

工學碩士 學位論文

換氣裝置 適用에 따른 學敎敎室
空氣環境改善에 關한 研究

指導敎授 琴 鐘 秀

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

釜慶大學校 産業大學院

冷凍空調工學科

鄭 龍 煥

鄭龍煥의 工學碩士 學位論文을 認準함

2004年 10月

主 審 工學博士 吳 厚 圭



委 員 工學博士 金 恩 弼



委 員 工學博士 琴 鐘 洙



目 次

目 次	i
ABSTRACT	iii
Nomenclatures	iv
제 1 장 서 론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 종래의 연구	2
제 2 장 본 론	5
1. 공기환경에 관한 기초이론	5
1.1 실내 오염물질	5
1.2 환기	7
1.3 환기 성능평가 방법	9
1.4 실내 필요 환기량	12
1.5 폐열회수 환기장치의 구조와 원리	17
2. 수치해석에 의한 환기장치 형상 제안	19
2.1 계산 프로그램의 개요	19
2.2 수치해석의 기초이론	20
2.3 주요계산 조건	25

2.4 로터형 열교환기	26
2.5 판형 폐열회수기	29
3. 환기장치 적용에 따른 환경개선효과	32
3.1 측정개요	32
3.2 측정대상 학교	33
3.3 환기장치 구성	34
3.4 측정 장비	36
3.5 자연환기량	38
3.6 측정결과 및 고찰	39
 제 3 장 결 론	 41
 참고문헌	 43
감사의 글	47

A Study on the Improvement of Indoor Air Quality in classroom by ventilation equipment

Yong hwan, Chung

Department of Refrigeration & Air-conditioning Engineering,

Graduate School,

Pukyong University

ABSTRACT

Elementary and middle school's students are 27% of population and it is necessary to make healthy, comfortable environment by improvement of classroom's air quality.

So required conditions and ventilation amounts are studied when applying the ventilation system for ventilation of closed classroom.

In the case, internal model was suggested for the efficiency improvement of rotary and plate heat exchanger.

Also, amounts of require ventilation were proposed by comparison and analysis of internal CO₂ density when ventilation equipment was at work or not.

Nomenclatures

C_D : $k-\varepsilon$ 방정식 모델의 경험정수

C_1 : $k-\varepsilon$ 방정식 모델의 경험정수

C_2 : $k-\varepsilon$ 방정식 모델의 경험정수

D_j^ϕ : ϕ 의 j 방향확산플럭스성분

F_i : i 방향의 부력 외 체적력

k : 난류 에너지($= 1/2 \overline{u'_i u'_i}$)

N : 환기회수

p : 시간 평균 성분의 순시치

$\overline{P}$: 시간 평균 성분

p' : 시간 평균 성분의 변동 성분

Q : 환기량

S : 스칼라양

t : 시간

$\overline{u_i}$: 시간 평균 성분

u'_i : 시간 평균 성분의 변동 성분

u_i : 시간 평균 성분의 순시치

V : 교실체적

Γ^ϕ : ϕ 의 확산 계수

Γ_t^ϕ : 스칼라량 ϕ 의 난류 확산계수

ε : 난류 에너지 소산율

μ : 분자점성계수

μ_t : 과점성(난류 점성)계수

ρ : 유체밀도

σ_k : $k-\varepsilon$ 방정식 모델의 경험정수

σ_ε : $k-\varepsilon$ 방정식 모델의 경험정수

τ_{ij} : 운동량의 i 방향성분의 점성력

τ_p : 공기의 국소 평균연령

$\Phi(\text{cu})$: 통계누적 연령분포(Cumulative age distribution)

$\phi(t)$: 연령빈도분포(Age of distribution)

ϕ : 시간 평균 성분의 순시치

$\overline{\phi}$: 시간 평균 성분

ϕ' : 시간 평균 성분의 변동 성분

제 1 장 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라 전체 인구에서 초·중등 학생들이 차지하는 비율은 약 27%정도이며, 이들이 생활하는 학교의 공기환경을 개선하여 건강하고 쾌적한 환경을 조성할 필요가 있다.

학교건물은 좁은 공간에 많은 학생들이 생활하고 있으므로 단위 면적당 재실인원이 많고, 최근 신축되는 학교건물의 경우 냉난방시설에 따른 건축물의 기밀성 향상과 더불어 건축 내장재 등에서 발생하는 오염물질의 다양화로 실내 공기오염이 증가하고 있다. 이러한 물질들은 농도가 매우 낮기 때문에 쉽게 검출되지 않으며, 환기량이 부족할 경우 불쾌감이 증대되어 학생들의 건강과 학습능력향상에 커다란 지장을 주고 있다.

학교건물의 쾌적한 실내환경을 만들기 위해 세계 여러 나라에서는 학생들이 생활하는 공간에 대한 환경위생기준을 실의 용도에 따라 규정하고 있으며, 우리나라에서도 선진국보다는 늦었지만 새로운 교육과정의 운영과 쾌적한 학습 환경의 요구에 따라 OECD 국가수준에 걸 맞는 교육환경을 조성하기 위하여 2002년 4월 기존의 “학교보건법”을 개정하고, “학교보건법 시행규칙”을 제정하여 “교실의 환경위생기준”을 설정하였다. 이에 따라 학교 교실의 온도, 환기, 이산화탄소, 미세먼지 등의 공기질 제어를 통하여 쾌적한 환경을 조성하도록 하고 있다. 또한, 기존 학교에 관한 경과조치로서 이 기준

에 미달되는 학교는 5년 이내에 기준에 적합하게 보완하도록 하고 있다^[1].

따라서 학교 교실에서 형성되는 실내환경에 중요한 영향을 미치고 있는 공기환경에 대한 현황과 문제점을 분석하고 개선방안을 제시하기 위한 기초 자료의 제공이 시급한 실정이다.

본 연구는 성장기 학생들이 생활하는 학교건물의 공기환경 개선을 위하여 수치해석 프로그램을 활용하여 폐열회수 환기장치의 내부 형상에 따른 수치 시뮬레이션을 수행함으로써 환기장치의 가동시 에너지 절감을 위한 최적형상을 제안하고, 폐열회수 환기장치의 적용에 따른 이산화탄소의 농도변화를 측정·평가함으로써 학교 교실의 특성에 적합한 환기시스템의 적용을 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

2 종래의 연구

학교건물의 실내환경에 대해서 C. L. Anderson과 William H. Creswell 은 1980년 "School health practice"를 통하여 교실의 온도와 습도의 기준을 계열별로 제시하고, 환기, 조명에 대하여 정리 하였다^[2]. Donald B. Stone, Lawrence B. Stone, James D. Brown은 1983년 초등학교 교실의 난방, 환기, 조명, 소음에 대한 기준을 제시하였고^[3], Marion B. Pollock, Kathleen Middseton은 1994년 난방, 환기, 조명에 대한 학교건강지침에 대하여 발표하였다^[4]. 1999년 W. Edward Montz 등은 고등학교 교실에서 여러 가지 실내공기 오염을 유발시키는 건축상의 문제에 대하여 정리하였고^[5], C. L.

Henckel 등은 학교 교실의 공기질을 분석하고 오염물질을 저감할 수 있는 건물요소에 관해서 발표하였다^[6].

미국환경보호청 (USEPA)에서는 2000년에 학교의 실내공기질과 학습성적과의 관련성에 관해서 보고서를 발표하고 온도와 습도, 실내 공기질은 건강에 중요한 요소로서 열악한 실내 공기질(Poor indoor air quality)은 학생들의 집중력, 계산력, 기억에 영향을 주고 있다고 하면서 사례를 제시하고 있다. 또한 학교의 실내공기질을 양호하게 유지하기 위한 지도요강 "IAQ Tools for Schools Kit"을 공포하였다^[7].

Iwashita는 2000년 학교 실내환경의 쾌적성을 조사하기 위하여 3개의 초등학교에 대해 온열 및 공기환경에 대한 실측과 설문조사를 실시하였고, 10개의 초등학교 교실에서 휘발성 유기화합물(VOCs) 농도를 측정하여 30년 이상 경과된 교실과 최근 신축된 교실의 공기오염도를 비교하였다. Jin Ishii는 2001년 고등학교 보통교실을 대상으로 1년간에 걸쳐 물리적·심리적 측면에서 온열환경 측정 및 평가를 실시하였다^[8].

전의찬 등은 도시 학교시설에서의 밀폐정도에 따른 실내 공기오염도를 평가하기 위하여 이산화탄소, 일산화탄소, 부유 분진 등을 측정하였으며, 이산화탄소의 경우 창문을 닫아놓은 밀폐상태의 농도가 기준치에 비하여 2배 정도 높은 값을 나타내는 것으로 발표하였다. 또한, 지준명 등은 밀폐된 교실, 공기조화 교실과 자연통풍이 되는 교실에 존재하는 낙하세균의 수를 측정하여 실내 공기오염도를 평가하였다.

박성은 등은 학교시설의 실내공기 중 방사선가스인 라돈(Rn) 농도를 측정하였으며, 서울시내 15개 초등학교에서 조사한 라돈 농도의 평균치는 환경부의 환경기준 권고치와 세계보건기구(WHO)의 권고치보다 낮은 것으로 측정되었으나, 일부 지역의 최대 농도는 권고치보다 높게 나타난 것으로 발표하였다.

김윤신은 학교내의 환경위생에 대한 현황과 문제점을 분석하고, 학교보건에 필요한 시설과 설비의 개선방안을 제시하였으며, 교실내의 온·습도, 환기, 조도, 분진, 소음 등 환경위생에 대한 기준안을 마련하였다.

2002년 신은상 등은 수원지역 초·중·고등학교 교실의 아황산가스(SO₂), 일산화탄소(CO), 이산화질소(NO₂), 미세 먼지(PM₁₀) 및 이산화탄소(CO₂)의 농도를 측정하였고, 교실내의 공기를 오염시키는 것은 외부대기의 영향보다는 교실 내에서 발생하는 오염물질의 영향이 크게 작용하는 것으로 분석하였다. 특히, 하절기에는 창문의 개방횟수가 많은 이유로 미세 먼지에 의한 영향이 주된 원인이고, 동절기에는 학생들의 인원수와 활동성에 직접적으로 영향을 받은 오염원이 이산화탄소의 미세 먼지임을 제시하였다^[9].

그동안 아파트, 사무소 및 상가 등의 실내환경에 대해서는 많은 연구가 이루어졌지만 학생들이 사용하는 학교 건물에 대해서는 출입이 자유롭지 못한 이유 등으로 교실의 실제 상황을 충분히 고려한 전반적이고 체계적인 연구는 미흡한 실정이다.

제 2 장 본 론

1. 공기환경에 관한 기초이론

1.1 실내 오염물질

실내공기오염은 일산화탄소, 이산화탄소, 질소산화물 등의 가스성분 및 공기중에 떠다니는 부유분진, 각종 미생물 등 오염물질 제요소가 복합적으로 작용하여 진행된다. 건물의 재실자 들이 산소를 흡입하고 탄산가스를 배출하며, 활동 중에도 많은 오염물질을 발생시키고 있다.

또한, 건축자재가 사용됨에 따라 포름알데히드(formaldehyde), 석면(asbestos), 라돈(radon) 등과 같은 오염물질이 방출되고 있으며 컴퓨터, 복사기 등의 사무기기 사용이 증가함에 따라 다양한 오염물질이 발생되고 있다.

Table 1은 실내에서 발생하는 주요 오염물질을 발생원과 인체에 대한 영향으로 나타낸 것이다. 실내의 공기오염을 방지하기 위해서는 실내에서 발생하는 오염물질의 특성을 파악하고 적절한 환기 및 청정장치를 계획하여 효율적으로 실내 공기질을 유지할 수 있도록 하여야 한다.

Table 1 Sources and influences of indoor contaminant[12]

Contaminant	Place of origin	Influence to human body
Dust, Heavy metal	Inflow of outdoor dust, Dust at the floor, Life activity	Pneumoconiosis, Silicosis, Occupational lung disease
Asbestos	Adiabatic board, Insulation material, Asbestos Cloth, Asbestos break, Thermal insulation	Skin diseases, Respiratory disease, Occupational lung disease
Cigarette smoke (Gases, HC, PAHs, Dust and so on)	Cigarette	Headache, Fatigue, Bronchitis, Pneumonia, Bronchial asthma, Lung cancer
Combustion gases (CO, NO ₂ , SO ₂ and so on)	Stove, Combustion, Gas range	Chronic lung disease, Air way resistance, Central nervous system
Radon	Soil, Rock, Underground water, Granite, Concrete	Lung cancer
Formaldehyde (HCHO)	Plywood, Board, Furniture, Adiabatic board, Cigarette smoke, Beauty aids, Clothing	Cough, Diarrhea, Dizziness, Vomiting, Skin diseases, Rhinitis, Emotion anxiety, Amnesia
Volatile Organic Compounds (Benzene, Toluene, Styrene, Aldehyde, Ketone)	Paint, Adhesive, Spray, Combustion, Laundry, Clothing, Aromatic, Construction materials,	Fatigue, mental illness, Headache, Vomiting, Vertigo, Central nervous system
Ozone(O ₃)	Copy machine, living supplies, Combustion	Cough, Headache, Asthma, Allergy disease
Microbial substance (Filamentous fungi, Bacteria, Virus)	Humidifier, Cooling air conditioning, Refrigeration, Pets	Allergy disease, Respiratory disease

1.2 환기

환기란 실내공간에 요구되는 깨끗한 공기를 공급하는 것을 의미하며 실내의 공기정화, 온열 환경조건의 개선, 산소의 공급, 수증기 제거 등 재실공간에 대하여 오염물질을 제거하고 희석하는 역할을 하며 재실자의 신진대사에 필요한 신선한 공기를 공급할 수 있도록 실내·외의 공기를 교체하는 행위를 말한다. 실내에 공급되는 깨끗한 공기가 오염된 공기와 완전하게 혼합되는 것으로 가정하면, 일정한 오염원의 발생량이 존재하는 실내에서 오염물질의 농도는 환기량과 밀접한 관계를 나타낸다.

일반적인 단위 학교 교실에서 환기 및 기밀성능에 영향을 미치는 주요 공기유동 경로는 창호, 출입문, 배기구 또는 배기팬, 건물외벽 구조체 등을 통한 건물 내·외부간의 공기유동과 교실과 교실사이에서 발생하는 건물내부간의 공기유동을 들 수 있다.

건물 내·외부로의 공기유동은 실내 환기량을 증가시켜 에너지 사용량을 유발시키고, 의도하지 않은 침기(Infiltration) 현상을 일으켜 실내 거주자의 열적 쾌적감을 저하시킬 수 있으며, 우리나라와 같이 한랭한 동계조건을 갖는 지역에서는 결로발생의 문제가 제기되기도 한다. 이러한 공기유동 경로를 확인하고 그로 인해 발생할 수 있는 침기 및 누기량을 측정하여 건물의 환기 및 기밀성능을 정량적으로 평가하는 것은 에너지절약 측면뿐만 아니라 쾌적한 실내환경의 확보와 거주자의 건강유지 등의 관점에서 매우 중요하다.

다.

ASHRAE 62-1991에서는 적절한 실내 공기질을 유지하기 위한 각 오염물질의 농도한계를 제시하는 방법과 최소 환기량을 제시하는 두 가지 방법에 관하여 설명하고 있다[13].

(1) 희석

발생한 오염물질이 국부적으로 정체되어 있지 않도록 나머지 실내공기와 혼합하여 실내 오염물질의 농도를 제어한다. 발생원의 위치가 불확정적이며 발생원에 의한 제어가 불가능한 경우 실내의 공기를 전체적으로 혼합함으로써 전체 평균농도를 낮추고 신선외기와 교체하는 방법을 의미하여 가장 일반적인 실내환경 제어방법이다. 이것은 오염농도의 제어 측면에서 뿐만 아니라 ASHRAE 62-1991에서 제시하는 최소 외기량을 공급하는 방법이기도 하다. 외기의 공급에 의하여 필연적으로 환기에 의한 냉난방부하가 발생하는데 공기 대 공기 열교환기 등을 설치하여 급기와 배기의 온도차에 의한 엔탈피를 회수함으로써 에너지절약을 기할 수 있다.

(2) 혼합방지

혼합방지는 오염발생을 국부적으로 격리하는 방법으로 에어커튼 등의 실내기류 방생장치나 환기장치를 이용하여 격리하는 방법을 의미한다. 예를 들어 벽으로 구분되어 있지 않는 흡연실과 비흡연실의 사이에 에어커튼을

설치하여 두 개의 다른 구역의 공기가 서로 혼합되지 않도록 하는 방법이다.

(3) 차압에 의한 기류 제어

두 개의 서로 다른 공조 구역에 대해서 압력차를 유지시킴으로써 한 방향으로만 실내기류가 형성되도록 제어하는 방법이다. 한쪽 공조 구역에서의 배기가 다른 공조구역의 급기 역할을 하는 것으로 공조구역을 차별화할 때 이용될 수 있다. 예를 들면 병원에서는 외부의 오염물질이 유입되지 않게 하기 위해서 환자실에 양압(+)을 유지시켜 주어야 한다. 또한 전염성이 있는 환자실에 대해서는 발생한 각종 병원균등이 다른 곳으로 확산되지 않도록 하기 위해서 오히려 환자실에 음압(-)을 유지시켜 주어야 한다.

1.3 환기 성능평가 방법

환기 성능을 평가하기 위해서 환기효율의 개념을 많이 사용한다. 환기효율이란 실내에 존재하는 오염공기가 어떻게 효과적으로 환기시스템으로부터 공급되는 신선한 공기와 교체되는가를 나타내는 척도로서, 표준적인 환기상태를 기준으로 하여 실제상황에서의 환기의 효과를 나타낼 수 있어야 한다.

환기성능을 평가하기 위한 추적가스 측정법은 추적가스를 이용하여 공기유동을 평가하는 방법으로 오래전부터 사용되어져 왔다. Pettenkofer(1858)가 사용한 추적가스 기법은 가장 오래된 것으로서 석탄을 태워 CO₂를 만들

어 사용하였으며 병원에서 환기량을 평가 하는데 사용되었다.

Fig. 1은 공기령 정의에 대한 개념도로서 공기입자가 실내의 임의의 P점에 도달하는데 걸리는 시간을 공기령(Age of air) 또는 연령(Internal age)라고 하며, P점에서 배기구에 도착하는데 걸리는 시간을 여명(Residual life of air)이라 하며, 급기구에서 배기구까지의 시간을 수명 또는 체류시간(Residence time of air)이라고 한다. 공기의 국소평균연령은 공기가 급기구로부터 실내의 임의의 점 P로 이동하는데 걸리는 평균시간으로 정의하며 이 시간이 짧을수록 실내의 임의의 점에서의 공기는 더 신선하며 환기가 효과적이라고 할 수 있다. 실평균연령은 실내 전공간에 대해 각 점에서의 공기의 평균연령에 대한 평균으로 실 전체 환기의 효율을 나타내는 지표로서 이용할 수 있다.

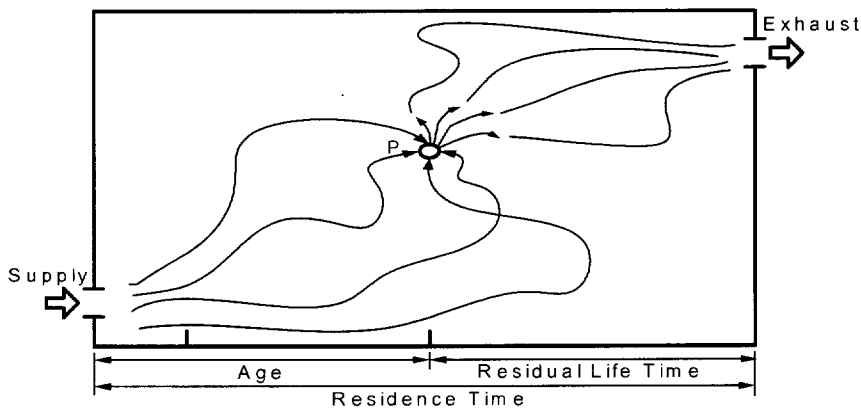


Fig. 1 Concept of spread air and the room mean age

실내의 각 위치에서의 공기는 연령빈도분포(Age of distribution)인 $\phi(t)$ 와 통계누적 연령분포(Cumulative age distribution)인 $\Phi(t)$ 에 의해 특징 지워진다. Fig. 2는 급기로부터 시각 $t=0$ 에서 급기된 공기입자 중 P점에 도달하는 공기입자의 빈도분포곡선으로서 연령빈도함수 $\phi(t)$ 는 급기구를 통해 실내로 유입된 공기입자 중 실내 임의의 점 P에서의 연령이 t 인 공기의 빈도를 나타내는 함수이며 연령이 t 인 공기입자의 개수를 말한다.

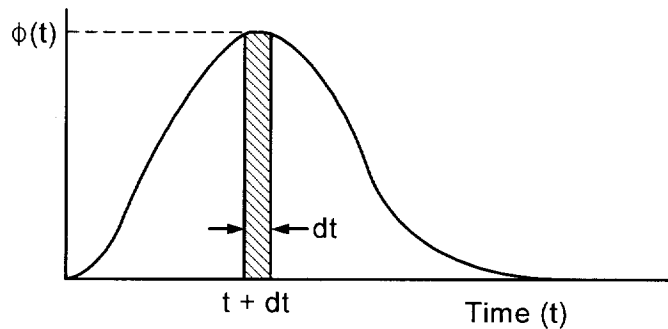


Fig. 2 Room mean age of the frequency distribution curve

통계누적 연령분포함수 $\Phi(t)$ 는 그 지점에서 공기의 연령이 t 보다 작거나 같은 공기 입자의 총합으로서 시각 0에서 t 까지의 연령을 가진 공기입자의 총 갯수를 의미한다. $\phi(t)$ 와 $\Phi(t)$ 의 관계를 수학적으로 나타내면, 통계누적 연령분포함수 $\Phi(t)$ 를 시간 t 에 대해 미분하면 연령빈도함수 $\phi(t)$ 를 얻게 된다.

$$\frac{\partial \Phi(t)}{\partial t} = \phi(t) \quad \text{또는} \quad \int_0^t \phi(t) dt = \Phi(t) \quad (\text{식})$$

1)

따라서 공기의 국소 평균연령은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\tau_p = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot \phi(t) dt}{\int_0^{\infty} \phi(t) dt} \quad (\text{식}$$

2)

여기서, 분모는 실내 임의의 측정점 P에 도달하는 공기입자의 총수를 의미하며 분자는 공기입자의 빈도를 그 연령으로 가중한 것을 의미한다. 그리고 연령빈도함수 $\phi(t)$ 를 공기입자의 총수에 대해서 무차원화 하면, 분모는 1이 되므로 결과적으로 국소 평균연령은 다음과 같이 표현된다.

$$\tau_p = \int_0^{\infty} t \cdot \phi(t) dt \quad (\text{식}$$

3)

따라서 국소 평균연령은 측정점에 따른 연령 분포의 시간에 대한 일차 모멘트이다. 이와 같은 공기령은 추적가스를 사용하여 시간에 따른 농도변화를 측정하여 측정할 수 있다.

1.4 실내 필요 환기량

환기는 실내 공기의 오염을 허용치 이하로 유지시키기 위하여 실내로 깨끗한 공기를 공급하고 오염된 공기를 실외로 배출시키는 것을 의미하며, 이때 외기 도입량 증가는 실내의 환기횟수를 증가시켜 오염된 공기를 희석시

킴으로써 쾌적성을 향상시킬 수 있다.

공조설비의 설계과정에서 적절한 환기량의 설정은 매우 중요한 사항이며 재실자의 신진대사에 필요한 신선한 공기를 공급할 수 있도록 최소 환기량을 설정하게 된다. 환기량을 과도하게 설정하면 냉방 또는 난방에너지의 소비량이 증가하게 되어 비합리적인 설계가 된다.

세계 주요국가의 환기기준은 대개 주거용 건물과 사무소나 학교와 같은 공공건물의 유형에 따라 최소환기량 기준치를 제시하고 있다. 그러나 건물의 실용도별 환기량에 대한 각국의 기준은 실의 체적이나 재실자 수가 각기 다르기 때문에 단순히 비교하기는 매우 어렵다.

Table 2는 미국(ASHRAE Standard 62-1989), 일본(HASS 102-1997), 유럽(EU)에서 권장하는 각 공간별 필요환기량을 나타낸 것으로, 재실공간에 공급해 주어야 하는 최소환기량 규정이다.

Table 2 Recommended ventilation air flow rate for comfort control

Nation	Standard for Ventilation	Application	Ventilation Rate
U.S.A	ASHRAE Standard 62-1989	Shop	1.25 ($\ell/s \cdot m^2$)
		Classroom	2.8 ($\ell/s \cdot m^2$)
		Conference Room	5.0 ($\ell/s \cdot m^2$)
		Office Space	1.25 ($\ell/s \cdot m^2$)
		Residence	1.25 ($\ell/s \cdot m^2$)
			7.5 ($\ell/s \cdot person$)
Japan	HASS 102-1997	Living Room of Residence	8.3 ($\ell/s \cdot person$)
Europe	EU	Private Office Space	1.4 ($\ell/s \cdot m^2$)
		Conference Room	4.3 ($\ell/s \cdot m^2$)
		Auditorium	11.0 ($\ell/s \cdot m^2$)
		Restaurant	3.2 ($\ell/s \cdot m^2$)
		Classroom	4.3 ($\ell/s \cdot m^2$)

ASHRAE Standard 62-1973에서는 다양한 건축조건에서의 최소 환기량과 권장량을 설정한 이후 몇 번의 개정작업을 거쳐 에너지소비와 실내오염문제에 적절한 균형을 유지하기 위한 ASHRAE Standard 62-1989를 제시하고 있다.

노루웨이, 덴마크 등 유럽국가에서는 WHO에서 1987년 제정한 유럽의 실내공기환경 지침서(Air quality guidelines for Europe)에 근거하여 기준을 설정하고 있으며, WHO는 이 기준을 실내공기환경과 건강 측면의 여러 연

구결과의 축적된 증거자료를 참고로 1997년 개정안을 제시하고 있다.

ASHRAE Standard 62-1989의 환기규격에서 주택의 경우 1인당 권장 환기량이 $7.5 \ell/s \cdot \text{인}$, 바닥면적당 권장환기량이 $0.25 \ell/s \cdot \text{m}^2$ 로 규정하고 있다. 일본의 환기규격 HASS 102-1997에서는 거실에서 $8.3 \ell/s \cdot \text{인}$ 으로 ASHRAE 환기규격과 유사한 환기조건을 갖는다.

Table 3은 각국에서 규정하고 있는 학교건물에 대한 최소 필요환기량 기준을 나타낸 것이다. 환기량의 표시는 국가별로 1인당의 필요환기량($\text{m}^3/\text{인}$) 또는 실 전체에 대한 시간당 필요환기량(m^3/h), 환기횟수(회/h)등으로 표시하고 있다. 학교건물에서는 주로 재실자로부터 발생하는 실내의 CO_2 농도를 제어하기 위한 필요환기량으로 제시된 것이며, 일반 주거용 건물보다 다소 높은 환기량을 보이고 있다. 환기횟수 15회/h, 1인당 환기량 $410 \ell/\text{sec}$ 정도의 범위에서 기준이 설정되었다.

Table 3 Minimum ventilation rate requirements in school buildings[10]

Nation	Ventilation Rate
Belgium	30m ³ /h for a person
Canada	8 ℓ/sec for a person
Finland	0.60.8m ³ /h for a person
France	15m ³ /h for a person
Germany	30m ³ /h for a person
Italy	1.55.0 (ventilation rate)
Nether lands	0.55m ³ /h for a person
New Zealand	8 ℓ/sec for a person
Sweden	10 ℓ/sec(smoking), 5 ℓ/sec(non smoking)
England	58 ℓ/sec or 12 ℓ/sec
U.S.A	8 ℓ/sec for a person
Norway	0.75.5 ℓ/sec for a person

환기량 설정에서는 흡연여부에 따라 기준치를 다르게 제시하고 있는데 흡연구역의 필요환기량은 금연구역보다 약 세 배정도의 높은 값으로 규정하고 있으며, 금연구역의 최소환기량은 나라에 따라 410 ℓ/s · person을 권장하기도 하였다.

대부분의 국가가 최소 필요환기량을 1인당 ℓ/s로 기준하는 것과는 달리 노르웨이의 경우, 작업환경관련지침(Guidelines relating to the working environment act, Climate and air quality in the workplace)에서는 재실자

로부터 발생하는 오염물질과 재실자 이외의 오염원 즉, 건축자재로부터 방출되는 오염물질과 그 외 작업활동이나 장비로부터 요구되는 환기량을 보정하여 최종 환기량을 제시하는 방법을 제안하고 있다. 재실자에 의한 최소환기율은 금연시 작업의 경중에 따라 $710 \ell/s \cdot \text{person}$ (사무소 경작업의 경우 $7 \ell/s \cdot m^2$), 흡연시 $20 \ell/s \cdot \text{person}$ 으로 재실자 이외의 오염원으로부터 발생하는 오염물질의 제거를 위한 환기율은 일반적으로 공용면적을 포함하는 바닥면적당 $0.7 \ell/s \cdot m^2$ 으로 제시하였다. 또한, 건물자체에 의한 오염의 정도를 세분하여 신축건물의 경우, 처음 1년간은 최소 $1.7 \ell/s \cdot m^2$ 을 권장하고 건물 입주전 23주간 고온으로 건물을 난방하므로써 오염물질을 제거하는 기법(bake-out)을 적용할 경우는 그 수치가 완화될 수 있음을 명기하고 있다.

이와 같이 건물자체로부터 방출되는 오염물질의 제거를 위한 환기량을 단계로 제시한 노르웨이의 예는 최근 재실자보다는 건물자체가 보다 위대한 오염원이 될 수 있다는 의견을 반영하는 환기기준 설정의 새로운 방향을 보여주는 중요한 예라고 할 수 있다.

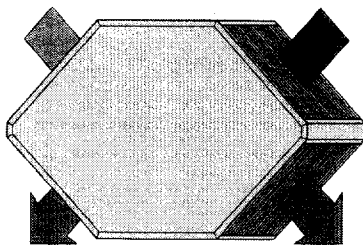
1.5 폐열회수 환기장치의 구조와 원리

폐열회수환기장치는 판형 폐열회수환기장치와 회전형 폐열회수환기장치로 크게 구분하며 수 있으며 다음과 같은 특성을 가진다.

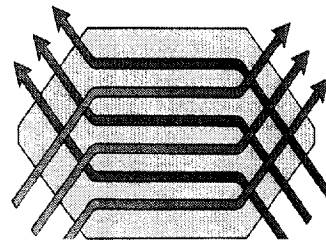
(1) 판형

Fig. 3 대항류 판형 폐열회수환기장치의 개념을 나타낸 것이다. 급기와 배

기가 알루미늄 또는 펄프재질을 사이에 두고 열교환을 함으로써 열을 회수하는 방식이다. 펄프재질의 경우에는 박판의 표면에 응축되어 있는 수분이 응축되어 회수되므로 잠열회수의 장점이 있으나, 장시간 활용하게 될 경우 박판의 오염에 의하여 실내 오염의 원인이 될 수 있으므로 지속적인 관리가 필요하다.



(a) shape



(b) Heat flow

Fig. 3 Plate type Heat Recovery Ventilator

(2) 회전형

Fig. 4는 일반적인 회전형 폐열회수환기장치의 개념을 나타낸 것이다. 건물내부와 건물외부를 연결하는 급기덕트와 배기덕트 사이에 회전형 폐열회수환기장치를 설치하여 급기와 배기가 가지는 열을 하니콤 구조의 매트릭스가 회전하면서 열을 회수하는 방식이다. 매트릭스 전면과 덕트면 사이에는 펠트 혹은 고무로 된 실을 이용하여 재생공기 영역과 신선외기 영역사이에서의 공기누설을 방지할 필요가 있으며 주로 대형공조기에서 활용된다.

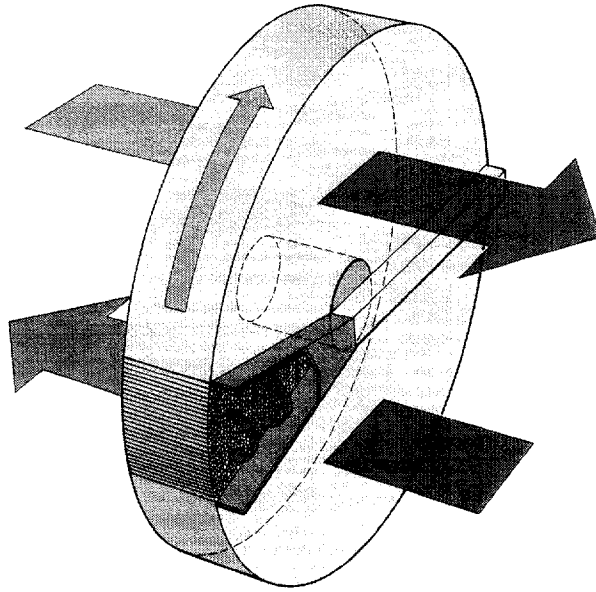


Fig. 4 Rotary type Heat Recovery Ventilator

2. 수치해석에 의한 환기장치 형상 제안

2.1 계산 프로그램의 개요

본 수치계산은 폐열회수기의 열회수 성능에 대하여 수치해석을 수행한 것으로 각 형상에 따른 효과를 검토하였다. 사용된 프로그램은 일본 Cradle사의 “STREAM”이라는 프로그램으로 현재 일본에서 유체계산에 대해서 가장 많이 판매되고 있는 프로그램이다.

프로그램의 특징은 유한체적법을 이용하여 삼차원 열유체를 해석하는 프로그램으로 1984년 4월부터 판매를 개시하여 실내공간유동과 기기내부 흐름 등 여러 분야에서 활용되고 있으며, 압축성과 비압축성 유체에 대해서 계산

이 가능한 것이다. 기타 프로그램에서 계산하는 방법은 다음과 같다.

- ◎ discrete 수법
- ◎ 격자 형성법
- ◎ 삼각기둥 요소
- ◎ 회전 좌표계
- ◎ 일부 상세 격자의 적용
- ◎ 해석합 격자
- ◎ 물체 데이터의 오버레이 기능
- ◎ matrices의 해법

2.2 수치해석의 기초이론

실내의 기류장을 대상으로 하는 해석에서는 속도가 최대가 될 경우라도 수[m/s]이며, 온도는 실온 040[℃] 정도를 상정하게 된다. 압력의 영향을 무시할 수 있는 비 압축성 흐름으로 예상하는 것이 일반적이며, 온도에 의한 밀도 변화는 부력항만 고려한 Boussinesq 근사를 적용한 것이 가능하다. 또 실내는 벽면 부근을 제외하고 난류로 예상하여 해석하는 것이 당연하다. 난류를 취급하는 경우에는 시간평균 속도성분과 변동성분을 이용하고 순시값을 이하와 같이 나타낼 수 있다. (시간 평균 성분을 $\overline{u_i}$, $\overline{P}$, $\overline{\psi}$ 로, 그 변동 성분은 u'_i , p' , ψ' 순시치를 u_i , p , ψ 로 나타낸다.)

$$\begin{aligned}
u_i &= \overline{u_i} + u'_i \\
p &= \overline{p} + p' \\
\phi &= \overline{\phi} + \phi'
\end{aligned}
\tag{식}$$

4)

이것은 비압축성 연속의 식 Navier-Stokes 운동방정식, 스칼라량 수송 방정식에 대입하여, Tensor 표시에 의하여 다음의 식이 된다

(연속의 식)

$$\frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_j} = 0 \tag{식}$$

5)

(Navier-Stokes 운동 방정식)

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \overline{u_j} \overline{u_i})}{\partial x_j} = -\frac{\partial \overline{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\tau_{ij} - \rho \overline{u'_i u'_j}) + F_i \tag{식}$$

6)

(스칼라량의 수송 방정식)

$$\frac{\partial(\rho \overline{\phi})}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \overline{u_j} \overline{\phi})}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} (-D_j^\phi - \overline{u'_i \phi'}) + S_\phi \tag{식}$$

7)

여기서, ρ 는 유체밀도 F_i 는 i 방향의 부력 외 체적력이다 그리고, S 는 스칼라량 ϕ 의 생성항, τ_{ij} 는 운동량의 i 방향성분의 점성력이고 D_j^ϕ 은 ϕ 의 j

방향확산플럭스성분이다 분자점성계수를 μ 로하고 ϕ 의 확산 계수를 Γ^ϕ 로 하여 다음식으로 나타내었다.

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (\text{식 } 8)$$

$$D_j^\phi = -T^\phi \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial x_j} \quad (\text{식 } 9)$$

9)

기초식에서는 $-\rho \bar{u}'_i \bar{u}'_j$ (레이놀즈 응력) $-\rho \bar{u}'_j \bar{\phi}'$ (난류플럭스) 등의 난류성분을 포함하고 있고 닫힌 형식은 아니다. 따라서, 이러한 항을 모델화하여 닫힌 형태로 할 필요가 있고, 그것을 가능하게 한 것이 난류모델이다

Boussinesq는 레이놀즈응력이 분자점성에 의한 응력과 같이 속도 경사에 비례한다고 가정하고, 다음 식의 과점성 모델을 도입하였다.

$$-\rho \bar{u}'_i \bar{u}'_j = \mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (\text{식 } 10)$$

10)

또한, 스칼라량의 난류flux에 관해서는

$$-\rho \bar{u}'_j \bar{\phi}' = \Gamma_t^\phi \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial x_j} \quad (\text{식 } 11)$$

11)

시간 평균치의 구배와 관련시키고, 나타내는 것이 가능하다고 가정하고 있다. 여기에서 μ_t 는 과점성(난류점성)계수 k 는 난류 에너지 ($= 1/2 \bar{u}'_i \bar{u}'_i$)

Γ_t^ϕ 는 스칼라량 ϕ 의 난류확산계수이다. 열이나 물질의 이동에 대표된 스칼라 양의 수송과 운동량 수송과의 analogy로부터, 이하의 관계식이 성립된다

$$T_t^\phi = \frac{\mu_t}{\sigma_t^\phi} \quad (\text{식 } 12)$$

μ_t/σ_t^ϕ 는 열수송에 있어 난류 프란틀수라고 불리고 물질수송에 있어 난류 슈미트수라고 불린다. 현상이 다르지만 거의 일정하다고 간주할 수 있는 것이 경험적으로 알려져 있다.

이상과 같은 과점성의 개념을 도입한 것에 의해, 방정식은 닫힌 것이 된다. 그러나 μ_t 를 어떻게 표현하는지가 초점이 된다

Prantl은 μ_t 를 분자 점성과의 analogy로부터 난류의 특성치로서 혼합거리로 l 을 도입했다.

$$\mu_t = \rho l V_t \quad (\text{식 } 13)$$

여기에서 V_t 는 난류의 대표 속도(Turbulence velocity)로 있고, 2차원 경계층류에 적용한 경우 $V_t = l|\partial \overline{u_1}/\partial x_2|$, $-\rho \overline{u'_1 u'_2} = \mu_t(\partial \overline{u_1}/\partial x_2)$ 로 표현할 수 있는 것으로

$$\mu_t = \rho l^2 \left| \frac{\partial \overline{u_1}}{\partial x_2} \right| \quad (\text{식 } 14)$$

로 되고 결국 혼합거리 l 을 어떻게 표현하는지가 문제가 된다. 그 후 Prantl 과 Kolmogorov는 V_l 가 난류 에너지 k 의 제곱근에 비례한다고 하여

$$\mu_t = \rho N \sqrt{k} \quad (\text{식 15})$$

로서 정식화를 했다.

난류 에너지 소산율 ϵ 은 다음 식으로 정의된다(C_D 는 실험 정수)

$$\epsilon = C_D \frac{k^{1.5}}{l} \quad (\text{식 16})$$

16)

난류 에너지 k 난류 에너지 소산율 ϵ 을 수송 방정식에 이용한 모델을 $k-\epsilon$ 모델이라고 부르고 실용적으로 폭넓게 사용되고 있다. 또 μ_t 는 다음 식으로 나타난다

$$\mu_t = C_D \frac{\rho k^2}{\epsilon} \quad (\text{식 17})$$

17)

본 해석에 있어도 $k-\epsilon$ 2가 방정식 모델을 이용한 것이다 다음에 기초식에 대입 한 식을 다음에 나타낸다.

(연속의 식)

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_j} = 0 \quad (\text{식 18})$$

(운동량 수송 방정식)

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j u_i)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \left\{ (\mu + \mu_\nu) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + F_i \right\} \quad (\text{식 19})$$

19)

(스칼라량 ψ 의 수송 방정식)

$$\frac{\partial(\rho\psi)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j \psi)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ (\Gamma^\psi + \Gamma_t^\psi) \frac{\partial \psi}{\partial x_j} \right\} + S_\psi \quad (\text{식 20})$$

20)

(k 의 수송 방정식)

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j k)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right\} + G + B - \rho \varepsilon \quad (\text{식 21})$$

21)

(ε 의 수송 방정식)

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j \varepsilon)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\mu + \frac{\mu_\varepsilon}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right\} + C_1 \frac{\varepsilon}{k} (G + B) - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (\text{식 22})$$

22)

여기에서 p 는 난류압력 $\bar{p} + 2/3 \rho k$ 로 다시 정의하고있다. 또 G, B 는 각각 난류에너지 k의 생성항, 부력항이며 다음식으로 나타낸다.

$$G = \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (\text{식 23})$$

$$B = g \beta \frac{\mu_t}{\sigma_t} \frac{\partial T}{\partial x_j} \quad (\text{식 24})$$

이상의 식에 나타났던 $C_D, C_1, C_2, \sigma_k, \sigma_\varepsilon$ 은 모두 $k-\varepsilon$ 방정식 모델의 경

험정수이며, Launder, Spalding에 의하고 추천되고 있는 값을 이용했다

Table 4 $k-\epsilon$ 모델의 경험정수와 난류 Pr수

C_D	C_1	C_2	σ_ϵ	σ_k	σ_t
1.44	1.92	0.09	1.0	1.3	0.7

2.3 주요계산 조건

본 계산에서 활용된 계산조건은 다음과 같다.

- 해석계산사이클 : 비정상상태 계산
- 비압축성유체계산
- 복사전열, 실내열발생, 물질간 화학반응 없음
- 계산초기온도 : 2℃
- 계산 유체 : 공기
- 열교환기 재질 : 알루미늄
- 오차범위 : 0.01%

2.4 로터형 열교환기

로터형 열교환기 원리와 계산에 모델의 형상은 Fig. 5과 같다.

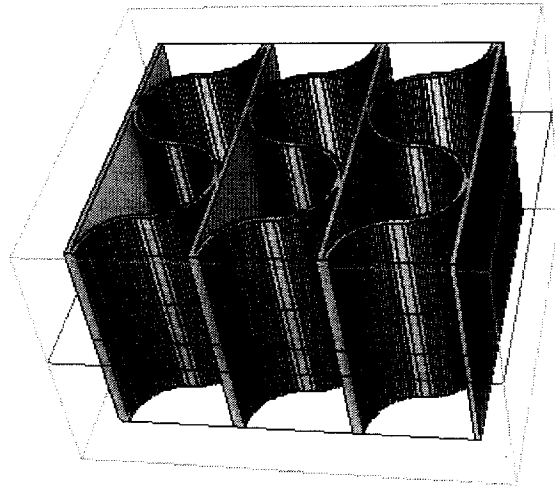


Fig. 5 calculation model of plate type

로터형열교환기의 알루미늄 두께는 각각 0.08mm, 0.1mm, 0.12mm이며 각각의 피치는 1.9mm, 2.0mm, 2.5mm이다.

Fig. 6과 Fig. 7, Fig. 8 은 박판두께 0.08mm, 피치 1.9mm의 모델, 박판두께 0.1mm, 피치 2.0의 모델, 박판두께 1.2mm, 피치 2.5mm의 모델에 대한 계산결과인 공기와 부재의 온도분포를 나타낸 것이다. Fig. 9는 박판두께 1.2mm, 피치 2.5mm의 모델에서 기류속도를 나타낸 것이다. 전체모델의 기류속도는 거의 같은 것으로 나타났다.

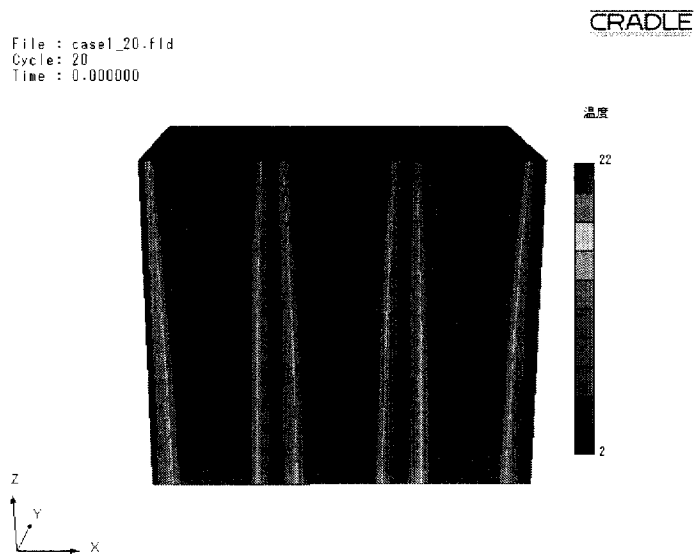


Fig. 6 rotor type (thickness 0.8mm, pitch 1.9mm)

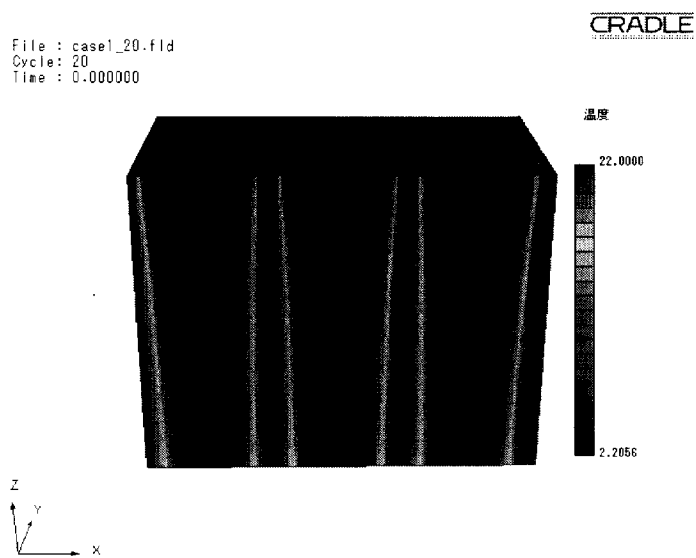


Fig. 7 rotor type (thickness 0.1mm, pitch 2.0mm)

File : case1_20.fld
Cycle: 20
Time : 0.000000

CRADLE

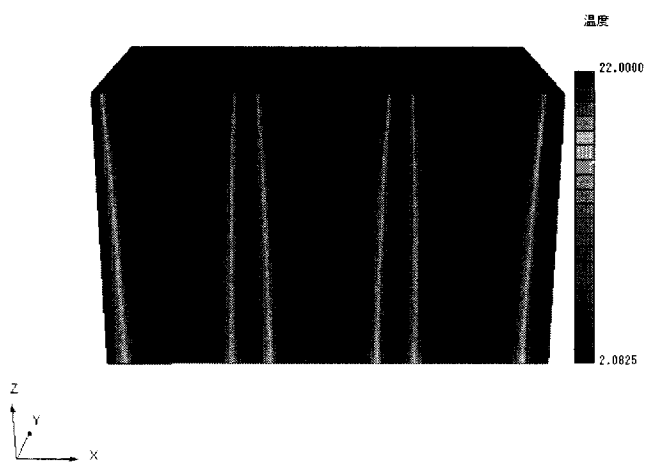


Fig. 8 rotor type (thickness 0.12mm, pitch 2.5mm)

File : case1_20.fld
Cycle: 20
Time : 0.000000

CRADLE

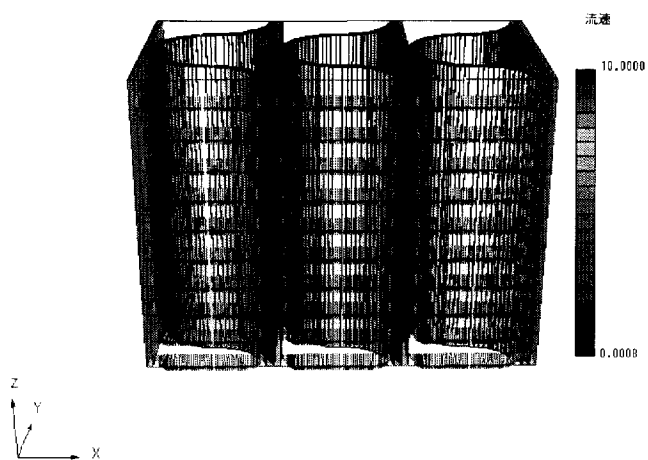


Fig. 9 Distribution of air flow

계산의 결과 각각의 모델에서 출구의 온도는 거의 유사한 것으로 나타났으며 박판두께 0.08mm, 피치 1.9mm의 경우가 출구 표면온도가 낮게 나타났다. 이는 박판의 두께가 얇으며 기류의 피치간격이 좁아 열교환이 타 모델에 비하여 활발하게 일어나는 것을 알 수 있다.

따라서, 로터형 열교환기의 경우 피치가 작은 경우에 열교환이 활발하게 일어나는 것을 알 수 있었다. 그러나, 피치가 적은 경우 박판과 공기의 마찰저항에 의한 압력저하가 크게 일어나게 되므로 설계시 고려해야 할 것으로 판단된다.

2.5 판형 폐열회수기

판형 열교환기는 박판두께 0.15mm, 엠보싱 길이 80mm, 40mm, 엠보싱 깊이 60mm, 판과 판사이의 간격은 6.5mm이며 대향류로써 공기를 흐르도록 하여 출구의 온도를 비교하였다. 계산에 활용한 판형 열교환기의 원리와 모델은 Fig. 10과 같다.

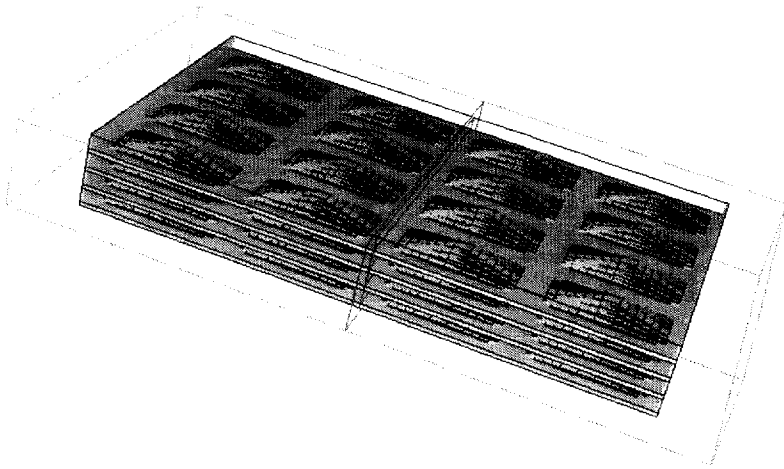


Fig. 10 calculation model of rotor type

Fig. 11과 Fig. 12는 각각 엠보싱길이 80mm와 40mm에서의 온도분포를 나타낸 것이다. 엠보싱길이가 짧으며 엠보싱이 많은 경우에 보다 많은 열교환이 일어나는 것을 알 수 있다.

판형 열교환기의 경우 같은 높이의 엠보싱이 있다면, 엠보싱의 간격이 적고 많은 수가 있을 경우 열교환에 보다 유리한 것으로 나타났다.



Fig. 11 palte type (embossing : 80mm)

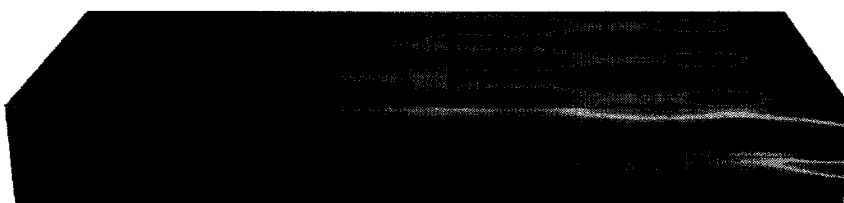


Fig. 12 palte type (embossing : 40mm)

3. 환기장치 적용에 따른 환경개선효과

3.1 측정개요

최근 건축물의 기밀성 향상과 더불어 건축 내장재 등에서 발생하는 실내 오염원의 다양화로 미세 먼지, 가스상 물질(CO , CO_2 , SO_2 , NO_2), 석면, 라돈, 포름알데히드(HCHO), 중금속, 미생물성 물질, 악취 등의 오염물질에 의한 실내 공기오염이 증가하고 있다. 이러한 물질들은 농도가 매우 낮기 때문에 쉽게 검출되지 않으며, 환기량이 부족할 경우 실내에 잔류하게 되어 건강에 해를 미치고 있다.

실내 공기질 제어와 쾌적성 향상을 위한 방안으로 실내 공기오염 발생원의 제거 또는 대체, 개선, 환기, 공기청정기 등에 의한 방법이 제안되고 있지만, 환기(Ventilation)는 가장 효과적인 실내 오염물질 제어방법으로 인식되고 있다. 환기는 실내 공기의 오염을 허용치 이하로 유지시키기 위하여 실내로 깨끗한 공기를 공급하고 오염된 공기를 실외로 배출시키는 것을 의미하며, 이때 외기 도입량 증가는 실내의 환기횟수를 증가시켜 오염된 공기를 희석시킴으로서 쾌적성을 향상시킬 수 있다.

실내의 종합적인 오염정도 또는 환기상태를 평가하는 척도로 이산화탄소의 농도를 사용하고 있으며, 이산화탄소는 주로 재실자들의 호흡에 의하여 발생하게 되므로 실내공간에서 농도가 증가하면 호흡에 필요한 산소의 양이 부족하게 되어 중요한 실내오염물질 중의 하나로 취급되고 있다.

따라서 본 연구에서는 실내 공기질 향상을 위하여 환기장치를 설치하고,

학생들이 활동하고 있는 학교 교실을 대상으로 실내공기의 환기 상태를 평가하는데 지표로 사용되는 이산화탄소의 농도가 환기장치의 작동 여부 및 환기량에 따라 어떻게 변하는지를 측정·평가함으로써 최소 필요환기량을 도출해내고, 이러한 결과를 통해 향후 학교 교실의 공기질 개선을 위한 방안을 마련할 수 있는 기초 자료를 확보하고자 한다.

3.2 측정대상 학교

측정은 부산광역시 남구 용당동에 소재하는 부경대학교 강의실에서 이루어졌으며, 해안지역에 위치하여 공해에 의한 공기오염도가 비교적 낮다. 또한 강의실이 남측에 있고 복도가 북측에 있는 일반적인 강의실의 형태이다.

측정시기는 하절기(2004년 5월 20일 5월 26일) 총 5회에 걸쳐 실시하였다.

재실 인원은 48명이며, 측정은 강의시간을 고려하여 50분간 측정하였다.

Fig. 13은 실제 공기질 측정 모습을 나타내고 있다.

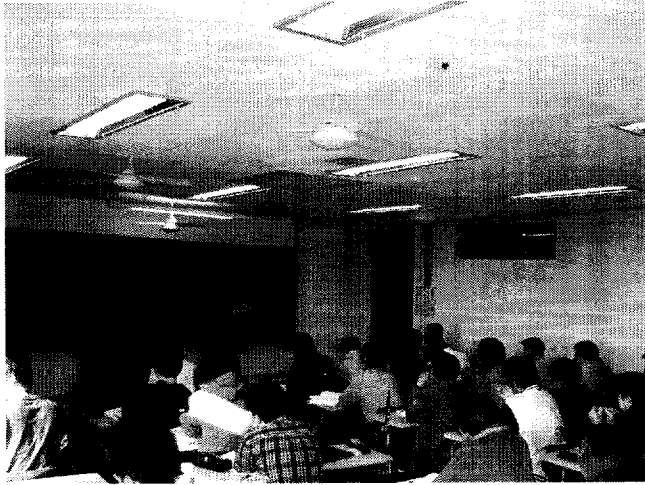


Fig. 15 Photograph of IAQ Measurement

3.3 환기장치 구성

환기장치는 천장 내부공간에 설치 가능한 500 CMH의 용량을 가진 열회수형 환기장치(Heat Recovery Ventilator)를 설치하였다. Fig. 14은 환기장치의 설치 평면도이며, Fig 15는 환기장치의 실제 모습을 나타낸 것이다. 천장의 중앙보를 사이에 두고 강의실의 전후를 구분하여 각각 1대의 환기장치를 설치하였다.

측정은 환기량 전압조절장치의 용량을 조절하여 환기장치를 가동하지 않는 조건과 강, 중, 약 4가지 조건으로 구분하여 CO₂ 농도를 측정하였다

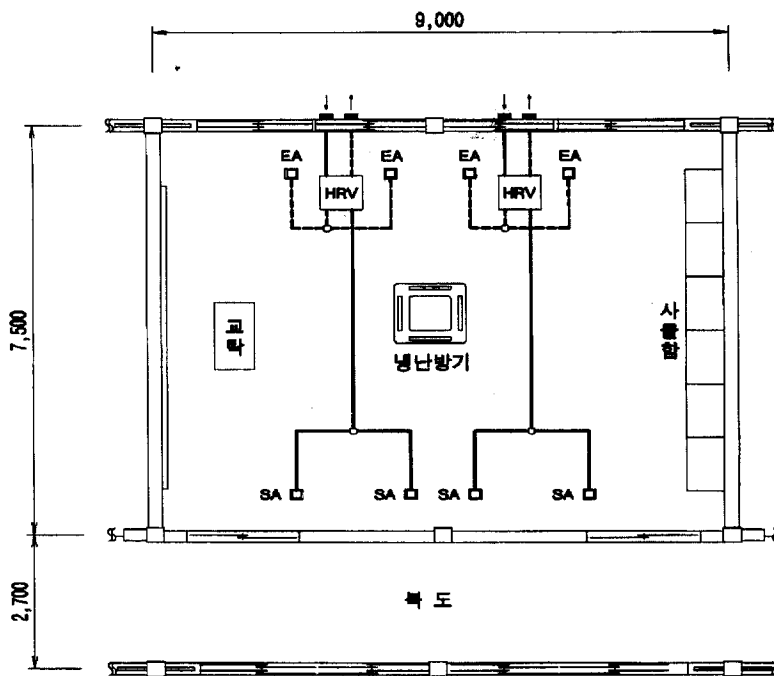


Fig. 14 Plane of the ventilating system

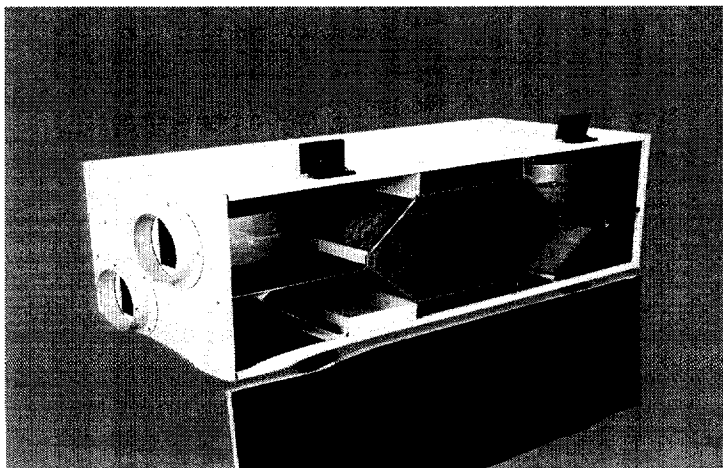


Fig. 15 Photograph of the ventilating system

환기장치는 환기구와 환기덕트, Controller, 외부 흡기구와 배기구, 폐열회수환기장치로 구성된다. 교실 창문에 설치한 외부 흡입구를 통해 신선한 외기가 유입되면 덕트를 통해 환기팬이 내장된 폐열회수환기장치로 전달이 되고 실내 급기용 기구를 통해 교실에 공급된다. 반대로 실내의 오염된 공기는 배기용 환기구와 덕트를 통해 폐열회수환기장치로 전달이 되어 외부 배기구를 통해 대기 중으로 방출된다.

3.4 측정 장비

측정대상 교실의 CO₂를 측정하기 위하여 실내오염 측정장치를 교실의 중앙에 설치하였다. Table 6 각각 측정장치의 측정범위와 정밀도를 나타낸 것이며, Fig. 16은 측정장비를 나타낸 것이다. Testo 445는 측정 항목인 CO₂와 온도, 습도를 연속적으로 측정이 가능하다. 또한, 실제 환기장치의 풍량을 Alnor의 풍량계를 활용하여 측정하였다. Fig. 17에 풍량계를 나타내었다.

Table 6 Specification of Measurement Equipment of IAQ

Equipment	Model	Measuring factor	Measuring range	Resolution
Multi-function meter logger	TESTO 445	Temperature	-50/150 °C	± 0.1 °C
		Relative Humidity	0/100% RH	± 0.1% RH
		Air current speed	0/60 m/s	0.01 m/s
		CO ₂	0/10000 ppm	00.1 ppm
		CO	0/500 ppm	0.1 ppm



Fig. 16 Testo 445

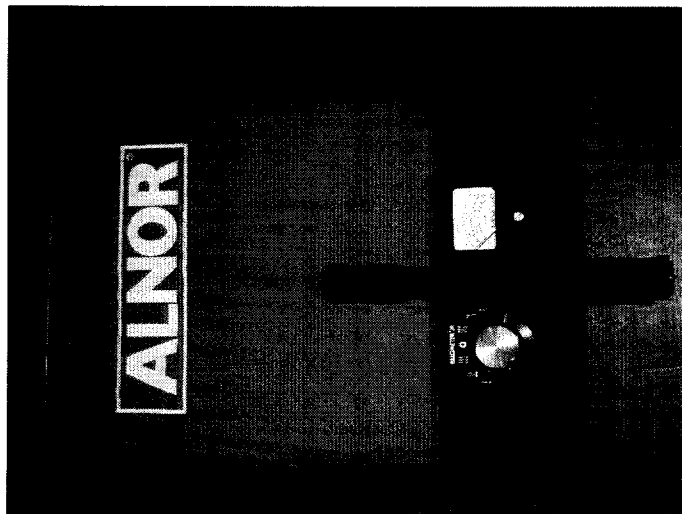


Fig. 17 Air flow meter

3.5 자연환기량

밀폐되어 있는 상태의 강의실에서도 실제로 어느 정도는 외기가 침입되고 열교환과 오염물질의 경감이 이루어지고 있다. 이러한 외기의 침입량은 실내에서 발생하는 오염물질의 확산과 분포를 파악하고, 실내 공기흐름의 적정성과 환기량 산정을 위해 정확히 측정할 필요가 있다.

학교건물 단위교실의 환기 및 기밀성능에 대한 실측데이터를 확보하기 위해 추적가스법에 의한 측정을 실시하였다.

이 방법에 의한 환기횟수 산정은 식 25와 같다.

$$N = \frac{1}{\Delta T} \times \ln \frac{C_1}{C} \quad (\text{식 25})$$

추적가스로는 국내에서 구입 및 운반이 용이하고, 현장에서 사용하기에 위험성이 적은 불활성, 불연성인 CO₂ 가스를 사용하였다. 추적가스법에 의한 실내 환기성능 측정시 가장 유의하여야 할 점은 실내로 방출된 추적가스가 실내의 기존 공기에 균일하게 확산되어 혼합될 수 있도록 팬(fan)을 이용하여 효과적으로 혼합시키는 것이다. 따라서 측정시 지속적으로 미기류를 발생시켜 추적가스를 공간 내에서 균일하게 혼합시켰다.

측정 시작 시간과 그로부터 30분이 지났을 때의 실내 CO₂ 농도를 측정하여 감소량을 구하였고, 정확한 측정을 위해 이와 같은 과정을 5회 반복하였다. 추적가스의 농도측정을 위해서 TESTO사의 multi-gas monitor를 사용하였다.

측정방법은 KS F 2603(옥내 환기량 측정방법, 이산화탄소법)에 따라 실내

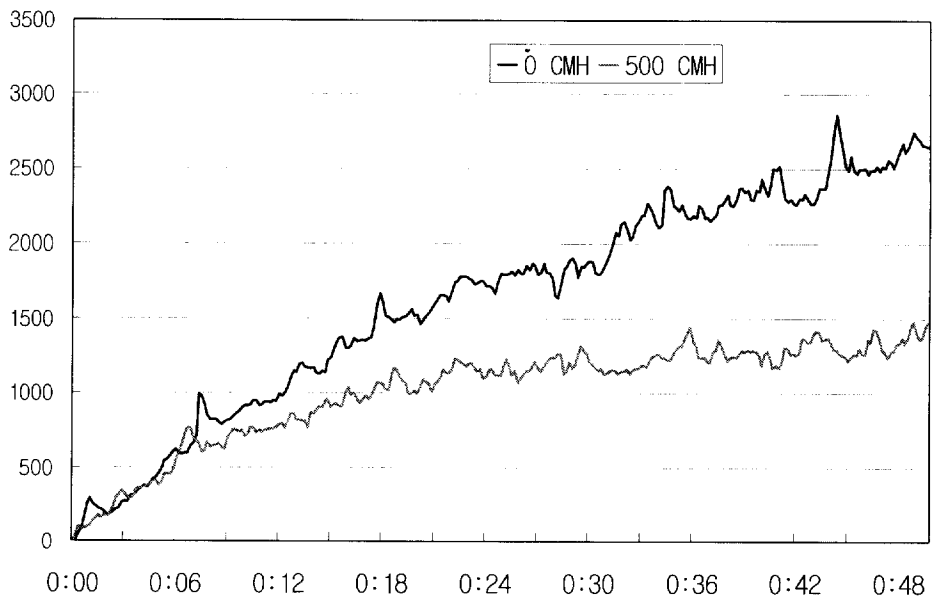
에서 이산화탄소의 발생이 정지되면, 실내 공기 중의 CO₂ 농도가 급기로 인해 감소하는 것을 측정하여 계산하는 방법을 사용하였다. CO₂ 농도의 감소량을 측정하고 아래의 Seidel의 식 26을 이용하여 누기량을 구할 수 있다.

$$Q = 2.303 \frac{V}{t} \log_{10} \frac{C_1 - C_0}{C_t - C_0} \quad (\text{식 26})$$

외부 급기의 CO₂ 농도는 평균 373 ppm으로 측정되었으며, 강의실의 체적은 171m³이다. 환기회수 $N = Q(\text{환기량}) / V(\text{교실체적})$ 으로 학교 교실의 자연환기량 측정 결과는 Table 5.4와 같으며, 평균 자연환기량은 시간당 154.8m³, 평균 환기횟수는 시간당 0.89회로 조사되었다.

3.6 측정결과 및 고찰

Fig. 18은 환기장치가 500CMH로 가동할 때와 가동하지 않을 때의 실내 CO₂ 농도의 증가를 나타낸 것이다. 가동하지 않을 경우 이산화탄소 농도의 최대치가 2685 ppm 이상 증가하는 값을 나타내었고, 500CMH의 환기가 있을 경우 1450 ppm 정도의 증가를 나타내었다. 이는 환기에 의해서 실내의 공기환경이 개선되었음을 나타내는 것이다. 또한, 환기장치가 가동되지 않을 경우 지속적으로 증가하는 반면, 환기장치를 500CMH이상 가동하면 일정수준을 유지할 수 있는 것으로 나타났다.



또한, 외부 공기의 이산화탄소 농도가 370 ppm 일 때, 수업 중인 강의실의 이산화탄소 농도를 1000ppm이하로 유지하기 위한 최소한의 외기도입량은 770 CMH, 1인당 외기도입량으로 환산하여 25.7 CMH로 분석되었다. 따라서, 학교 환경위생기준에서 규정하고 있는 1인당 최소환기량 21.6 CMH에 비하여 19% 정도 초과하는 것으로 분석되었다.

제 3 장 결 론

학교강의실을 대상으로한 환기장치 가동시 에너지 절감을 위한 수치시물레이션과 환기장치의 가동에 따른 실내공기질 개선효과에 대한 실측실험을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 수치시물레이션의 결과 로터형 열교환기의 경우 피치가 작은 경우에 열교환이 활발하게 일어나는 것을 알 수 있었다. 그러나, 피치가 적은 경우 박판과 공기의 마찰저항에 의한 압력저하가 크게 일어나는 것으로 나타났다.

(2) 수치시물레이션의 결과 판형 열교환기의 경우 같은 높이의 엠보싱에서 엠보싱의 간격이 적고 많은 수가 있을 경우 열교환에 보다 유리한 것으로 나타났으며, 마찰저항은 거의 동일한 것으로 나타났다.

(3) 학교강의실에서 폐열회수 환기장치를 가동하지 않을 경우 이산화탄소 농도의 최대치가 2685 ppm 이상 증가하는 값을 나타내었고, 500CMH의 환기가 있을 경우 1450 ppm 정도의 증가를 나타내었다. 이는 환기에 의해서 실내의 공기환경이 개선되었음을 나타내는 것이다.

(4) 환기장치가 가동되지 않을 경우 지속적으로 증가하는 반면, 환기장치를 500CMH이상 가동하면 일정수준을 유지할 수 있는 것으로 나타났다.

(5) 외부 공기의 이산화탄소 농도가 370 ppm 일 때, 수업 중인 강의실의 이산화탄소 농도를 1000ppm이하로 유지하기 위한 최소한의 외기도입량은 770 CMH, 1인당 외기도입량으로 환산하여 25.7 CMH로 분석되었다. 따라서, 학교 환경위생기준에서 규정하고 있는 1인당 최소환기량 21.6 CMH에 비하여 19% 정도 초과하는 것으로 분석되었다.

학교 건물에서 하루의 대부분을 보내는 학생들은 성인들과 비교하여 일반적으로 열악한 환경에 대한 적응력이 떨어지고, 유해 오염물질에 의한 영향을 받아 쉽게 건강을 해칠 수 있다.

따라서, 밀폐된 공간의 환기를 위한 제도의 정비와 지속적인 연구가 필요하며, 특히 실내공기질을 환경기준 이내로 유지하기 위한 환기방식에 대한 검토는 냉난방설비의 보급과 더불어 시급히 추진되어야 할 과제인 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 교육인적자원부, “학교보건법 시행규칙”, 교육인적자원부령 제 804호, 2002. 4.
- [2] C. L. Anderson, William H. Creswell, “School health practice”, The C. V. Mosby Company saint louis, 1980.
- [3] Donald B. Stone, Lawrence B. Stone, James D. Brown, “Elementary school health education ecological perspectives”, Brown Compant Publishers, 1983.
- [4] Marion B. Pollock, Kathleen Middseton, “School health instruction”, Mosby Company, 1994
- [5] W. Edward Montz et al., “Construction problems cause numerous air quality complaints in high school addition”, Indoor Air, Vol 4, pp. 968-973, 1999.
- [6] C. L. Henckel et al., “Survey of indoor air quality and pelleted complaints and building factors in Minnesota schools”, Indoor Air, Vol 1, pp. 590-595, 1999.
- [7] Indoor Environments Division, U.S. Environmental Protection Agency, “Indoor Air Quality(IAQ) Tools for Schools Kit”, EPA 402-K-95-001, 2000.
- [8] Jin Ishii, “ Field survey on thermal environment in classroom”, 25th Symposium on Human-Environment System, Part 1-4, pp. 11-14. 2001.
- [9] 신은상, 김진우,, “수원지역 초·중·고등학교 교실의 실내 공기오염도에 관한 연구”, 대한위생학회지 제17권 제1호, pp. 20-27, 2002.
- [10] 대한설비공학회, “설비공학편람”, 대한설비공학회, 2001.

- [11] 교육인적자원부, “학교보건 및 교내 환경위생 개선방안에 관한 연구”, 정책연구과제 2000-37, 2000.
- [12] 김신도, “실내공간 실내공기오염 특성 및 관리방안연구” 환경부, 2002.
- [13] ASHRAE Standard 62-1991, “Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality”, ASHRAE, 1991.
- [14] European Prestandard, “Ventilation for Building : Design Criteria for the Indoor Environment”. ENV 1752, European Committee for Standardization, 1994.
- [15] ANSI/ASHRAE Standard 55-1992, “Thermal Environment Conditions for Human Occupancy”, ASHRAE, 1992.
- [16] R. B. Holmberg, 1979, “Combined heat and mass transfer in regenerators with hygroscopic materials, J. of Heat Transfer, Vol. 101, pp. 205-210.
- [17] I. J. D. Bennett, R. W. Besant, G. J. Schoenau, 1994, “Validation of a run-around heat recovery system model”, ASHRAE Trans 94, vol. 100, part 1, pp. 230-237.
- [18] Eileen E. Chant, Sheldon M. Jeter, 1994, “A steady-state simulation of an advanced desiccant-enhanced cooling and dehumidification system,” ASHRAE Trans. 94, Vol. 100, part 2, pp. 339-347.
- [19] J. W. Mitchell, W. A. Backman, 1985, “Hybrid desiccant cooling systems in supermarkets application,” ASHRAE Trans. 94, Vol. 100, part 2, pp. 457-467.
- [20] T. J. Bradley, S. A. Hamstra, 1994, “Operating an ice rink year-round by using a desiccant dehumidifier to remove humidity,” ASHRAE Trans. 94, Vol. 100, part 2, pp. 116-121.
- [21] Shah, R. K., 1981, Compact heat exchanger design procedures, Heat

- exchangers: thermal-hydraulic fundamentals and design, Hemisphere Publishing Corp., pp. 495-536.
- [22] Kays, W. M. and London, A. L., 1964, Compact heat Exchangers, McGraw-Hill Book Co., New Youk.
- [23] 서세영, “추적가스를 이용한 열환경챔버내의 환기효율 측정 실험”, 공기조화냉동공학회 논문집 제61권, 415-420, 1997.
- [24] 한국교육개발원, “미래 학교시설 계획에 관한 연구-초·중등 학교를 중심으로”, 한국교육개발원, 1994.
- [25] 박효순, “학교건물의 냉난방시설 최적화에 관한 연구” 한국교육시설학회, Vol. 6.3, pp. 84-92, 1999.
- [26] 금중수, 성시풍, 심민섭, 고범석, 최진영, 박중환, “동계체감실험에 의한 온냉감 평가와 PMV, SET*의 적용성 검토” 공기조화·냉동공학회 하계 학술발표 논문집, pp. 170-174, 1993.
- [27] 손장열, 윤동원, 박병윤, 이정재, 이승민, “외기도입량 변화에 따른 사무소건물의 실내공기 환경특성”, 대한건축학회 학술발표논문집, 제16권 1호, 1996.
- [28] 김경환, “에어컨과 환기시스템을 적용한 실내 온열 및 환기 특성”, 대한설비공학회 2003하계발표대회 논문집, 1111-1116, 2003.
- [29] 어경희 · 윤재옥 · 정재국, “사무소 건물의 실내공기환경을 고려한 자연 환기기준 설정에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 제13권 제6호, 185-195, 1997.
- [30] 손장열 · 이정재 · 박병윤 · 문현준, “사무소 건물에서 외기도입량이 실내공기환경에 미치는 영향에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 제11권 10호, 1995.
- [31] 김경환, “에어컨과 환기시스템을 적용한 실내 온열 및 환기 특성”, 대한설비공학회 2003하계발표대회 논문집, pp 1111-1116, 2003.
- [32] 조명수, “환기장치를 적용한 학교 교실의 실내공기질 개선에 관한 연

- 구” , 부산대학교 석사학위논문, 2003.
- [33] 안철린, 신병환, 금종수, 정용현, 大西潤治, “동절기 천장형 에어컨의
취출방향에 따른 열환경 평가” , 대한설비공학회 2002하계학술발표대회
논문집, pp. 1194-1204, 2002
- [34] 안철린, 김좌진, 신병환, 금종수, “겨울철 학교 교실의 온열환경 특선
및 쾌적성 평가 연구” 한국생활환경학회지 제10권 제4호, 2003,
- [35] 안철린, 김좌진, 금종수, 박효순, “학교건물의 공기질 개선을 위한 환
기시스템 적용에 관한 연구” 한국교육시설학회지 제11권 제2호, 2004.
- [36] K. H. Lee, Y. G. Lee et al., "Indoor Air Quality and Sick Building
Syndrome in Office Buildings ", AIR '96 The International
Conference of Indoor Air Quality and Climate, ISIAQ, 1996.
- [37] AHAM Standard-1986, "AHAM Standard method for measuring
performance of household electric air cleaners", AHAM, 1986.
- [38] AIVC, "Ventilation and Building Airtightness" , Air Infiltration and
Ventilation Centre, UK, 1994.

감사의 글

오늘의 이 논문이 나올 수 있도록 아낌없는 지도를 해주시고 많은 격려 보내주신 금종수 교수님께 진심으로 감사드립니다.

석사기간동안 많은 지도와 격려를 해주신 오후규 교수님, 김은필 교수님, 김종수 교수님, 김영수 교수님, 최광한 교수님, 윤정인 교수님, 정석권 교수님께 깊은 감사 드립니다.

2년이 넘는 긴 시간동안 학업과 인격적인 성숙으로 제가 한 걸음 높은 곳으로 올라설 수 있도록 도와주신 모든 분들께 감사드립니다.

여러 가지 실험과 데이터를 산출하는 과정에서 많은 도움을 주셨던 건축환경설비 연구실 연구원들에게 감사드립니다.

함께 일하는 회사직원 여러분과 물심양면 격려와 응원을 해준 가족에게 감사의 마음을 전합니다.

이 논문이 열교환기 분야의 기술 축적에 조금이나마 도움이 될 수 있기를 희망하며, 이 모든 일들이 이루어 질 수 있게 해주신 하느님께 감사하는 마음으로 감사의 글을 마칩니다.