

지하/해저도시의 방재시설에 대한 제언

김 은 종

(주)금륜방재산업 대표이사

1. 서 론

우리 인류에게 가장 기본적인 생활의 요소는 의식주이다. 그러나 한정된 땅에서의 인구의 증가는 거주공간간의 협소와 식량부족이라는 문제를 제기한다. 이미 발전된 모든 문명의 기능은 확대되어 지상에서의 모든 시설물은 초고층화, 장기화, 고착화되는 양상을 보이고 있다. 또한 30년내 모든 구조물은 지상으로 더 이상 올라갈 수 없는 한계를 맞을 것이며 도시인구의 일부는 지하에서 생활해야 하는 상황을 가정한다는 것이 상상속의 추론은 아닐 것이다.

그러므로 현재 우리가 살고 있는 비좁은 위치적 상황과 이미 사용중인 시설물과 연계하여 지하로 확장하는 새로운 유형의 도시형태를 감안할 때 공학적 예측과 건설방향은 현실화로 다가오리라 생각된다.

외국의 경우 이미 자원을 얻기 위한 방편으로 양극점을 서로 점유하려고 함은 물론 해상으로의 진출을 모색하여 무한한 잠재력과 새로운 대체에너지를 제공할 해저탐사 및 이용계획을 국가 정책적으로 구체화하고 있다. 이미 일본, 동남아 도시국가나 영해상의 막대한 자원을 보유하고 있는 나라들은 우주로 향한 가능성 탐구만큼이나 해저도시에 대한 깊이 있는 연구와 탐사를 병행하는 추세이다.

우리나라도 주거문제는 쉽게 해결되고 있지 않으므로 이를 해결하기 위해서는 해상에 새로운 형태의 인류문명 건설을 요구받게 될 것이기에 땅보다 넓은 바다로 진출할 수 밖에 없다.

따라서 우리나라 같은 좁은 국토의 제한된 자원속에서 고부가가치 위주의 산업에 대한 치중도 필요하지만 지하해저도시에 대한 연구가 국가적 사업의 한 분야로 착수해야 할 때라고 본다.

이러한 관점에서 앞으로 건설되는 모든 지하구조물들은 인간의 삶에 유익하고 편안하며 안락한 Pattern으로 지향된다고 하는 것은 말할 것도 없다. 이는 생

존의 통과시설이 뒤따라야 하는 것이며 재해방지와 안전을 전제로 한 것을 의미한다. 다시말해서 지하수십, 수백미터의 제한된 거대공간에서의 안전은 필수적이다. 지상의 조건과 정반대인 이곳에서 생활하게 되는 인간의 안전을 지키는 것은 더욱 어려워 질것이므로 조그만 방재상의 실수가 대형재해로 연결될 수 있는 우려가 지상에서 보다 더욱 클 것이라는 것은 자명하기 때문이다.

이에 발생가능성을 예견하여 대처할 수 있는 모든 분야에 걸쳐 관계 기술자들과 과학자들은 여러 상황별 환경적 조건에 따라 진일보된 과학적, 기술적 방재분야의 실용 가능성에 대한 연구가 필요하리라고 본다.

따라서 지하/해저도시에 대해 화재로 인해 발생하는 재해에 대해 생각해보고 환경적 설계조건과 방재설비의 몇 가지 기본설비에 대해 제언하고자 한다.

2. 지하/해저도시의 예상재해

- 1) 화재로 인한 재해
- 2) 유독Gas 누출에 의한 재해
- 3) 폭발에 의한 재해
- 4) 시설물 붕괴로 인한 재해
- 5) 공기순환의 단절로부터 재해
- 6) 기타

3. 지하도시의 주요 구조물

3.1 수직구조물(Cylinder Shaft Type)

그림 1은 수직구조물을 나타낸다. 수직구조물은 군사적 목적 또는 자원의 개발을 위해 설치할 수 있으며 지상권과 결부된 소유주의 사업목적에 따라 행해질 수 있다.

그러나 현재까지 개발되고 실행화되는 건설공법은 막대한 비용과 다양한 기술적 문제로 극히 제한적으로 이용되고 있다. 또한 지상에서 지하공간까지 도달하기 위해서는 Shaft형태로 건설된다. 이에선 수직 Air Duct

† E-mail: k264951@chollian.net

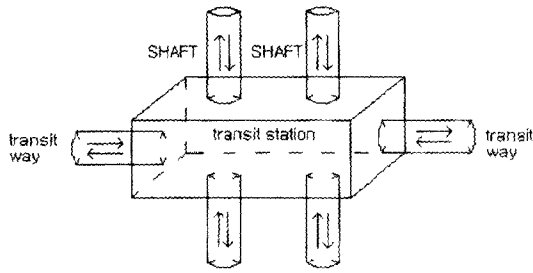


그림 1. 수직구조물

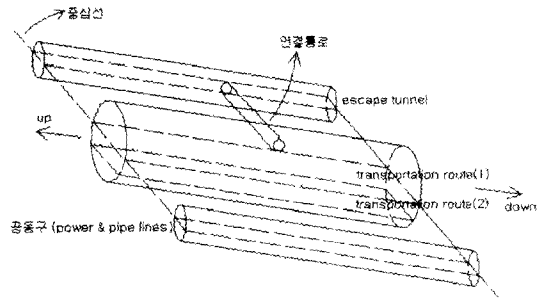


그림 2. 경사구조물

통로, 수직 엘리베이터 통로, 수직 순환물류 Conveyer 통로 및 각종 Power Lines, Water Supply Lines, Sanitary Sewer등을 위한 수직 공동구 통로등이 있다.

3.2 경사구조물(Round Tunnel Type)

지하도시와 지하도시간 연결통로라던가 지상과 해저 도시간 진출입을 위한 Trans-Portation Route, 각종 Power Pipe Lines을 위한 공동구 또는 지하도시에서 위 지적으로 낮은 지상으로 연결되는 경우에 이용할 수 있다.

그림 2는 경사구조물을 보인 것으로 구조물은 기능적으로 시설물 설계목적에 따라 Tunnel 형태로 건설되어질 것이다. 또한 경사구조물에는 Tunnel간 안전 또는 피난 System 및 Maintenance를 위한 통로가 연결되어지게 된다.

3.3 원형구조물(Dome Type/Circular Type)

지하도시에서는 가장 보편적으로 응용할 수 있고 실용화할 수 있는 구조물이다. 현재 대도시 경우 지하상가, Shopping Mall, 지하주차장, 지하발전소/기계실등이 있지만 본 제언에서는 지하 100 M 정도 깊이의 공간체를 의미한다.

지하도시의 구조적 설계조건은 토압보다는 엄청난

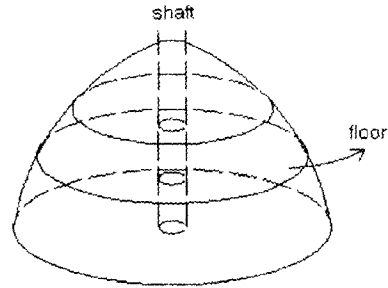


그림 3. DOME TYPE

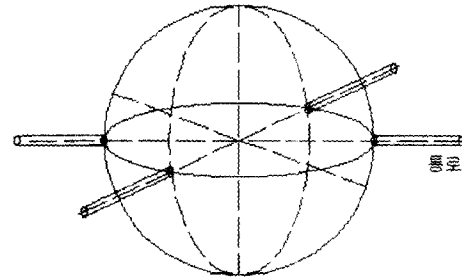


그림 4. 원형 TYPE

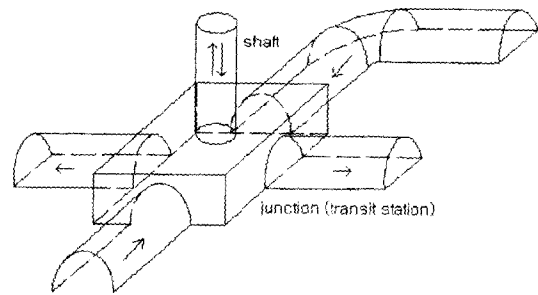


그림 5. 반원형 구조물

수압을 안전하게 지탱할 수 있는 Structural Design이 필수적이 될 것이다. 이 때 채택할 수 있는 구조형태는 Arch 형, 타원형, 반원형이며 공간적으로는 그림 3과 같은 Dome Type 및 그림 4와 같은 원구 Type으로 건설되어질 것이다.

3.4 반원형구조물

비교적 지상으로부터 깊지 않은 풍화암대나 연암대 같은 지질적조건이 충족될 경우에 필요한 것으로 그림 5는 이를 나타낸다. 즉 지하 도시간 Transportation Route(Electric Car), 수평순환 물류 Escalator 통로, 진공 Tube내 자기부상열차(Magnetic Levitation Propulsion Train)통로, 진공 Tube내 운행되는 Piston

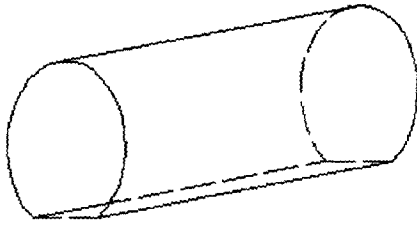


그림 6. TUBE TYPE

형 Capsule Route등을 이용하기 위해 건설되어진다.

3.5 Tube형 구조물

Tube형 구조물은 해저 대륙붕내 자원개발탐사를 위한 기지시설 및 지하도시간 연결통로로서 사용되는 경우를 가정할 수 있다. 또한 에너지 비축기지로서 해안선 근처 원유 Tank등이 접안할 수 있는 위치에 대규모 해저 Tunnel 형태로 건설되고 있으며 원유 및 천연액화가스 저장시설등의 건설시 이용하고 있다. 그림 6는 Tube형 구조물을 보인 것이다.

4. 지하/해저도시의 환경과 방재시설과의 관계

4.1 환경적조건 1

지하공간 및 이동통로상 공간은 토목/건축 공학적 설계단계부터 철저히 인간의 생존적 조건이 우선되어야 한다.

다시말해서 순환되는 공기는 어떠한 상황에서도 청정상태를 유지해야 하므로 공기의 청정화를 방해하는 연기등의 생성을 억제 및 이를 신속히 배출할 수 있도록 구획화시켜야 한다. 이를 위해 방화구획은 철저히 개폐할 수 있고 밀폐할 수 있도록 하며 제연설비 또한 인텔리전트화 System으로 운용되어야 한다.

4.2 환경적조건 2

지하공간은 지상으로부터 빛이 유입될 수 없는 격리된 위치로서 시설물내 Lighting에 필요한 전력시설은 크게 증가할 수 밖에 없다. 따라서 지상에서 동력원으로 이용되고 있는 내연기관은 지하의 밀폐된 공간상황에서는 사용이 불가능하다. 그러므로 어느 장소에서도 불완전 연소 Gas의 발생을 제거하기 위한 시설물의 Operation은 전기에너지에 의존해야 한다고해도 과언이 아니다. 이와 같이 시설물 가동을 위한 전원시스템은 중앙운용 System으로부터 자동제어되는 개개의 System을 종합하여 이용하려면 전기설비와 관련된 방

재시설은 지상에서 보다도 정밀하고 첨단화된 기술수준이 요구된다.

4.3 환경적조건 3

지하공간내 삶의 형태는 낮과 밤의 구분이 되지 않을 것이다. 인간의 생체적 리듬상 Shift Cycle을 고려하여 24시간 Full Operation System으로 운용되겠지만 궁극적으로는 자동화 운용체계에 의존하지 않을 수 없다. 가령 개방된 Space의 감시, 제어장치는 일반적인 기술수준에 의존한다 할지라도 밀폐되고 Monitoring의 사각지대에 대한 방재설비는 그야말로 가장 심혈을 기울여야 할 분야이다. 따라서 Computer에 의한 Systematic Checking Procedure을 기본으로 열, 빛, 공기흐름, 압력차에 대한 감시, 제어장치에 대해서는 지하/해저도시에 반드시 적용해야 할 System이다.

4.4 환경적조건 4

지상은 재난발생시 공중 또는 시설내 수직피난통로 또는 수평 탈출로를 이용하여 위험으로부터 신속한 대처가 이루어질 수 있다. 그러나 지하/해저도시는 재난발생시 대처에 한계가 있을 수 밖에 없으므로 Power Plant가 Shut Down 되거나 Power Supply Line상 어떠한 Damage가 입혀지지 않도록 철저히 건설단계전방재설계가 선행되어야 한다. 이 때 상황별 자동작동되는 독립 Plant 시설과 Energy storage/Power Supply Facilities등은 인류의 지하도시의 생존 가능성과 비상사태시 대처해야 하는 종합 방재 System의 최종 목적이라 할 수 있다.

5. 지하/해저도시의 방재시설의 기본제언

앞에서 언급한 환경적조건 “1” “2” “3” “4”의 내용을 종합해보면 지금까지 소방법상 일반화된 소화설비의 개념을 뛰어넘는 새로운 방향을 추론해 낼 수 있다. 예를 들어 지상과 같이 Fire Station이나 소방차 또는 물을 사용해 화재를 진압하는 재래식 소방개념은 그 차원을 달리해야 할 필요가 있다. 아울러 지상과 해저도시와의 통신, 구조, 피난등은 물론 압력차에 의한 방재시설의 설계가 기본적 조건이 되어야 할 것이나 다음에 대하여 제언하고자 한다.

5.1 제연설비

화재시 발생한 연기는 방호공간내에서 수평이동속도는 0.5~0.7 m/sec이고 수직방향의 상승속도는 1.5~3 m/sec의 빠른속도로 이동한다. 또한 유독Gas를 포함

한 고온의 연기는 자체적으로 부유력이 강해 천장부로 빠르게 확산하게 된다.

따라서 시각적인 피해, 심리적인 공황외로 가장 중요한 즉 산소중단시 2초내 뇌세포가 괴사하는 생리적 피해가 가장 치명적이 된다. 따라서 방화구획내 발생된 유독 Gas를 포함한 연기는 천장부의 수평면으로 개방된 수천개의 Hole을 통해, 제연전용 Duct와 연결되고 진공압력차로 운반되어지는 유독성 Gas/연기는 배연압축 storage Tank에 일시 저장된 후 제트기류에 의해 지상으로 배출시킬 수 있도록 해야 한다. 이와같은 방법은 강제배연방식의 일종이지만 강제 송풍방식으로 Smoke Layer를 수초내 처리할 수 없는 문제 및 진공압력차를 이용한 소화설비를 설계적으로 연결하기 위한 방법으로 제안한 것이다.

5.2 소화설비

이 설비는 제연구역내 유입되는 초저온 냉각공기의 온도에 관한 문제가 설계적인 관건이 된다. -20°C 또는 -30°C 이상일 경우 진공압력차로 방화구역내 벽면으로부터 유입되는 Watermist는 즉시 미세한 얼음알갱이로 변해 화재발생구역내 구석구석으로 퍼져 직접적으로는 인화점, 연소점을 급격히 낮추는 역할로서 효과가 있을 것으로 판단된다.

또한 경보설비의 화재신호에 따라 동작하게 되는 소화유도탄이나 소화탄은 초저온 냉각물질로서 국부적으로 -200°C 이상 되는 상태에서 고성능 수화열 흡수상황과 Sticky한 상태유지는 물론 거품효과로서 공기와 의 절대적 차단이 이루어지도록 해야 한다.

5.3 경보설비

현재까지 개발된 소방시설중 가장 기술적으로 첨단화 된 분야는 자동화재탐지설비이다. 이 System은 화재의 조기발견 및 조기 피난을 위해 개발되었으나 아날로그 기술의 도입으로 반도체기술이 이용되고 있지만 시스템 통합(System Integration)이 이루어져 오작동이나 비화재보동의 문제를 해결하고 있다고는 하나 화재발생조건 및 소방환경적 상황을 감안하면 현재 적용하고 있는 경보설비외에 많 다음이 요구될 것이다.

일반적으로 감지기 또는 발신기에서 전달되어지는 화재신호가 중계기를 거쳐 고유신호로 수신되어 화재의 발생을 종합방재센터로 전송하지만 1차적으로 이를 컴퓨터가 정확히 인지하여 분석한 결과를 정확히 화재 초기진압장비에 명령하게 하여야 한다.

지하도시내의 각 방호구역내에 긴 Patrol Way를 따

라 순찰하고 있는 MFDM(Movable Fire Defense Missile), TFDG(Tracking Fire Defence Gun)등은 2차로 유효사거리내 가연물 연소시 불꽃의 복사에너지 Spectrum 분석을 통하여 동작할 수 있는 조기화재 감지 System을 갖추고 있어야 한다.

5.4 피난설비

지하도시내 피난기구는 시설물의 높이에 따라 달라질 것이나 지상에서와 같은 필요 없을 것으로 보이며 오히려 피난을 위한 특별 장치가 필요하다.

왜냐하면 첨단화된 개인 통신기구를 통해 또는 조기 화재경보신호로서 단계별 경보발령 및 구체적 피난 Route의 지시가 이루어져야 하기 때문이다. 따라서 수평으로 안전하게 이동되는 피난장치(Covering Escape Escalator)와 수직으로 상승하는 Escape Elevator가 피난의 핵심이 될 것이다. 다만 비상시 긴급탈출은 Escape Capsule로서 수직 Shaft를 통해 지상으로 탈출토록 한다.

이 때 방화구획은 단계적, 체계적 방재운영 Program에 의해 Operating 되며 방화구획을 탈출한 사람들은 피난로상에 가압방연시스템의 보호를 받으며 안전하게 피난 Escalator와 피난 Elevator로 탈출할 수 있도록 해야 한다.

특히 피난설비 및 부대장치는 Shaft내 진공의 원리와 지하수의 수압차에 의한 운동에너지 원리를 적용하여 피난시 동력의 Shut Down 상태에서도 기동이 가능한 기능이 요구된다.

6. 맺음말

지하/해저도시는 패쇄되고 통로가 복잡하며 밀폐된 공간내 인간생존을 가능케 하는 미래과학의 첨단화를 의미한다.

본 제언은 우리가 알고 있는 상식과 기개발되어진 기술만을 믿고 준비에 소홀한다면 최초부터 이 가설은 공상과학 영화의 한줄거리로 치부될지도 모른다.

이제까지 소방/방재 분야에 참으로 많은 기술개발과 해박한 지식을 갖고 이루어낸 업적은 이루 헤아릴 수 없다. 그러나 우리 인류가 장차 닥칠지도 모르는 미래 생존의 길을 먼저 예견하고 지하도시의 개발설계에 임할 필요가 있다. 상황적으 가설한 것에 대해 최소한 동기부여만이라도 할 수 있다면 지하가 아닌 지상에서 현재 필자의 제언 사항중 일부는 응용할 수 있는 분야의 연구도 가능하지 않을까 한다.