

**TOP DOWN 지하공사의 작업환경체크
컴퓨터시뮬레이션에 관한 기초적 연구**

**Computer Simulation for Working Condition of
Undergroundwork Using TOP DOWN Technique**

고 성 석*·손 기 상**·심 경 수***

Seong-Seok Go·Ki-Sang Son·Kyung-Soo Shim

ABSTRACT

The better industry develops, the more spaces need but in the limited area.

Most building become larger and more complicated if the more spaces need in the constant area. And this leads to do underground work in long period generally six(6) months for 6 basement stories due to the selection of TOP DOWN technique. Working environment in this underground area can be problems and should not be overlooked, because air quality in underground spaces become quickly worse.

Recently, department name to control construction safety has been changed to ENVIRONMENT & SAFETY TEAM from SAFETY TEAM. This means that it is very important to control against environmental condition at site so much.

Overall construction work as well as underground work should conform to the requirement of working environment, particularly against inhabitants around the construction area.

Strut protection, one of earth protection method, in case to 40m long strut may become weaker due to thermal stress or its longitudinally compressive strain and the another one, earth anchor protection may not be applied to the site in case of encroaching on vertical underground borderline because of regulation to prohibit it. It is necessary that TOP DOWN technique should be introduced in order to solve the external and internal problem of the site such as difficulty level of the work, potential danger with excavating depth, and shortening workperiod. It is needed that improving way of working condition

-
- * 금호건설 기술연구소
 - ** 한국산업안전공단 교육원
 - *** 금호건설 건축부

should be shown and simplified computer simulation program should be also provided for checking pollution level & ventilation, excluding of lighting problem here.

Results measured with conformance to the Regulation for Working Environment Measurement, enforced by Ministry of Labor have been applied to the computer program developed here.

Sample air taken at unit workplace which was considered as exposing condition of pollutant at breathing point and within a range of behavior of the workers, identified exposing group in underground work, using Moded Flow Life.

Finally, three types of ventilation system ; type I with blower & ventilator, type II natural supply with mechanical ventilation system, and type I mechanical ventilation with Drivent Fan Unit System are selected for this study.

1. 서 론

산업발전에 따른 일정면적에서의 최대 공간창출을 위하여 건물이 대형화, 복잡화되어 지하공간의 필요성이 증대됨에 따른 TOP DOWN 공사등 기술적 판단이 요구되는 지하공사가 장기적으로 진행되고 있다. 통상 지하 6층 규모일 때 지하부분만 6개월 공사기간을 갖게 된다. 여기서 대두되는 큰 문제들 중에서 이제 작업환경은 필수불가결한 요소가 되고 있다. TOP DOWN 공사의 지하부분 밀폐화로 인하여 공기의 질이 특히 저하되기 쉽게 때문이다.

각 건설사의 안전팀이 환경안전팀으로 명칭 변경되고 있는 것으로도 중요성은 이미 입증되었다고 할 수 있다. 건설공사 전반에 걸쳐서 환경조건을 엄격히 규제하고 있고, 빈번한 민원발생 등으로 적절한 환기는 물론 상응하는 작업환경 대책을 강구해야 된다.

여기서 기존 지하공사 공법중 버팀대식 흠막이 공법은 버팀대가 40m 이상일 경우 온도응력이나 버팀대의 압축변형으로 인한 구조체의 변위발생 우려가 있고 흠막이 보강책으로 사용되는 에스앵커 공법은 지하소유권에 대한 침범제한으로 도심지 공사적용이 점점 어려워지고 있다. 즉 공사의 적문제, 전천후 시공으로 인한 공기단축, 굴착 심도에 따른 안전성 확보, 시공난이도에 따른 내적문제 해결을 위해 TOP DOWN 공법도입이 불가피한 경우가 많으므로 작업환경개선 방안제시는 물론 이를 체크하기 위한 단순화된 컴퓨터 시뮬레이션이 필수적으로 요구되고 있다. 물론 이와같은 작업환경에서는 적정조명까지 확보되어야 하지만 본 연구에서는 환기만을 대상으로 하였다.

본 연구에서는 TOP DOWN 공법적용시 지하작업환경 분석 후 환기조건, 분진발생량, 분진성분, 환기량(흡입/배기)결정, 환기방식결정, 현장측정, 컴퓨터프로그램적용, 결과분석, 적정방안제시 순서로 진행하였다.

TOP DOWN 공법채용시 유해가스발생, 산소결핍공기가 유발되고, 밀폐공간내에서의 작업자 건강장애, 가연성가스 발생에 의한 폭발화재위험, 작업능률저하 등이 문제가 된다.

본 연구를 위해 개발한 프로그램에 연구대상인 A생명현장 지하공사의 환기방식 및 시설에서 노동부고시 작업환경측정실시 규정(1993. 5)에 의거 측정된 결과를 입력하여 프로그램의 적용성을 증명코자 하였다.

시료공기는 개인공기 시료포집기(model flow life)를 사용하여 지하공사 공간내에서 작업을 수행하는 동일노출집단의 근로자를 대상으로 호흡위치 및 행동범위내에서 유해물질의 노출상태를 고려하는 단위작업장소에서 측정하였다.

마지막으로 대상 현장에서 적용한 환기방식은 제3종 자연급기 강제배기 방식, 제1종 송풍기 및 배풍기 이용방식, 제1종 기계환기방식+DRIVENT FAN UNIT SYSTEM 적용방식으로 하였다.

2. 본 론

2.1 지하공사 환기방식적용

2.1.1 환기 일반

1) 희석환기

희석환기는 실내공기의 오염도가 위험한 정도까지 도달하지 않도록 하기 위하여 실내공기를 신선한 외부공기로 교체시켜 오염물질의 농도를 줄이

는 것이다. 미국 냉난방 공조학회(ASHRAE standards 62-1989) 환기지침은 신선한 외부공기를 이용하여 오염된 실내공기를 희석시키는 방법을 기초로 한다^{1,2,3)}.

2) 국소환기

국소환기는 발생된 공기오염이 실내에서 확산되기 전에 포착하여 국소적으로 실내환경을 개선하도록 하는 것으로 경제적이고 합리적이어서 현재 가장 많이 이용되고 있다. 국소배기법의 장점은 배기조절장치의 적합한 배치와 공급격자가 공간을 통해 마개흐름(plug-flow)을 이룰 수 있다는 것이다. 이러한 형태의 공기유동은 주어진 공기흐름으로 공기오염물질을 최대한 제거할 수 있고, 에너지 보존에 효과적이며, 여러 장소의 요구에 부응할 수 있다. 국소배기 설계의 목적은 수치효율을 최대화하고 필요한 공기량을 최소화하는 것이다^{5,6)}.

3) 공기청정

공기청정은 공기중의 오염물질을 제거하기 위해 장치를 사용하는 것이다. 일반적으로 지하공간은 각종 오염물질에 의해 오염되어 있어 공기청정장치를 사용하여 도입되는 외부공기를 정화시켜야 한다^{4,11)}.

2.1.2 환기 방식

1) 자연급기 강제배기 방식의 제3종 환기방식 적용

지하 1층은 개구부(open)가 많아 외기와 직접 접하므로 생략하였으며, 지하 2층에 급기는 개구부로, 배기는 송풍기(fan)로 하는 방식으로, Fig. 1와 Fig. 2 같이 I·II·III·IV·V구역의 개구부

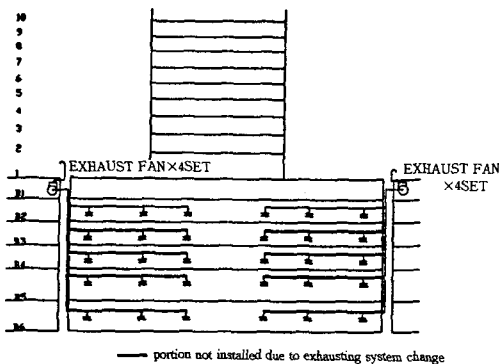


Fig. 1 Elevation diagram for type III exhausting system

(open)에서 자연 외기를 도입시키고 A·B·C·D·E·F·H번의 배풍기 duct를 이용하여 강제 배기시키며, 개구부(open)가 없는 G번 구역은 송풍기를 설치하여 신선한 외기를 급기시키는 방식으로 시공하였다^{6,8)}.

Table 2는 사용된 소풍기기의 제원 및 특성을 나타낸 것이다.

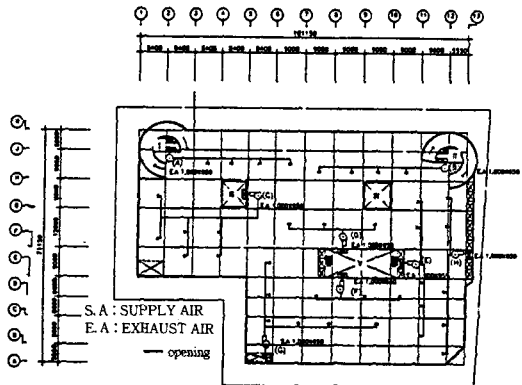
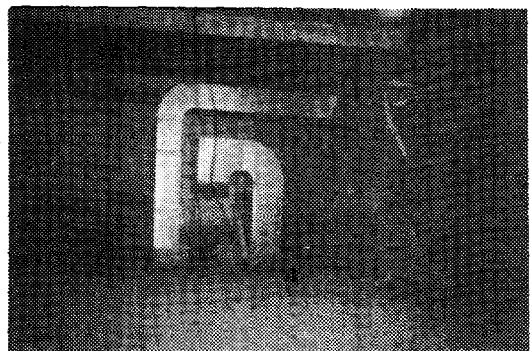


Fig. 2 Plan diagram for type III exhausting system

Table 2 Sources & characteristics of air blowers

Blower	Blower	Use for	Wind flow	Static pressure	Horse power
A	SIROCO FAN	EXHAUST	420	35	15
B	"	"	420	35	15
C	"	"	420	35	15
D	"	"	420	35	15
E	"	"	420	35	15
F	"	"	420	35	15
G	"	SUPPLY	420	35	15
H	"	EXHAUST	420	35	15



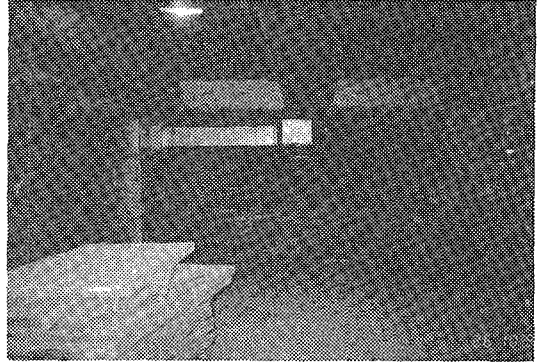
Picture. 1 Type III ventilation system

2) 송풍기 및 배풍기를 이용한 제1종 기계환기 방식 적용

지하 2층에 시공한 제3종 환기방식을 보완하여 지하3층에는 급기·배기를 모두 송풍기를 이용한 강제 급·배기로 하는 방식으로 Fig. 3과 Fig. 4와 같이 A·B·C·D·I·G번의 배풍기를 송풍기로 바꿔 1-(K~A) 구간에서 강제로 소풍 duct를 이용하여 송풍기류의 방향을 II번 램프 개구부와 B·H·E·F 번의 배풍기 duct를 통해 강제로 배기시키는 system으로 시공하였다.

3) 제1종 기계환기방식+DRIVENT FAN UNIT SYSTEM 적용

3차의 방법은 송풍기 및 배풍기를 이용한 제1종 환기방식을 보완하기 위하여 층간 개구부 I·II·



Picture. 2 Type I mechanical exhausting system

III·IV구역을 비닐포장재로 완전밀폐하여 지하층의 공기온도와 외부의 공기온도차에서 생기는 부력을 이용하여 연돌효과를 유도하였으며, 외기의 기류 및 기압의 영향을 적게 받을 수 있으므로 기류형성이 쉬운 점을 이용하여 지하 최저층도 적용할 수 있는 Drivent fan system을 적용시키기 위해 계획하였다^{8,9,10}.

Drivent system을 Fig. 5와 Fig. 6과 같이 지하 4층~지하 5층 구간에 적용시켜 duct에서 신선한 외기를 도입하여 급기 송풍기로 송풍시켜 주변 drivent fan에서 신선한 외기를 받아 소구경 노즐에서 고속으로 공기를 뿜어내 그 에너지로 신선한 외기의 유인과 실내공기의 요반을 하게 하므로 외기를 배기쪽으로 밀고 가서 환기를 시키는 방식으로 duct와 drivent를 직렬로 설치하여 배기 gas의 국소적인 정체현상이 생기지 않도록 하고, 설혹 국부 정체가 발생하더라도 유동적인 것으로 될 수 있도록 하였다. Table 3은 사용된 송풍기기의 제원 및 특성을 나타낸 것이다.

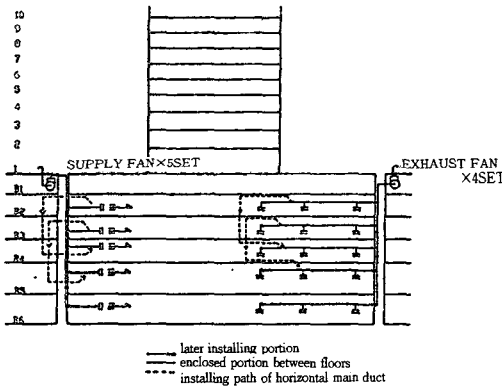


Fig. 3 Elevation diagram for type I mechanical exhausting system

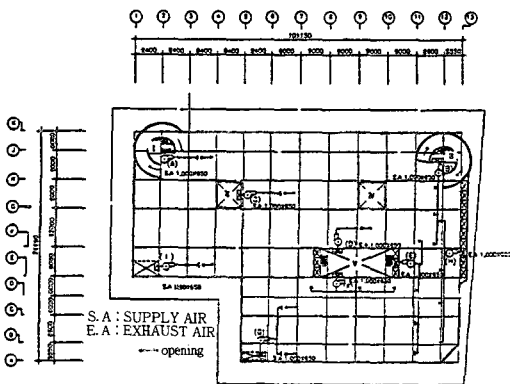


Fig. 4 Plan diagram for type I mechanical exhausting system

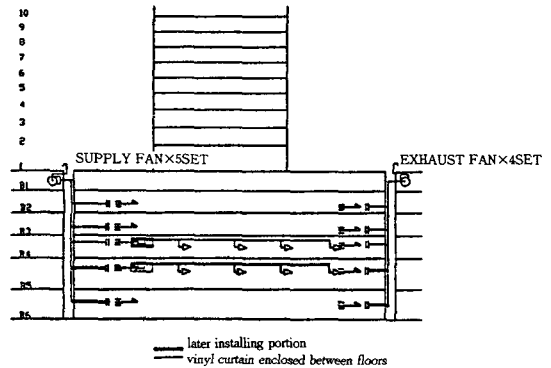


Fig. 5 Elevation diagram for type I fan unit

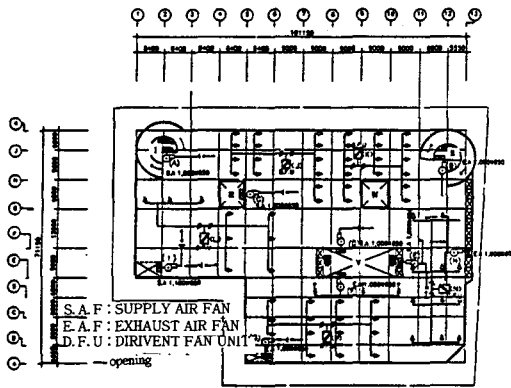
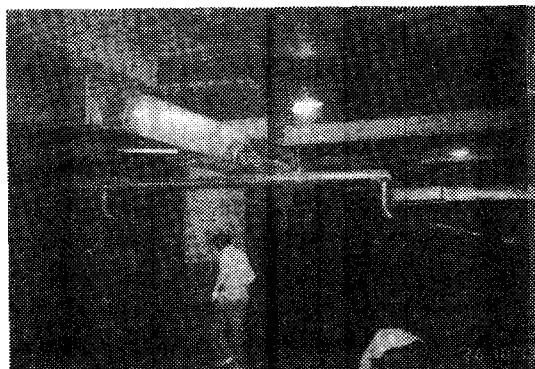
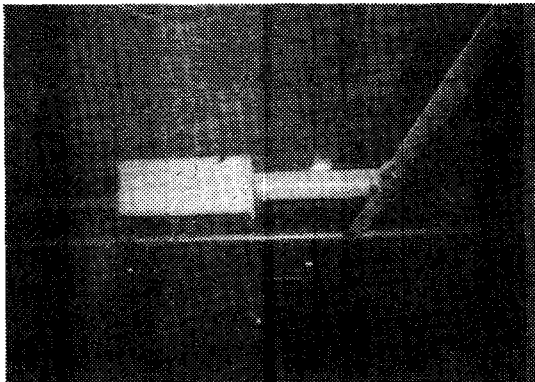


Fig. 6 Plan diagram for type I + fan unit

Table 3 Sources & characteristics of drivent fan system

FAN NO.	FAN TYPE	Use for	Wind flow	Static pressure	Horse power
J	DRIVENT FAN	SUPPLY	70	160	5
K	"	"	70	160	5
L	"	"	70	160	5
M	"	"	70	160	5
N	"	"	70	160	5



Picture. 3 Type I + Drivent fan unit system

환기량 산출공식은

① 실내와 실외 오염농도가 같을 경우
 $V1 = M(1 - \text{EXP}(-V \times T/R)) / (Ci - Co) \dots\dots (1)$

- 단, V1=환기량 m³/hour
- M=오염물질 배출량 m³/hour
- V=실외로 유입되는 공기량 m³/hour
- T=환기되는 시간 hour
- R=실용적 m³
- Ci=실내오염농도 microgram/m³
- Co=실내오염농도 microgram/m³

② 일정온도를 유지해야 할 경우
 $V2 = (-2.303 \times R) / T * \log(Ci - Co) / Co \dots\dots (2)$

두가지로 산정하여 비교토록 프로그램을 작성하였다.

2.2 컴퓨터 프로그램 작성

2.2.1 Flowchart

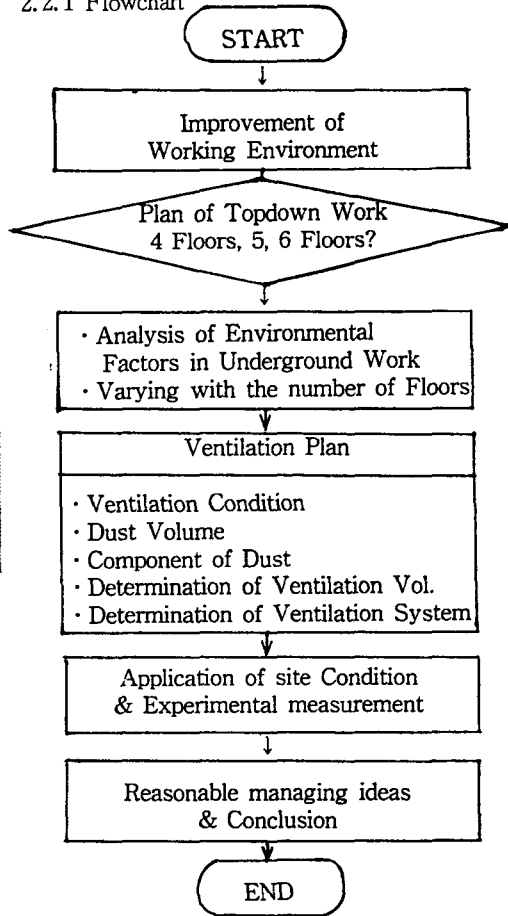


Fig. Flow chart for working environment computer program

2.2.2 컴퓨터 프로그램 결과

```

***** 결과 출력 *****
*****
**   TOPDOWN 지하공사의 작업환경 개선 산출프로그램   **
*****
**   Made by Dr. Ki Sang SON and Director Kyung Soo SHIM   **
***** 데이터 입력 *****
공기밀도          0.500000 t / m3
환기되는 시간    1.000          hour
실외로 유출되는 공기량    20.0000 m3 / h
실내로 유입되는 공기량    15.0000 m3 / hour
실내오염농도      110.0000 microngram / m3
실외오염농도      50.0000 microngram / m3
오염물질배출량    10.0000 m3 / hour
실용적            21864.0000 m3
**** TOPDOWN 적용 지하층별 환기방식 및 환기량구분 제시 ****
**** 지하 2 층인 경우 ****
*** TOPDOWN 지하 2 층인 급기개구부 / 배기송풍기 ***
일정농도를 유지해야할 경우 환기량 V= 0.0000 m3/hour
**** 환기량에서 체크된 분진농도/ 아황산가스/매연가스 NO2,CO,CO2 ****
측정분진전자천평중량분석기법/공기중분진농도 = 1.5000 mg/m3
측정아황산가스흡광도분석/so2 농도 = 0.4600 PPM
측정매연가스직독식방법 /NO2 농도 = 3.8500 PPM
측정매연가스직독식방법 /CO 농도 = 1.5000 PPM
측정매연가스 직독식방법 /CO2농도 = 910.0000 PPM
**** 분진/ 아황산가스 / 매연가스 NO2,CO,CO2 허용기준 ****
허용분진농도 = 10.0000 mg/m3
허용아황산가스 = 2.0000 PPM
**** 허용매연가스 기준 ****
허용이산화질소 NO2 = 3.0000 PPM
허용일산화탄소 CO = 50.0000 PPM
허용이산화탄소 CO2 =5000.0000 PPM
***** TOPDOWN 지하공사 현장 측정량과 기준치의 비교검토 *****
측정분진 / 공기중분진농도 = 1.5000 mg/m3
<
허용분진농도 = 10.0000 mg/m3
=====>건설작업환경배적
측정아황산가스 SO2 농도 = 0.4600 PPM
<
허용아황산가스 SO2 농도 = 2.0000 PPM
=====>건설작업환경배적
측정매연가스 NO2 농도 = 3.8500 PPM
>
허용매연가스 NO2 농도 = 3.0000 PPM
=====>매연가스NO2 초과위험
측정매연가스 CO 농도 = 1.5000 PPM
<
허용매연가스 CO 농도 = 50.0000 PPM
=====> 건설현장작업환경배적
측정매연가스 CO2 농도 = 910.0000 PPM
<
허용매연가스 CO2 농도 =5000.0000 PPM
=====> 건설작업환경 배적
cpu time = -56.0000 sec
    
```

2.3 환기측정실험

2.3.1 적용현장 특성

송풍기를 지하 1층에 설치하여 duct는 2개층을 1개 구역으로 구성하여 내려가면서 지속 사용토록 하였다.

지하공사 환기대책에 관한 사례는 K사에서 시공중인 건물로서 다음과 같은 특성을 갖는 지하공사에 적용하였다.

- 1) 규모 및 공사종류 : 지상(30층, 옥탑 2층), 지하(6층) 업무시설 및 근린생활 시설용 건물
- 2) 대지면적 : 7,548.7M²(2,281.66평)
- 3) 건축물 면적
 - ① 대지면적 : 1,877.57M²(567.96평)
 - ② 연 면 적 : 83,451.22M²(25,243.99평)
 - ③ 층별 바닥면적 및 층고 : 지하층 6개층과 지상층 30개층(옥탑 2개층)에 대한 층별바닥면적 및 층고는 Table 1과 같다.

Table 1 Floor area of each story & the height

Story	Required Area(m ²)	Story height	Remarks
Basement 6th Fl	5,167.17	Basement 6th Story	6.0
5th~2nd Fl	6,313.93×4층	5th	4.7
1st Fl	=25,255.72	4~2th	3.5
	6,246.73	basement 1st story	5.0
Total stories down ground	36,669.92		
1rd Fl	1,631.08	1th Fl	6.4
2rd Fl	1,170.95	2th Fl	4.48
3rd Fl	1,522.13	3th Fl	4.48
4rd Fl	1,564.00	4th Fl	4.16
5rd Fl~30th Fl	1,564.0×26Fl	5th Fl~29th Fl	3.84
	=40,664.0	30th Fl	4.48
Penthouse 1	229.44	Penthouse 2	4.8
	0		3.6
Total stories from ground floor	46,781.6		
Total	83,451.22		

4) 구조 개요

- ① 기 초 : 독립기초, 바렛트파일 기초
- ② 골 조 : 철골철근콘크리트조
- ③ SLAB : DECK PLATE+WIRE MESH+

콘크리트

- ④ 보 : 철골, 철골+철근콘크리트
- ⑤ 기 등 : 철골, 철골+철근콘크리트

2.3.2 측정방법 및 조건

실내 공기질의 측정은 시료표집과 분석방법의 선정이 중요하다. 즉, 시료표집분석시 표준방법 이용, 적절한 포집기구이용, 분석비용, 측정시간과 감도, 시료포집 및 분석시 방해물질 영향 등을 고려해야 한다.

노동부 고시 제93-12호(1993. 5. 14) 규정에 의한 분석측정방법으로 각층별 측정위치의 높이 1.2~1.3m 높이에 개인공기 시료포집기(model flow lite)를 설치하고 37mm glass fiber filter를 담은 37mm three place cassette를 연결하여 유량 1.8~2.3Lpm으로 120-180분 개인공기 시료포집기의 유량보정은 soap bubble meter를 사용하고 측정 전, 후의 유량을 체크하고 평균유량을 산출하여 사용함으로서 유량변동에 의한 측정값의 오차발생을 최소화하였다.

분집포집에 사용된 glass fiber filter는 측정 전, 후 각각 24시간씩 건조기에 넣어 건조, 보관한 뒤에 전자천평으로 평량하는 중량분석방법으로 공기중 분진도를 구하였다.

시료포집은 개인시료포집기를 10m l 담은 용기를 연결하여 펌프의 유량 0.8~1.5Lpm으로 80~120분 동안 포집하였다. 포집한 시료는 실험실에서 전처리를 거친 뒤 spectrophotometer (varian model Cary 3 : australia)를 사용하여 파장 548mm에서 흡광강도를 분석하여 SO₂ 농도를 구하였다.

기류는 지하 3, 4층에 설치된 환기시설의 성능을 미풍속계(I-Denshi model V-01-AN2, Japan)로 급기시설과 배기시설의 거리별 기류속도를 측정하여 환기시설의 성능을 검토하였다.

이러한 측정방법에 따른 적용 사례현장 지하공간의 환기부하조건은 다음과 같다.

- ① 지하 1개층 면적 6.238M²
- ② 지하 1개층 층고 5M
- ③ 체적(V) 6.238M²×5M=31.090M³
- ④ 풍량(Q) 31.190M³×7회/HR=218.330CMH
- ⑤ FAN 사양(SIROCO TYPE)
 - 15HP 420CMM-35MMAq 8대
 - 20HP 470CMM-40MMAq 1대

2.4 측정결과

2.4.1 송풍설비 측정결과

지하 3, 4층에 설치된 송풍기기 및 배풍기기의 기류를 측정한 결과는 Table 4와 같다. 지하 3, 4층에 송풍기기 설치된 송풍설비의 기류(supply air)의 측정결과 분지덕트가 없는 A번과 G 및 flange가 부착된 C번 덕트관의 송풍정도가 양호한 상태였으며, 특히 분지덕트가 없고 덕트 flange가 부착된 A번의 송풍능력이 매우 양호한 상태였고, 분지덕트가 설치되고 덕트 flange가 미설치된 C번 송기덕트의 송풍정도는 매우 낮은 상태로 나타나 이들 설비에 대한 덕트 flange 부착

분지덕트의 설치갯수를 적정상태로 조절하여 충분한 량의 송풍능력을 유지할 수 있도록 하는 조치가 필요했다.

2.4.2 배풍설비 측정결과

지하 3, 4층에 설치된 배풍설비의 배기제어속도의 측정결과 분지덕트가 미설치된 B번의 배기덕트를 제외한 모든 배풍기의 배기덕트들의 분지덕트의 길이가 너무 길고, 분지관의 단면적인 너무 넓으면 배기덕트 개구부에 흡입용 flange가 미부착되어 매연 gas 등을 포집 배출할 수 있는 제어속도가 30cm 범위 이외의 위치에서는 거의 미약한 상태였다.

Table 4 Pollution gas & dust of each story

Position measured		Results measured				
		Dust	Pollution gas			
			So ₂	No ₂	Co	Co ₂
Basement 2nd F1	A	1.44	0.30	1.2	3.0	800
	B	1.95	0.72	1.5	4.4	1050
	C	1.69	0.47	1.5	4.7	1000
	D	1.16	0.34	1.8	3.3	790
Average		1.56	0.46	1.5	3.85	910
Basement 3rd F1	A	2.56	0.20	2.5	4.0	1000
	B	4.15	0.76	3.5	5.0	1050
	C	2.90	0.65	2.0	3.0	850
	D	2.14	0.56	2.0	3.0	750
Average		2.94	0.54	2.5	3.75	912.5
Basement 4th F1	A	2.03	0.30	2.0	4.5	650
	B	2.80	0.43	2.3	5.0	1000
	C	3.39	0.62	3.4	5.0	1250
	D	2.57	0.61	3.0	4.5	1100
	E	3.20	0.60	3.1	7.0	1250
	F	2.27	0.67	2.2	4.6	850
	G	2.95	1.12	2.4	4.5	960
Average		2.74	0.62	2.63	5.59	1,008.6

Table 5 Result measured for airflow by distance depending on installation type of blower equipment

Blower No.	Blower	Branch Duct	Duct Flange	Results Measured of Air Stream by distance			
				1.5m	3m	20m	60m
A	SIROCO	None	Installed	—	3.8	1.7	1.0
C	“	Installed	2EA	—	5.8	1.3	—
D	“	Installed	1EA	1.3	0.8	—	—
I	“	Installed	None	not measured(impossible)			
G	“	None	None	—	6.3	1.6	—

Table 6 Result measured for airflow by distance depending on installation type of blower equipment

Ventilator No.	Ventilator type	Branch Duct	Duct Flange	Results Measured of Air Stream by distance		
				opening	30m	1m
B	SIROCO		None	10.5	5.8	1.8
H	"		"	1.6	1.2	0.2
E	"		"	0.7	0.2	0.0
F	"		"	1.8	0.1	0.0

곳에 매연 및 분진의 국소적인 정체현상 발생

3. 결과분석

3.1 제3종 환기방식 적용결과

자연급기와 강제배기를 이용하는 시스템으로서 지하작업에 따른 배기가스를 측정된 결과 매연가스는 허용농도보다 전체적으로 낮은 수치를 나타내었다. 그러나, 실제로 작업이 이루어지고 있는 동안에 작업자가 실제 느끼는 체감 농도는 아주 심각한 상태로 작업능률의 저하를 가져오는 것으로 나타나 환기 방식의 재검토가 요구되었다. 이와같은 이유는 개구부를 통한 자연 외기 도입이 기류, 기압 등의 영향으로 이론적인 개념과 상이하고, 작업진행에 따라 발생하는 배기가스 및 분진이 공기보다 무거워 밑으로 정체되어 강제 배기를 실시하기에는 효과가 실제 계획보다 작기 때문이라 판단된다. 이외에 현장에서 적용할 당시 당초 화기시설의 계획시 터파기를 지하층 1개 높이를 4~5M를 기준으로 하여 환기용량을 설계하였으나 실제 시공시 터파기 높이가 6~7M 정도에 이르러 지하환기부하가 증가함에 따른 배기 덕트의 흡입력의 증가가 아울러 이루어지지 못하였기 때문이다.

3.2 제1종 환기방식 적용결과

송풍기 및 배풍기를 이용하는 시스템으로서 3종 환기방식을 보완하여 적용한 결과, 법적 허용농도 기준치 이내의 환기실태와 실제농도에 있어 지하층의 작업환경에 많은 개선이 되었으나 전체적으로 지하공간의 환경이 개선되지 못하고 다음과 같은 문제점이 국부적으로 발생하였다.

- 1) 층별 개구부(open)의 기류, 기압의 영향으로 기류형성이 불가능하여 배기효과 저하
- 2) 급기 송풍기 duct와 배기 duct 설치가 미비한

이와같은 원인은 공사가 진행됨에 따라 지하층의 심도가 깊어져서 사용기자재의 대용량에 따른 매연과 발생분진이 암층에서 발생한 발생량 및 크기가 증대한 원인이라고 생각되며, 이에따른 환기시설의 작동이 자연배기 및 강제배기 등을 이용하여 국부적으로 효과를 나타내기 때문이라고 판단된다. 그러므로 지하작업의 여건은 전체적으로 개선되었지만 부분적으로 분진이 정체된 후에 어느 정도 시간이 지나면 개선되는 등의 정도로 나타났다. 이와같은 현상은 지하작업의 측면에서는 장애요인으로 작용하지는 않지만, 분진의 정체구역에서 발생하는 매연에 따라 작업자의 심리적인 동요로 인한 안전사고 등에 영향을 미치므로 완전한 작업환경조성과 시공작업의 생산성 제고를 위해서 이를 보완할 수 있는 방안이 절실히 필요했다.

3.3 DRIVENT FAN SYSTEM 적용결과

Duct에서 불어준 신선한 공기를 규격에 맞게 전구간에 걸쳐 설치된 drivent fan이 일정한 방향으로 공기를 유도시켜 줌으로서 혼탁한 공기를 open 장소로 이동시켜 지속적으로 배출시키며 일부 잔여 혼탁한 공기는 배기 fan으로 흡입되어 지하공간에서의 활발한 공사 진행으로 능률 향상은 물론 작업자의 쾌적도를 인터뷰를 통하여 문답식으로 체크하였고 본 연구를 위해 제작된 컴퓨터프로그램으로 확인하였다.

3.4 컴퓨터프로그램 성능 분석

TOP DOWN 적용 지하공간이 6개층으로 구성된 현장을 적용모델로 한 컴퓨터프로그램으로서 지하 7층 이하 건물현장에 대해서는 6층과 같은 조건으로 처리하였고 실제 적용되고 있는 현장흐름

에서도 프로그램의 일반적 적용 즉 일반성을 확보한 것으로 판단된다.

Human error에 의한 input error 예방을 위한 장치 즉 타당한 입력값의 범위를 초과하여 입력될 때에는 경고음과 함께 “잘못 입력하셨습니다”를 경고메시지로서 화면에 나타나도록 되어 전문적 지식이 부족한 경우도 운용할 수 있는 프로그램이 되는 것으로 분석된다.

작업환경에서 주로 문제가 되는 환기량에 따른 설비설치, 분진농도, 아황산가스, 매연가스 NO₂/CO/CO₂ 항목만을 본 프로그램에서 다루고 있지만 이는 건설현장 전반의 환경체크를 일반화하는 프로그램으로 간주된다.

프로그램 데이터 입력에서 결과 출력까지 전문 지식을 갖춘자가 운용할 경우 150~200초 걸리고 실제 프로그램 자체운용은 56초에 불과하여 짧고 간단한 프로그램이면서도 거대한 건설현장 작업환경 체크를 용이하게 할 수 있다. CPU time은 결과 출력 때마다 맨하단에 출력제시되어 체크자의 작업시간 및 효율도를 알 수 있도록 한다.

4. 결 론

지하층수에 따라 환기방식을 달리할 수 있고 이는 곧 작업환경에 직접적으로 영향을 미치는데 분진 및 매연 gas 발생량이 달라지기 때문이다. 여기에 작업특성 및 지반 특성에 따라 또한 상이해지므로 각 경우에 따른 환기 및 오염방지, 작업환경을 쾌적케 하는 방법 및 제안은 달라질 수 있다. 즉 용접작업 등 작업원의 이동성을 필요로 하는 지하공간내 작업시에는 flexible arm이 부착된 이동식 국소배기 설비를 사용하여 분진 및 흡에 작업자가 폭로되지 않도록 해야 한다.

상기와 같은 다양한 특성에도 불구하고 앞서의 연구 즉 TOP DOWN 지하공사시의 측정실험 결과를 본 연구를 위해 제작한 컴퓨터 프로그램에 적용하여 현장작업이 쾌적한지 그 결과를 명쾌하게 기준과 비교 검토 및 판단하는 것은 무엇보다 중요하다 하겠다.

앞서의 분석을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1) TOP DOWN 기법을 적용하는 지하공사중의

작업환경 측정결과 판단을 위한 전문가 기능을 수행할 수 있는 프로그램으로 적용가능하다.

- 2) Human error 방지 요소를 도입한 프로그램으로서 엔지니어링 지식이 부족한 사용자의 응용 폭을 확장해 줄 수 있다.
- 3) 작업특성에 따른 환기방식 변동을 고려한 환기량 산정공식을 수용할 수 있어 작업 환경개선 체크를 다양화할 수 있다.

앞으로 작업환경에 관련한 가능한 모든 인자들을 함축하는 일반성을 갖추고 전문가 기능을 한단계 높이는 프로그램 확장이 필요하다 하겠다.

참 고 문 헌

- 1) 편집부, 급배수, 공조, 설비공사, 그림으로 보는 건축도해사전, 도서출판 효성, pp. 58~76, 1991.
- 2) 건축공학연구회역, 건축설계자료 집성 1, 건우사, pp. 135~166, 1986.
- 3) 대한토목학회, 도시발전과 지하공간, 국제심포지움, 대한토목학회, pp. 1~32/1~21, 1991.
- 4) 문청수 편저, 光·熱·音·水·空氣의 디자인, 인간환경과 건축디테일·특집시리즈, 기술문화사, pp. 137~142, 1982.
- 5) 김윤신, 실내공기·오염에 관한 보건학적 고찰, 대한보건협회지, pp. 27~39, 1983.
- 6) 솔레땅쉬 범양편, TOP DOWN 공법, 솔레땅쉬 범양, pp. 13~21, 1993.
- 7) 송도현, TOP DOWN 공법, (주)광주고속건설기술연구소, pp. 3~4, 1991.
- 8) 建築學大系編輯委員會 編, 建築學大系 22, 彰國社版, pp. 403~563, 1981.
- 9) 建築學大系編輯委員會 編, 建築學大系 29, 彰國社版會, pp. 177~223, 1981.
- 10) 原田質, 地下工事の換氣·集じんの知識, 鹿島出版會, pp. 1~36, 1986.
- 11) ASHRAE, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, ASHRAE Standards 62~1981, American Society of Heating Refrigerating & Air Conditioning Engineers, 1989.