

미래형 Geo-City를 기획하며



이강주
창원대학교
교수



김동규
한국건설기술연구원
연구위원



김정주
㈜서영엔지니어링
상무

1. 도시와 지하공간개발과 지하도시

1.1 도시의 지하공간개발

현재하는 도시내 지역사회와 시민 그리고 역사·문화의 특성들을 함께 반영하면서 성공적으로 추진하였던 지하공간개발 모범 사례를 살펴보면, 우선 이태리 나폴리의 가리발디 광장 프로젝트를 들수 있다. 지상의 광장과 지하를 통합적으로 개발하는 것인데, 지하 레벨은 하늘로 개방되면서 상점들이 있는 긴 보행로를 통해 철도역과 지하철역을 연결한다. 도서관과 지하철역과 같이 많은 사람들이 모이는 대규모 지하공간에서는 아래로 내려가는 사람들의 움직임을 특별한 경험과 도시의 배경화로 조율하는 것이 중요하다.

가리발디 광장은 금속재 나무 모양의 구조물 위로 우산형상의 캐노피를 통해 나폴리의 뜨거운 태양을 차단하고 있다. 결과적으로 도시의 멋진 공공공간이 창출되면서,

밀도가 매우 높은 사람들의 움직임과 지하철을 포함한 5개의 역들이 교차되고 있다. 또한, 승강장 레벨의 벽은 이태리의 유명한 미술가가 디자인하여 지하철역사에 예술을 접목시켰다.

또 다른 프로젝트로 파리의 뷔주이프 지하철환승역이 있는데, 이 역은 두 개의 지하철 노선이 지하 50~55m에서 교차되는 역이다. 원통형 형상으로 디자인된 이 역은 파리 판테옹이 들어갈 정도의 크기인데, 외벽지름 70m, 벽두께 1m, 중앙 보이드 부분의 지름 40~45m의 규모로 조성되었으며, 밑으로 내려가는 사람들의 움직임과 빛의 유입을 특별한 경험으로 극대화하고 있다.

도시 차원의 지하개발에 대한 아이디어는 1930년대 초반부터 환상적인 여러 도면과 삽화들로 제안되었다. 1960년대에는 또 다른 신세계인 지하 유토피아에 대한 비전이 나왔고, 파리 레알 재개발 프로젝트에서는 여러 건축가들의 실제적인 제안들이 이루어졌다. 또한, 몬트리올과 토론토는 이러한 도시 네트워크에 대한 훌륭한 참조점이기



그림 1. 나폴리 가리발디 광장 프로젝트 대상지역



그림 2. 가리발디 광장 프로젝트, 나폴리, 2014

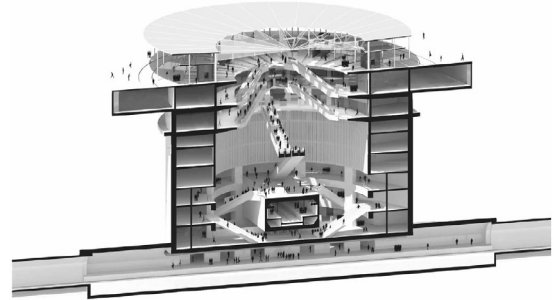


그림 3. 뷔주이프(Villejuif)역, 파리, 2013

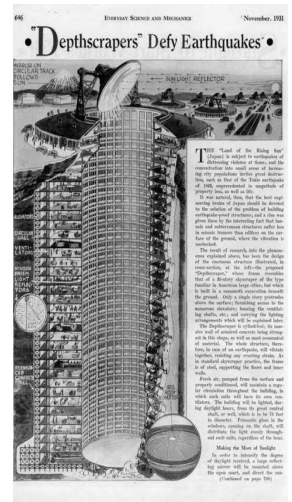
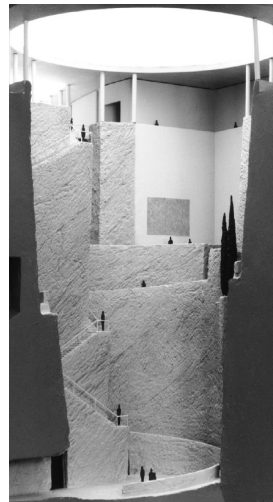


그림 4. 한스 홀라인 작품: 뉴욕 MOMA 전시 Depthscrapers, 1931

도 하다.

도시의 진정한 활력은 지상과 지하의 세심한 통합개발에서 나온다는 것이 몬트리올 실내도시에서 얻을 수 있는 가장 중요한 시사점이고, 실내도시는 지상과 지하의 단절적 사고를 극복하는 것을 보여주었다. 토론토 도시지하공간에서 얻을 수 있는 가장 큰 시사점은 '방향'과 '시간'이며, 보행권 확보라는 도시형성에 대한 일관된 이념과 이 방향으로 최소 50년 이상 꾸준히 실천하여 왔던 누적된 시간의 힘이 시스템을 역사로 만들었다.

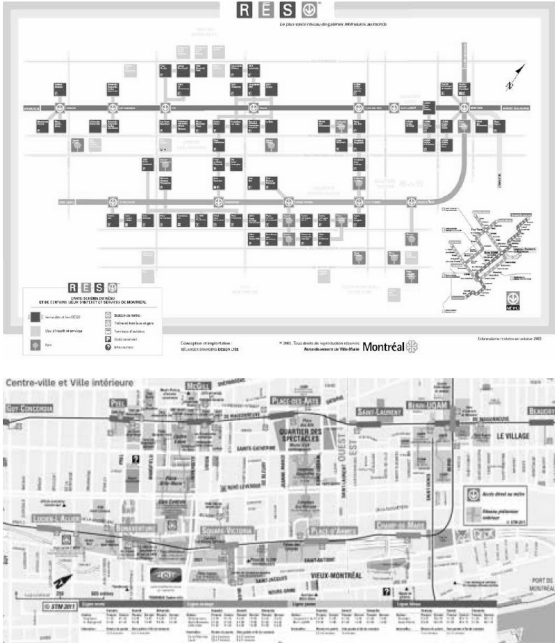


그림 5. 몬트리올 실내도시

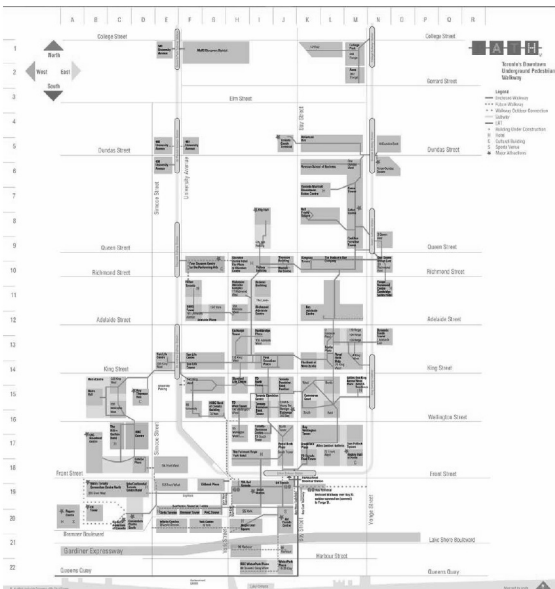


그림 6. 토론토 지하보행물시스템

지하시설의 투자 및 개발비용에 대한 것은 매우 중요한 문제이다. 일반적으로 지상구조물은 지하시설에 비해 저렴하고, 지하시설은 엄청난 양의 일과 막대한 공사비가 소요되는 것으로 인식된다. 그러나 이러한 판단이 과연 정확한 것일까? 즉, 비용으로만 그 효용성을 따질 수가 있느냐는 것이다. 여기서 제기하는 이슈는 사실(fact)보다는 태도(attitude)에 관한 것이기도 하다. 지하공간은 인간 활동의 더 큰 밀도를 수용할 수 있고, 건강한 시민의 식과 정확한 목표를 가지고 개발한다면, 사람들의 삶의 질을 확연히 개선할 수 있다.

역사가 유구한 도시는 단점이 많다. 일예로 파리는 주거의 문제가 심각하다. 수많은 역사 및 문화유산들로 인하여 아파트를 지을 땅도 없다. 그런데, 만약 샹젤리제부터 개선문까지 이화여대 프로젝트와 같은 공간을 만든다면, 현재 지상의 기능들을 지하에 수용하면서 지상에는 사람이 사는 공간을 창출할 수 있을 것이다. 즉, 여기서의 핵심은 더 나은 지상에서의 삶을 위해 지하를 활용하는 것이다.

1.2 미래의 지하도시 ‘지오시티’

지오시티는 도시내 지상공간에 대비하여 지하공간에 형성한 소위 ‘지하도시(Underground city)’의 한 종류로 분류할 수 있다. 여기서 도시(City)는 사회적·경제적·정치적 활동의 중심이 되는 큰 규모의 취락이라는 사전적 의미를 가지며, 또한 지하공간은 지표수준을 경계로하여 지상공간과 대칭되는 개념으로서 임의의 목적을 위하여 자연 지표면 하부에 인위적으로 형성한 공간자원으로 정의할 수 있다.

지오시티는 농어촌과 상응되는 개념으로 임의의 하나의 도시하공간(都市下空間) 지역에서 높은 인구밀도의 사회 구성원으로 구성되며 복잡하고 이질적인 요소의 사회 조직을 가지면서 공통내지 별도 목적을 가지고 조직활동이 이루어지는 기능적 중심의 공공·민간 지역사회로 표

현할 수 있다.

구성된 지오시티는 그 규모와 해당 지역의 특성에 따라 다양성과 독자성을 가질 수 있으며, 작게는 지하도로, 철도 역세권역이나 지하쇼핑몰 등 상권을 중심으로 하여 발달한 소규모의 도시적 커뮤니티이거나, 크게는 임의의 목적과 기능을 가지는 복수 개의 소규모 커뮤니티 간에 지상과 지하의 수직·수평적 방향으로 종합 네트워크화 되어, 지속적으로 확장되는 경향과 요소기능별로 다변성을 가지는 대규모의 도시적 커뮤니티로 분류할 수 있다.

도시는 교통, 인프라, 노동력과 같은 각종의 시설과 서비스 및 인구가 밀집된 지역사회로서 무분별한 도시 개발은 국가의 지속가능한 발전을 저해하는 주요 요인이 된다. 현대 도시는 초대형화, 지상 가용공간에 대한 과밀집화가 지속되어 이에 따른 용지 부족, 보상 및 민원, 교통 혼잡과 열악한 주거환경 등 문제가 발생하고 있는 한편, 환경과 도시미관의 가치중시 등 사회적 관념 변화를 배경으로 하는 목적별 도시 신공간 창조와 활용에 대한 요구가 증대되고 있다.

한편으로 현재 세계는 기후변화에 기인한 이상기후에 의해 강우의 시간적·장소적 불균형이 초래되어 일부 지역은 가뭄에 의한 물부족 현상이 심각한 반면에, 일부 다른 지역은 집중호우에 의한 홍수, 도시침수 등이 발생하고 있다. 지금의 기후변화와 이상기후, 자연재해와 에너지 고갈 등의 주요 원인으로 지적되고 있는 인간의 산업 활동과 도시화 과정이 이루어지면서, 원래의 자연적 순환 기능이 왜곡됨에 따라 물 부족, 도시홍수 등 재해재난의 부작용이 발생하였고 도시사회와 구성원 안전에 지속적인 위협이 되고 있다. 이에 대하여 저탄소 녹색성장 정책과 부합하면서 자연순환적 기능(에너지 및 물순환 등)을 갖는 지상-지하 대공간 콤플렉스(Complex) 계획은 지속 가능한 미래의 건설기술로 평가되며, 새로운 인프라공간의 제공을 통하여 국민의 삶의 질 향상욕구에 합당한 도시 주거상업산업환경 측면에서 신복지 건설기술의 특성을 가진다. 그러므로, 현대의 도시환경은 본 연구에서 지

오시티로 정의한 지하공간자원 개발의 필요성을 가속화시키고 있다.

2. 지오시티 기술

2.1 기술 동향

지오시티기술과 관련하여 최근의 도심지 지하공간 개발 동향을 분석하여 보면, 대형·대심도화내지 복합다기능화로 발전하여 민간구조물을 포함한 기존 교통인프라와 연계된 입체지하복합공간의 개발이 추진되고 있고, 중앙 및 지자체 차원에서 대규모 상권 및 역세권개발 연구와 기술개발을 위한 노력이 이루어지고 있다.

유럽과 미국, 일본 등 선진국에서는 인구의 도심지 집중과 초대규모의 도시권의 발달에 따라 공간자원의 새로운 개발이 요구되어, 지상 도시주택난, 교통체증 해소와 환경개선 등을 위하여 기존의 도심 지하공간과 연계한 지하도시 개발기술을 주요 미래사업의 하나로 추진하고 있다.

해외의 지하도시 사례로 파리의 레알(Les Halles), 런던의 카나리 워프(Canary Wharf), 도쿄의 롯폰기힐스-미드타운, 몬트리올의 지하대도시 등이 있으며, 이는 노후화된 도시재개발 정책으로써 대규모 입체공간의 개발을 통하여 미래도시의 신생활공간 조성을 중장기적인 국가정책으로 설정하여 추진하였다. 미국 보스턴에서는 한계에 도달한 도시 교통량 증대와 쾌적한 도시생활공간 재생 위해 기존 고가고속도를 철거하고 지하고속화 도로인 'Big-Dig' 프로젝트를 성공적으로 달성한 바가 있다.

국내 지하공간과 관련된 연구로는 서울시(2006) 지하공간 종합기본계획 수립에서 지하공간의 무분별한 개발을 방지하기 위하여 지하공간이 지상의 도시계획과 조화를 이루면서 효율적이고 체계적으로 개발될 수 있도록 도시차원의 종합적인 기본계획을 수립하였다. 국토해양부(2010) 지하공간 활용 관리개선 연구와 지하공간계획 및

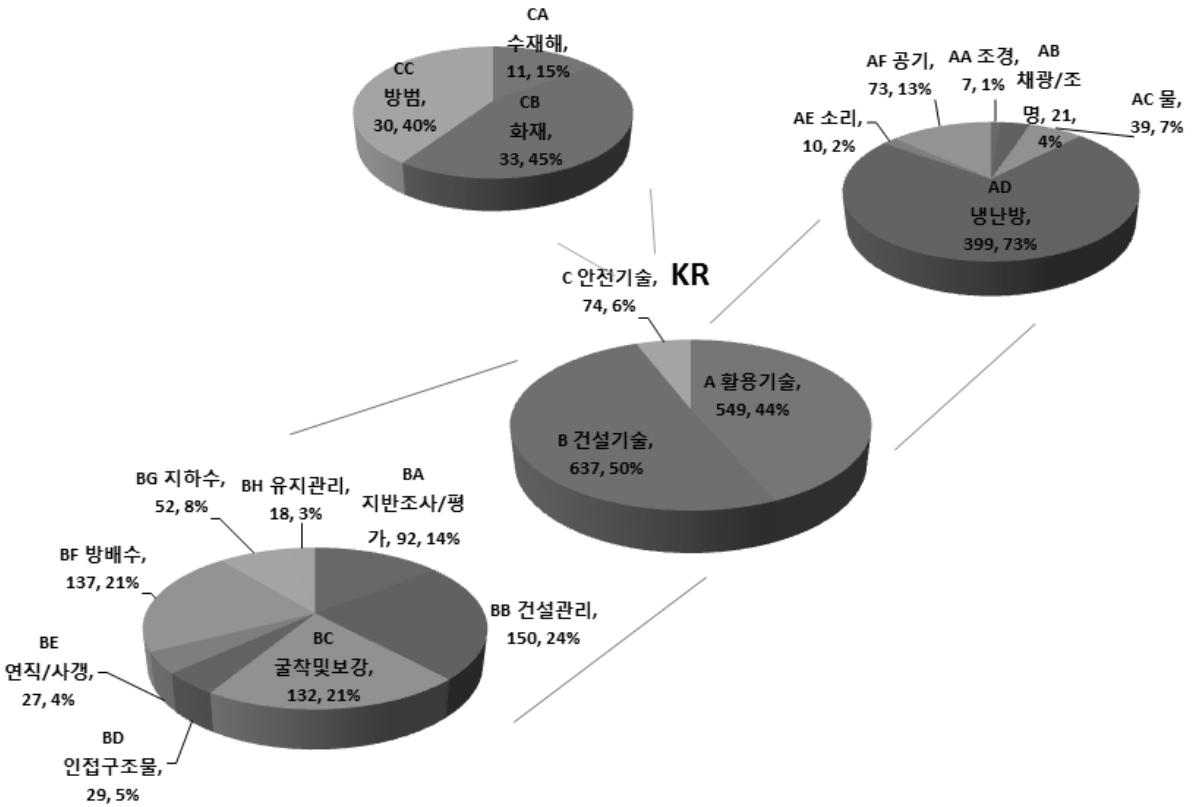


그림 7. 국내 도심지 지하공간 개발관련 특허기술 분석(1985년~2014년)

이용에 관한 법제화 연구에서는 지하공간을 국토공간 자원으로 인식전환을 통해 종합적인 지하공간 개발 및 관리를 위한 국가 차원의 법제도 기반을 마련하였다. 또한 지하공간의 계획, 개발, 관리에 대한 법률적 기준을 명확히 하여 지하공간 개발의 활성화를 유도하고 지하공간 시설물 등이 안전하게 유지관리될 수 있는 방안을 제시하였다.

국토교통부 주관 “지하공간 기본법”추진과 함께 서울시 내 지하공간 종합개발에 위한 전략적 계획이 설정되고 있으며, 장차 서울시 대심도 지하 U-smart way, 경기도 대심도 지하철도 GTX 개발사업 등 추진이 구체화될 경우 도심 지하에 진출입·환승시설, 주차장, 역사 등 관련 대규모 지하공간들이 지속적으로 건설될 것으로 예상된다.

이에 대하여 도심지하인프라 네트워크 입체교통 기술이 주요 개발분야의 하나로, “대심도 복층터널 설계·시공 기술” 연구단이 2014년 착수되었다.

서울시 지하도로, 수도권 광역철도 사업외에도 신공간 창출 및 개발사업을 국가 및 지자체 중장기 발전을 위한 정책전략으로 접근하여 삼성동 코엑스 지하복합물, 지하용산역세권 개발추진, 동대문 지상지하 복합비즈니스-문화광장, 강남대로 지하도시 등 대규모 복합·입체 지하공간개발 사업을 지속적으로 유도하고 있다. 한편, 기후변화로 인한 집중강우의 강도와 빈도가 증가하는 최근의 상황을 고려할 때, 대심도 지하공간 침수시에 시민생명과 국가자산의 손해, 교통인프라의 기능성 상실에 의한 마비

등 매우 심각한 피해결과를 야기 시킬 수 있다. 이에 따라 도심지 홍수피해 예방은 물론 대형·대심도 지하공간의 침수피해를 방지하는 기술로 적용이 가능한 수방재용 다목적 지하터널이나 공동시스템의 기술개발이 시도되고 있다.

특허기술 분석 결과, 지하도시관련 건설기술 50%, 활용기술 44%, 안전기술 6%의 순으로 조사되었고, 건설기술에서 건설관리가 24%, 방배수 21%, 굴착 및 보강기술이 21%순으로 출원이 활발한 것으로 나타났다. 활용기술의 경우에는 냉난방기술이 70%이상으로 가장 많은 점유율을 보이고 있으며, 그 뒤로 공기, 물, 채광, 소리, 조경의 순으로 출원되었다. 안전기술의 경우 화재 45%, 방범 40%, 수재해 순으로 출원이 활발한 것으로 조사되었다.

2.2 도시 지하공간 미래상(未來像)과 건설기술

미래 도시지하공간 비전 내지 상(像) 설정을 목적으로 하면서 도심지 대형·대규모 지하공간 및 도시인프라와 연계하여 연구할 필요가 있는 주요 이슈그룹으로 i) 사회·정책 및 제도 측면에서의 고려하여야 할 미래지하공간 건설방안; ii) 미래의 광역규모에서의 지하도시 “지오시티(Geo-City)”와 건설기술; iii) 미래의 시민주거 생활공간 규모에서의 “지오빌(Geo-Ville)” 건설기술로 구분하였다. 또한 이에 관련하여 의미내지 환경특성 파악과 건설기술 도출을 위하여 STEEP분석을 통한 NEEDS-SUPPLIES을 고찰하였다.

지하도시 계획 및 조성시에는 기성 시가지의 지하공간 현황을 검토하여 보다 효율적으로 토지 이용이 가능한 면적·입체적인 지하 네트워크 조성 방안을 제시할 필요가 있다. 또한 도시기본계획, 도시환경 정비계획 등 상위계획의 지하·입체도시 관련 내용상의 기본방향을 제시하고 중앙·지자체 정부에서 추진 중인 지하공간 법제화와 의 정합성을 검토해야 한다.

지하입체 네트워크는 공공영역의 지하공간과 민간영역

의 지하공간에 걸쳐서 개별적으로 존재하던 지하공간을 지하연결보도·통로의 설치를 통하여 연결하는 것을 말한다. 일반적으로 지하공간은 심리적인 측면에서 폐쇄성의 이미지가 강하므로 자유안전공간으로의 접근이나 이동이 쉽도록, 특히 대심도의 경우는 지상내지, 지하도시 내에서도 수직-수평적인 환승이나 이동체계 개발에 중점을 둔다.

- 교통시설 연계형 네트워크 : 지하공간의 교통시설간 수직적 연계를 통하여 거점을 조성하는 것으로 일반적으로 점적인 네트워크 양상을 나타내며, 지하교통 거점을 중심으로 하는 네트워크는 충분한 지하유동 인구가 바탕이 되기 때문에 가장 기본적이고 일반적인 지하네트워크 조성유형이라 할 수 있다.
- 지하가로 조성형 네트워크 : 도로 하부에 지하공공 보도시설을 설치하여 네트워크를 조성하는 것으로, 주로 지하교통 거점간의 연결을 통한 지하상가로 이용되는 경우가 많다. 이 방안은 위치상으로는 근접해 있으나 연결성이 미흡한 지하공공 보도시설간의 연계와 지상 보행환경 개선을 위한 신설, 건물간 지하연결통로를 통한 연결을 포함한다.

또한 도심지 대규모 지하공간 네트워크 기술에 비해 상대적으로 기술발전이 미진한 반면, 미래 도시공간에서 가장 중요한 구성요소중의 하나로 도시민 주거생활공간 개발이 중요하다. 그러므로, 항온·항습·기밀·차음·차광성의 지하공간 우수성에 바탕으로 하여 재해재난 안전성, 신재생에너지를 통한 에너지 절감과 주변 도시환경 경관과의 조화를 통한 시민 주거생활용의 지하공간 건설기술이 필요하다. 이는 붕철 미세먼지 및 황사 등 공기질 저하로 인하여 지상활동이 위축되고 있고 재해위험에 대비하여 장기간 인간이 생존하여 편안하게 생활할 수 있는 안전공간(Shelter)에 대한 관심과 미래 수요에 충족되는 기술로 평가할 수 있다.

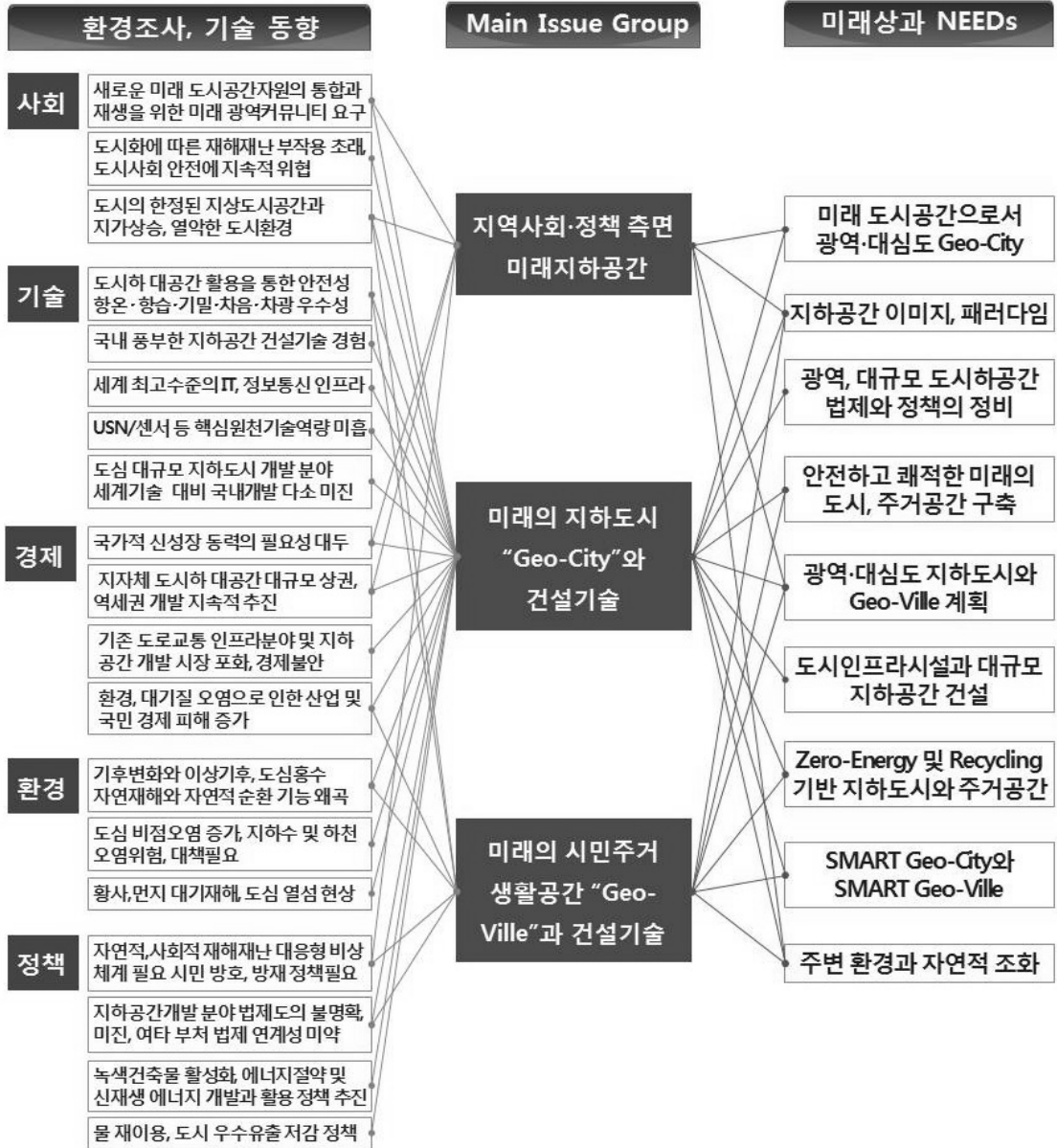


그림 8. 미래 도시의 광역적 지하공간 개발관련 STEEP분석

표 1. 사회·정책 측면에서의 미래 지하공간

미래상과 NEEDs	SUPPLies 핵심 사항
미래공간으로서 광역·대심도 지하도시	<ul style="list-style-type: none"> • 국토공간자원 및 미래도시 인프라, 시민 삶의 미래터전 - 도로교통, 건축 및 주거, 경제사회문화체육 생활공간, 라이프라인 • 국가와 지역사회 상권·경제부양, 국제적 도시경쟁력 • 미래 지하도시와 공간 창조기술, 수준/중요성/시급성
지하공간 이미지	<ul style="list-style-type: none"> • 지하공간의 이미지 개혁과 미래상 • 새로운 도시계획 패러다임 전환 지하도시 마스터플랜 혁신도구 • 신지하공간자원 창출 효과와 홍보, 이익 • 공간적·심리적 미학, 생리 및 심리적 장애대처, 건강과 복지수단
대형 도시하공간 법제와 정책	<ul style="list-style-type: none"> • 대형 도시하공간, 지하도시관련 법규와 제도, 정책 수정과 개선 • 공공-민간 커뮤니티 주체, 시민참여형 도시개발 거버넌스 구성
안전하고 쾌적한 미래의 도시	<ul style="list-style-type: none"> • 자연적 및 사회적 재해에 안전한 도시하공간 - 홍수, 가뭄, 공기, 빛, 지진, 범죄 및 테러, 전쟁 등

표 2. 미래의 지하도시 “지오시티”와 건설기술

미래상과 NEEDs	SUPPLies 핵심 사항
광역·대심도 지하도시 계획	<ul style="list-style-type: none"> • 도심 대규모 지하공간 위치계획, 차량과 보행자 흐름 • 지상공간연계 입체복합공간과 기능 • BIM기반 대심도, 대형 도시하공간 설계와 조성, 구축 • 도시 사회기간시설과 지하공간 Complex 계획
도시인프라시설과 대규모 지하공간 건설	<ul style="list-style-type: none"> • 조사와 탐사, 기존 인프라 연계-간섭 영향 • 지하공간 형상과 구조 설계와 안정화 • 굴착과 보수보강, 주변 영향 최소화 • BIM기반 건설자재와 장비, 시공법과 시공성, 시공관리, 방법의 경제성
Zero-Energy 및 Recycling 기반 지하도시	<ul style="list-style-type: none"> • 신재생에너지, 에너지 Harvesting - 지열, 태양열·태양광, 기술 하이브리드화 • 도시하공간 청정 공기·물자원, Recycling, 보존 및 처리 - 빗물과 지하수, 공기, 오염물질 처리
SMART 지오시티	<ul style="list-style-type: none"> • 똑똑하고 편리한 지하 SMART 인프라 • 재해재난에 안전하고 편리한 운영과 유지관리 - 수재해, 화재, 방범, 예방·피난·대피·구조·복구
주변 환경과 자연스런 조화	<ul style="list-style-type: none"> • 대심도 대형 도시하공간에서의 식생 재배와 녹화경관 • 도시하공간내의 깨끗하고 쾌적한 공조환기, 소리환경 • 도시하공간내의 밝고 쾌적한 자연광 조광 - 천창과 자연광, 인공조광 • 도시하공간내 밝고 쾌적한 자연광 유입·인공과의 조화 - 천창과 자연광, 광덕트, 인공조광

표 3. 미래의 시민주거 생활공간 “지오빌”과 건설기술

미래상과 NEEDs	SUPPLies 핵심 사항
미래도시와 지오빌 의미와 Needs	<ul style="list-style-type: none"> • 도시내 시민의 미래 공간자원 • 미래 주거·생활공간 이미지와 역할 – 쾌적하고 안전한 거주성
지오빌 계획	<ul style="list-style-type: none"> • 최적 위치, 크기와 형상, 공간 설계 • 고객 요구와 만족
안전하고 쾌적한 주거공간 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 조사와 탐사, 기존 건축물 연계 – 간섭, 영향 최소화 • 공간 형상연계 구조 설계와 안정화 • 굴착과 보수보강 – 굴착형과 복토형 • 건설자재와 장비, 시공법과 시공성, 시공관리, 방법의 경제성
Zero-Energy 및 Recycling 기반 주거공간	<ul style="list-style-type: none"> • 신재생에너지, 에너지 Harvesting – 지열, 태양열·태양광, 기술의 하이브리드화 • 공간 청정 공기·물자원, Recycling – 빗물과 지하수, 실내 공기
스마트 지오빌	<ul style="list-style-type: none"> • 똑똑하고 편리한 지하 SMART 생활공간 • 범죄와 재해재난에 안전, 유지관리
주변 환경과 자연스런 조화	<ul style="list-style-type: none"> • 지하공간에서의 재배와 녹화 • 깨끗하고 쾌적한 공조환기 조성 • 도시하공간 내의 밝고 쾌적한 자연광 조광 – 천창과 자연광, 인공광 • 외부의 빛과 실내의 빛이 인터렉션되는 쾌적한 자연빛 환경 조성 –천창과 광선반 등으로 자연광 이용

3. 지오시티 미래상

3.1 지오시티를 통한 미래도시공간

인간 산업활동과 도시화 과정이 이루어지면서 본래의 자연적 순환 기능을 잃게 되고 홍수나 가뭄 등 재해재난의 부작용이 초래됨으로써 도시사회와 구성원 안전에 지속적 위협이 되고 있는 현재 도시사회에 대하여, 미래 도시공간인 ‘지오시티’는 왜곡되어 있는 자연 생태계의 순환 기능을 가능한 회복함으로써 재해재난에 보다 안전하고, 청정한 신재생 에너지 기반으로 광역규모 공간개발 계획과 관련 건설시스템을 제공한다.

지하공간이 가지는 폐쇄성을 개선하여 인접건물이나 지상보행체계와 입체적인 네트워크를 구축하고 쾌적한 공기질, 산뜻한 빛환경 조성 등을 통하여 안전성과 함께 개방성을 가지는 도시공간으로 발전시킨다. 특히 지하보행시설 및 지하 공공공간 등은 도시 철도·도로, 정류장,

터미널 등 주변 대중교통시설과 연계하여 상업문화시설 외에도 입체 보행광장, 지하 녹지공원과 휴식공간 등 토지이용의 활용성을 극대화 할 수 있다.

◆ 21세기 미래형 “GEO-CITY” 건설기술

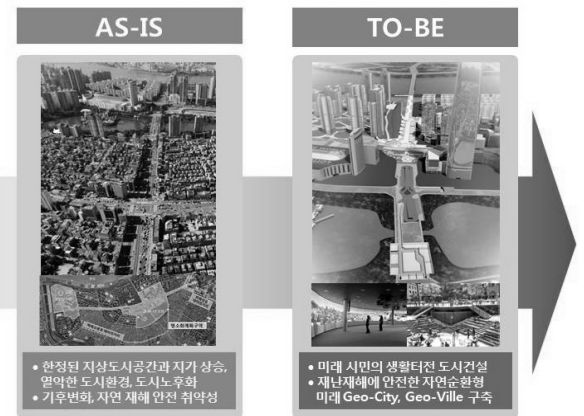


그림 9. 21세기 미래형 Geo-City

현재 새로이 직면하고 있는 자연재해나 기상대기질 악화의 위협, 에너지 고갈 문제를 해결할 수 있는 대안제시와 함께, 여타의 스마트(SMART) 도시공간 창출에 대한 사회적요구에 대하여 지금까지 개발하여 확보한 지하공간 건설기술을 바탕으로 새로이 안전하고 편리한 광역 도시공간 건설기술을 개발하고 그 활용방안을 통하여 국가와 시민의 공공안전성과 편의성, 복지 체계를 제공하는 비전을 제시한다.

봄철 미세먼지나 황사 현상을 초여름 우기와 같이 상습적으로 도래하는 계절적 기후로 인식하여, 그 발생원인과 소비자·산업·국민경제에 미치는 영향을 분석함으로써, 시민의 안전과 건강을 보호하고 인적·사회적 피해를 방지하는 새로운 사회인프라 건설사업으로 개발한다. 더 나아가 다기능 지중 인프라 및 네트워크 구축기술, 융복합 기술에너지 및 재해대응 기술로 발전시켜 신수종 일자리 창출기회로 활용할 수 있다.

3.2 지오시티 관련 이슈와 정책제언

미래의 도시지하공간과 관련하여 사회·정책 측면에서, 미래지하도시인 “지오시티”와 지오시티내 구성되는 시민주거생활 공간인 “지오빌” 건설기술 측면에서, 현재 또는 차후에 대두될 것으로 예상되는 이슈(Issue)들에 대한 주요 정책제언과 비전을 다음과 같이 요약하였다.

○ 미래 지하도시 마스터플랜

현재하는 지상·지하 공간의 현황 조사와 지하공간 이용시설 수요예측을 위하여 공간의 입체적 사용의 유형화 및 지하 안전성을 고려하여 개발 가능성을 판단하여야 하고, 이용시설 종류별 지형·지반조건과 토지 이용현황 및 개발밀도를 검토한다. 또한 지하철 시설 및 선로현황, 지하상가 및 지하도로, 지하주차장, 지하 상하수도 시설물, 지하공동구 및 통신시설 등에 대한 시설현황의 조사가 필요하다.

종합적으로 지구별 개발계획을 설정하여 공동구, 지하차도·보도, 네트워크의 형성, 지하철과의 연계, 지하주차장 확보 등 종합적인 구상안을 수립한다. 또한 지상공간의 토지이용, 녹지공간의 확보, 지상·지하의 연결 등 토지의 입체적 효율성을 극대화하는 방안 수립이 필요하다. 여기에는 이용계획, 동선계획 및 지하주차장 계획, 환경계획, 휴식공간 및 부대시설계획, 재해재난 방재계획, 투자계획 등의 세부 구상을 포함한다.

법제와 규정의 혼재와 관련 법제도의 부정합성은 도시 및 건축물 관리 체계의 혼선을 야기하고 있고, 이로 인해 미래지향적인 새로운 공간 창출을 어렵게 할 수 있다. 도시기본계획에서 개발방향에 대한 기본적인 기준이 수립되고, 통합 지하공간 계획 관련법을 제정하여 법률이 대상으로 하는 명확한 범위를 제시할 필요가 있다.

○ 광역·대심도 지오시티 건설기술

광역적 지오시티 건설기술에는 지하공간 통합지도와 연계되는 지하공간 탐지기술을 이용한 지하시설 조사와 분석기술이 중요하다. 또한 안전한 대규모·대심도 굴착기술과 진동·소음, 지상공간 점유 및 환경훼손 최소화 기술이 개발되어야 할 것이다. 이와 함께 초경량·고강성 건설재료와 고내구성·친환경·에너지 절감형 자재의 개발을 병행할 필요가 있다.

지하도시 구조물의 목표성능수준이 고려된 사용성·안전성 설계개념과 목표내구수명 등 지하구조물 내구성 설계개념 정립이 요구된다. 그리고 지오시티는 국·내외적인 도심하부 지하공간 개발을 전제하므로, 공사비 산정단계에서부터 기계화·자동화 굴착공법의 우선 적용이 반드시 필요하며, 이를 위해서는 고전적 굴착공법 적용성과 개선 등을 위한 분석이 필요하다. 또한 도심지 굴착공사 중 및 지하구조물 운영중 자료수집과 수집된 자료의 분석을 통한 체계화·정량화 과정이 반드시 필요하다. 이러한 과정이 도심지 건설공사중 사고위험 방지를 위한 토대가 되

고, 계획한 목표 성능수준을 만족하는 설계시공 공법과 함께 지오시티 관련 건설기술에 대한 선순환발전 동력이 될 것으로 판단된다.

○ 똑똑하고 편리한 미래 지하도시 기술

스마트 지오시티 구축을 위한 주요 기술로서 유연하고 효율적인 지능형 도시안전시스템이 핵심 인프라 구축기술로 활용될 수 있다. 광역적 대규모 복합 지하공간에서 시민에게 다양한 상시 안전복지 서비스를 제공할 수 있고, 자연적·사회적 재해재난 시에 신속하게 비상체제로 전환하여 시민과 국가재산에 대한 효과적인 방호·방재 서비스 실현이 가능하다.

대규모 복합 지하공간 BIM 정보 구축을 위한 제도 마련하고 BIM-GIS기반 지하공간정보 구축을 통하여 광역적 지하공간에 대한 전생애주기 유지보수 정보가 축적될 수 있으며 이는 유지관리 측면에서 다양한 활용이 가능하다. 또한 센서기반의 지하공간 방재BIM 네트워크 서비스 시스템을 구축하고, 공간내 공기질 및 환경 모니터링 방안등을 통하여 광역지하공간에 대한 통합적 방재BIM 시스템 원천기술 확보와 국제표준을 선도적으로 개발함으로써 세계시장 개척의 교두보 마련이 가능하다. 이러한 방재시스템 개발기술로부터 국가 안전기술력을 증대시켜 국내외 IT 및 안전분야 기술간 융·복합을 통하여 관련 산업발전 파급효과를 기대할 수 있다.

○ 산뜻하고 편안한 빛조명·빛환경 기술

한낮중에 지상에 위치하는 실내공간이라 하더라도 일상적 실내 빛환경을 조성하기 위하여 일반적으로 인공조명을 사용하고 있다. 그러나 실내외에서의 자연빛은 우리에게 심미적으로 안정감을 주므로, 이러한 이유로 지하공간 계획·설계 시에 천창을 이용한 자연광 유입이나 채광 기술을 개발하여 적극적으로 활용하려고 한다. 폐쇄된 지하공간내에서 빛환경에서 매우 중요한 관점은 시민에게 단순히 ‘밝은 환경’만을 제공하는 측면이 아니고, 외부로

부터 ‘자연스런 빛을 도입하여 지하공간이라고 느끼지 않도록 빛환경’을 조성하도록 하는 것이다.

이를 위하여 태양빛의 단순 유입기술의 적용보다, 외부로부터 실내로 빛을 자연스럽게 유입시키는 방안과 유입된 빛을 실내 임의 구역마다 적절히 분배·조광하는 방법에 대한 고민과 기술개발이 요구된다. 이와 같이 인공광과 함께 자연빛을 효과적으로 조화시켜 분배·제어 및 조광할 경우, 지하공간내에서의 우리가 느끼는 심리적 폐쇄감을 저감하여 방지할 수 있다. 그러므로 지표하 실내공간내 빛환경에 대한 감성설계, 즉 시환경 측면에서의 심리적 요소를 연구하고 한계를 극복하므로써 이를 바탕으로 한 조명과 인테리어, 실내 건축구조 설계기술 개발이 필요하다.

산뜻하고 편안한 공간을 만들기 위해서는 적절한 빛 밝기와 균일성, 각각의 공간 용도에 적합한 빛의 색(광색)이 제공되어야 한다. 또한 목적으로 하는 지하공간내에 알맞은 빛환경을 조성하기 위해서는, 조명분야외에도 건축 및 지하공간 건설, 에너지 또는 설비분야 등 전문 분야간 상호 협업적 관계가 중요하며 다각적인 융합기술로의 노력과 발전이 요구된다.

○ 깨끗하고 쾌적한 지오시티 조성기술

일반적인 건축물은 지상에 면한 모든 방향에서 외기도 입과 실내공기의 배출이 가능하다. 따라서 실내 환기를 위한 공조·환기 시스템의 계획에 제약이 적은 반면, 연간 외기의 온도변화에 따라 실내 냉난방부하의 변동이 심하다. 그러나 지하공간은 외피가 지중에 면하므로 연간 실내 냉난방부하 변동이 적은 반면, 실내 환기를 위한 공조·환기 시스템의 계획에 제약이 많다. 또한 지하공간의 최대장점인 지중열을 효율적으로 이용하기 위한 방안도 필요하다.

화재 시에는 연기에 의한 질식 등으로 가장 많은 인명피해가 발생한다. 지하공간은 지상건축물보다 연기에 의한 피해 우려가 매우 높으므로 이에 대한 적절한 대책이

필요하다. 기본적으로 지하공간에서 자연환기 효과를 얻을 수 있는 방안, 화재연기를 효과적으로 배출할 수 있는 방법이 필수적이며, 거주자가 화재연기에 노출되지 않도록 안전한 피난환경을 확보하고, 소방대가 신속하게 화재 지점까지 접근할 수 있는 진입경로를 구축해야 한다. 또한 대규모 지하공간에서는 구역별로 화재를 제한할 수 있는 방안도 필요하다.

기존의 지상건축물에 적합한 환기 및 방재 기준으로는 지하공간의 환기방재 시스템의 성능을 효율적으로 확보할 수 없다. 따라서 지하공간의 구조적인 특성에 맞는 환기시스템의 설계기준과 방재시설의 설치기준을 마련해야 하며, 시스템의 성능을 검증할 수 있는 방안 등에 대한 연구가 필요할 것이다.

○ 지속가능한 에너지 자립형 지오시티

바야흐로 지하공간 개발은 선택이 아니라 필수가 되는 시점에서 기존 지하공간의 리모델링이나 새로운 지하공간 개발에 있어서, 냉난방과 같은 에너지 공급에 대한 고려가 필수적이다. 지하도시공간에서 제기되고 있는 이슈로는 탄소배출저감을 위한 에너지자립 및 에너지순환(Recycling)형의 지하도시공간 구축 기술과 지하공간내 에너지 밸런싱(Energy balancing) 시스템, 태양열-지열 하이브리드 신재생에너지 시스템을 이용한 고효율 저비용의 냉난방-환기-제습 복합시스템 등으로 말할 수 있다.

지하공간을 활용함에 있어서 가장 에너지자립과 관련한 중요한 요소인 냉난방, 제습, 환기 등 몇 가지 현안 문제점을 해결해야 하는 데 이를 위해 다학제간 통섭적인 지식이 절대적으로 필요하다. 현실적으로 대두되는 이러한 문제를 해결하고 지열과 태양광(열) 등 신재생에너지를 적절히 잘 이용한다면 지하공간을 별도의 인공에너지 공급 없이도 지속 가능한 인류의 삶의 터전으로 활용할 수 있을 것으로 전망된다.

○ 재해대응 목적의 지하공간 물관리·물순환 기술

도시 인프라시설에 자연재해 등의 문제가 발생될 경우에는 도시내의 산업활동 지속성에 위협이 될 뿐만 아니라, 국가자산의 손실이나 파괴위험성, 시민의 건강과 공공의 안전 등 도시 사회경제활동에 직접적인 영향을 초래할 수 있다. 인구밀도가 높은 도시의 경우 도시화에 따른 지표유출량의 증가로 집중호우에 의한 수재해 위험성이 증가한다. 또한, 유역의 배수능력을 초과하는 집중호우로 인해 우수가 급속하게 유입될 경우, 도심 저지대 지역에 위치한 상가와 주택가, 복합지하쇼핑몰과 같은 도시하공간내 지하구조물이나 산업 인프라는 도심침수 위험 취약성을 가진다.

이에 대하여 기후변화에 따른 기상재해에 대응기술로써 도심지역의 경우는 개별 지구별 지하우수저류 시설과 같은 중소규모의 분산형 저영향개발(Decentralized low impact developmoent) 시설물을 설치함으로써 우수유출수를 보다 효과적으로 지연, 저감시킬 수 있다. 우수저류 시설은 돌발성의 집중호우 시에 적용할 수 있는 효율적인 도심지 지표침수방지 도시배수기반시설로 평가된다. 설치지역은 소규모 분산적 기능 분담측면에서 침수예상분석 및 평가에 따라 최적 위치와 및 규모의 선정 분석을 통하여 최적의 지표수 유출저감 효과를 들 수 있을 것이다.

‘재해로부터 안전한 미래 지하도시의 구현’이라는 궁극적 도시방재 목표달성을 위해서는, 도시방재계획분야 전문가 외에 이와 밀접하게 관련되어 있는 수공학, 국토 및 도시계획 및 지반공학 분야 전문가와의 공동 협력이 중요하다. 또한 지하공간 관리주체의 상이성과 개별적 관리로 인하여 재난발생 비상시에 현장지휘체계와 응급구조 과정에서 문제가 발생할 수 있다. 그러므로 소관 정부부처와 지자체간에 체계적인 협조가 필요하고, 통합관리체제에 의한 신속한 정보전달과 주민대피체계 등을 반드시 구축하여야 한다.

참고문헌

1. 국토해양부(2010), '지하공간 계획 및 이용에 관한 법제화 연구'.
2. 대한건축학회(2012), '21세기 지하공간', 대한건축학회지 제56권 제2호.
3. 서영엔지니어링(2013), '복합지하공간 수해방지를 위한 저류공동 건설기술 개발', 국토교통부 국토교통과학기술진흥원 건설기술혁신사업(10기술혁신E04) 최종보고서.
4. 서울특별시(2006), '지하공간 종합기본계획 수립'.
5. 서울특별시의회(2013), '21C형 미래공간으로서의 지하공간 개발을 위한 연구', 선진엔지니어링, 창원대학교 산학협력단 연구용역 최종보고서.