



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

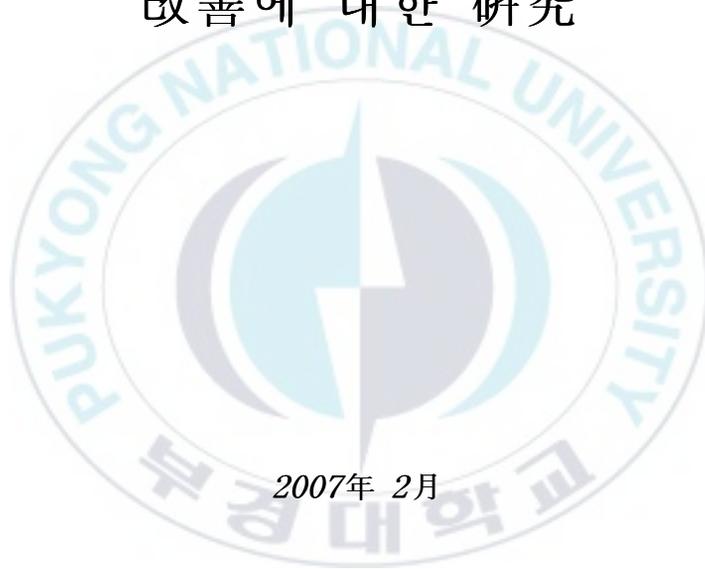
저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

密閉構造의 工場에 있어서
換氣方式에 따른 夏節期 作業環境
改善에 대한 研究



2007年 2月

釜慶大學校 産業大學院

冷凍空調工學科

金 英 植

工學碩士 學位論文

密閉構造의 工場에 있어서
換氣方式에 따른 夏節期 作業環境
改善에 대한 研究

指導教授 鄭 碩 權

이 論文을 碩士學位 論文으로 提出함

2007年 2月

釜慶大學校 産業大學院

冷凍空調工學科

金 英 植

이 論文을 金英植의 工學碩士 學位論文으로 認准함

2006年 12月



主 審 工學博士 金 永 守 (印)

委 員 工學博士 金 恩 弼 (印)

委 員 工學博士 鄭 碩 權 (印)

목 차

목 차	i
List of figure	iii
List of table	v
ABSTRACT	vi
제 1 장 연구개요	1
1.1 연구 배경 및 목적	1
1.2 기존의 연구 동향	5
1.3 연구 범위 및 방법	6
제 2 장 공장환기에 관한 이론적 고찰	8
2.1 환기	8
2.2 환기방식의 분류	9
2.3 공기 오염물질 및 발생원	11
2.4 오염 공기가 인체에 미치는 영향	16
제 3 장 공장환기 설계시 검토사항	18
3.1 강제환기의 적용 원칙	18
3.2 공장의 구조	20
3.3 적정 필요환기량 산정	21
3.4 환기장치의 시험 방법과 신뢰성	22
3.5 무모한 설비 투자	22

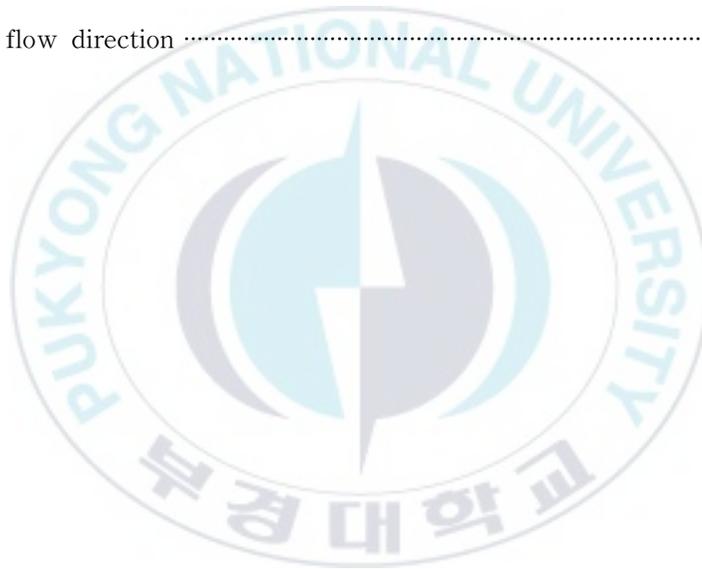
제 4 장 하절기 환기 시스템 실측	29
4.1 환기시스템 계획	29
4.2 환기시스템 실측	37
4.3 환기시스템 실측결과	44
 제 5 장 결 론	 51
 참 고 문 헌	 53
 감사의 글	 56



List of figure

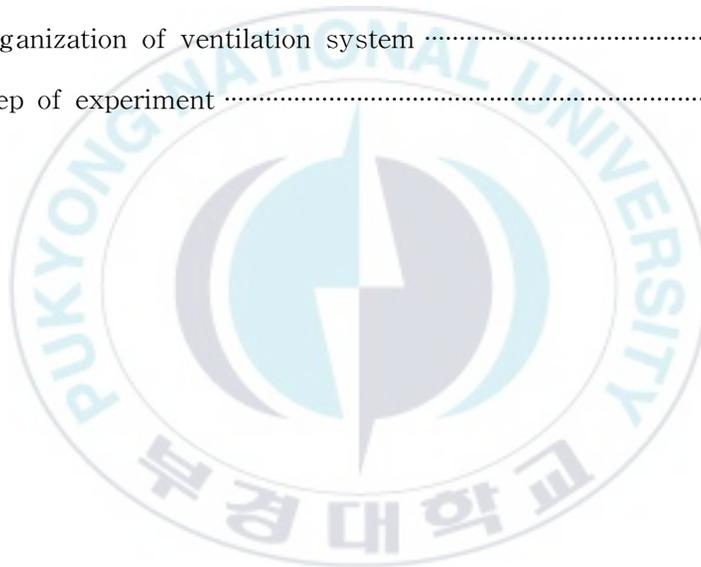
Fig. 1.1 Variation of industrial accidents(from Ministry of Labor)	2
Fig. 1.2 Ratio of industrial disease(2004 years)	3
Fig. 1.3 Research flow	7
Fig. 2.1 Forced ventilation way	10
Fig. 2.2 Contaminant classification in air (加筆)	11
Fig. 2.3 Classification of particle material by composure region	13
Fig. 2.4 Effect that various hazardous substances get to human	16
Fig. 3.1 Formation of Factory roof	20
Fig. 3.2 Natural Ventilator	24
Fig. 3.3 Natural Ventilator with Power Fan	24
Fig. 3.4 Roof coating	25
Fig. 3.5 Water sprinkling chapter	25
Fig. 3.6 Roof Monitor	26
Fig. 3.7 Roof Monitor with Natural Ventilator	26
Fig. 4.1 Ventilation target area	29
Fig. 4.2 Flow chart of subtractive method	30
Fig. 4.3 Construction of ventilation system	32
Fig. 4.4 Plot planning of Ventilator	33
Fig. 4.5 Calculation method of air velocity	34
Fig. 4.6 Calculation method of cooling element	37
Fig. 4.7 Measurement point of ventilation area	38
Fig. 4.8 Measurement point of outdoor	38

Fig. 4.9 CLIMOMASTER	40
Fig. 4.10 Air flow measuring instrument	40
Fig. 4.11 Snapshot of Measurement	42
Fig. 4.12 Snapshot of Measurement	42
Fig. 4.13 Horizontal distribution of temperature	45
Fig. 4.14 Relative of Thermal Sensation Vote and Relative Humidity	46
Fig. 4.15 Horizontal distribution of Relative humidity	47
Fig. 4.16 Horizontal distribution of Air-velocity	49
Fig. 4.17 Air flow direction	50



List of table

Table 1.1 Ratio of industrial disease	2
Table 2.1 Classification of ventilation	10
Table 2.2 Classification of ventilation method	10
Table 2.3 Sources of air pollutants	15
Table 2.4 Influence of dust size on body	17
Table 3.1 Average wind velocity at the principal cities of Korea	28
Table 4.1 Organization of ventilation system	32
Table 4.2 Step of experiment	37



*The research about improvement of work environment by
ventilation method in closeness factory during summer*

Yeong-Sig Kim

Department of Refrigeration and Air-Conditioning Engineering
Graduate School of Industry, Pukyong National University

ABSTRACT

Recently, interesting about indoor air pollution and air quality is rising gradually worldwide. Be different from house and office space, factory for production product various material by method to do process. But, factors occur in various poisonous fatally. High temperature environment makes worker's working environment as is more inferior during summer. Working environment influences in worker's health, quality of product, productivity. Thermal insulation and air-sealing of building are emphasized in save-energy. Air ventilation of indoor environment is growing worse gradually. Efficient ventilation plan to keep healthy and comfortable working environment is important.

The research investigates the importance of ventilation about theoretical result of industrial ventilation in general ventilation field mainly, and Examine about problem that is found in ventilation planing of factory. This research complete ventilation plan laying stress on etching process of PCB factory during summer. During the summer in practical factory thermal comfort environment change state of summer working environment of ventilation operation state through change of ventilation way measure.

It is purpose to present efficient ventilation method in factory make up of closeness factory.



제 1 장 연구개요

1.1 연구 배경 및 목적

1970년대 이후의 급속한 경제성장과 산업화의 여파로 전국 각처에 공업단지가 조성되면서 공업화가 급속히 진전되었다. 그리고 건축재료와 건축기술의 발달에 따른 에너지의 효율적인 이용 등으로 인하여 건축물의 단열성과 기밀성은 향상되었지만, 통기성은 보다 악화된 것이 현실이다.

특히 건축물에 대해서 건물증후군(Sick building syndrome), 호흡기 질환, MRSA(Methicillin resistant staphylococcus aureus) 감염증 등 다양한 증상이 잇달아 보고되고, 사회문제화 되고 있는 것은 주지의 사실이다. 따라서, 실내공기질에 관한 관심이 고조되고 있으며, 작업장을 쾌적하게 유지하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다.

공장은 주택이나 사무 공간 등과 다르게 제품의 생산을 위해 다양한 재료를 다양한 방법으로 가공하는 과정을 포함하므로 각종 유해인자의 발생이 당연하다.

따라서, 산업재해의 발생률은 점점 높아지고 있는 추세이며, 직업병과 같은 업무상 질병의 발생도 증가하고 있다. 근로자의 작업환경에서 기인하는 직업병 발생을 최소화하기 위해 충분한 작업장 환기를 검토할 필요가 있다.

Fig. 1.1과 Table 1.1은 국내 산업재해 추이와 최근 직업병 발생 현황을 나타낸 것이다. 근로복지공단에서 산재보상 지급이 결정된 통계자료이므로 실제 발생은 보다 많을 것으로 추측된다.

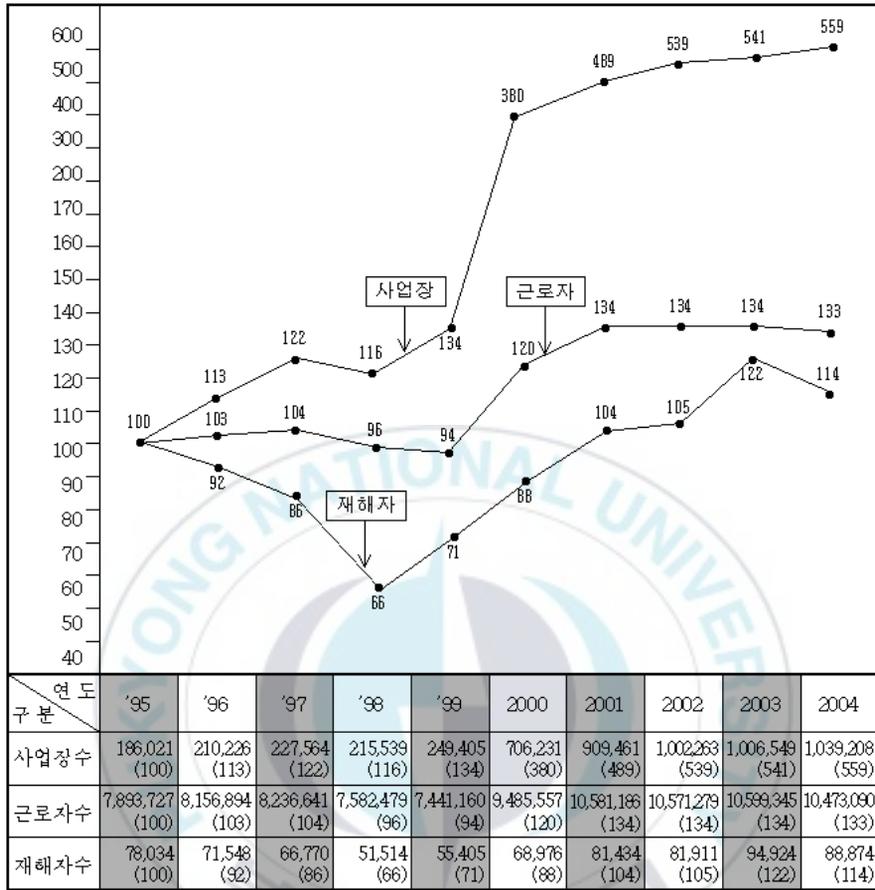


Fig. 1.1 Variation of industrial accidents(from Ministry of Labor)

Table 1.1 Ratio of industrial disease(from Ministry of Labor)

(단위 : 人)

구분	소계	진폐	난청	금속, 중금속 중독	유기용제 중독	특정화학 물질 중독	기타
2002년	1,351	915	219	8	48	32	129
2003년	1,905	1,320	314	19	33	58	161
2004년	2,492	1,943	266	20	21	40	202

Fig. 1.2는 2004년도 직업병의 유형별 점유율을 나타낸 것이다. 직업병 중 진폐(塵肺)가 77%를 차지하고 있어, 작업장의 공기질 개선을 위한 충분한 노력이 요구됨을 알 수 있다.

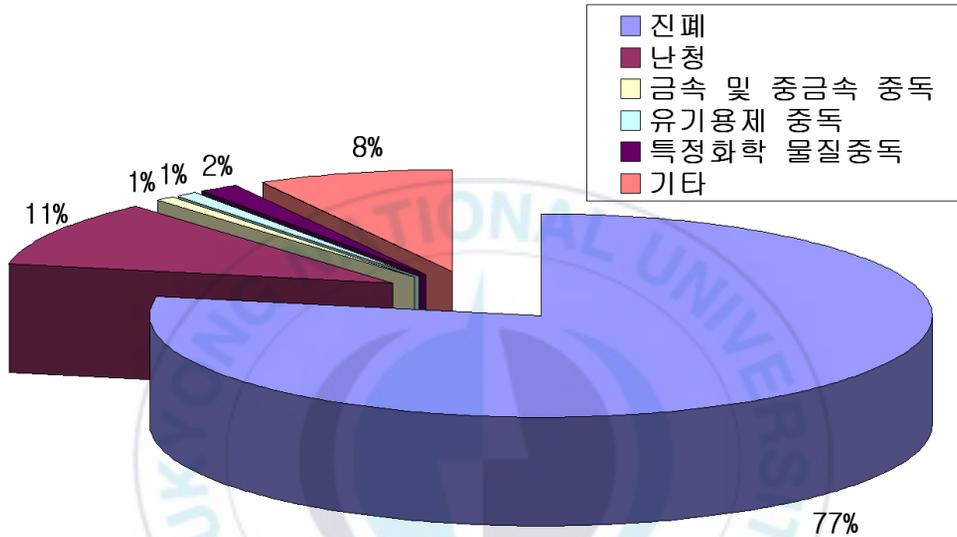


Fig. 1.2 Ratio of industrial disease(2004 years)

공기질을 악화시키는 유해인자에 대한 대책으로는 크게 행정적인 대책과 공학적인 대책을 들 수 있다.

공학적인 대책으로는 유해인자의 제거(Elimination), 공정 변경(Process change), 대체(Substitution), 격리(Isolation), 발생원 변경(Source modification), 환기(Ventilation) 등이며⁽¹⁾, 행정적인 대책은 공학적인 대책으로 해결이 되지 않을 경우에 적용하는 최후의 수단으로, 작업 전환(교대), 작업시간 조절, 개인 보호구 착용, 휴식이나 교육 등이다.

공학적인 대책 중 가장 많이 이용하고 있는 수단이 환기이며, 환기에 대한 인식과 그 필요성은 나날이 높아지고 있고, 환기장치의 적용사례도 급속히 증가하고 있다.

그리고, 적절한 환기 기능을 수반하지 않는 전체환기 또는 자연환기를 이용한 작업장 내의 기류 확보는 주의해야 할 사항이다. 특히 고온다습한 하절기에는 창외 개방을 통하여 신선한 외기를 실내에 유입하는 것이 일반적인 공장작업장 환기의 방법으로 적용되고 있으나, 환기 기능에 대한 검토가 미흡한 실정이다.

또한, 공장이 무창형(無窓型), 밀폐형으로 시설되어 기계환기가 도입되고, 실내환경의 온열환경 유지 외에 화학물질 오염방지, 소음의 확산방지에 인공적인 대응이 불가피하게 되었으며, 생활환경 중에서 환기기술이 중요해지고 있다⁽²⁾.

그러나 환기기술은 공기조화나 집진기술 등에 비해 학문적 연구가 그다지 많이 진전되어 있지 않고, 환기장치 또한 공장이라는 환경이 가지고 있는 복잡·다양성에 적절히 대응할 수 있을 정도로 다양하게 개발되어 있지 않은 실정이다. 특히, 공장에서의 환기장치는 직업병 예방이나 근로자의 작업환경 개선이라는 중요한 목적을 가지고 있음에도 불구하고, 생산설비 등에 비해 근로자의 복지·후생 관련 간접설비라는 인식이 강하게 작용하고, 설비투자에서도 후순위로 밀리는 경향을 보이고 있으므로 관계자의 인식 전환이 시급한 실정이다.

본 연구에서는 환기에 대한 이론적 고찰을 통해 환기의 중요성을 살펴보고, 밀폐구조의 공장에 있어서 하절기의 고온 환경에 대해 환기장치 설치·가동 후의 하절기 작업환경 변화 상태를 측정함으로써 그 각각의 특성을 검토하고, 밀폐구조 공장에서의 전체환기 방안을 제시해 보고자 한다.

1.2 기존의 연구 동향

환기에 대한 기존의 연구 동향은 주로 빌딩이나 주거 공간, 지하주차장, 지하상가 등을 대상으로 실내 공기질(Indoor Air Quality, IAQ), 실내 온열 환경, 환기효율과 적정 환기량 등에 대하여 주로 축소 모형실험을 통한 연구가 많이 이루어져 오고 있다. 최근에는 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD)을 이용한 수치해석을 통해 예측이나 시뮬레이션도 활발히 진행되고 있다. 공장환기에 대한 연구에서는 국소배기(환기)가 대부분을 차지하고 있는데, 최근 하절기 작업환경 개선의 일환으로 관심이 높아지고 있는 전체환기를 중심으로 한 하절기 대책환기에 대한 연구나 실제 공장에서의 사례연구는 거의 찾기 어렵다.

공장환기에 관한 전체환기를 중심으로 한 기존의 연구 동향을 살펴보면 다음과 같다.

일본의 미나가와 미나토요(皆川皆豊, 1969)⁽³⁾는 실제 공장에 있어서 전체환기에 대한 연구로 Roof Fan에 의한 제1종 환기방식을 적용하여, 실내기류와 온도 분포 등 하절기 방서대책 환기에 대한 연구를 수행하였다.

Cripps(1995)⁽⁴⁾은 온열감 향상을 위한 기계환기 방식을 제안하였고, Chow(1996)⁽⁵⁾는 대형작업장에서 공기속도 분포를 측정함으로써 기계적환기 유동 특성의 실험연구를 수행하였으며, Peng(1997)⁽⁶⁾은 수치해석에 의한 환기 성능의 평가 측면에서 공기의 확산과 오염물의 확산에 관한 연구를 수행하였다. 또한 Kindangen(1997)⁽⁷⁾은 건물 내부에서 실외 기류에 의한 공기 유동에 대하여 지붕 형상의 효과에 관한 실험 연구를 수행하였다.

국내의 연구로 조우진(1998)⁽⁸⁾은 실험실에서 추적가스를 이용하여 공기 취출방식에 따른 실내공간의 환기효율 및 온도 분포 특성에 대한 실험연구를 수행하였으며, 김용경(1999)⁽⁹⁾은 CFD를 이용한 모형실험으로 급·배기구의 위치에 따른 실내기류 및 온도 분포에 대한 연구를 수행하였다. 윤석구(2001)⁽¹⁰⁾는 단순화된 축소 모형실을 이용하여 급·배기 위치 및 환기량, 급기온도를 변수로 하여 환기효율을 평가하는 실험적 연구를 수행하였으며, 최충현(2001)⁽¹¹⁾은 기류 유인 팬을 이용한 대형공장에서의 환기특성에 대하여 CFD를 이용한 모형실험 연구를 수행하였다.

또한 자연 환기에 대한 연구로 정유진(2001)⁽¹²⁾은 CFD를 이용하여 자연환기 벤틸레이터(Roof Monitor)의 배기 유량의 특성에 대한 연구를 수행하였으며, 하현철(2002)⁽¹³⁾은 CFD를 이용하여 자연환기 벤틸레이터 형태에 따른 환기 특성과 환기유량 예측에 대한 연구를 수행하였다.

1.3 연구 범위 및 방법

‘공장환기’란 ‘산업환기(Industrial ventilation)’라고도 하며, 작업장 내의 오염된 공기를 외부로 배출하고 동시에 외부의 신선한 공기를 공급하는 수단을 말한다. 환기는 그 대상에 따라 크게 인간을 대상으로 하는 환기(Human ventilation)와 물질을 대상으로 하는 환기(Process or product ventilation)로 구분된다. 인간을 대상으로 하는 환기란 실내공기를 청정하게 유지하여 그 속에서 생활하는 인간의 건강을 확보하기 위한 것이며, 물질을 대상으로 하는 환기란 생산 공정이 요구하는 수준의 환경을 유지하거나 제품의 품질관리를 위해 요구되는 환경으로 유지하기 위한 것을

말한다.

본 연구는 작업자의 하절기 작업환경을 쾌적하게 유지하기 위한 목적으로 작업장 공간의 전체환기에 대한 관점에서 이론적 사항 및 문제점을 고찰하고, 현재 운전중인 전자회사 에칭(Etching) 공정의 사례를 중심으로 하절기 방서(防暑)대책으로서의 기화방열식 환기장치를 포함하는 환기계획을 수립하고, 하절기 환기 방식의 변경에 따른 결과를 검토함으로써 대상공간의 최적환기방식을 제안하고자 한다.

Fig. 1.3에 본 연구의 흐름을 나타내었다.



Fig. 1.3 Research flow

제 2 장 공장환기에 관한 이론적 고찰

2.1 환기

2.1.1 환기의 정의

‘환기(換氣, Ventilation)’란 사전적인 의미로는 “공기를 바꿔 넣음”⁽¹⁴⁾, “어떤 장소의 공기를 그 이외의 공기와 교환하는 일”⁽¹⁵⁾, “自然または機械的手法によって室内空気を外氣と入れ替えること。また燃焼装置への給氣なども含まれる。(자연 또는 기계적 수법에 의해 실내공기를 외기와 바꾸어 넣는 것. 또 연소장치로의 급기 등도 포함된다)”⁽¹⁶⁾ 등으로 되어 있어, 일반적으로 대상공간의 공기를 외기와 바꾸어 넣는 것을 말한다. 이를 크게 나누면 인간을 대상으로 하는 환기(Human ventilation)와 물질을 대상으로 하는 환기(Process or product ventilation)가 있다. 인간을 대상으로 하는 경우, 위생상의 요구와 열 환경 조정에 대한 요구로 나눌 수 있다. 위생상의 요구란 먼저 인간의 호흡기능 유지에 필요한 공기의 공급이며, 둘째로 유해물질(분진, 유해가스, 세균 등), 불쾌물질(연기, 냄새 등)을 포함한 공기의 배제(排除)이다. 열 환경 조정에 대한 요구란 거주 공간의 온도, 습도 및 기류를 환기에 의해 바꾸어, 쾌적한 온감(溫感)을 얻도록 하는 것이다⁽¹⁷⁾.

2.1.2 환기의 목적

환기의 목적은 일반적으로 오염공기의 제거·갱신을 목적으로 한다고 생각할 수 있지만, 그 외에도 다음과 같은 여러 가지 목적에 사용되고 있다.

- 1) 실내공기의 온·습도 조절

- 2) 유해인자(열기, Fume, Mist, Dust, Gas, Steam, 냄새 등)의 배제
- 3) 하절기의 방서대책.(기류 발생에 의한 감각온도의 저하)
- 4) 열의 차단
- 5) 산소결핍 방지
- 6) 화재 및 폭발 방지
- 7) 결로 방지
- 8) 제품 냉각
- 9) 기류 개선(양압 또는 음압 유지)으로 품질 불량 방지

2.2 환기방식의 분류

일반적으로 환기는 이용되는 에너지원에 따라 자연의 풍력과 건물 내·외의 온도차를 이용하는 자연환기(Natural ventilation)와, 송풍기 등의 기계력을 이용하는 기계환기(Forced ventilation, 강제환기)로 구분하며, 또한 처리 대상의 범위에 따라, 유해물질을 발생원 근처에서 포집·제거하는 국소환기(Local exhaust ventilation, 국소배기)와 공간 전체를 대상으로 오염공기를 배출하고 오염되지 않은 신선한 외기를 불어넣어 전체공간의 공기를 희석시키는 전체환기(General ventilation, 희석환기)로 나눌 수 있다. Table 2.1은 환기의 분류를 나타낸 것이다.

전체환기는 다시 배기와 급기의 조합에 따라 분류되며, Table 2.2와 Fig. 2.1은 급배기에 따른 전체환기의 분류를 나타낸 것이다.

Table 2.1 Classification of ventilation

환기의 분류		개 요
에너지원에 따라	자연환기	실내·외의 온도차에 의해 발생하는 압력차 이용, 외기의 풍속에 의한 압력차 이용
	기계환기(강제환기)	송풍기 등의 기계력 이용
대상범위에 따라	국소환기(국소배기)	유해물질을 발생원 근처에서 포집·제거
	전체환기(회석환기)	전체공간을 대상으로 오염공기의 배출, 신선한 외기에 의한 전체공기의 희석

Table 2.2 Classification of ventilation method
(『건축환기설계(建築換氣設計)』, p.4에 加筆)

방식	급기	배기	환기량	실내압	비 고
제1종	기계	기계	임의, 일정	임의	공기조정설비를 포함하는 경우가 많다.
제2종	기계	자연	"	정압	배기구의 제약이 있으며, 청정실에 적합.
제3종	자연	기계	"	부압	급기구의 제약이 있으며, 오염실에 적합.

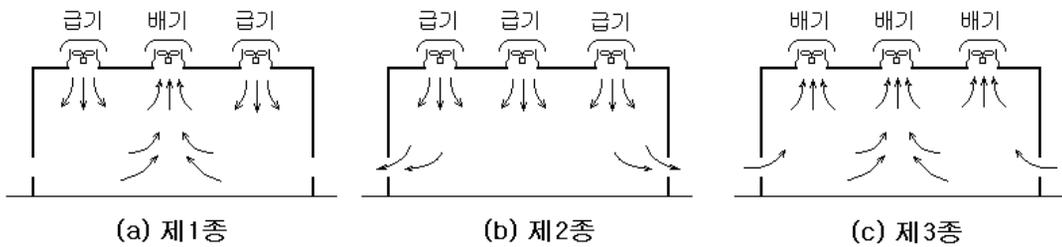


Fig. 2.1 Forced ventilation way

2.3 공기 오염물질 및 발생원

공기 중에는 많은 물질이 존재하고 있다. 이 중에는 사람의 건강이나 생명에 영향을 주는 물질이 있으며, 이들을 ‘오염물질’이라 부른다. 또 반도체의 제조 환경과 같이 제품의 품질에 영향을 주는 물질도 그 환경에 있어서의 오염물질이다.

오염물질은 크게 가스상 물질과 입자상 물질로 구분하며, Fig. 2.2는 공기 중의 오염물질 분류를 나타낸다⁽¹⁸⁾.



Fig. 2.2 Contaminant classification in air (加筆)

2.3.1 가스상 물질⁽¹⁹⁾

1) 가스

상온·상압에서 일정한 공간을 점유하는 무정형의 유체로 압력의 상승과 온도의 강하로 액체나 고체로 변할 수 있으며 확산의 성질을 갖고 있다. 일반적으로 25℃, 1기압에서 가스형태로 존재하면 가스라고 할 수 있으며 수소, 헬륨, 산소, 포름알데히드, 에틸렌 옥사이드, 일산화탄소, 아르곤, 질소산화물 등이 가스의 예이다.

2) 증기

상온·상압에서 고체나 액체로 존재하는 물질이 압력의 강하나 온도의 상승으로 인해 엔탈피가 높아져 기체상태로 존재하는 형태로 확산의 성질을 갖고 있다. 즉 증기압이 높아지면 액체는 증발되고, 고체는 승화되어 공기와 섞이게 된다. 사업장에서 많이 사용되는 유기용제가 증발되면 증기상태로 공기 중에 존재하게 된다.

2.3.2 입자상 물질⁽²⁰⁾

1) 에어로졸(aerosol)

가스상 매체에 미세한 고체나 액체 입자가 분산되어 있는 상태를 말한다.

2) 먼지(dust)

대부분 콜로이드(colloid)보다는 크고, 공기나 다른 가스에 단시간 동안 부유할 수 있는 고체입자를 말한다. ACGIH에서는 1995년 유리규산뿐만 아니라 모든 입자상 물질에 대하여 침착되는 부위 및 먼지 입경에 따라 Fig. 2.3과 같이 3 부분으로 구분하였다.⁽²¹⁾

- ① 흡입성 먼지(Inhalable particulate mass, IPM) : 호흡기의 어느 부위에 침착되더라도 독성을 나타내는 물질로서, 입경 범위는 0~100 μm 이다.
- ② 흉곽성 먼지(Thoracic particulate mass, TPM) : 기도나 폐포에 침착할 때 독성을 나타내는 물질로서, 평균 입경은 10 μm 이다.

- ③ 호흡성 먼지(Respirable particulate mass, RPM) : 가스 교환 부위, 즉 폐포에 침착할 때 유해한 물질로서, 평균 입경은 $4 \mu\text{m}$ 이다.

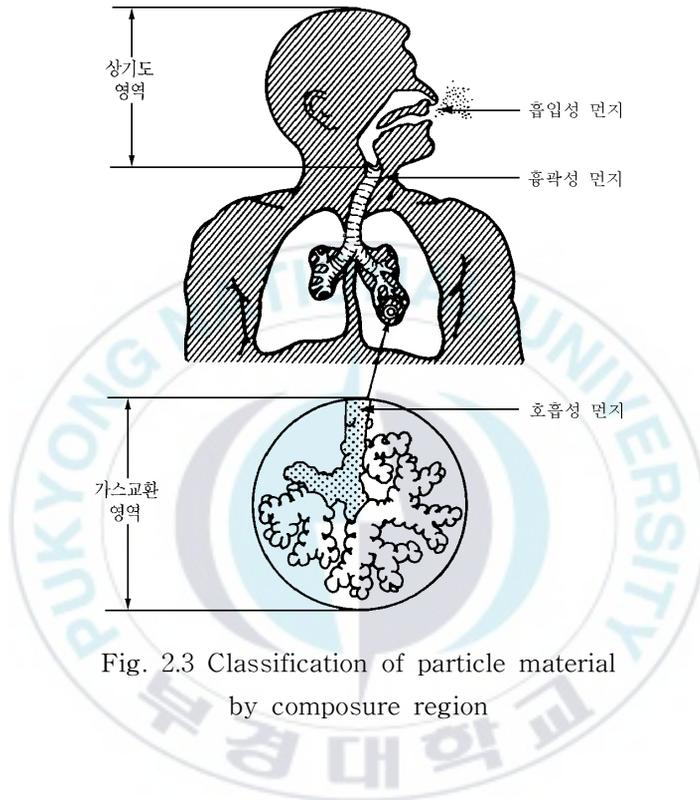


Fig. 2.3 Classification of particle material by composure region

3) 흡(fume)

금속이 용해되어 액상물질로 되고 이것이 가스상 물질로 기화된 후 다시 응축되어 발생하는 고체입자를 말하며, 흔히 산화(oxidation) 등의 화학반응을 수반한다. 용접 흡이 여기에 속한다.

4) 미스트(mist)

분산되어 있는 액체입자로서, 육안으로 볼 수 있다.

5) 연기(*smoke*)

불완전 연소에 의하여 발생하는 에어로졸로서, 주로 고체상태이고 탄소와 기타 가연성 물질로 구성되어 있다.

6) 스모그(*smog*)

'smoke'와 'fog'에서 온 용어로, 자연오염이나 인공오염에 의하여 발생한 대기오염물질인 에어로졸에 대하여 광범위하게 적용되는 용어이다.

7) 섬유(*fibers*)⁽²²⁾

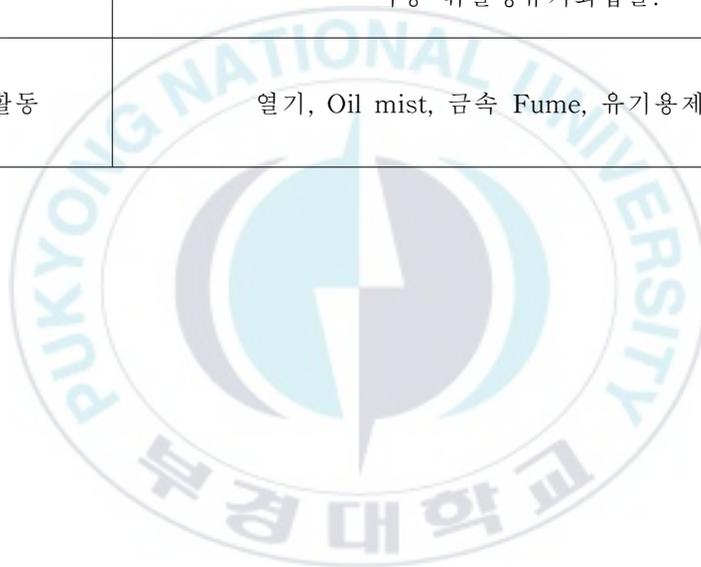
공기 중에 있는 일정한 길이와 폭을 가진 형태의 고체로서 석면, 유리섬유 등을 말한다.

2.3.3 오염물질 발생원

실내에서 발생하는 오염물질에는 인체 및 사람의 활동에 의해 발생하는 것, 실내에 설치된 기기·기구·가구에서 발생하는 것, 건물 자체에서 발생하는 것, 생산 활동에 수반하여 작업환경에서 발생하는 것으로 구분할 수 있다⁽²³⁾. Table 2.3은 오염물질의 발생원을 구분한 것이다.

Table 2.3 Sources of air pollutants

발생원	오염물질
인체나 사람의 활동	이산화탄소, 수증기, 암모니아, 때·비듬·땀, 분진, 섬유, 세균, 진균, 담배연기(일산화탄소, 질소산화물, 니코틴, 타르) 등.
연소기구나 가구	이산화탄소, 질소산화물, 이산화황, 수증기, 일산화탄소, 검댕, 탄화수소, 각종 휘발물질, Oil mist, 포름알데히드, 진드기, 분진, 세균·진균, 오존
콘크리트나 건축재료	암모니아, 라돈과 그 낭핵종, 포름알데히드, 각종 휘발성유기화합물.
생산 활동	열기, Oil mist, 금속 Fume, 유기용제, 가스



2.4 오염 공기가 인체에 미치는 영향

2.4.1 오염공기가 인체에 미치는 영향

공기 중에는 사람의 신체적 건강에 영향을 주는 물질이 많이 포함되어 있는데, 이들의 관계를 Fig. 2.4⁽²⁴⁾에 나타내며, Table 2.4⁽²⁵⁾는 분진의 크기가 인체에 미치는 영향을 나타낸다.



Fig. 2.4 Effect that various hazardous substances get to human

(『工場環境改善ハンドブック』, p.31에 加筆)

Table 2.4 Influence of dust size on body

분진의 크기	인체에 미치는 영향
< 0.5 μm	폐포에 부착된 후, 호흡운동에 의하여 밖으로 배출된다.
0.5 ~ 50 μm	폐포를 통하여 혈관 또는 임파선에 침입한다.
> 50 μm	대부분의 분진이 인후 또는 기관지 점막으로 흡입된 후, 섬모 운동에 의해 객담과 함께 밖으로 배출되거나 식도를 통하여 위 속으로 넘어간다.

2.4.2 입자상 물질의 제거 메커니즘⁽²⁶⁾

입자상 물질이 인체의 호흡기계에 침착되면 다음과 같은 제거 메커니즘에 의해 제거되거나 폐에 남아서 진폐증 등 여러 가지 건강상의 영향을 초래하게 된다.

1) 점액섬모운동에 의한 정화

점액섬모운동은 입자상물질에 대한 가장 기초적인 방어 작용으로, 흡입된 공기 속에 있는 입자들은 점막 표면의 점액층에 달라붙게 되며, 구강 쪽을 향하는 섬모운동에 의해 점액층과 이물질들을 지속적으로 인두 쪽으로 이동시켜 외부로 배출된다. 객담이 좋은 예이다.

2) 대식세포에 의한 정화

기관지나 세기관지에 침착된 먼지는 대식세포(phagocytic cell)가 둘러싼다. 둘러싸여진 먼지는 상부기도로 옮겨지거나 대식세포가 방출하는 효소에 의해 용해되어 제거된다. 일반먼지는 대부분 이러한 정화작용에 의해 제거되는데, 석면이나 유리규산은 제거되지 않는다.

제 3 장 공장환기 설계시 검토사항

3.1 강제환기의 적용 원칙

3.1.1 전체환기 적용 원칙

전체환기는 유해인자가 공기 중으로 발산된 후에 외부의 신선한 공기를 희석함으로써 그 농도를 낮추는 방법이므로, 유해인자에 의한 얼마간의 근로자 노출은 불가피하다. 따라서, 비교적 유해성이 적은 물질에만 적용해야 하며, 주로 다음과 같은 경우에 적용하는 것이 적절하다⁽²⁷⁾.

- 1) 오염 발생원에서 유해물질의 발생량이 적어 국소배기장치가 비효율적인 경우
- 2) 오염 발생원이 근로자의 위치에서 멀리 떨어져 있거나, 노출기준 이하일 때
- 3) 유해물질의 위해성이 낮은 경우
- 4) 소량의 오염물질이 일정한 시간과 속도로 작업장에 배출되는 경우
- 5) 동일한 작업장에 다수의 오염 발생원이 분산되어 있는 경우
- 6) 오염 발생원이 이동성인 경우
- 7) 작업 공정상 국소배기가 불가능한 경우
- 8) 외부의 공기가 실내의 공기보다 오염도가 낮은 경우

3.1.2 국소배기 적용 원칙

국소배기는 발생된 유해물질이 확산되어 근로자에게 노출되기 전에 포착하여 국소적으로 환기시키는 것으로, 대기 중으로 배출하면 대기오염의 원인이 되는 유해물질의 경우는 반드시 공기정화장치(집진장치)를 거쳐 최종 대기로 방출되도록 한다.

국소배기 시스템은 일반적으로 후드 → 덕트 → 공기정화장치 → 송풍기 → 배출구로 구성되며, 주로 다음과 같은 경우에 적용한다.

- 1) 유해성이 강한 오염인자(가스, 분진, 냄새 등)가 발생하는 경우
- 2) 국소적으로 고온 열원이 있는 경우
- 3) 배출물에 대해 공기청정장치를 필요로 하는 경우
- 4) 발생원이 고정적이며, 집중되어 있는 경우

3.1.3 전체환기의 특장(特長)⁽²⁸⁾

전체환기법이 채용되는 주요 이유를 기술하면 다음과 같다.

- 1) 발산원이 크거나 많거나 또는 그것이 이동하기 때문에 국소배기장치 등을 이용한 국소적인 대책을 취할 수 없으며, 그 때문에 전체환기장치를 설치하여 오염공기를 유해농도 이하로 유지한다.
- 2) 국소배기장치는 설치되어 있지만, 그것에 의해 다 배출되지 않는 유해물을 처리한다.
- 3) 작업자나 제품에 신선한 공기나 조화(調和)공기를 급기한다.
- 4) 실내공기의 온도나 조성을 균일하게 유지한다.
- 5) 오염공기를 적극적으로 배출한다.

현실적으로 많은 공장에서 채용되고 있는 전체환기는 대부분 위의 1)이나 2)에 착안한 것으로, 이 때문에 ‘전체환기 = 희석환기’라는 감(感)이 있다.

3.2 공장의 구조

사무공간과는 달리 생산공장(작업장)의 경우는 여러 가지 유해 요인이 복합적으로 존재하는 경우가 대부분이다. 또한 건물의 구조가 단동(單棟)이나 이연동(二連棟)으로 된 경우는 환기에서 비교적 유리하지만, 대형공장의 경우는 Fig. 3.1에 나타난 바와 같은 다연동(多連棟) 구조가 대부분이므로, 일부 공장(고열 작업장 등)을 제외하고 자연환기로는 그 효과를 기대하기 어렵게 된다.

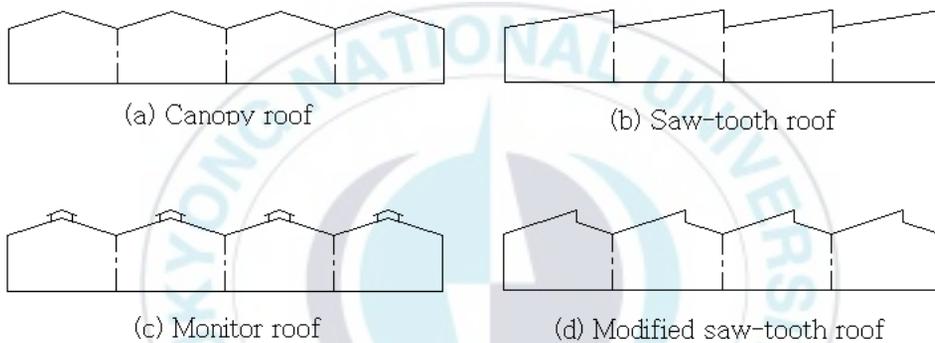


Fig. 3.1 Formation of Factory roof

또한 단동이나 이연동 구조의 경우, Layout, 공정의 특성 및 오염물질의 특성 등에 따라 환기 방향도 건물의 길이 방향, 폭 방향, 지붕 방향 등으로 다소 신축적이지만, 다연동 구조에서는 지붕을 통한 상방 배기 이외에는 달리 선택의 여지가 없게 된다.

단동이나 이연동의 경우 어느 정도의 자연급기가 가능하나, 다연동 구조의 중앙동은 건물 주변의 창문이나 출입문을 통한 자연급기로는 그 영향이 미치지 않으므로 강제급기가 불가피하게 된다. 따라서, 이런 종류의 대형 작업장은 환기계획에서 소

요환기량이 많아지고, 환기장치의 초기 설치비뿐만 아니라 유지관리비도 또한 상당히 많이 소요되고 있다.

3.3 적정 필요환기량 산정

대상 건물의 적정 필요 환기량을 산정하는 문제는 작업장의 오염도와 실내 압력 상태 및 설비투자의 경제성 등을 감안할 때 상당히 중요한 문제이다. 문헌에 소개되고 있는 전체환기의 환기량 산정 방법은 실내에서 발생하는 오염물질의 농도를 기준으로 한 건강 보호를 위한 경우, 화재나 폭발 방지를 위한 경우, 온열 관리를 위한 경우 등의 몇 가지 경우로 한정되어 소개되고 있지만, 실제의 현장 여건은 이들 각 요소를 명확히 구분할 수 있는 경우는 거의 없으며, 그 발생 요소가 불분명한 경우가 대부분이다.

경험이 많은 선진국 등에서는 이들을 정량적으로 계산하기가 불가능하므로, 환기 용적을 기준으로 하는 환기횟수 및 실내공기의 연령을 기준으로 하는 환기계수 등의 개념을 도입하여 환기 계획을 수립하고 있다. 이 환기횟수나 환기계수는 작업의 종류로 대별한 일종의 축적된 경험치라고 볼 수 있으므로, 어떤 작업장이라도 일률적으로 적용할 수 있는 것은 아니며, 제시하는 기준치 또한 범위가 상당히 넓어 어떤 값을 적용하느냐에 따라 소요환기량은 많은 차이가 발생한다.

또한, 열이 발생하는 공정이나 하절기 대책 등에서는 실내공기의 취득열량을 각 요인별로 계산하여 환기량을 산정하고 있는데, 이 취득열량은 공조계획에서의 냉방 부하와 같은 개념이지만, 단열이나 계산의 요소가 비교적 명확한 사무실 등과는 달

리, 공장의 경우는 불명확한 요소가 많아 계산된 결과를 그대로 환기계획에 반영할 수 없는 경우가 종종 발생한다. 따라서, 자료가 많이 축적된 일본의 몇몇 업체에서는 작업의 종류별로 ‘발열강도(發熱強度)’라는 척도를 만들어 사용하기도 하는데, 이는 단위체적당 실내공기의 취득열량(kcal/h · m³)을 의미한다.

이상과 같이 전체환기에 있어서의 적정 환기량 산정에는 이렇다 할 정형화된 틀이 없어, 전적으로 설비계획을 수립 · 시공하는 업체의 경험에 의존하고 있는 실정이다.

3.4 환기장치의 시험 방법과 신뢰성

환기계획을 수립함에 있어 무엇보다도 중요한 것은 환기장치의 성능(풍량, 소음, 동력, 수명 등)인데, 특히 전체환기장치로 많이 적용되고 있는 축류 Fan의 경우, 대부분 영세 소규모 공장에서 제조 · 판매되고 있어, 제품에 대한 연구 · 개발은 고사하고, 생산되는 제품의 품질에 대한 시험이나 보증이 거의 이루어지지 않고 있는 것이 현실이다.

3.5 무모한 설비 투자

공장환기는 돈만 많이 투자하면 개선된다는가, 모터의 동력만 크게 늘이면 개선된다고 생각하여 무모한 투자를 하는 사례를 가끔 접하게 된다. 특히 하절기 작업환경이 열악한 경우, 건구온도의 개선만을 생각한 나머지, 엄청난 용량의 냉방설비를 도

입함으로써 초기 투자비가 과다 지출되고, 매년 막대한 유지관리비가 투입되고 있음에도 불구하고, 하절기의 실내 온열환경이 그다지 개선되지 않는 경우를 종종 보게 된다. 공장환기에서 일반적으로 답습하고 있는 오류의 유형을 정리해 보면 다음과 같다.

- 1) 초기에는 대부분 무동력 Ventilator가 주종을 이룬다. (Fig. 3.2)
- 2) 무동력 Ventilator 속에 모터와 날개를 조합시켜 동력 환기Fan처럼 개조한다.
- 3) 무동력 Ventilator 사이에 동력 Fan을 하나씩 끼워서 설치한다.(Fig. 3.3)
- 4) 모터의 동력을 좀 더 큰 용량으로 키운다.
- 5) 지붕재 위에 발포우레탄 등으로 코팅한다. (Fig. 3.4)
- 6) 지붕 위에 살수(撒水)장치를 설치하여 물을 뿌린다. (Fig. 3.5)
- 7) 실내에 대형 선풍기나 이동식 에어컨을 작업자 주변으로 대거 투입한다.
- 8) 지붕을 크게 절개하여 대형 Roof Monitor를 설치하거나, 지붕에 高窓을 설치한다. (Fig. 3.6)
- 9) Roof Monitor 위에 다시 무동력 Ventilator를 설치한다. (Fig. 3.7)
- 10) 냉방장치를 설치하여 공장의 온도를 낮추려고 시도한다.
- 11) 생산 공정의 각 기계마다 국소배열장치를 설치한다.

지금까지 무동력 Ventilator의 환기능력에 대한 연구는 거의 찾아보기 어려운 실정인데, 이상수(1994)⁽²⁹⁾는 공동주택의 주방배기시스템을 연구하면서, 2가지 타입의 무동력 Ventilator에 대한 환기능력을 측정하였다.



Fig. 3.2 Natural Ventilator



Fig. 3.3 Natural Ventilator with Power Fan



Fig. 3.4 Roof coating



Fig. 3.5 Water sprinkling chapter

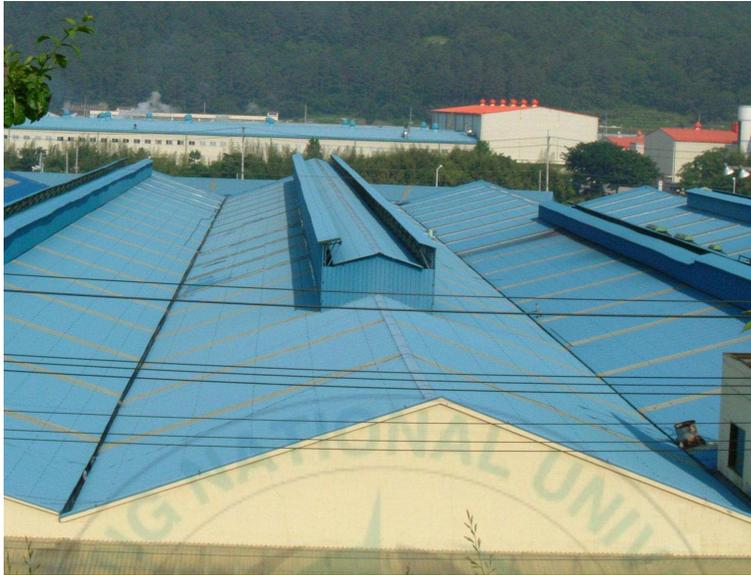


Fig. 3.6 Roof Monitor



Fig. 3.7 Roof Monitor with Natural Ventilator

Table 3.1은 기상청의 통계자료를 기초로 집계한 우리나라 주요 지역에 대한 최근 5년간(2001~2005년)의 평균풍속을 나타낸 것인데, 풍속이 평균 3 m/s를 넘는 지역은 목포, 부산, 제주도 지역뿐이며, 대부분은 3 m/s 미만임을 알 수 있다. 따라서, 국내에서는 바람이 계속해서 불어도 무동력 Ventilator로는 적절한 배기풍량을 확보하기에 어려움이 있다는 결론에 도달한다. 그럼에도 불구하고 공장환기 설계시 건축설계자가 무동력 Ventilator를 다연동 구조의 공장환기에 채용하는 사례가 여전히 많은데, 이는 무동력 Ventilator의 환기능력을 제대로 이해하지 못한데서 비롯된 것이라 사료된다.

이상의 예와 같이 의외로 많은 기업들이 공장환기의 본질을 이해하지 못한 채, 막연한 기대감에 의한 무모한 방식으로 설비투자를 함으로써 실패를 답습하고 있는데, 이러한 동안 근로자의 불만과 불신이 높아지고, 공장건물은 안팎으로 상처투성이가 되며, 이에 비례하여 공장의 소음과 유지관리비가 해를 거듭할수록 높아지고 있는 것이 현실이다.

Table 3.1 Average wind velocity at the principal cities of Korea(2001~2005)

(단위 : m/s)

구분	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	AVE
서울	2.3	2.4	2.6	2.6	2.2	2.0	2.0	1.9	1.7	1.8	2.1	2.3	2.2
인천	3.0	3.2	3.6	3.3	2.6	2.2	2.3	2.0	1.5	1.9	2.4	2.8	2.6
수원	1.7	1.8	2.2	2.3	2.2	2.0	2.1	2.1	2.0	1.7	1.7	1.8	2.0
속초	2.9	2.7	2.7	2.9	2.5	2.1	2.0	2.0	2.1	2.3	2.6	2.7	2.5
강릉	3.8	3.4	3.3	3.3	2.5	2.2	2.0	2.1	2.3	2.9	3.2	3.5	2.9
원주	1.2	1.2	1.6	1.6	1.3	1.1	1.1	0.9	1.0	0.8	0.9	1.0	1.1
대전	2.0	1.9	2.2	2.6	2.3	2.1	2.1	1.9	2.0	1.7	1.6	1.6	2.0
천안	1.9	2.0	2.3	2.0	1.7	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.6	1.7	1.7
서산	2.7	2.8	3.1	3.2	2.8	2.5	2.8	2.5	2.3	2.2	2.3	2.5	2.6
충주	1.7	1.7	2.0	2.1	1.8	1.6	1.4	1.4	1.4	1.2	1.4	1.4	1.6
청주	1.9	2.0	2.2	2.1	1.9	1.7	1.8	1.7	1.6	1.4	1.6	1.7	1.8
보은	1.5	1.4	1.6	1.7	1.4	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1	1.3	1.3
광주	2.0	2.0	2.2	2.3	2.1	2.1	2.5	2.2	2.1	1.8	1.6	1.9	2.1
목포	4.5	4.5	4.6	3.9	3.2	2.7	3.1	2.6	2.8	3.8	4.1	4.5	3.7
순천	1.2	1.2	1.5	1.4	1.1	0.9	0.9	0.7	0.7	0.9	1.0	1.2	1.1
전주	1.9	1.9	2.3	2.3	2.0	1.8	2.0	1.9	1.8	1.7	1.7	1.7	1.9
금산	1.1	1.1	1.4	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	0.9	1.1
정읍	0.8	1.0	1.3	1.4	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	1.0
울산	2.4	2.3	2.4	2.2	1.9	1.8	1.8	1.8	2.1	2.0	1.9	2.3	2.1
부산	3.7	3.5	3.7	3.7	3.2	3.1	3.2	3.3	3.6	3.1	2.8	3.3	3.4
마산	2.1	2.0	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	2.1	2.0
거제	1.9	1.6	1.9	1.9	1.6	1.6	1.7	1.5	1.4	1.3	1.3	1.7	1.6
대구	2.7	2.5	2.6	2.6	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	1.9	2.0	2.3	2.3
포항	3.1	2.8	2.8	2.8	2.7	2.5	2.4	2.5	2.5	2.5	2.7	3.0	2.7
안동	1.9	1.7	1.8	1.7	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.4	1.7	1.5
제주	4.2	3.4	3.6	3.1	2.6	2.7	2.7	2.7	2.9	3.1	3.2	4.2	3.2
서귀포	3.2	3.0	3.3	3.2	2.9	2.9	3.1	3.2	3.8	3.3	2.9	3.0	3.2
성산포	3.6	3.6	3.7	3.3	2.7	2.5	2.7	2.9	3.1	3.1	2.9	3.1	3.1
AVE	2.4	2.3	2.5	2.5	2.1	1.9	2.0	1.9	1.9	1.9	2.0	2.2	2.1

제 4 장 하절기 환기 시스템 실측

4.1 환기시스템 계획

4.1.1 환기 대상 구역의 개요

본 연구의 대상 작업장은 다연동(5연동) 구조의 중천장 Side동으로 건물의 내부가 칸막이벽으로 사방이 막혀 있고, 높이 약 4m 위치에 천장이 깔려있는 Box형 구조이다. 본 공정의 출입문은 동남쪽에 1개소(자동문 설치), 북서쪽에 1개소(상시 open)가 있다. Fig. 4.1은 환기 대상 구역을 나타낸 것이다.

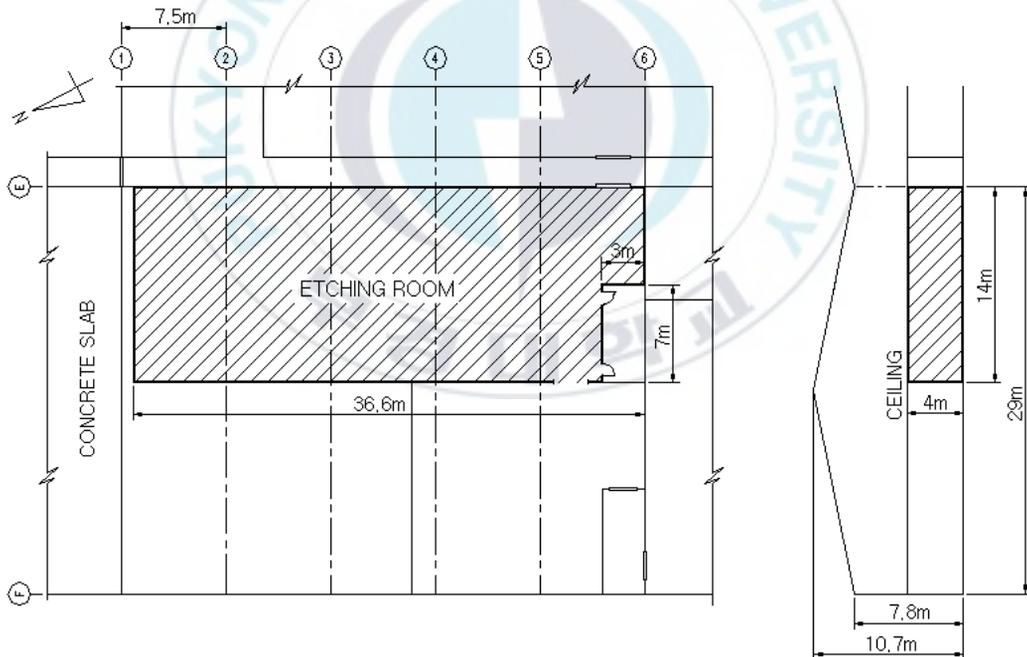


Fig. 4.1 Ventilation target area

본 연구의 대상 작업장은 충청북도에 소재한 某 전자회사의 인쇄회로기판(Printed circuit board, PCB) 제조공장이다. PCB 제조공법은 동박이 덮여 있는 절연체(Copper Clad Laminate, CCL)에 회로 형성과 홀 가공 등을 하여 최종적으로 부식을 거쳐 PCB를 제조하는데, 이러한 제조공법을 ‘Subtractive 공법’이라 하며⁽³⁰⁾, 그 공정 개요를 Figure 4.2에 나타낸다.

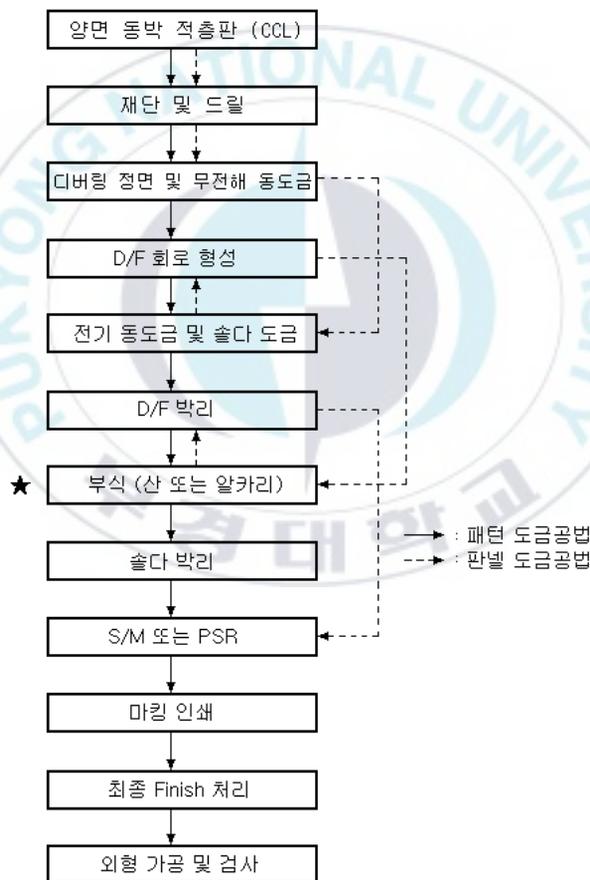


Fig. 4.2 Flow chart of subtractive method

본 작업장은 동박적층판의 PCB 제조 공정 중의 부식공정인 에칭(Etching) 공정으로(Fig. 4.2의 ★표), 전자회로가 인쇄된 동박적층판을 화학약품의 용액 속에서 부식시켜 회로기판을 제조하는 과정이다. 작업장의 구조는 Fig. 4.1에 나타낸 바와 같이 건물 속의 건물 형태인 이중구조로 되어 있다. 내부에는 집진장치(Scrubber)가 설치되어 공정에서 발생하는 황산가스 등의 부식성 유해가스를 국소적으로 집진·배기 처리하고 있다. 그러나 건물이 기류가 전혀 없는 완전한 밀폐구역인데다, 집진장치에서의 누설량 등도 문제시 되고 있어 환기가 절대적으로 필요한 공간이다.

4.1.2 환기 목적

본 작업장의 환기목적은 다음과 같다.

- 1) 에칭공정에서 발생(누설)되는 가스 등으로 인한 건물 및 생산 장비의 부식 방지
- 2) 실내에 부유·정체하는 오염공기의 제거·갱신
- 3) 에칭실 오염공기의 인접 작업장 유입 방지(음압 유지)
- 4) 하절기의 쾌적한 작업환경 조성

4.1.3 환기 계획의 개요

본 작업장의 환기방식은 제1종 환기방식(강제배기 + 강제급기)으로, 에칭실 상부 천장을 통해 Duct에 의해 지붕으로 배기시키고, 외기를 지붕에서 Duct에 의해 실내로 공급하는 형태이다. Fig. 4.3에 환기설비의 구성을 나타내었다.

Table 4.1은 환기장치의 제원을 나타낸 것이다.

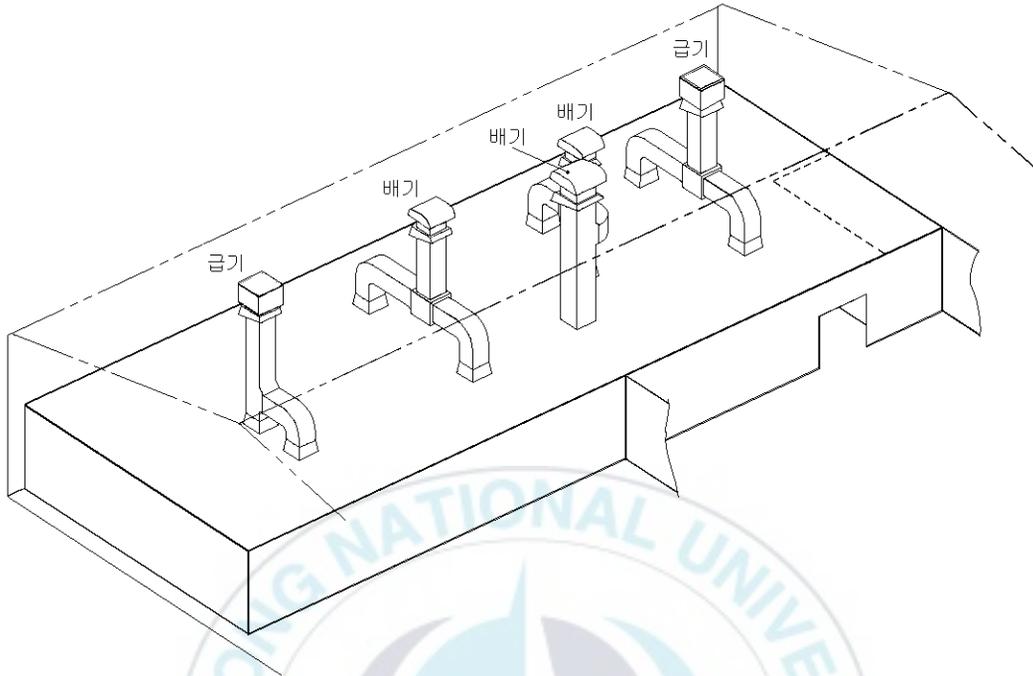


Fig. 4.3 Construction of ventilation system

Table 4.1 Organization of ventilation system

구 분	Exhaust 1	Exhaust 2	Supply	Remarks
Fan Type	특수방식형 Roof fan	저소음형 Roof fan	기화방열식 Cool Roof fan	일본 K社
Air volume (m ³ /min)	321 (50Pa : 292)	485 (50Pa : 435)	240 (50Pa : 215)	JEM 1358
Sound level (dB-A)	79	75	78	JEM 1358
Motor specification	1.5KW x 6P	2.2KW x 8P	1.5KW x 6P	3∅ x 220V/60Hz
Fan Dia (cm)	75	91.4	75	Blade 기준
Net weight (kg)	90	280	200	
Option (포함사항)	풍압식 Shutter			

4.1.6 예상 급기풍속 및 급기온도

1) 급기풍속

본 작업장의 지붕 경사부에 Fig. 4.4에 나타난 바와 같이 급기Fan을 설치하여 급기 한다고 가정하고, 설치 후의 예상 급기풍속을 계산한다.(Fig. 4.5 참조)

덕트 길이 DL : 5m,

천장 높이 : 4m,

$H = 4m - 1.5m = 2.5m$

E : 토출 Duct 크기(0.855m □)

토출구 면적 $A = 0.855^2 = 0.731(m^2)$

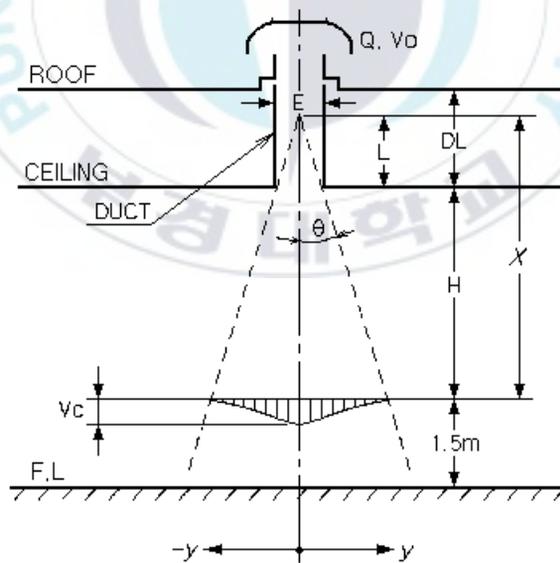


Fig. 4.5 Calculation method of air velocity

수직 덕트와 토출구 격자 Grill의 정압손실을 50 Pa 정도 감안하면,

$$Q_0 : 215 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\text{토출풍속 } V_0 = \frac{Q_0}{60A} = \frac{215}{60 \times 0.731} = 4.9(\text{m/s})$$

$$\text{토출각도 } (\Theta) : 20^\circ$$

$$\text{가상점까지의 거리 } L = \frac{(0.855/2)}{\tan 20} = 1.17(\text{m})$$

$$X = H + L = 2.5 + 1.17 = 3.67(\text{m})$$

바닥 위 1.5m 지점의 이론적 도달 풍속(V_c)은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$V_c = \frac{K \cdot V_0 \cdot E}{X}$$

여기서, K : Fan의 지향성계수 (Maker 제시자료 : 3.35)

$$V_c = \frac{3.35 \times 4.9 \times 0.855}{3.67} = 3.82(\text{m/s})$$

바닥의 저항을 받아 다소 도달풍속이 약해지기는 하지만, 자유분류(自由噴流)의 이론 도달풍속은 3.82m/sec 정도가 되어 너무 강하다. 따라서, 토출구를 2개소로 분산시켜 급기풍속을 좀더 약하게 하는 것이 바람직하다. 토출구를 Duct로 분기하여 2개소로 분산시키면,

$$Q_0 = 215 / 2 = 107.5 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$V_0 = \frac{107.5}{60 \times 0.731} = 2.45 \text{ (m/s)}$$

$$V_c = \frac{3.35 \times 2.45 \times 0.855}{3.67} = 1.91 (m/s) \text{가 된다.}$$

바닥의 저항을 받는다면 실제 도달풍속은 이보다 약간 약해지므로 하절기 방서대책으로는 충분하다고 판단된다.

2) 냉풍 급기시 예상 급기온도

기화방열식 급기장치(Cool roof fan)로 외기를 냉각시켜 실내로 급기 할 때 실내 급기구(토출구) 온도는 외기의 성상에 절대적으로 지배된다. Figure 4.6은 본 환기계획에 사용된 급기 Fan의 냉각 Element 개념도를 나타낸 것이다. 그림의 습공기선도에서 외기(A상태)가 급기장치를 통과하여 실내로 토출될 때(B상태) 토출공기의 온도 T는 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$T = DB_o - (DB_o - WB_o) \times \eta$$

여기서,

DB_o : 외기의 건구온도(°C)

WB_o : 외기의 습구온도(°C)

η : 냉각 Element의 기화율 (Maker의 자료에서 0.9)

습구온도는 건구온도와 상대습도를 이용하여 습공기선도에서 구하거나, 다음과 같은 근사식으로 구할 수 있다.

$$WB_o = \{-0.00003 \times RH^2 + (0.0078 \times RH) + 0.5105\} \times DB_o \\ - \{-0.00025 \times RH^2 - (0.0187 \times RH) + 4.288\}^{(31)}$$

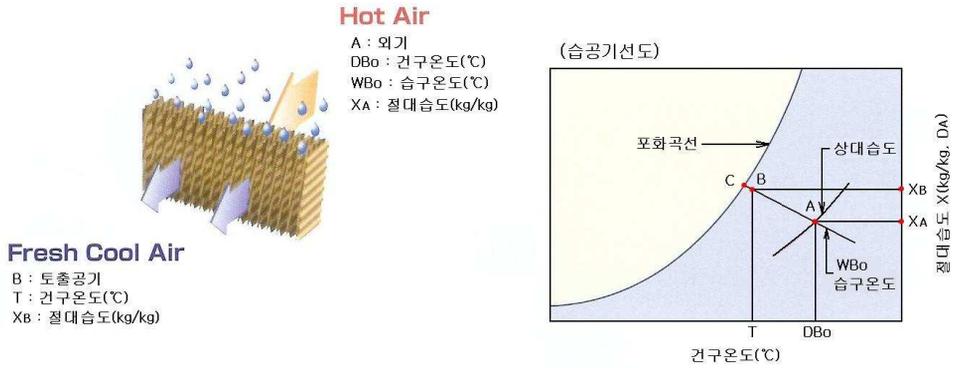


Fig. 4.6 Calculation method of cooling element

4.2 환기시스템 실측

4.2.1 실험 방법

실험은 Table 4.2에 나타낸 바와 같이 네 가지로 구분하여 생산작업이 진행되는 상태에서 설비의 운전상태를 변경하면서 실시하였다. 또한, 본 연구의 실험장소가 제품을 생산하는 작업장이므로, 제품의 품질에 영향을 미치지 않는 범위로 한정하여 진행하였다.

Table 4.2 Step of experiment

환기방식	배기	급기	비고
CASE 1	가동	가동	
CASE 2	정지	가동	
CASE 3	가동	정지	
CASE 4	정지	정지	자연환기

4.2.2 측정 위치

실시 결과의 측정 위치는 Fig. 4.7과 같다. 또한, 외기는 Fig. 4.8에 나타낸 바와 같이 4 point(P1~P4)에서 측정하였다.

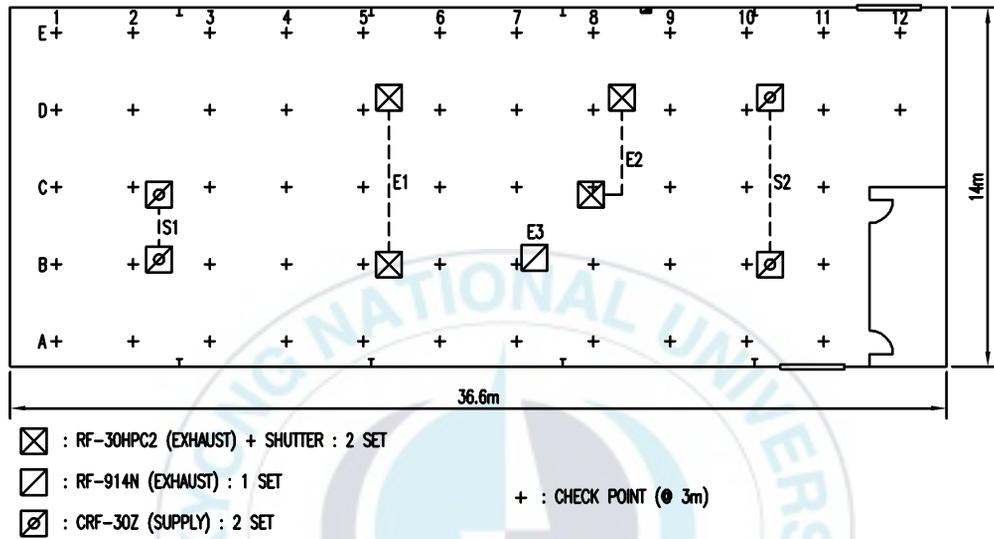


Fig. 4.7 Measurement point of ventilation area

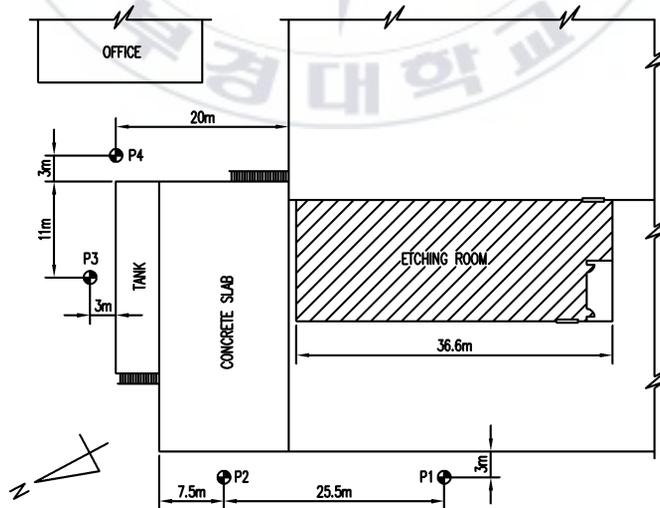


Fig. 4.8 Measurement point of outdoor

4.2.3 측정 장비

1) 건구온도, 상대습도 및 풍속

건구온도, 상대습도 및 풍속의 측정은 일본 KANOMAX사의 CLIMOMASTER를 사용하였으며, Fig. 4.9는 건구온도, 상대습도, 풍속측정에 사용된 측정장비를 나타낸 것이다. 장비의 특징은 다음과 같다.

- ① 장비/기기명 : CLIMOMASTER(열선풍속계)
- ② Model No. : 6531
- ③ MAKER : 일본(日本) KANOMAX(주)
- ④ 측정 범위 및 정도(精度)

기능	측정 범위	精 度	표시 분해능	응답성
풍속	0.00~9.99 m/s	$\pm (3\% + 0.1) \text{ m/s}$	0.01 m/s	약 1초
	10~30 m/s		0.1 m/s	
온도	0.0~60.0℃	$\pm 0.5^\circ\text{C}$	0.1℃	약 30초
습도	2~98% RH	2~80% RH : $\pm 2\% \text{ RH}$ 80~98% RH : $\pm 3\% \text{ RH}$	0.1% RH	약 15초

- ⑤ 표시화면 : Graphic LCD
- ⑥ 전원 : 망간 전지 (AA × 6개)
- ⑦ PROBE MODEL No. : 6531-01 (지향성)
- ⑧ Probe 치수 : $\varnothing 10 \times 212 \text{ mm}$
- ⑨ 본체 외형 치수 : B66(88) × H188 × D51 mm
- ⑩ 중량 : 약 400 g (전지 포함)



Fig. 4.9 CLIMOMASTER



Fig. 4.10 Air flow measuring instrument

2) 기류

기류의 측정은 일본 KOMYO사의 기류검사기를 사용하여 기류의 방향을 측정하였다. Fig. 4.10은 기류검사기를 나타낸 것이다. 장비의 제원은 다음과 같다.

- ① 장비/기기명 : 기류검사기
- ② Model No. : AS-1
- ③ MAKER : 光明理化学工業(KOMYO RIKAGAKU KOGYO)

4.2.4 측정 방법

1) 측정 위치 *Marking*

측정대상 구역이 생산 현장이기 때문에 작업이나 통행에 지장이 없도록 측정위치 (Fig. 4.7 참조)의 바닥에 Tag를 부착하고, 기기나 설비 등으로 측정이 곤란한 곳은 해당 위치에서 30 cm 이내의 범위에서 측정이 가능한 장소를 선정했다.

2) 측정 높이

모든 측정은 기본적으로 호흡선(바닥 위 1.5m) 위치에서 측정 하였다.

3) 온도 · 습도 · 풍속의 측정

연속적으로 변하는 Digital data를 눈으로 판독하기란 상당히 난해하므로 온도 · 습도 및 풍속의 측정 방법은 계기 자체에 내장된 Calculation mode를 이용하였다.

즉, 1개의 Point에서 10초간 Sampling 하여 계산한 평균치를 측정하였으며, 동일한 Point에서 연속하여 3회 측정하였다. Fig. 4.11은 현장에서의 온도 · 습도 · 풍속 측정 모습을 나타낸 것이다.



Fig. 4.11 Snapshot of Measurement
(Temperature, relative humidity, air velocity)



Fig. 4.12 Snapshot of Measurement (Air flow)

4) 풍향 측정

기류의 방향은 기류검사기를 이용하여 1개의 Point에서 3회 측정하여 평균 풍향을 측정 위치도에 화살표와 약정한 기호를 이용하여 표기(상방향 : ⊙, 하방향 : ⊗, 그 외의 방향 : ▷)하였다. Fig. 4.12에 현장에서의 기류 측정 모습을 나타낸다.



4.3 환기시스템 실측결과

4.3.1 건구온도 분포

Fig. 4.13은 환기 대상 구역의 실내 온도분포를 나타낸 것이다.

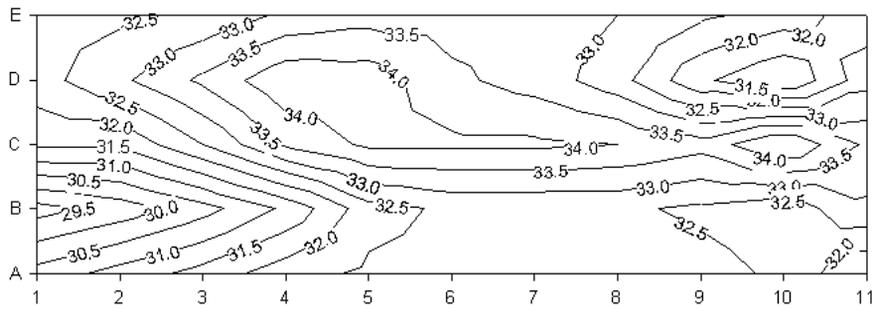
CASE 1 실내온도 측정시 평균 외기온도는 31.5℃였고, 실내평균온도는 32.5℃를 나타내었다. 실내온도분포는 30℃~34℃의 온도분포를 나타냄을 보인다.

CASE 2 실내온도 측정시에는 평균 외기온도는 31.6℃였고, 실내평균온도는 34.3℃를 나타내었다. 실내온도분포는 31℃~36℃의 온도분포를 나타내며, CASE 1과 유사한 온도분포를 나타내지만 외기온이 거의 동일함에도 불구하고 CASE 1보다 높은 실내온도를 나타내었다.

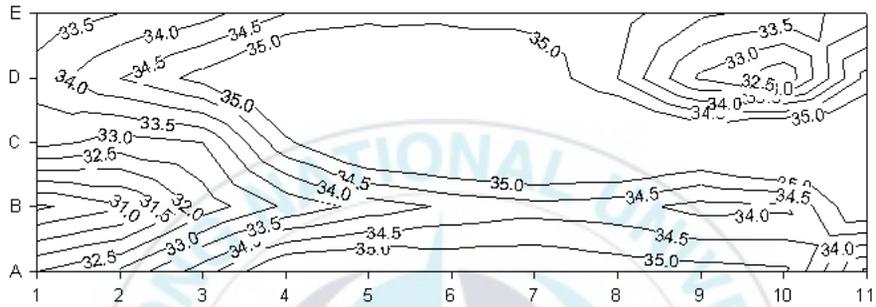
CASE 3 실내온도 측정시 평균 외기온도는 30.9℃였고, 실내평균온도는 33.8℃를 나타내었다. 실내온도분포는 32℃~35℃의 온도분포를 보이며, CASE 2보다 높은 실내의 평균온도차를 보였다.

CASE 4 실내온도 측정시 평균 외기온도는 29.1℃였고, 실내평균온도는 36.8℃였다. CASE 4의 자연환기 방식에서는 실내온도가 확연히 높은 온도분포를 보인다는 사실을 알 수 있다.

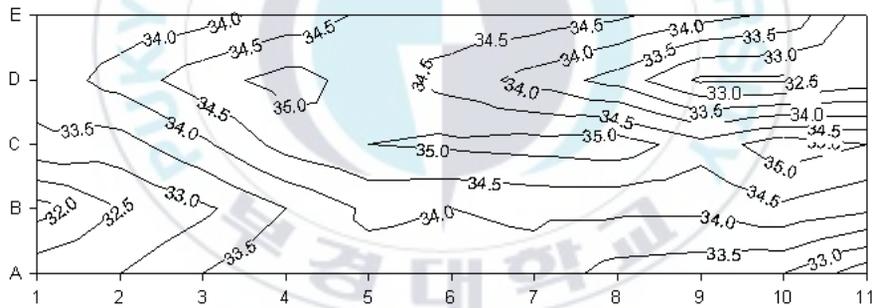
각 CASE 별로 실내온도분포를 비교하면, CASE 1 < CASE 2 < CASE 3 < CASE 4의 순으로 낮은 실내온도 분포를 보인다. 또한 실외 평균 온도와 실내 평균 온도차를 비교해도 CASE 1 < CASE 2 < CASE 3 < CASE 4로 나타남으로써 CASE 1의 경우 가장 낮은 실내온도를 유지한다는 것을 알았다.



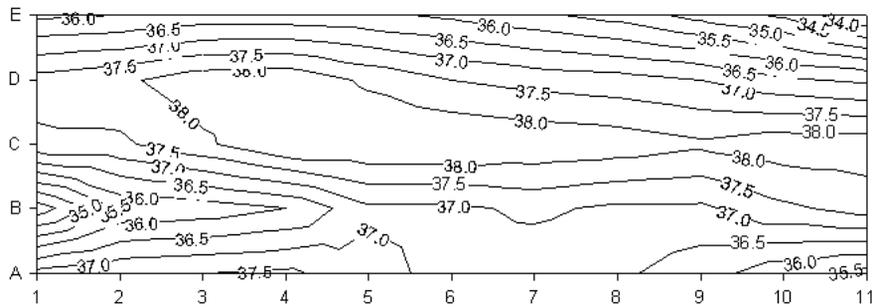
CASE 1



CASE 2



CASE 3



CASE 4

Fig. 4.13 Horizontal distribution of temperature

4.3.2 상대습도 분포

상대습도가 전신 온냉감에 미치는 영향은 Fig. 4.14 나타낸 김동규(1998)⁽³²⁾의 실험자료에 의하여, 공기온도 24℃에서 고령자 및 청년 모두 습도의 영향이 적은 것으로 나타났으나, 공기온도 27, 30℃에서는 상대습도의 증감에 따라 전신 온냉감이 중립 영역에서 덥다 측으로 변동하는 것을 알 수 있다. 따라서, 실내온도가 높을 경우에는 상대습도에 관한 검토가 요구되므로, 상대습도의 분포를 측정하였다. Fig. 4.15는 환기 대상 구역의 상대습도 분포를 나타낸 것이다.

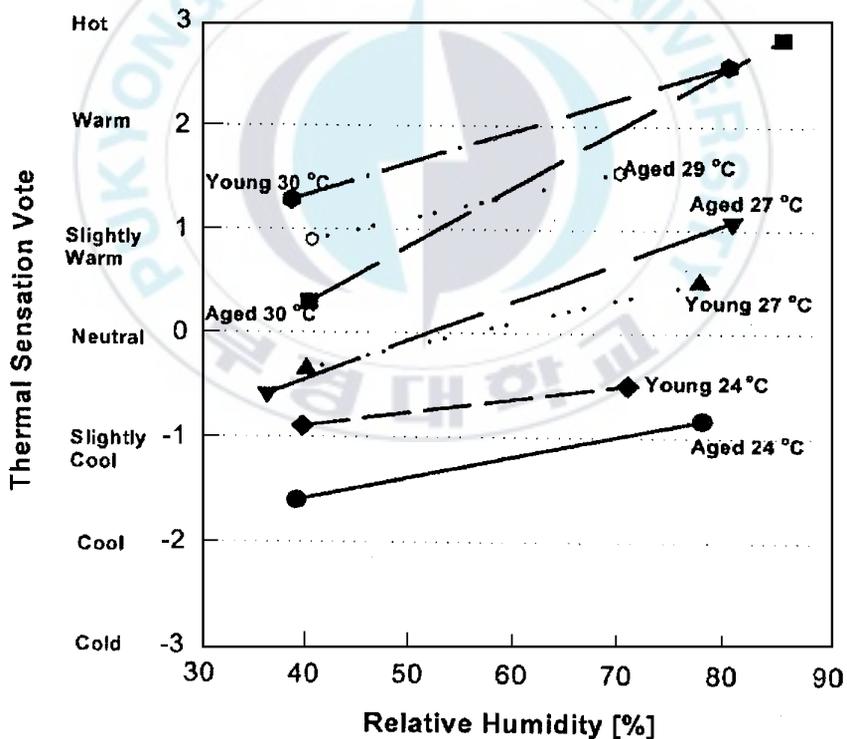
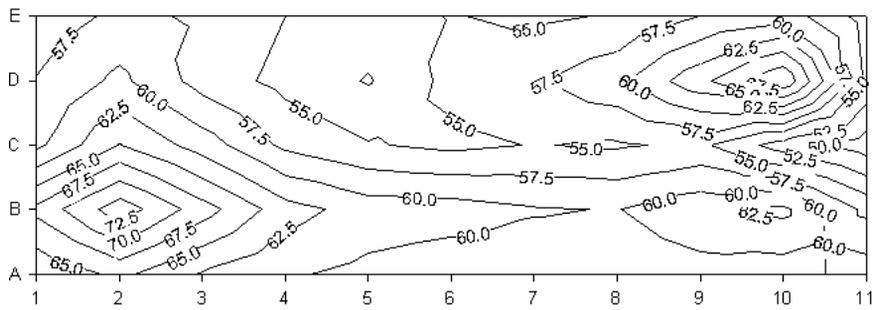
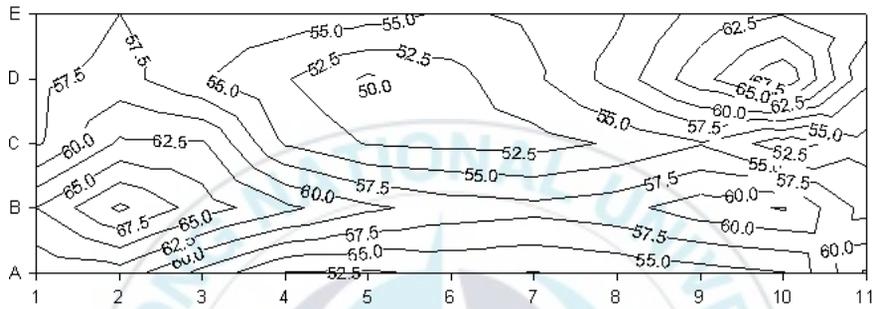


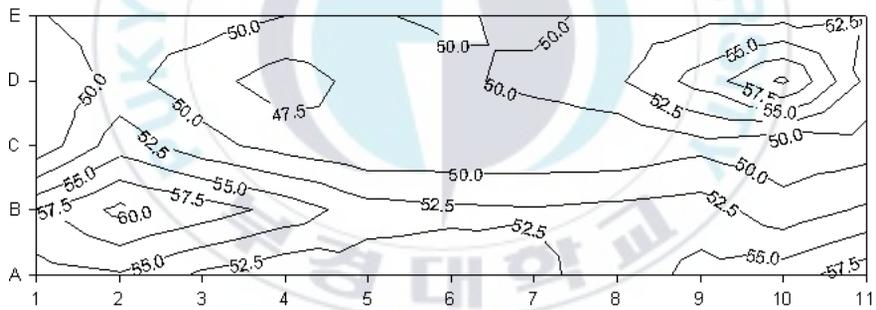
Fig. 4.14 Relative of Thermal Sensation Vote and Relative Humidity



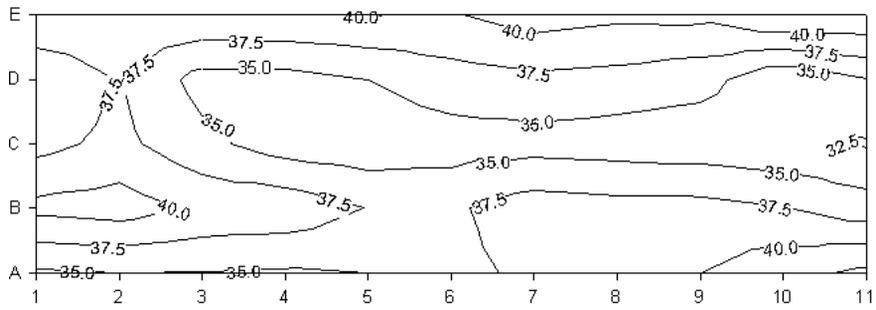
CASE 1



CASE 2



CASE 3



CASE 4

Fig. 4.15 Horizontal distribution of Relative humidity

4.3.3 실내기류 유속분포

Fig. 4.16은 실내기류의 유속분포를 나타낸 것이다.

CASE 1과 CASE 2에서는 급기부 근처의 기류속도분포가 확실히 나타나며 CASE 2보다 CASE 1의 경우 실내공간 전체에 급기와 배기로 인한 환기의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

CASE 3에서는 배기로 인해 CASE 1과 CASE 2에 비해 약한 기류의 흐름을 보이며, CASE 4에서는 부분적인 기류의 흐름만 나타나고 실내공간 전체에 분포되는 기류는 발생하지 않는 것으로 나타났다. 따라서, 적절한 환기가 이루어지지 못함을 알 수 있다.

4.4.4 풍향 분포

각 환기방식에 따라 측정한 풍향을 Fig. 4.17에 나타내었다. 제품의 생산공정이 진행되는 상황에서 측정을 수행하였으므로 부분적으로 예측이 어려운 지점이 발생하였으나, 전체적인 풍향의 분포를 검토한 결과 CASE 1의 풍향이 환기설비가 유도하는 풍향에 적절하게 나타나는 것으로 판단된다.

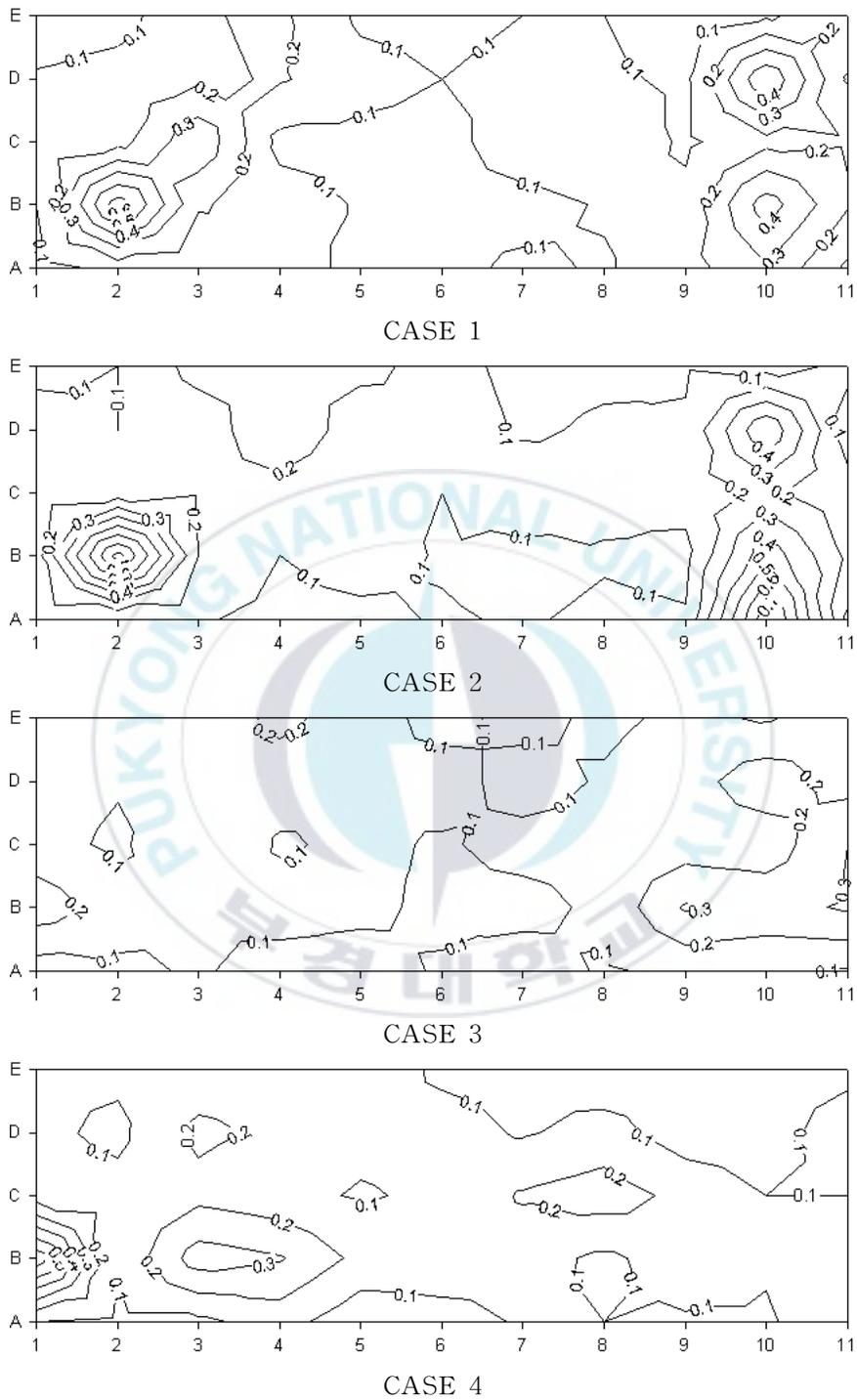
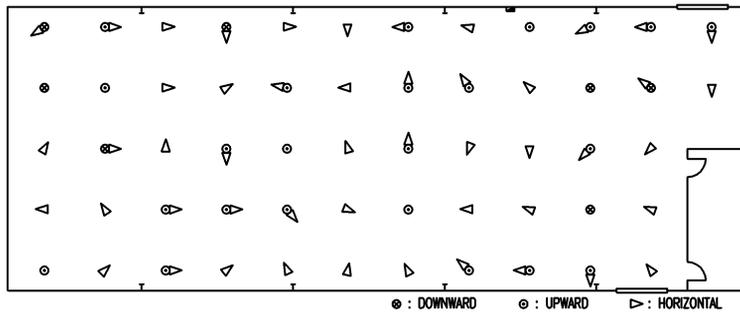
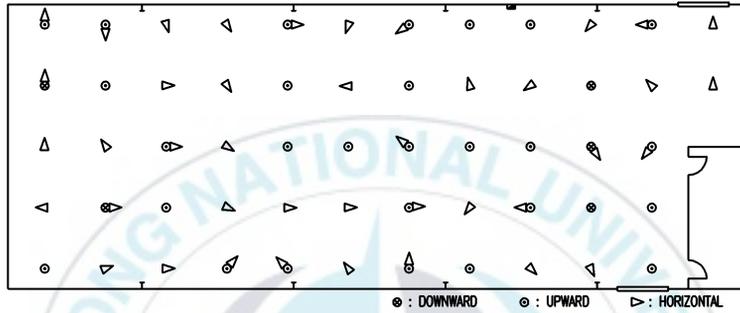


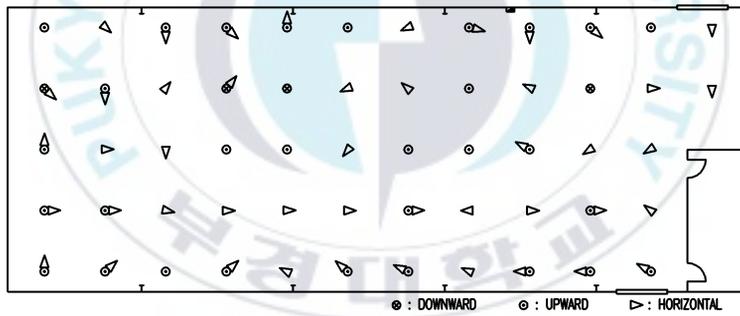
Fig. 4.16 Horizontal distribution of Air-velocity



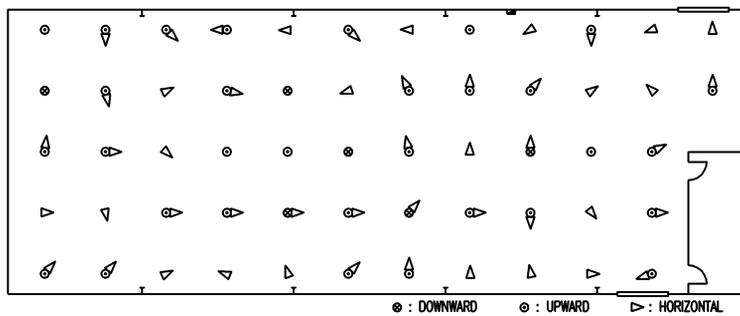
CASE 1



CASE 2



CASE 3



CASE 4

Fig. 4.17 Air flow direction

제 5 장 결 론

공장환기 설계시 애로사항을 검토한 결과 특정한 환기방식의 일괄적인 적용으로 작업장 환경의 개선이 이루어지는 것은 불가능 한 것을 알았다. 또한, 공장환기는 건물의 구조가 다연동 구조로 된 대공간인 경우는 자연환기로는 한계가 있으므로 강제환기로의 전환이 불가피하다.

작업장 공기질과 열환경 개선에 대한 요구가 증대되는 실정에서, 하절기 방서대책 으로서의 환기는 근로자의 작업환경 개선을 위해 점점 그 필요성이 높아질 것이다. 그러나 다양한 공장에 적용할 수 있는 환기기술이나 환기이론이 아직 완전히 정립 되지 않은 상태이며, 환기장치는 품질 면에서 신뢰성을 확보하지 못하고 있기 때문에 시험 방법 등의 문제점을 보완하고, 제품의 품질보증에 관한 제도적인 뒷받침이 시급하다.

적정환기량을 산정하는 방법도 건강보호를 위한 경우, 화재나 폭발방지를 위한 경우, 온열관리를 위한 경우 등의 몇 가지로 한정되어 있지만, 실제의 현장 여건은 이들 각 요소를 명확히 구분하여 정량적인 계산을 할 수 있는 경우가 거의 없기 때문에, 선진국의 경험치인 환기횟수나 환기계수 등에 의존하고 있는 실정이다. 환기량 산정에 관한 기존의 연구도 대부분 단순한 실험실 조건이나, 국소배기에 국한되어 있어 현장에서 적용 가능한 보다 현실적인 연구가 필요하다.

현장에서의 사례연구로 밀폐구조로 된 PCB 제조공장 에칭공정의 하절기 방서대책환기에 대한 실험연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

실내온도 측정 결과 외기 평균온도와 실내 평균온도차는 CASE 1 < CASE 2 < CASE 3 < CASE 4로 나타났으며, 작업장의 실내온도를 낮게 유지하기 위해서는 CASE 1의 경우가 가장 적합하다.

기류속도는 CASE 2일 때 가장 높은 기류속도를 측정하였으나, 급기부 주위에 한정되었고, 전체 기류분포를 보았을 때 CASE 1의 경우 실내 공간 전체에서 기류속도를 확인할 수 있었다.

따라서, 유해오염물질이 발생하는 밀폐형 구조 공장인 실험대상의 PCB 제조공장은 낮은 실내온도를 유지하고, 작업장내의 오염공기를 유해농도 이하로 유지하기 위한 환기방식으로 CASE 1에 해당하는 강제 급기와 강제 배기 방식이 가장 적합한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 박동욱 · 김태형 · 김현욱, 『작업환경관리-산업환기』, 한국방송통신대학교출판부, 2004, pp. 5-7
2. 日本産業衛生学会, 『産業衛生技術入門』, 中央労働災害防止協会, 2005, p.107
3. 皆川皆豊, 「夏季対策の換気について」, 『空気調和と冷凍』 Vol. 9, No.6, 1969.
4. Cripps, A., McLaughlin, T. and Carmichael, K., 1995, Servicing the millennium dome, Building and Environment, Vol. 28, pp. 107-109.
5. Chow, W. K., Wong, L. T., and Fung, W. Y., 1996, Field measurement of the air flow characteristics of big mechanically ventilated spaces, Building and Environment, Vol. 31, No. 6, pp. 541-550.
6. Peng, S. H., Holmberg, S., and Davison, L., 1997, On the assessment of ventilation performance with the aid of numerical simulation, Building and Environment, Vol. 32, No. 6, pp. 497-508.
7. Kindangen, J., Krauss, G., and Depecker, P., 1997, Effects of roof shape on wind-induced air motion inside buildings, Building and Environment, Vol. 32, No. 1, pp. 1-11.
8. 조우진, 공기취출방식에 따른 실내공간의 환기효율 및 온도분포 특성 평가, 한양대학교 대학원 석사학위 논문, 1998.
9. 김용경, 환기방식에 따른 실내기류 및 온도분포의 변화특성에 관한 연구, 동아대학교 대학원 석사학위 논문, 1999.

10. 윤석구, 냉/난방 급기조건에서 환기방식에 따른 환기효율 특성에 관한 연구, 부산대학교 일반대학원 석사학위 논문, 2001.
11. 최충현, 기류유인효과를 응용한 대형작업공간의 환기특성, 한양대학교 대학원 박사학위 논문, 2001, p.3
12. 정유진, 자연환기 벤틸레이터 최적화 설계에 관한 기초 연구, 창원대학교 대학원 석사학위 논문, 2001.
13. 하현철, 자연환기 벤틸레이터 환기 효율 평가 및 환기량 산정, 창원대학교 대학원 박사학위 논문, 2002.
14. 이희성 감수, 『옛센스 국어사전』, p.2556
15. 두산세계대백과 엔사이버(<http://www.encyber.com>)
16. (社)空気調和・衛生工学会, 『空気調和・衛生用語辞典』, オーム社, 1996, p.115
17. 石原正雄(이시하라 마사오), 『建築換気設計』, 朝倉書店, 1969, p.1
18. 環境科学フォーラム, 『建物の換気技術』, オーム社, 2000. p.6
19. 백남원·박동욱·윤충식, 『작업환경측정 및 평가』, 신광출판사, 1999, p.167
20. 백남원, 『산업위생학개론』, 신광출판사, 2003, p.104
21. 백남원, 『산업위생학개론』, 신광출판사, 2003, pp.120-122
22. 박동욱·백남원, 『산업위생학』, 한국방송통신대학교출판부, 2002, p.77
23. 環境科学フォーラム, 『建物の換気技術』, オーム社, 2000. pp. 27-33
24. 岡村勝郎, 『工場環境改善ハンドブック』, 集塵装置株式会社, 1983.
25. 김광중·권수열, 『환경위생학 및 연습』, 한국방송대학교출판부, 1999, p.80

26. 박동욱·백남원, 『산업위생학』, 한국방송통신대학교출판부, 2002, pp.82-83
27. 박동욱·백남원, 『산업위생학』, 한국방송통신대학교출판부, 2002, p.213
28. 林 太郎 외4명, 『工場換気の多様化に伴う問題点とその対策』, 『空気調和と冷凍』
Vol. 19, No. 11, 1979. p.62
29. 이상수, 공동주택의 주방배기시스템 개선에 관한 연구, 중앙대학교 건설대학원
석사학위논문, 1994, p.46, pp.71-72
30. 김형록, 인쇄회로기판(PCB)의 초미세회로 형성을 위한 additive 공법에 대한
연구, 청운대학교 정보산업대학원 석사학위 논문, 2005, p.1
31. 日本 鎌倉製作所 기술자료
32. 김동규, 한국인의 온열쾌적감 평가 및 쾌적지표의 적용성에 관한 연구, 부경대
학교 대학원 박사학위 논문, 1998, p.98

感謝의 글

이 論文이 나오기까지 많은 분들의 多大한 도움이 있었기에 可能했습니다. 무엇보다도 論文의 全般에 대해 方向을 提示해 주시고, 가르침을 주신 鄭碩權 指導教授님, 이국땅 New Zealand에 研究休暇를 떠나 계시면서도 學問的 指導는 물론, 研究의 進行을 일일이 챙겨주신 琴鍾洙 教授님께 깊은 感謝의 말씀을 드립니다. 아울러, 琴鍾洙 教授님의 빈 자리를 대신하여 바쁘신 日程 속에서도 세심한 配慮와 많은 助言, 現場 實驗 및 論文 作成을 직접 指導해 주신 金東奎 教授님과 申秉桓 豫備博士님께도 깊은 感謝의 말씀을 드립니다.

또한 本 論文의 審査를 맡아주신 金永守 教授님, 金恩弼 教授님 外 항상 따뜻한 사랑으로 指導 鞭撻을 아끼지 않으셨던 金鍾秀 産業大學院長님, 尹政仁 學科主任 教授님, 吳厚圭 教授님, 崔光煥 教授님께도 眞心으로 感謝드립니다.

그리고 資料 整理와 實驗 데이터 整理를 도와준 建築環境設備研究室의 김민수 君을 비롯한 여러 研究員들께도 感謝의 뜻을 전하며, 大學院 生活 내내 同苦同樂했던 하성진, 김성환, 배병태, 이재화, 정길선, 오영재, 이광열 院友 여러분과 後輩들께도 榮光을 돌리고 싶습니다.

여러 가지 어려운 與件에 있으면서도 現場에서의 實驗을 쾌히 許諾해 주신 (주) 두산 曾坪工場의 나승준 代理님, 安山工場의 김영관 기사님을 비롯하여 무더위를 堪耐하시면서 現場 實驗에 協助해 주신 생산팀의 여러분들께도 紙面을 빌어 感謝의 말씀을 드리며, 本 研究에 必要한 資料 蒐集과 現場에서의 實驗을 도와주신 KAMAKURA(鎌倉)製作所の 야치히데오(谷内日出夫)氏께도 感謝드립니다.

오늘이 있기까지 가없는 사랑으로 길러주시고 뒷바라지를 아끼지 않으신 어머니께 깊이 感謝드리며, 오늘의 榮光을 못 보시고 먼저 저 세상으로 가신 아버님의 靈前에 이 論文을 바칩니다.

끝으로 항상 마음으로 聲援해주고 激勵해 준 家族들, 그리고 不平 한마디 없이 묵묵히 內助해 준 아내에게 感謝의 마음을 전합니다.

2007年 2月

金 英 植

