

지하생활공간의 환경개선

지하생활공간의 활용 현황 및 제반 실태를 조사하고 지하생활공간의 환경 개선방안을 제시하고자 한다.

황인주

한국건설기술연구원 (ijhwang@kict.re.kr)

머리말

산업의 발달과 함께 도시 인구의 과밀화 현상, 자동차의 증가, 도로 면적의 한계 등 과밀화된 대도시에 있어 도시공간을 확보하기란 경제적, 사회적 측면에서 용이한 문제는 아니다.

이러한 현대 도시의 문제점을 해결하기 위하여 도시 공간의 입체적 활용, 즉 건물의 고층화 현상과 지하보도, 건물의 지하에 위치한 상가, 관람시설, 주차장 등 지하공간을 활용하는 사례가 급속하게 증가하고 있다.

지하공간의 활용에 있어 기술적, 경제·사회적으로 다양한 제약요건이 있으며, 이 중에서도 특히, 지하생활공간의 환경조성 및 유지, 방재·안전성을 확보하는 것이 무엇보다 중요하다.

지하공간을 효과적으로 활용하기 위해서는 무엇보다 환경 및 안전의 관리가 중요한 요소이며, 이러한 관리요소로는 공간 내에서 이동방법과 심리 생리적 측면, 빛, 열, 공기, 소리, 위생 및 안전 등을 열거할 수 있다.

특히 지하생활공간은 폐쇄성으로 인하여 기밀성과 습도가 높고 누수 및 침수, 기류 정체 등으로 인하여 적용설비의 재질특성과 기능 및 성능특성에 대한 특별한 고려가 요구된다. 즉, 지하생활공간의 특수성에 따라 일정한 기준이나 개선된 기준 등을 반영하여 인간이 활동하거나 각종 설비시설의 운영에 적합한 제반 환경요소를 조절하거나 관리하여야 한다.

이러한 환경요소를 조절하고 환경안전성을 확보하기 위해서는 환경요소(열, 공기에 중점) 규명 및 모델링 기술과 설비요소를 결합하여 환경을 조성 또는 제어하는 시스템 기술, 통합관리 및 운영기술 등을 개발할 필요가 있다.

선진국에서는 이러한 지하 생활공간을 중요한 시설로서 간주하고 각종 환경영향인자의 규명, 열부하 계산기법 및 기준, 환기망 해석결과를 고려한 건축 및 설비계획 등 기초기술을 기반으로 대상 시설의 통합 환경제어시스템 및 유지관리기준을 도입하여 적용하고 있다.

국내의 경우 “지하생활공간공기질관리법” 등을 통하여 기준에 적합한 환경을 유지하고자 시도한 바 있으며, 현재 “다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법”으로 개정을 통하여 그 적용범위를 확대 시행하고 있으나 이를 뒷받침할 수 있는 시스템과 운영기술의 신뢰성이 부족한 실정으로 파악된다.

이에 한국건설기술연구원에서는 건설교통부의 지원으로 “지하공간 환경개선 및 방재기술 개발”을 추진하고 있으며, 본 원고는 세부과제인 “지하생활공간의 환경제어시스템 설계기술 개발”의 일부 결과를 발췌하여 정리한 것이다.

지하생활공간의 활용현황 및 제반 실태 조사

특징 및 활용현황

일반적으로 지하공간은 단순히 ‘지표면 아래의 공간’을 의미하는 것으로 보다 구체적으로는 ‘지표면

의 하부에 수직 또는 수평으로 만들어진 공간'으로 설명하기도 한다. 이와 관련하여 미국 지하공간협회에서는 지하공간을 '경제적 이용이 가능한 범위 내에서 지표면 하부에 수직 또는 수평으로 자연적으로 형성되었거나 또는 인위적으로 흙이나 암석을 굴착하여 조성한 일정규모의 공간자원'으로 정의한 바 있다.

지하공간의 주요 특징은 표 1에 요약한 바와 같이 공간이용과 환경, 심리, 건설 및 관리 관점으로 구분하여 검토할 수 있다.

본 연구에서는 지하공간 중에서 지하생활공간, 특히 지하도 상가에 중점을 두고 있으며, 지하생활공간을 불특정 다수인이 이용하는 지하철, 지하상가, 지하주차장, 지하보도·차도, 터널 등 개인의 생활양식에 따라 단시간 이용하거나 또는 생활 터전으로 장시간 거주할 수 있는 공간으로 정의하고 있다.

국내의 경우 생활공간으로서의 지하공간의 활용은 최근 지하철 역사 내의 지하가, 지하도, 상가 등의 개발과 함께 활발히 이용되고 있다. 최근 지하주차장, 지하차도를 비롯한 소규모 시설로의 주거시설, 문화시설, 복합시설 등으로 개발되고 있다.

국외의 사례로서 일본의 경우 지하가, 지하보도로써 지하공간이 활발히 이용되어지고 있으며, 과거 어둡고, 좁고, 눅눅한 공간이라는 인식으로 문화·스포츠 시설로서 개발이 미비하였으나 최근 대도시를 중심으로 이용이 증가하고 있는 추세이다. 또한 실험시설, 공장시설 등으로 일부 활용되고 있다.

북미 및 유럽의 경우 지하공간의 활용이 더욱 두드러지는데 대표적인 지하생활공간으로 지하가를 비롯한 콘서트홀, 컨벤션 센터, 극장 등 문화시설 및

스포츠시설, 연구실험시설, 교육시설, 주택, 사무소 등으로 활발히 이용되고 있다.

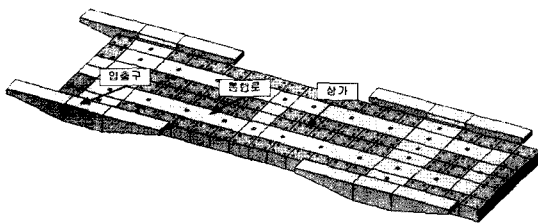
본 연구에서 우선 대상으로 설정하고 있는 지하상가는 건설되는 위치에 따라 빌딩의 지하에 있는 이른바 빌딩 지하상가, 지하도 양쪽에 있는 지하 통로 지하상가, 역 앞 지하상가 및 지하철역에 통하는 지하상가로 구분할 수 있다.

그리고 목적 및 용도에 따라 시가 교통 조건에 의한 지하도의 부속 점포의 경우, 쇼핑을 주목적으로 쇼핑객의 통행 및 각 점포간의 연결통로인 경우, 각 빌딩 지하 상호의 연결통로 및 복합형 지하상가의 경우로 분류할 수 있다.

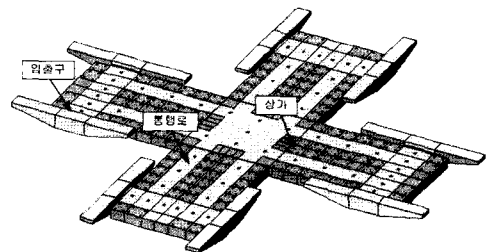
서울 및 지방 지하도 상가의 공간 유형은 그림 1에 나타난 바와 같이 장방형 및 교차형으로 구성되며, 또한 이들의 조합으로 공간을 형성하고 있음을 확인하였다. 일부 원형 공간을 형성한 사례도 있었으나 그 사례는 미미하였다.

<표 1> 지하공간의 특징

분 야	특 징
공간이용	신 공간자원 확보, 토지 및 공간 이용효율 증대
환경조건	내열·항온성, 방음·차음성, 지진동성, 전자파 및 방사능 차단성
심리 (방재·안전)	방화·불연성, 방폭성, 격리성, 화학적 안정성
건설 및 관리	건설비 절감(기존공동 이용, 부차적 공간이용, 외장생략 등)시설 공간 축소, 유지·관리비 절감 가능



(a) 장방형 지하상가 모델



(b) 교차형 지하상가 모델

[그림 1] 지하도 상가의 공간유형



제반 설비 및 관리실태

가. 지하생활공간의 에너지 부하특성

지하도 상가의 입점 업체들의 취급품목, 내부 열원, 재실자, 이용객 등의 분석을 통하여 내부부하 및 냉방기, 난방기 및 주야간 분포형태에 대하여 검토하였으며, 일반적인 지하도 상가의 부하특성은 다음과 같다.

- 1) 일반적으로 외벽에서의 일사, 전도에 의한 부하는 무시 가능
- 2) 대부분의 열부하는 내부 발열(인체, 조명, 주방 등)과 환기에 기인
- 3) 현열비가 0.6 안팎으로 적으며, 상대습도를 낮게 하기 위해 재열이 필요
- 4) 동절기 난방부하는 내부 발열량이 거의 동일하며, 조건에 따라 냉방도 필요

지하생활공간에서 에너지부하패턴이나 이용 일정 등은 비교적 단순한 것으로 조사되었다. 즉, 심야시간대를 제외한 나머지 시간대에 에너지부하가 집중되는 것으로 파악되었다.

나. 환기 및 냉난방시스템

서울 및 지방 지하도 상가의 경우 대부분 환기 및 냉난방은 전공기식으로 수행하고 있으며, 강제급기 및 강제배기 방식의 1종 환기방식을 채택하고 있다. 이러한 시스템은 공조 및 환기된 공기를 해당 구역까지 연결된 덕트를 통하여 공급하고 약 70%를 회수하는 방식으로 운전되고 있다.

여기서 나머지 30%는 지하도 상가, 주요 통행로,

외기 순으로 양압을 유지하여 자연스럽게 상가 내부로부터 주요 통행로를 통하여 외부로 외기가 방출되는 방식을 취하고 있다.

실내공간의 냉난방 운전조건은 하절기 냉방을 위하여 온도를 약 26℃, 습도를 약 50% 전후로 조절하여 공급하고, 난방을 위해서는 온도를 약 19℃, 습도를 약 40% 전후로 조절하여 공급하고 있다.

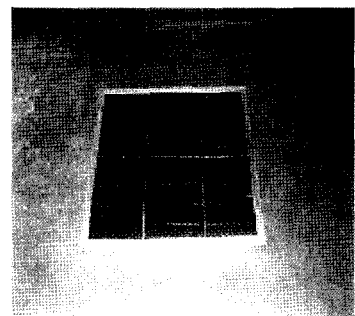
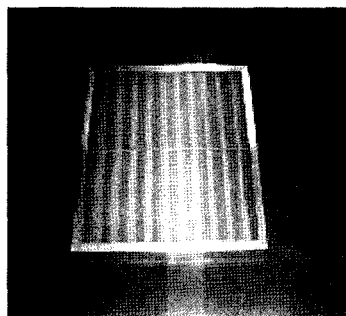
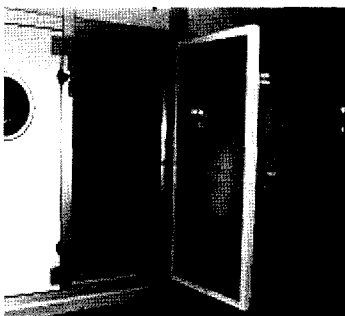
한편, 지하도 상가에서 설치된 공조유닛의 경우 대부분 그림 2와 같은 스크린 방식의 필터만을 적용하고 있으며, 일정 기간 운전 후 내부의 잔유물을 청소하여 재사용하는 방식을 취하고 있다. 그러나 공기에 대한 추가적인 필터링 (filtering)이나 살균 등의 처리과정은 적용되지 않고 있음을 파악하였다.

다. 열원기기

서울 및 지방의 지하도 상가를 대상으로 열원기기를 조사한 바에 따르면 기존의 시설에는 전기 구동식 냉동기 및 보일러를 적용하였으나 최근 개보수를 시행하면서 흡수식 냉난방기로 교체하고 있는 추세에 있다.

기존 지하생활공간의 경우 각종 설비를 설치할 수 있는 공간이 제한되고 있으며, 이로 인하여 공간 내 증가하고 있는 열부하나 환경부하에 적절하게 대응하지 못하고 있는 것으로 파악되었다.

또한 개보수나 신설되는 지하생활공간의 경우 보다 합리적인 에너지이용계획이 반영되지 못하고 있는 것으로 파악되었으며, 심야 축열이나 지열원 등을 이용하는 구체적인 사례는 파악되지 않았다.



[그림 2] 공조기 내부의 에어필터 설치 모습 및 필터

주요 시사점

공조 및 환기시스템이 적용되고 있음에도 거주자들의 불만은 여전히 높은 것으로 평가되었다. 이는 지하철이나 지상의 도로와 통로가 연계되어 있는 지하상가의 경우 유동인구뿐만 아니라 열차의 진출입이나 지상의 외기 상황에 따라 오염물질의 유입과 유동이 크게 변동되기 때문으로 판단된다.

적용된 공조 및 환기설비의 운전이 현장 여건에 따라 실시간으로 제어되지 못하고 있으며, 합리적인 운전계획이 반영되어 있지 않다. 이는 지하생활공간에서 시간에 따라 변동되는 오염물질의 효과적 제거와 실내 공기질에 따라 적정 운전을 불가능하게 하는 주된 요인이다.

실내 공간의 열적 쾌적성을 향상시키기 위한 공조 및 냉난방방식이 고려되지 않고 있다. 이는 단순하게 온도와 습도만을 고려하여 공조 및 냉난방을 수행하고 있기 때문으로서 보다 적극적으로 지하생활공간의 열환경을 개선하고 공간활용을 극대화할 수 있는 기술 개발이 필요하다.

주간에 집중되는 환기 및 에너지부하를 경감시키고, 반송동력을 감소시킬 수 있는 열원시스템에 대한 설계가 전무한 실정이다. 이는 도심 지하생활공간의 에너지부하패턴과 이용계획이 비교적 단순함

을 고려한다면, 비교적 상용화를 용이하게 달성할 수 있는 분야로 판단된다.

지하생활공간의 환경개선방안

개선방향 설정

실내 환경에 관한 연구보고서에 의하면 지하 환경에서 생활하는 거주자들이 빌딩 증후군(sick building syndrome)의 증상을 호소하는 비율이 높게 나타났다고 있다. 지하생활공간은 지상생활공간과 달리 지하로 진입하고 외기에 접하는 면이 적은 폐쇄공간이라는 심리적 압박을 줄이기 위한 조도, 자연과의 접촉감, 방위감, 보행의 쾌적성 등을 확보하는 것이 중요하다.

뿐만 아니라 환기부족으로 인한 유독가스의 체류, 산소의 결핍 등과 재해에 대하여 충분한 안전성을 확보할 수 없다는 점이 문제로 지적되고 있다. 또한 지하생활공간은 지상의 건물에 비해 한정된 공간에 불특정 다수의 사람들이 이용하고 있고, 그 구조가 일반적으로 매우 복잡하기 때문에 환경의 변화가 순간적으로 일어날 수 있어 이에 대한 충분한 대책을 세워야 한다.

지하생활공간에서 문제가 되는 환경제약 요소는 표 2에 나타난 바와 같이 다양하며, 개선방안 또한

<표 2> 지하 공간 환경 제약요소 및 대응방안 검토

요소	문 제 점	대응방향
이동 방법	· 효율적인 이동제한(수평) · 진입 및 왕래의 제한(수직)	▶ 새로운 수직운반 시스템 (급구배 에스컬레이터 등)
빛	· 조망 및 자연채광의 제한	▶ 자연채광장치(광덕트, 광성유) ▶ 지하 아트리움 ▶ 모의창, 인공창 등
심리 생리	· 폐소 공포증 · 외부환경 및 상황과 단절 · 방향성의 결여	▶ 모의창, 인공창 등 ▶ 외부환경표시 시스템 ▶ 환경요소의 일간 변동제어 ▶ 위치확인 시스템
열	· 열손실 및 열취득 감소 · 경로 대책 · 냉-난방설비 적용기준	▶ 부하계산기법 개선 ▶ 에너지 절약형 냉·난방시스템 ▶ 제습장치
공기	· 자연환기 곤란, 환기량 부족 · 구역별, 경로별 공기 정체 · 약취, 라돈 등 공기오염	▶ 환기량 해석, 환기량 최적 제어 ▶ 특정물질 첨가하는 공기정정기술 ▶ 지하 환기탑
음	· 소음, 진동 등으로부터 격리 · 밀폐성에 따른 잔향 증대	▶ 핑크노이즈, 기저소음 등 ▶ 지하용 내장재 개발, 채택
위생	· 반송경로 필요	▶ 신개념 쓰레기 처리시스템 ▶ 새로운 급배수시스템
안전	· 자연재해, 화재로부터 보호 · 방위 및 보안	▶ 비상시 대응 가능한 환기 ▶ 급배수시스템



다양하다. 본 연구에서는 공기의 질과 열환경을 개선하는데 초점을 맞추고 있으며, 주요 방향을 크게 공기질 확보, 온열 쾌적성 확보, 친환경 열원시스템 계획 및 설계 분야로 설정하였다.

환경개선방안

가. 공기질 개선을 위한 환기시스템 도입

현재 지하생활공간에서 가장 시급히 개선하여야 할 환경 분야는 공기의 질로서 실태조사를 통하여 도출된 문제점을 토대로 다음과 같은 개선방안을 제시하고자 한다.

① 기류특성 및 공기연령을 고려한 시스템 계획

공간적인 특성과 구역별 배치, 통행량 등을 사전에 고려하여 환기량을 산정하여야 하며, 특히 공간 배치는 기류특성 및 공기연령을 예측하여 급기구 및 환기구의 위치와 방식, 수량을 다르게 설계에 반영한다.

이를 위해서는 앞서 수치해석적인 평가를 통하여 도출된 바와 같이 공간의 특성과 합리적인 계획이 반영되지 않아 급기량의 적정분배 및 환기량이 산정에 있어서 최적화 문제점과 주요 연결지점에서의 기류 정체 및 온도 상승 등의 문제를 해결하여야 한다.

② 에너지절약기술 채용

현재 대부분의 지하생활공간에서는 전공기식으로 공조 및 환기를 실시하고 있으며, 현장의 오염조건과 연계운전이 되고 있지 않아 에너지 소모가 큰 편이다. 이러한 문제점을 개선하기 위한 방안으로 다음과 같은 기술요소를 반영할 필요가 있다.

공간 내부 구역별 기류 및 오염가스를 실시간으로 감지할 수 있는 감시시스템을 구축하고, 공기환경에 따라 컴퓨터 및 응용프로그램을 이용하여 국소환기, 환기량 조정 등을 자동으로 제어하는 운전방식의 도입이 필요하다.

지하생활공간의 경우 운전 스케줄은 크게 심야 시간대 (01:00~05:00)와 그 이외의 시간대로 구분할 수 있으며, 하절기의 경우 이른 새벽 시간대 냉각된 외기를 실내로 도입하여 주간의 냉방부하를 일부 처리하는 스케줄을 제어시스템에 반영할 필요가 있다.

③ 공기질 및 위생관리기술 채용

지하생활공간이 다중이용시설임을 고려하여 공기질 및 위생을 철저하게 관리할 필요가 있으며, 공조기 내 필터링 기능을 강화하고, 살균 및 탈취기능을 채용할 필요가 있다. 현재 지하생활공간에 설치된 공조기 필터의 경우 비교적 입자가 큰 분진과 합성 섬유계통의 부유물 등을 걸러낼 수 있는 정도이다.

따라서 보다 강화된 환경기준과 추가된 오염인자 등을 고려하고 쾌적성을 향상시키기 위한 방안으로 미세먼지를 제거하기 위한 필터, 악취를 제거하기 위한 탈취 촉매, 멸균을 위한 살균기능 등이 도입되어야 한다.

그러나 이러한 시스템의 채용으로 인하여 공조시스템의 압력손실이 증가하여 정압을 증가시켜야 하므로 추가적인 에너지 소모와 소음의 증대 등과 같은 문제점이 있다.

나. 청정열원 연계 통합형 냉난방시스템 도입

실내 공간의 열적 쾌적성을 향상시키기 위한 공조 및 냉난방방식이 고려되지 않고 있다. 이는 단순하게 온도와 습도만을 고려하여 공조 및 냉난방을 수행하고 있기 때문으로서 보다 적극적으로 지하생활공간의 열 환경을 개선하기 위한 방안을 다음과 같이 제시하고자 한다.

① 열원시스템의 합리적 계획

열원시스템의 합리적인 계획을 위해서는 비교적 단순한 지하생활공간의 에너지부하패턴 및 사용패턴 즉, 심야시간대를 제외한 나머지 시간대에 에너지부하가 집중되는 점을 활용할 필요가 있다.

심야전력을 이용한 축열시스템, 지열과 연계한 시스템 청정열원시스템 설계, 합리적인 운영계획 등을 통하여 환경부하를 줄이면서도 에너지를 절약할 수 있는 열원시스템 구성이 필요하다.

가능한 지열원(지하 수열원이나 지하 토양열)과 연계하여 계절간, 일간 에너지의 순환이용이 가능한 시스템 구축이 바람직하며, 부하패턴에 따라 심야에 지열원 열펌프 또는 지열원 및 공기열원 복합형 열펌프를 이용하여 축열 및 방열을 수행할 수 있도록 구성하는 것이 바람직하다. 이는 도심 지하생활공간의 에너지부하패턴과 사용계획이 비교적 단순함을

<표 3> 주요 개선방안 요약정리

기술 분야	개선 방안
공기질 개선을 위한 환기시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 기류 및 공기량을 고려한 시스템 계획 • 에너지 절약이 가능한 환기기술 채용 • 공기 필터링 기능 강화 • 구역별 기류 및 오염가스의 실시간 감시 및 제어 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 적정 환기량 산정, 분배 유닛 배치(위치, 수량 등) ▷ 부하패턴을 고려한 운전 스케줄 설정, 국소환기 ▷ 분진, 미세먼지 등 제거, 살균 및 탈취 기능 ▷ 국소 환기, 환기량 조정 등
열환경 개선을 위한 냉난방시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 열원시스템의 합리적 계획 및 설계 ▷ 단순한 부하패턴을 고려한 축열방식 고려 • 대류 및 복사 통합형 냉난방시스템 도입 ▷ 쾌적성 향상과 공기량 및 반송동력 감소, 소음 감소 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 현장 여건 및 정정 열원 연계 냉난방경용 열펌프 ▷ 에너지 절약기법: 지위 열원 활용, 엑서지 활용 극대화

고려한다면, 비교적 상용화를 용이하게 달성할 수 있는 분야로 판단된다.

② 에너지절약형 냉난방방식 도입

조사한 바에 따르면 지하생활공간에서 주간에 집중되는 환기 및 에너지부하를 경감시키고, 반송동력을 감소시킬 수 있는 열원시스템에 대한 설계가 전무한 실정이다.

지하공간의 특성상 비좁은 공간이용의 극대화, 기류소음 저감, 반송동력 저감 등을 고려하여 기존의 전공기식 공조시스템과 차별화하고 보다 향상된 온열환경을 제공할 수 있는 새로운 냉난방방식을 도입할 필요가 있다.

본 연구에서는 벽체나 천장 등 유희면적을 이용한 구조체 축열, 대류 및 복사열교환 방식을 복합적으로 적용할 수 있는 방안을 검토하였다.

결 론

이상과 같이 지하생활공간에 대한 현장조사, 국내외 관련법규 및 기준 조사, 지하생활공간의 공기 및 열환경 모델링, 이를 통한 환경제어시스템 구축방안 검토를 통하여 다음과 같은 시사점을 도출하였다.

먼저 관련 법규 및 기준 조사, 현장 조사 및 면담 등을 통하여 지하생활공간에서 거주자가 느끼는 공기질 및 온열쾌적성의 괴리감을 파악하였다. 또한

지하생활공간이 다중이용시설임을 고려하여 공기의 질을 확보하기 위한 방안으로 기존 공조기에서 미세먼지 필터기능, 탈취기능, 살균기능을 채용하여야함을 제안하였다.

그리고 지하도 상가의 공조방식을 계획 및 설계하는 데 있어서 고려하여야 할 사항으로 다양한 점포가 배치되므로 오염물질이나 열부하가 전체 구역에 확산되지 않도록 계획하고 구역별 환기나 온도조절이 현장 및 중앙에서 가능하도록 하여야 하며, 공공지하보다 부분과 점포부분, 역사 출입계통 등은 별개의 계통으로 설계하는 것이 바람직하다.

참고문헌

1. 지하생활공간 환경제어시스템 설계기술 개발, 한국건설기술연구원, 2004
2. 지하생활공간 개발 요소기술연구, 한국건설기술연구원, 1997
3. 에너지자원 유효이용을 위한 순환형 공급처리 기술 개발, 한국건설기술연구원, 2004
4. 김신도, 지하생활공간의 공기질, 한국생활환경학회지 제9권 제2호, 2002
5. 송두삼, 자연환기와 복사냉방을 병용한 하이브리드 시스템 제안, 설비공학논문집 제15권 제6호, 2003. ㉔