

지하공간 개발의 문제점

김 신 도
서울시립대학교
환경공학과 / 교수

1. 서론

인간은 원시시대부터 기후의 변화, 야생동물의 공격 등과 같은 외적요인들로부터 자신을 보호하고 편히 쉴 수 있는 안식처로써 자연적으로 생겨난 토굴에서 삶을 시작하였다고 생각된다. 그후 인간의 활동은 주로 지상에서 이루어져 왔으며, 역사의 변천과 문화의 발달, 경제 및 사회적 여건의 양상에 따라 활동 공간의 개념도 변화하고 있다. 그러나 최근에는 활동기반이 되는 토지에 대한 수요는 증가하는데 비해 그 공급이 부족하여 효율적인 공간활용의 필요성이 대두되었으며 이 문제를 해결하기 위한 대안으로 토지의 입체적 이용 방법인 건물의 고층화와 지하공간의 활용이 나타나고 있다.

외국의 경우를 살펴보면 미국은 넓은 토지를 보유하고 있어서 지하공간을 이용해야 하는 필요성은 적으므로 핵실험이나 군사시설 등 불가피하게 지하공간을 이용해야 하는 시설들만 지하에 배치하고 있다. 일본의 경우는 좁은 국토에서 높은 경제성을 창출하기 위하여 지하역사와 거대한 지하상가, 거미줄과 같은 지하철의 이용 등으로 지하공간을 여러가지로 이용하고 있다.

우리나라의 경우 지하공간의 활용은 토지의 공급을 위해 절실하게 필요함에도 불구하고 과거에는 굴착기술 등의 미비로 활발하게 개발하지 못했으나 도심부의 지가상승, 기술의 향상 등으로 경제적 가능성이 나타나 최근에는 지하철, 지하상가, 지하주차장 등 다양한 활용방안이 제시되고 있다. 특히 날로 심각해지는 교통문제의 해결책으로 지하 운송수단인 지하철은 그 비중이 갈수록 커지고 있으며 지하철과의 연결상가나 연결 공간의 개발도 여러 분야에서 연구되고 있다. 지하공간의 사용이 본격적으로 시작한 것도 지하철의 도입부터라고 볼 수 있다. 서울 지하철의 경우 1974년 1호선이 개통된 이래 현재까지 4호선을 운행하여 하루 300만명을 수송하고 있으며, 5~7호선을 계속해서 건설 중에 있어서 1996년에 모두 완공되면 하루 500만명 이상이 지하공간을 이용하게 될 것으로 추정된다.

이와 같은 지하공간의 활용으로 인간의 지하활동 시간이 길어지고 지상과 달리 폐쇄적인 특성 때문에 지하공간에서 야기될 수 있는 문제를 사전에 면밀히 검토할 필요가 있다.

2. 지하공간에서의 공기오염물질 종류

지하에 건축물을 만들 수 있는 구조 및 시공적인 기술이 축적되어 지하공간을 만들었다고 하여도 우리가 필요로 하는 것은 지하의 구조체가 아니라 그 구조체에 의해 구축되고 만들어진 공간이다. 따라서 이들 공간을 이제까지의 일반 건축물의 실내와 비교하여 장단점을 충분히 보완하여야만 쾌적한 지하공간의 개발이 성공을 거둘 수 있게된다. 지하공간과 일반 건축물의 실내와의 환경의 차이를 다음의 몇가지로 나누어 생각해 볼 수 있다.

첫째는 채광 문제로 당연히 지하공간은 자연채광이 될 수 없는 공간이다. 때로는 썬큰가든이나 천장을 이용하여 외부에서 자연채광을 도입하기도 하나 이것은 또 다른 내부

공간의 사용을 제한하게 되므로 완벽한 자연채광의 도입은 어렵고 인공조명을 이용하는 경우와 최근에 개발되고 있는 광 fiber를 이용하여 외부의 빛을 내부로 도입하는 방안이 연구되고 있다.

둘째는 온열환경의 문제이나 지하는 일반 실내보다 온도를 일정하게 유지할 수 있어 오히려 냉난방 에너지의 소비측면에서는 유리하다고 생각된다. 그러나 습도의 조절에 주의를 기울이지 않으면 지하공간이 다습지역이 될 가능성이 있다.

셋째는 공기오염의 문제이다. 일반 지상의 건물관들은 실내공기가 혼탁해지면 창을 이용한 환기로써 문제를 해결할 수도 있으나 지하공간은 공기의 유통이 제한적이면서 폐쇄적이고 오염된 무거운 공기가 밑으로 정체되어 공기의 질을 더욱 악화시킬 수 있다. 공기

표 1. 실내공기 오염물질의 발생원

발생원		실내오염물질
인체	호흡 재채기, 기침, 대화 피부 의류 화장품	CO ₂ , 수증기, 냄새 세균, 수증기, 냄새 피부조각, 비듬, NH ₃ , 냄새 섬유, 먼지, 세균, 곰팡이 냄새, VOCs
사람의 행동	흡연 보행 등의 동작 연소기기 사무기기	분진, 타아르, 니코틴, 각종 발암물질 먼지, 세균 CO ₂ , CO, NO, NO ₂ , SO ₂ , C _x H _y , 매연, 냄새 NH ₃ , O ₃ , VOS _x
건축자재	합판류, 내화재 단열재, 내장재	HCHO, Asbestos, 유리섬유 Rn, VOCs, HCHO
유지관리	작업, 재료	먼지, VOCs, 곰팡이, 세균
살충제류	직접 재비산	분사제, 살충제, 소독제, 방향제 살충제, 살균제

는 눈에 보이지 않아서 질적인 측면에서 소홀히 취급하기 쉬우나 최근의 각종 논문과 연구 보고에 따르면 인간의 활동에 의해 유해한 수많은 물질이 배출하고 있음이 밝혀지고 있다. 표1에는 각종 실내 공기오염물질의 발생원인을 보여준다.

3. 공기오염물질의 배출원인

1) 실내에서의 연소

공기를 오염시키는 여러가지 가스상 오염물질(CO, CO₂, NO, NO₂, SO₂, HC)의 발생은 연소로부터 기인한다. 따라서 지하공간이 개발될 경우 냉난방을 해결하기 위한 연소기구의 사용은 가능한한 억제되어야 한다. 즉 지하공간에서 필요한 냉난방 에너지는 외부와 연결된 열plant 등에서 만들어서 열로써만 공급하여야 된다고 생각한다. 실질적으로 지하공간은 지열과 충분한 단열효과 등으로 난방보다 냉방이 더 많은 에너지를 소요할 것으로 생각되나 충분한 에너지 공급대책이 고려되지 않으면 실내에서는 연소기구를 사용케 되고 이로 인한 실내공기질은 극도로 악화되어 지하공간 개발의 본래의 목적을 달성하기 어려울 것이다.

냉난방을 위한 에너지 사용외에도 지하의

식당이나 찻집을 배치하는 경우 음식의 조리 등을 위하여 열의 사용이 불가피하다. 일반적으로 천연가스는 오염물질 배출이 없는 청정 연료로 생각되고 있으나 이는 SO₂ 분진을 대상으로 생각하는 경우이며 이외의 NO_x, HC, CO 등의 오염물질은 오히려 기름의 사용보다 많이 배출될 수도 있다. 또한 조리과정에서 생겨나는 각종 음식의 냄새 등은 실내공기를 혼탁하게 만들 수 있으므로 완벽한 국소배기 장치가 계획되어 있지 않다면 지하공간에는 음식점을 배치하여서는 안된다.

흡연은 목적은 다르지만 일종의 연소라고 볼 수 있으며 연소기구에 의한 연소와는 달리 미량유해물질이 배출된다고 보고되고 있다. 따라서 지하공간에서는 배기시설을 갖춘 흡연공간 안에서만 흡연할 수 있도록 해야 하며 최근에 이에 부응하여 공공건물에 흡연실이 있는 곳이 늘어나고 있다. 그러나 배기시설을 갖추지 않고 폐쇄적인 공간인 경우가 많아서 연기가 자욱하고 흡연실을 출입하는 사람들에 의해 문이 수시로 개폐됨으로 실내의 담배연기가 외부로 배출되어 흡연실 본연의 역할을 다하지 못하는 경우가 많다. 이러한 착오가 지하공간에서는 더욱 악화될 가능성이 있으므로 세심한 검토가 필요하다. 표 2 는 서울시 지하상가에서의 오염물질 농도

표 2. 서울시 지하상가의 오염농도

항 목	환 경 처 권 고 치	1990년	1991년	1992년
SO ₂ (ppm/일)	0.15	0.023	0.047	0.029
TSP (ug/m ³ /일)	300	371	337	307
NO ₂ (ppm/일)	0.15	0.047	0.069	0.071
CO (ppm/8시간)	20	4.4	4.9	2.0

출처 : 서울 특별시, 서울의 환경 1992

를 보여준다. SO_2 , NO_2 , CO는 환경치 권고치를 밑돌고 있는 반면 TSP는 권고치를 상회하고 있다. 또한 실내의 공기오염은 외부공기에 의해 많은 영향을 받으므로 외부공기중의 SO_2 , TSP는 개선된 것에 반해 NO_2 는 자동차에 의해 주로 발생되므로 오히려 증가되었고, CO는 실내 금연 운동이 활발히 전개되면서 급격히 감소되고 있다.

2) 건축자재에서의 배출

지하공간의 마감재료 또는 지하의 암반에 의해 발생하는 오염물질로는 라돈, 석면, 포름알데히드를 생각할 수 있다.

(1) 포름알데히드(HCHO)

포름알데히드는 자극취가 있는 무색의 기체이다. 물에 잘 녹고 40% 수용액은 포르말린이라고 하는 살균방부제로도 이용되며 메틸알콜을 산화하여 만든다. 지하공간 및 실내에서의 주발생원은 건축에 사용되는 단열재(UFFI: urea-formaldehyde foam insulation)와 가구의 칠, 접착제, 흡연 등에서 발생하는 것으로 보고되고 있으며 신축건물에서 오염농도가 항상 높게 나타난다. 인체에 미치는 영향으로는 정서불안, 기억력 상실, 정신집중의 곤란 등을 가져온다고 한다. 또한 미국국립과학원(NAS)에서는 발암물질로 규정하고 있다.

지하공간에서 사용되는 각종 합판재료의 접착제에서 발생할 가능성이 높으나 건축자재에서의 배출은 시간에 따라서 감소되므로 크게 문제되지 않을 것으로 생각된다. 그러나 의류 및 옷감의 염료에서의 배출은 계속적이므로 문제를 일으킬 수 있다. 동대문 포목점에 가면 고추가루 냄새와 같은 눈을 따갑게 하는 것이 바로 포름알데히드 성분이다. 따라

서 지하공간에 이러한 상점이 배치될 경우 그 수를 제한하거나 충분한 배기방안을 강구하여 해결해야 할 것이다.

(2) 라돈(Radon)

라돈은 최근들어 관심이 고조되고 있는 실내공기 오염물질로써 우라늄(U-238, U-235), 토륨(Th-232)이 안정 원소인 납(Pb-206, Pb-207, Pb-208)으로 붕괴되는 과정에서 α 선을 배출하는 물질로 반감기가 3.8일 정도되는 물질이다.

라돈 발생원으로는 흙, 시멘트, 대리석, 모래, 진흙, 우물, 동굴 등을 들 수 있으며 지하공간에서는 여러 발생원이 있으므로 구미 각국에서는 활발히 연구 중에 있다. 일반적으로 라돈이 인체에 미치는 영향은 폐암을 유발시키는 것으로 나타나 더욱 중요하게 인식되고 있으며 라돈의 알파 붕괴에 의하여 라돈의 낭핵종(radon daughter)이 생성되는 데 낭핵종은 기체가 아닌 미세한 입자로 호흡시 폐에 흡입되어 폐포나 기관지에 부착하여 α 선을 방출하기 때문에 폐암이 발생하는 것으로 알려져 있다. 우리나라는 다행히도 지형이 노령기에 속해서 많은 세월동안 라돈이 이미 방출되어 크게 문제시 되지는 않는 것으로 알려져 있다. 그러나 지하의 암석을 파고 그 속에서 생활을 할 경우 아직도 많은 라돈에 폭로될 것으로 생각된다.

그림1은 지하철 3호선의 라돈농도를 보여준다. 대부분의 역사는 기준치 $4pCi/l$ 에 미치지 못하고 있으나 안국역을 중심으로 몇 역은 기준치를 크게 상회하고 있다. 이 지역은 인왕산의 약 50m지하로서 암석이나 지하수에서 라돈이 방출된다고 볼 수 있다. 암석에서의 방출인 경우는 암석의 표면에 마감재를 설치하여 라돈의 배출을 방지할 수 있으

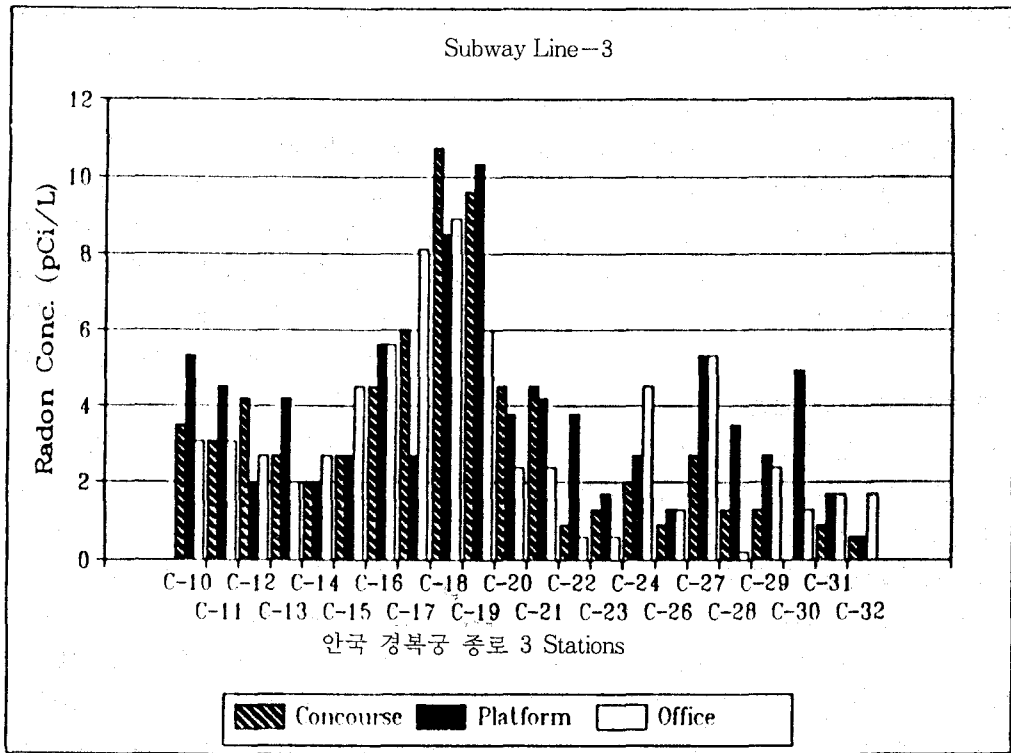


그림 1 지하철 3호선의 라돈 농도

나 지하수에서 방출되고 있다면 이러한 지역에서는 지하수를 개발하여 사용해서는 안된다.

(3) 석면(Asbestos)

석면이란 자연계에서 산출되는 섬유상의 규산염 광물의 총칭으로 화학적으로는 사문석 계열과 각섬석 계열로 나누며 실제 산업에서는 백석면, 청석면, 황석면으로 나눈다. 석면은 내열성, 단열성, 절연성 및 견인력 등의 뛰어난 특성이 있어 시멘트판, 석면 슬레이트, 바닥용 타일, 마찰재, 보온재, 자동차 브레이크 등 광범위하게 사용된다. 석면의 주 성분은 SiO₂이며 길이와 직경의 비가 커서 호

흡에 의해 인체에 들어가면 기관지를 손상시켜 치명적인 폐암 등을 유발하고 호흡기 질환을 일으키는 오염물질로 알려져 있다.

지하공간에서 석면의 용도는 주로 단열재, 마감재등이다. 외국에서는 석면이 있는 재료의 사용을 금하고 있으나 우리나라는 아직 강력한 규제는 행하고 있지 않다.

또한 기존의 지하에 이미 사용한 경우에는 이를 제거하는 것이 매우 어려운 실정이므로 석면을 배출할 가능성이 있는 재료의 사용을 금지하는 것이 바람직하다.

3) 인간의 활동

인간의 활동에 의해 여러가지 오염물질이 발생되는데 그중 분진의 발생은 표 3 과 같이 상당히 많은 양이며 지하공간에서도 분진의 발생은 주로 인간의 활동에 의한 것이라고 볼 수 있다. 서울 지하철역사에 대한 조사의 결과로 한사람이 10mg/hr을 발생한다고 추정되었다.

또한 분진의 대부분은 0.1~10 μ m의 크기를 가지며 호흡기를 통해 인체에 흡입되어 기관지와 폐 등에 흡착되면 염증성 변화, 알레르기성 변화를 일으키며 입자 크기에 따라 인체내의 호흡기내에 침착되는 정도가 다르기 때문에 농도 뿐만 아니라 입자크기에 대한 파악이 중요하다. 또한 폐에 침착된 물질이 수용성인 경우는 피나 림프에 녹아서 즉시 체내로 유입되어 독성을 나타내거나 간에서 해독된다. 불용성인 물질은 건강한 경우 폐의 섬모 등의 운동으로 배출되기도 하나 몸의

건강상태가 나쁘거나 배출능력이 적은 경우 체내에 계속 축적되면 진폐증이 되므로 화학적 성질의 파악도 필요하다.

폐포까지 도달하는 입자물질의 직경은 0.5~5 μ m 정도의 크기가 침착률이 가장 높다. 0.5 μ m 이하의 것은 폐포에 들어가도 호흡운동에 의해 다시 나오며 5.0 μ m 이상의 입자는 거의 전부 인후나 기관지 점막에 침착하여 객담으로 배출되거나 식도를 통하여 위로 들어가 제거될 수 있다. 따라서 최근에는 분진의 크기별 영향을 고려하여 10 μ m 이하의 분진을 중요하게 분류하고 있다.

최근의 대기오염 자료에 의하면 서울의 경우 대기오염 환경기준을 이미 초과하는 곳이 많다. 따라서 외기를 도입하여 실내를 환기할 수 없는 상태이므로 외기의 도입에서 집진기 등을 이용하여 공기를 깨끗이 정화하여 공급하여야 할 것이다.

표3. 인체에서 발생하는 분진의 양

동 작 상 태	입경(μ m)	발생량(10 ⁴ 개/min)
정 지	0.5이상	10
"	1 "	20~70
"	5 "	2~8
보행(3.6km/h)	0.5이상	500
" (4.0km/h)	1 "	90~400
" (8.0km/h)	5 "	7~40
보행(5.6km/h)	0.5이상	750
보행(8.0km/h)	0.5이상	1,000
"	1 "	250~700
"	5 "	15~60
경 작 업	0.5이상	50~100
앉기, 일어서기	0.5이상	250
가볍게 뛰기	0.5이상	1,500~3,000

4) 기타

최근의 연구에 의하면 우리가 사용하는 사무기 및 생활용품에서도 상당히 많은 공기오염물질이 배출된다고 보고되고 있다. 예로써 복사기와 공기청정기 등에서 고전압을 사용함에 따라 오존 등이 배출되고 있다. 공기중에 오존농도가 높아지면 각종 병균을 죽이는 효과가 나타나나 인체의 노화를 촉진하고 피부, 눈 등에 자극을 주며 각종 용품들의 균열 및 노화로 내구성을 크게 저하시키게 된다.

병원성 세균과 바이러스는 에어컨과 가습기 등의 습기가 높은 곳에서 생활하다가 기류에 의해 배출되어 직접적인 피해를 주기도 한다. 또한 불특정 다수가 이용하는 공간에서는 각종 병균이 번식할 수 있어 알레르기나 천식 등을 일으킬 우려도 있다. 그외에도 실내에서 번식하는 곤충이나 쥐들도 많은 병원

균을 배출할 가능성이 있으며 이들을 막기위한 살충제나 소독제도 알수 없는 2차적인 오염을 일으킬 수 있다.

4. 결론

지하공간의 개발은 아직 전세계적으로 많지 않기 때문에 그속에서 일어날 수 있는 많은 문제점이 완벽하게 밝혀지지 못한 실정이다. 그러나 앞에서 설명한 지하공기 오염에 대한 문제는 쉽게 예상할 수 있다. 이러한 문제점에 대한 해결방안을 모색하지 않고 성급하게 개발한 후에 피해를 입는 것은 소 잃고 외양간 고치는 어리석음을 범하는 것과 같다.

따라서 이러한 환경적인 요인을 면밀하게 연구한 대책이 선행될 때 지하공간의 개발이 효율적인 공간이용으로 연결 될 수 있을 것이다.

뉴스

공기조화냉동공학회 편람 발간

공기조화냉동공학회에서는 1989년 제1권 기초편 발간에 이어 제2권 공기조화 냉동이 발간되었다. 필요하신분은 학회 사무국으로 연락바랍니다.

- 제 1 권 : 기초 (510면)
 - 제 1 편 : 기초
 - 제 2 편 : 종합계획
 - 제 3 편 : 설비기기 및 전기설비
 - 제 4 편 : 재료와 시공
- 제 2 권 : 공기조화 (660면)
 - 제 1 편 : 부하계산
 - 제 2 편 : 난방설비
 - 제 3 편 : 공기조화
 - 제 4 편 : 공기조화응용
 - 제 5 편 : 공기청정
- 제 3 권 : 냉동(600면)
 - 제 1 편 : 냉동장치
 - 제 2 편 : 냉동응용
 - 제 3 편 : 식품냉동

** 학회 사무국 - 주소 : 서울 강남구 역삼동 635-4 과학기술회관 411호
 전화 : 562-2885/568-7853 팩시 : 552-3929