개선방안

3.1 지하생활공간 환기설계

3.1.1 지하생활공간 환기설계 자료

국내 관계법규에서는 최소한의 실내환경 기준만을 규정하고 있고 지하 공간에서의 실내환경 기준은 명시하지 않고 있다. 특히, 지하철은 도시의 대량 승객수송 시설임을 생각할 때 지하철내의 환경문제는 도시인의 보건환경 측면에서 대단히 중요한 문제이다. 지하철내 공기의 온습도, 공기 유동속도, 공기의 청정도등이 적당한 범위내로 유지되어야 하지만, 최적 조건만을 지나치게 요구하게 되면 설비비가 증가할 뿐만 아니라, 에너지 소비량도 증대되고 유지관리비 또한 증대되며, 이에 따라 운전에 따른 소음과 진동문제도 뒤따르게 된다.

지하철내에는 전차선과 열차집전장치의 마찰에 의한 중금속, 궤도와 열차 차륜간의 마찰에 의한 중금속, 그리고 건축자재등에 의한 중금속 및 가스상 물질에 대하여도 기준치를 설정하여야 할 것이다.

따라서, 국내 건축법에서 규정하지 않은 환경 기준 중에서도 인체에 영향을 끼치는 라돈, 포름알데히드, 석면등에 대해서는 지하공간의 특성을 감안한 실내환경 관리 기준의 설정이 필요하다.

3.1.2 용도별 환기특성 분석

지하생활공간에서의 환기상의 문제에 대한 필요성은 그 무엇보다도 우선되어야 하며, 다수가 이용하는 지하생활공간의 환기설비에 대한 특성을 거론한다.

1) 지하철의 환기

지하철에서는 매연제거와 함께 생활수준의

향상에 다른 환경조절이 환기의 주목적이라고 할 수 있다.

가) 지하철 터널환기

기계환기를 역간 일반 터널부 및 역부의 관계를 고려하여 어느 환기 방식이 좋은 것인가는 역간거리, 터널형식, 터널치수, 역구조, 깊이 및 지형 등에 따라 다르므로 노선조건에 맞는 방식을 개략적으로 설명한다.

(1) 터널부 중간에서 배기하는 방식

이 방식은 역의 환기실 가까이에서 급기하고 터널 중간에서 배기하는 방식으로 Under-Platform 배기처리가 곤란한 문제가 있는 것이 특징이다.

또, 다른 유형으로는 역사 근처에 있는 자연 환기구에서부터 급기와 배기를 실시하며 터널부의 중앙부분에 있는 환기실에 배기하는 방식도 생각할 수 있다.

(2) 터널부 중간에서 급기하는 방식

이 방식은 역환기실 및 터널 중간환기실에서 급기하며 역 Platform 아래의 덕트에서 흡입하여 역 양단의 환기실에서 배기하는 방식이며, Platform 아래의 배풍처리가 용이하나 건설비가 많이 드는 단점이 있다.

이 방식도 터널 중간 환기실에서 급기를 실시하고 역 Platform 아래의 덕트에서 흡입하여 역 한쪽의 환기실에서 배기하는 방식이다.

(3) 터널부 중간에서 급배기하는 방식

이 방식은 터널중간 환기실에서 급배기하고 역 한쪽에서 급기하고 역다른 쪽에서 배기하며 터널 길이가 간단선 터널에서 유리한 방식이다.

(4) 역에서 급기하고 다음 역에서 배기하는 방식

역 한쪽의 환기실에서 급기하고 다음 한쪽의 환기실에서 배기하는 방식이며 Platform에서는 역 환기실에서 급 배기하는 방식이다. 이 방식은 터널길이가 비교적 짧은 단선 터널에서 유리한 방식이다.

(5) 자연환기 방식

이 방식은 열차의 Poston효과를 이용하여 급·배기하는 경제적인 잇점은 있으나, 열차 운행회수가 증가하여 발열량이 증대 될 때는 상당히 불리한 방식이다.

(6) 비상시의 환기대책

비상시 터널내에 있는 열차에서 화재가 발생하면 터널내의 화열, 매연은 시스템 내에서 충분히 배출되어야 하며, 터널 내에서는 열적 환경을 제어할 수 있는 환기설비가 설치되어야 한다.

나) 지하철 역사환기

승강장의 환기방식은 환기만을 행할 경우 환기량을 충족시킬 수 있는 용량의 공조기를 선정하고, 냉방시에는 배기된 공기는 재순환하기에는 부적당한 고온공기이기 때문에 모두 배기하여 대기중에 방열하도록 한다.

화장실 및 배터리실은 배풍기를 사용하는 환기방식을 채택하여 이곳에서 발생하는 악취 및 유해가스가 역무원 근무지역이나 대합실 지역에 유입되지 않도록 단독배기덕트 및 배풍기를 사용하여야 하고, 기온에 관계없이 상시 배기하여 (-)기압상태를 유지함으로써 외부에서 공기가 유입될 수 있도록 환기구를 두어야 한다.

(1) 자연환기방식

자연환기방식은 모든 환기를 자연환기로 하는 시스템으로서, 열차에 의한 열차풍과 자연대류에 의해서만 환기가 이루어진다.

이 방식은 열차의 역사 진입시 열차속도의 감소와 역사와 열차와의 단면적비가 작아서 열차풍에 의한 환기량이 적고 자연환기에 의한 환기량은 미미하므로 위생 환기량만을 소요환기량으로 하는 겨울철의 환기에 적용할 수 있다.

(2) 제1종 환기방식

제1종 환기방식은 역사 전 지역에 걸쳐 기계

급기 및 기계배기하는 방식이며 전 지역에서 고른 환기가 이루어질 수 있으며, 특히, 열차냉방식 열차냉방에 의한 발생열을 직접배출시켜 승강장내의 온도상승을 억제할 수 있을 것이다. 다만 천정내 공간이 협소한 경우에는 시공이 곤란하게 된다.

이 방식은 열차방생열, 인체발생열, 조명발생열, 기타 부속기계 발생열을 적절히 제거할 수 있으므로 열차편성수와 운전시각이 최대치에 이르지 않거나 열차의 냉방설비를 가동하지 않는 시기 및 평상시에는 역사의 냉방설비를 가동하지 않고 환기설비만 가동하여 역사내의 온도를 적정온도로 유지할 수 있어 에너지 절약 면에서 유리하다.

(3) 제2종 환기방식

제2종 환기방식은 대합실 지역과 승강장 지역에 기계급기만을 실시하고, 배기는 열차풍과 자연대류에 의해서 이루어진다. 이 방식은 동력비는 절감될 수 있겠으나 역사내에서 발생하는 열량을 충분히 제거할 수 없으므로 개통초기와 봄·겨울의 계절환기에 적용될 수 있다.

(4) 공기유막방식

공기유막방식은 1종 환기방식에서 승강장 부분의 환기방식을 변화시킨 것으로서 공기유막방식 또는 Air curtain방식이라고 한다. 이 방식은 열차 하부에서 발생하는 열차의 발열을 공기의 흐름을 통해서 밖으로 배출시키는 방식으로 일본에서 뿐만아니라 최근 국내의 지하철 역사에서 적용하고 있다.

2) 지하주차장의 환기

지하주차장에서 공기 오염의 주 원인은 자동차의 배기 가스로서, 배기가스의 유해 성분에는 일산화탄소, 탄산가스, 질소산화물, 탄화수소, 알데히드류, 흑연, 납화합물 등 여러가지가 있지만, 인체에 대한 유독성, 배출량 등을 고려하여 주차장의 환경지표로 CO가스 농도를 일반

적으로 사용하고 있다. 최근, 대기오염의 원인으로 지목되어 자동차 배출가스 규제의 대상이 되고 있는 질소 산화물(NOx)의 유독성이 주목시 되고 있으나, 지하주차장의 경우에는 CO 가스가 환경오염의 주 요인이 되고 있으므로 CO가스의 농도를 목표치 이하로 유지하기 위한 환기가 필요하게 된다.

나) 외기의 CO 가스농도

지하주차장의 환기는 신선한 외기를 이용하는 것이 보통이기 때문에 외기상태가 자동차의 주행으로 인하여 각종 배출가스로 오염되어 있다면, 지하주차장의 환기효과는 저하될 수 밖에 없다.

지하주차장의 환기용으로 도입하는 외기의 CO가스농도는 적어도 교통량이 많은 도로변이나 교차로에서 지하주차장으로 외기를 취입하는 경우에는 정확한 CO가스농도를 파악할 측정치를 이용하거나 충분한 여유를 주는 것이 안전할 것으로 생각된다.

일반적인 경향으로는 외기의 CO가스농도는 차도의 배출원에 가까운 곳에서 가장 높고, 차도에서 수평으로 멀어짐에 따라 농도가 작아진다. 따라서 외기는 도로변에서 가까운 곳보다는 멀리 떨어진 곳이나 높은 곳에서 받아 들이는 것이 바람직하다.

다) 공회전으로 발생하는 CO가스농도

특히, 겨울철은 자동차의 엔진조정이나 차내 난방을 위해 지하주차장내에서 약 5분에서 10분정도 공회전하는 경우가 있으며, 이때 자동차 근방의 CO가스농도는 75~100 ppm정도가 되기 때문에 지하주차장 전체를 오염시키는 결과가 된다.

외기온도가 낮은 겨울철에는 엔진의 각 부분이 차겨워지기 때문에 엔진, 각 부분의 조정을 위해서 일반적으로 5~10분 정도의 시간이 요구되지만, 지하주차장이 난방되고 있는 경우에

는 공회전시간이 그만큼 단축되기 때문에 지하주차장에서 공회전으로 야기되는 오염을 방지할 수 있는 한 방법이 될 수도 있다.

라) 소요 환기회수

환기회수 N(회/h)은 Q/V로 표시되기 때문에, CO가스의 설계농도를 $K_a(m^3/m^3)$ 라고 한다면 다음 식을 유도할 수 있다.

$$N = \frac{(0.06M \cdot x \cdot L / v) + x_i \cdot t \cdot M_i}{(K_a - K_o)V}$$

지하주차장내에 오염가스가 확산되기 전의 성층류에 의한 Piston형식의 환기방식인 경우이지만, 실제로는 이러한 조건으로 유지하기가 어렵기 때문에 안전계수 n을 고려한 다음의 식을 사용하는 것이 바람직하다.

$$N = \frac{n \{ (0.06M \cdot x \cdot L / v) + x_i \cdot t \cdot M_i \}}{(K_a - K_o)V}$$

여기서, n은 안전계수로서 $n \geq 1$ 이며 무차원이다. 오염원이 지하주차장 전체에 분포되어 있고, 급기가 지하주차장에 균등하게 공급되는 양호한 조건에서도 약 20%정도의 안전계수를 고려하여 준다.

3) 도로터널의 환기

가) 환기방식

환기방식의 특징은 통과차량의 교통방향에 의해 크게 상기하기 때문에, 왕복교통 및 일방향의 교통터널로 분류하여 거론되고 있다. 또한, 터널의 각종 조건에 따라서 이들 방식을 조합하여 설계하므로써 보다합리적인 방식을 추구하는 추세에 있다.

(1) 종류식 환기

① 제트팬 방식

제트팬은 하나 또는 두개의 모터로 가동하는 可逆送風軸流팬으로서 흡음구조를 갖고 높은 배출풍속에 의해 터널안 공기에 에너지를 주어 종방향으로 환기흐름을 일으키는 것이다. 환기류는 한쪽 갱구로 부터 다른 갱구로 흐르기 때

문에 오염농도는 흐름에 따라 직선적으로 증가하고, 토출측 갱구에서 농도는 최대가 되며, 이 최대치가 허용농도를 넘지 않게 계획되어야 한다.

배출풍속은 높을수록 대수는 적어도 되나, 한편 환기효율의 저하와 소음의 상승, 조합거리의 증가를 초래한다. 보통 제트 팬의 배출풍속은 약 30 m/sec로 하고 있으나 제트흐름에 의한 교통장애에 대해서는 배출 풍속이 30 m/sec의 고풍속이라는 배출전방의 가상원통에서 옆으로 0.5m 나 떨어지면 거의 영향이 없기 때문에 제트팬은 건축한계외의 천장부에 설치된다.

② 사칼드 방식

사칼드 방식은 이전에 철도터널에 주로 사용된 것으로써, 터널갱구 또는 내부의 수개소에 송풍기를 설치하여, 이로부터 발생하는 噴流를 자연환기력에 가하여 환기를 하는 방식이다. 이 방식의 이점은 풍향이 계절적으로 일정하게 유지되던가 교통방향이 일방향인 터널에서 유용하게 적용할 수 있다.

③ 집중배기방식

경제적으로 수직갱 혹은 가로갱을 만들수가 있을때는 수직갱에 사용한 종류환기방식이 사용될 때가 있다.

수직갱을 사용한 종류환기방식에서는 갱구에서 배출되는 오염공기에 의한 光霧현상을 방지할 수 있으므로 오염공기를 수직갱에서 배출하는 배기식이 보통 사용된다. 따라서 농도는 수직갱의 부착부에서 최고값이 된다.

집중배기방식의 환기에서는 수직갱에 의해 분류되는 좌우구간의 풍량밸런스를 잡는 것이 경제적인 환기를 하는데 특히 중요하며 일방 터널이나 터널 중앙부에 수직갱을 만들 수 없을 때에는 차도내에 밸런스용의 제트팬을 설치하여야 한다.

(2) 횡류식 환기

횡류식 환기방식은 터널횡단면을 따라 공기를 흐르게 하는 방식이다. 그 흐름의 방향에 따라 상방향, 하방향, 경사방향 등으로 구분하고 있다. 이 방식의 특징은 터널에 따라 송기 및 배기덕트를 필요로 하기 때문에 터널 단면이 커지게 된다. 반면에 종류식 환기에서 발생하는 단점을 해결할 수 있다.

즉, 터널내의 농도분포가 균일하고, 공기 취입구를 용이하게 설치할 수 있다면, 환기면에서는 터널길이에 제한을 받지 않는다. 또, 화재시에 연기를 배기덕트로 배출시키기 때문에 배연에 대한 추가설비가 필요하지 않기 때문에 안정성 있는 환기가 가능하다.

(3) 반횡류식 환기

횡류식 환기의 결점은 대단면이 터널을 필요로 하고, 송풍기와 배풍기를 설치하기 때문에 터널 시공측면에서나 운전측면에서 비경제적일 수 있다. 한편, 종류식환기는 경제적이지만, 도로터널의 환기방식으로서의 안전성과 안정성에 대한 보완설비가 필요하게 된다.

따라서, 이 두방식의 절충형이 반횡류식 환기가 되며, 송기방식과 배기강식의 계통도로 나눌 수 있다.

따라서, 이 방식은 송기 또는 배기의 한쪽 덕트를 갖고, 차도공간을 다른 덕트로 이용하는 것이다.

육상도로 터널의 일반적인 단면형은 강도상 반원형이며, 보통, 천정부에 덕트를 설치하기 때문에, 수중터널을 제외하고, 중간정도의 길이를 가진 터널의 환기방식으로 널리 적용되고 있다.

3.2 지하생활공간 환기설비의 개선방안

3.2.1 환기설비의 문제점 및 개선방안

1) 지하철 환기설비

지하철 환기설비의 설계 및 운전에 대한 문제점 및 개선방안 등을 요약하면 다음과 같다.

- 가) 지하철 터널의 환기운전 횟수 부족
- 나) 환기설비의 시설에 대한 점검 및 유지관리의 고려사항 미비
- 다) 환기설비의 장기간 운전애 따른 관리 소홀
- 라) 환기구 설치위치변경으로 먼지 및 오염공기 유입
- 마) 지하철 터널의 Push-Pull 방식 유도
- 바) 환기설비의 용량부족으로 제어운전 곤란
- 사) 열축적 방지를 위한 냉방시설의 운전으로 환기부하의 경감

2) 지하주차장 환기설비

지하주차장 환기설비의 설계 및 운전에 대해서 밝혀진 몇가지의 문제점 및 개선방안들은 다음과 같다.

- 가) 환기설비의 운전시간 부족
- 나) 환기설비의 용량부족
- 다) 외기 흡입구의 위치불량
- 라) 실내 급배기구의 위치불량
- 마) 건물배기의 지하주차장내 급기로 재활용
- 바) 필터의 주기적인 교환
- 사) 자동제어장비의 설치

3) 도로터널 환기설비

도로터널 환기설비의 설계 및 운전에 대해서 밝혀진 몇가지의 문제점 및 개선방안들은 다음과 같다.

- 가) 자연환기가 용이한 시스템의 구조
- 나) 환기효과 좋은 일방향 터널의 건설유도
- 다) 차량의 정체를 고려한 설계의 유도
- 라) 화재시 배연용의 환기시스템으로 사용가능한 설계 유도
- 마) 교통량 및 외부조건에 따라 자동제어운전이 가능한 환기시스템의 설치

3.2.2 지하공간 환기시스템의 에너지절약

일반적으로 환기시스템에서 에너지 절약을 위한 대상으로는 반송동력과 환기로 야기되는 열부하의 저감, 그리고 효율적인 유지관리를 들 수 있으며, 이들을 거론하면 다음과 같다.

1) 반송동력의 저감

- 가) 필요이상의 과잉 환기 방지

- 나) 저부하시의 환기량 제어
- 다) 불필요시의 환기 정지
- 라) 국소배기의 채용
- 마) 공조에 의한 대량환기의 대체
- 바) 자연환기의 이용
- 사) 고효율 송풍기의 선정

2) 열부하의 경감

- 가) 예냉·예열시의 외기도입 정지
- 나) 전열교환기의 채용
- 다) 자동제어 설비의 채용
- 라) 외기 냉방의 채용
- 마) 야간 외기 냉방의 채용(Night Purge)

3) 효율적인 유지관리

3.2.3 지하공간 적용 치환환기시스템

1) 저속치환 환기방식의 개요

더운 공기는 찬공기보다 가볍기 때문에 위로 올라가는 자연대류의 법칙을 이용한 것으로서 깨끗하고 신선한 급기가 실내온도보다 낮은 온도와 취출속도 1.8m/s이하의 저속으로 직접 해당 적용구역으로 공급되어 실내의 작업자, 기계, 전등 등으로부터 발생되는 열과 오염물질을 대류효과에 의해 상승시켜 윗부분에 설치한 배기구를 통하여 순환 또는 배출하는 방식이다.

2) 환기량 산정방법

지하공간에서 저속치환 환기방식은 잉여열과 오염물질의 제거에 적용할 수가 있으며 각각의 환기량 산정은 다음과 같다.

가) 잉여열의 제거

열원에 의한 열평형과 전체 열평형을 기초로 하고 있어서 공기조화에서의 풍량 산정과 같다. 즉 대류의 흐름이 잉여열만 제거하면 되는 것이므로 다음과 같다.

$$Q = G \times \rho \times C_p (t_e - t_s)$$

Q: 냉방부하[w]

G: 풍량[l/s]

ρ: 공기밀도[1.20 kg/m³]

C_p : 정압비열 [1.006 KJ/kg·K]

t_e, t_s : 배기온도, 급기온도

즉, 환기에서의 냉방부하는 유량과 급기 및 배기의 온도차로부터 구할 수 있다.

내 공기중의 불순물과 잉여열 제거

불순물과 잉여열을 동시에 제거하고자 할 때의 급기온도는 반드시 실내온도 보다 낮아서 대류에 의하여 공기의 흐름을 자연적으로 유발하여야 한다.

특히 공기중에 있는 불순물을 제거하는데 중점을 두고 있다면 치환구역을 거주지역보다 높도록 풍량을 선정하여야 한다.

우선 치환구역과 같은 경계층 현상은 열원에 의하여 발생된 자연적인 대류의 흐름에 기인하므로 대류에 의하여 발생된 유량은 다음식을 이용하여 구할 수 있다.

$$G = Q^{1/3} \times X^{5/3}$$

G : 대류에 의한 흐름 [l/s]

Q : 열부하로부터의 대류열 [w]

X : 열부하로부터의 거리 [m]

열원 각각의 특성은 공간에 떠있는 불순물의 분산에 영향을 각각 미치고 이러한 상관관계는 다음과 같다.

$$X = K \times \frac{G^{3/5}}{Q^{1/5}}$$

K : 열부하 특성에 영향을 받는 상관계수

내 공기중의 오염물질 제거

이 방법은 어느 일정높이에서 오염물질의 농도를 허용한도 이내로 유지하고자 할 때 요구되는 풍량을 산정하기 위한 것으로서 치환구역이 반드시 거주역위가 아니어도 된다. 이 방법은 또한 오염물질농도계산과 성층효과를 고려한 것으로서 다음 식에 의해서 환기량이 구해진다.

$$C_e = \frac{m}{G} \times 10^3 + C_o$$

C_e : 배기의 오염농도 [mg/m³ 또는 ppm]

m : 오염물질 발생량 [mg/s 또는 cm³/s]

G : 풍량 [l/s]

C_o : 급기의 오염농도 [mg/m³ 또는 ppm]

일정높이에서의 오염농도는 치환지역이 높고와 농도구배에 달려 있다.

3.3 지하공간 환기 시뮬레이션

본 연구에서는 환기해석용 3차원 해석모형을 설정하고, 여기서의 현상을 지배하는 방정식을 적절한 경계조건을 적용하여 해석하고, 각종 설계 및 운전변수를 변화시키면서 수치실험을 수행하였다. 해석시에는 정확성과 타당성이 검증되어 열·유체 공학과 관련된 문제에 널리 사용되고 있는 FLOW-3D 패키지를 사용하였다.

3.3.1 해석모형

본 연구에서 2개의 벽체와 4개의 대칭면으로 구성된 공간에 2개의 급기노즐 및 배기구가 있는 3차원 정상 또는 비정상 해석모형(Three-Dimensional Steady or Transient Model)을 구성하였으며, 가정은 다음과 같다.

- ① 정상상태이고 열전달현상도 무시한다.
- ② 급기 및 배기는 각각 윗면의 2곳에서 이루어지고, 급기는 아랫면에서, 배기는 윗면에서 이루어진다.
- ③ 공간을 구성하는 위·아랫면은 벽체이고, 열유동을 다루는 경우에는 단열되어 있는 것으로 가정한다. 또한 4개의 옆면들은 각각 면대칭이다.
- ④ 공기는 이상기체(Ideal Gas)와 같이 거동한다.

3.3.2 지배방정식

환기용 해석모형에 대한 시뮬레이션을 수행하기 위한 지배방정식들의 일반적인 형태는 다음과 같다.

- 1) 연속방정식(Equation of continuity)
- 2) 운동량보존방정식(Equation of motion)

- 3) 에너지보존방정식(Equation of energy)
- 4) 성분보존방정식(Equations of species conservation)
- 5) 이상기체상태방정식(Equation of Ideal Gas State)
- 6) 와류점성방정식(Eddy Viscosity Equation)
- 7) 난류운동에너지 전달방정식(Turbulent kinetic energy equation)
- 8) 난류운동에너지소멸율전달방정식(Turbulent kinetic energy dissipation equation)

3.3.3 초기조건 및 경계조건

초기조건으로는 계산영역에서 각 변수들에 대하여 적절한 값을 주었다. 즉,

$$\phi = \phi(x, y, z, 0)$$

여기서 ϕ 는 공간 및 시간($t=0$)에 대한 각각의 변수들을 의미하며, 경계조건으로는 먼저 급기노즐의 입구에서는 각 변수에 대하여 주어진 값을 사용하였다. 즉,

$$\phi = \phi(x, y, H, t)$$

또, 배기노즐의 입구에서는 각 변수에 대하여 다음과 같은 경계조건을 사용하였다. 여기서 비정상 상태를 고려하는 경우에는 위식에서 괄호안의 시간항이 적용되고, 정상상태의 경우에는 제외된다.

$$\frac{\partial \phi(x, y, H, t)}{\partial z} = 0$$

마찬가지로 4개의 대칭면에 대하여는 그 면에 수직인 방향으로 구배의 변화가 없는 다음의 조건을 사용한다.

$$\frac{\partial \phi(0, x, y, H, t)}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial \phi(W, y, z, t)}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial \phi(x, 0, z, t)}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \phi(x, D, z, t)}{\partial y} = 0$$

또한 아랫면에서 급기를 행하는 경우에는 다음과 같은 경계조건이 적용된다.

$$\phi = \phi(x, y, 0, t)$$

건설업, 노무관리기법

공민권행사 보장여부

오는 6월27일 실시되는 지방자치단체장 선거열기로 전국이 어느때보다 뜨겁게 달아오르고 연일 대중매체의 홍수속에 체감온도는 지난해 불벌더위를 연상케 한다. 물론 투표권이 있는 자는 진정한 참정권 행사에 관심을 갖고 귀를 기울이지 않을 수 없는 일이다.

이와관련 대부분의 직장은 이 기간에 휴무를 하게되나 그렇지 못한 작업장도 적지 않으리라 생각되며, 여기에서 발생하는 공민권 행사의 보장과 기업의 노무관리에 대하여 살펴보고자 한다.

3.3.4 해석결과 및 고찰

1) 공간내 유체유동 현상

이 경우에는공간의 측면, 즉 대칭면에서는 정체점이 H/4 정도의 하부에 존재하나, 공간의 중앙으로 진행함에 따라 이러한 정체점의 높이는 점차 증가하여 정중앙에서는 3H/4 정도에 존재함을 알 수 있다.

2)노즐 분사속도의 영향

노즐 분사속도는 환기량에 직접적으로 관련되어 있고, 분사속도가 클수록 환기능력은 커지지만, 에너지의 손실 및 큰 기류분포에 의한 불쾌감 및 바닥 등으로부터의 2차오염 발생의 원인이 될 수도 있으므로, 필요환기량에 의하여 적정 분사속도를 결정하여야 할 것이다.

3)노즐 분사각의 영향

노즐에서의 분사각이 작은 경우에는 분사공기가 아랫면에 충돌함으로써 이에 따른 기류분포가 공간에서의 환기를 지배하게 되어 전반적

「사용자는 근로자가 근로시간중에 선거권 기타 공민권 행사 또는 공의 직무를 집행하기 위하여 필요한 시간을 청구하는 경우에는 거부하지 못한다. 다만, 그 권리행사 또는 공의 직무를 집행함에 지장이 없는 한 청구한 시간을 변경할 수 있다.」라고 법에 규정하므로써 근로자가 국민으로서의 권리행사를 보장받을 수 있도록 명문화했다.

공민권이란 국회의원 또는 대통령의 선거권 및 피선거권 등을 말하며, 공의 직무란 법령에 근거하여 국회의원, 지방 의회의원 등의 신분으로서의 직무수행과 증인, 감정인으로서 법원에 출석하는 행위, 향토예비군설치법에 의한 동원훈련참가 등이 공의 직무에 해당된다 하겠다.

그러나 이와같은 공민권의 행사 또는 공의

직무수행을 위하여 필요한 시간부여문제와 그 시간에 대한 임금지급에 있어서의 행정해석은 「법률에 특별한 규정이 없는 한 단체협약, 취업규칙 또는 당사자간의 합의에 의한 결정에 따라야 한다.」라고 회시하고 있다.

따라서 근로자의 공민권행사나 공의 직무수행시간의 청구는 사용자가 거부하지 못하나 임금지급에 있어서는 단체협약, 취업규칙, 근로계약 등에 별도의 정함이 없는 한 사용자가 임금을 지급할 법적의무는 없다.

그러나 국회의원선거법, 국민투표법, 대통령 선거법, 지방의회선거법에서는 「타인에게 고용된 자가 선거인 명부 열람 또는 투표를 하기 위하여 필요한 시간을 보장하여야 하며 이를 휴무 또는 휴업으로 보아서는 아니된다.」고 규정하고 있다.

인 기류의 분포는 양호하여 환기만의 측면에서는 양호할 것으로 판단되나, 기류의 급격한 변화, 바닥에 충돌시 발생하는 부유물질에 의한 2차 오염 등의 우려가 있다. 노즐 분사각이 증가하여 45도 정도의 경우에는 아랫면과의 충돌도 그다지 크지 않고 자연스러운 기류분포를 형성하여 전반적으로 우수한 환기특성을 가지게 될 것으로 판단되며, 단지 2차 재순환영역에 대한 배려가 필요할 것으로 판단되었다.

노즐 분사각이 60도 정도로 매우 큰 경우에는 분사된 공기에 따른 기류분포가 환기를 지배하며, 분사된 공기기류의 상호 충돌로 인하여 에너지의 손실은 물론, 이에 따른 폭넓은 정체 지역의 발생 및 불량률의 결과를 초래할 것으로 판단된다.

4)공간내 정체영역

분사각이 증가함에 따라 정체영역의 형상은 정측과 단축길이의 비인 세장비(W/D)가 커지

는 타원형으로 발달하며, 정체점이 위치하는 z축상의 영역은 중앙으로 점점 좁아지다가 분사각이 45도를 넘으면 외각으로 이동하여 정체영역이 급속히 성장함을 볼 수 있다. 따라서 노즐의 분사각이 45도를 넘으면 전체공간의 체적에 대한 정체영역의 체적이 증가할 것으로 추측된다.

분사각이 45도 이내일 경우 동일형상의 공간에 대한 환기를 생각해 볼때 주로 정체점의 위치는 노즐의 분사각도 영향을 받으며, 정체영역은 분사속도와 분사각도의 영향을 모두 받음을 알 수 있다.

본 연구는 해석모델로 설정한 공간에 대하여 분석한 것으로 특정 공간에 대하여 환기시스템을 설계하고자 하는 경우에 환기공간의 기하학적인 형상이나 구조 및 필요환기량 또는 운전조건 등을 충분히 고려하여 각 경우에 적합한 분사각 및 분사속도가 결정되어야 할 것이다.

4. 지하공간의 방재특성과 종합 방재안전 설계

4.1 종합 방재안전계획의 기본방향

4.1.1 물리·심리적 특성을 고려한 건축계획의 기본방향

자연적인 환기와 일조가 없는 지하공간은 본래 인간이 살기에는 열악한 환경, 불건강한 장소라 할 수 있다. 과학기술의 발달에 따라 조명과 공조설비를 이용하여 인공적으로 생활 가능한 환경을 유지할 수 있는 것이다.

그러나 지하는 폐쇄, 밀폐된 공간의 이미지를 가지고 있으며, 지상생활로부터 격리감을 의식하게 된다. 그리고 지하공간은 불특정다수의 사람들이 이용하는 전형적 공간이고, 군중심리적 현상이 발생하기 쉽다. 이것은 자연채광 및 옥외 전망의 결여, 폐쇄성이나 밀실성으로 인한 위치확인 및 방향 감각의 상실에 원인이 있다.

따라서 안전하고 쾌적한 지하생활공간을 창출하기 위해서는 지하에 대한 공포감의 완화, 방향·위치 확인의 부족에 대처, 자연채광의 부족에 대응, 쾌적한 환경조건 조성, 방재안전의 확보측면에서 종합적인 검토가 요구되며, 이러한 점을 고려한 평면계획, 피난·방화계획 등 건축계획이 이루어져야 한다.

4.1.2 지하방재특성을 고려한 방재계획의 기본방향

앞에서 언급한 바와 같이 지하생활공간은 조명과 공조설비를 이용하여 인공적으로 생활 가능한 환경을 개발한 공간이지만, 화재와 같은 재해가 발생하면 인공환경은 순간적으로 파괴되고 만다. 일반적으로 지하생활공간에 있어서 예상되는 재해는 태풍·浸水 등에 의한 자연재해와 화재·폭발 등에 의한 人的재해가 예상된다. 이 중에서도 큰 위협을 안고 있는 화재·폭발이 지하공간에서 일어났다고 했을 때의 위험성은 이루말 할 수 없으며, 지하에서 화재가 발

생할 경우 화재 성상, 연기 유동성상의 특이성 등으로 인해서 피난, 소화, 구조활동 및 배연이 용이하지 못한 점 등 방재상의 문제점이 지적되고 있으며, 이와 같은 특성을 고려한 방재안전계획의 기본 방향을 설정하여야 한다.

우선, 지하공간의 방재안전 계획상 공공성을 고려하여 인명의 안전에 최우선을 두어야 하며, 각종 사태발생을 想定하여 종합적인 방재안전계획을 고려하여야 한다.

그리고 지하생활공간의 일반적인 특성과 각 지하공간이 갖는 고유의 특성을 고려하여 건축구조적, 시설적으로 안전성을 확보하여야 하고, 화재발생을 미연에 방지할 수 있는 예방대책과 화재가 발생한 경우의 조기발견 및 연소확대방지를 위한 억제대책, 그리고 원활한 소방활동과 대피를 위한 방호대책을 강구하여야 한다.

4.2 화재이론 및 지하 화재시뮬레이션

화재는 구조물내에서 가연성 물질(이하 '연료'라 한다.)에 일정 수준 이상의 열이 가해지는 경우 증발된 연료의 증기와 공기(산소)가 만나서 고온의 열과 빛을 발하는 화염을 형성하고, 그 결과로써 인체에 유독한 연소생성물을 배출하는 예기치 못한 자연현상으로 정의될 수 있고, 화염이 더욱 성장하여 인간의 생명이나 재산에 큰 위협을 줄 수도 있다.

일단 소화되지 않는 경우에는 충분한 연료와 산소가 존재하는 한, 그리고 연료로부터 연료증기를 발생시킬 수 있을 만큼 충분한 열을 공급받을 수 있는 한 화염은 계속 성장할 것이다. 이 경우 고온의 화염보다는 연소생성물인 연기에 의한 피해가 더욱 큰 것으로 알려져 있으며, 따라서 화재시 효과적인 대피로의 설정 및 제연설계를 위해서는 구조물내에서 연기의 이동 및 확산을 철저히 규명하는 것이 필수적이라 하겠다.

본 연구에서는 지하공간의 일반적인 현상을

고려하여 화재해석용 모델을 설정하고, 여기서의 현상을 지배하는 방정식을 적절한 경계조건을 적용하여 해석하는 전체영역모델을 사용하였다. 정확성과 타당성이 검증되어 널리 사용되고 있는 FLOW-3D 패키지를 사용하였다.

수치실험 결과, 화재가 발생하지 않은 경우의 지하공간내 유체 유동 특성을 규명하고, 아울러 화재가 발생한 경우 외기의 유동방향 및 이동속도, 가스의 분출상태에 따른 지하공간내에서의 열·유체 유동 및 화재특성을 규명하였다.

4.3 지하생활공간의 종합 방재안전 설계

4.3.1 건축구조상의 방화적 구조설계

지하건축물을 설계 건축함에 있어 종합적인 방재안전계획 차원에서는 소방시설에 앞서서 중요한 것이 건축구조상의 방화적인 구조와 설비를 설계하는 것이다. 완벽한 소방시설을 설치하였다 하더라도 기본적인 건축물의 방화적인 구조 설계가 미비한 경우에는 화재의 연소 확대를 방지할 방법이 없기 때문이다.

따라서 지하건축물에 있어서는 구조적으로 자연채광 및 자연환기가 가능하고, 높은 천정구조와 폭이 넓은 복도식의 개방형 평면을 고려하여야 한다. 또한 건축물의 주요 구조부를 내화구조 또는 방화구조로 하여야 하며, 층별, 면적별, 구조별, 용도별 등으로 방화구획 및 내장재를 불연화하도록 하고, 복도, 통로, 피난계단, 특별피난 계단, 축구, 비상용승강기 및 비상용조명장치 등을 설치하도록 하여야 한다. 여기에서는 그 구체적인 방화적 구조 및 설계시 고려하여야 할 사항을 기술하였으며, 검토사항은 ① 지하층의 설치 및 구조에 관한 기준 ② 건축구조상 방화적 구조설계의 기본 방향 ③ 방화구획 설계 ④ 피난을 위한 건축구조 설계 ⑤ 내화구조 설계 ⑥ 건축 내장 설계등이다.

4.3.2 시설적 방재안전설비 설계

지하공간은 특성상 환기·통풍의 부족, 자연채광의 부족 등의 물리적인 문제와 공간 폐쇄로 인한 심리적인 문제 등이 지적된다. 따라서 안전하고 쾌적한 지하생활공간을 창출하기 위해서는 지하에 대한 공포감의 완화, 방향·위치 확인의 부족에 대처, 자연채광의 부족에 대응, 쾌적한 환경조건 조성, 방재안전의 확보 측면에서 종합적인 검토가 요구되며, 건축구조상의 방화적인 구조설계와 아울러 완벽한 시설적인 방재안전설비를 설치하여야 한다. 방재안전설비는 건축물에 설치하는 안전시설로서 건축물의 규모, 용도 및 구조에 따라 제약을 받을 뿐만 아니라 평상시에도 계속해서 시설의 관리 및 유지에 철저를 기하여야 제 기능을 발휘할 수 있다. 그 구체적인 시설적 방재안전설비 및 설계시 고려하여야 할 사항을 기술하였으며, 검토사항은 다음과 같다.

- 지하공간의 소방 관계 규정과 소방시설 기준
- 지하공간에 설치하여야 할 소방시설
- 방재센터의 계획
- 비상전원설비의 설계
- 가스설비의 안전대책
- 제연설비의 설계

5. 결론

본 연구에서는 공공의 안전을 증진하고, 쾌적한 지하생활공간을 창출하기 위해서 지하생활공간개발 요소기술 중 중요한 기술적 과제 중의 하나인 환기 및 방재기술분야에 대한 연구를 중점적으로 실시하였으며, 지하공간의 특성, 실태조사 및 개발사례, 국내외의 관련 기준 및 환기·화재시뮬레이션 등을 토대로 하여 지하생활공간의 환기 및 방재기술분야에 대한 기술적인 방안을 제시하였으며, 도출된 내용을 결론적

으로 요약하면 다음과 같다.

1) 환경 및 방재안전의식 조사결과, 지하공간의 환경이 열악한 것으로 나타났으며, 지하근무상의 환경조건과 소음이 크게 지적되었다. 따라서 국내 지하공간의 환경조건 및 안전성에 대해 부정적인 견해를 갖고 있는 것으로 분석된다.

2) 외국의 지하공간은 자연채광 및 자연환기가 가능하도록 하고, 공공지하보도 및 지하상가의 건축구조상 방화구조 설계, 방재센터의 설치, 정전 및 가스안전대책 등 방재상 안전성을 확보하고 있다. 이는 안전성과 쾌적성을 우선으로 하여 개발됨을 보여주고 있다.

3) 지하생활공간에서 환기설계 및 설비의 운전관리시에 그 밑바탕이 되는 각종 기준 자료가 필요하게 된다. 따라서 지하공간의 환경기준과 여러 대중이 이용하는 지하철내의 환경관리 기준 및 환기량 자료 등을 제시하여 지하생활공간의 쾌적 환경조성에 도움이 되도록 하였다.

4) 지하생활공간에서 환기설비를 용도별로 분류하여 그 특성을 분석하였으며, 특히 각 용도별로 환기설비의 설계, 시공 및 운전관리 측면에서 문제점에 대한 그 개선 방안을 제시하여, 지하생활공간의 개발에 대한 요소기술의 자립을 꾀하고자 하였다.

5) 지하생활공간에서 환기설비로 사용되어지는 에너지를 효과적으로 사용하도록 하고 불필요한 에너지를 절감하고자 하는 방안으로 환기시스템에 대한 반송동력의 저감, 열부하의 경감 및 효율적인 유지관리의 측면에서 제시하였다.

6) 지하공간의 조건을 설정하여 모델공간에 대한 환기 시뮬레이션을 실시하고, 오염공기의 정체점을 예측할 수 있는 공간내 유체 유동특성을 분석하였으며, 환기용의 신선공기를 분사하는 노즐 분사속도 및 분사각의 영향 등에 대한 내용을 분석하여 환기운전 및 설계자료로

제시하였다.

7) 지하공간은 밀폐된 공간으로 대부분이 개구부가 작고 출입구가 한정되어있으며, 무창구조로서 화재발생시에는 전체에 농연으로 가득 차게 되는 등 화염과 연기로 일체화된 공간, 암흑상태로 무질서한 거대공간이 형성되어 창을 이용한 소방구조활동이 곤란하고, 화재 상황과 약 곤란, 대피곤란 등 방재상의 문제점이 지적된다. 이와같은 지하공간시설의 특성을 고려한 건축구조상의 방화적 구조계획 및 시설적인 방재안전 설계요건과 기본방향을 제시하였다.

8) 지하공간의 방화적 구조 및 설비설계에 필요한 자료를 도출하기 위하여 지하공간을 설정하고 화재발생시 열·유체의 유동현상 및 연기의 분포상태를 예측할 수 있는 지하 화재시뮬레이션을 실시하였다. 해석결과 화재가 발생하지 않은 경우의 지하공간내 유체 유동특성을 규명하고, 아울러 화재가 발생한 경우 외기의 유동방향 및 이동속도, 가스의 분출상태에 따른 지하공간내에서의 열·유체유동 및 화재특성을 규명하였다.

9) 지하공간은 환기·통풍의 부족, 자연채광의 부족 등의 물리적인 문제와 폐쇄공간으로 인한 심리적인 문제 등이 지적된다. 따라서 이러한 점을 고려한 건축구조상의 방화적 구조설계를 실시하여야 하며, 단순·명쾌한 평면계획, 피난·방화구획, 내화구조 등에 관한 제도적, 기술적으로 필요한 설계자료를 제시하였다.

10) 지하공간은 여러 특성을 고려하여 인명의 안전에 최우선을 두어야 하며, 시설적인 방재안전설계를 실시하여야 한다. 화재발생을 미연에 방지할 수 있는 예방대책과 화재발생시 조기발견 및 연소 확대방지를 위한 억제대책, 그리고 원활한 소방활동과 대피를 위한 방화대책을 강구하여야 하며, 이에 관한 제도적, 기술적 필요한 설계자료를 제시하였다.