

地下空間環境 및 防災技術開發을 위한 基礎研究

Basic Research on Environment and Safety Control
of Underground Space

研 究 機 關

財團法人 韓國資源研究所

科 學 技 術 處

提 出 文

科學技術處長官 貴下

본 보고서를 “地下空間 環境 및 防災技術開發을 爲한 基礎研究”과제의
최종 보고서로 제출합니다.

1994년 12월 일

주관 연구기관 : 한국자원연구소

총괄 연구책임자 : 강 창 희

연구 원 : 김 복 윤

이 상 권

이 종 림

홍 성 규

要 約 文

I. 題 目

地下空間 環境 및 防災技術開發을 爲한 基礎研究

II. 研究開發의 目的 및 重要性

우리나라는 세계 제3위의 높은 인구밀도와 국토의 70%이상이 산악지로 되어 있으며 또한 인구의 도시 집중으로 도시지역 국토 활용을 극대화하기 위하여 공공시설을 위한 지하공간 개발이 요구되고 있다.

특히 암반이 견고하다는 유리한 조건때문에 지하공간개발이 더욱 활발히 추진되고 있으며 이미 얕은 심도의 지하공간은 많이 개발되어 이용되고 있다.

그러나 이러한 지하공간내 환경제어 및 재해예방 기술이 우리나라에서는 미비한 상태이므로 지하공간 개발의 중요 기술분야인 환경 및 방재기술을 개발할 필요성이 강조되고 있다.

본 연구는 지하공간내 환경제어 및 방재기술을 개발하기 위한 기초조사와 문제점도출 및 이미 개발한 광산 갱내통기 System Software의 적용성 검토에 그 목적을 두고 있다.

III. 研究開發의 內容 및 範圍

지하공간 활용의 필요성 및 이점과 국내외적으로 현재 지하공간 활용현황 및 전망에 대해서 검토하는 한편 지하공간이 공공시설로서의 환경에 대한 기본적이고 이론적인 고찰과 환경인자 규정 사항에 대해서도 검토하였다.

또한 국내에 이미 개발되어 활용하고 있는 천부의 지하공간시설이 많이 있지만 그 전체를 대상으로 조사할 수는 없으므로 무작위로 3개소의 지하공간을 Model로 선정하여 현황조사와 환경인자인 풍량, 풍향, 산소농도, 탄산가스 농도, 일산화탄소 농도, 분진 농도, 온습도 및 Rn가스 농도 등을 수차에 걸쳐 조사 측정하고 그 조사 측정치에 대하여 검토 분석하였다.

또한 기 개발한 광산 갱내통기 System Software를 지하공간 환기계통에 적용 가능 여부를 검토하기 위하여 3개 Model지하공간에 대해서 적용시도를 하였다.

IV. 研究開發 結果 및 活用に 對한 建意

지하공간 이용의 필요성 및 이점과 국내외 지하공간 이용현황 및 전망 등을 검토하고 이미 개발 활용하고 있는 국내 지하공간중 3개소를 Model로 선정하고 환경인자를 조사 측정하여 검토 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

- 1) 국내외적으로 공공시설로 지하공간 활용이 날로 증대 및 확대될 전망이다.
- 2) Model 지하공간내 환경인자인 각종 가스 농도는 환경 허용 기준치 이하에 있는 양호한 상태이다.
- 3) Model 지하공간내 환경인자인 가스농도는 그 주변 외기의 농도 보다 높다.
- 4) 지하공간내 통행인원 및 상주인원수가 증가함에 따라 탄산가스의 농도는 상승된다.
- 5) 지하공간내 환경인자인 가스농도는 주변 외기의 오염 농도의 영향을 많이 받는다.
- 6) 집진장치를 설치한 개소의 지하공간은 외기의 분진농도와 비슷하거나

약간 높은 실정이다.

- 7) 광산 갱내통기 System Software를 Model 지하공간환기 계통에 적용 전산 해석을 시도하였으나 이 Software를 직접 적용하기는 곤란하고 수정등 별도의 Software개발이 요구되고 있다.

建 意

- 1) 지하공간 주변 대기가 오염되지 않도록 노력하여야 한다.
- 2) 오염도가 비교적 낮은 지상으로 부터 좀 높은 곳의 외기를 지하공간 내로 투입시켜야 한다.
- 3) 지하공간으로 외기를 투입시키려는 선풍기에 각종 양호한 정화장치를 설치해야 한다.
- 4) 지하공간 환기계통의 해석과 Simulation을 위하여 별도의 Software를 개발해야 할 것이다.
- 5) 지하공간내 동시 최대 통행인원 및 상주인원수를 대상으로 한 소요 환기량을 계산 결정하고 지하공간내로 투입시키도록 해야 한다.

여백

Abstract

It is well known that there is a number of natural caves or caverns around the world. Some of these were probably man's first dwellings. Geotechnical people, however, define a cavern excavated in rock as an underground space. During the last two-three decades there has been a rapid development in excavation technics for rock masses. Simultaneously there has also been a rapid growth of our cities, and an increasing awareness of the quality of our environment.

This has led to an almost exponential increase in the use of the underground spaces. This is clearly demonstrated by the facts that during the 20 years from 1967 number of cities with subway system increased from 30 to more than 80, and that the number of long highway tunnels(more than 3km) has doubled from 28 in the period 1970-80 to 56 in the period 1980-90.

It is required to develop underground spaces in Korea, as well, looking account of ever increasing urban population and shortage of surface area especially in highly populated downtown area. Underground development in Korea is encouraged by the comparatively fare condition of rock masses and many openings are used already in shalow depth.

For the reasonable and sound utilization of underground spaces, the technology to control the environment and disasters is essentially requested. This research has been carried out to figure out the general status of worldwide trends and prospects, and to study fundamental and theoritical aspects of underground en-

vironments where humanbeings are to be exposed.

For these purposes, we observed many underground openings for public use both in abroad and Korea. Three places of underground openings in Korea were chosen as a model case and measurements of environmental factors have been conducted through the year for checking whether the environmental parameters fall below the permissible level or not.

The measured factors were ventilation air flow, air flow direction, concentration of oxygen, carbon dioxides, Carbon monoxide, and dusts, temperature and humidity, radon gas concentration etc. Finally the applicability of computer simulation program has been tested which had been developed several years ago for analyzing complicated ventilation network in deep mines.

The result of this research can be summarized as below ;

- 1) The public utilization of underground spaces will be encouraged continuously.
- 2) The measured result of the environmental parameters of three test sites appeared below the permissible level.
- 3) The gas concentration of underground openings was higher than that of surface all the time.
- 4) The concentration of carbon dioxides increases proportional to the number of people underground.
- 5) Gas concentration of underground spaces are directly influenced by the that

of surface air.

- 6) Dust concentration in underground air which was taken through the dust collector is same or slightly higher than that of surface air.
- 7) It was found that the simulation program developed for analyzing ventilation network of underground mines is not applicable directly to the underground spaces such as underground shopping area or subway platform.

The following aspects are suggested for better utilization of underground spaces :

- 1) Basically, it is very important to maintain clean surface air to keep clean underground air.
- 2) The intake air to the underground should be taken from unpolluted point, higher position than the height of people.
- 3) All the intake air has to be passed through appropriate purifiers.
- 4) It is needed to develop a new simulation program for three dimensional analysis.
- 5) Total air volume in underground has to be decided based on maximum number of people in same time of the day.

여 백

目 次

I. 서 론	1
II. 지하공간 이용의 필요성 및 이점	2
II-1. 필요성	2
II-2. 지하공간의 이점	3
III. 국내외 지하공간 이용 현황 및 전망	8
III-1. 외국의 경우	8
III-2. 국내의 경우	13
IV. 지하공간 환경	17
IV-1. 통기(=환기 : Ventilation)	18
IV-2. 분진	21
IV-3. 방사선	27
IV-4. 소음	29
IV-5. 조명	32
IV-6. 열환경	34
IV-7. 재해방지	37
V. 연구대상 지하공간 선정 및 현황	39
V-1. 선정	39
V-2. 현황	40

VI. 지하공간 환경조사측정	41
VI-1. 측정 장비	41
VI-2. 조사 측정	58
VII. 분석 및 고찰	76
VII-1. 갱내통기 Software적용 시도	76
VII-2. 분석 및 고찰	93
VIII. 결 론	101
참고문헌	102

Contents

I . Introduction	1
II . Neccesity and merit of utilization of Underground spaces	2
II -1. Necessity	2
II -2. Merit	3
III . Status of Utilization of underground spaces	8
III -1. Abroad	8
III -2. Korea	13
IV . Environment	17
IV -1. Ventilation	18
IV -2. Dusts	21
IV -3. Radio activities	27
IV -4. Noise	29
IV -5. Illumination	32
IV -6. Thermal environment	34
IV -7. Disaster prevention	37
V . Introduction of test sites	39
V -1. Sellaion	39
V -2. Status	40
VI . Measurement of environmental parameters	41
VI -1. Measuring instruments	41
VI -2. Measurements	58
VII . Study and analysis	76
VII-1. Test application of simulation program	76
VII-2. Discussions	93
VIII . Conclusions	101

I. 서 론

인류는 원시시대때부터 자연동굴을 이용하여 생활하였던 것은 누구나 부정할 수 없을 것이다. 이러한 동굴을 지하공간이라고 하며, 지질공학적으로는 암반내에 굴착된 공동이라고 정의하는 것이다. 지난 20-30년간에 지하공간 굴착 기술은 눈부시게 발전되어 왔으며, 인구 팽창과 인구 도시집중에 의한 도시 팽창이 급속화하므로써 지하공간을 공공시설로 이용하는 경향이 있으며 이미 굴착개발 사용하는 예도 많이 있다. 1967년부터 1987년까지 20년 사이에 지하철을 갖고 있는 도시가 30개에서 80개로 늘어났다. 그리고 3km이상의 장거리 터널도 28개에서 56개로 두배나 증가하였다. 앞으로 도 계속 지하공간의 이용이 확대될 전망이다.

우리나라에서도 인구의 도시집중 현상으로 도시지역의 활용을 효율화하기 위하여 지하 공공시설을 위한 지하공간 개발이 요구되고 있다. 특히 암반이 견고하다는 유리한 조건때문에 지하공간 공공시설 개발이 더욱 활발히 추진되고 있으며 이미 얕은 심도의 지하공간은 많이 굴착 개발되어 이용하고 있는 실정이다.

그러나 이러한 지하공간내 환경제어 및 재해예방기술이 우리나라에서는 미비한 실정이므로 지하공간개발의 중요 기술분야인 환경 및 방재기술을 개발할 필요성이 대두되고 있다.

따라서 본 연구는 공공용으로 활용되고 있는 지하공간내에 환경제어 및 방재기술개발을 위한 전초적인 기초단계로 현재 국내외 여러 곳에서 이용되고 있는 지하공간의 현황과 환경문제를 소개하고 국내서 이미 개발하여 활용하고 있는 천부 지하공간인 지하철 및 지하상가 등 몇개소를 Model로 선정, 그 곳에 대한 환경기초 조사와 실측을 하여 문제점을 도출하는 한편 기개발한 광산 갱내용 통기 System Software의 적용가능성 검토 등에 대한 연구를 수행하였다.

Ⅱ. 지하공간 이용의 필요성 및 이점

Ⅱ-1. 필요성

인류 문명의 급격한 발전은 미래의 인간생활에 큰 영향을 줄 것이다. 세계 인구가 급속히 늘고 각국이 더 나은 생활을 영위하고자 함에 따라, 세계는 더 많은 식량, 에너지 및 광물자원을 공급해야 한다. 그러나 이와같은 일은 다음의 세가지 측면에서 어려움을 갖고 있다. 즉 농지의 개발전용, 세계인구의 도시집중화 및 지구온난화 등 환경유지 및 개선에 대한 요구이다. 지하공간의 이용은 이러한 문제의 해결에 도움이 될 수 있는 것이다.

어떤 시설이나 기능을 지하로 옮김으로써 도시의 지표공간이 유용하게 이용될 수 있으며 그렇게 하여 농지나 여가선용을 위한 지표공간을 살릴 수 있는 것이다. 또한 경사지에 반지하식 주택을 지음으로써 산야의 지표선을 유지할 수 있다. 지하공간 이용으로 인간은 생활의 질을 높이면서 더 편리한 생활을 할 수 있게 해줄 수 있다.

도시, 지방 어디서나 현대사회에 요구되는 복잡한 시설들을 지하에 수용함으로써 지표환경을 보전할 수 있다. 예를 들면 어디서나 더 낫은 교통수단, 편의시설, 여가선용 시설 등을 필요로 하고 있다. 세계 대도시들은 교통체증이 한계에 도달하여 있는데 이러한 문제들은 지상의 환경을 해치지 않고 인근 주민에게 폐를 끼치지 않고, 지상에 새로운 구조물을 설치할 수 없다면 매우 해결하기 어려운 일이다.

세계 각국의 자원소비 증가추세는 더 깊은 심도에서의 광물채취, 더 어려운 조건에서의 석유 및 가스 개발 등을 하게 하고 있다. 또한 이러한 추세는 에너지생산 및 소비, 유해폐기물의 처리 및 고속운반 수단 등에서 고도의 기술발전을 가져오게 하고 있으며 이러한 발전들이 모두 지하공간 이용과 관련이 있는 것이다.

특히 우리나라는 세계 第3位の 높은 人口密度와 國土의 70% 以上이 山地로 되어 있어 國土의 效率的 利用을 爲하여 地下空間의 開發이 要求되고 있다. 特히 岩盤이 堅固하여 地下空間의 開發에 有利한 條件임으로 農水産物貯藏, 核廢棄物處分, 上下水道施設, 發電施設, 慰樂施設, 地下都市, 地下방카 等 地下空間의 利用을 爲한 研究가 필요하다. 특히 地下空間 開發技術의 核心技術인 環境制御 및 災害豫防 技術이 不足한 實情이므로 이 분야의 연구가 필요하다.

II-2. 지하공간의 이점

II-2-1. 입 지

입지상의 이점이란 이미 지상시설로 꽉찬 도시같은 곳에서 관련시설을 건설하고자 할 때 지상에서는 도저히 기존시설과 인접시켜 건설할 수 없으나 지하공간의 경우는 인접해서 건설할 수 있다.

II-2-2. 격리성

암반 또는 지반속에 건설되는 지하공간은 지상 시설에 비하여 격리성이 뛰어나서 다음과 같은 이점들을 갖고 있다.

1) 기상조건

○ 열환경

어느 곳에서든지 지하 50m이하에서의 온도환경은 많이 변화하는 지표에 비하여 안정적이어서 에너지 절약이나 에너지 보전에 매우 유리하다.

— 지상 구조물과 같이 주위의 낮은 온도에 의한 전도열 손실이

거의 없다.

- 더운 지방에서는 지열에 의한 냉방효과가 있다.
- 환기조절용 에너지 소비가 적다.
- 높은 열관성 때문에 최대난방 및 냉방 부하가 작다.

○ 악천후

지하공간은 태풍, 돌풍, 폭풍우, 장마 등에 영향을 받지 않는다. 물론 출입구는 이들에 대비한 설계가 필요하다.

○ 화재

외부화재에 대하여 자연차단된다. 지진 등에 의한 대규모 지상화재가 잦은 지방에서는 그 이점이 더욱 돋보일 것이다.

○ 지진

지하공간은 지진에 대하여 지상에 비해 월등히 안전하다.

- 지표는 지표파(Surface wave)때문에 지반거동이 크게 증폭된다.
- 지하공간은 높은 지압에 대응한 지보설계가 되어 있어 지진의 여파는 지표에서와 같이 큰 부하로 작용하지 못한다.

2) 방 호

○ 소음

약간의 복토라도 지상의 소음을 억제하는데에 큰 효과가 있다. 이러한 특징은 고속도로변이나 공항 인접 지역같은 곳에서 매우 효과적으로 발휘될 수 있다.

○ 진동

지표에는 도로, 공장, 지하철 등 진동원이 많다. 이 진동은 지하심도에 따라 급격히 감쇄된다. 따라서 진동이 금기시되는 하이테크 공장 등에는 매우 유리한 이점이다.

- 폭발

지표상에서 어떤 폭발이 있을 경우도 지하공간은 그 복토의 높은 흡수력 때문에 안전하다.

- 방사능 낙진

원폭의 방사능 낙진에서 방출되는 방사능은 콘크리트, 철판 및 표토의 수십 cm까지 침투된다. 지하공간은 출입구가 한정되어 있어 이점에서 매우 유리하다.

- 산업재해

비군사적인 산업재난이나 테러도 무시할 수 없다. 폭발, 방사능 누출, 유독성 화학물질 등으로 부터의 보호측면에서도 유리하다.

3) 보안

지하공간의 보안상 이점은 기본적으로 외부와의 접촉면에 제한되어 있는 것이다. 따라서 입구를 제외한 장소로는 침입이 거의 불가능하다.

4) 밀폐

- 유해성 물질

유해물질을 지하에 저장하면 방호, 차단, 안전면 등에서 매우 유리하다. 적당한 위치에 잘 설계하여 저장하면 누출의 염려나, 지표환경의 오염 염려가 전혀없다. 저준위 및 고준위 핵폐기물, 또는 유해화학 물질들 등의 폐기나 저장이 이에 해당된다.

- 유해물제조공정

지표상에서 폭발등의 사고를 일으킬 수 있는 제조공정이 지하에 설치되면 주변환경 및 주민에 대한 위해가 현저히 감소 내지 예방된다.

II-2-3. 보전성

1) 미관

○ 시각적 영향

시설이 지하화 되면 동일 시설이 지표에 설치되었을때 보다 시각적 영향이 적어 자연미관의 보전이 가능하다.

○ 실내분위기의 특성

지하공간에서는 갱도와 방, 자연석의 벽면 등 지표에서 느낄수 없는 적막과 격리감을 주는 분위기를 자아낼 수 있다.

2) 환경상 이점

○ 자연경관

자연경관을 그대로 유지 보전할 수 있다.

○ 생태계 보전

지표의 식물을 훼손하지 않음으로써 지구전체 생태계의 파괴를 방지할 수 있다.

○ 강수량의 저장

지표가 보전됨으로 강수량을 머금을 수 있게 되어 지하수 공급을 증대시키고 폭우 등에 의한 사태 등도 예방할 수 있다.

3) 재료

지하구조물은 구조자체나 구조물안에 저장되는 재료의 보전면에서 유리하다.

II-2-4. 설계

지상에서는 지형조건이나 기존시설물 때문에 설계시 제한이 뒤따르지만

지하에서는 3축방향으로 자유롭게 설계가 가능하다.

1) 전체비용절감

초기 시설투자비와 유지를 포함한 총원가가 지표 시설때 보다 저렴하다.

2) 초기투자 절감

지표와 비교할 때 대지값이 매우 적게들기 때문에, 특히 땅값이 비싼 도심의 경우, 초기 투자비가 절감된다.

3) 건설비 절감

일반적으로 지상 건축비에 비하여 비싼 경향이 있지만 시설의 규모나 성격에 따라서는 지상구조물 보다 원가가 적게드는 예도 많다.

4) 굴착한 암석의 판매 가능

굴착된 암석을 판매할 수 있어 굴착비의 일부를 상쇄할 수 있다.

5) 특정 설계시 경비절감

단열에 의한 냉난방 시설의 용량축소, 보안과 관련된 시설 축소 방진, 방음시설 축소 등이 가능하다.

6) 유지보수비 절감

건물의 각 부분에 영향을 주는 온도변화, 자외선, 결빙 및 해동 등 환경의 영향으로부터 격리되어 있어 보수유지비가 절감된다.

Ⅲ. 국내외의 지하공간 이용 현황 및 전망

Ⅲ-1. 외국의 경우

70년대 석유파동때부터 OECD국가들 중심으로 21세기의 도시는 지상에 는 주택, 공원, 광장에 한정되고 운송, 교통, 통신, 전력, 수도, 가스, 주차장, 창고, 쓰레기, 하수처리 등 모든 시설물을 지하화하여야 한다는 연구가 발표된 바 있다.

그이후 선진 각국에서는 미래의 무한 공간인 지하공간을 활용하기 위하여 스포츠시설, 음악공연장, 상하수처리장, 에너지저장시설, 발전시설, 지하상가 등 지하공간 활용를 확대하고 있으며, 장래에는 도심도에 대규모 지하도시 건설을 목표로 여러가지 계획을 수립하고 막대한 규모의 예산을 투입하여 연구를 활발히 하고 있다.

최근 노르웨이는 94년 동계올림픽 아이스하키장을 지하에 건설하여 폭 61m라는 세계최대의 공간을 과시하고 있다. 지하공간은 다음과 같은 용도로 활용되고 있다.

1) 주거생활 공간

2) 저 장

○ 식품

- 곡물, 야채 등의 냉장온도 저장
- 생선, 육류, 아이스크림 등의 냉동저장

○ 물

- 일반용수
- 에너지 공급용 온수

- 석유류 및 기타 액체탄화수소
- 고압 가스 또는 공기
- 산업 폐기물
- 핵 폐기물
- 기 타

3) 산업시설

- 발전소
 - 수력발전소
 - 화력발전소
 - 원자력발전소
- 공장
- 실험실
- 통신센터

4) 자치단체 시설

- 교통시설
- 상수도 정수시설
- 하수 처리시설
- 공용 주차시설

5) 공연장 및 위락시설

- 극장
- 연주홀
- 체육관

- 수영장
- 아이스하키장
- 식당

6) 방호용

Ⅲ-1-1. 주거생활 공간

지하공간은 인류 최초의 주거공간으로 일컬어지고 있다. 필시 그들은 천연동굴이나 원시적인 방법으로 굴착된 공간에서 살았을 것이다. 그이후 문명이 발달하면서 주거공간은 지상으로 발전되어왔으나 근래에 와서는 도시 지상공간의 부족, 에너지 절약, 환경보전 기타 여러가지 이유로 지하공간의 이용이 늘어나 현재는 지하에 생활하는 인구가 역사상 가장 많다고 할 수 있을 것이다. 중국에는 아직도 약 500,000명이 지하동굴에 생활하고 있다고 한다. 현대사회는 지하의 주거공간 이용에 많은 관심을 갖고 있다. 그 첫째 이유는 에너지 절약과 자연환경 보전이다.

Ⅲ-1-2. 저장용 공간

인류는 여러세기동안 지하공간을 저장목적으로 이용하고 있다. 그 첫째 이유는 잘 보호받을 수 있고 일정한 온도가 유지되기 때문이었다. 근래에는 그외의 장점을 살리고 있는데 예를 들면 큰 유류탱크를 외부에 보이지 않게 설치할 수 있고, 또한 그 규모가 5,000-10,000m³이상으로 커질때는 지하에 설치하는 것이 가장 비용이 적게 든다든가 하는 점 등이다. 용량 10,000m³에서 100,000m³까지의 원가곡선을 보면 원가가 50%나 절감된다고 한다.

스칸디나비아 국가들의 예를 보면 지하의 식품 저장은 지상 저장에 비

하여 냉장저장은 지상저장에 비하여 75%, 냉동저장은 25%의 에너지 소비에 그친다는 것이다. 그리고 지하의 벽면은 무한두께로 만일 냉장시설이 고장이 나더라도 수주간은 그 온도 상승이 2-3도에 머물어 큰 어려움이 없다는 큰 장점이 있다. 음용수의 지하저장은 오염이나, 전쟁 및 기타 테러 등에 대하여 안전하며 저온으로 일정한 온도를 유지할 수 있다.

스웨덴에서는 지하공간의 온수를 이용하여 에너지를 저장하고 있다. Avesta에는 용량 15,000m³, Lychebo에는 100,000m³시설의 온수 저장시설이 있어 태양열을 온수로 변화시켜 저장하였다가 550가구에 에너지를 공급하고 있다.

유류의 대용량 지하저장은 이미 세계 여러나라에서 보편화되었다. 대체적으로 유류저장용 공간은 폭이 17-20m, 높이는 25-30m 길이 200-500m 정도의 공간 2줄 내지 5줄이 평행으로 배치되어 있다. 유류의 누출 방지를 위하여 주벽과 천정부에 수막(Water curtaion)을 형성시켜 놓았다. 가스류는 압축을 하던가 LNG같은 경우는 -160내지 -170도의 저온저장을 하고 있다.

스웨덴에서는 핵폐기물의 지하저장을 처음으로 시도하였다. 발틱해저지하 60m 깊이에 70m 높이의 콘크리트 싸이로에 고준위 폐기물을, 그리고 160m 길이의 여러개의 방에 저준위 폐기물을 보관시키고 있다. 총 저장용량은 60,000m³이다.

Ⅲ-1-3. 산업시설용 공간

산업시설용 지하공간은 저장용에 비하여 설계상 평면적이 넓어진다는 특징이 있다. 따라서 암반조건이 더 좋아야 하며 시공상 고도의 기술이 필요하다. 현재 전세계에는 400-500여개소의 지하 발전소가 있다. 대부분이 수력발전소이며, 화력이나 원자력 발전소의 지하화에 대해서는 아직 확실한

결론이 없는 상태이다.

노르웨이에서는 이미 1954년에 25,000㎡에 달하는 탄약 공장을 가동했으며, 오슬로에는 지하 기관차 정비창이 있다. 핀랜드의 Valmet사는 오래전부터 지하 기계 조립공장을 갖고 있다. 또한 핀랜드의 Otaniemi에는 유사시 방공호로 대체할 수 있는 평면적 15,000㎡의 지하공간에 핀랜드기술연구소 연구실이 있다.

Ⅲ-1-4. 정부공공 시설

도시 교통수단으로서의 지하철 및 지하차도는 인구증가와 도시집중화에 따른 도시 교통문제 해결을 위하여 세계 각국에 널리 보급되고 있다. 상수도 시설로는 1970년 시설된 노르웨이 오슬로의 상수도 시설을 예로 들 수 있다. 총 평면적 30,000㎡에 350,000m³의 상수도시설로 500,000인구의 생활용수 공급을 할 수 있는 시설이다. 하수처리 시설도 역시 스칸디나비아 여러나라에서 대소규모의 시설들이 가동되고 있다. 스톡홀름에만 6개소의 지하 하수처리 시설이 있다. 이 시설들은 725,000 인구의 하수를 처리하고 있다. 최근의 지하주차 시설로는 오스트랄리아 시드니에 건설된 오페라하우스 지하주차장을 들 수 있다. 이러한 시설들이 지하화함으로서 지상의 자연을 보호할 수 있고 시설비절감 및 유지비 절감 등을 가능하게 하고 있다.

Ⅲ-1-5. 공연장 및 위락시설

지난 20여년간에 지하 공연장 및 위락시설의 개발이 특히 많았다. 이 시설의 공통적인 특징은 유사시 방공호로, 평화시는 위락시설로 사용할 수 있는 두가지 목적을 갖고 있는 것이었다. 따라서 건설비의 일부는 국방당국에 의해 부담되었다.

1972년에 최초로 건설된 체육시설은 작은 도시인 Odda시에 있다. 총면

적 2,700㎡로 육상트랙, 사격장, 핸드볼구장 등이 포함되어 있다. 그리고 노르웨이의 Gjøvik(요빅)에는 최초로 국제규격의 수영장이 건설되었으며, 이곳에는 지역 민방위 본부와 전신전화국 본부가 함께 배치되었다.

특히 1993년에는 세계 최대의 지하공간인 올림픽 아이스하키장이 추가로 건설되었다. 이 아이스하키장은 폭 61m 길이 91m, 높이 25m로 현재까지는 세계 최대이다. 그외에도 세계 여러나라에 이와 유사한 시설들이 속속 건설되고 있다.

Ⅲ-2. 국내의 경우

한국은 70년대 이후 지하상가, 유류비축시설, LNG저장시설, 지하양수 발전소 등의 지하공간 개발이 시작되었으며, 최근에는 도시 과밀화 및 지가의 급등에 따라서 지하도시 개발 구상이 구체화하고 있는 단계이다. 한국은 암반이 비교적 양호하여 지하공간 개발에 유리한 조건을 갖추고 있다.

특히 지상 교통사정의 악화로 지하철 및 지하차도 건설 등이 급격히 증가하고 있어 지하에서 생활하는 인구수가 날로 증가하고 있다.

Ⅲ-2-1. 지하철

1971년에 서울 1호선 9.5km가 완공된 이후 1985년에는 총연장 123km로 증가되었으며 1990년 부터 총연장 120km의 추가 공사가 진행중이다. 1996년까지는 5호선에서 8호선까지가 완공 예정이고 제3단계로 1999년까지 추가공사가 끝나면 총연장이 400km가 되어 서울시내 교통의 75%를 담당하게 될 것이다. 이어서 부산도 1999년까지는 총 153km로 총교통수요의 45%를 담당할 예정이고, 인천은 1997년부터 2008년까지 총 87km를, 대구는 1996년부터 개통되기 시작하여 2020년까지 총 185km를 건설할 예정이며, 광주 대전 등도 조만간 지하철 건설을 위한 계획이 진행중이다(표 1 참조).

표 1. 한국 지하철 종합계획

년도	연 장 거 리(km)				광 대 주 전	합 계
	서 울	부 산	대 구	인 천		
1975	9.5					9.5
1980						
1985	103.5					103.5
1990		26.1				26.1
1995	160.0	60.2				220.2
2000	120.0	66.9	73.0	26.1		286.0
2005				24.4		24.4
2010			25.0	36.3	202.0	263.3
2020			48.0			48.0
총 계	393.0	153.2	146.0	86.8	202.0	981.0

Ⅲ-2-2. 지하도(상가 및 통로)

1967년에 처음으로 서울 시청 앞에 1,085㎡의 지하도가 건설된 이래 1970년대에는 총 면적 94,000㎡에 불과했던 것이 현재는 324,000㎡에 이르고 있으며 단위 면적도 점점 대형화되고 있다.

Ⅲ-2-3. 지하주차장

일반건물의 지하 주차장을 제외하고도 심각한 도시 주차난을 해결하기 위하여 서울시는 종묘앞 공용지하주차장(1,418대분)건설을 시발점으로 앞으로 94년까지 66만대분의 지하 주차장을 건설할 계획이다.

Ⅲ-2-4. 지하도로

서울시는 급증하는 차량으로 인하여 현재 평균 주행속도 20km가 2000년에는 7km까지 떨어질 것에 대비하여 동서 남북을 연결하는 총 60km에 달하는 지하 고속화 도로를 건설할 계획을 세우고 재원 조달 및 환경제어 문제 등의 기술검토를 한 바가 있다.

Ⅲ-2-5. 지하 저수장

서울시 당국은 한강이북에 2,000,000톤규모의 지하 저수조와 700,000톤/일 규모의 급수시설을 건설할 계획을 세우고 있다. 이 시설은 불광과 북악 지역에 건설될 예정이며 특히 북악의 저수조는 지하 40m 심부에 지경 5m의 터널 총 4,650m를 굴착할 계획이다. 불광 저수조는 직경 7m 갱도 1,750m가 계획되고 있다.

Ⅲ-2-6. 원유 및 LPG 저장시설

에너지의 석유의존도가 높은 우리나라는 원유의 안정적 공급체계 구축을 위하여 대규모 저장시설을 필요로 하게 되었으며 이러한 시설의 경제성 및 전략상 안전문제 등을 고려하여 지하저장시설을 건설하게 되었다. 1982년에 최초로 건설된 바 있으며 1985년에는 세계 최대의 지하원유 저장 시설을 완공한 바 있다. LPG 저장시설은 민간 차원에서 1983년에 최초로 건설하였으며 1989년에는 국가재원으로 다른 1개소가 완공되었다.

Ⅲ-2-7. 지하도시

지상 토지이용의 한계성을 극복하면서 도심의 역할 분담을 하기 위하여 쾌적한 지하 도시 건설계획이 제시되고 있다. 이들 계획은 도심 한복판 지하 심도 120m까지를 종합 기능을 갖춘 지하도시로 개발하기 위한 계획들

이다.

- ABC광장 개발계획
- 도심지 개발모델
- Geoness City(서울 600)
- 도시 산악 지하공간 개발 구상
- Geotopia

IV. 지하공간의 환경

지하공간의 환경은 지하공간을 구축하는 과정과 공간이 구축된 이후의 환경으로 구분할 수 있다. 구축하는 과정의 작업환경은 지하공간을 개발하는 과정에서의 근로자들의 건강보호와 작업능률 향상 재해예방을 목적으로 하고 있으며, 공간구축 이후의 환경은 공간내에서 인간이 생활하기에 적합한 조건을 마련해 주는데 목적이 있는 것이다.

공간 굴착시 지하 작업장의 종합적인 환경은 주변암반의 물리적, 지역적 환경조건과, 작업의 종류에 의해 좌우된다. 일반적으로 환경은 지하굴착시의 단위작업 즉 발파, 적재, 운반, 지보시공 등에 기인되며, 공간을 구축하려는 주변 암반의 지질학적, 수리학적, 지형적, 생태학적 현상과 관계가 있다.

환경 요소별로 그 원인, 가능한 제어방법, 제어 특성 등의 일부를 표시하면 다음 표 2와 같다.

표 2. 환경 요소별 원인 및 제어 특성

요 소	원 인	제 어 방 법	제 어 특 성
가 스	자연 단위작업	통기 Scrruber	한계치, 농도 용출량
분 진	자연 단위작업	통기, 살수, 집진	농도 발생
방 사 선	자연	통기	농도, 방사량
열	자연 단위작업	통기, 냉각	Level, 온도 열유량
소 음	자연 단위작업	조정, 격리 방음	Level
조 명	자연 단위작업	조명	Level 섬광
출 수	자연 단위작업	집수, 배수, 지수, 동결 중화	유량
화 재	자연 단위작업	통기 내화재료	
폭 발	자연 단위작업	통기 내화재료	

IV-1. 통기(=환기 : Ventilation)

지하공간의 환경을 좌우하는 요소를 크게 나누어 보면 통기, 분진, 온도, 습도, 소음, 조명 등 여러가지가 있으나 현실적으로 가장 심각하고 긴급을 요하는 것은 앞의 세가지 분야 즉 통기, 분진, 온도 등이다. 그중에서도 역시 핵심기술은 통기이다. 그 이유는 통기가 개선되면 분진 및 온도는 어느정도까지는 저절로 해결될 수 있기 때문이다. 통기의 기본적인 목적은 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 1) 지하공간 내에서 활동하는 사람에게 충분한 산소를 공급
- 2) 폭발성 또는 유독성 가스, 연기, 분진 및 라돈가스 등을 허용농도 이하로 희석하여 지표로 배출
- 3) 사람이 생활하고 작업하기에 쾌적한 온도, 습도 유지

IV-1-1. 통기 기술의 실제

지하공간의 쾌적한 환경을 유지하기 위해서는 공해물질을 허용농도 이하로 희석하는데 필요한 공기를 공급하여야 하는데, 그러기 위해서는 지표로부터 지하공간에 이르는 통로 즉 입기풍도와 다 사용된 공기를 지표로 배출하기 위한 배기풍도가 준비되어야 한다. 보통 선풍기를 사용하지 않더라도 어느정도의 공기는 흐르지만 그 풍량이 불충분할 뿐 아니라 계절에 따라 흐름의 방향이 변하고 풍량도 변하는 등 필요로 하는 곳에 필요한 공기량을 공급할 수 없기 때문에 일반적으로 선풍기를 사용하고 통기를 조절할 필요가 있는 것이다.

1) 지하공간의 환경 기준 및 소요 통기량

지하공간의 소요 통기량은 다음과 같은 요소에 의해 결정되는데, 세가지 요소에 의한 산출치중 가장 많은량을 소요 통기량으로 한다.

- 공간내의 최대 체류 인원수
- 가연성, 유독, 유해가스의 발생량
- 기온 및 습도

지하공간의 환경 관리기준을 보면 굴착 단계의 작업장 관리 기준과 완공 후의 환경기준이 다르며 국내 법의 규정을 보면 다음과 같다.

○ 굴착 작업장의 환경 기준

산소 (O ₂)	: 19% 이상
탄산가스(CO ₂)	: 10,000ppm 이하
일산화 탄소(CO)	: 50 ppm 이하
일산화 질소(NO)	: 25 ppm 이하
이산화 질소(NO ₂)	: 3 ppm 이하
아황산 가스(SO ₂)	: 2 ppm 이하
호흡성 분진	: 2 mg/m ³

○ 완공된 공간내의 대기환경기준

일산화 탄소(CO)	: 20ppm 이하
탄산가스(CO ₂)	: 5,000ppm 이하
이산화 질소(NO ₂)	: 0.15ppm 이하
아황산 가스(SO)	: 0.15ppm 이하
호흡성 분진	: 0.3mg/m ³

2) 풍도설계

통기량이 결정되면 입배기 풍도의 단면이 결정되어야 하는데 이때는 제한풍속을 참고하여 단면을 설계하여야 한다. 가장 경제적인 설계를 하기 위해서는 전체 통기 Cost가 최소가 되도록 하여야 한다.

3) 통기망 해석

지하공간은 통기라는 측면에서 볼때는 공기가 흐르는 공간의 집합체라 할 수 있다. 공기가 흐르는 공간으로는 풍도, 굴착작업장, 각종 생활공간, 풍관, 누풍통로 등이 있으며, 이를 전체적으로 풍도라 부른다. 이러한 풍도들이 서로 유기적으로 연결되어 있는데 이것을 통기망이라 한다.

선풍기를 사용하지 않아도 공기의 밀도차(자연통기압)에 의해 어느정도 공기가 흐르지만 선풍기를 사용하면 더 많은 공기를 필요한 만큼 흐르게 할 수 있다. 통기망 해석은 통기망내의 풍도에 흐르는 풍량을 계산하여 필요한 개소에 필요한 만큼의 신선한 공기를 공급하고 유해 가스나 호흡성 분진 등을 희석시키거나 배제하기 위해서 필요한 것이다.

이와같이 지하공간의 작업환경 개선에 필수적인 통기기술은 유체역학적인 이론을 바탕으로 한 정확하고 신속한 계산이 뒷받침 되지 않으면 안된다. 그 이유는 통기에 영향을 주는 각종 요소 즉 풍도의 구조, 단면적, 연장 등이 수시로 변하고 지표의 공기 온도도 계절이나 주야로 수시로 변하기 때문이다. 따라서 어느 시점에서의 통기 상황을 정확히 파악하고 예측하여 미래의 계획을 세우고 필요한 대책을 마련하기 위해서는 신속한 통기망 해석기술이 필요하다.

통기계통은 크게 분류하면 앞에 말한 풍도, 선풍기 그리고 각종 조절장치 등으로 구성되어 있다. 이와같은 요소들로 구성된 통기계통은 광산의 경우는 그 특성상 매우 빈번하게 변화될 수 밖에 없다. 따라서 통기계통의 해석도 기동성 있게 뒤따라야 할 필요가 있다.

그리고 종래의 통기의 개념으로는 통기망 해석이란 다만 풍량을 대상으로 하였으나, 현재는 통기의 역할이 갱내의 고온환경이나 화재시의 대책 등 광범위해 지고 있다. 따라서 화재시의 통기계통의 변화를 신속히 계산하고 안전한 대피통로를 검색하기 위해서는 화재시의 해석이 필요하며 더 나아

가서 온도, 습도 등의 환경 해석도 필요하게 되었다.

이와같은 필요에 대응하기 위해서 이미 오래전부터 복잡한 통기망을 신속히 해석할 수 있는 기법이 개발되어 왔다. 지금까지는 kirchhoff의 전류와 전압법칙에 기초한 Hardy-Cross iteration technique(반복계산법)이 많이 사용되고 있으며 일반적으로 Mesh 해석법으로 불려지고 있다. 그러나 이 방법은 mesh를 선정하기가 매우 힘들고 번거로우며, mesh선정 자체를 컴퓨터로 할수도 있으나 프로그램이 방대해질 것이다. 그리고 통기의 밀도차에 의해서 생기는 자연 통기압을 고려할 때도 각 회로마다 일일이 자연통기압을 계산해야만 한다.

따라서 통기계통이 매우 복잡할 뿐 아니라 산재되어 있는 작업장이 수시로 변동되는 상황의 통기망의 신속한 해석을 위한 좀더 편리하고 이해하기 쉬운 Software의 개발이 필요한 것이다. 이와같은 상황을 고려하여 당연구소에서는 여러가지 요소들을 쉽게 감안할 수 있으면서도 사용이 편리한 절점식 해석 프로그램을 이미 개발한 바 있다.

IV-2. 분진(Dust)

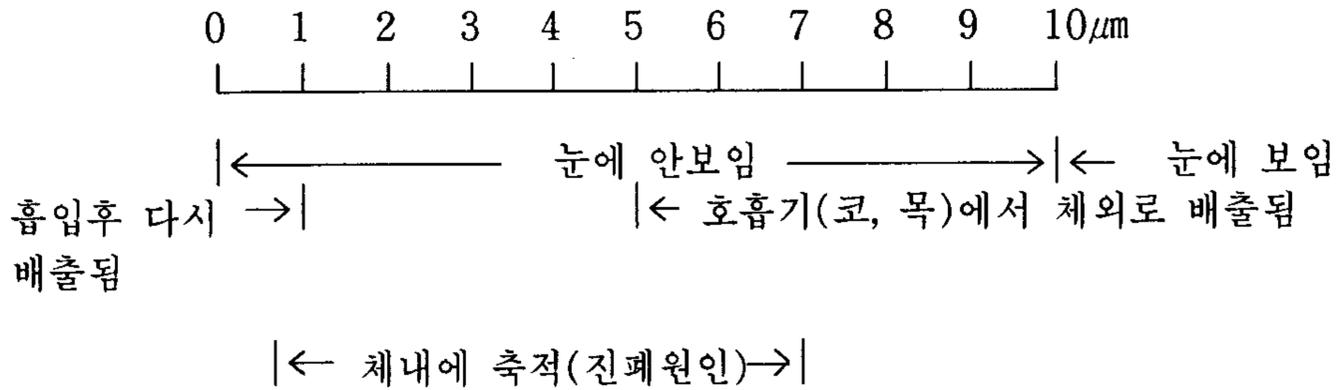
IV-2-1. 분진의 정의

분진(Dust)이란 고형물질로 부터 분리된 물리적 화학적 성질이 원래의 물질과 동일한 미세한 입자를 말한다. 분진 입자의 크기는 마이크로미터($\mu\text{m} = 1/1,000\text{mm} = 1/10^6\text{m}$)로 표시하며, 일반적으로 부유분진(Airborn Dust)은 0.001-1,000 μm 의 입자를 말한다. 40 μm 이상의 입자는 눈에 보이며 7 μm 이상의 입자는 사람에게 그렇게 해로운 대상이 아니다.

지금까지의 연구결과에 의하면 부유분진중 0.5-7 μm 범위의 분진이 가장 쉽게 사람의 폐포에까지 도달하고 침착되어 진폐증을 일으키는 것으로

밝혀졌으며 이러한 분진을 호흡성분진(Respirable Dust)이라 하고 7 μm 이상이 분진까지 합한 분진을 총분진(Total Dust)이라고 하여 구별한다.

이상을 도표로 정리하면 다음과 같다.



공기중의 부유분진은 다음과 같은 세가지 면에서 인간생활에 지장을 준다.

- 눈, 코, 목구멍 등에 분진이 들어가 활동에 불편을 주며 시야를 흐리게 하고 사용하는 각종 장비들을 오염시켜 고장의 원인이 된다.
- 석탄분진 등 일부 분진은 한정된 조건에서 폭발을 일으키기도 한다.
- 가장 심각한 것은 분진환경에 장시간 노출될 때 분진이 폐포에 침착하여 진폐증(Pneumoconiosis)이라는 질병을 일으킨다는 것이다.

IV-2-2. 분진의 위해도 및 허용농도

인체에 해를 끼치는 정도는 분진의 (1) 성분, (2) 입도 및 (3) 농도에 의해 달라진다. 일반적으로 인체 조직내에서 용해되지 않거나 용해가 어려운 분진을 다량 흡입할 때 진폐의 원인이 된다. 특히 광물질 분진일때는 분진 입자중 유리규산분의 함유율이 높을수록 진폐의 위험이 크다. 입도는 호흡성분진(0.5-7 μm)중에서도 1-2 μm 의 입자가 가장 위험하다.

각국의 지하갱도 작업장의 환경관리를 위한 법적 분진 허용농도는 표 3과 같다.

표 3. 굴착작업중인 지하공간 분진농도의 허용기준

	Sampling System	Tolerable Level(mg/m ³)
U. S. A.	Gravimetric System (50% recovery in 3.5 μ m)	2 mg/m ³ < 5% free silica 10/% of free silica > 5% free silica
Great Britain	Gravimetric System (50% recovery in 5.0 μ m)	3 mg/m ³ in blind raise 8mg/m ³ in coal face, roadway, transfer point of conveyor.
Japan	Gravimetric System (<7.5 μ m)	1mg/m ³ of respirable dust } < 10% of 4mg/m ³ of total dust } free silica
Russia	Gravimetric System (Total dust)	> 10% of free silica respirable dust : 2.9/(0.22 \times silica% + 1) Total dust : 12/(0.23 \times silica% + 1) > 70% of free silica : 1mg/m ³ 10% - 70% : 2mg/m ³ <10% : 4mg/m ³ 0% : 10mg/m ³
Belgium, Netheland	Gravimetric System (Total dust)	0% - 10% of ash : 50 - 110mg/m ³ 10% - 20% : 37 - 88mg/m ³ 20% - 40% : 24 - 55mg/m ³ 40% - 60% : 17 - 37mg/m ³ 60% - 80% : 13 - 28mg/m ³ 80% - 100% : 10 - 22mg/m ³
Korea	Gravimetric System	< 2mg/m ³ When > 30% of Free Silica < 5mg/m ³ When < 30% of Free Silica

IV-2-3. 분진환경의 평가

분진 농도는 단위 공기 체적당 분진의 중량으로 표시하는 질량농도(mg/m³)와 분진입자수로 표시하는 개수농도(Particles/cm³)등 두가지 방법이 있으나 진폐 이환이 분진의 질량과 비례관계가 있으므로 질량농도가 많이 사용되고 있다. 질량농도 측정장치들은 호흡성 분진만을 선택적으로 측정하도록 되어 있으며 채취된 분진의 질량을 평량하는 절대농도 측정기와 광간섭의 원리를 이용하여 광학적 물리량으로 측정하는 상대농도 측정기가 많이 쓰이고 있다. 상대농도 측정기는 측정이 신속하고 편리하지만 질량농도로 환산하기 위한 환산계수를 미리 구하여야 한다.

분진의 위해성 정도의 평가를 위해서는 우선 분진의 입도분포와 분진의 유리규산분 분석이 이루어져야 한다.

IV-2-4. 분진 제어방법

분진제어와 관련해서 다음과 같은 4개 원칙이 있다.

- 1) 분진의 발생을 최소화하고 발생원의 분진이 공기중에 부유하는 것을 방지
- 2) 통기에 의해 가능한한 빠른시간내에 희석 제거
- 3) 분진을 분리하여 제거(집진)
- 4) 분진 재비산 방지

분진발생의 억제방법으로는 물을 많이 사용하고 있다. 굴착전에 암반에 고압수를 주입하는 방법과, 절삭시 물을 분무하는 방법 등이 일반적으로 많이 사용된다. 분진입자와 물방울의 크기는 분진 억제 효율에 큰 영향을 주기 때문에 분진의 입도분석 결과에 의해 분무장치가 설계되어야 한다. 일반적으로 분진 입자경에 비해 150배 크기의 물방울일때 분진 억제효율이 가장 높다. 분무방법에 따른 물방울 크기의 범위는 표 4와 같다.

표 4. 수적경의 범위

수적 발생 방법		수적경 범위(μm)
주수 Showering	저압으로 굵은 물줄기를 뿌려줌	μ
살수 Spray	작은 물방울을 뿌려줌	20-1,300 μ
분무 Atomizing	안개를 분무함	0.1-200 μ

분진개소에 통기량을 증가시켜 희석 제거하는 방법은 통기망 해석기법에 의해 통기량을 증가시키는 방법이다. 그러나 통기량의 증가에 따라 풍속이 증가하게 되면 재비산 현상이 발생됨으로 풍속이 최대 4m/sec 이하가 되도록 해야 한다.

발생된 부유분진의 억제방법에는 집진 Mechanism에 따라 표 5와 같이 분류될 수 있다. 표에서 볼수 있는 바와 같이 집진 방식에 따라 집진 효율의 한계가 있으며 각각 장단점이 있다.

따라서 집진기의 선택시는 먼저 배출 분진농도와 배출 기준농도에 의해 목표로 하는 집진율을 먼저 결정한다. 집진율이 결정 된 후에는 다음과 같은 분진의 특성, 설비요소 및 경제성 등을 면밀히 조사하여 집진기의 종류를 선택해야 한다.

1) 분진의 특성

입도분포, 입자의 진비중, 진밀도, 형상, 부착성, 응집성, 흡습성 및 발화온도 등.

2) 설비 요소

습식의 경우 물 공급조건, 설치장소 조건, 집진물의 처리조건 등

3) 경제성

전력비, 폐기물처리, 인건비, 보수유지비, 용수 및 재료비 등

일반적으로 집진대책을 위해 어떤 한가지 집진방법 만으로는 충분한 효과를 기대하기 어렵다. 분진의 성질, 발생상황, 설치조건 또는 경제성 등에 따라 몇가지 방법을 병용하는 것이 좋다.

표 5. 집진장치의 대비

집진기 종류	장 점	단 점
중 력 식	압력손실 작음, 설계 및 보수간단	설치면적이 크고, 효율이 낮음
원 심 력	설계, 보수용이. 설치면적이 작고, 포집분진의 연속배출가 압력손실 낮음 큰입경분진에 적합 온도영향 적음	작음입경분진에 효율낮음 분진부하, 유량변동에 민감
세 정	깨스흡수와 집진동시가능 고온다습깨스의 냉각 분진폭발위험 적음 효율가변	부식 및 마모발생 배수처리 및 재생원가 증가
전 기 식	효율 99%이상 미립자집진가능 습식, 건식가능 압력손실, 소요마력낮음	초기투자 큼 분진부하, 깨스유동에민감 경제성이 낮음 고전압 안전설비 필요
Bag Filter	건식집진가능 소입경에 적합 효율이 높음	여과속도의 영향이 큼 습분의 영향을 받음

IV-3. 방사선(Radiation)

지하공간내의 방사선은 주로 라돈(Radon)이나, 우라늄(Uranium)의 일종인 기체상 붕괴성원소의 자연붕괴에 의해 생긴다. 이러한 원소들은 차이는 있지만 모든 우라늄광산, 뉴화운드랜드의 형석광 스웨덴 및 영국의 철광 등에서 나타나고 있다. 자연붕괴란 무거운 방사성원소의 원자가 붕괴하여 새로운 원소를 만들면서 α β 입자 및 γ 선이라는 형태의 에너지를 방출하는 과정을 말한다.

IV-3-1. 방사선의 위험성

방사성 라돈(Rn^{222})은 무색, 무취, 무미의 불연성 가스이며 공기에 비하면 비중이 7,665이다. 라돈은 반감기가 3.823일이며 상당한 거리까지 가스상태로 이동해서 쉽게 생물권(Biosphere)으로 침투한다. 그외에 관계되는 기체로 토리움(Thorium)이 있으며 이 토리움(Thorium)은 제일먼저 붕괴되는 방사성 물질의 하나로 반감기가 52초밖에 되지않아 붕괴가 되기전에 이미 지하공간내에 존재하는 경우가 많다. 아라스카나 캐나다의 우라늄광산은 이 토리움의 농도가 높아 위험성이 높다. 우라늄 계열의 붕괴에 의한 생성물은 라듐을 제외하고는 모두 고체로 암반내에 잔류한다.

라돈이 발생하면 암반내의 균열을 통해 또는 지하수와 함께 바로 지하공간내로 침출된 다음 계속해서 붕괴를 일으켜 공기중에 방사성 자원소(Daughter Products)를 발생시킨다. 자원소는 보통 正電氣를 띤 원자정도 크기의 입자인데 이와 같은 크기와 성질 때문에 붕괴된 라돈의 자원소는 공기중의 분진이나 그외 지하공간내 공기중의 자유표면에 쉽게 부착한다. 이런 공기를 흡입하면 라돈은 쉽게 폐로부터 혈액내에 확산되며, 분진의 일부는 폐나 기관에 축적된다. 여기에 부착된 분진중의 라돈은 계속 붕괴를 일으켜 α 선을 방사하여 폐조직을 손상시키게 된다.

라돈은 대체로 호흡시 체외로 토출되나 대부분의 자원소는 배출되기 전에 체내에서 붕괴된다. 이와 같이 라돈가스 보다는 라돈 자원소가 위험한 것이다. 라돈의 자원소는 라듐A(RaA), 라듐B(RaB), 라듐C(RaC) 및 라듐C'(RaC')으로 α , β 입자 및 γ 선이며 이들의 흡입이 폐나 다른 기관의 암 발생 원인이 되는 것이다.

IV-3-2. 방사선의 제어

흡입된 라돈 자원소의 피폭선량(Emanation Rate)은 지하공간내 공기중의 분진, 공기중의 순환 시간, 호흡의 속도, 기관지내 점막의 상태 등 여러가지 요인에 의해 달라진다. 피폭선량의 단위는 Working Level(WL)이다.

WL은 1리터의 공기중에 포함되어 있는 라돈 가스의 자원소 화합물로, 안정된 원소인 polonium(PO)으로 붕괴하는 동안의 총 알파 에너지는 1.3×10^5 MeV(Mega Electron Volt)이다. 1개월에 1WL의 방사선에 노출되는 것을 1 Working Level Month(WLM)한다. 아직 국제적으로 최대허용 피폭량을 정하지는 못하고 있으나, 미국에서는 연간 4WLM를 허용한도로 하고 있다. 미국의 경우는 월 170시간 작업을 기준으로 하여 다음과 같은 수식으로 연간 WLM를 구한다.

$$\text{WLM/annum} = \frac{(\text{작업한 주일수} \times \text{주당 작업시간}) \times \text{평균 WL}}{\text{1개월 최대 허용 작업시간}}$$

따라서 미국의 경우 예를 들면

연간 작업하는 주간 수 : 52주/년

주당 작업 시간 : 50시간/주

평균 WL : 0.33

1개월 최대 허용 작업시간: 170시간/월

$$4 \text{ WLM} = \frac{(52 \times 40) \times 0.33}{170}$$

즉 평균 0.33WL이면 연간 4WLM가 됨으로 0.33WL이 최대허용 피폭량이 된다. 그러나 각국마다 노동관계 법령이나 근로 여건이 다르기 때문에 나라마다 별도의 기준이 필요할 것이다.

라돈 자원소의 공기중 밀도는 적당한 필터를 사용하여 일정량의 공기를 채취한 후 필터상의 α 선을 측정하여 구한다. 라돈가스의 제거는 주로 통기에 의한 희석 제거 방법을 사용한다. 통기량을 증가시켜 희석시키고 공기의 지하공간내 체류시간을 짧게 하여 붕괴가 진행되기 전에 배출시킨다.

IV-4. 소음(Noise)

IV-4-1. 소음의 척도

소음이라 함은 인간이 듣기 싫어하는 음이라 할 수 있다. 음이란 공기등 탄성매체를 진파하는 음파(탄성파)에 의해 생기는 청각적 감각이라 할 수 있다. 공기중의 음파는 음의 진행방향으로 대기압에 비교할 때 미소한 압력 변화가 반복되는 조파에 의해 전해진다. 이 미소한 압력변화를 음압이라 하는데, 이 음압변화의 반복회수 즉, 1초간 싸이클 수를 주파수라하며 이것에 의해 음의 고저가 좌우된다.

음의 강도($I = \text{Intensity}$)는 단위시간에 단위면적을 통과하는 음의 에너지량(W/m^2)으로 표시되는데 음압과의 관계는 다음과 같다.

$$I = P^2(\rho C)$$

단, I : 음의 강도(W/m^2)

P : 음압(Pa)

ρ : 공기의 밀도(1.2kg/m^3)

C : 공기중의 음속(340m/sec)

건강한 정상인이 들을 수 있는 범위는 대략 다음과 같다.

주 파 수 : 20-20,000Hz

음 압 : 2×10^{-5} -20Pa

음 의 강 도 : 10^{-12} -10W/m²

그러나 일반적으로 음의 세기는 음압수준(Lp)에 의해 표시하고 있으며 데시벨(dB)이란 단위를 쓰고 있다. 인간이 들을 수 있는 음압의 범위는 대략 0-130dB이다.

$$\begin{aligned} L_p &= 10\log_{10}(P/P_0)^2 \\ &= 10\log_{10}(I/I_0)(dB) \end{aligned}$$

단, P₀와 I₀는 기준량으로 인간이 들을 수 있는 최소치이다.

즉, P₀ : 2×10^{-5} Pa

I₀ : 10^{-12} W/m²

IV-4-2. 소음의 영향

소음은 사람을 피로하게 하고, 작업능률을 저하시키며, 경고음 등을 들을 수 없게되어 재해의 원인도 된다. 그리고 장시간 접하면 소음성 난청을 일으킨다. 특히 4,000Hz 부근에서 청력 손실이 가장 많다.

IV-4-3. 지하공간에서의 소음

지하공간에서의 소음은 반 자유공간을 전파하는 지표소음과 달라서 통로의 연장방향으로 전파하며, 전파감쇄율은 지표에서 보다 매우 작게 나타난

다. 통로의 단면적이 작을수록 더욱 그러하다.

IV-4-4. 소음대책

소음의 크기와 노출시간에 대한 허용범위는 표 6과 같으며 지하공간의 소음을 이러한 허용범위 이하로 유지하기 위해서 아래와 같은 방법들이 있다.

표 6. 소음 기준

Maximum Daily Exposure Duration(Hours)	Sound Level(dB)	
	Walshy-Healy Criteria	U. S. Department of labour
8	90	85
6	92	
4	95	88
3	97	
2	100	91
1.5	102	
1	105	93
0.5	110	94
0.25	115	

- 1) 음원대책 : 소음 발생을 위험수준 이하로 감소시킴(박킹, 소음기 등)
- 2) 소음 전파방지 : 발생된 소음의 전파경로에서 위험수준 이하로 감소(차음벽 등)
- 3) 보호구 사용 : 귀마개 사용
- 4) 노출시간 규제 : 높은 소음하에서의 작업시간 규제

IV-5. 조명(Illumination)

지하공간에서의 조명은 근로자의 안전, 생산성 및 근로의욕에 영향을 주는 요소중의 하나이다. 지하굴착 작업중에는 여건상 고정 조명보다는 개인용 조명을 많이 사용한다. 그리고 암반 벽면의 반사율이 낮고 분진, 연기, 수증기 등에 빛이 흡수되기 때문에 지표조명보다 훨씬 불리한 조건이다. 문헌에 의하면 소련의 탄광에서는 채탄작업장에 형광등으로 고정조명을 한 결과 생산성 3.5% 향상되고 재해가 40% 감소했다고 하며, 헝가리에서도 개인용 조명과 고정조명의 작업장에 대한 비교 결과 재해가 60%나 감소했다고 한다.

IV-5-1. 광의 특성 및 단위

빛의 측정 단위로는 광원(Source)의 밝기인 광도(Luminous Intensity), 광원으로부터 일정시간에 방사되는 에너지량인 광속(Luminous Flux), 광속이 표면에 도달했을 때의 표면의 조도(Illumination) 및 표면의 반사 등에 의한 인간이 느끼는 밝기인 휘도(Surface Brightness) 등이 있다.

IV-5-2. 지하공간의 광원

지하공간의 광원으로는 필라멘트 전구, 형광등, 수은등, 나트륨등 등이 있으며 이들의 밝기 및 수명 등을 비교하면 표 7과 같다.

표 7. 조명원의 대비

Light Source	Efficiency (lm/W)	Brightness (cd/m ²)	Life Time (Hours)	Order of Cost (1:high)
Filament Lamps	10-15	10 ⁵ -10 ⁷	750-1,000	7
Halogen Lamps		2×10 ⁷	-2,000	4
Fluorescent Lamps	35-85	5×10 ⁴ -2×10 ⁵	-30,000	3
Mercury Vapour Lamps	35-60	10 ⁵ -10 ⁶	16,000-24,000	6
High Pressure Sodium Lamps	110-130	10 ⁷	12,000-24,000	1
Low Pressure Sodium Lamps	150	10 ⁵	10,000-18,000	5

IV-5-3. 지하공간의 조명기준

International Commission on Lighting(국제조명위원회)가 탄광의 조명기준을 제안한바가 있는데 그 기준은 다음과 같다. 각 국별 지하작업 공간의 조명기준을 보면 표 8과 같다.

- 통행량이 적은 지하통로 0.05cd/m²
- 기계화 작업장 0.2cd/m²
- 일반 작업실 10cd/m²
- 정밀 작업실 20cd/m²

표 8. 조도 기준

(Unit : Lux)

Nations	Shaft bottom	Machine room	Roadway	Loading point	Office	Maintenance room	Working face
Australia	20	20		20	100		
Belgium	20	25	15	20	270	270	
Canada	50	50	20	20			
Czechoslovakia	15	20	5	20			5
Germany	30	40	15	40			
Hangary	60	20	2	40		20	10
Poland	50	50	2	15		50/100	2
United Kingdom	70	30		30	60	50/150	
United States							15

IV-6. 열환경(Thermal Environment)

지하 심부로 갈수록 다음과 같은 원인에 의해 온도가 상승하기 때문에 사람이 작업하기에 적합한 온도를 유지할 필요가 있게 된다.

- 지열(암반온도)
- 공기 압축열
- 전기, 기계류에 의한 열
- 석탄의 산화열(탄광)
- 고온 용수
- 갱목의 부식
- 발파
- 인체로부터의 발열

지하공간에서의 온도는 단순한 건구온도 보다는 사람이 느끼는 감각적인 온도가 중요하기 때문에 피부의 수분을 증발시키는 냉각능력을 포함한 온도를 사용한다. 이러한 온도로 유효온도(Effective Temperature)와 Kata도가 있다. 이들은 온도, 습도 및 풍속 등 열환경 인자를 종합적으로 표시하는 단위이다.

그림 1은 유효온도를 쉽게 구할 수 있는 Nomogram이다. 유효온도가 상승하게 되면 작업능률은 저하하게 되는데 그 관계에 대한 연구 결과를 보면 그림 2와 같다.

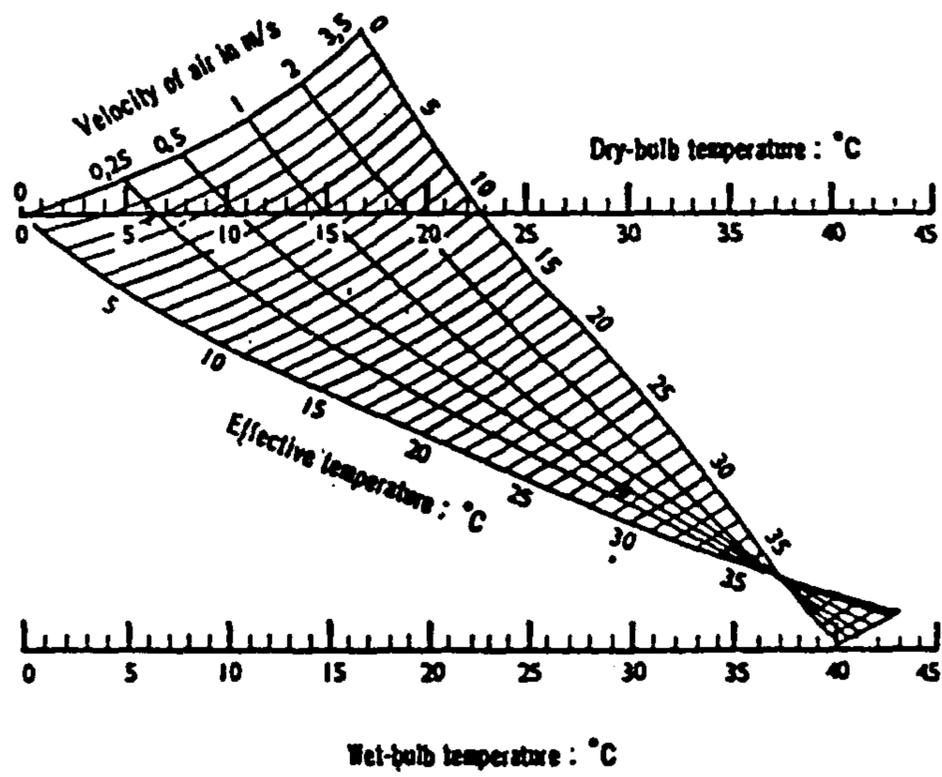


그림1. 유히온도계산표

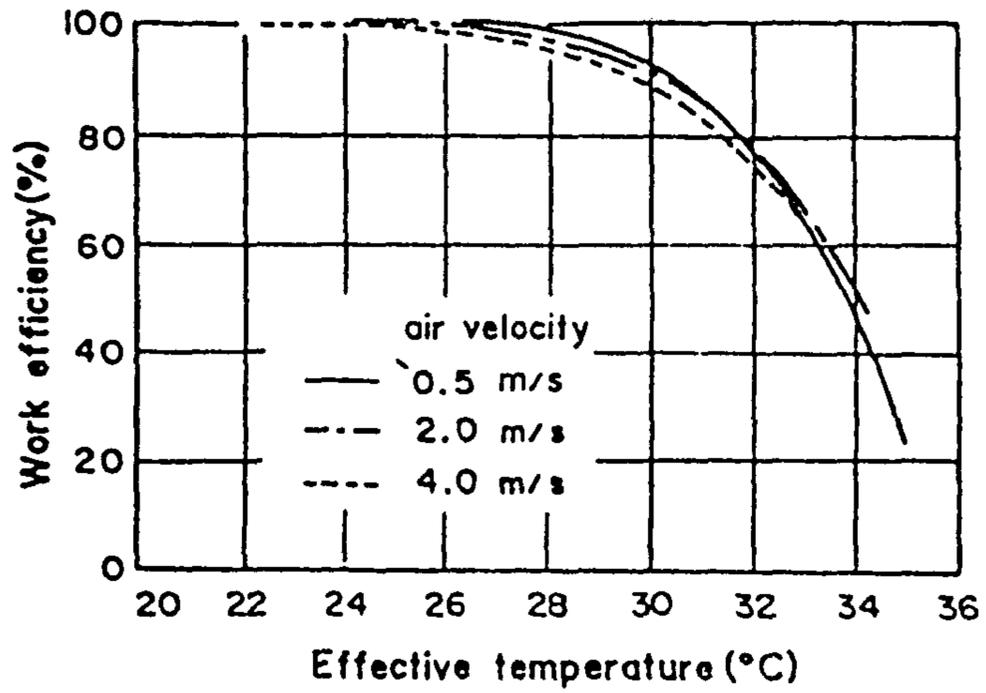


그림2. 작업능율의 고온영향

따라서 지하공간의 온도가 적정수준 이하가 되도록 하기 위해서는 먼저 통기기술을 충분히 활용하여야 하며 그 이후 불가능할때는 냉방 기술에 의존해야 한다. 그러나 지하 500m 이내일때는 일반적으로 통기에 의해 해결이 가능하다.

IV-7. 재해방지

지하공간의 이용에 있어서 가장 큰 문제점은 돌발적인 재해이다. 즉, 화재, 가스돌출, 출수 등을 거론할 수 있다. 지하공간의 특징은 폐쇄성에 있기 때문에 화재시 열이나 유해가스가 빠른 시간내에 집적되어 초기 진화나 대피가 어렵고, 출수시는 전량을 동력에 의해 배수해야 한다.

IV-7-1. 화재

화재의 영향은 열, 연기 및 가스 등 세가지가 있다. 이들은 서로 복합적으로 작용하여 영향을 미치게 된다. 지하 화재시 그림 3와 같이 여러가지 요소가 서로 복잡한 관계를 갖고 영향을 끼친다.

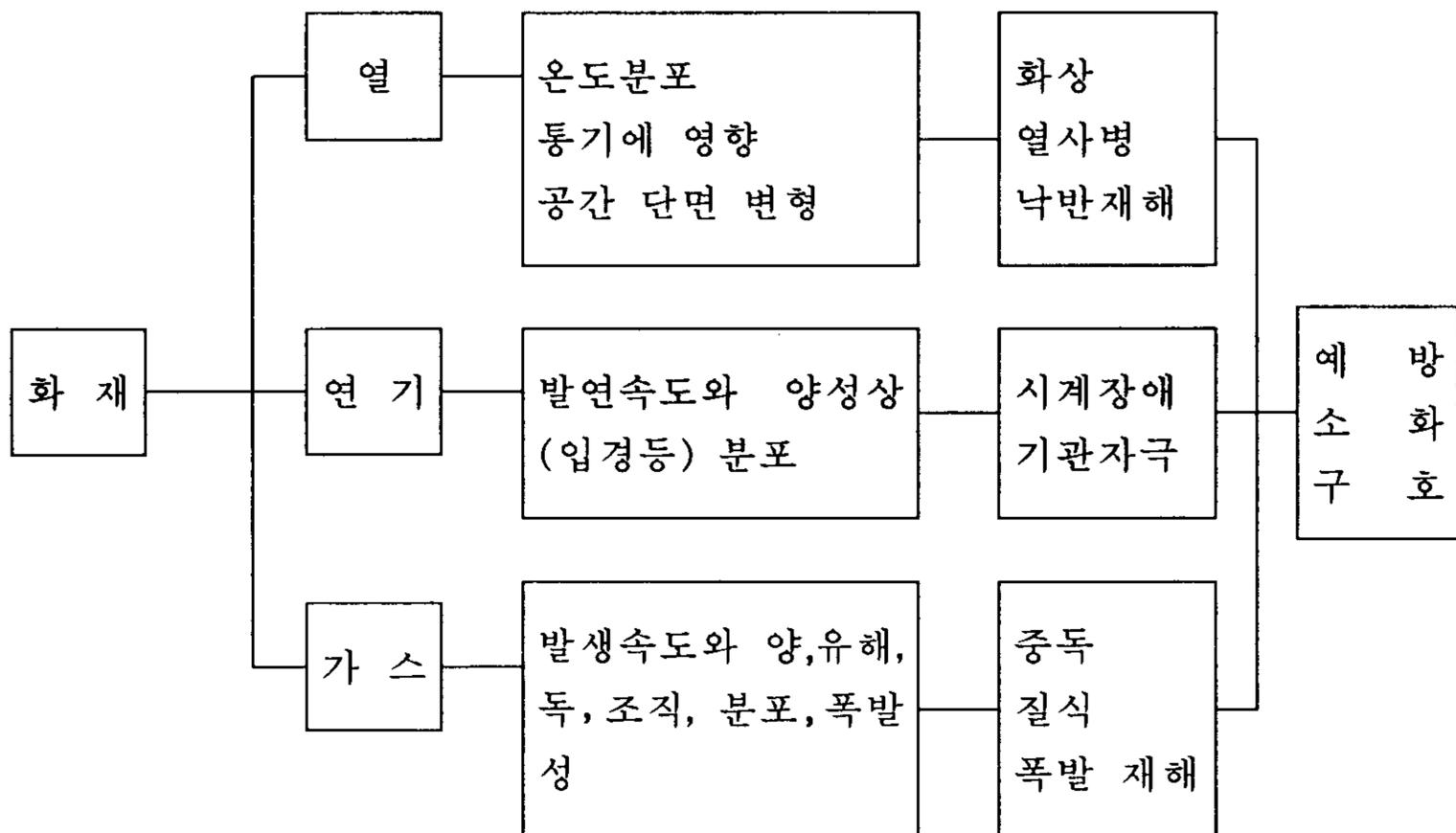


그림 3. 화재발생 요소의 연관성

화재의 종류는 다음과 같이 4가지로 분류한다.

- 1) 분류 A : 종이, 목재, 직물, 플라스틱 등의 연소에 의한 화재로 재를 남긴다.
- 2) 분류 B : 유류, 페인트, 용제 등 가연성 액체 및 기체의 연소에 의한 화재
- 3) 분류 C : 모터, 스위치, 전기기구 등 전기 설비에 의한 화재.
- 4) 분류 D : 마그네시움, 티타니움, 알카리등 금속의 연소에 의한 화재.

화재를 일으키는 열원은 다음과 같이 세가지로 분류된다.

- 1) 역학적 에너지의 변환 : 정지된 벨트와 회전하는 Pulley의 마찰에 의한 열
- 2) 전기적 에너지의 변환 : 단락이나 과부하, 정전기의 방전 등
- 3) 화학적 반응 : 화약류, 알루미늄/마그네시움 합금의 반응(텔미트 반응)

지하공간의 화재에 있어 가장 중요한 것은 예방과 조기발견, 그리고 초기진화인데 예방에는 내화구조, 불연재 사용 등의 방법이 있으며, 화재의 조기 발견을 위해서는 다음과 같은 검지방범들이 있다.

- 1) 온도 검지
- 2) 화염 검지
- 3) 화재 생성물 검지
 - 가스 검지
 - 연기 검지

조기발견에 따른 초기 진화를 위해서는 여러가지 방법들이 있으며 이때 사용되는 소화제를 보면 다음과 같이 다섯 종류가 있다.

- 1) 약제
- 2) 물
- 3) Foam
- 4) 할로겐화 탄화수소
- 5) 이산화 탄소

소화활동시에는 화재가 크게 확대되지 않도록, 사람들이 안전하게 대피할 수 있도록 통기 계통을 잘 조정하는 일이 매우 중요하다. 2장에서 언급한 통기 프로그램에 의한 Simulation의 활용으로 복잡한 통기망 내에서의 화재 시 매연 진행경로 및 이에 따른 대피로 검색이 가능하다.

IV-8. 지하수

지하공간에서의 물의 영향은 첫째로 굴착중의 배수로 인한 원가 부담이며, 두번째는 다음과 같은 간접적인 영향이다.

- 1) 공간주벽암반의 강도를 약화시키고 지보재의 부식을 촉진
- 2) 작업원의 옷을 적신다거나, 습도 증가로 인한 작업환경의 악화.
- 3) 폐석(또는 광석)을 적셔 조작을 어렵게 함.
- 4) 발파공의 침수로 작업곤란 및 위험성 증가
- 5) 기계 장비류를 녹슬게 함.

물을 제어하는 일반적 방법은 다음과 같다.

- 1) 지표수는 지하에 침투하지 못하도록 지표에서 배수
- 2) 굴착전에 지표로부터 굴착된 시추공을 이용 배수
- 3) 암반의 투수성을 감소시킴(씨멘트, 모래, 점토 등)
- 4) 출수 사고 방지를 위한 보안광주 설정, 선진천공 시행

V. 연구대상 지하공간 선정 및 현황

V-1. 선 정

앞에서 기술한 바와 같이 우리나라에서도 천부 지하공간을 굴착 개발하여 활용하는 개소가 많이 있다. 즉 서울 지역에 지하철 및 지하상가 등 많은 장소에 있으며 부산 지역에도 지하철과 지하상가 등이 있으며 또한 대구, 광주 및 대전 지역에도 지하상가가 있으며 그외 전국적으로도 원유 저장 및 LNG저장용 지하공간이 있으며 양수 발전을 위한 지하공간 발전시설도 있다.

이와 같은 많은 장소의 지하공간에 대해서 전부 개별적으로 현황조사와 환경인자 측정을 하기는 어려운 일이므로 3개 장소만을 선정하여 연구대상 지하공간 Model로 정하고 그 Model 지하공간에 대하여 현황조사와 환경인자 측정을 하기로 하였다.

연구대상으로 선정한 사유는 특별한 사항은 없으나 첫째로는 지하공간 관리책임자의 승락 즉 지하공간 관리책임자가 관리 지하공간을 연구대상으로 활용하여 현황조사와 환경인자 측정을 하도록 허락해 주는 것이고 두번째는 우리 연구원들이 그 지하공간 현황조사와 환경인자 실측하기가 용이한 장소를 선택하였다.

연구대상으로 선정한 3개 장소의 지하공간 장소명은 그 관리책임자의 요청으로 밝히지 않고 또한 지하공간 상세도도 첨부하지 않기로 하였다. 다만 A지구, B지구 및 C지구로 명명하여 기술하기로 하였다.

V-2. 현 황

V-2-1. A지구

시내에 있으며 지하상가로서 상가가 많이 있다. 상가 출입 통행인원도 많은 편이며 사람들은 오전중에는 좀 적다가 차차로 많아 저서 오후 4시에서 부터 오후 6시까지가 최대로 많아지고 있다.

환기시설로는 입기용 선풍기(공조기)가 용량이 적은 것은 7.5HP에서 부터 15HP, 20HP 및 25HP까지 있으며 총 17대이며 배기용 선풍기는 그 용량은 3HP에서 5HP, 7.5HP 및 10HP까지 있으며 총 17대가 설치 가동되고 있다.

V-2-2. B지구

이곳도 시내에 있으며 상가도 있기는 있어도 많지는 않고 통과행인이 주로 많다.

이곳은 출입 통과 행인이 오전 7시 부터 9시까지가 제일 많고 오전 9시 부터 오후 6시까지는 변동이 별로 없고 오후 6시 이후 8시까지 좀 증가한다.

입기용 선풍기(공조기)는 용량 20마력 선풍기 2대 및 30마력 2대가, 배기용 선풍기로서는 용량 10마력 2대 및 20마력 2대가 설치되어 가동되고 있다.

V-2-3. C지구

이곳도 B지구와 거의 같으나 출입 통과행인이 좀 많은 편이다.

입기용 선풍기(공조기)로는 용량 15마력 2대, 20마력 2대 및 30마력 2대가, 배기용 선풍기로서는 용량 15마력 2대, 20마력 2대 및 30마력 2대가 설치 되어 가동되고 있다.

VI. 지하공간 환경 조사 측정

연구대상 Model로 선정된 지하공간에 대하여 환경인자 풍량, 풍향, 산소, 일산화탄소, 이산화탄소, 분진농도, 온도, 습도 및 방사선 라돈을 연간 3차에 걸쳐 조사 측정하였다.

VI-1. 측정장비

상기 지하공간 환경인자를 조사 측정한 장비중에서 중요하다고 생각되는 몇개를 소개하며 알아 보기로 하였다.

VI-1-2. 방사선 Radon 측정기(Radon WL Meter)

Thomson & Nielsen사제 Radon WL Meter는 수동형으로서 주택과 건물 같은 실내 환경인자중에서 Radon Working Level을 측정하도록 설계제작된 것이다.

Radon Working Level은 일반적으로 Rn농도에 따른 건강의 위험도를 나타내는 단위를 뜻한다. Radon WL Meter는 다른 대부분의 Working Level 측정기와 똑같은 기본원리로 작동한다.

방사성 핵종을 포함하는 공기를 작고 계속 작동하는 Pump를 이용하여 채취하여 Rn자원소 물질을 여과지에서 걸러져 쌓이게 한다. 여과지에서 방출하는 알파입자를 계산해서 총 알파계산치를 수치 표시창에 나타나게 한다. 공기 채취기간동안의 공기량과 총 알파계산치(수치)를 이용하여 Radon Working Level(Rn WL)을 결정한다.

Radon WL Meter는 Model TN-WL-01과 Model TN-WL-02의 두종류가 있다.

Model TN-WL-02는 추가 회로와 측면에 연결기를 가지고 있어 사용자로 하여금 시간 흐름에 따라 나타나는 알파수치를 기록할 수 있게 되어 있다. Radon자료 기록장치와 유지 Software와 함께 TN-WL-02는 한 체계(System)를 이루고 있는데 여기서 이 System으로 Radon Working Level의 상세연구가 Radon조사와 Radon경감을 위하여 이루어질 수 있다.

이 Radon WL Meter는 실내측정을 위하여 설계된 독립된 기구이다.

1. 사용 요령

동력은 전기 아답터를 이용하여 기구에 공급한다. 동력 소켓은 기구 오른쪽 아래에 있다. 충전 건전지를 동력원으로 해도 같은 소켓을 사용한다. 각 장치 조정은 다음과 같이 한다. 그림 4를 참조한다.

- Power ON-OFF : 이 토글 스위치는 Pump와 알파전자를 작동한다. 또한 이것은 OFF에서 ON으로 넣으면 화면(표시창)은 0으로 된다.
- Pump ON-OFF : 이 토글 스위치는 알파를 계산하는 계통에서 Pump만 독립적으로 작동시킨다. 이것은 Power ON-OFF와 구별하기 위하여 좌우로 하지 않고 그 반대로 상하로 작동한다.

- Timer : 이 스위치는 0.5, 1, 2, 4, 8 및 24시간을 각각 설정하므로써 공기채취시간을 자동 조정하는 것이다. 동력을 차단하면 이 시간은 0으로 재조정된다. Timer는 사전에 채취시간을 설정하므로써 손대지 않고 작동하기 위하여 사용된다. 측정기가 공기시료 채취시간이 끝나므로써 자동적으로 스위치가 꺼지면서 알파계 산수치는 고정된다. 최후설치점은 수동작동점이고 작동자는 이 점에 설정하므로써 공기시료 채취시간을 조정할 수 있다. 이 움직임은 스위치는 Pen이나 끝이 날카로운 기구로 움직이게 할 수 있도록 설계되었다. 이것은 사고로 움직여 지는 것을 방지하기 위해서다.
- Flow Rate : 측정기 좌측에 작은 나사 조정장치가 있다. 이것은 유량을 조정하는데 사용된다. 이 제어장치는 Pump의 전압을 정상적으로 표준상태에서 1분에 1리터로 설정해야 한다. 이것은 1분에 0.5에서 1.3리터까지 변화할 수 있으나 교정요소는 1분에 1리터만 적용된다. 유량을 점검하거나 조정할 때 유량계는 다음에 기술하는 Output(배기구)에 연결해야 한다.
- Pump Output : Pump의 배기구는 측정기의 우측에 있다. 이 배기구에는 내경이 3mm인 관이 적합하다. 유량을 점검하거나 조정할때 유량계는 이 배기구에 연결해야 한다.

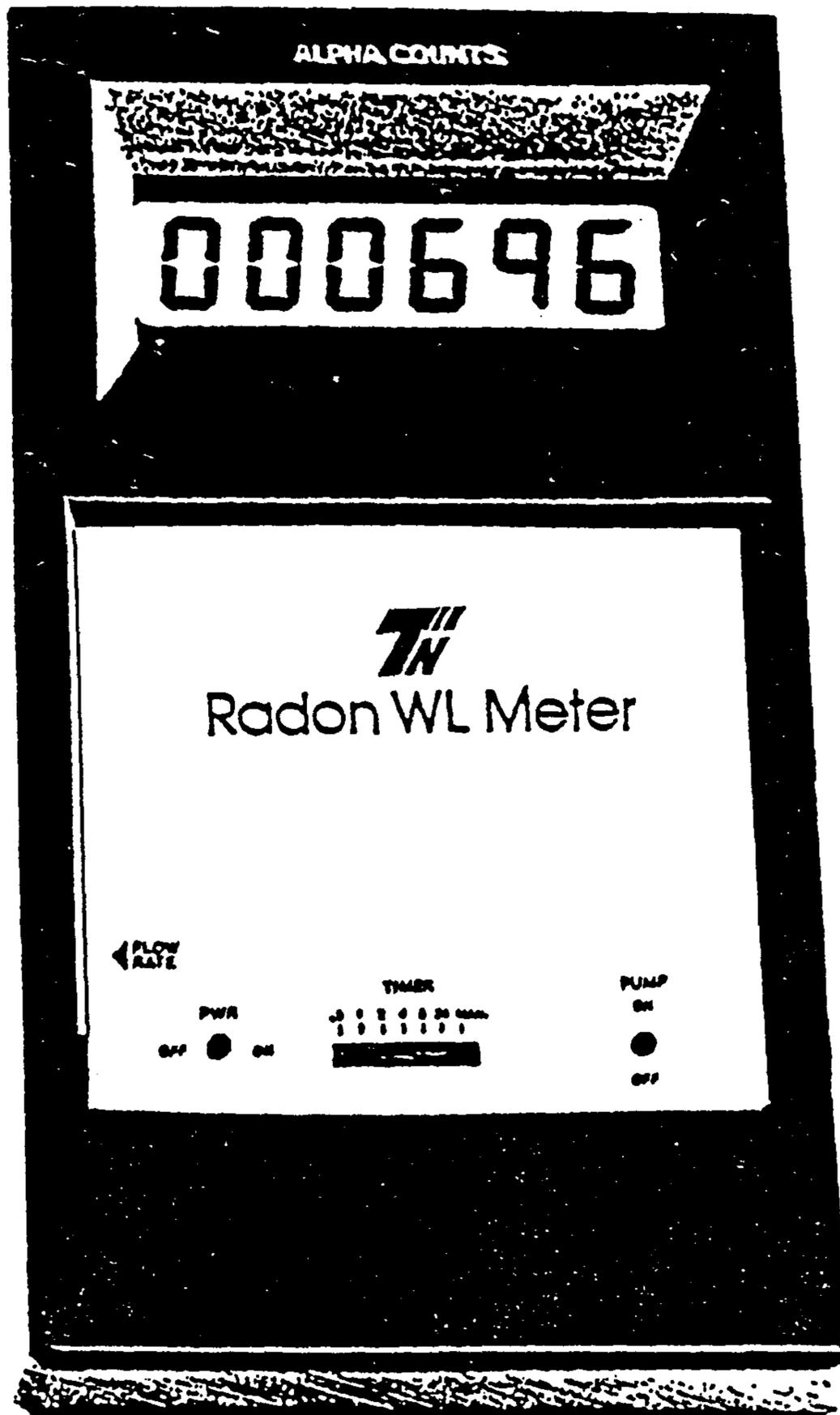


그림4. 라돈 측정기 전면

2. 표시창(화면부)

투명한 표시창은 정상적으로 알파수치의 수를 나타낸다. 이 알파수치는 여과지에서 방출하는 알파입자수에 직접적으로 비례한다. 수치는 6자리 수 까지 나타낼 수 있다. 그리고 이 6자리 수치는 통합산된 커다란 Working Level(약 1 WL Month)에 대응한다. 표시창에 나타난 수는 Rn WL을 결정하는데 사용되는 수량이다. 그 표시창은 공기를 채취하는 기간중에 동력이 절단되면 1초에 1번 번쩍하고 불이 들어 왔다 꺼지도록 설계되었다. 공기채취 계통에 절전이 되면 그 결과는 무효로 된다. 왜냐하면 그 기간을 정확히 알지 못하는 제어할 수 없는 사건이기 때문이다. 그래서 이런 사항이 발생하면 ON-OFF스위치를 사용하여 Radon WL 측정기를 재설치하고 공기채취를 다시 시작해야 한다.

3. Radon Working Level 측정

Radon WL Meter를 이용해서 Rn WL을 측정하는 과정은 간단히 다음과 같이 한다. 아래에 기술한 과정은 시간 통합산 WL측정에 필요한 비교적 공기채취기간이 긴 경우에 적용된다.

○ 기본과정

1단계 : 측정기를 뒤로 돌려서 상표위에 있는 작은 뚜껑을 연다. 그러면 그안에 여과지 넣는 장치가 있다. 여과지 넣는 장치 뚜껑을 열고 깨끗한 여과지가 있는지 확인한다. 없으면 깨끗한 여과지를 넣는다. 25mm의 여과지는 준비해서 측정기와 함께 선적 동봉되어 있다. 여과지는 흰색 원형이다.

2단계 : 미리 공기 채취시간을 정해서 Timer를 선정하든가 또는 공기 채취시간을 다르게 하고 싶으면 수동을 선정하든가 해야합니다.

3단계 : 측정기에 동력선을 연결하고 동력스วิต치를 넣는다. 그리고 표시창에 “000000”가 나타나는가 점검확인한다.

4단계 : Pump스วิต치를 넣는다. 그리고 수동이라면 공기 채취시작 시간을 기록한다.

5단계 : 유량이 1분당 1리터 인지 점검확인 하고 그렇지 않으면 1분당 1리터가 되도록 조정한다.

6단계 : 공기 채취시간 끝에 알파수치를 기록한다.

Working Level(WL)은 보정요소(CF)로 부터 계산된다. 그런데 그 보정요소는 각 측정기 뒤 상표에 기재되어 있으며 그것은 그 측정기에만 적용된다. 그 공식은 아래와 같고 실제 계산한 예는 다음과 같다.

$$WL = \frac{\text{알파 수치}}{(T_s - 0.5) * CF}$$

여기서 WL : Milli Working Level : MWL

Ts : 공기 채취시간(시간)

CF : 보정요소(알파수치/시간/MWL)

EER(Bqm-3)에 대한 공식과 그 계산 예는 그 다음에 있다.

○ WL계산 예

이것은 예이며 실제 계산에 사용되는 CF는 그 측정기에 주어진 것만을 사용해야 한다. 그리고 공기 채취시간은 24시간으로 가정한다.

보정요소 CF : 4.7(Cph/mWL)

Timer 설정 : 수동

측정기스วิต치 넣음(기계 및 Pump) : 표시창 “000000”

유량점검 : 1 ℓ /min

24시간후 : 표시창 “002820” : 알파수치임

Rn WL 계산공식 : $WL = \text{알파수치} / \{(Ts-0.5) * CF\}$

$$WL = 2820 / (23.5 * 4.7)$$

$$\text{즉 } WL = 25mWL(0.025WL)$$

여기서 CF : 주어진 Cph/mWL

Ts : 공기 채취기간(시간)

Working Level : mWL(1mWL = 0.001WL)

기록 : $WL = 2820 / (23.5 * 4.7)$

즉 $WL = 25mWL(0.0025WL)$

○ EER(Bq/m³)의 계산 예

The Equilibrium Equivalent Concentration of Radon(=EER)은 많은 나라에서 WL대신에 사용되는 단위이다. Radon WL Meter는 변환식을 사용해서 알파수치를 EER로 변환사용할 수 있다.

$$1 \text{ Bq/m}^3 \text{EER} = 2.7 * 10^{-4} \text{WL}$$

앞의 예에서 다음과 같이 된다.

$$\text{EER} = \frac{\text{알파 수치}}{(Ts-0.5) * CF * 0.27}$$

여기서 EER : Bq/m³

Ts : 시간

CF : Cph/mWL

앞의 계산 예는 다음과 같이 된다.

예 : $\text{EER} = 2820 / (23.5 * 4.7 * 0.27)$

$$\text{즉 } \text{EER} = 95 \text{ Bq/m}^3$$

4. 보정 및 유지 관리

Radon WL Meter는 알파수치를 WL로 변환하는데 사용되는 보정요소(CF)가 있다. 보정요소 CF는 Rn가스를 사용해서 결정한다. 그런데 이 CF는 채취공기량과 탐사효율에 따라 다르다. 이 보정을 유지하기 위하여 이 두 요소를 제공한 유량계와 방사성 자료를 이용하여 측정해야 한다. 야외 보정정검 근원(Field Calibration Check Source)을 활용할 수 있다. 이것은 이들 기능을 수행하는데 사용할 수 있다. 이 장치는 알파방출기가 있는 특수 제작품으로 구성되어 있다. 사용자가 다른 방법을 이용해서 보정을 하려고 한다면 기초자료를 이용할 수 있도록 Radon WL Meter를 수령하자 이행하여야 한다. 탐색효율의 변화는 WL계산하는데 고려해야 한다. 사용자가 WL을 위하여 보정되어 있는 Rn가스실로 갈 수 있는 길이 있다면 Radon WL Meter의 CF는 앞에서 기술한 조작과정을 이용하여 결정할 수 있다. 이 경우 WL은 기지수이고 CF는 미지수이다. 새로운 CF를 계산하기 위하여 다음식을 사용한다.

$$CF = \text{알파치}/(Ts-0.5) * mWL$$

여기서 CF : 새로운 보정요소

알파수치 : 총 알파 수치

Ts : 공기 채취기간(최소 8시간)

mWL : 공기 채취기간중 평균 mWL

알파 입자 탐색기는 여과지 넣는 장치 반대편에 있다. 탐색기에는 아주 얇고 투명한 밀라 창(Mylar Window)이 있는데 부적절하게 취급하면 손상을 받게 된다. 그래서 탐색기와 그 밀라 창은 접촉해서는 안된다. 유지관리는 측정기를 깨끗이 하는데에만 끝쳐야 하고 필요할시 탐색기에 먼지는 사진기 렌스 청소용에 이용되는 Air부러쉬를 사용해서 제거해야 한다. 25mm의 0.8Micron여과지는 매 공기 채취작동후에 교체해야 한다.

5. 작동 원리

이 측정기는 내부에 있는 Pump에 의해서 결정되는 일정한 량으로 주위 환경으로 부터 공기를 채취하므로써 작동한다. Rn 자원소는 여과지에 수집되고 방출되는 알파입자는 탐색되어서 전자계통으로 계산된다. 새로운 여과지에 있는 알파 방사성 활력은 공기 채취시간에 따라 축적된다. 방사성활력의 증가는 자원소 평균수명($1.44 * \text{반수명}$)의 함수이다. Rn-222자원소의 경우 절반 이상의 수명이 있다. 그러나 순효과는 40분후에 여과지활동의 약 70%(여과지로부터 집계량)가 되는 특수하게 증가한다. 이 효과의 상세한 처리는 문헌에 있다.

Radon WL Meter는 여과지에 의해서 방출되는 총 알파의 고정비율로 계산한다. 그리고 여과지 능력의 초기 축적기간중에는 알파수치측정은 시간의 함수가 된다. 알파수치는 시간적분 수량이다.

일정한 Rn-222 환경내에서 Radon WL Meter의 전형적인 측정결과는 그림 5와 같다. 예의 그림은 건물이나 혹은 Radon실내에 온도 및 습도 조건이 정상적인 경우에 대표적인 것이다. 약 1시간 후에는 수치비율 및 통합수치선의 경사는 일정하다.

상기 조건하에서 WL를 결정하는 가장 간단한 접근방법은 일정한 계산비율 구역내에서 계산치비율을 계산하는 것이다. 이 방법은 새로운 여과지가 사용되고 측정기구를 수반하지 않으면 늘 실용적이 되지 않는다. WL은 그림 5에서 보여주는 바와 같이 여과지 능력의 축적계산을 하는 수정이 이루어 지는 한 어떠한 공기채취시간인 기간으로 결정할 수 있다. 공기 채취시간이 1시간 이상인 경우에는 WL의 개략치가 총 공기채취시간 T_s 즉 그림에서 직선부분이 잘리는 시간에서 부터 감산하므로 주어진다. 온도, 습도 및 압축 핵농도의 가장 실제적인 조건에서 0.5시간이다.

Working Level(WL)계산은 따라서 다음과 같이 한다.

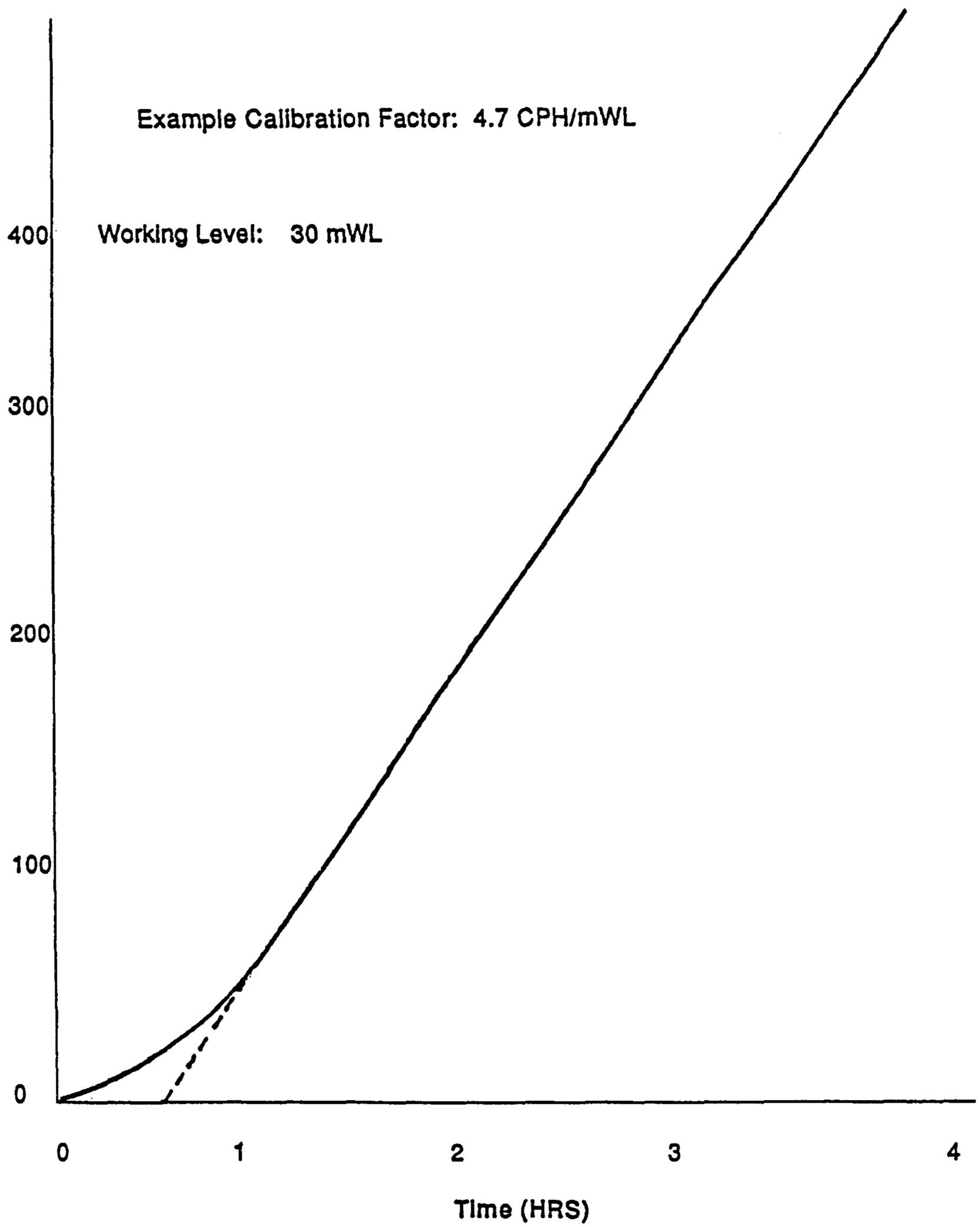


그림5. 라돈 측정기 초기 여과지 능력의 대표적인 알파 수치

새 여과지의 경우

$$WL = \frac{\text{알파 수치}}{\{(Ts-0.5) * CF\}}$$

WL : mWL

T_s : 공기채취시간(시간)

CF : 보정요소(C_{ph}/mW/L)

상기 공식은 공기채취시간을 더 길게 한다면 확실히 더 정확해진다. 정상 작동조건하에서 한시간의 공기채취시간으로 WL측정이 가능하다. 이 경우 WL은 간단히 다음과 같이 된다.

새 여과지 및 한시간동안 공기채취 경우

$$WL = 2 \times \text{알파수치} / CF$$

VI-1-2. 마루치 가스 측정기(MD-711)

이 측정기 MD-711은 산소결핍의 우려가 있거나 동시에 메탄과 같은 가연성가스나 일산화탄소가 발생할 우려가 있는 장소의 사고를 미연에 방지하기 위하여 그 역할이 크다.

1. 각부 명칭

본 측정기의 각부 명칭은 그림 6과 같다.

2. 측정 준비

1) 전원관계

- 전원 스위치의 뚜껑을 열고 스위치를 누르면 전원등이 켜지고 전원이 들어간다. 이때 경보가 나는 수가 있는데 곧 끝이므로 기다리면 된다.
- 전지 경보등이 켜지는가 확인하기 바란다. 켜지는 경우에는 전지를 교환하기 바란다.

2) 센서 관계

- 가연성가스 영점조정
가연성가스 영점조정손잡이를 회전해서 가연성가스 농도 표시부가 “000”이 되도록 한다.
- 산소 감도 교정
산소감도 교정손잡이를 회전해서 산소농도표시부가 : 20.9”이 되도록 조정한다.
- 일산화탄소의 영점조정
일산화탄소 영점조정 손잡이를 회전해서 일산화탄소 농도표시부가 “000”이 되도록 조정한다.

3) 공기 채취 관계

채취관 접속구에 채취관을 접속한다. 연결구는 One Touch식이므로 연결구의 끝을 잡고 강하게 누른다. 또 연결구를 분리할 때는 연결구 선단의 환을 앞으로 잡아 당긴다.

그림 7과 같다.

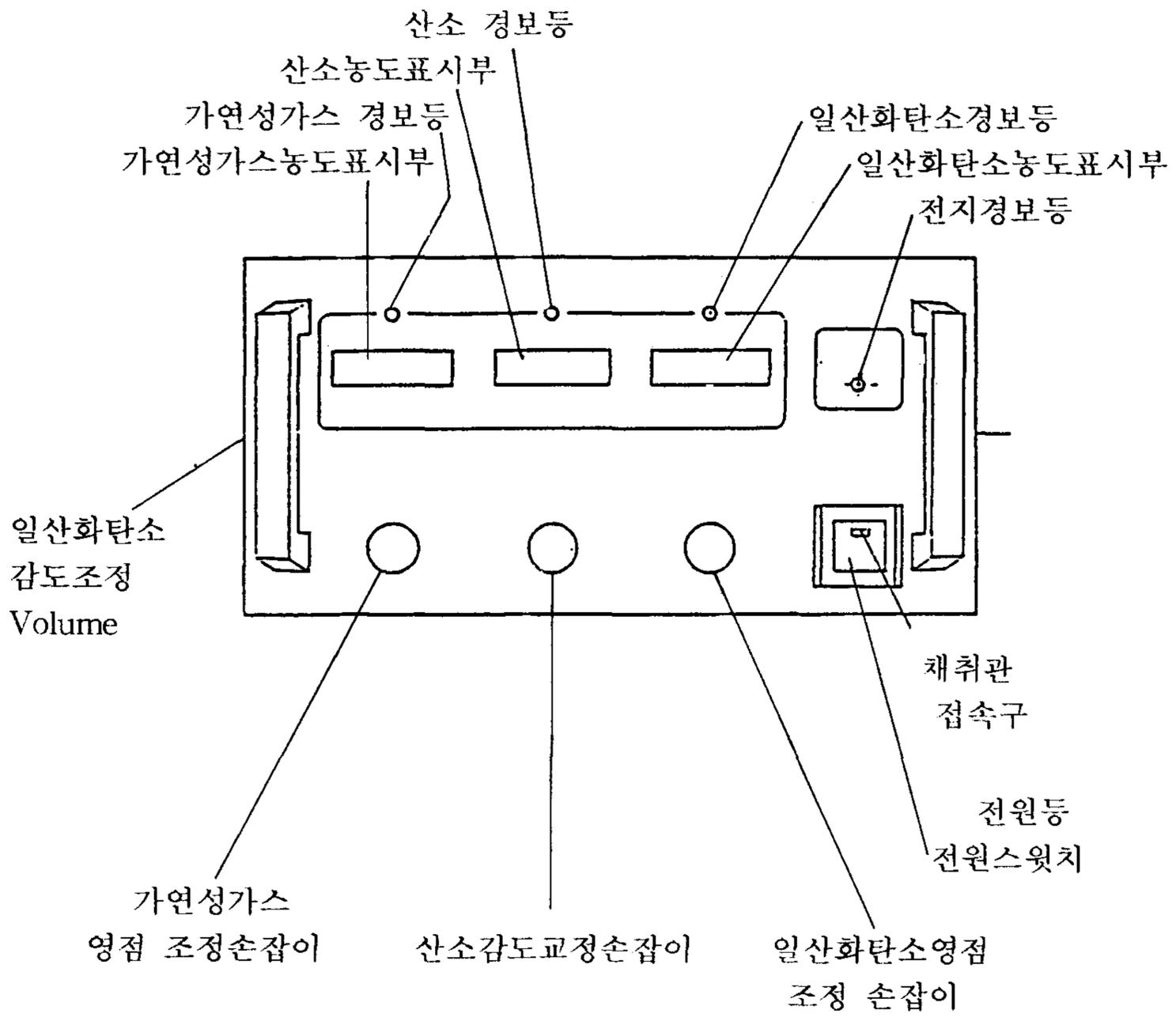


그림6. MD-711의 각부 명칭

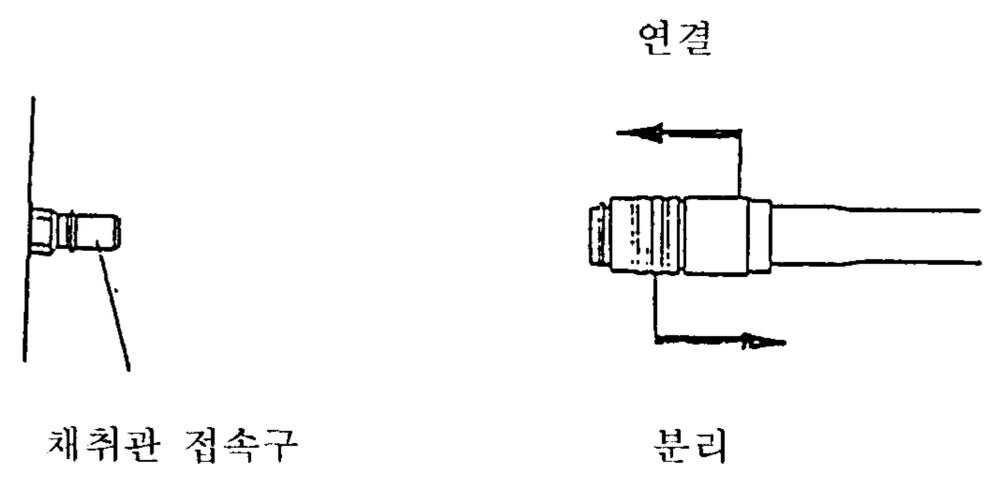


그림7. MD-711의 연결구

3. 측정방법

- 1) 채취관의 선단을 측정장소에 놓는다.
- 2) 각각의 농도 표시부의 수치를 읽어 기록한다. 또 가연성가스가 20%LEL 이상, 산소가 18% 이하, 일산화탄소가 50PPM 이상이 되면 각각의 경보등이 켜지고 부자 소리가 난다.
- 3) 측정 종료후는 신선한 공기를 흡입시킨다. 각각의 농도표시부가 조정시의 수치로 되돌아 가서 전원스위치를 끈다.

4. 보수 및 점검

1) 전지교환

전지 경보등이 켜지면 전지 4개를 다 새것으로 교환한다. 전지는 단일형 건전지를 사용한다. 알카리 건전지, Ni-Cd축전지(단 외부 충전식)도 사용할 수 있으나 종류가 다른 전지나 새것과 헌것을 혼합해서 사용하지 않기를 바란다.

- 전원을 끄고 본체를 뒤로 돌린다.
- 밑에 있는 2개의 나사를 도전 등으로 풀어서 전지뚜껑을 위로 밀어서 연다.
- 극성을 틀리지 않도록 전지를 교환해 넣고 역 순서로 전지 뚜껑을 고정시킨다.

다음 그림 8을 참조 바란다.

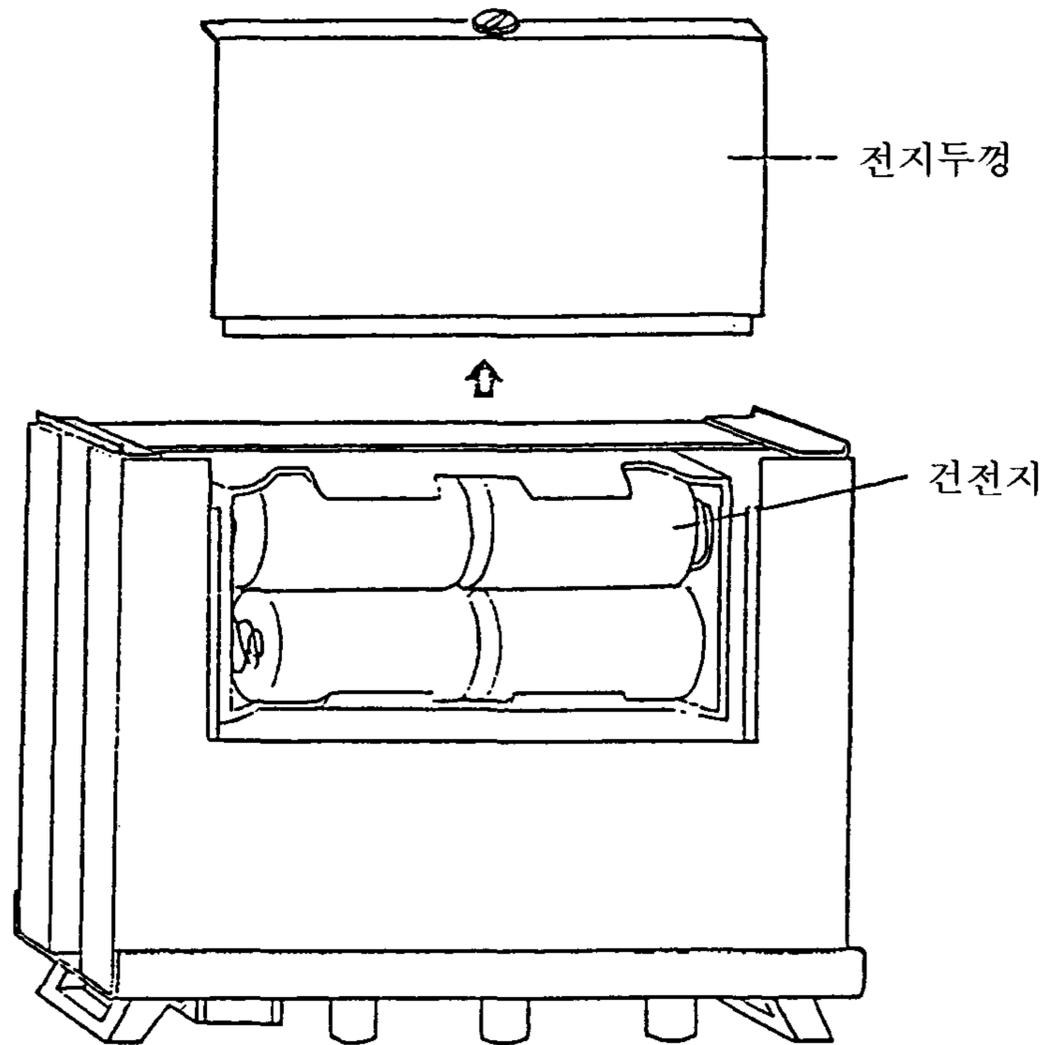


그림 8. MD-711의 전지교환

2) 센서의 교환

본 측정기에 사용되는 각 센서의 수명은 전부 1년 이상이다. 사용후 1년을 경과하면 다음 점검을 행해야 한다.

- 가스라이타 같은 것의 가스를 흡인할 때 가연성 경보가 나는가?
- 산소감도교정 손잡이를 우로 꺾 돌렸을 때 23% 이상을 나타내는가?
- 일산화탄소의 감도 교정(3). 측정기의 보정. 참조)을 할 때 교정 가스 농도에 맞는가?

이상의 어떠한 것이든지 불합리한 경우는 센서를 교환할 필요가 있으므로 제작사 또는 판매점에 의뢰하기 바란다(그림 9. 참조).

3) 측정기의 보정

일산화탄소 센서는 2개월에 1회정도 보정이 필요하다. 보정에는 보정가스가 필요한데 별도로 구입해야 한다.

- 전원을 넣고 일산화탄소 영점조정 손잡이를 돌려 0에 맞춘다.
- 보정용 가스 채취대에 보정용 아답타 호스를 연결한다.
- 보정 가스를 채취대중에 가볍게 팽창할 정도로 넣고 본 측정기의 채취관 연결구에 연결한다.
- 일산화탄소의 농도 표시가 안정되면 측정기 측면의 일산화탄소 감도 조정 Volume을 부속품중의 마이너스 드라이브로 돌려서 보정 가스 농도에 맞춘다.

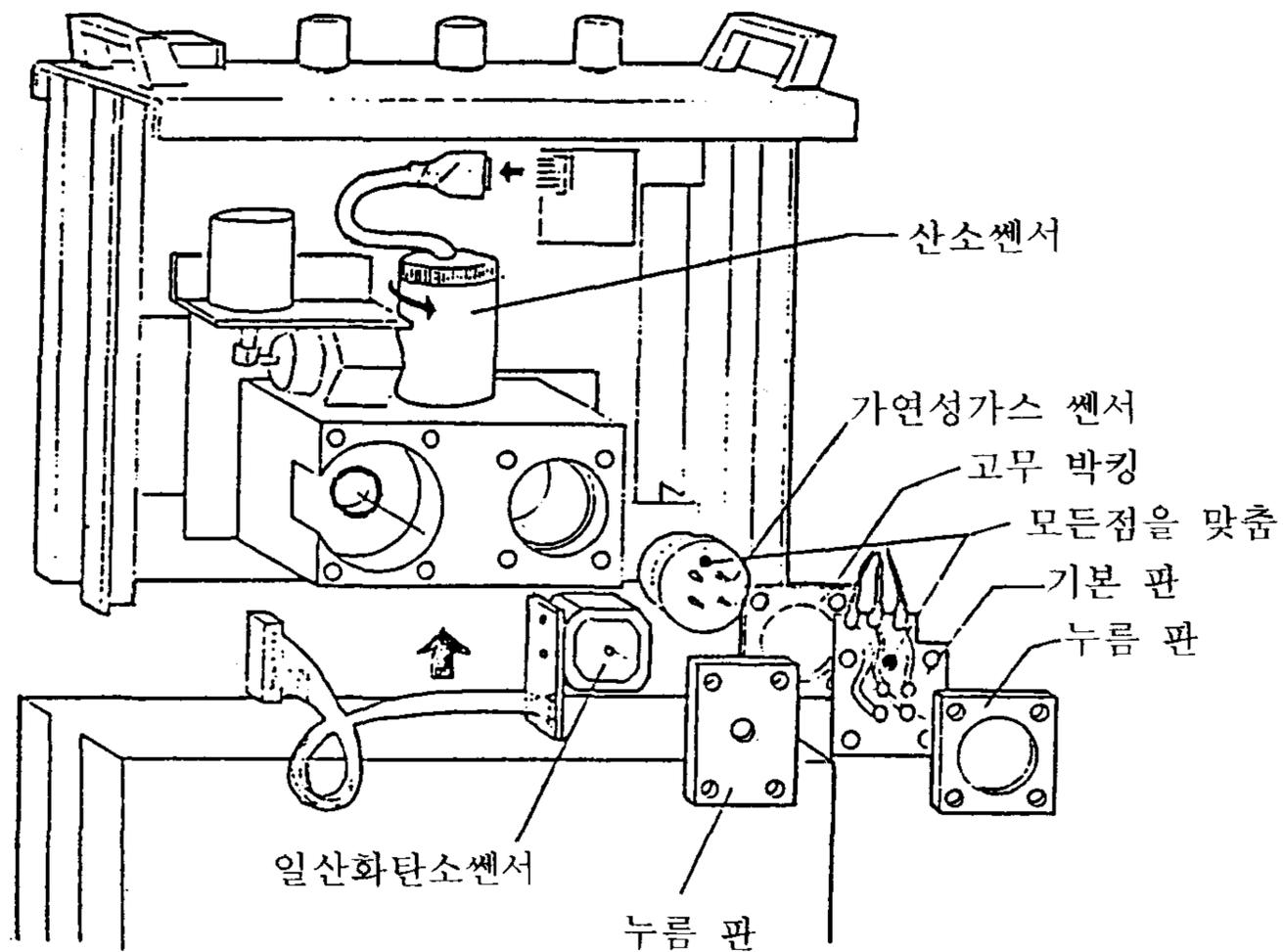


그림 9. MD-711의 센서 취부도

- 채취대를 분리하고 공기를 흡인시켜서 농도 표시가 0으로 돌아 온뒤에 스위치를 끈다(그림 10. 참조).

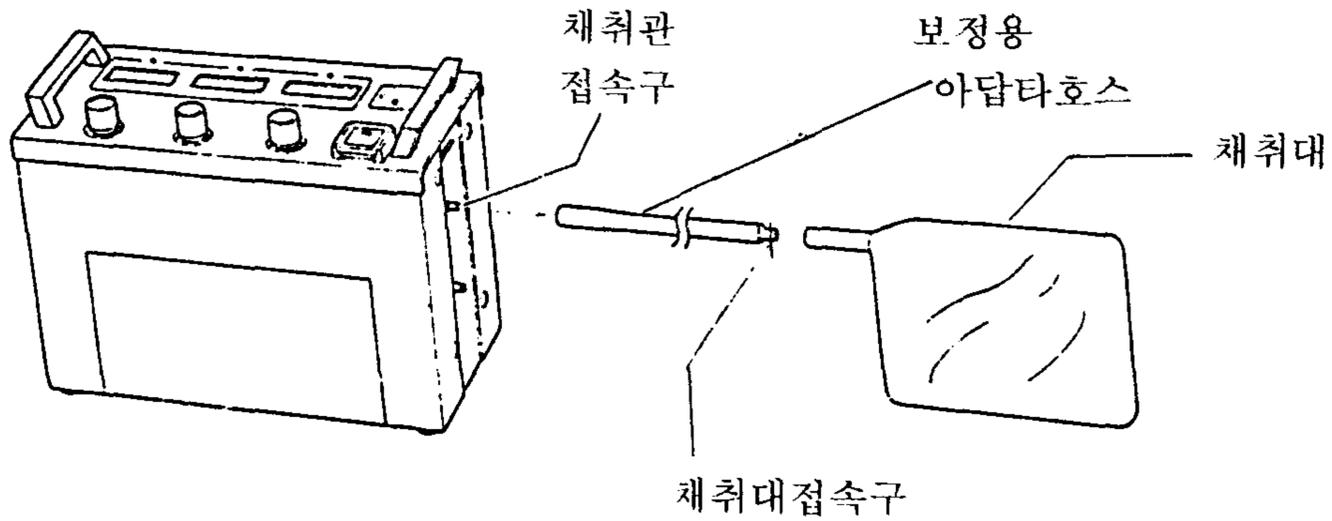


그림 10. MD-711 측정기의 보정

4) 공기 채취관계 점검

- 가스 채취관

가스 채취관이 꾸겨지거나 찢어지거나 막히거나 하면 새것으로 교환해야 한다.

- 흡인 Pump

측정기를 장기간 사용하면 다이아 후램 Valve가 노화되고 먼지 등이 끼어서 흡인 Pump 능력이 저하된다. 공기 채취관계에 있어 누기가 없어야 하는 원측에 못 따라 가거나 Pump소리가 적거나 등등의 증상이 보이는 경우에는 오바 홀할 필요가 있다.

VI-2. 조사 측정방법

VI-2-1. 풍량 및 풍향

지하공간의 출입 통로 및 내의 주요 통로의 풍향은 발연관을 이용하여 공기의 흐름 방향을 조사하였고 같은 개소의 공기흐름량을 소형 풍속계를 이용하여 평균 풍속을 측정하고 그곳의 단면적을 측정하여 평균 속도와 단면적을 승하므로 공기의 흐름량(풍량)을 측정하였다. 이와 같은 측정을 각 지구 지하공간에 대하여 3차(춘, 하, 동)에 걸쳐 조사측정 하였으며 각차에서도 2회 조사측정하였다.

VI-1-2. 가스 농도 및 온습도

각 지구 지하공간내 중심이 되는 장소에서 산소 및 일산화탄소(CO)농도 측정은 MD-711 측정기를, 이산화탄소(CO₂)농도 측정은 북천식 검지관 측정기를, 분진농도는 분진농도 측정기(LD-1E)를, 온도 습도는 온습도계(Testo term)를, 라돈(Rn)측정은 라돈농도 측정기(Radon WL Meter)를 이용하여 오전 10시-10:30시 부터 1시간 간격으로 오후 5시까지 8회 측정하였다. 이와 같은 측정은 년2차(춘, 하)에 걸쳐 측정하였으며 각 차에서는 2일 주 2회 측정하였다.

각 지구별 지하공간 출입구, 통로 및 환기계통은 그림 11, 12 및 13과 같고 각 지구별 각 차별로 조사 측정한 조사측정치는 표 9에서 표 17까지와 같다.

또한 각 측정기구 조사 측정사진은 그림 14부터 18에서 보여주고 있다.

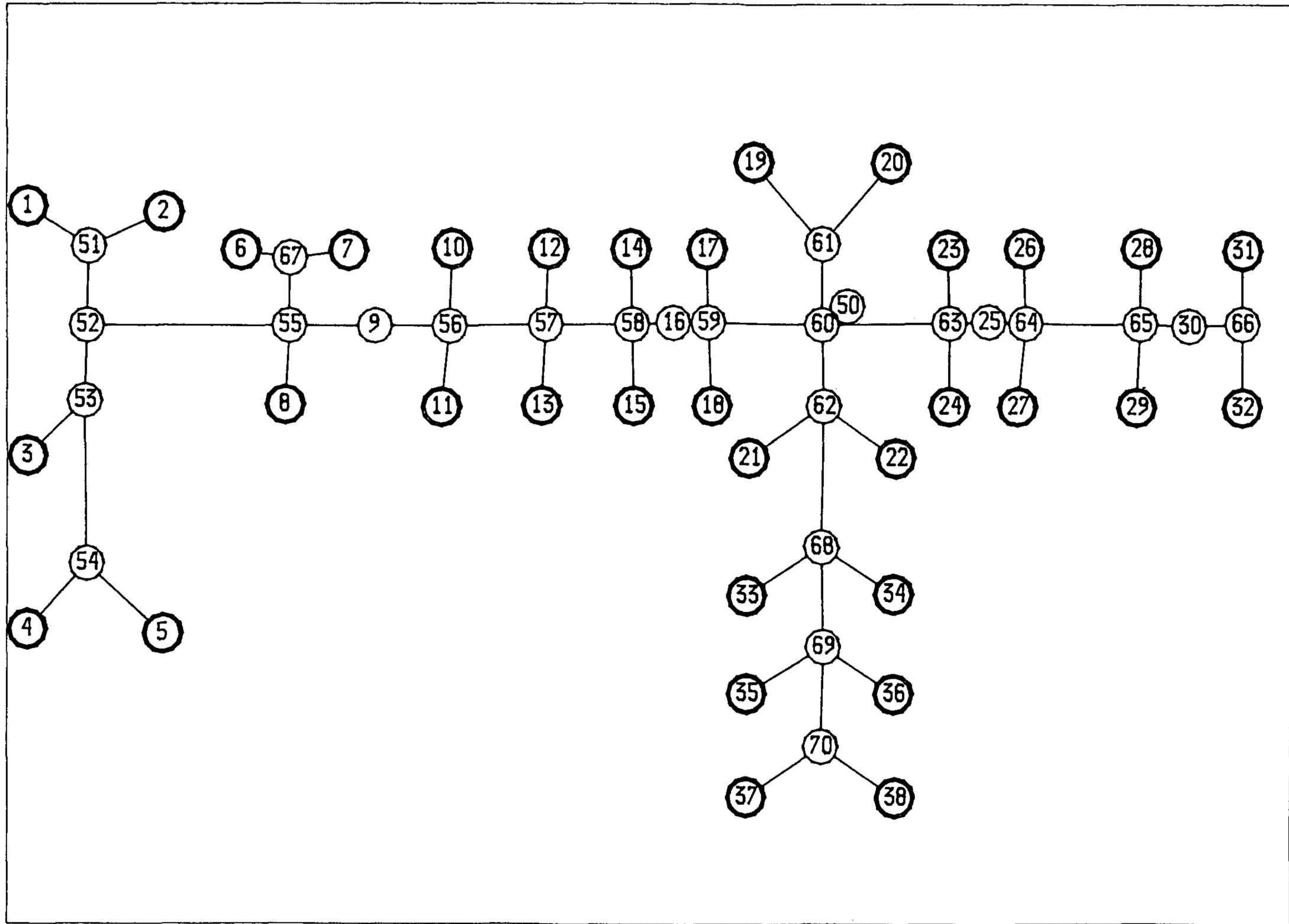


그림11. A지구 출입구, 통로 및 환기계통도

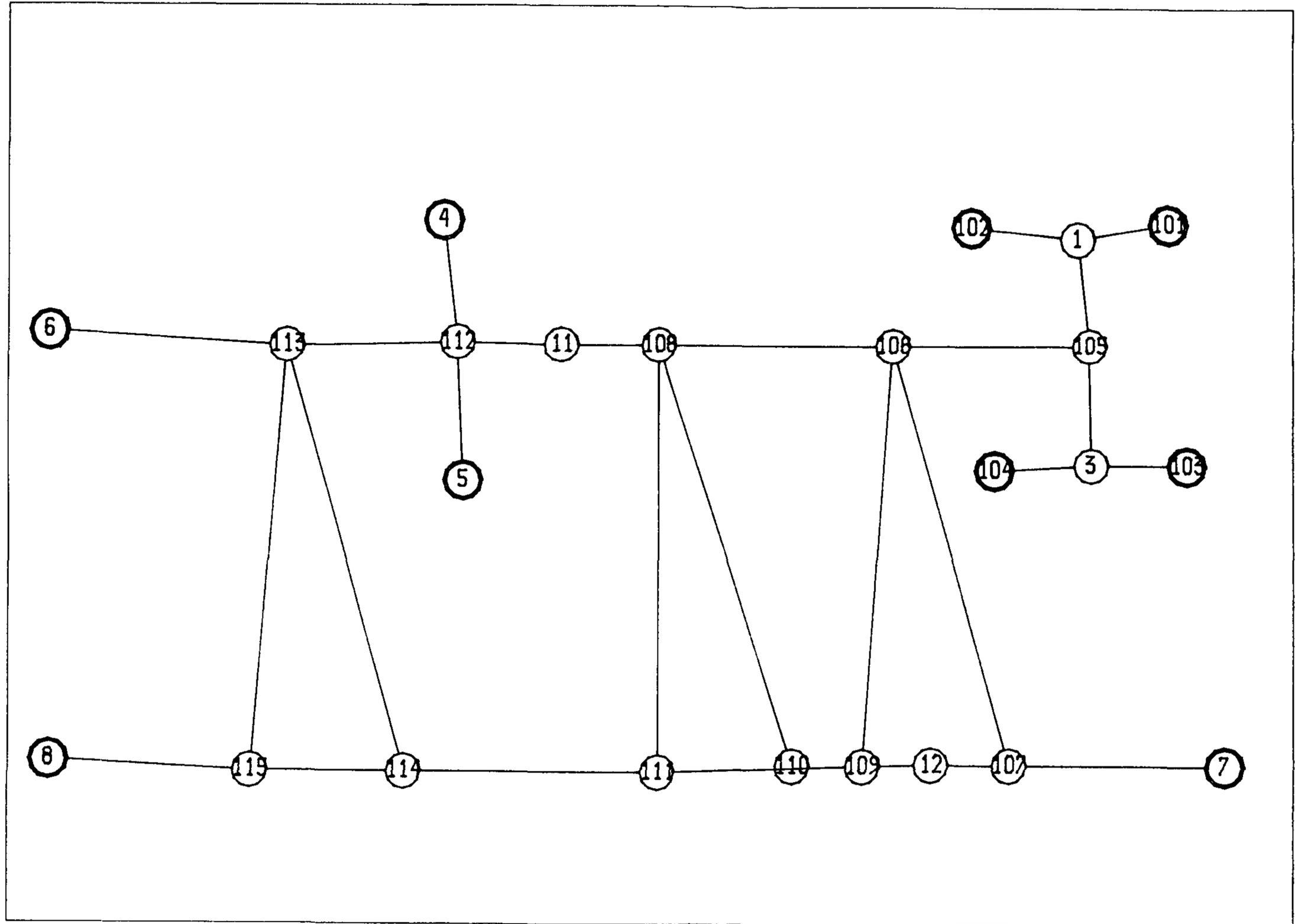


그림12. B지구 출입구, 통로 및 환기계통도

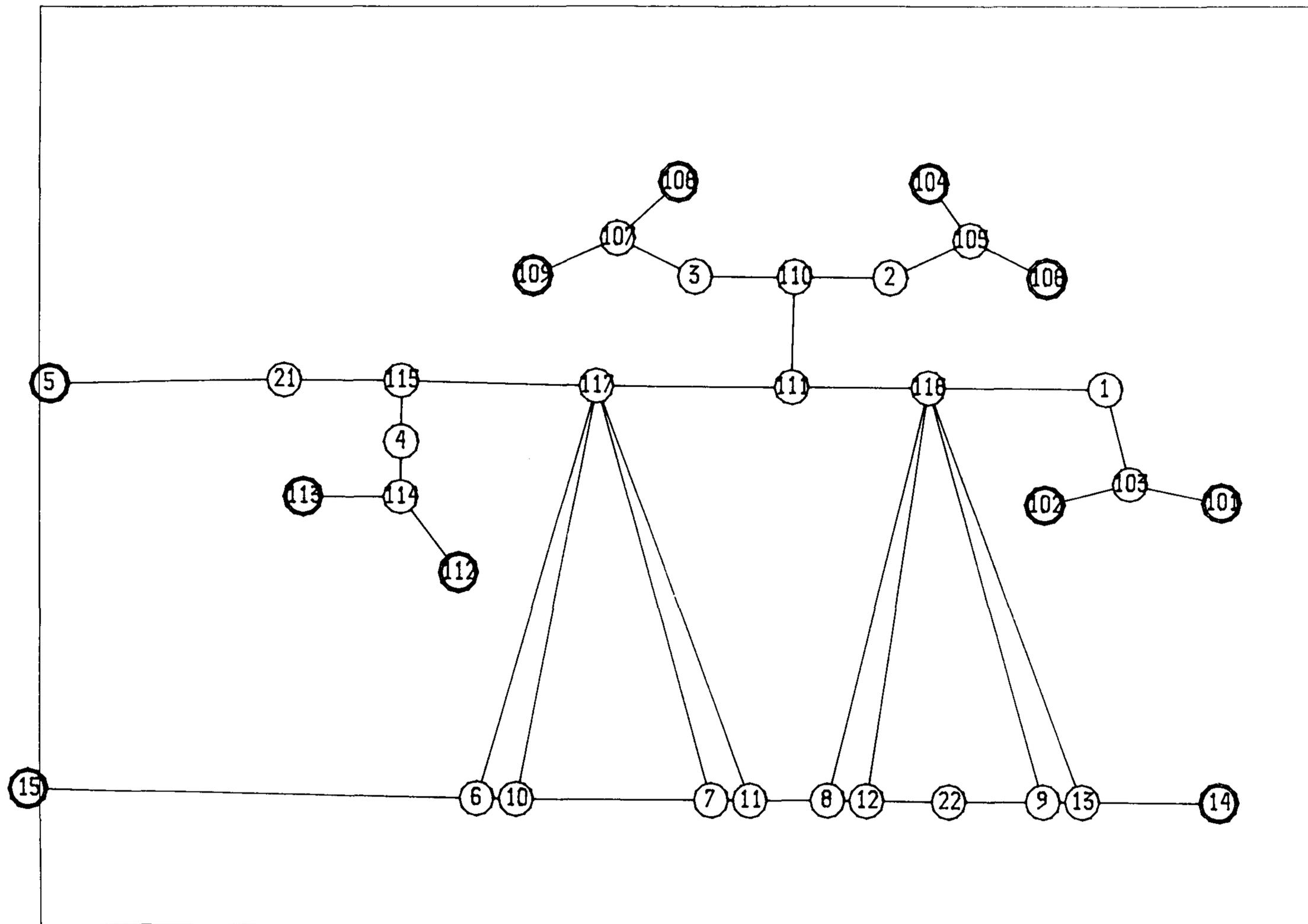


그림13. C지구 출입구, 통로 및 환기계통도



그림14. 풍속 측정

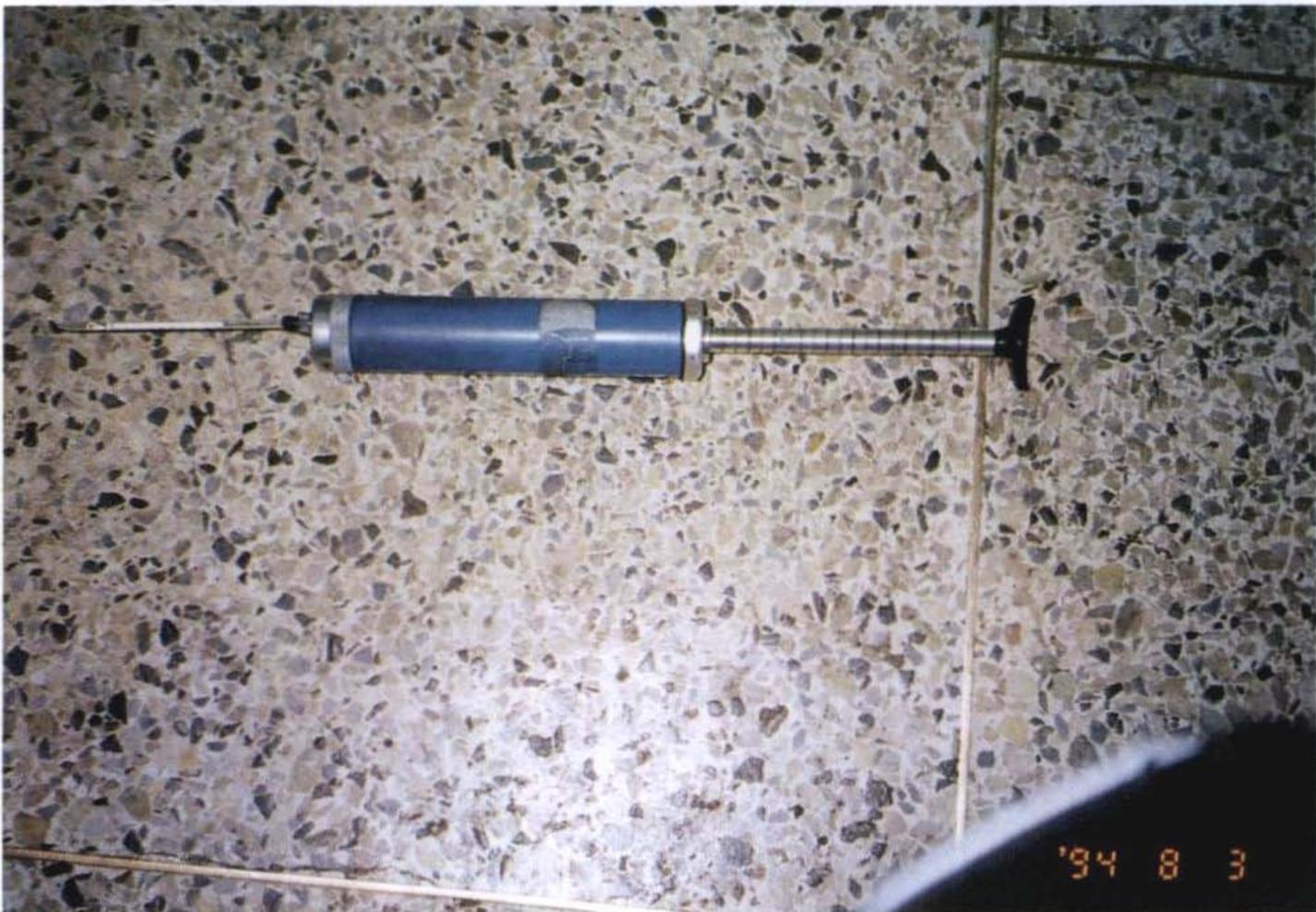


그림15. CO₂ 가스 농도 측정



그림16. 분진 농도 및 온·습도 측정



그림17. MD-711의 CO 및 산소 가스 농도 측정



그림18. 라돈 측정

표 9. A지구 1차 측정

1) 풍량 및 풍향

측정개소	단 면 적 m ²	94. 2. 24 11:00			94. 2. 25 11:00			비 고
		풍 속	풍 량	풍 향	풍 속	풍 량	풍 향	
		M/S	M ³ /Min		M/S	M ³ /Min		
1	4.8	1.57	452	들어옴	0.58	167	나감	
2	4.8	0.97	279	나감	0.98	282	나감	
3	4.6	0.62	171	나감	1.20	331	나감	
4	10.25	1.34	824	들어옴	0.76	467	들어옴	
5	5.0	0.6	180	나감	0.85	255	나감	
6	0.99	0.7	42	들어옴	0.93	55	나감	
7	5.04	0.75	227	나감	0.38	115	들어옴	
8	5.04	1.37	414	나감	1.02	308	나감	
9	22.33	0.98	1313	나감	0.73	978	나감	C34.35간
10	5.04	1.25	378	나감	2.07	626	들어옴	
11	5.04	0.82	248	나감	1.62	490	들어옴	
12	5.04	1.92	581	들어옴	0.87	263	들어옴	
13	5.04	2.23	674	나감	1.05	318	나감	
14	5.04	1.63	493	들어옴	1.65	499	들어옴	
15	5.04	2.25	680	나감	1.25	378	나감	
16	22.33	0.34	456	나감				C19.20간
17	5.25	1.93	608	나감	1.53	479	들어옴	
18	5.04	1.12	339	나감	0.38	115	들어옴	
19	5.04	1.55	469	들어옴	1.67	505	들어옴	
20	5.04	0.93	281	들어옴	0.45	136	나감	
21	5.04	1.02	309	들어옴	1.27	384	나감	
22	5.04	0.38	115	나감	1.88	568	나감	
23	5.04	1.00	302	들어옴	0.92	278	나감	
24	5.04	1.62	490	들어옴	0.63	191	나감	
25	22.04	0.33	436	나감	0.37	489	들어옴	A55.56간
26	5.04	0.92	278	나감	0.77	233	나감	
27	5.04	0.65	197	들어옴	0.58	175	나감	
28	5.04	1.02	309	나감	0.73	221	들어옴	
29	5.04	1.92	581	들어옴	1.60	484	들어옴	
30	22.33	0.33	442	들어옴	0.30	402	들어옴	A8.9간
31	13.25	0.63	501	들어옴	0.68	541	들어옴	
32	13.25	0.58	481	들어옴	0.43	342	들어옴	

표 10. A지구 2차 측정

1) 풍량 및 풍향

측정개소	단 면 적 m ²	94. 5. 19 11:00			94. 5. 20 11:00			비 고
		풍 속	풍 량	풍 향	풍 속	풍 량	풍 향	
		M/S	M ³ /Min		M/S	M ³ /Min		
1	4.8	1.08	311	나감	0.32	92	나감	
2	4.8	0.68	196	나감	0.37	107	나감	
3	4.6	0.55	152	들어옴	0.27	75	나감	
4	10.25	0.58	357	나감	0.34	209	들어옴	
5	5.0	0.88	264	나감	0.40	120	들어옴	
6	0.99	0.27	16	들어오	0.63	37	들어옴	주차장출입문
7	5.04	1.10	333	나감	0.43	130	들어옴	
8	5.04	0.62	188	들어옴	0.57	172	들어옴	
9	22.33	0.37	496	들어옴	0.30	402	들어옴	C34.35간
10	5.04	1.65	499	나감	1.02	308	나감	
11	5.04	0.68	206	나감	0.28	85	나감	
12	5.04	1.18	357	나감	0.33	100	나감	
13	5.04	1.42	429	들어옴	0.30	91	들어옴	
14	5.04	2.00	605	나감	0.58	175	나감	
15	5.04	0.97	293	들어옴	0.37	112	들어옴	
16	22.33	0.43	576	들어옴	0.28	375	들어옴	C19.20간
17	5.25	2.20	693	나감	0.65	205	나감	
18	5.04	1.10	333	나감	0.40	121	나감	
19	5.04	2.15	650	들어옴	0.97	293	나감	
20	5.04	0.48	145	나감	0.83	251	나감	
21	5.04	0.46	139	들어옴	0.48	145	나감	
22	5.04	0.46	139	들어옴	0.60	181	들어옴	
23	5.04	0.70	212	나감	0.40	121	나감	
24	5.04	0.90	272	나감	0.62	188	나감	
25	22.04	0.34	450	나감	0.26	344	나감	A55.56간
26	5.04	0.78	236	들어옴	0.35	106	나감	
27	5.04	0.35	106	들어옴	0.28	85	나감	
28	5.04	1.03	311	나감	0.40	121	나감	
29	5.04	1.78	538	들어옴	0.67	203	나감	
30	22.33	0.32	429	들어옴	0.34	456	나감	A8.9간
31	13.25	0.44	350	나감	0.33	262	나감	
32	13.25	0.92	731	들어옴	0.36	286	나감	

2) 가스 농도 및 온습도

일시 구분		1994. 5. 19(지점 50) 맑음							비 고	
		10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30		17:30
O ₂ (%)		20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	
CO(PPM)		2	2	2	2	2	2	2	2	
CO ₂ (PPM)		400	400	450	500	500	550	600	500	
분진 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	내	190	90	80	160	150	160	90	120	
	외									
온도 (°C)	내	20.5	20.5	21.0	22.0	22.5	21.5	21.5	21.0	
	외	20.0	21.0	22.0	23.5	24.0	25.0	23.5	23.0	
습도 (°C)	내	59.0								
	외	44.0								
Rn(mWL)		0.76								

일시 구분		1994. 5. 20(지점 50) 맑음							비 고	
		10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30		17:30
O ₂ (%)		20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	
CO(PPM)		1	1	1	3	2	1	1	1	
CO ₂ (PPM)		400	500	550	600	650	750	800	600	
분진 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	내	60	40	60	90	150	140	120	80	
	외									
온도 (°C)	내	20.4	21.5	21.2	21.2	21.0	21.4	21.2	21.8	
	외	19.2	22.8	25.0	26.3	26.2	26.3	26.0	26.1	
습도 (°C)	내	51.0	45.0	45.0	48.0					
	외	38.0	32.0	35.0	35.0					
Rn(mWL)		1.23								

표 11. A지구 3차 측정

1) 풍량 및 풍향

측정개소	단 면 적 m ²	94. 7. 26 11:00			94. 7. 27 11:00			비 고
		풍 속 M/S	풍 량 M ³ /Min	풍 향	풍 속 M/S	풍 량 M ³ /Min	풍 향	
1	4.8	0.41	118	들어옴	0.41	118	나감	
2	4.8	0.34	98	들어옴	0.38	109	나감	
3	4.6	0.35	97	들어옴	0.33	91	들어옴	
4	10.25	0.29	178	나감	0.34	209	들어옴	
5	5.0	0.69	207	나감	0.57	171	나감	
6	0.99	0.67	40	나감	0.40	24	들어옴	
7	5.04	0.40	121	들어옴	0.42	127	들어옴	
8	5.04	0.26	79	들어옴	0.68	206	나감	
9	22.33	0.54	723	들어옴	0.42	562	나감	
10	5.04	0.41	124	들어옴	0.68	206	들어옴	
11	5.04	0.45	136	나감	0.67	203	들어옴	
12	5.04	0.34	103	들어옴	0.37	112	나감	
13	5.04	0.77	233	나감	0.33	98	나감	
14	5.04	0.55	166	나감	0.44	133	나감	
15	5.04	0.53	160	나감	0.43	130	나감	
16	22.33				0.44	590	들어옴	
17	5.25	0.49	154	나감	0.29	91	들어옴	
18	5.04	0.45	136	들어옴	0.40	121	나감	
19	5.04	1.28	387	들어옴	0.63	191	들어옴	
20	5.04	0.35	106	나감	0.42	127	나감	
21	5.04	0.43	130	나감	0.57	172	들어옴	
22	5.04	0.33	100	나감	0.88	266	나감	
23	5.04	0.37	112	나감	0.38	115	나감	
24	5.04	0.52	157	나감	0.50	151	나감	
25	22.04				0.41	542	나감	
26	5.04	0.51	154	나감	0.75	227	나감	
27	5.04	0.48	145	나감	0.47	142	나감	
28	5.04	1.37	414	들어옴	0.59	178	들어옴	
29	5.04	0.85	257	들어옴	0.33	100	나감	
30	22.33	0.36	482	나감	0.31	415	나감	
31	13.25	0.79	628	들어옴	0.37	294	나감	
32	13.25	0.51	405	나감	0.33	262	들어옴	
33	5.30	0.33	105	들어옴	0.36	115	들어옴	
34	5.30	0.53	169	나감	0.35	113	나감	
35	5.30	0.40	127	들어옴	0.50	159	들어옴	
36	5.30	0.53	169	나감	0.30	95	나감	
37	5.30	0.43	137	들어옴	0.55	175	나감	
38	5.30	0.34	108	나감	0.41	130	나감	

2) 가스 농도 및 온습도

일시		1994. 7. 26(지점 50) 맑음								비 고
		10	11	12	13	14	15	16	17	
O ₂ (%)		20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	
CO(PPM)		2	2	4	4	3	5	5	5	
CO ₂ (PPM)		450	500	750	550	500	750	500	1000	
분진 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	내	40	50	60	50	50	60	70	80	
	외	20	40	40	40	40	110	70	50	
온도 (°C)	내	29.9	28.8	28.2	28.9	28.1	28.3	28.4	28.5	
	외	31.3	33.8	33.8	33.2	32.7	31.5	31.0	30.5	
습도 (°C)	내	48.8	53.8	50.7	51.4	55.6	54.5	52.9	52.7	
	외	50.2	42.3	42.7	48.7	51.6	57.0	56.7	62.6	
Rn(mWL)		0.76(4시간)								

일시		1994. 7. 27(지점 50) 맑음								비 고
		10	11	12	13	14	15	16	17	
O ₂ (%)		20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	
CO(PPM)		2	2	3	2	2	4	2	2	
CO ₂ (PPM)		400	500	600	600	900	1000	1100	800	
분진 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	내	30	50	50	50	60	60	70	60	
	외	40	40	40	30	40	50	40	40	
온도 (°C)	내	29.8	27.9	28.6	30.3	28.9	28.8	29.3	29.6	
	외	31.8	31.6	31.5	31.9	34.2	33.2	34.4	33.7	
습도 (°C)	내	51.2	56.5	54.7	54.1	57.5	54.9	58.6	55.5	
	외	55.7	57.4	56.1	56.5	53.2	53.4	50.3	51.3	
Rn(mWL)		0.58(4시간)								

표 12. B지구 1차 측정

1) 풍량 및 풍향

측정개소	단 면 적 m ²	94. 3. 17 11:00			94. 3. 18 11:00			비 고
		풍 속 M/S	풍 량 M ³ /Min	풍 향	풍 속 M/S	풍 량 M ³ /Min	풍 향	
1	6.9	0.76	315	들어옴	0.71	294	들어옴	
2	6.9	1.39	575	들어옴	0.84	348	들어옴	
3	10.6	0.86	566	들어옴	0.56	356	들어옴	
4	7.7	3.08	1423	들어옴	2.07	956	나감	
5	8.9	1.92	1025	나감	1.07	571	들어옴	
6	12.5	1.25	938	나감	0.89	668	나감	
7	45.4	0.4	1090	들어옴	0.85	2315	들어옴	
8	45.4	0.4	1090	나감	0.8	2179	나감	

측정개소	단 면 적 m ²	94. 3. 18 0:30			비 고
		풍 속 M/S	풍 량 M ³ /Min	풍 향	
7	45.4	0.4	1090	나감	
8	45.4	0.3	819	들어옴	

표 13. B지구 2차 측정

1) 풍량 및 풍향

측정개소	단 면 적 m ²	94. 5. 24 11:00			94. 5. 25 11:00			비 고
		풍 속 M/S	풍 량 M ³ /Min	풍 향	풍 속 M/S	풍 량 M ³ /Min	풍 향	
1	10.6	0.84	534	들어옴	0.7	445	나감	
3	10.7	0.8	509	나감	0.5	318	나감	
4	7.7	0.42	194	들어옴	0.4	185	나감	
5	8.9	0.38	203	들어옴	0.7	374	나감	
6	12.5	0.6	450	들어옴	0.58	435	들어옴	
7	45.4	0.3	817	나감	0.5	1362	나감	
8	45.4	0.3	817	나감	0.5	1362	나감	

2) 가스 농도 및 온습도

일시		1994. 5. 24(지점 11) 12시부터 비								비 고
		10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	
구분										
O ₂ (%)		20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	
CO(PPM)		4	3	2	3	4	2	3	4	
CO ₂ (PPM)		550	600	500	550	600	600	500	500	
분진 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	내	60	50	60	70	40	50	40	50	
	외									
온도 (°C)	내	27.2	28.5	27.4	27.6	25.3	27.5	25.4	24.5	
	외	28.4	27.5	27.1	25.5	22.9	23.7	23.4	23.3	
습도 (°C)	내	48.0	43.2	43.6	54.4	59.3	53.8	60.1	63.4	
	외	41.9	44.5	45.1	81.5	69.9	68.2	64.1	67.3	
Rn(mWL)		1.92								

일시		1994. 5. 25(지점 12) 비								비 고
		10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	
구분										
O ₂ (%)		20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	
CO(PPM)		6	6	7	7	6	6	6	6	
CO ₂ (PPM)		500	550	550	500	550	550	550	600	
분진 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	내	50	50	40	50	60	50	50	50	
	외									
온도 (°C)	내	27.9	28.7	29.2	28.2	29.7	30.4	29.1	29.5	
	외	22.3	21.3	22.2	23.6	24.5	24.4	25.8	24.6	
습도 (°C)	내	63.3	59.5	57.3	60.3	56.7	53.9	58.7	54.5	
	외	90.5	80.5	78.5	72.2	68.9	74.2	69.5	70.5	
Rn(mWL)		1.74								

표 14. B지구 3차 측정

1) 풍량 및 풍향

측정개소	단면적 m ²	94. 8. 2 11:00			94. 8. 3 11:00			비 고
		풍속 M/S	풍량 M ³ /Min	풍향	풍속 M/S	풍량 M ³ /Min	풍향	
1	10.6	0.7	445	들어옴	1.7	1081	나감	
3	10.6	1.37	871	나감	1.56	992	나감	
4	7.7	1.2	554	들어옴	1.52	702	들어옴	
5	8.9	0.83	443	들어옴	1.29	689	들어옴	
6	12.5	1.13	848	나감	0.86	645	들어옴	
7	45.4	0.2	545	나감	0.4	1090	나감	
8	45.4	0.5	1362	나감	0.3	817	나감	

2) 가스 농도 및 온습도

일시		1994. 8. 2(지점 11) 맑음								비 고
		10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	
구분		20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	
O ₂ (%)		20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	
CO(PPM)		5	3	2	4	4	2	4	4	
CO ₂ (PPM)		500	500	500	600	500	500	500	500	
분진 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	내	130	90	110	110	80	90	140	90	
	외	80	80	80	100	80	80	120	70	
온도 (°C)	내	32.8	33.2	32.9	33.2	32.9	33.2	33.5	32.2	
	외	33.6	32.7	32.5	35.3	35.2	34.5	34.1	32.8	
습도 (°C)	내	61.7	59.8	54.7	56.2	51.7	53.4	56.5	57.9	
	외	56.3	58.3	53.7	43.2	43.4	51.8	55.1	66.4	
Rn(mWL)		0.94								

일시		1994. 8. 3(지점 12) 맑음								비 고
		10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	
구분		20.9	20.9	20.9	40.9	2.9	20.9	20.9	20.9	
O ₂ (%)		20.9	20.9	20.9	40.9	2.9	20.9	20.9	20.9	
CO(PPM)		4	4	4	4	4	4	3	3	
CO ₂ (PPM)		600	600	500	500	600	500	500	500	
분진 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	내	130	140	150	110	110	140	190	120	
	외	70	90	90	70	50	40	50	60	
온도 (°C)	내	35.1	34.3	35.6	34.7	34.6	36.4	35.2	35.4	
	외	32.1	33.3	34.2	32.2	33.6	32.4	32.4	34.2	
습도 (°C)	내	55.8	56.3	52.5	54.8	55.8	52.2	51.6	57.7	
	외	64.9	55.2	57.2	65.1	54.6	65.2	65.2	67.4	
Rn(mWL)		1.05								

표 15. C지구 1차 측정

1) 풍량 및 풍향

측정개소	단면적 m ²	94. 3. 17 14:00			94. 3. 18 13:30			비 고
		풍속 M/S	풍량 M ³ /Min	풍향	풍속 M/S	풍량 M ³ /Min	풍향	
1	20.1	1.57	1893	들어옴	1.98	2388	들어옴	풍향은
2	17.7	1.35	1434	들어옴	0.93	988	들어옴	중심기준
3	17.9	1.43	1536	나감	0.9	967	나감	
4	17.0	0.67	704	들어옴	0.91	928	들어옴	
5	4.1	1.7	418	들어옴	1.33	327	나감	
6	7.7	0.53	245	들어옴	1.35	624	나감	
7	7.7	1.02	471	나감	0.8	370	들어옴	
8	7.7	1.17	540	나감	1.43	661	나감	
9	7.7	0.55	254	들어옴	0.5	231	나감	
10	7.7	0.58	268	나감	1.18	545	나감	
11	7.7	1.03	476	들어옴	0.5	231	들어옴	
12	7.7	0.55	254	나감	0.63	183	나감	
13	7.7	1.9	878	나감	1.3	601	나감	
14	45.4	0.95	2588	나감	0.35	953	나감	
15	45.4	0.85	2315	들어옴	0.45	1225	들어옴	

표 16. C지구 2차 측정

1) 풍량 및 풍향

측정개소	단 면 적 m ²	94. 5. 26 11:00			94. 5. 27 11:00			비 고
		풍 속 M/S	풍 량 M ³ /Min	풍 향	풍 속 M/S	풍 량 M ³ /Min	풍 향	
1	20.1	0.46	555	나감	2.0	2412	들어옴	
2	17.7	0.45	478	들어옴	0.5	531	나감	
3	17.9	0.36	387	들어옴	0.36	387	나감	
4	17.0	0.41	418	들어옴	0.43	439	나감	
5	21.3	0.4	511	들어옴	0.43	550	들어옴	
6	7.7	0.93	430	나감	0.45	208	나감	
7	7.7	0.35	162	나감	0.32	148	나감	
8	7.7	0.42	194	나감	0.37	171	나감	
9	7.7	0.4	185	나감	0.33	153	나감	
10	7.7	0.35	162	나감	0.54	250	나감	
11	7.7	0.35	162	나감	1.05	485	나감	
12	7.7	0.4	185	나감	0.37	171	나감	
13	7.7	0.4	185	나감	0.92	425	들어옴	
14	45.4	0.4	1090	나감	0.8	2179	나감	
15	45.4	0.5	1362	나감	0.4	1090	나감	

2) 가스 농도 및 온습도

일시 구분		1994. 5. 26(지점 21) 흐림							비 고	
		10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30		17:30
O ₂ (%)		20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	
CO(PPM)		2	4	4	4	4	4	4	5	
CO ₂ (PPM)		500	500	500	550	600	500	500	550	
분진 (μg/m ³)	내	50	50	40	40	40	40	30	20	
	외	70	60	60	50	50	40	30	30	
온도 (°C)	내	25.5	25.6	26.7	26.2	26.1	26.1	26.3	25.6	
	외	26.3	26.5	27.4	25.8	25.2	25.7	24.2	24.5	
습도 (°C)	내	69.6	68.5	62.8	65.5	66.1	62.7	60.6	57.6	
	외	63.2	58.3	61.1	66.4	69.7	60.5	61.6	56.4	
Rn(mWL)		0.87								

구분	일시	1994. 5. 27(지점 22) 맑음, 바람							비 고	
		10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30		17:30
O ₂ (%)		20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	
CO(PPM)		4	4	3	3	3	2	2	3	
CO ₂ (PPM)		450	400	400	450	400	350	350	450	
분진 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	내	20	20	20	20	20	20	20	20	
	외	20	20	20	20	30	20	20	20	
온도 ($^{\circ}\text{C}$)	내	23.7	24.3	24.9	24.8	25.5	25.3	25.4	24.6	
	외	21.3	23.4	24.4	22.4	24.2	23.5	23.2	23.3	
습도 ($^{\circ}\text{C}$)	내	35.5	32.7	30.6	30.5	29.3	30.9	27.5	29.8	
	외	28.0	24.8	22.8	22.2	26.5	24.3	21.7	22.1	
Rn(mWL)		0.90								

표 17. C지구 3차 측정

1) 풍량 및 풍향

측정개소	단면적 m^2	94. 8. 4 11:00			94. 8. 5 11:00			비 고
		풍속 M/S	풍량 M^3/Min	풍향	풍속 M/S	풍량 M^3/Min	풍향	
1	20.1	1.35	1628	들어옴	1.13	1363	나감	
2	17.7	0.75	797	들어옴	1.01	1073	나감	
3	17.9	0.72	773	나감	1.22	1310	들어옴	
4	17.0	0.78	796	나감	1.42	1448	나감	
5	4.1	1.4	344	들어옴	1.23	303	들어옴	
6	7.7	0.68	314	들어옴	0.5	231	들어옴	
7	7.7	0.45	208	나감	1.38	638	들어옴	
8	7.7	0.62	286	나감	0.9	416	나감	
9	7.7	0.88	407	나감	0.65	300	나감	
10	7.7	0.63	291	들어옴	0.75	347	들어옴	
11	7.7	0.42	194	들어옴	1.22	564	나감	
12	7.7	0.83	384	들어옴	2.22	1026	나감	
13	7.7	0.8	570	나감	2.17	1003	들어옴	
14	45.4	0.4	1090	나감	0.3	817	들어옴	
15	45.4	0.4	1090	들어옴	0.4	1090	나감	

2) 가스 농도 및 온습도

일시 구분		1994. 8. 4(지점 21) 맑음							비 고	
		10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30		17:30
O ₂ (%)		20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	
CO(PPM)		3	2	2	2	1	2	2	2	
CO ₂ (PPM)		500	500	500	700	600	600	800	600	
분진 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	내	50	40	40	40	40	40	40	50	
	외	30	30	40	30	40	30	30	30	
온도 (°C)	내	31.7	31.9	32.0	30.5	33.3	31.6	31.6	31.8	
	외	30.4	31.3	31.5	32.6	33.5	33.4	31.9	31.5	
습도 (°C)	내	70.7	68.7	65.1	65.3	60.1	59.8	61.5	65.9	
	외	67.8	65.3	66.3	60.5	57.5	59.2	64.5	65.8	
Rn(mWL)		0.43								

일시 구분		1994. 8. 5(지점 22) 맑음							비 고	
		10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30		17:30
O ₂ (%)		20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	
CO(PPM)		3	3	3	4	3	4	4	4	
CO ₂ (PPM)		500	500	500	500	600	500	600	600	
분진 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	내	50	90	60	70	60	70	80	50	
	외	30	50	50	50	40	40	60	40	
온도 (°C)	내	32.6	33.5	32.7	34.4	33.2	33.8	34.8	35.1	
	외	32.7	34.8	33.7	34.4	36.8	33.8	35.3	36.2	
습도 (°C)	내	63.5	61.5	63.8	57.2	59.7	57.2	56.7	50.8	
	외	57.5	55.3	54.6	56.1	47.6	51.3	43.3	42.1	
Rn(mWL)		2.1								

VII. 분석 및 고찰

VII-1. 갱내통기 Software 적용시도

지하공간 공공시설의 환기계통에 대하여 광산 갱내통기 System Software를 적용하여 전산해석 및 환기계통 Simulation이 가능한지 여부를 확인하기 위하여 적용시도를 하였다.

먼저 각 지구를 조사 측정하고 계산하여 입력자료를 작성하였는데 그 입력자료는 표 18, 표 19, 표 20과 같다. 또한 각 지구 지하공간내 환기계통의 전산해석을 위한 환기망도는 그림 19, 그림 20, 그림 21과 같으며 이들을 이용하여 전산해석한 결과는 전산해석은 되지 않았지만 그 결과는 표 21, 표 22, 표 23과 같이 나타났다.

표 18. A지구 입력자료

[memo1] *****.***

[memo2]

[Surface_node]:Total Number/number, elevation(m upward is plus)

62									
1	5.0	2	5.0	101	5.0	102	5.0	103	5.0
104	5.0	105	5.0	106	5.0	107	5.0	108	5.0
4	5.0	5	5.0	3	5.0	8	5.0	6	5.0
7	5.0	10	5.0	11	5.0	109	5.0	110	5.0
111	5.0	112	5.0	113	5.0	114	5.0	115	5.0
116	5.0	117	5.0	12	5.0	13	5.0	118	5.0
119	5.0	14	5.0	15	5.0	120	5.0	121	5.0
122	5.0	17	5.0	18	5.0	123	5.0	125	5.0
19	5.0	20	5.0	21	5.0	22	5.0	23	5.0
24	5.0	26	5.0	27	5.0	28	5.0	29	5.0
124	5.0	126	5.0	127	5.0	128	5.0	129	5.0
130	5.0	131	5.0	132	5.0	133	5.0	134	5.0
31	5.0	32	5.0						

[Underground_node]:T. Numb./number, elevation(m upward is plus)

85									
51	0.0	170	0.0	135	5.0	171	0.0	136	5.0
52	0.0	172	0.0	173	0.0	53	0.0	137	5.0
138	5.0	174	0.0	139	5.0	175	0.0	140	5.0
176	0.0	141	5.0	177	0.0	142	5.0	54	0.0
178	0.0	179	0.0	55	0.0	180	0.0	181	0.0
182	0.0	183	0.0	56	0.0	184	0.0	185	0.0
186	0.0	143	5.0	144	5.0	67	0.0	145	5.0
146	5.0	147	5.0	148	5.0	149	5.0	150	5.0
151	5.0	57	0.0	187	0.0	60	0.0	188	0.0
58	0.0	189	0.0	190	0.0	191	0.0	59	0.0
192	0.0	193	0.0	62	0.0	194	0.0	61	0.0
152	5.0	153	5.0	154	5.0	155	5.0	156	5.0
157	5.0	159	5.0	195	0.0	63	0.0	196	0.0
197	0.0	198	0.0	64	0.0	199	0.0	65	0.0
200	0.0	201	0.0	160	5.0	158	5.0	161	5.0
162	5.0	163	5.0	164	5.0	165	5.0	166	5.0
202	0.0	203	0.0	66	0.0	167	5.0	168	5.0

[Nomal road]:T. numb./nodeA,B,Resis(murgue),Temp(C),Area,Length,Conductivity

112						
1	51	0.637	20.0	4.8	9	2.00
2	51	0.637	20.0	4.8	9	2.00
3	53	0.647	20.0	4.6	10	2.00
4	54	0.287	20.0	10.3	12	2.00
5	54	0.400	20.0	5.0	9	2.00
6	67	49.469	20.0	1.0	8	2.00
7	67	0.537	20.0	5.0	5	2.00
8	55	0.567	20.0	5.0	9	2.00
10	56	0.567	20.0	5.0	9	2.00
11	56	0.567	20.0	5.0	9	2.00
12	57	0.567	20.0	5.0	9	2.00
13	57	0.567	20.0	5.0	9	2.00
14	58	0.567	20.0	5.0	9	2.00
15	58	0.567	20.0	5.0	9	2.00
17	59	0.477	20.0	5.3	9	2.00
18	59	0.567	20.0	5.0	9	2.00
19	61	0.567	20.0	5.0	9	2.00
20	61	0.567	20.0	5.0	9	2.00
21	62	0.567	20.0	5.0	9	2.00
22	62	0.567	20.0	5.0	9	2.00
23	63	0.567	20.0	5.0	9	2.00
24	63	0.567	20.0	5.0	9	2.00
26	64	0.567	20.0	5.0	9	2.00
27	64	0.567	20.0	5.0	9	2.00

28	65	0.567	0.0	5.0	9	2.00
29	65	0.567	20.0	5.0	9	2.00
31	66	0.091	20.0	13.3	9	2.00
32	66	0.091	20.0	13.3	9	2.00
51	170	0.212	20.0	13.3	12	2.00
170	171	0.121	20.0	13.3	12	2.00
171	52	0.121	20.0	13.3	12	2.00
52	172	0.121	20.0	13.3	12	2.00
52	178	0.034	20.0	22.3	12	2.00
172	173	0.121	20.0	13.3	12	2.00
173	53	0.121	20.0	13.3	12	2.00
53	174	0.121	20.0	13.3	12	2.00
174	175	0.121	20.0	13.3	12	2.00
175	176	0.121	20.0	13.3	12	2.00
176	177	0.121	20.0	13.3	12	2.00
177	54	0.121	20.0	13.3	12	2.00
178	179	0.034	20.0	22.3	12	2.00
179	55	0.034	20.0	22.3	12	2.00
55	67	0.040	20.0	13.3	4	2.00
55	180	0.057	20.0	22.3	20	2.00
180	181	0.057	20.0	22.3	20	2.00
181	182	0.570	20.0	22.3	20	2.00
182	183	0.057	20.0	22.3	20	2.00
183	56	0.057	20.0	22.3	20	2.00
56	184	0.057	20.0	22.3	20	2.00
184	185	0.057	20.0	22.3	20	2.00
185	186	0.057	20.0	22.3	20	2.00
186	187	0.057	20.0	22.3	20	2.00
57	187	0.057	20.0	22.3	20	2.00
187	188	0.057	20.0	22.3	20	2.00
188	58	0.057	20.0	22.3	20	2.00
58	189	0.057	20.0	22.3	20	2.00
189	190	0.057	20.0	22.3	20	2.00
190	191	0.057	20.0	22.3	20	2.00
191	59	0.057	20.0	22.3	20	2.00
59	192	0.014	20.0	22.3	5	2.00
192	60	0.014	20.0	22.3	5	2.00
60	193	0.014	20.0	22.3	5	2.00
60	194	0.014	20.0	22.3	5	2.00
60	195	0.014	20.0	22.3	5	2.00
193	62	0.014	20.0	22.3	5	2.00
194	61	0.014	20.0	22.3	5	2.00
195	63	0.014	20.0	22.3	5	2.00
63	196	0.057	20.0	22.3	20	2.00
196	197	0.057	20.0	22.3	20	2.00
197	198	0.057	20.0	22.3	20	2.00
198	64	0.057	20.0	22.3	20	2.00
64	199	0.014	20.0	22.3	5	2.00
199	65	0.014	20.0	22.3	5	2.00
65	200	0.057	20.0	22.3	20	2.00
200	201	0.057	20.0	22.3	20	2.00
201	202	0.057	20.0	22.3	20	2.00
202	203	0.057	20.0	22.3	20	2.00
203	66	0.057	20.0	22.3	20	2.00
135	170	4432.130	20.0	1.0	30	2.00
136	171	2730.880	20.0	1.0	30	2.00
137	172	3305.780	20.0	1.0	30	2.00
138	173	2277.700	20.0	1.0	30	2.00
139	174	4000.000	20.0	1.0	30	2.00
140	175	2277.700	20.0	1.0	30	2.00
141	176	1997.620	20.0	1.0	30	2.00
142	177	1284.670	20.0	1.0	30	2.00

143	178	2680.000	0.0	1.0	30	2.00
144	179	1834.110	20.0	1.0	30	2.00
145	180	2485.210	20.0	1.0	30	2.00
146	181	1600.000	20.0	1.0	30	2.00
147	182	1997.620	20.0	1.0	30	2.00
148	183	1284.670	20.0	1.0	30	2.00
149	184	1997.620	20.0	1.0	30	2.00
150	185	1284.670	20.0	1.0	30	2.00
151	186	4000.000	20.0	1.0	30	2.00
152	187	2386.000	20.0	1.0	30	2.00
153	188	2142.860	20.0	1.0	30	2.00
154	189	1408.000	20.0	1.0	30	2.00
155	190	1358.030	20.0	1.0	30	2.00
156	191	835.310	20.0	1.0	30	2.00
157	192	1522.490	20.0	1.0	30	2.00
158	193	970.490	20.0	1.0	30	2.00
159	194	2244.900	20.0	0.0	30	2.00
160	195	1408.000	20.0	1.0	30	2.00
161	196	2816.000	20.0	1.0	30	2.00
162	197	1834.110	20.0	1.0	30	2.00
163	198	2916.670	20.0	1.0	30	2.00
164	199	2047.460	20.0	1.0	30	2.00
165	200	1866.670	20.0	1.0	50	2.00
166	201	1209.830	20.0	1.0	50	2.00
167	202	7755.100	20.0	1.0	50	2.00
168	203	4800.000	20.0	1.0	50	2.00

[Fixed flow road]:T. numb./nodeA,B,Flow rate(m3/min)
0

[Fan]:T. numb.
34

*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
101 135
5 100.00
102.0 112.0 113.0 90.0 25.0

*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
103 137
6 100.00
105.0 122.0 123.0 110.0 72.0 5.0

*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
117 151
5 100.00
100.0 122.0 121.0 100.0 40.0

*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
107 141
7 100.00
100.0 117.0 123.0 124.0 112.0 79.0 0.0

*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
105 139
5 100.00
100.0 122.0 121.0 100.0 40.0

*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
113 147
7 100.00
100.0 117.0 123.0 124.0 112.0 70.0 0.0

*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
115 149
7 100.00
100.0 117.0 123.0 124.0 112.0 79.0 0.0

*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
109 143
6 100.00
102.0 118.0 127.0 120.0 98.0 30.0

```

*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
111 145
  7 100.00
107.0 125.0 132.0 121.0 102.0 57.0 0.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
119 153
  7 100.00
112.0 127.0 132.0 128.0 110.0 77.0 15.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
121 155
  8 100.00
100.0 108.0 117.0 128.0 130.0 119.0 96.0 35.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
123 157
  8 100.00
110.0 121.0 131.0 135.0 128.0 112.0 81.0 12.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
125 159
  7 100.00
110.0 120.0 130.0 129.0 115.0 80.0 0.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
127 161
  6 100.00
101.0 117.0 130.0 128.0 102.0 48.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
129 163
  6 100.00
100.0 118.0 130.0 120.0 91.0 28.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
131 165
  7 100.00
107.0 122.0 133.0 128.0 118.0 92.0 48.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
133 167
  4 100.00
128.0 128.0 100.0 45.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
136 102
  7 50.00
30.0 40.0 47.0 45.0 40.0 31.0 18.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
138 104
  8 50.00
39.0 46.0 49.0 47.0 43.0 34.0 20.0 0.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
140 106
  8 50.00
39.0 46.0 49.0 47.0 43.0 34.0 20.0 0.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
142 108
  6 100.00
42.0 52.0 54.0 48.0 36.0 3.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
148 114
  6 100.00
42.0 52.0 54.0 48.0 36.0 3.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
150 116
  6 100.00
42.0 52.0 54.0 48.0 36.0 3.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
144 110

```

```

5      100.00
35.0   50.0   53.0   40.0   18.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
162  128
5      100.00
35.0   50.0   53.0   40.0   18.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
146  112
6      100.00
35.0   45.0   52.0   45.0   28.0   0.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
152  118
5      100.00
40.0   48.0   43.0   34.0   4.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
154  120
6      100.00
35.0   48.0   51.0   46.0   32.0   2.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
160  126
6      100.00
35.0   48.0   51.0   46.0   32.0   2.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
156  122
8      100.00
55.0   61.0   59.0   54.0   45.0   35.0   22.0   7.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
158  124
7      100.00
46.0   53.0   60.0   50.0   37.0   24.0   0.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
164  130
5      100.00
50.0   57.0   52.0   38.0   16.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
166  132
7      100.00
47.0   53.0   54.0   49.0   37.0   22.0   0.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
168  134
6      50.00
44.0   45.0   42.0   32.0   20.0   3.0
[Fire]:Fire node, Fire temp(C), Tiem after Fire(Hour)
5      600.0      0.0
[Surface temperature](C)
20.0
&.....(don't delete)

```

표 19. B 지구 입력자료

```

[memo1] *****
[memo2]
[Surface_node]:Total Number/number, elevation(m upward is plus )
  15
  1   10.0   3   10.0   50  10.0   55  10.0   7   0.0
 60  10.0   65  10.0   6   5.0    4  10.0   5  10.0
 75  10.0   70  10.0   80  10.0   85  10.0   8   0.0
[Underground_node]:T. Numb./number, elevation(m upward is plus )
  43
105  5.0   53  5.0   58  5.0  106  5.0   54  5.0
 59  5.0   63  5.0   51  10.0  52  5.0   56  10.0
 57  5.0   61  10.0  66  10.0 108  5.0   69  5.0
112  5.0   64  5.0  113  5.0   68  5.0   62  5.0
 67  5.0   71  10.0  76  10.0  81  10.0  86  10.0
 73  0.0   78  0.0  107  0.0   74  0.0  109  0.0
 79  0.0  110  0.0   83  0.0  111  0.0   88  0.0
114  0.0   84  0.0  115  0.0   89  0.0   87  0.0
 82  0.0   77  0.0   72  0.0
[Nomal road]:T. numb./nodeA, B, Resis(murgue), Temp(C), Area, Length, Conductivity
  62
  1  105      0.103  20.0 13.2   10 2.00
  3  105      0.103  20.0 13.2   10 2.00
  4  112      0.103  20.0 13.2   10 2.00
  5  112      0.103  20.0 13.2   10 2.00
  6   68      0.005  20.0 37.5    5 2.00
  7   73      0.001  20.0 81.5    4 2.00
  8   89      0.001  20.0 81.5    4 2.00
105  53      0.003  20.0 37.5    3 2.00
 53  58      0.003  20.0 37.5    3 2.00
 58 106      0.003  20.0 37.5    3 2.00
106 107      0.255  20.0  8.7    8 2.00
106 109      0.255  20.0  8.7    8 2.00
106  54      0.005  20.0 37.5    5 2.00
 54  59      0.196  20.0  7.5    5 2.00
 59  63      0.196  20.0  7.5    5 2.00
 63 108      0.005  20.0 37.5    5 2.00
108  69      0.005  20.0 37.5    5 2.00
108 110      0.255  20.0  8.7    8 2.00
108 111      0.255  20.0  8.7    8 2.00
 69 112      0.005  20.0 37.5    5 2.00
112  64      0.004  20.0 37.5    4 2.00
 64 113      0.004  20.0 37.5    4 2.00
113  68      0.004  20.0 37.5    4 2.00
113 114      0.255  20.0  8.7    8 2.00
113 115      0.255  20.0  8.7    8 2.00
 73  78      0.001  20.0 81.5    4 2.00
107  78      0.001  20.0 81.5    4 2.00
107  74      0.001  20.0 81.5    4 2.00
109  74      0.001  20.0 81.5    4 2.00
109  79      0.001  20.0 81.5    4 2.00
110  79      0.001  20.0 81.5    4 2.00
110  83      0.001  20.0 81.5    4 2.00
 83 111      0.001  20.0 81.5    4 2.00
111  88      0.001  20.0 81.5    4 2.00
 88 114      0.001  20.0 81.5    4 2.00
114  84      0.001  20.0 81.5    4 2.00
 84 115      0.001  20.0 81.5    4 2.00
115  89      0.001  20.0 81.5    4 2.00
 51  52      839.084 20.0  1.0   50 2.00
 52  53     1869.384 20.0  1.0   200 2.00
 52  54     1869.384 20.0  1.0   200 2.00
 56  57      539.084 20.0  1.0   50 2.00

```

57	58	1889.162	0.0	1.0	200	2.00
57	59	1889.624	20.0	1.0	200	2.00
61	62	839.084	20.0	1.0	50	2.00
62	63	1869.384	20.0	1.0	200	2.00
62	64	1869.084	20.0	1.0	200	2.00
66	67	539.084	20.0	1.0	50	2.00
67	69	1889.624	20.0	1.0	200	2.00
67	68	1889.624	20.0	1.0	200	2.00
71	72	471.267	20.0	1.0	40	2.00
72	73	890.892	20.0	1.0	150	2.00
72	74	890.892	20.0	1.0	150	2.00
76	77	371.624	20.0	1.0	40	2.00
77	78	616.144	20.0	1.0	100	2.00
77	79	616.144	20.0	1.0	100	2.00
81	82	471.267	20.0	1.0	40	2.00
82	83	890.892	20.0	1.0	150	2.00
82	84	890.892	20.0	1.0	150	2.00
86	87	371.624	20.0	1.0	40	2.00
87	88	616.144	20.0	1.0	100	2.00
87	89	616.144	20.0	1.0	100	2.00

[Fixed flow road]:T. numb./nodeA,B,Flow rate(m3/min)
0

[Fan]:T. numb.
8

*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
70 71
6 200.00
105.0 112.0 108.0 100.0 80.0 25.0

*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
80 81
6 200.00
105.0 112.0 108.0 100.0 80.0 25.0

*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
76 75
6 200.00
60.0 77.0 82.0 71.0 42.0 0.0

*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
86 85
6 200.00
60.0 77.0 82.0 71.0 42.0 0.0

*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
50 51
5 200.00
112.0 117.0 102.0 65.0 0.0

*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
60 61
5 200.00
112.0 117.0 108.0 65.0 0.0

*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
56 55
4 200.00
60.0 68.0 45.0 8.0

*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
66 65
4 200.00
60.0 68.0 45.0 8.0

[Fire]:Fire node, Fire temp(C), Tiem after Fire(Hour)
5 600.0 0.0

[Surface temperature](C)
20.0

&.....(don't delete)

표 20. C 지구 입력자료

```

[memo1] *****
[memo2]
[Surface_node]:Total Number/number, elevation(m upward is plus )
15
1 10.0 2 10.0 3 10.0 50 10.0 55 10.0
60 10.0 65 10.0 4 10.0 5 5.0 14 0.0
70 10.0 75 10.0 80 10.0 85 10.0 15 0.0
[Underground_node]:T. Numb./number, elevation(m upward is plus )
42
103 5.0 53 5.0 58 5.0 116 5.0 54 5.0
111 5.0 59 5.0 110 5.0 63 5.0 52 5.0
51 10.0 57 5.0 56 10.0 117 5.0 68 5.0
115 5.0 64 5.0 69 5.0 62 5.0 61 10.0
67 5.0 66 10.0 8 0.0 9 0.0 73 0.0
78 0.0 74 0.0 79 0.0 72 5.0 71 10.0
76 10.0 77 5.0 7 0.0 6 0.0 83 0.0
89 0.0 84 0.0 88 0.0 81 10.0 82 5.0
86 10.0 87 5.0
[Nomal road]:T. numb./nodeA,B,Resis(murgue),Temp(C),Area,Length,Conductivity
59
1 103 0.049 20.0 20.1 13 2.00
2 110 0.063 20.0 18.0 13 2.00
3 110 0.063 20.0 18.0 13 2.00
4 115 0.110 20.0 17.0 20 2.00
5 69 0.003 20.0 48.6 5 2.00
14 73 0.001 20.0 87.9 10 2.00
15 88 0.001 20.0 87.9 10 2.00
103 53 0.002 20.0 48.6 4 2.00
53 58 0.002 20.0 48.6 4 2.00
58 116 0.002 20.0 48.6 4 2.00
116 54 0.002 20.0 48.6 4 2.00
54 111 0.002 20.0 48.6 4 2.00
110 111 0.005 20.0 32.4 5 2.00
111 59 0.002 20.0 48.6 4 2.00
59 63 0.002 20.0 48.6 4 2.00
63 117 0.002 20.0 48.6 4 2.00
116 9 0.046 20.0 18.6 8 2.00
116 8 0.046 20.0 18.6 8 2.00
117 68 0.002 20.0 48.6 4 2.00
117 7 0.046 20.0 18.6 8 2.00
117 6 0.046 20.0 18.6 8 2.00
68 115 0.002 20.0 48.6 4 2.00
115 64 0.002 20.0 48.6 4 2.00
64 69 0.002 20.0 48.6 4 2.00
73 78 0.001 20.0 87.9 5 2.00
78 9 0.001 20.0 87.9 5 2.00
9 74 0.001 20.0 87.9 5 2.00
74 79 0.001 20.0 87.9 5 2.00
79 8 0.001 20.0 87.9 5 2.00
8 7 0.001 20.0 87.9 5 2.00
7 83 0.001 20.0 87.9 5 2.00
83 89 0.001 20.0 87.9 5 2.00
89 6 0.001 20.0 87.9 5 2.00
6 84 0.001 20.0 87.9 5 2.00
84 88 0.001 20.0 87.9 5 2.00
51 52 303.450 20.0 1.0 30 2.00
52 53 442.440 20.0 1.0 60 2.00
52 54 442.440 20.0 1.0 60 2.00
56 57 810.350 20.0 1.0 90 2.00
57 58 1918.760 20.0 1.0 250 2.00
57 59 1918.760 20.0 1.0 250 2.00
61 62 906.900 20.0 1.0 60 2.00

```

```

62    63    1532.560    20.0    1.0    200 2.00
62    64    1532.560    20.0    1.0    200 2.00
66    67    303.450    20.0    1.0    30 2.00
67    68    442.440    20.0    1.0    60 2.00
67    69    442.440    20.0    1.0    60 2.00
71    72    203.450    20.0    1.0    30 2.00
72    73    193.800    20.0    1.0    30 2.00
72    74    193.800    20.0    1.0    30 2.00
76    77    203.450    20.0    1.0    30 2.00
77    78    481.680    20.0    1.0    70 2.00
77    79    481.680    20.0    1.0    70 2.00
81    82    203.450    20.0    1.0    30 2.00
82    83    481.680    20.0    1.0    70 2.00
82    84    481.680    20.0    1.0    70 2.00
86    87    203.450    20.0    1.0    30 2.00
87    88    193.800    20.0    1.0    30 2.00
87    89    193.800    20.0    1.0    30 2.00
[Fixed flow road]:T. numb./nodeA,B,Flow rate(m3/min)
0
[Fan]:T. numb.
8
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
50    51
7      200.00
70.0  92.0  100.0  98.0  82.0  50.0  0.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
66    65
7      200.00
70.0  92.0  100.0  98.0  82.0  50.0  0.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
70    71
8      200.00
55.0  72.0  83.0  88.0  81.0  70.0  50.0  0.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
86    85
8      200.00
55.0  72.0  83.0  88.0  81.0  70.0  50.0  0.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
60    61
4      200.00
100.0 117.0 103.0 30.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
56    55
4      200.00
100.0 117.0 103.0 30.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
80    81
8      200.00
68.0  87.0 102.0 108.0 104.0 90.0 60.0 5.0
*NodeA-->B /Numb. Unit(m3/min) /Pres(mmAq) at 0,1*Unit
76    75
8      200.00
68.0  87.0 102.0 108.0 104.0 90.0 60.0 5.0
[Fire]:Fire node, Fire temp(C), Tiem after Fire(Hour)
5      600.0      0.0
[Surface temperature](C)
20.0
&.....(don't delete)

```

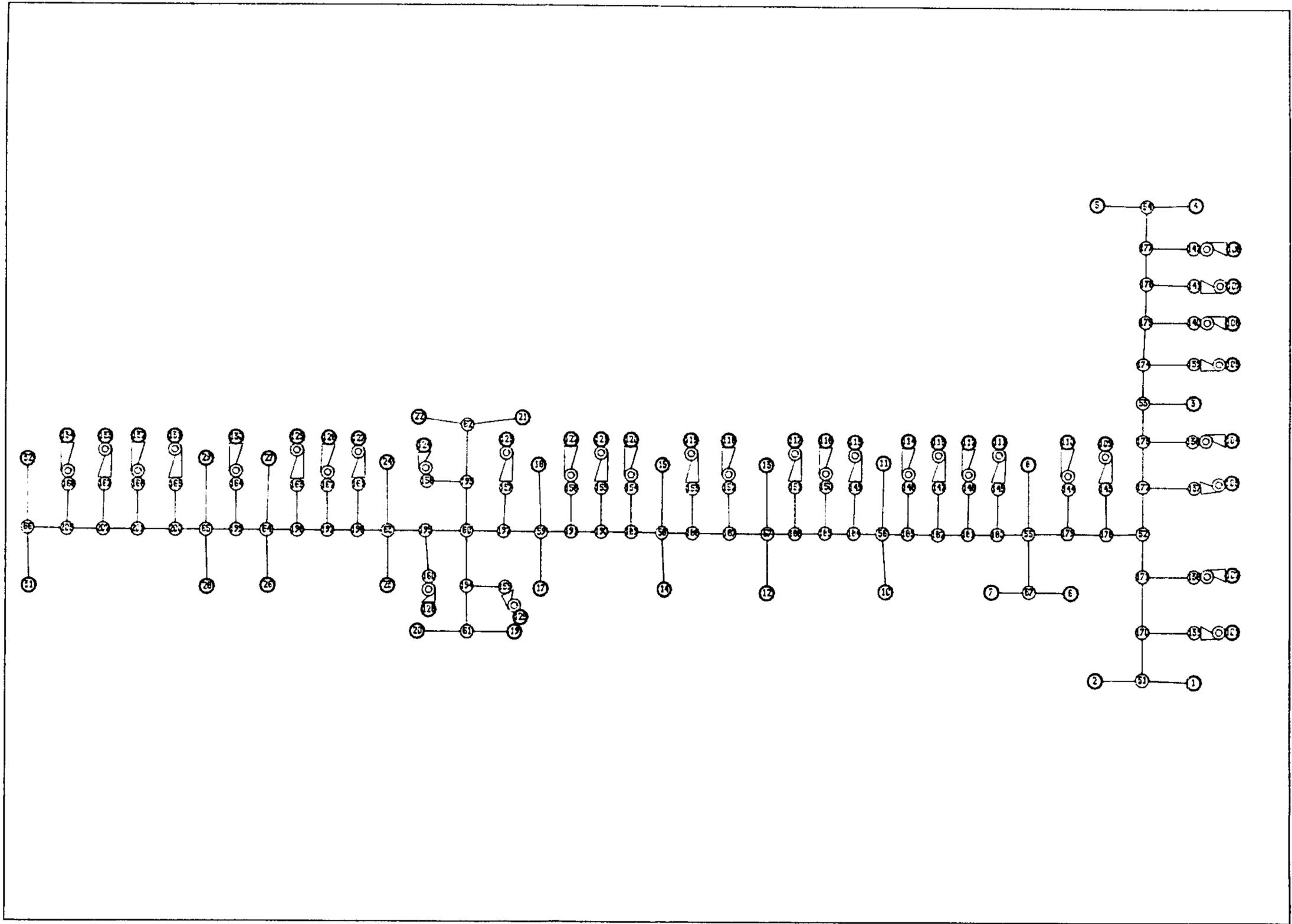


그림19. A지구 환기망도

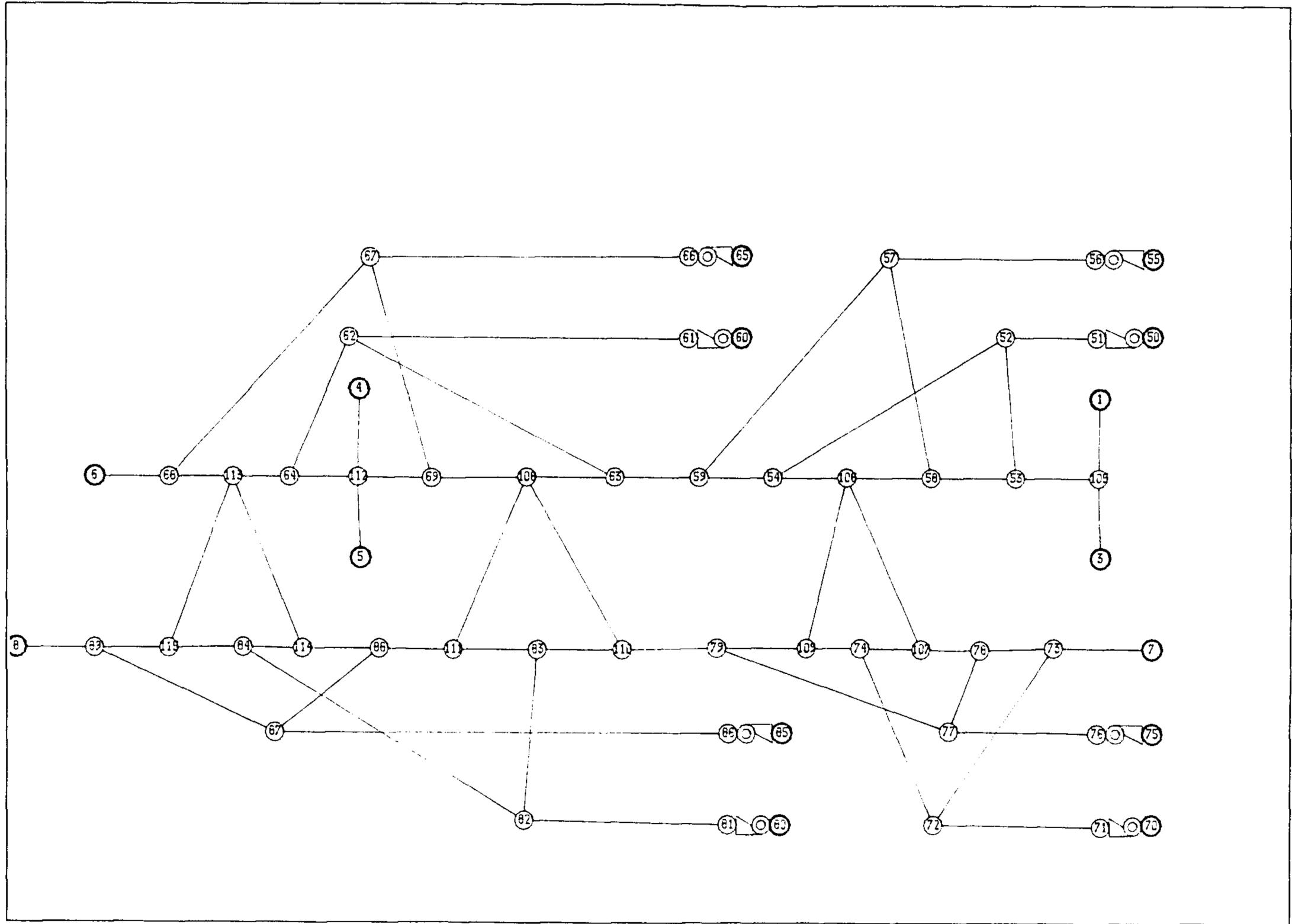


그림20. B지구 환기망도

표 21. A 지구 전산해석 적용결과

Node pressure mmAq									
N= 1	0.00	N= 2	0.00	N= 101	0.00	N= 102	0.00	N= 103	0.00
N= 104	0.00	N= 105	0.00	N= 106	0.00	N= 107	0.00	N= 108	0.00
N= 4	0.00	N= 5	0.00	N= 3	0.00	N= 8	0.00	N= 6	0.00
N= 7	0.00	N= 10	0.00	N= 11	0.00	N= 109	0.00	N= 110	0.00
N= 111	0.00	N= 112	0.00	N= 113	0.00	N= 114	0.00	N= 115	0.00
N= 116	0.00	N= 117	0.00	N= 12	0.00	N= 13	0.00	N= 118	0.00
N= 119	0.00	N= 14	0.00	N= 15	0.00	N= 120	0.00	N= 121	0.00
N= 122	0.00	N= 17	0.00	N= 18	0.00	N= 123	0.00	N= 125	0.00
N= 19	0.00	N= 20	0.00	N= 21	0.00	N= 22	0.00	N= 23	0.00
N= 24	0.00	N= 26	0.00	N= 27	0.00	N= 28	0.00	N= 29	0.00
N= 124	0.00	N= 126	0.00	N= 127	0.00	N= 128	0.00	N= 129	0.00
N= 130	0.00	N= 131	0.00	N= 132	0.00	N= 133	0.00	N= 134	0.00
N= 31	0.00	N= 32	0.00	N= 51	6.27	N= 170	6.58	N= 135	95.60
N= 171	6.74	N= 136	-35.92	N= 52	6.83	N= 172	7.13	N= 173	7.09
N= 53	6.66	N= 137	100.27	N= 138	-35.13	N= 174	6.07	N= 139	100.18
N= 175	5.20	N= 140	-37.66	N= 176	4.48	N= 141	100.54	N= 177	4.09
N= 142	-45.79	N= 54	4.64	N= 178	6.62	N= 179	6.32	N= 55	6.06
N= 180	6.07	N= 181	6.29	N= 182	7.67	N= 183	8.22	N= 56	8.66
N= 184	9.71	N= 185	10.06	N= 186	9.42	N= 143	104.38	N= 144	-41.60
N= 67	6.02	N= 145	104.09	N= 146	-43.25	N= 147	102.77	N= 148	-40.84
N= 149	107.13	N= 150	-38.38	N= 151	104.41	N= 57	7.12	N= 187	7.76
N= 60	6.33	N= 188	6.52	N= 58	5.38	N= 189	4.38	N= 190	4.12
N= 191	4.62	N= 59	5.79	N= 192	6.22	N= 193	6.35	N= 62	6.28
N= 194	6.39	N= 61	6.31	N= 152	-37.62	N= 153	104.70	N= 154	-44.75
N= 155	107.27	N= 156	-44.66	N= 157	109.53	N= 159	108.98	N= 195	5.96
N= 63	5.41	N= 196	3.59	N= 197	1.96	N= 198	1.05	N= 64	1.12
N= 199	0.77	N= 65	1.59	N= 200	3.24	N= 201	5.32	N= 160	-42.37
N= 158	-39.14	N= 161	106.43	N= 162	-47.38	N= 163	97.65	N= 164	-49.28
N= 165	102.29	N= 166	-44.52	N= 202	7.06	N= 203	7.86	N= 66	7.38
N= 167	97.16	N= 168	-29.47						
Airflow m3/min									
N= 1<---	51	0.0	N= 2<---	51	0.0	N= 3<---	53	0.0	
N= 4<---	54	0.0	N= 5<---	54	0.0	N= 6<---	67	0.0	
N= 7<---	67	0.0	N= 8<---	55	0.0	N= 10<---	56	0.0	
N= 11<---	56	0.0	N= 12<---	57	0.0	N= 13<---	57	0.0	
N= 14<---	58	0.0	N= 15<---	58	0.0	N= 17<---	59	0.0	
N= 18<---	59	0.0	N= 19<---	61	0.0	N= 20<---	61	0.0	
N= 21<---	62	0.0	N= 22<---	62	0.0	N= 23<---	63	0.0	
N= 24<---	63	0.0	N= 26<---	64	0.0	N= 27<---	64	0.0	
N= 28<---	65	0.0	N= 29<---	65	0.0	N= 31<---	66	0.0	
N= 32<---	66	0.0	N= 51<---	170	0.0	N= 170<---	171	0.0	
N= 171<---	52	0.0	N= 52<---	172	0.0	N= 52<---	178	0.0	
N= 172<---	173	0.0	N= 173<---	53	0.0	N= 53<---	174	0.0	
N= 174<---	175	0.0	N= 175<---	176	0.0	N= 176<---	177	0.0	
N= 177<---	54	0.0	N= 178<---	179	0.0	N= 179<---	55	0.0	
N= 55<---	67	0.0	N= 55<---	180	0.0	N= 180<---	181	0.0	
N= 181<---	182	0.0	N= 182<---	183	0.0	N= 183<---	56	0.0	
N= 56<---	184	0.0	N= 184<---	185	0.0	N= 185<---	186	0.0	
N= 186<---	187	0.0	N= 57<---	187	0.0	N= 187<---	188	0.0	
N= 188<---	58	0.0	N= 58<---	189	0.0	N= 189<---	190	0.0	
N= 190<---	191	0.0	N= 191<---	59	0.0	N= 59<---	192	0.0	
N= 192<---	60	0.0	N= 60<---	193	0.0	N= 60<---	194	0.0	
N= 60<---	195	0.0	N= 193<---	62	0.0	N= 194<---	61	0.0	
N= 195<---	63	0.0	N= 63<---	196	0.0	N= 196<---	197	0.0	
N= 197<---	198	0.0	N= 198<---	64	0.0	N= 64<---	199	0.0	
N= 199<---	65	0.0	N= 65<---	200	0.0	N= 200<---	201	0.0	
N= 201<---	202	0.0	N= 202<---	203	0.0	N= 203<---	66	0.0	
N= 135<---	170	0.0	N= 136<---	171	0.0	N= 137<---	172	0.0	
N= 138<---	173	0.0	N= 139<---	174	0.0	N= 140<---	175	0.0	
N= 141<---	176	0.0	N= 142<---	177	0.0	N= 143<---	178	0.0	
N= 144<---	179	0.0	N= 145<---	180	0.0	N= 146<---	181	0.0	
N= 147<---	182	0.0	N= 148<---	183	0.0	N= 149<---	184	0.0	

N= 150<-- 185	0.0	N= 151<-- 186	0.0	N= 152<-- 187	0.0
N= 153<-- 188	0.0	N= 154<-- 189	0.0	N= 155<-- 190	0.0
N= 156<-- 191	0.0	N= 157<-- 192	0.0	N= 158<-- 193	0.0
N= 159<-- 194	0.0	N= 160<-- 195	0.0	N= 161<-- 196	0.0
N= 162<-- 197	0.0	N= 163<-- 198	0.0	N= 164<-- 199	0.0
N= 165<-- 200	0.0	N= 166<-- 201	0.0	N= 167<-- 202	0.0
N= 168<-- 203	0.0				

Fan operation

N= 101-----> 135	278.66	m3/min	94.91	mmaq
N= 103-----> 137	329.40	m3/min	98.83	mmaq
N= 117-----> 151	300.68	m3/min	99.59	mmaq
N= 107-----> 141	431.56	m3/min	101.59	mmaq
N= 105-----> 139	300.85	m3/min	99.49	mmaq
N= 113-----> 147	428.06	m3/min	100.21	mmaq
N= 115-----> 149	431.05	m3/min	101.75	mmaq
N= 109-----> 143	374.40	m3/min	103.63	mmaq
N= 111-----> 145	390.07	m3/min	103.89	mmaq
N= 119-----> 153	419.45	m3/min	103.58	mmaq
N= 121-----> 155	542.56	m3/min	109.21	mmaq
N= 123-----> 157	509.87	m3/min	108.94	mmaq
N= 125-----> 159	418.81	m3/min	108.42	mmaq
N= 127-----> 161	375.66	m3/min	108.33	mmaq
N= 129-----> 163	360.85	m3/min	102.35	mmaq
N= 131-----> 165	454.00	m3/min	103.96	mmaq
N= 133-----> 167	211.37	m3/min	93.74	mmaq
N= 136-----> 102	219.52	m3/min	36.49	mmaq
N= 138-----> 104	239.45	m3/min	35.90	mmaq
N= 140-----> 106	240.06	m3/min	35.79	mmaq
N= 142-----> 108	346.36	m3/min	42.44	mmaq
N= 148-----> 114	347.71	m3/min	42.27	mmaq
N= 150-----> 116	349.09	m3/min	42.11	mmaq
N= 144-----> 110	286.08	m3/min	41.81	mmaq
N= 162-----> 128	288.13	m3/min	41.54	mmaq
N= 146-----> 112	311.60	m3/min	43.03	mmaq
N= 152-----> 118	244.48	m3/min	39.00	mmaq
N= 154-----> 120	328.48	m3/min	42.01	mmaq
N= 160-----> 126	327.91	m3/min	42.09	mmaq
N= 156-----> 122	426.90	m3/min	42.31	mmaq
N= 158-----> 124	381.77	m3/min	39.37	mmaq
N= 164-----> 130	272.98	m3/min	41.78	mmaq
N= 166-----> 132	358.24	m3/min	42.01	mmaq
N= 168-----> 134	155.03	m3/min	30.79	mmaq

표 22. B 지구 전산해석 적용결과

Node pressure mmAq									
N= 1	0.00	N= 3	0.00	N= 50	0.00	N= 55	0.00	N= 7	12.03
N= 60	0.00	N= 65	0.00	N= 6	6.02	N= 4	0.00	N= 5	0.00
N= 75	0.00	N= 70	0.00	N= 80	0.00	N= 85	0.00	N= 8	12.03
N= 105	5.25	N= 53	5.09	N= 58	5.14	N= 106	5.40	N= 54	5.57
N= 59	6.26	N= 63	6.77	N= 51	85.37	N= 52	36.28	N= 56	-45.76
N= 57	-15.53	N= 61	88.65	N= 66	-45.04	N= 108	6.78	N= 69	6.63
N= 112	6.35	N= 64	6.19	N= 113	6.04	N= 68	5.98	N= 62	38.29
N= 67	-14.87	N= 71	91.70	N= 76	-62.64	N= 81	91.61	N= 86	-63.23
N= 73	12.12	N= 78	12.25	N= 107	12.45	N= 74	12.72	N= 109	12.91
N= 79	13.06	N= 110	13.06	N= 83	12.89	N= 111	12.61	N= 88	12.30
N= 114	12.04	N= 84	11.89	N= 115	11.86	N= 89	11.92	N= 87	-6.67
N= 82	41.95	N= 77	-6.03	N= 72	42.01				
Airflow m3/min									
N= 1<--	105	0.0	N= 3<--	105	0.0	N= 4<--	112	0.0	
N= 5<--	112	0.0	N= 6<--	68	0.0	N= 7<--	73	0.0	
N= 8<--	89	0.0	N= 105<--	53	0.0	N= 53<--	58	0.0	
N= 58<--	106	0.0	N= 106<--	107	0.0	N= 106<--	109	0.0	
N= 106<--	54	0.0	N= 54<--	59	0.0	N= 59<--	63	0.0	
N= 63<--	108	0.0	N= 108<--	69	0.0	N= 108<--	110	0.0	
N= 108<--	111	0.0	N= 69<--	112	0.0	N= 112<--	64	0.0	
N= 64<--	113	0.0	N= 113<--	68	0.0	N= 113<--	114	0.0	
N= 113<--	115	0.0	N= 73<--	78	0.0	N= 107<--	78	0.0	
N= 107<--	74	0.0	N= 109<--	74	0.0	N= 109<--	79	0.0	
N= 110<--	79	0.0	N= 110<--	83	0.0	N= 83<--	111	0.0	
N= 111<--	88	0.0	N= 88<--	114	0.0	N= 114<--	84	0.0	
N= 84<--	115	0.0	N= 115<--	89	0.0	N= 51<--	52	0.0	
N= 52<--	53	0.0	N= 52<--	54	0.0	N= 56<--	57	0.0	
N= 57<--	58	0.0	N= 57<--	59	0.0	N= 61<--	62	0.0	
N= 62<--	63	0.0	N= 62<--	64	0.0	N= 66<--	67	0.0	
N= 67<--	69	0.0	N= 67<--	68	0.0	N= 71<--	72	0.0	
N= 72<--	73	0.0	N= 72<--	74	0.0	N= 76<--	77	0.0	
N= 77<--	78	0.0	N= 77<--	79	0.0	N= 81<--	82	0.0	
N= 82<--	83	0.0	N= 82<--	84	0.0	N= 86<--	87	0.0	
N= 87<--	88	0.0	N= 87<--	89	0.0				
Fan operation									
N= 70---->	71	688.52	m3/min	91.15	mmaq				
N= 80---->	81	688.21	m3/min	91.18	mmaq				
N= 76---->	75	654.41	m3/min	63.11	mmaq				
N= 86---->	85	653.93	m3/min	63.18	mmaq				
N= 50---->	51	487.44	m3/min	85.82	mmaq				
N= 60---->	61	492.70	m3/min	88.07	mmaq				
N= 56---->	55	398.13	m3/min	45.22	mmaq				
N= 66---->	65	397.97	m3/min	45.23	mmaq				

표 23. C 지구 환기망도

Node pressure mmAq									
N= 1	0.00	N= 2	0.00	N= 3	0.00	N= 50	0.00	N= 55	0.00
N= 60	0.00	N= 65	0.00	N= 4	0.00	N= 5	6.02	N= 14	12.03
N= 70	0.00	N= 75	0.00	N= 80	0.00	N= 85	0.00	N= 15	12.03
N= 103	6.76	N= 53	7.08	N= 58	7.43	N= 116	7.58	N= 54	7.67
N= 111	7.21	N= 59	6.58	N= 110	6.85	N= 63	5.82	N= 52	28.98
N= 51	80.58	N= 57	-22.09	N= 56	-77.45	N= 117	5.20	N= 68	4.68
N= 115	4.59	N= 64	4.81	N= 69	5.34	N= 62	28.70	N= 61	77.42
N= 67	-16.53	N= 66	-80.44	N= 8	12.48	N= 9	12.57	N= 73	12.22
N= 78	12.45	N= 74	12.63	N= 79	12.65	N= 72	20.41	N= 71	70.72
N= 76	-89.75	N= 77	-26.95	N= 7	12.18	N= 6	11.75	N= 83	12.01
N= 89	11.84	N= 84	11.79	N= 88	11.88	N= 81	89.79	N= 82	39.50
N= 86	-70.56	N= 87	-8.12						
Airflow m3/min									
N= 1<-- 103	0.0	N= 2<-- 110	0.0	N= 3<-- 110	0.0				0.0
N= 4<-- 115	0.0	N= 5<-- 69	0.0	N= 14<-- 73	0.0				0.0
N= 15<-- 88	0.0	N= 103<-- 53	0.0	N= 53<-- 58	0.0				0.0
N= 58<-- 116	0.0	N= 116<-- 54	0.0	N= 54<-- 111	0.0				0.0
N= 110<-- 111	0.0	N= 111<-- 59	0.0	N= 59<-- 63	0.0				0.0
N= 63<-- 117	0.0	N= 116<-- 9	0.0	N= 116<-- 8	0.0				0.0
N= 117<-- 68	0.0	N= 117<-- 7	0.0	N= 117<-- 6	0.0				0.0
N= 68<-- 115	0.0	N= 115<-- 64	0.0	N= 64<-- 69	0.0				0.0
N= 73<-- 78	0.0	N= 78<-- 9	0.0	N= 9<-- 74	0.0				0.0
N= 74<-- 79	0.0	N= 79<-- 8	0.0	N= 8<-- 7	0.0				0.0
N= 7<-- 83	0.0	N= 83<-- 89	0.0	N= 89<-- 6	0.0				0.0
N= 6<-- 84	0.0	N= 84<-- 88	0.0	N= 51<-- 52	0.0				0.0
N= 52<-- 53	0.0	N= 52<-- 54	0.0	N= 56<-- 57	0.0				0.0
N= 57<-- 58	0.0	N= 57<-- 59	0.0	N= 61<-- 62	0.0				0.0
N= 62<-- 63	0.0	N= 62<-- 64	0.0	N= 66<-- 67	0.0				0.0
N= 67<-- 68	0.0	N= 67<-- 69	0.0	N= 71<-- 72	0.0				0.0
N= 72<-- 73	0.0	N= 72<-- 74	0.0	N= 76<-- 77	0.0				0.0
N= 77<-- 78	0.0	N= 77<-- 79	0.0	N= 81<-- 82	0.0				0.0
N= 82<-- 83	0.0	N= 82<-- 84	0.0	N= 86<-- 87	0.0				0.0
N= 87<-- 88	0.0	N= 87<-- 89	0.0						0.0
Fan operation									
N= 50----> 51	824.80	m3/min	78.03	mmaq					
N= 66----> 65	822.00	m3/min	78.48	mmaq					
N= 70----> 71	998.67	m3/min	70.07	mmaq					
N= 86----> 85	994.99	m3/min	70.28	mmaq					
N= 60----> 61	468.03	m3/min	78.17	mmaq					
N= 56----> 55	467.30	m3/min	78.44	mmaq					
N= 80----> 81	1000.55	m3/min	89.92	mmaq					
N= 76----> 75	997.57	m3/min	90.17	mmaq					

VII-2. 분석 및 고찰

VII-2-1. Rn 가스

지하공간내 기류중 Rn가스의 허용기준은 국내에는 아직 정해져 있지 않지만 미국에서는 Rn가스의 허용기준을 평균 330MWL이하로 규정하고 있다.

따라서 3개 지구 지하공간내에서 측정된 Rn가스 농도가 A지구는 평균 0.43-2.1MWL, B지구는 0.94-1.92MWL, C지구는 0.58-1.23MWL로 나타났으므로 미국의 허용기준치인 330MWL 보다 훨씬 낮은 수치이므로 본 연구사업에서 조사한 지하공간내에서는 Rn가스에 의한 위험성은 전혀 없다고 보아도 좋다고 사료된다.

VII-2-2. 탄산가스(CO₂)

오염되지 않은 신선한 대기중의 탄산가스 농도는 300ppm이며 대기중 및 지하공간내 기류중 탄산가스의 환경 허용기준은 5,000ppm이하로 규정되어 있다.

금번 본 연구사업에서 실시한 3개 지구 지하공간내 기류중 탄산가스의 농도 측정치는 400-1,000ppm 정도로 나타나 허용기준치 이하이므로 특별한 문제점은 없으나 오염되지 않은 신선한 대기중의 탄산가스 농도 보다는 높게 나타났으므로 가능하면 그 농도를 감소시킬 수 있는 방법을 강구하면 좋겠다고 사료된다.

또한 그림 22에서 탄산가스 농도변화를 보면 A지구 지하공간은 측정기간 중에 시간이 경과함에 따라 농도수치가 증가하는 경향이 있고 B지구에서는 농도수치 변화가 거의없고 C지구는 그 변화가 약간 증가하고 있다. 이는 A지구는 그 지하공간내 통행인 및 상주인원수가 시간이 경과함에 따라 증가하고 있고 B지구는 통행인 및 상주인원수가 거의 일정해서 시간이 흐름에 따라 변화하지 않고 C지구는 통행인 및 상주인원수가 시간이 경과함에 따

라 약간 증가하고 있었기 때문이다.

즉 지하공간내 통행인 및 상주인원수가 증가함에 따라 탄산가스의 농도는 상승된다. 그러므로 지하공간내 동시 최대 통행인 및 상주인원을 대상으로 한 소요 환기량을 계산 결정하고 투입시키도록 해야한다. 또한 가능한 오염되지 않은 신선한 공기를 투입하면 탄산가스 농도문제는 해결될 것으로 생각된다.

VII-2-3. 분진

대기중 및 지하공간내 기류중 분진 농도는 환경 허용기준치 $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 규정하고 있다. 본 연구사업에서 실시한 연구대상 각 지구 지하공간내 기류중 분진농도를 측정한 결과는 A지구는 $30-190\mu\text{g}/\text{m}^3$, B지구는 $40-190\mu\text{g}/\text{m}^3$, C지구는 $20-90\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났으므로 각 지구 공회 분진농도는 허용기준치 이하이나 깨끗한 공기에 비해서는 다소간 분진이 비산되어 있음을 알 수 있다.

그림 23에서 보는 바와 같이 지하공간 주변의 대기중의 분진농도의 영향을 크게 받아서 대기중의 분진농도가 높은 곳의 지하공간내 기류중에 분진농도가 높다. 또한 C지구는 급기 선풍기에 여과지를 설치 집진 선풍기를 설치 가동한다 하므로 대기중의 분진농도와 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 대기중의 분진을 완전히 제거 즉 집진을 해서 지하공간내로 투입시키면 지하공간내 기류중 분진농도를 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

VII-2-4. 온도

지하공간내 기류온도는 일반적으로 하계에는 외기보다 낮고 동계에는 외기보다 높은 것이 상례이다. 본 연구사업에서 실시한 각 지구 지하공간 내

외기류온도를 측정한 결과 그림 24와 같이 나타났다(여기서 (1)은 춘계이며 보통상태이고 (2)는 하계이며 지하공간내를 냉방한 상태이다). 이 그림에서 보는 바와 같이 그림 24(1)에서는 A지구는 외기온도는 오후로 가면서 상승하는데 반하여 지하공간내 기류온도는 외기온도보다 낮으며 거의 일정한 온도를 나타내고 있으며 B지구는 외기온도보다 높게 나타났다. 이는 지하공간내에 열원이 있음을 뜻한다.

C지구도 B지구와 같은 양상이므로 열원이 있음을 뜻한다. 그림 24(2)에서는 하계이며 지하공간내를 냉방하였으므로 A지구는 외기보다 낮으며 거의 일정한 온도를 유지하고 있으며 B지구 및 C지구는 냉방을 하였음에도 불구하고 외기보다 B지구는 좀 많이 C지구는 약간 지하공간내 기온이 높게 나타났음을 알 수 있다. 이는 B, C지구 지하공간내에 열원이 있음을 뜻하고 또한 B, C지구 냉방효능이 좋지 않으며 그 중에도 B지구 냉방효능이 더욱 좋지 않음을 뜻한다.

VII-2-5. 종합고찰

종합적으로 고찰해 보면

- 1) 국내외적으로 공공시설로 지하공간활용이 날로 증대 확대될 전망이다.
- 2) Model지하공간내 환경인자 농도는 환경 허용기준치 이하에 있는 상태이다.
- 3) Model지하공간내 환경인자 농도는 그 주변 외기의 농도보다 높다.
- 4) 지하공간내 환경인자 농도는 주변 외기의 오염도에 영향을 크게 받는다.
- 5) 집진장치를 설치한 개소의 지하공간은 외기의 분진농도와 비슷하거나 약간 높은 실정이다.

- 6) 지하공간내 통행인 및 상주인원이 증가함에 따라 탄산가스의 농도는 상승된다.
- 7) 광산 갱내통기 System Software를 Model지하공간 환기계통에 적용 전산해석을 시도하였으나 이 Software를 직접 적용하기는 곤란하고 수정 등 별도의 Software개발이 요구되고 있다.

지하공간내 환경을 보다 양호하게 하기 위해서 다음 사항을 건의한다.

- 1) 지하공간 주변 대기가 오염되지 않도록 노력해야 한다.
- 2) 오염도가 비교적 낮은 지상으로 부터 좀 높은 곳의 대기를 지하공간내로 투입시키도록 노력해야 한다.
- 3) 외기를 투입시키려는 선풍기에 각종 양호한 정화장치를 설치할 필요가 있다.
- 4) 지하공간내 동시 최대 통행인 및 상주인원을 대상으로 한 소요 환기량을 계산 결정하고 그 지하공간내로 투입시키도록 노력해야 한다.
- 5) 지하공간 환기계통의 해석과 Simulation을 위하여 별도의 Software를 개발해야 한다.

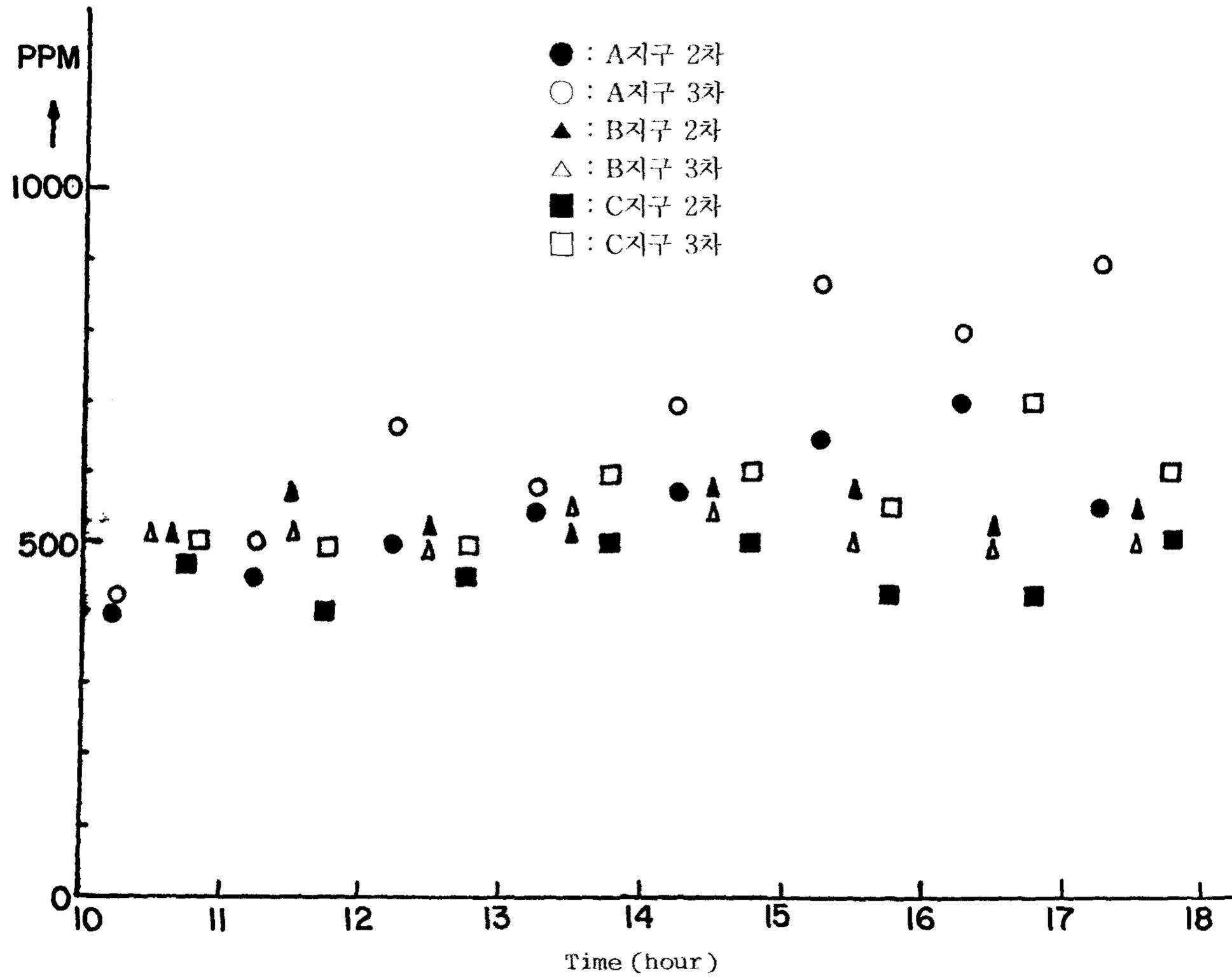


그림22. 지하공간내 탄산가스 농도 추이

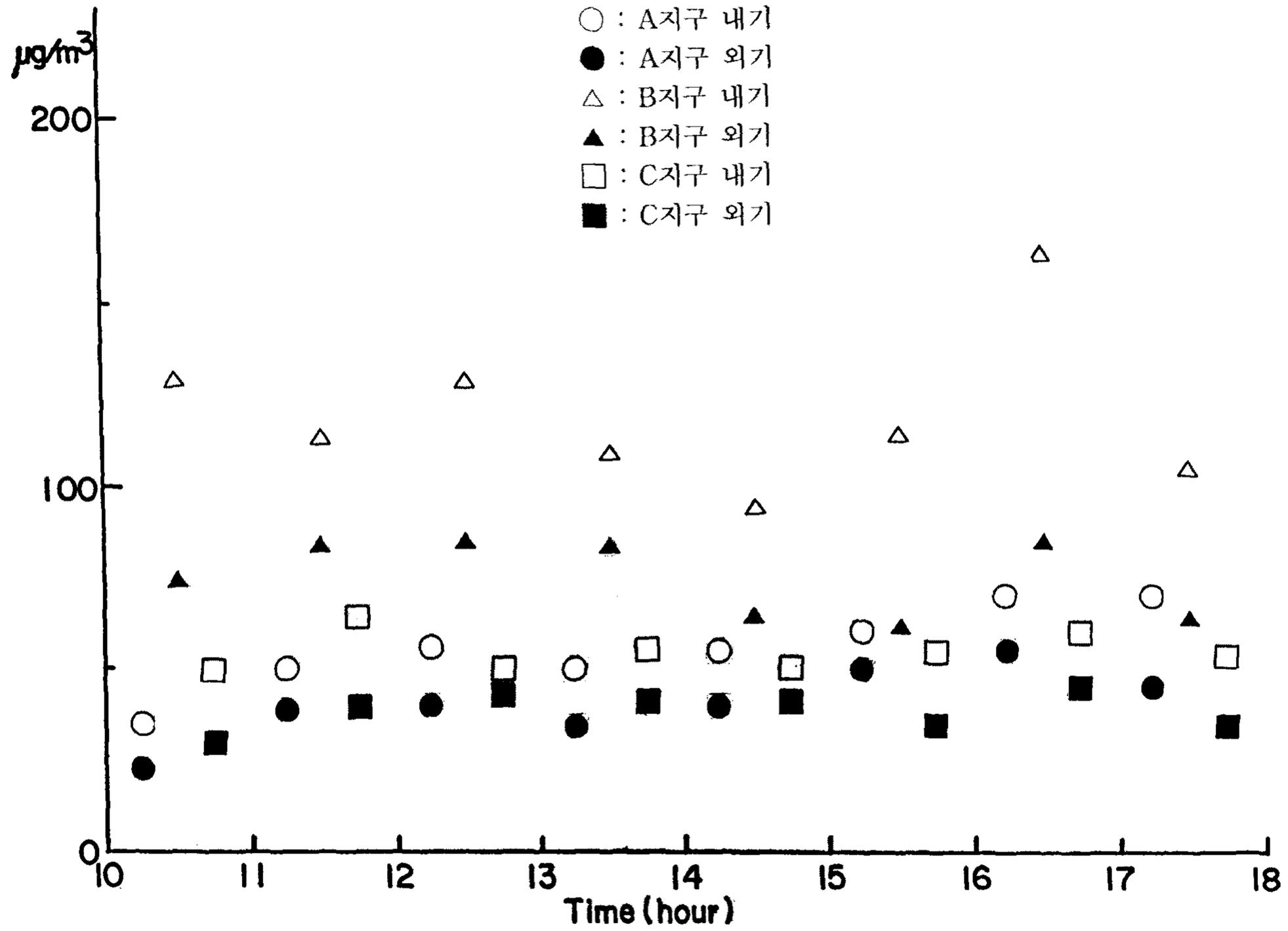


그림23. 지하공간 내, 외 분진농도 추이

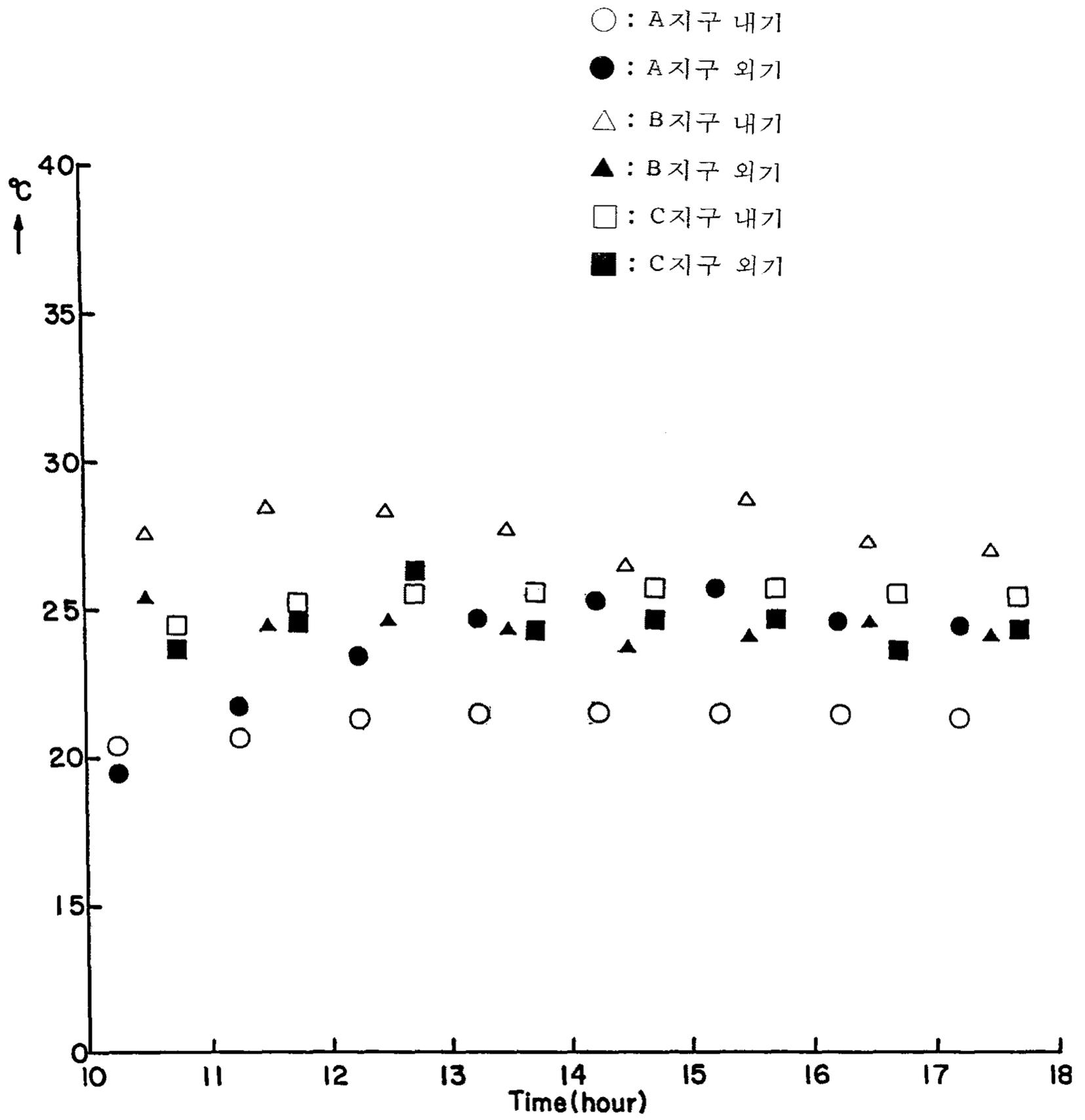


그림24. 지하공간 내, 외 기류온도 추이(1)

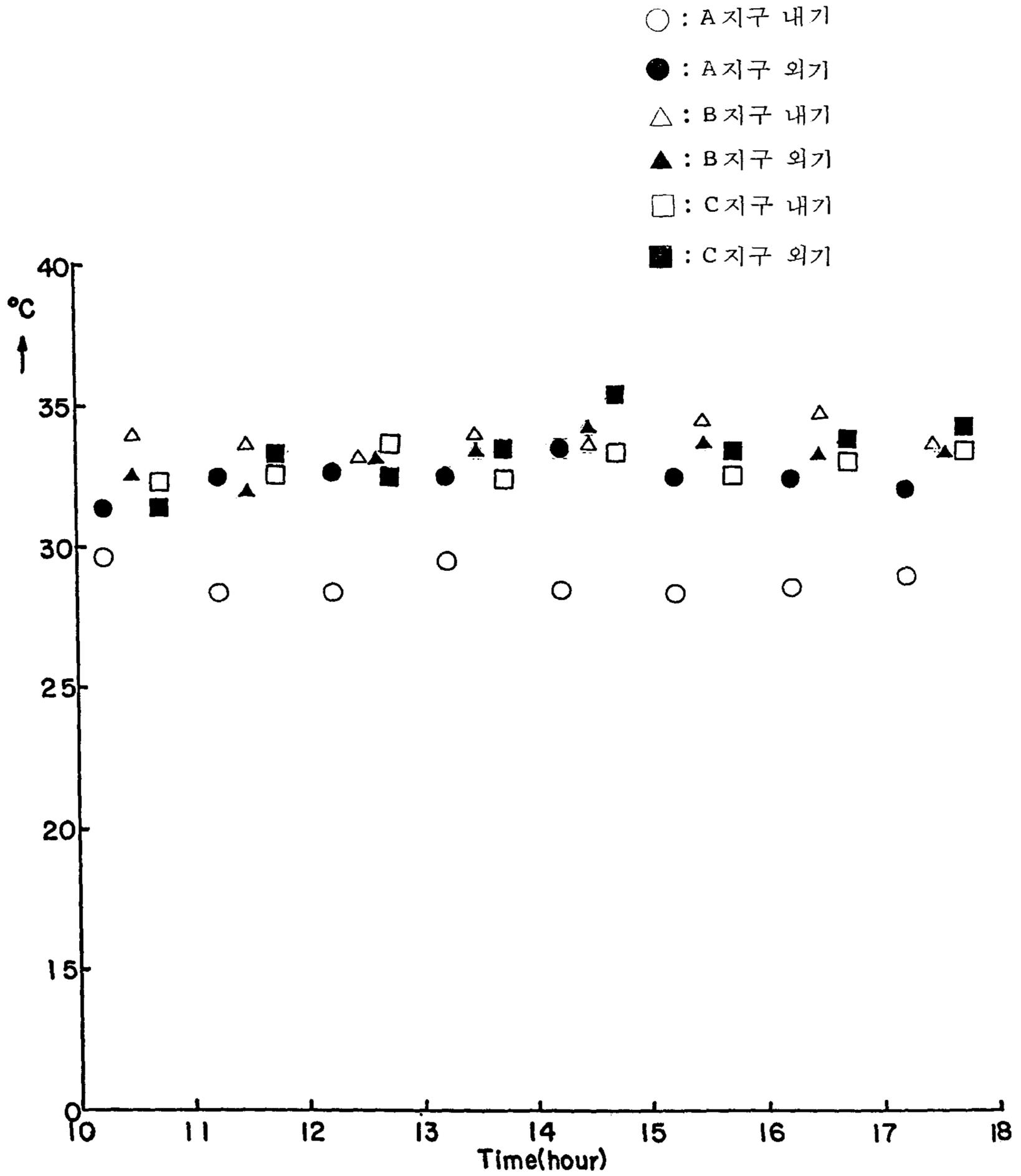


그림 24. 지하공간 내, 외 기류온도 추이(2)

VIII. 결 론

공공시설로 활용하는 지하공간내 환경 및 방재기술 개발을 위한 기초연구 사업으로 지하공간 이용의 필요성 및 이점, 국내외 지하공간 이용현황 및 전망, 지하공간의 환경 등을 검토하고 이미 시설하여 활용하고 있는 국내 지하공간을 Model로 3개 지구를 선정하고 지하공간내 기류중에 환경인자 및 환기등을 조사 측정하고 이를 검토 분석 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

다 음

1. 국내외적으로 공공시설로 지하공간을 활용할 경향이 증대되고 또한 확대될 전망이다.
2. Model지하공간내 환경인자 농도는 환경 허용기준치 이하로 양호한 상태이다.
3. Model지하공간내 환경인자 농도는 그 주변 외기 농도 보다는 높다.
4. 지하공간내 통행인원 및 상주인원수가 증가함에 따라 탄산가스의 농도는 상승된다.
5. 지하공간내의 환경인자 농도는 주변 외기의 농도(오염도)에 영향을 크게 받는다.
6. C지구는 입기 선풍기를 집진 선풍기로 가동하므로 외기의 분진농도 보다 약간 높거나 비슷하다.
7. 광산 갱내통기 System Software를 지하공간내 환기계통에 적용 전산해석을 시도하였으나 이 Software를 직접 적용하기는 어렵고 수정등 별도 연구가 필요하다.

參 考 文 獻

1. 佐山總平, 1985, 採鑛學ハソトブック, 嘲倉書店
2. 高木英夫, 1980, 風管 및 扇風機性能試驗에 關하여, 日本公害資源研究所.
3. 井上雅弘, 1992, 通氣網解析 System, 日本九州大學.
4. 井上雅弘, 1992, 地下環境 工學, 海文堂
5. 鄭裕熙, 1982, 地下空間 利用, 機電研究社
6. Hartman, H. L., 1982, Mine Ventilation and Air Conditioning 2nd Edition, Wiley Inter Science Publication, New York.
7. Ginan Broch, 1993, Use Planning and Design of Underground Structures, Proceedings, Seoul Symp. on Underground Spaces and Construction Technology.
8. B. Y. Kim, 1993, The Factors Governing Environment and Safety in Underground Spaces, Proceedings, Seoul Symp. on Underground Spaces and Construction Technology.
9. Yong Sun, 1994, Current Status and Prospect of Underground Development Progress in Korea, Proceedings, International Symp. on Underground Openings for Public Use.