

지하주차장의 환기설비 설계

A Case Study on the Ventilation System of Underground Parking Structures

이 성 환*
Yi, Seong Hwan

1. 일반사항

1. 건설규모

위 치 : 서울시 종로구 세종로 미관광장
 용 도 : 지하주차장 및 공공시설
 층 수 : 지하 6층
 층별용도 : 지하 1층 - 터미널
 지하 2~6층 - 주차장
 바닥면적 : 8,500 m² (2,575.75 평)
 연 면 적 : 51,000 m² (15,455 평)
 층 고 : 3 m
 천 정 고 : Flat Slab Area - 2.75 m
 Drop Panel Slab Area - 2.6 m
 법적유효층고 : 차 로 - 2.3 m
 주차로 - 2.1 m

2. 지하주차장 환기설비 설계조건

2.1 CO농도 기준

주차장 환경오염의 주원인은 자동차 배기가스이고 이중 주차장의 환경오염 지표는 CO가 스로서 기준은 다음과 같다.

미국기준 : ACGIH의 허용한도치 50 ppm 이하
 일본기준 : 안전위생협회 100 ppm 이하
 한국기준 : 50 ppm 이하 권장(이는 50 ppm

의 제안치가 건강관리를 받고있는 정상 노동자의 건강을 유지하기 위한 작업환경 공기중의 CO 허용농도이기 때문)

2.2 소음 평가기준

2.2.1 주차장 내부 암 소음도 기준

주차장 내부의 소음에 대한 기준을 설정하기 위하여는 표 1의 용도별 실내소음 레벨의 설계목표와 그림 1의 일정 소음에 대한 대화의 최대거리를 참고하여야 한다.

표 1. 용도별 실내 A 특성 소음레벨의 설계 목표

실 의 용 도 및 유 형	대략적인 dB (A)
콘서트홀, 오페라하우스, 리사이틀홀	21-30
대형공연장 및 극장, 교회	30이하
방송국, TV 및 녹음실용 스튜디오	34이하
소형공연장 및 극장, 소형교회 및 회의장	42이하
침실, 병원, 주택, 호텔(수면, 휴식을 위해)	34-47
개인 및 준개인용 사무실, 소형회의장, 교실, 도서관	38-47
거실 및 주거를 위한 유사공간	38-47

* 정희원, 세보기계주식회사.

대형 사무실, 연회지역, 소매점 및 상점, 카페	42-52
로비, 실험실, 제도실 및 설계실, 일반비밀지역	47-56
경수전점, 사무실 및 컴퓨터 장비실, 부엌, 세탁소	52-61
상점, 차고, 발전소제어실(올바른 대화 및 전화통신을 위해)	56-66

예를들면 그림 1에서 대화거리 1m에서 보통 목소리로 만족되는 대화를 나눌 때 요구되는 주위의 소음 레벨은 약 65 dB(A)임을 알 수가 있다.

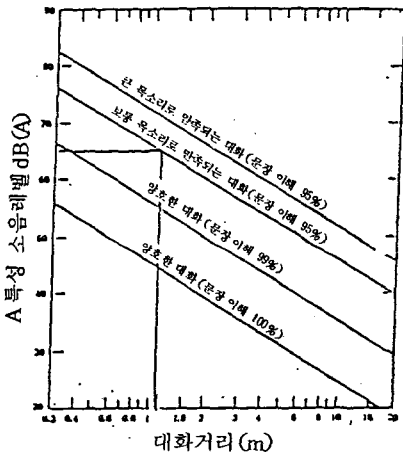


그림 1. 일정소음에 대한 대화의 최대거리

그림 2~4에서 주차장의 자동차 동작 소음을 65~75dB(A) 정도로 추정할 수 있다.

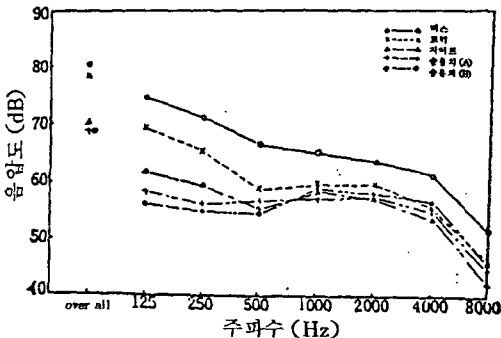


그림 2. 각종 차량의 아이들링시 소음 분석도

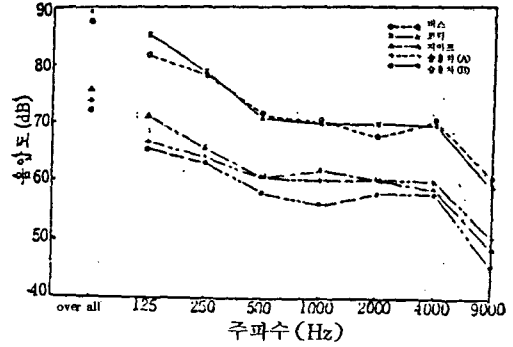


그림 3. 각종 차량의 발차시 소음 분석도

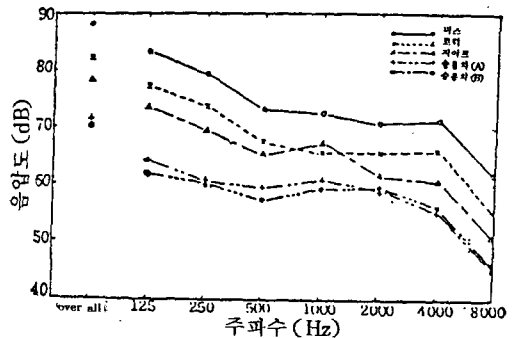


그림 4. 각종 차량의 저속시 소음 분석도

교통 소음의 평가치인 교통 소음지수(TNI: Traffic Noise Index) 74를 지하주차장의 평가치로 적용하고 다음식을 이용하면

$$74 \text{ dB(A)} = 4(L_{10} - X) + X - 30$$

$$X = 65 \text{ dB(A)} \text{이다.}$$

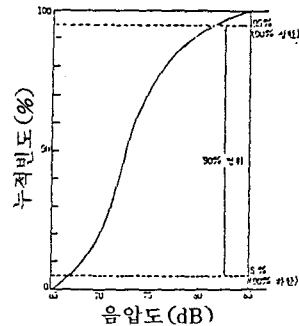


그림 5. 교통 소음지수(TNI) 산출을 위한 음압도 dB(A)의 누적 빈도(%)

따라서 위 내용들에 근거하여 주차장 내부로 유입되는 소음을 65dB(A)로 기준 설정한다.

2.2.2 주차장 외부 배출소음도 기준

주차장 외부 배출 소음도 기준은 표2의 소음 환경 기준치를 적용한다. 예로서 본 계획의 경우는 일반지역의 상업지역에 해당되고 주차에만 적용되므로 65dB (A)를 기준치로 한다.

표 2. 소음 환경 기준치

지역 구분	적용대상지역	기 준	
		주 간 (6:00-22:00)	야 간 (22:00-06:00)
일반 지역	주거전용, 병원, 학교	50	40
	주거, 준주거지역	55	45
	상업, 준공업지역	65	55
	공업, 전용공업지역	70	65
도로 변 지역	주거, 준주거지역	65	55
	상업, 준공업지역	70	60
	공업, 전용공업지역	75	70

2.3 건축조건

2.3.1 환기구획(방화구획에 의존)

각층의 환기 구획은 방화 구획에 따라서 구

분되었으며 환기 구획은 그림 6 과 같이 각각 고유의 급 배기 팬을 갖춘 독립 구획으로 구성되어 있다.

세종로 미관 광장 지하주차장

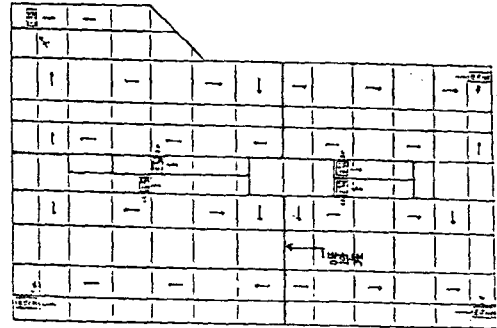


그림 6. 환기 구획도 지하 1 층

또한 그림 7 주 단면도(중)에서 알 수 있듯이 지하층의 층고는 1층(3.2m)과 터미널 층(3.6m)을 제외하고 모두 3m이다.

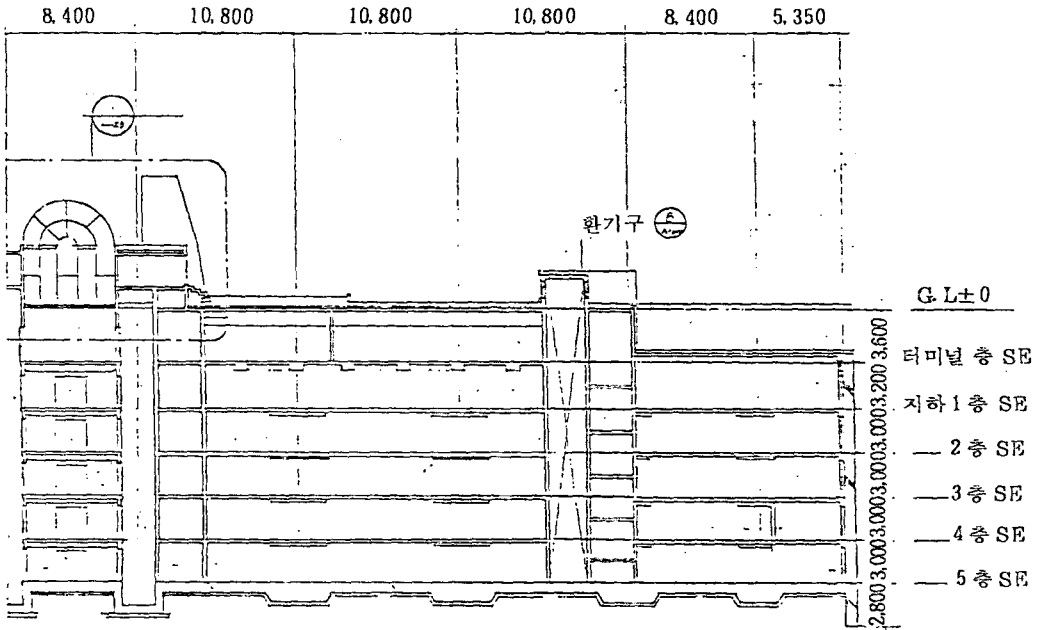


그림 7. 주 단면도(중)

3. 설 계

3.1 CO발생량 및 소요 환기량 선정

이코노즐 시스템을 지하주차장에 적용할때는 실내에 공급된 외기를 완전확산 유도하여 CO 농도를 항상 일정하게 유지하는데 목적이 있다.

건물·위치 : 서울특별시

주차장면적 : 지하 1층 주차장중 7,884m²

층 고 : 3m

체 적 : 23,652m³

주차대수 : 196대

주차주행거리 L = 196m

평균주행속도 V = 15 km/hr

출입자동차대수 X = 회전율 × 주차대수 / 8시간 / 1일

$$= 3.9 \times 196 / 8$$

$$= 96 \text{ 대/시간}$$

아이들링차대수 xi = 출입자동차대수와 같게 본다.

$$= 96 \text{ 대/시간}$$

평균아이들링시간 ti = 2분/대

주행시의 CO가스 평균배출량 m = 0.030 [m³/min대]

안전계수 n = 1.2

외기의 CO농도 CO = 10 ppm

주차장 전체의 CO가스 발생량 M을 구하면

$$M = 60 \cdot m \cdot x \cdot \frac{L}{1,000V} + m_i \cdot x_i \cdot t_i \text{ [m}^3/\text{hr]}$$

$$= 60 \cdot 0.030 \text{ [m}^3/\text{min}] \cdot 96 \text{ [대/시간]} \cdot$$

$$\frac{196 \text{ m}}{1,000 \times 15 \text{ [km/hr]}} + 0.01261 \text{ [CMH/}$$

$$\text{대}] \cdot 96 \text{ [대/시간]} \cdot 2 \text{ [분/대]}$$

= 4.6771 [CMH]의 CO가스가 실내에서 발생됨을 알 수 있다.

실내에서 발생되는 CO가스의 농도를 알아 보면

$$236.520 \text{ [CMH]} = \frac{4.6771 \text{ [CMH]}}{C_r - 10 \text{ [ppm]}}$$

$$\begin{aligned} C_r \text{ [ppm]}, &= \frac{4.6771 \text{ [CMH]}}{236.520 \text{ [CMH]}} + 10 \text{ [ppm]} \\ &= 30 \end{aligned}$$

실내에서 발생되는 CO가스 농도대신에 실내 CO가스의 허용농도의 설계치 즉, Cd를 택하면 이때의 소요환기량을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} Q \text{ [CMH]} &= \frac{4.6771 \text{ [CMH]}}{50 \text{ [ppm]} - 10 \text{ [ppm]}} \\ &= 116.927 \text{ [CMH]} \end{aligned}$$

안전계수 n을 고려한 환기회수 Nd는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} N_d \text{ [회/hr]} &= \frac{M}{(C_d - C_o) \cdot V} \times 1.2 \\ &= \frac{4.6771 \text{ [CMH]}}{(50 \text{ [ppm]} - 10 \text{ [ppm]} \cdot 23,652 \text{ [m}^3\text{]})} \\ &\quad \times 1.2 = 5.9 \text{ [회/hr]} \end{aligned}$$

안전계수 n을 고려한 최대 환기횟수는 실내의 허용 오염농도치를 50ppm으로 했을때 5.9회로써 지하주차장법 시행규칙에서 규정한 10회보다 낮다.

따라서 기계실이나 주차장과 같이 오염물질량 혹은 열부하의 변동이 있는 곳은 환기부하의 변동에 따라 풍량을 조정할 수 있는 제어장치를 갖추는 것이 바람직하다.

3.2 소요동력량 산정 및 에너지 절감대책

3.2.1 일일 부하량 검토

주차시설의 운영 효율을 가리키는 회전율(회/면)을 보면 서울의 경우 평균적으로 보아 옥내 주차장이 3.9회 노상 주차장이 7.4회이다. 또한 대부분의 주차 소요는 오전 11시부터 오후 4시 사이에 발생하여 전체의 70%를 점하고 있다. 따라서 실내에서 발생되는 CO 발생량 및 소요 환기량 계산에 따른 급배기 팬 가동율은 그림 8과 같다.

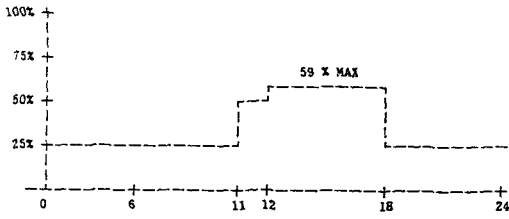


그림 8. 시간대별 급·배기 팬 가동율

3.2.2 연간 전력소모량 산출

- SF-11부터 SF-54 까지..... ①
- EF-11부터 EF-54 까지..... ②
- 이코노즐 팬 ③

- ① 7.5 kw × 40대 : 300 kw
- ② 7.5 kw × 40대 : 300 kw
- ③ 2.2 kw × 37대 : 81.4kw
- 1.5 kw × 5대 : 7.5kw
- 3.7 kw × 3대 : 11.1kw
- 계 : 700 kw

전력소모량

급배기 팬

동작가동률 (%)	전력소모량 (kw)	가동시간 (H)
25	150	17
50	300	1
25	450	6

급배기 팬 일일 전력사용량

$$150Kw \times 17H + 300Kw \times 1H + 450Kw \times 6H = 5,550KwH/day$$

이코노즐 팬 일일 전력사용량

$$100Kw \times 24H = 2,400KwH/day$$

전체 일일 전력사용량 7,950KwH/day

$$\text{년간 전력사용량 } 7,950KwH/day \times 365\text{day} = 2,901,750KwH$$

3.2.3 팬 제어방식 결정

안전 계수를 고려한 최대 환기 횟수가 5.9 회이므로 주차장내 팬 제어방식은 그림9에 보인바와 같이 5회의 환기량을 구비한 팬을 급배기 각각 2대씩 설치하여 Stand-by 개념으로 운전시킨다.

- 1대 7.92 CMS : duty } 교대운전,
- 1대 7.92 CMS : stand-by } 급배기연동
- 이코노즐 팬 : 별도 ON-OFF(상시운전)

3.3 이코노즐 설계

3.3.1 부하계산

단위 노즐 풍량 및 풍속 계산식(지하주차장만 적용)

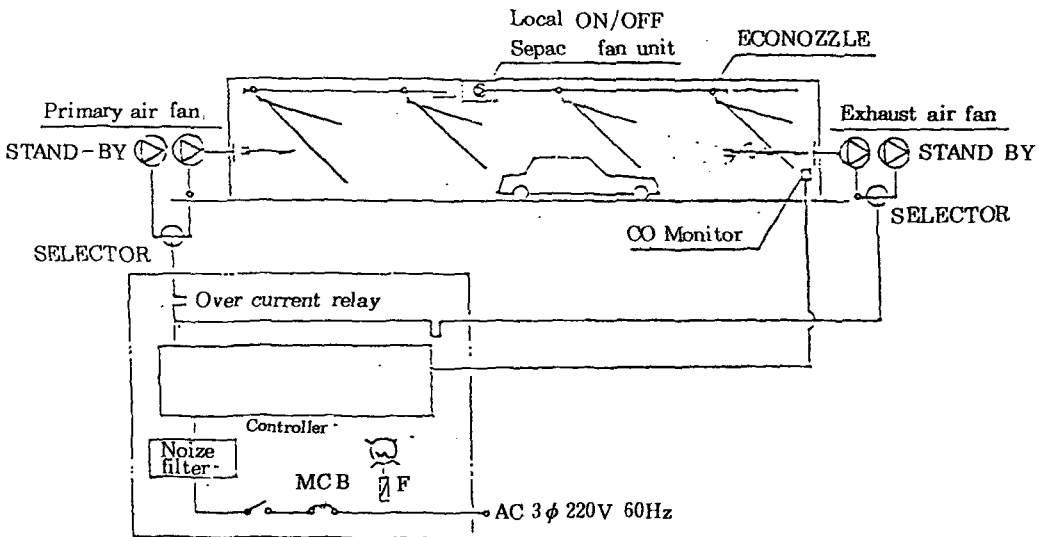


그림 9. ON-OFF/STAND-BY 제어방식

$$\frac{V_x}{V_o} = K_x \cdot 4.5 \times \frac{D_o}{X} \dots\dots\dots (1)$$

Qo : 노즐 풍량
K : 보정 계수

단위 노즐당 유인 공기량 계산식 (지하주차장만 적용)

$$\frac{Q_x}{Q_o} = 0.2 \times \frac{X}{D_o} \dots\dots\dots (2)$$

Do : 노즐 구경
X : 이코노즐에서의 거리(m)
Vo : 이코노즐 Tip 속도(m/s)
Vx : 거리 X에서의 중심유속
Qx : 거리 X에서의 유인 공기량

3.3.2 부하계산서 : 별첨 참조

3.4 급배기 팬 선정

풍 량 : 7.92 CMS × 2 대/실
풍 압 : 30mmAq(T.S.P)
모 터 : 7.5Kw
팬 : 터보형
동력전달 : V-belt
팬 소 음 :

주파수	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	계 dB(A)
SPL	77	88	91	92	89	83	76	69	93
팬외부 SPL	77	86	84	83	80	69	62	57	84

3.5 팬 소음 영향평가

3.5.1 팬 소음 분석

FAN SPEC.	28.512 CMH.					30 mmAq				
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	O. A	
PWL Spectrum	77	88	71	92	87	83	75	67	93dB(A)	
B. C. CENT. FACTOR (TURBO)	- 7	- 8	- 7	-12	-17	-22	-27	-32		
FAN ROOM REVERBERTION TIME (2 SECS)	+ 3	+ 3	+ 3	+ 3	+ 3	+ 3	+ 3	+ 3		
DISTANCE TO LISTENER (1.5 M)	- 11	- 11	- 11	- 11	- 11	- 11	- 11	- 11		
OPEN AREA DIRECT FACTOR	+ 6	+ 7	+ 8	+ 8	+ 9	+ 9	+ 9	+ 9		
DIRECT SPL(AT1.5M)	68	79	84	80	73	62	50	38		
dB (A) 청감보정치	-26	-16	- 9	- 3	0	+ 1	+ 1	- 1		
RESULTANT SPL	47	63	75	77	73	67	51	37	80dB(A)	

FAN 2대 동시 가동시에는 SPL=80+3=83dB(A)로 나타난다.

3.5.2 납매기 환실 내부 예상 소음도

구 조	재 질	투과손실 TL (dB)	투 과 율 τ_i	흡 음 율 α_i	면 적 Si (m ²)	τ_{isi}	α_{isi}
벽 체	조 직 + 양면볼탈	34	3.981×10	0.01	15	0.006	0.15
바 닥	콘크리트 슬라브	-	-	0.01	24.5	-	0.245
천 정	"	-	-	0.01	24.5	-	0.245
출 입 문	삼중방화문	21	7.94×10	0	1.7	0.0135	-
개 구 부	1.0 DUCT + AL LOUVER	16	0.0251	0	4.32	0.1084	-
TOTAL					70.02	0.1279	0.64

· 평균투과손실(\overline{TL}) = $10 \log \frac{\sum Si}{\sum \tau_i Si}$
 $= 10 \log \frac{70.02}{0.1279} = 27.38 \text{ (dB)}$

· 평균흡음율($\bar{\alpha}$) = $\frac{\sum \alpha_i Si}{\sum Si} = 0.0091$

· 실정수(R) = $\frac{\sum \alpha_i Si}{1 - \bar{\alpha}} = 0.6464$

· 실내 평균소음도(\overline{SPL}) = $PWL - 10 \log R + 6$
 $= 83 - 10 \log 0.6464 + 6 = 90.89 \text{ (dB)}$

3.5.3 급·배기 샤프트 측 도로변 예상 소음도

덕트 샤프트 내부 콘크리트 벽면 흡음 감쇠량과 외부까지의 거리
 감쇠량의 합이 대략 -10 dB(A) 정도로 추정

91 dB(A) - 10 dB(A) = 81 dB(A)이다.

4. 시공관리 및 소음방지대책

4.1 이코노즐 시스템 시공관리

4.1.1 시스템 분석 및 발판상

이코노즐 시스템에서 시공관리는 시스템 자체가 고정압이라는 것과 실내에 공급된 공기를 완전 확산 유도하여 CO 농도를 항상 일정하게 유지하여야 하는 이유로 설계 못지않게 중요하다.

별첨 Air Duct System Design Program은 이코노즐 시스템의 설계시 덕트구경, 길이, 유속, 풍량, 정압손실, 전압 및 정압을 나타낸다.

그림 10에 표시한 일련번호는 위 언급한 별첨 컴퓨터 자료번호와 일치하는 것으로서 각 부의 위치를 나타내고 있다.

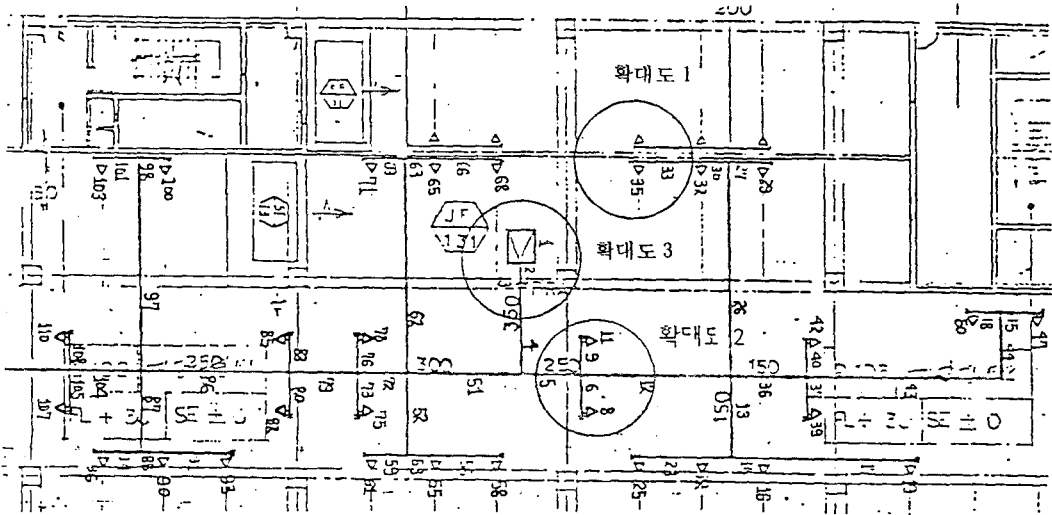


그림 10. 이코노즐 시스템 설계도

4.1.2 이코노즐 설치방법

이코노즐 시스템의 효율을 극대화 하기 위한 주차로 측과 통로 측의 이코노즐 설치요령은 그림 11, 그림 12 와 같다.

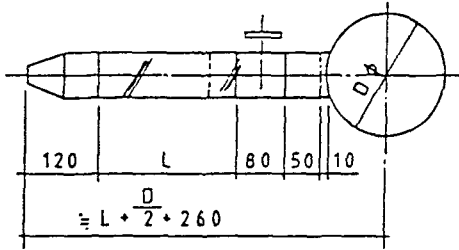


그림 11. 이코노즐설치 확대도 1 (주차로측)

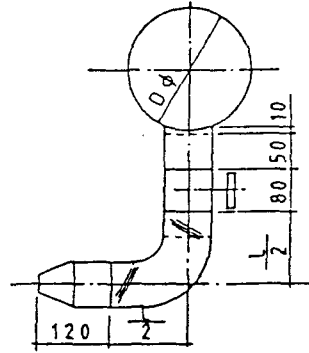


그림 12. 이코노즐설치 확대도 2 (통로측)

그림 13 에 환 설치후의 층고를 보인다.

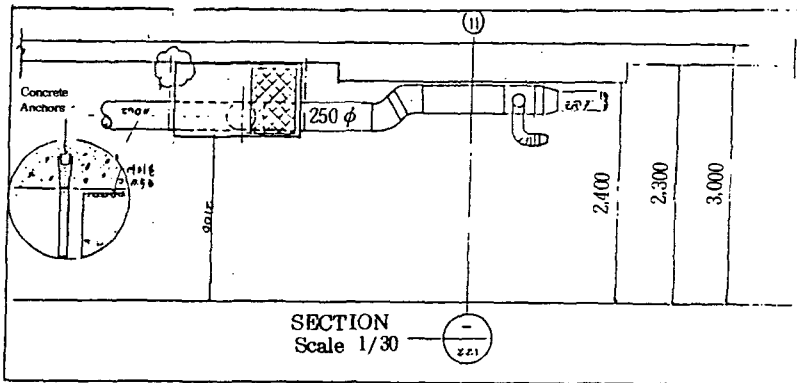


그림 13. 환 설치 확대도

4.1.3 원형 덕트 시공시 유의사항

덕트내 정압이 100 - 200mmAq 까지 걸리기 때문에 덕트 연결시에는 특별한 주의를 요한다. 만약 시공상태가 불량하면 소음과 시스

템의 성능이 악화되는 요인이 된다.

덕트의 연결을 위하여는 그림 14를 참조하여 시공하여야 한다.

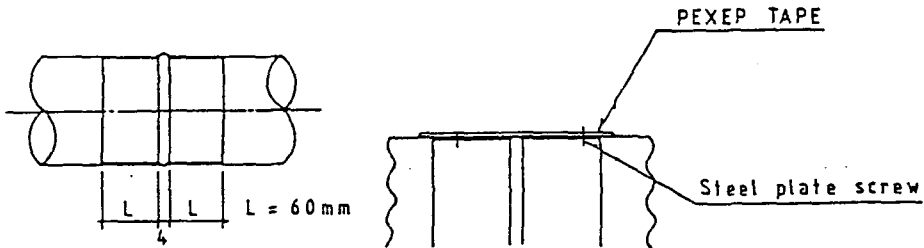


그림 14. 덕트시공노

고밀도 포리에틸렌 연결 밴드(PEXEP TAPE)를 덕트 연결 부위의 마감재로서 추천한다.

4.2 소음방지대책

1. 기계실 내부는 공명현상 발생으로 인한 소음 감쇠를 위하여 내부 흡음율을 높여 주어야 한다.

2. 기계실 내부 발생소음의 Peak 주파수는 250Hz 와 500Hz로 고주파 소음영역외에 중

• 저주파수 영역 감음량이 큰것을 선정하여야 한다.

3. 주차장 샤프트 쪽은 소음 감쇠량이 최소한 25DB(A)이상이 되어야 한다.

4. 갑종 방화문을 STC(Sound Transmission Class) 30 이상인 AIR TIGHT 방음문으로 선정하여야 한다.

5. 주차장 측 덕트 연결부분에 차음량을 증가시켜야 한다.

대 책 구 역		방음처리방법	성 능	대책전소음도	대책후소음도
FAN ROOM	벽체 및 천정	ACOUSTIC PANEL(50 T) 붙임.	흡음율($\bar{\alpha}$)=0.65	84	77.4
	AIR 흡·출구	SOUND ATTENUATOR설치	$4L=25-30\text{dB(A)}$	83	65이하
	DOOR	AIR TIGHT 방음문으로 교체	STC = 28 이상	-	-
	DUCT와 LOUVER 연결부위	차음층 추가 (50 T)설치	STC = 25 이상	-	-
주차장 내부				83	65이하
DUCT TOWER		SPLITER형 SILENCER설치	$L=25-27\text{dB(A)}$	73-82	65이하

별첨 : 부하 계산서

***** ECONOZZLE DESIGN CALCULATION *****

PROJECT NAME : 세종로 지하주차장 DATE : 02-19-1990
 CUSTOMER : TIME : 15:23:03
 LOCATION : 1층 ZONE :
 LENGTH(L) : 80 M AREA : 7884 M2
 WIDTH(W) : 98.55 M VOLUME(V): 23652 M3
 HEIGHT(H) : 3 M

PRIMARY AIR FLOW : 228000 M3/HR
 AIR CHANGE/HOUR : 9 . 6
 PRIMARY AIR/FL. AREA : 8 . 0 L/S,M2
 DESIGN SUPPLY OVERTEMP : 0 DEG.C
 ROOM TEMP. : 18 DEG.C

ECONOZZLE

DISTANCE : 10 M
 AIR VELOCITY : 34 . 8 M/S
 AIR VELOCITY : 0 . 5 M/S
 PRESSURE DROP : 96 . 5 mmAq
 AIR FLOW : 88 . 6 M3/HR

PRESSURE DROP IN SPIRAL DUCT : 19 mmAq
 PRESSURE DROP IN FAN CASING : 40 mmAq
 TOTAL PRESSURE DROP : 156 mmAq

QUANTITY : 232 ea.
 INDUCTION RATE : 6495 M3/HR
 SUM OF INDUCTION RATE : 1506700 M3/HR
 EXCHANGE RATE : 63 . 7 T/HR

REMARK :

AIR-DUCT SYSTEM DESIGN PROGRAM										
BALANCING						12/2/1990				
Total pressure needed = 1585 Pa										
Nr	Name	Prev.	Conn.	D [mm]	L [m]	v [m/s]	Qv [l/s]	DpConn [Pa]	Dp [Pa]	ptot pst [Pa] [Pa]
1	Duct	0	Direct	350x350	0.3	8.9	1085	0	1	15851538
2	Unknown	1	Direct				1085	0	340	1245
3	Duct	2	Direct	350x350	3.4	8.9	1085	0	7	12381191
4	PRA-315	3	Contract.				1085	3	59	1176
5	Duct	4	Contract.	350x350	0.8	8.9	1085	16	2	11581111
6	Duct	5	T-Branch-2	250	2.3	7.0	342	43	5	11101081
7	Duct	6	T+Contr.	100	1.5	3.4	27	10	2	10971090
8	Duct	7	Bend 90	100	0.3	3.4	27	3	0	10941087
9	Unknown	8	Direct				27	0	1094	0
10	Duct	6	T-Branch-2	100	1.5	3.4	27	25	2	10821076
11	Duct	10	Bend 90	100	0.3	3.4	27	3	0	10791072
12	Unknown	11	Direct				27	0	1079	0
13	Duct	6	T-Branch-1	250	6.0	5.9	289	1	9	11001079
14	Duct	13	T-Branch-2	160	3.5	5.2	105	20	7	10731057
15	Duct	14	T-Branch-2	125	1.3	4.3	53	15	2	10561045
16	Duct	15	T+Contr.	100	0.2	3.4	26	1	0	10541047
17	Unknown	16	Direct				26	0	1054	0
18	Duct	15	T+Contr.	100	5.8	3.3	26	1	9	10451039
19	Duct	18	Bend 90	100	0.2	3.3	26	3	0	10421036
20	Unknown	19	Direct				26	0	1042	0
21	Duct	14	T-Branch-2	125	1.2	4.3	53	15	2	10561045
22	Duct	21	T-Branch-2	100	0.2	3.3	26	10	0	10461039
23	Unknown	22	Direct				26	0	1046	0
24	Duct	21	T+Contr.	100	2.5	3.3	26	1	4	10511014
25	Duct	24	Bend 90	100	0.2	3.3	26	3	0	10481041
26	Unknown	25	Direct				26	0	1048	0
27	Duct	13	T-Branch-2	125	8.8	6.3	78	21	33	10461022
28	Duct	27	T-Branch-2	100	1.3	3.3	26	21	2	10231017
29	Duct	28	T-Branch-1	100	0.2	3.3	26	0	0	10231016
30	Unknown	29	Direct				26	0	1023	0
31	Duct	27	T-Branch-2	125	1.2	4.2	52	22	2	10221012
32	Duct	31	T-Branch-2	100	0.2	3.3	26	10	0	10121006
33	Unknown	32	Direct				26	0	1012	0
34	Duct	31	T+Contr.	100	2.5	3.3	26	1	4	10171011
35	Duct	34	Bend 90	100	0.2	3.3	26	3	0	10141008
36	Unknown	35	Direct				26	0	1014	0
37	Duct	13	T+Contr.	160	3.0	5.3	106	5	6	10891073
38	Duct	37	T-Branch-2	100	1.5	3.4	27	15	2	10721065
39	Duct	38	Bend 90	100	0.3	3.4	27	3	0	10691062
40	Unknown	39	Direct				27	0	1069	0
41	Duct	37	T-Branch-2	100	1.5	3.4	27	15	2	10721065
42	Duct	41	Bend 90	100	0.3	3.4	27	3	0	10691062
43	Unknown	42	Direct				27	0	1069	0
44	Duct	37	T+Contr.	125	7.6	4.3	53	2	14	10731062
45	Duct	44	Bend 90	125	3.0	4.3	53	4	6	10631052
46	Duct	45	T-Branch-2	100	1.4	3.4	26	10	2	10511044
47	Duct	46	T-Branch-1	100	0.2	3.4	26	0	0	10501044
48	Unknown	47	Direct				26	0	1050	0
49	Duct	45	T-Branch-2	100	1.1	3.4	26	10	2	10511045
50	Duct	49	Bend 90	100	0.2	3.4	26	3	0	10481042
51	Unknown	50	Direct				26	0	1048	0
52	Duct	5	T-Branch-2	315	4.7	9.5	743	47	12	10981044
53	Duct	52	T-Branch-2	125	3.5	6.3	77	49	13	10371013
54	Duct	53	T-Branch-2	125	1.0	4.2	52	21	2	10131003
55	Duct	54	T+Contr.	100	0.2	3.3	26	1	0	10121005

AIR-DUCT SYSTEM DESIGN PROGRAM											
BALANCING						12/2/1990					
Total pressure needed = 1585 Pa											
Nr	Name	Prev.	Conn.	D [mm]	L [m]	v [m/s]	Qv [l/s]	DpConn [Pa]	Dp [Pa]	ptot [Pa]	pst [Pa]
56	Unknown	55	Direct				26	0	1012	0	
57	Duct	54	T+Contr.	100	2.5	3.3	26	1	4	1008	1002
58	Duct	57	Bend 90	100	0.2	3.3	26	3	0	1005	999
59	Unknown	58	Direct				26	0	1005	0	
60	Duct	53	T-Branch-2	100	1.5	3.3	26	21	2	1014	1007
61	Duct	60	Bend 90	100	0.2	3.3	26	3	0	1011	1004
62	Unknown	61	Direct				26	0	1011	0	
63	Duct	52	T-Branch-2	125	8.8	6.3	77	49	32	1017	994
64	Duct	63	T-Branch-2	125	1.0	4.2	51	21	2	995	984
65	Duct	64	T+Contr.	100	0.2	3.3	26	1	0	993	987
66	Unknown	65	Direct				26	0	993	0	
67	Duct	64	T+Contr.	100	2.5	3.3	26	1	4	990	983
68	Duct	67	Bend 90	100	0.2	3.3	26	3	0	987	980
69	Unknown	68	Direct				26	0	987	0	
70	Duct	63	T-Branch-2	100	1.5	3.3	26	20	2	995	988
71	Duct	70	Bend 90	100	0.2	3.3	26	3	0	992	985
72	Unknown	71	Direct				26	0	992	0	
73	Duct	52	T-Branch-1	315	2.0	7.6	588	3	4	1092	1058
74	Duct	73	T-Branch-2	100	1.5	3.4	26	30	2	1060	1053
75	Duct	74	Bend 90	100	0.3	3.4	26	3	0	1057	1050
76	Unknown	75	Direct				26	0	1057	0	
77	Duct	73	T-Branch-2	100	1.5	3.4	26	30	2	1060	1053
78	Duct	77	Bend 90	100	0.3	3.4	26	3	0	1057	1050
79	Unknown	78	Direct				26	0	1057	0	
80	Duct	73	T-Branch-1	315	2.7	6.9	536	2	4	1086	1058
81	Duct	80	T-Branch-2	100	1.5	3.4	26	25	2	1059	1052
82	Duct	81	Bend 90	100	0.3	3.4	26	3	0	1056	1049
83	Unknown	82	Direct				26	0	1056	0	
84	Duct	80	T-Branch-2	100	1.5	3.4	26	25	2	1059	1052
85	Duct	84	Bend 90	100	0.3	3.4	26	3	0	1056	1049
86	Unknown	85	Direct				26	0	1056	0	
87	Duct	80	T+Contr.	250	6.0	9.8	483	3	22	1061	1003
88	Duct	87	T-Branch-2	125	3.5	6.2	76	52	12	997	974
89	Duct	88	T-Branch-2	125	1.0	4.1	51	21	2	975	964
90	Duct	89	T+Contr.	100	0.2	3.2	25	1	0	973	967
91	Unknown	90	Direct				25	0	973	0	
92	Duct	89	T+Contr.	100	2.5	3.2	25	1	4	970	964
93	Duct	92	Bend 90	100	0.2	3.2	25	3	0	967	961
94	Unknown	93	Direct				25	0	967	0	
95	Duct	88	T-Branch-2	100	1.5	3.2	25	20	2	975	969
96	Duct	95	Bend 90	100	0.2	3.2	25	3	0	972	966
97	Unknown	96	Direct				25	0	972	0	
98	Duct	87	T-Branch-2	125	8.8	4.2	51	50	15	996	985
99	Duct	98	T-Branch-2	100	1.0	3.2	25	10	1	985	978
100	Duct	99	T-Branch-1	100	0.2	3.2	25	0	0	984	978
101	Unknown	100	Direct				25	0	984	0	
102	Duct	98	T-Branch-2	100	1.5	3.2	25	10	2	984	978
103	Duct	102	Bend 90	100	0.2	3.2	25	3	0	981	975
104	Unknown	103	Direct				25	0	981	0	
105	Duct	87	T-Branch-1	250	3.0	7.2	356	3	6	1051	1020
106	Duct	105	T-Branch-2	100	1.5	3.3	26	27	2	1022	1015
107	Duct	106	Bend 90	100	0.3	3.3	26	3	0	1019	1012
108	Unknown	107	Direct				26	0	1019	0	
109	Duct	105	T-Branch-2	100	1.5	3.3	26	27	2	1022	1015
110	Duct	109	Bend 90	100	0.3	3.3	26	3	0	1019	1012

AIR-DUCT SYSTEM DESIGN PROGRAM										
BALANCING										12/2/1990
Total pressure needed = 1585 Pa										
Nr	Name	Prev.	Conn.	D [mm]	L [m]	v [m/s]	Qv [l/s]	DpConn [Pa]	Dp [Pa]	ptot pst [Pa] [Pa]
111	Unknown	110	Direct				26	0	1019	0
112	Duct	105	T-Branch-1	250	6.0	6.2	304	2	10	10401017
113	Duct	112	T-Branch-2	125	3.5	6.2	76	23	12	1005982
114	Duct	113	T-Branch-2	100	1.6	3.2	25	20	2	983 976
115	Duct	114	T-Branch-1	100	0.2	3.2	25	0	0	982 976
116	Unknown	115	Direct				25	0	982	0
117	Duct	113	T-Branch-2	125	0.9	4.1	51	21	2	983 973
118	Duct	117	T-Branch-2	100	0.2	3.2	25	9	0	973 967
119	Unknown	118	Direct				25	0	973	0
120	Duct	117	T+Contr.	100	2.5	3.2	25	1	4	978 972
121	Duct	120	Bend 90	100	0.2	3.2	25	3	0	975 969
122	Unknown	121	Direct				25	0	975	0
123	Duct	112	T-Branch-2	125	8.8	6.2	76	23	31	986 964
124	Duct	123	T-Branch-2	100	1.7	3.2	25	20	2	964 958
125	Duct	124	T-Branch-1	100	0.2	3.2	25	0	0	964 957
126	Unknown	125	Direct				25	0	964	0
127	Duct	123	T-Branch-2	125	0.8	4.1	50	20	1	965 955
128	Duct	127	T-Branch-2	100	0.2	3.2	25	9	0	955 949
129	Unknown	128	Direct				25	0	955	0
130	Duct	127	T+Contr.	100	2.5	3.2	25	1	4	960 954
131	Duct	130	Bend 90	100	0.2	3.2	25	3	0	957 951
132	Unknown	131	Direct				25	0	957	0
133	Duct	112	T+Contr.	160	3.0	7.6	152	5	12	1024989
134	Duct	133	T-Branch-2	100	1.5	3.3	26	30	2	992 985
135	Duct	134	Bend 90	100	0.3	3.3	26	3	0	989 982
136	Unknown	135	Direct				26	0	989	0
137	Duct	133	T-Branch-2	100	1.5	3.3	26	30	2	992 985
138	Duct	137	Bend 90	100	0.3	3.3	26	3	0	989 982
139	Unknown	138	Direct				26	0	989	0
140	Duct	133	T-Branch-1	160	7.7	5.0	101	2	14	1007992
141	Duct	140	Bend 90	160	2.0	5.0	101	6	4	998 983
142	Duct	141	T-Branch-2	100	1.5	3.2	25	14	2	982 976
143	Duct	142	T-Branch-1	100	0.2	3.2	25	0	0	981 975
144	Unknown	143	Direct				25	0	981	0
145	Duct	141	T-Branch-2	100	1.5	3.2	25	14	2	982 976
146	Duct	145	Bend 90	100	0.2	3.2	25	3	0	979 973
147	Unknown	146	Direct				25	0	979	0
148	Duct	141	T-Branch-2	125	10.0	4.1	50	14	17	967 957
149	Duct	148	T-Branch-2	100	1.5	3.2	25	9	2	955 949
150	Duct	149	T-Branch-1	100	0.2	3.2	25	0	0	955 949
151	Unknown	150	Direct				25	0	955	0
152	Duct	148	T-Branch-2	100	1.5	3.2	25	9	2	955 949
153	Duct	152	Bend 90	100	0.2	3.2	25	3	0	953 946
154	Unknown	153	Direct				25	0	953	0

AIR-DUCT SYSTEM DESIGN PROGRAM

12/2/1990

SOUND LEVELS IN ROUTE: 3 ... 152

Nr	Name	Qv [l/s]	dp [Pa]		f [Hz]					
					125	250	500	1K	2K	4K
				Startlevel	67.0	64.0	56.0	52.0	50.0	46.0
3	Duct	1085	7	Attenuat.:	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
				Noise:	42.4	41.4	40.3	39.3	38.2	34.2
				Total:	66.8	63.9	56.0	52.2	50.2	46.2
4	PRA-315	1085	59	Attenuat.:	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0
				Noise:	72.5	64.5	61.5	64.5	57.5	49.5
				Total:	73.5	67.2	62.6	64.7	58.2	51.2
5	Duct	1085	2	Attenuat.:	-0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0
				Noise:	42.4	41.4	40.3	39.3	38.2	34.2
				Total:	73.5	67.2	62.6	64.7	58.2	51.2
	T-Branch-2	743	47	Attenuat.:	-2.1	-2.1	-2.6	-3.1	-3.6	-3.6
				Noise:	56.3	52.1	47.3	42.9	37.4	32.7
				Total:	71.5	65.3	60.2	61.7	54.7	47.7
52	Duct	743	12	Attenuat.:	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
				Noise:	42.0	41.0	39.9	38.9	37.9	33.9
				Total:	71.4	65.2	60.1	61.6	54.7	47.8
	T-Branch-1	588	3	Attenuat.:	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2
				Noise:	46.0	42.7	38.9	34.3	30.5	25.3
				Total:	70.3	64.1	59.0	60.4	53.5	46.7
73	Duct	588	4	Attenuat.:	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0
				Noise:	37.0	35.9	34.9	33.8	32.8	28.8
				Total:	70.2	64.1	59.0	60.4	53.5	46.7
	T-Branch-1	536	2	Attenuat.:	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
				Noise:	33.5	30.5	27.0	23.1	18.1	13.3
				Total:	69.5	63.3	58.2	59.6	52.7	45.9
80	Duct	536	4	Attenuat.:	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
				Noise:	34.9	33.9	32.8	31.8	30.8	26.8
				Total:	69.4	63.2	58.2	59.5	52.7	45.9
	T-Branch-1	483	3	Attenuat.:	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2
				Noise:	32.1	29.1	25.4	21.4	16.2	11.3
				Total:	68.2	62.0	57.0	58.3	51.5	44.7
87	Duct	483	22	Attenuat.:	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
				Noise:	40.7	39.7	38.6	37.6	36.5	32.5
				Total:	68.2	62.0	56.9	58.2	51.5	44.8
	T-Branch-1	356	3	Attenuat.:	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8
				Noise:	41.7	38.8	35.3	31.5	26.6	21.9
				Total:	66.4	60.3	55.2	56.5	49.8	43.1
105	Duct	356	6	Attenuat.:	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
				Noise:	34.1	33.0	32.0	31.0	29.9	25.9
				Total:	66.4	60.3	55.2	56.4	49.8	43.1
	T-Branch-1	304	2	Attenuat.:	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2
				Noise:	32.6	29.6	26.0	22.1	17.0	12.2

AIR-DUCT SYSTEM DESIGN PROGRAM

12/2/1990

SOUND LEVELS IN ROUTE: 3 ... 152

Nr	Name	Qv [l/s]	dp [Pa]		f [Hz]					
					125	250	500	1K	2K	4K
				Total:	65.2	59.0	54.0	55.2	48.6	41.9
112	Duct	304	10	Attenuat.:	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
				Noise:	30.7	29.6	28.6	27.5	26.5	22.5
				Total:	65.1	59.0	53.9	55.1	48.5	41.9
	T-Branch-1	152	5	Attenuat.:	-3.5	-3.5	-3.5	-3.5	-3.5	-3.5
				Noise:	40.0	35.1	31.8	26.8	22.7	17.5
				Total:	61.7	55.6	50.5	51.7	45.0	38.4
133	Duct	152	12	Attenuat.:	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
				Noise:	31.1	30.1	29.1	28.0	27.0	23.0
				Total:	61.7	55.5	50.5	51.6	45.0	38.5
	T-Branch-1	101	2	Attenuat.:	-2.5	-2.5	-2.5	-2.5	-2.5	-2.5
				Noise:	33.0	30.1	26.5	22.8	17.8	13.0
				Total:	59.2	53.1	48.0	49.1	42.5	36.0
140	Duct	101	14	Attenuat.:	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2
				Noise:	22.3	21.2	20.2	19.1	18.1	14.1
				Total:	59.1	52.9	47.9	48.9	42.3	35.8
	Bend 90	101	6	Attenuat.:	-0.0	-0.0	-0.0	-1.0	-2.0	-3.0
				Noise:	28.8	24.7	20.0	15.6	10.0	5.3
				Total:	59.1	53.0	47.9	47.9	40.3	32.8
141	Duct	101	4	Attenuat.:	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
				Noise:	22.3	21.2	20.2	19.1	18.1	14.1
				Total:	59.1	52.9	47.9	47.8	40.3	32.8
	T-Branch-2	50	14	Attenuat.:	-3.6	-3.6	-3.6	-4.1	-4.6	-5.1
				Noise:	30.1	26.3	21.8	17.4	11.9	7.1
				Total:	55.5	49.4	44.3	43.8	35.7	27.7
148	Duct	50	17	Attenuat.:	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
				Noise:	15.6	14.6	13.6	12.5	11.5	7.5
				Total:	55.4	49.2	44.2	43.5	35.4	27.5
	T-Branch-2	25	9	Attenuat.:	-3.0	-3.0	-3.0	-3.5	-4.0	-4.5
				Noise:	22.1	18.3	13.9	9.6	4.1	0.0
				Total:	52.4	46.2	41.2	40.0	31.4	23.0
152	Duct	25	2	Attenuat.:	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0
				Noise:	8.3	7.3	6.2	5.2	4.2	0.2
				Total:	52.4	46.2	41.2	39.9	31.4	23.0