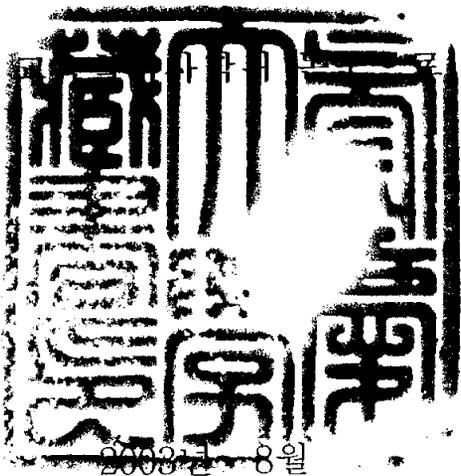
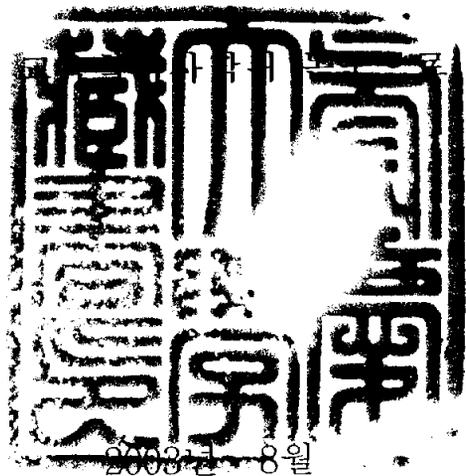


教育學碩士 學位論文

학교교실의 환기 필요성 검토

지도교수 김 종 수

이 논문을  제출함



2009년 8월

부경대학교 교육대학원

수산교육전공

정 미 경

정미경의 교육학석사 학위논문을 인준함

2003년 6월

주 심 공학박사 윤 정 인



위 원 공학박사 금 종 수



위 원 공학박사 박 종 운



<CONTENTS>

I. 서론

1. 연구배경 및 목적	1
--------------------	---

II. 본론

3

1. 실내공기질에 관한 기초이론	3
-------------------------	---

1.1 공기오염이 인체에 미치는 영향	3
----------------------------	---

1.2 학교 교실 환기의 필요성	10
-------------------------	----

1.3 실내 공기질에 대한 규정	10
-------------------------	----

(1) 실내공기 오염의 설계기준 농도(사무실)	10
---------------------------------	----

(2) 교실에서의 실내공기 오염의 설계기준 농도	11
----------------------------------	----

(3) 교실환기에 대한 국제 및 국내의 규정	12
--------------------------------	----

2. 실내공기환경조사	13
-------------------	----

2.1 학교 교실에 대한 조사	14
------------------------	----

(1) 학교 교실의 사용 실태	14
------------------------	----

(2) 교실에서의 환기 상태	14
-----------------------	----

2.2 공기질 평가를 위한 물리량 측정	15
-----------------------------	----

(1) 누기량 (옥내 환기량) 측정	15
---------------------------	----

(2) CO, CO ₂ 물리량 측정	19
--------------------------------------	----

(3) 미세먼지 물리량 측정	26
-----------------------	----

2.3 필요 환기량 계산	29
---------------------	----

III. 결론

32

참고문헌	34
------------	----

감사의 글	35
-------------	----

<List of tables >

Table 1 Environmental standard in the officeroom	11
Table 2 Environmental standard in the classroom	11
Table 3 Measurement equipment of Natural ventilation	17
Table 4 Results of measurements of ventilation mount	18
Table 5 Measurement equipment for CO, CO ₂	19
Table 6 Measurement result of CO	20
Table 7 Measurement result of CO ₂	23
Table 8 Human body effect by CO ₂ density	25
Table 8 Human body effect by CO ₂ density	26
Table 9 The CO ₂ occurrence amount by the human body activity amount	29

<List of figures>

Fig. 1 Standard of the classroom	13
Fig. 2 Multi gas Monitor	17
Fig. 3 Occurrence change of CO ₂	23
Fig. 4 Occurrence change of CO ₂ during a day	24
Fig. 5 Aerosol mass Monitor	26
Fig. 6 The occurrence amount of Dust	27

The examination on Necessity of ventilation in the classrooms

Mi-Kyong Jung

Graduate School of Education

Pukyong National University

ABSTRACT

In the present day, IAQ(Indoor Air Quality) pollution caused by high airtight of the building structure brings about a lot of diseases called 'sick building syndrom'. After the relation between health and IAQ were proved, the various regulations to IAQ were presented and considered as the standard to estimate.

This research aimed to apply the IAQ estimation to the school classroom, then find out how classroom particularity was related to IAQ, and finally investigate the necessity of ventilation.

As the method of this work, following research was done.

1, it was done to observe the diverse components of the air pollution and the causes of that in the classroom and the effects to the human body. Then it was worked to look into the regulation-application of Enforcement Ordinance on school health measure and the standard density to design on normal offices. The items to estimate on school health measure were much less used comparing to the normal office standard to design. Accepting these regulations as it is means not to consider the particularity of the school classroom.

2, it was done to measure the physical amount in the real student activating classroom. The items to measure were CO, CO₂ and dust particles. During the almost whole class the density of CO₂ was high over 1,000ppm, the same as the standard density to design. The density of CO and dust particles were low much under the standard density.

3, through calculating the necessary amount for the ventilation and estimating the leakage amount, the open air amount to bring were figured out in case of using the ventilation system with machinery equipments. If machinery equipments were operated continuously, the considerable effect could be expected.

I. 서론

건물의 냉난방 부하의 경감이라는 목적을 위해 건축 구조를 고기밀, 고단열화하는 것에 설계 목적의 중점을 두는 것은, 70년 대 에너지 파동을 경험한 이래로 현대 건축의 전반적인 추세가 되었다. 실제로 이러한 설계 방식은 에너지 비용 절감에 많은 효과가 있는 것이 사실이다. 그러나, 밀폐된 건물 구조로 인하여 대신 환기량이 감소되는 것은 당연한 결과이다.

자연환기를 통해 실내의 오염된 공기를 신선한 외부의 공기와 교환하여 일정 수준의 실내공기질을 유지할 수 있었던 과거와는 달리, 현재에는 실내공기의 오염이 재실자의 건강을 직접적으로 해칠 정도로까지 심각해져 많은 문제점이 보고되고 있다. 그래서 환기시스템 등의 기계 장치를 이용하는 인위적인 환기의 필요성이 대두되었다. 또한 적절한 환기를 위해 환기의 정확한 개념의 정립이 절실히 요구되고 있다.

특히, 학교 교실의 경우에는 공기질 오염의 위험성은 한층 더 크다고 할 수 있을 것이다. 일반적인 주거 공간과는 달리 재실자의 밀집도가 높아 실내공기가 오염되기 쉽고, 더군다나 쾌적한 공부 환경을 위해 냉난방설비를 갖추도록 법제화가 이루어지고 있는 현 상황에서 냉난방설비의 온열환경적인 측면과 에너지 비용의 측면에 집중하다보면 공기질에 대한 배려는 소홀해지기 쉽다. 학교 교실의 공기질에 대한 연구는 이런 이유에서 매우 당연하며

중요하다고 할 것이다.

미 환경 보호국 연구 결과에 따르면, 보통 실내 공기의 오염도는 실외 공기에 비해 2~5 배 정도로 알려지고 있으며 심하면 100배에 이르는 경우도 있다고 한다. WHO에 따르면 실내 공기 오염으로 인한 사망자는 연간 280 만명에 이르며 영 유아의 사망 원인 가운데 매우 중요한 원인 가운데 하나라고 보고하였다.

본 연구에서는 사무실 등의 일반적인 거주 공간에 적용되는 공기 오염 물질에 대한 제반 이론과 규정, 학교 교실을 대상으로 하는 환기에 대한 제반 규정을 조사하여 타당성을 검토하고, CO, CO₂, 부유 미세먼지 등 학생들의 활동과 호흡으로 인한 오염 물질의 발생량을 측정하여 관련 환경기준과 비교함으로써 쾌적한 교실 환경을 위한 환기에 대한 정량적인 검토를 하고자 한다.

II. 본론

1. 실내공기질에 관한 기초이론

1.1 공기오염이 인체에 미치는 영향

(1) 빌딩증후군(Sick Building Syndrome)

냉난방이 이루어지고 있는 실내에서의 공기오염, 온습도조건에 의한 질환을 통칭하여 빌딩증후군(Sick Building Syndrome)이라고 한다.

빌딩 내 거주자는 두통, 눈, 코, 인후의 자극감, 마른기침, 어지러움, 오심, 집중장애, 피곤 등을 호소하며 이러한 증상들은 대체적으로 건물을 벗어나면 곧 완화된다. 다음은 빌딩증후군의 대표적인 증상을 나타낸 것이다.

- 눈, 코, 인후의 자극감
- 피부의 가려움증, 피부 건조
- 정신적 피로, 기억감퇴, 무기력, 졸리움, 집중력 감퇴, 두통
- 어지러움, 구토증, 점막자극 등의 신경 중독성 증후
- 콧물, 눈물, 천식환자의 천식증상의 불특정 반응
- 감수성 변화, 취각과 미각의 이상

빌딩증후군의 원인은 무엇보다 공기순환이 잘 이루어지지 않기 때문이다. 최근 실내에서 근무하는 직장인을 상대로 설문 조사하여 분석한 결과

를 보면 응답자의 92%가 만성피로를 호소했고, 기타 눈충혈(69%)·어깨 통증(68%)·현기증(64%)·기침(59%)·메스꺼움(52%) 등을 호소한 것으로 나타났다. 이 결과는 실내환경의 악화가 거주자의 건강에 커다란 위협이 되어있다는 것을 말해준다.

빌딩증후군을 예방하기 위해서는 채광이나 온도, 습도, 환기나 공기정화 등의 근무환경을 자연환경에 최대한 맞추는 것이 최선책이라고 할 수 있다. 온도는 16~20도, 습도는 40~60%가 적당하다. 실내환경을 주기적으로 바꾸기 어렵다면 2~3시간마다 환기를 시켜 적당한 실내온도를 유지하고, 맑고 신선한 공기를 마시는 것으로도 효과를 볼 수 있다. 또 눈에 보이지 않는 실내 구석구석에 먼지가 쌓이지 않도록 청소를 자주 해야 한다. 잠깐씩이라도 바깥바람을 쐬면서 몸을 풀어주는 스트레칭을 하는 것이 좋고, 증상을 완화시키기 위해 물을 자주 마시는 것도 도움이 된다.

녹색식물을 키우는 것도 좋은 방법이 될 수 있다. 녹색식물은 좋지 않은 실내공기를 빨아들이고 신선한 산소를 제공하기 때문이다. 10평당 1.2미터 높이의 식물을 배치하는 것이 좋다. 형광등에서도 잘 자라는 벤자민, 고무나무, 잉글리쉬 아이비, 골든 포토스 등이 권할 만하다. 만약 채광이 잘되는 곳이라면 실내덩굴이나 국화 진달래 등도 효과를 볼 수 있다.

(2)실내 오염 물질

① 라돈

라돈(Radon) 가스는 지구상에서 발견된 약 70가지의 방사선 물질 중에서 가장 호흡기에 영향을 주기 쉬운 방사선 물질로 일반적으로 흙, 시멘트, 콘크리트, 대리석, 모래, 진흙, 벽돌 등의 건축자재 및 우물물, 동굴, 천연가스에 존재하여 공기 중으로 방출되고 있다. 라돈가스는 대기보다 9배 이상 비중이 크기 때문에 지표에 가깝게 존재하며 그 방출량은 대기압이 낮은 기간에는 더욱 증가한다. 라돈은 폐암의 발생율을 높이고 있는 것으로 보고되고 있다. 미국의 국립 방사능 방어 및 측정위원회(NCRP)에서는 미국내 연간 13만 명의 폐암사망자 중 약 5,000~20,000명이 주택 내에서 발생한 라돈가스에 노출된 영향으로 인하여 사망한 것으로 추계하고 있다.

② 담배연기

흡연시 발생하는 각종 가스, 먼지가 흡입되어 흡연자에게 호흡기질환, 폐질환, 심장질환, 폐암을 유발시키는 것으로 나타났다. 담배 연기 속에는 포름알데히드, 암모니아, 톨루엔, 아황산가스, 폐놀 같은 독성물질 및 발암물질 등이 들어있다.

담배연기는 담배를 피우는 사람이 내뿜는 연기(주류 담배연기)와 담배 자체가 타고 있을 때 나오는 연기 (비주류 담배연기)로 나뉘어지는데 독

성은 비주류담배가 더 높으나 옆 사람이 들이마시기 전 실내공기에 희석되기 때문에 실내공기 오염원으로 가장 큰 역할을 한다.

이로 인한 인체 반응은 정신집중력이 떨어지고 두통, 피로감 등의 증상이 나타나며 만성기관지염, 폐암의 원인이 되고 있으며, 어린이들은 폐렴이나 기관지염에 잘 걸리게 된다.

③ 포름알데히드

포름알데히드는 일반주택 및 공공건물에 많이 사용되는 단열재인 건축자재와 섬유옷감이 주요 발생원이 되고 있다. 또한 실내가구의 도장, 난방기구에서의 연소과정, 생활용품(접착제, 악취제거제 등), 흡연 등에서도 방출되고 있다.

보통 포름알데히드에 단기간 노출되었을 경우는 눈, 코, 목의 가려움을 나타내고 장기간 노출되었을 경우는 기침, 설사, 어지러움, 구토, 피부질환 등을 유발시키며 동물실험 결과에서는 발암성(특히 비암)인 것으로 판명되었다.

④ 미세먼지

미세먼지는 대부분이 호흡기관을 통하여 인체에 흡입되며 이들 호흡기관에 영향을 미친다. 호흡기관 내 침투하는 결정적인 요건은 입자의 크기인데, 인체에 가장 유해한 입경은 0.5~5 μ m 범위이며 특히 2~4 μ m의 범위

에서 침착물이 가장 크다. 따라서 천천히 흡입할 때 그 침착률은 증가한다. 1~10 μ m 정도의 입자는 침전, 빛의 분산 현상 및 시야를 방해하는 역할이 커지는데 0.1~1 μ m의 범위는 특히 시정에 영향을 미친다. 매연 등의 입자상 물질은 타 오염 물질(가스상)을 운반하는 작용을 하므로 피해의 양상은 더욱 가중되다.

일반 실내 건물에서의 미세먼지의 인체 영향은 실내 흡연, 환기 상태 및 거주자의 건강 상태에 따라 다르나 눈이나 목의 통증, 호흡기질환 등이 나타날 수 있다.

⑤ 석면

석면은 천연에 존재하는 광물섬유로서 그 종류는 다양하고 주로 내화성 건축자재로 석면타일, 석면시멘트 등의 형태로 많이 사용되고 있다. 또한 가정용품, 전기제품, 자동차, 비행기 등에 내열성의 공업제품으로서 다양하게 사용되고 있다. 석면은 공기 중에 석면섬유 형태의 미세한 가루로서 방출되며 쉽게 흡입되어 폐속으로 들어가 섬유조직의 증식을 유발시킨다.

석면가루에 노출될 경우, 피부질환, 호흡기질환을 유발시키고 특히 직업적으로 노출되었을 경우는 석면증(Asbestosis) 또는 폐암을 발생시키는 확률이 높은 것으로 나타났다.

⑥ 미생물

실내공기 중의 세균, 곰팡이, 각종 알레르기성 물질, 화분(Pollen), 식물의 포자 등은 일반가정에서 사용하는 생활용품이나 생활환경에서 방출되고 있다. 예를 들자면 각종 살포제, 플라스틱 제품, 페인트, 악취 제거제, 접착제, 공기정화기, 냉장고, 가습기 등은 실내 공기 중에 오염물질을 방출하고 있다. 이와 같은 오염물질은 알레르기성질환, 호흡기질환을 유발시키며 이러한 생활용품은 때때로 폐결핵 등과 같은 전염성 질환을 옮기는 매개체 역할을 한다고 할 수 있다. 실제의 예로 냉방장치와 관련된 박테리아성 질환인 레지오넬라병(Legionnaire's disease)을 들 수 있다.

레지오넬라균은 하천, 호수 등의 환경수계에 서식하는 균으로 알려져 있으면서 인공수의 하나인 냉각탑수 등에서 상당한 농도로 오염 증식하게 되어 병원이나 호텔 등 해당 건물 내 사람에게 감염을 일으킨다. 폐렴 증상이 주증상으로 잠복기가 2~10일이며 초기증세는 불쾌감, 근육통, 마른기침, 고온(39~41℃), 오한, 맥박저하, 흉통, 복통, 혼수, 설사 등이며 병세가 빠르게 악화된다.

⑦ 기타

이산화탄소(CO₂)- 이명, 두통을 일으키며 3% 이상에서 불쾌감, 5% 이상에서 호흡중추가 자극되어 호흡이 가빠지며, 10%가 넘으면 호흡곤란으로 사망하게 된다.

포름알데히드(HCHO) - 동물 실험에서 발암을 일으키고 있음이 확인되었고, 인체에 대해서도 발암의 가능성이 있는 물질로서 분류되고 있다. 민감한 사람에 있어서는 냄새만으로 알레르기 반응을 일으키는 원인 물질이다.

이산화질소(NO_2) - 호흡기질환 환자의 폐기능 저하, 감염 저항성의 감소, 면역성의 저하, 기도장애 등을 일으킨다.

일산화탄소(CO) - 인체에 산소운반 장애를 일으켜, 가장 많은 산소를 소모하는 대뇌피질이나 심장에서 산소결핍을 일으킨다. 심혈관계의 영향을 볼 수 있고, 협심증 환자는 발작을 일으키기 쉽고, 건강한 사람은 운동력이나 인지력이 저하되며, 간기능 장애자는 기능 저하상태에 이른다.

휘발성 유기화합물 - 900종류 이상의 화합물이 실내에서 검출되고 있다. 신경독성(마취, 식욕부진, 피로, 기능 장애 등), 간장독성, 발암성, 변이원성(變異原性)등을 볼 수 있다.

다환 방향족 탄화수소 - 대다수가 발암물질로서 변이원성(變異原性)을 가진다. 심혈관계에의 영향도 있다.

살충제 - 신경계, 간장, 생식기에 영향을 미친다.

방사선, 전자파 - 암(신경계), 유산

1.2 학교 교실 환기의 필요성

학교 교실은 사무실과 달리 거주자의 재실밀도가 높으며 특별활동이나 특별한 시설을 요구하는 수업을 제외하고는 큰 이동 없이 하루 중 대부분의 시간을 교실에서 체제하도록 되어 있다. 따라서, 쾌적한 공기환경을 위한 요구가 더욱 절실하다고 하겠다.

우리나라 전체 인구에서 초·중·고등학생들이 차지하는 비율은 약 23% 정도이며, 초·중·고등학생 시기에 신체와 정신의 성장발육이 가장 왕성한 시기이다. 그리고 초등교육과정에서부터 고등교육과정에 이르는 기간 동안 많은 시간을 학교에서 생활하게 되므로 학교의 환경을 쾌적하고 안정되게 만드는 것이 당연하다. 오염된 실내 환경은 학생들의 학습 의욕을 저하시키며 무거운 학습량의 부담으로 인해 체력이 저하되어 있는 학생들의 건강에 악영향을 미친다.

신설 학교의 경우 기본적으로 냉난방설비가 보급되고 있으며 기존의 학교 시설에도 추가로 다양한 형태의 냉난방설비가 설치되고 있다. 그러나, 냉난방설비를 활용하여 실내의 온습도 조건을 충족시키는 것 이외에 실내공기질 향상에 관해서도 적절한 조치가 이루어져야 할 것이다.

1.3 실내 공기질에 대한 규정

(1) 실내공기 오염의 설계기준 농도(사무실)

Table 1은 일반사무실 등의 실내 생활공간에서 발생하는 공기 오염 물

질과 설계 기준 농도를 나타낸 것이다.

Table 1 Environmental standard in the officeroom

오염물질	설계 기준 농도
CO ₂	3500ppm
CO	10ppm
부유 미세먼지	150 μ g/m ³
NO ₄	210ppb
SO ₄	130ppb
포름알데히드	80ppb
라돈	150Bq/m ³
VOC _s	300 μ g/m ³

Table 2 Environmental standard in the classroom

구 분	내 용
온 도	· 겨울철 : 18℃ 이상 20℃ 이하 · 여름철 : 26℃ 이상 28℃ 이하
습 도	· 상대습도 30% 이상 80% 이하
환 기	· 1인당 환기량 21.6m ³ /시간
이산화탄소	· 1 시간 평균 1000ppm 이하
미 세 먼 지	· 24시간 평균 1m ³ 당 150 μ g
조 도	· 300Lux 이상
소 음	· 55dB 이하

※ 학교보건법 시행령 개정 (대통령령 제17520호, 2002. 2.25), 학교보건법시행규칙 제정 (교육인적자원부령 제 804호 2002. 4.18) 가운데 오염공기, 폐기물, 소음 및 미세먼지의 예방 및 처리기준

(2) 교실에서의 실내공기 오염의 설계기준 농도

Table 2는 학교의 실내 공간에서의 실내오염 기준을 나타낸 것이다.

(3) 교실환기에 대한 국제 및 국내의 규정

ASHREA(American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers)의 실용도별 필요환기량에서 교실 기준을 살펴보면 단위교실에 요구되는 최소 환기량은 $679.608\text{m}^3/\text{h}$ 이고, 권장환기량은 $815.53\text{m}^3/\text{h}$ 이다. 학교보건법시행규칙은 환기용 창 등을 수시로 개방하거나 기계환기설비를 수시로 가동하여 1인당 환기량이 $21.6\text{m}^3/\text{h}$ 이상이 되도록 할 것을 요구하고 있다. 현재 국내학교의 실태를 살펴보면 단위교실당 학생수가 일반적으로 30~35명이고, 학교보건법시행규칙에서의 필요환기량은 $756\text{m}^3/\text{h}$ 이므로 ASHREA 기준과 별 차이가 없는 규정치를 정하고 있음을 확인할 수 있다.

2. 실내공기환경조사

실내공기환경에 관한 각종 규정들은 여러 가지 발생요인에 따른 오염 물질에 관하여 포괄적으로 다루고 있으나 본 연구에서는 평가 항목을 제한적으로 선정하여 진행하였다. 그 이유는 다음과 같다.

건축 자재에서 발생하는 오염 요소는 일반적으로 신축 학교에 대해서만 해당되며, 그 영향은 오래도록 지속되지는 않는다.

또한, 난방 연료에 의한 발생 요소는 현 시점에 있어 학교 교실에 연소 설비가 설치되어 있는 곳은 극히 일부에 국한된다고 판단하였으므로 본 연구의 범위에서는 배제하였다.

본 연구에서는 인체의 활동으로 발생할 수 있는 CO, CO₂, 미세먼지를 평가 항목으로 선정하여 환경조사를 수행하였다.

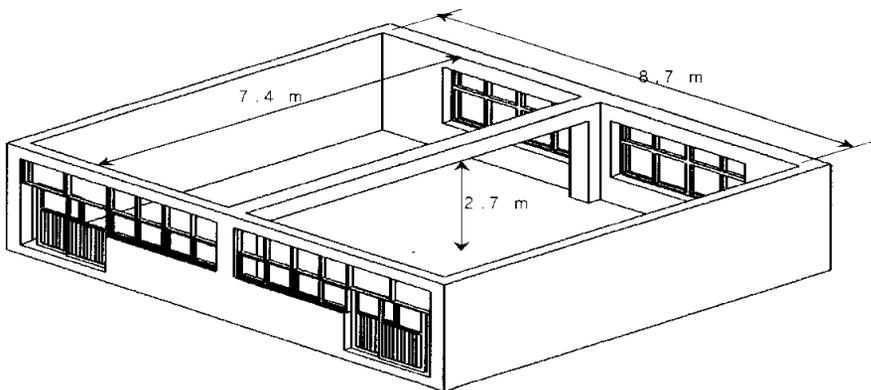


Fig. 1 Standard of the classroom

2.1 학교 교실에 대한 조사

(1) 학교 교실의 사용 실태

일반 교과 수업 외에 특별활동이나 예체능 계열 수업 외 대부분의 시간동안 거주하는 공간이다. 보통 30~35명 정도의 학생과 1명의 교사가 재실한다. 일반 교실은 방학 및 휴일을 제외하고는 매일 사용 개시 시각은 동일하나 종료시각은 각 학년별로 달라 사용 시간의 차이가 크다. 중·고등학교는 이보다도 오전 7시경부터 재실하며 오후 자율 학습 등으로 인하여 야간시간대인 오후 10시까지 (인문계 고교의 경우) 이용되는 사례도 찾아볼 수 있다.

일반적인 교실의 표준 규격은 Fig. 1에서 나타내고 있는 것과 같이 넓이 7.4m, 길이 8.7m, 높이 2.7m이다. 교실당 인원을 최대 35명으로 가정할 때, 면적이 64.4m²으로 면적당 재실자 수는 0.54人/m²이다. 교실 공간의 부피당 재실자 수는 0.25人/m³이 된다.

(2) 교실에서의 환기 상태

과거에는 일반적으로 동절기를 제외하고는 대부분의 기간 동안 창문을 개방하고 있었고, 공기가 답답하다거나 냄새가 난다는 등의 불평을 하게 되는 경우는 기상 조건이 좋지 못해 창문을 열지 못하는 경우에만 국한되었다.

그러나 특수한 경우, 학교의 입지 조건에 따라 평상시에도 주택가에 위

치하고 있는 학교의 경우에는 지속적인 생활 소음과 교통 소음, 운동장에서 날리는 먼지, 주위의 공사 현장에서 들리는 소음과 먼지 등으로 수업 시간에는 창문 개방이 곤란한 학교도 적지 않았던 것이 사실이다.

최근에 들어 냉난방설비를 사용하게 되면서 교실을 이중창 등을 사용하여 누기에 효과적인 밀폐공간으로 만들고 있고, 온열감 만족과 에너지 절약이라는 목적에 중점을 두다 보니 환기를 충분히 하지 않게 되어 전반적인 공기질이 악화되었다. 늘 습도가 높고 나쁜 냄새가 발생하기 때문에 이에 대한 학생들의 불만이 보고되고 있다.

2.2 공기질 평가를 위한 물리량 측정

(1) 누기량 (옥내 환기량) 측정

① 측정 목적

이중창 등으로 밀폐되어 있는 상태의 교실에서도 실제로 어느 정도는 외기가 침입되고 열교환과 오염 물질 경감이 이루어지고 있다. 일반적인 학교 교실에서 환기 및 기밀 성능에 영향을 미치는 주요 공기유동 경로는 창호, 출입문, 배기구 또는 배기팬, 건물 외벽 구조체 등을 통한 건물 내외부간의 공기유동과 교실과 교실 사이에서 발생하는 건물 내부간의 공기유동을 들 수 있다.

침기 및 누기량을 측정하여 건물의 환기 및 기밀성능을 정량적으로 평

가하는 것은 에너지절약 측면뿐만 아니라 쾌적한 실내환경의 확보와 거주자의 건강유지 등의 관점에서 매우 중요하다. 그리고 기계 장치를 이용한 환기 시스템을 사용할 경우 정확한 필요환기량을 계산하기 위해서는 반드시 정확한 누기량을 측정 반영하여야 한다.

② 측정 방법

측정방법은 “옥내환기량 측정방법(KSF 2603 : Method for measuring amount of room ventilation)”에 명시되어 있는 이산화탄소법(carbon dioxide method)과 “ASTM Standard E741-83 (Standard Test Method for Determining Air Change in a Single Zone by Means of a Tracer Gas Dilution)”을 기준으로 누기량 측정 방법 중 추적 가스(Tracer Gas)를 발생시키고 농도의 감쇠를 측정하여 누기량을 계산하는 방법을 사용하였다. 실내에서 추적 가스(CO₂)를 충분히 발생시킨후 실내 공기 중의 CO₂농도가 누기로 인해 혼합 환기되어 감소하는 것을 이용해 환기량을 계산하는 (Step down method, 체강법)원리이라 한다.

그리고 환기량 산출은 Seidel의 식을 사용하였다.

$$Q \text{ (m}^3\text{/h)} = 2.303 \log_{10} \frac{C_1 - C_0}{C_t - C_0}$$

Q = 급기량 (m^3/h)

V = 실내 기체의 체적

C_1 = 최초 측정시($t = 0$)에 있어서의 공기 중의 CO_2 농도 (m^3/m^3)

C_t = t 시간 후에 있어서 공기 중의 CO_2 농도 (m^3/m^3)

C_0 = 급기 중의 CO_2 농도 (m^3/m^3)

③ 측정 과정 및 결과

Table 3 Measurement equipment of Natural ventilation

사용 장치	용도
CO_2	추적가스로 사용된 CO_2 가스 발생
INNOVA Multi gas Monitor	교실 정중앙에 위치하여 CO_2 가스의 농도값 측정
TESTO 445 VAC .계측기	이동식으로 여러 지점에서 CO_2 가스의 농도의 측정

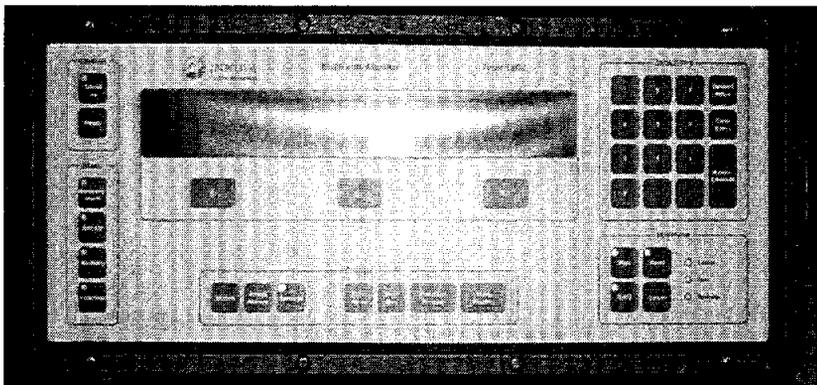


Fig. 2 Multi gas Monitor

Table 3에서는 환경 물리량 측정에 사용된 측정장비의 목록을 나타내었다. Fig. 2는 주요장비인 INNOVA사의 Multi gas Monitor의 사진이다.

측정을 위해 드라이아이스를 이용한 CO₂ 발생 장치를 제작하여 사용하였는데 추적 가스(Tracer gas)를 발생시켜 교실의 정중앙 PL+1.1m 위치에 설치된 Multi gas Monitor를 통해 시작 전 농도 (C₁)와 30분 후 농도 (C₂)를 측정하였다.

그리고, 이동 측정이 가능한 TESTO 445 VAC를 이용하여 Multi gas Monitor의 측정값이 교실 내의 다른 위치에서도 동일하게 측정되는지를 확인하였다. 이는 CO₂ 가스가 전체의 공간에 고르게 분산되어 있는지를 확인하여 측정의 정확도를 높이고자 한 것이다.

실내 CO₂ 발생량의 기준이 되는 실외의 CO₂ 농도를 측정하였는데 평균 550ppm으로 측정되었다. 창문을 완전히 밀폐한 후 냉방기를 가동하고 교실 내에 CO₂발생기를 이용하여 CO₂를 발생시키고 TESTO 445 VAC를 이용하여 충분히 균일한 농도가 되는 때를 확인하고 측정을 시작하였다. 그리고 30분 경과 후의 CO₂농도를 측정하였다. 실험의 신뢰도를 높이기 위하여 실험을 5회 반복하였다. Table 4는 누기량 측정결과를 나타낸 것이다.

Table 4 Results of measurements of ventilation mount

	시작전 농도 (C ₁)	30분 후 농도 (C ₂)	환기 회수
1회	6319ppm	4071ppm	0.98
2회	6220ppm	4018ppm	0.98
3회	5290ppm	3624ppm	0.87
4회	4715ppm	3133ppm	0.95
5회	6083ppm	4134ppm	0.86
평균			0.93회

(2) CO, CO₂ 물리량 측정

① 측정 목적

냉난방 시스템을 가동하는 동안 창문을 완전히 닫아두어 환기가 이루어지지 않는 상태를 측정 조건으로 설정하였다. 그리고 수업중인 학생들의 활동으로 인한 CO, CO₂ 발생의 물리량과 발생 성향을 측정하였다.

② 측정 장비

Table 5 Measurement equipment for CO, CO₂

사용 장치	용도
INNOVA Multi gas Monitor	교실 정중앙에 위치하여 CO, CO ₂ 가스의 농도값 측정
TESTO 445 VAC 계측기	이동식으로 여러 지점에서 CO ₂ 가스의 농도의 측정, 0.5분 간격으로 데이터 자동 채집

INNOVA Multi gas Monitor를 이용하여 CO, CO₂ 의 순간적인 농도를 측정하였다. CO₂에 대해서는 시간의 흐름에 따른 연속적인 성향을 살펴 보기 위해 TESTO 445 VAC 계측기의 자동 데이터 저장 기능을 사용하여 0.5분 단위로 데이터를 수집저장하였다.

③ 측정결과

가) CO 물리량

Table 6은 부산광역시 소재의 초, 중, 고등학교 각각 1학급의 남학생 교실을 대상으로 CO 발생량을 측정한 것이다.

Table 6 Measurement result of CO

측정 시간	활동 성격	측정 대상 학교별 측정값		
		분포초등	분포중	경남고등
11:00	수업, 창문 밀폐	1 ppm	1 ppm	0.7 ppm
11:50	휴식, 출입문 개폐	1 ppm	1 ppm	0.7 ppm
13:00	재실자 입실, 창문 완전 개방	0.9 ppm	1 ppm	0.8 ppm

CO의 농도에 대해서는 학교 보건법에서 별도의 허용 농도를 정해두고 있지 않다. 그래서 대신 일반적인 사무실의 설계기준 농도를 적용하였다. 측정 결과에서 나타난 전체적인 경향을 살펴보면 CO의 농도는 설계기준 농도인 10ppm에 크게 미치지 못하는 것으로 나타났다. 일반적으로 CO의 발생요인 가운데 가장 큰 영향을 주는 요인인 연소기기가 현 시점에서는 교실 내에 설치되어 있지 않고, 일반 사무실과는 달리 흡연으로 인한 CO 발생이 없기 때문으로 판단된다.

측정 시간을 Table 6과 같이 구분한 것은 이러한 시간대가 교실 내에서의 학생들의 행동의 패턴을 모두 반영하고 있는 시점이기 때문이다. 그리고 학교 선정에 있어서도 대상학교를 초·중·고등학교를 모두 포함하여 선정한 것은 만약 CO 발생에서 인체의 대사량에 따른 차이가 나타난다면 적절하게 반영하기 위한 것이다.

측정 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

시간대별로 CO의 농도의 차이가 발생하지 않은 데에서는 CO의 발생 원인이 인체 대사로 인한 것이 아니라는 것을 확인할 수 있다.

부산광역시 남구 소재의 분포 초등학교와 분포 중학교는 대규모 아파트 단지 내에 있는 학교이며, 인근 도로의 교통량도 많은 편이었다. 부산광역시 서구 소재의 경남 고등학교는 산비탈에 위치하며 수목이 많은 주위 환경 속에 자리잡고 있었다. 분포 초등학교와 분포 중학교의 경우 CO는 1ppm 정도의 농도가 동일하게 검출되었고, 경남고등학교는 0.7ppm이

검출되었다. 교실 내에서의 CO 농도는 전적으로 외부 환경으로부터 영향을 받고 있고, 교사 내부에서의 발생에 영향을 거의 받지 않는다. 이는 교실 바깥에서 별도로 행한 CO 농도 측정에서 확인할 수 있었다.

나) CO₂ 물리량

CO₂는 초, 중, 고등학교에서 각각 재실자의 인원이 35명인 학급, 남학생 교실을 선정하여 측정하였다. 부산광역시 남구 소재의 분포 초등학교와 분포 중학교, 부산광역시 서구 소재의 경남 고등학교로 CO 발생량을 측정한 학교와 동일하다. 본 연구에서는 CO₂를 인체의 활동으로 발생하는 가장 대표적인 오염물질로 파악하고, 환경 평가의 종합적 지표로서의 관점과 단독지표로서의 관점을 함께 적용하였다. 또한, 시간의 경과에 따른 CO₂ 농도의 변화에 관심을 두고 관찰하였다. 즉, 시간대를 구별하고, 학생들의 활동 성향에 대한 관찰을 통해 오염 물질 발생 성향을 예측하고자 노력하였다. Table 7에서 나타낸 것처럼 실제 측정 시간은 오전 11:00에서부터 오후 13:10까지이다. 이러한 측정 시간을 택한 이유는 이 기간 동안은 '3교시', '휴식 시간', '4교시', '점심 시간', '점심 시간 이후의 긴 휴식 시간'을 모두 포함하고 있어 시간 구분이 가능하며, 학교에 머무르는 동안의 활동 패턴을 모두 포함하고 있기 때문이다. 수업 중인 교실을 대상으로 한 실측에서는 학생들의 생활 패턴을 측정자가 통제할 수 없고, 또한 단순한 하루 동안의 측정결과 수집으로는 대상 학교 간의 비교가 불가능할

것으로 예측하였다. 그래서 특정 시간 내의 결과를 통해 일정한 패턴을 찾아 전체 시간 동안의 발생 성향을 예측하는 것을 목표로 한 것이다.

측정 결과에 대한 전체적인 분석에 의하면 CO₂의 공기 오염의 총합적 지표로서의 설계 기준 농도인 1000ppm을 대부분의 시간 동안 초과한 것으로 나타났다. 그러나 단독 지표로서의 설계 기준인 3500ppm에는 미치지 않았다. Fig. 3에서처럼 측정 대상 학교 3개 학교의 교실 모두에서 발생량과 발생의 패턴은 큰 차이가 나타나지 않았다.

Table 7 Measurement result of CO₂

실제 측정 시간대	활동 성격	측정 시작 시점의 CO ₂ 농도 (ppm)		
		분포초등	분포중	경남고등
11:00-11:45	수업 중, 창문 밀폐	769	856	687
11:45-11:55	휴식, 출입문 개폐	1827	2032	1811
11:55-12:40	수업, 창문 밀폐	1658	1723	1632
12:40-12:50	전원 식당으로 이동, 창문 완전 개방	2145	2196	2043
12:50-13:10	재실자 입실 창문 완전 개방	577	560	533

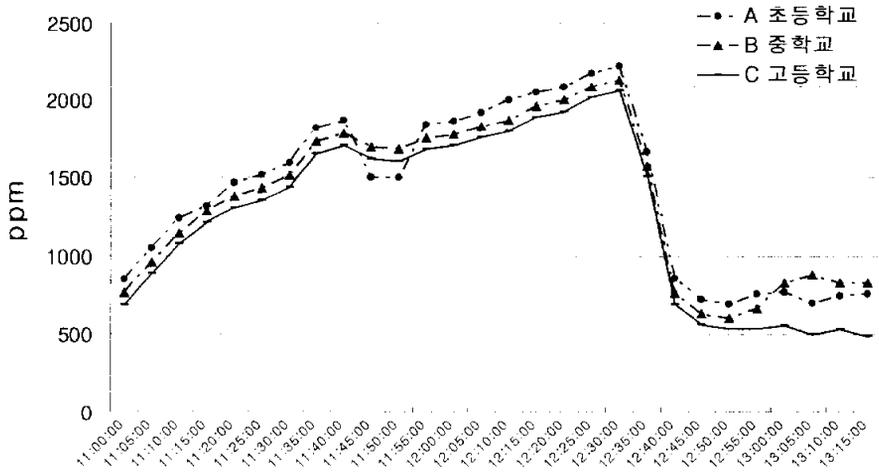


Fig. 3 Occurrence change of CO₂

시간대별로 구분하여 분석하였다. 2시간의 수업 가운데 10분 간의 휴식 시간이 있고 (11:45~11:55) 이때는 창문은 열지 않은 상태에서 학생들이 출입문을 드나들면서 다소간의 외기 유입이 이루어져 약간의 농도 감소를 관찰할 수 있다. 창문 밀폐 상태에서 수업이 진행되는 동안 (11:00~12:40) CO₂ 농도는 지속적으로 증가하여 최고 2200ppm 정도까지에 이른다. 점심 식사를 위해 학생들이 모두 교실을 비우고 창문을 완전히 개방하여 내부 공기를 완전히 환기시킨다. 이때의 CO₂ 농도는 550ppm이다.

이러한 결과를 조합하였다. Fig. 4는 학생들이 09:00에서 17:00 사이에 거주하며 창문을 완전 개방하는 환기를 2시간마다 행할 경우를 가정하였을 때의 CO₂ 농도를 나타낸 것이다.

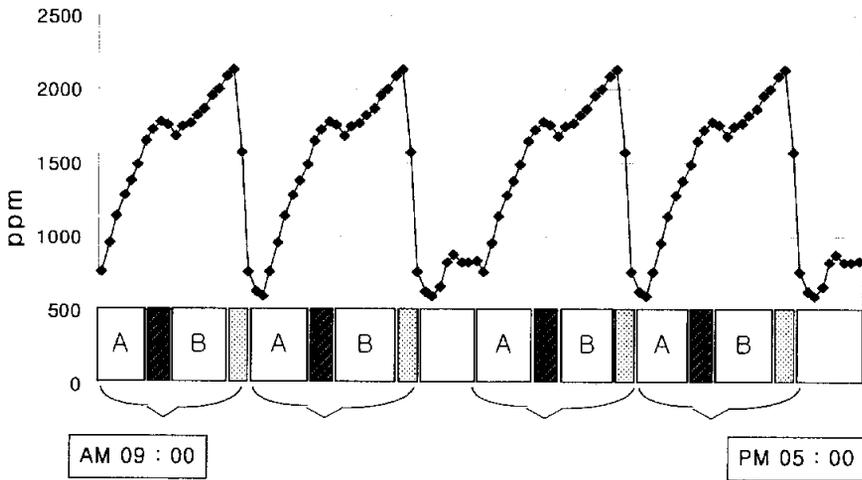


Fig. 4 Occurrence change of CO₂ during a day

초기 상태는 창문을 완전히 개방한 상태에서 학생들이 재실한 (A)시간 대로 이때의 측정 농도는 750ppm, 창문을 완전히 닫은 후 곧 설계기준 농도인 1000ppm에 도달하게 된다. CO₂농도는 지속적으로 증가하여 1800ppm에 도달하게 된다. 사선으로 나타낸 시간대는 창문 개방을 하지 않고 출입문으로 재실자가 출입하는 동안으로 약간의 농도 감소가 나타난다. 이어진 수업 시간 (B) 시간대에서는 초기 상태가 1700ppm 근처일 때 수업이 시작되고 곧 2000ppm을 초과하였다. 회색 띠는 창문을 완전히 개방하여 환기를 해주는 시간대인데 단시간에 외기의 CO₂농도에 근접한 700ppm 정도로 회복되었다. 결과적으로 학생들이 교실에 머무르는 대부분의 시간동안 규정치인 1000ppm을 초과하는 것으로 나타났다. Table 8

에서는 CO₂농도의 수준별로 인체에 미치는 영향을 나타내었다. 측정 기간 동안의 CO₂만으로는 인체에 별다른 영향을 미치지 못한다는 것을 알 수 있다.

Table 8 Human body effect by CO₂ density

공기 중 CO ₂ 농도	증 상
2500ppm	수시간 호흡해도 일반 장애는 없다.
3000ppm	무의식중에 호흡수가 증가, 호흡량 증가
4000ppm	국소적 자각증상, 머리의 압박감, 두통, 이명, 심계항진, 혈압 증가, 흥분, 현기증, 구토.
6000ppm	스스로 호흡량이 증가함을 느낄 수 있다.
8000ppm	고도의 호흡 곤란 증상
10000ppm	급격히 의식불명, 호흡 정지. 심장 박동은 유지
20000ppm	수 초 사이 사망한다.

(3) 미세먼지 물리량 측정

① 측정 방법

제실자의 활동에 따른 미세먼지 발생량을 측정하는 방법을 택하였다. 제실자의 인원수, 수업의 과목에 따른 제실자 행동량에 따라 결과의 차이가 발생할 수 있기 때문에 가장 보편적인 인원 수 (35명), 일반적인 수업

시간의 교실을 선택하여 10분 간격으로 2시간 동안 측정하였다. 측정 장소는 부산광역시 소재의 분포 중학교이다.

② 측정 장비

측정장비로는 Respirable Aerosol Mass Monitor (Piezobalance, Model 3511, KANOMAX사)를 사용하였다.(Fig. 5) 이 장비의 특성은 공기 중의 부유물질을 1 l/min의 유량으로 정전식 집진 챔버에 빨아들여 95%의 효율로 0.10~10 μ m 이하의 미세먼지의 농도를 측정할 수 있다.



Fig. 5 Aerosol mass Monitor

③ 결과

교실을 선택하여 재실자에게 영향을 직접적으로 받지 않는 교실 후면 PL+1.1m 높이의 위치에 측정 장치를 설치하였다.

창문을 완전히 밀폐하도록 하고 냉방기를 가동하고 10분 간격으로 측

적되는 미세먼지량을 측정하였다. 측정 시간대는 수업 3~4교시와 점심 시간이며 수업 가운데 10분 간의 휴식 시간이 있다. Fig. 6에서는 10분 간격으로 측정한 미세먼지 농도를 그래프로 나타내었다.

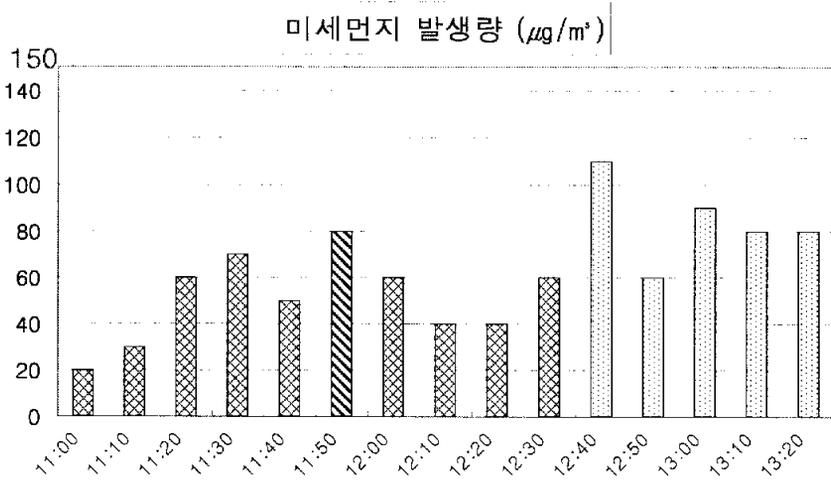


Fig. 6 The occurrence amount of Dust

미세먼지 농도는 최고값이 110µg 가량으로 측정을 행한 모든 시간 동안 설계기준 농도에는 미치지 못하였다. 이는 각 교실의 출입시 실내화를 착용하도록 함으로써 외부에서 유입될 수 있는 오염원을 많은 부분 감소시켰기 때문으로 판단된다.

미세먼지 발생의 패턴을 파악하고 분석하였다. 일반적으로 측정농도가 가장 높게 측정되는, 재실자의 활동이 활발한 휴식시간 (11:45, 사선으로 표시)과, 점심시간에 학생들이 전원 식당으로 이동하기 위해 움직이는 가

장 활동량이 많은 시점에서도 기준 농도 $150\mu\text{g}$ 에 미치지 못하는 측정농도만이 검출되었다. 그 원인으로는 현재 교실당 학생 수가 과거에 비해 줄어들어 전체적인 활동량 또한 크게 줄었다는 이유, 그리고 실내화와 실외화의 구분으로 인해 외부에서 묻어들어오는 먼지의 양이 크게 줄어들었다는 이유 등을 추측할 수 있다.

그리고 수업 시간으로 (11:00~11:45, 그물무늬로 표시) 학생들의 활동이 매우 제한된 상태에서도 측정농도가 일변도로 감소하지 않고, 오히려 때에 따라 약간이나마 증가하기도 하는 현상이 발견되었는데, 이는 부유미세먼지 발생이 학생들의 활동으로 인한 것만이 아니라 냉방기에서 토출되는 기류의 영향을 지속적인 받기 때문으로 이해할 수 있다. 최고치는 12:40분으로 학생들 전원이 점심 식사를 위해 식당으로 이동하는, 가장 활동량이 많은 시점이다.

2.3 필요 환기량 계산

(1) 관련 규정 및 권장환기량

ASHREA의 실용도별 필요환기량 기준 : 최소 환기량 $679.608 \text{ m}^3/\text{h}$, 권장 환기량 $815.53 \text{ m}^3/\text{h}$.

학교보건법시행규칙 중 환기·채광·조명·온습도의 조절기준 (제3조제1항제1호관련) : “환기용 창 등을 수시로 개방하거나 기계환기설비를 수시로

가동하여 1인당 환기량이 21.6 m³/h 이상으로 할 것” (최대 인원이 35명일 때, 교실의 필요 환기량은 756 m³/h)

Table 9 The CO₂ occurrence amount by the human body activity amount

작업중의 에너지 대사율	CO ₂ 호출량 (m ³ /h)	계산채용호출량
편히 쉴 때	0	0.011
앉아서 사무 작업	0 ~ 1.0	0.0129 ~ 0.0230
천천히 걸음	1.0 ~ 2.0	0.0230 ~ 0.0330
경노동	2.0 ~ 4.0	0.0330 ~ 0.0538
보통 노동	4.0 ~ 7.0	0.0538 ~ 0.0840
심한 노동	7.0 이상	0.0840 이상
		-

(2) 필요 환기량 계산

가스가 일정량 M (m³/h)이 발생하는 경우 환기량 Q(m³/h)와 가스가 발생하는 실의 농도 및 시간과의 관계는 다음 식으로 나타낸다.

$$K_2 = K_0 + (1 - e^{-Qt/V}) M/Q + (K_1 - K_0) e^{-Qt/V}$$

(위의 식은 朴楗侏 著, 建築環境工學, 技文堂 2002에서 인용)

K₀ : 외기에 포함된 가스 농도

K₂ : t 시간 후에 달하는 가스농도

K₁ : 환기 시작시의 실의 가스 농도

V : 실용적

Q : 환기량

이 때, K_2 를 허용농도로 보고 필요한 Q 를 구하면 필요환기량이 도출된다. 교실에 거주하는 인원을 교사 1인, 학생 35인으로 가정할 때, Table 9의 인체 활동량에 대한 CO_2 발생량에 따라 활동 상태를 알아서 사무 작업을 하는 정도를 적용하면 일인당 CO_2 발생량은 $0.022m^3/h$ 이고 실원 전체의 발생량은 $0.792m^3/h$ 이다. CO_2 허용농도를 1000 ppm, 도입 외기의 CO_2 농도를 550ppm으로 설정하였다.

환기 시작시의 실내 가스 농도가 외기 가스 농도와 동일하다고 가정하면

$$K_1 = K_2, \quad Q/V = \text{환기회수 } E$$

이때 환기량은 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$Q = M / (K_2 - K_0) = EV$$

계산결과 필요 환기량 Q 는 $1760m^3/h$ 로 계산되었다. 교실의 부피가 약 $174 m^3$ 으로 환기회수 E 는 약 10회 가량이 된다. 누기량 측정 결과 환기 회수는 1회 가량으로 $174 m^3$ 가량의 누기가 발생한다. 기계 장치를 이용한 환기 시스템을 사용한다고 하면 도입되어야 할 외기량은 $1586 m^3/h$ 가량이 된다.

Ⅲ. 결론

교실의 공기질 물리량 측정, 조사를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

CO₂ 물리량 측정에 의하면, 창문을 완전히 닫아놓은 상태에서 재실자로 인해 발생하는 CO₂의 농도는 수업이 시작되고 곧 허용 규정치인 1000ppm에 육박하며 그러한 초과 상태를 대부분의 시간 동안 유지하게 되는 것으로 나타났다.

CO의 발생량은 허용 규정치인 10ppm에 크게 미치지 못하는 정도인 1ppm 미만으로 검출되었다. CO 농도는 교실 환경 평가를 위한 항목에 포함되어야 할 중요성이 적은 것으로 나타났다.

부유 미세먼지 측정에 의하면, 수업 시간에 부유하는 미세먼지의 양은 기존에 발표된 연구 결과에 비해 매우 적은 양만이 검출되었다. 이는 학생들이 출입할 때 실내화를 갈아신게 함으로써, 실외에서 묻어 들어오는 먼지의 양이 크게 경감되었고, 한 교실당 수용하는 학생 수가 과거에 비해 많이 감소한데 (최대 35명 가량) 그 원인이 있다고 결론지었다. 가장 활동량이 많을 때에도 허용농도에 근접하지 못하는 110 μ g 정도로 검출되었다. 이 농도는 24시간 평균 150 μ g 이내라는 규정에 미치지 못한다. 그러나 냉난방기 사용으로 인한 미세먼지 발생도 발견할 수 있었고, 이러한 냉난방기 사용시 미세먼지 발생 원인을 감소시키기 위한 고려를 해야하는 것으로 나타났다.

적절한 환기 시스템을 사용하지 않으면서 밀폐 상태에서 수업을 할 경우에는 대략 1시간 수업이 끝날 때마다 창문을 완전 개방하여 환기를 해주어야 하는 것으로 나타났다.

창문 개방을 통한 적절한 실내공기질의 유지가 어려운 경우에는 기계 장치를 이용한 환기 시스템을 사용하여야 하며 이때, 도입되어야 할 외기량은 1586 m³/h 가량이다.

참고문헌

1. KS 규정, 옥내환기량 측정방법 (이산화탄소법) Method for measuring amount of room ventilation (carbon dioxide method) KS 규정 F 2603
2. ASTM Standard E741-83"Standard Test Method for Determining Air Change in a Single Zone by Means of aTracer Gas Dilution
3. 학교보건법 시행령 개정 (대통령령 제17520호, 2002. 2.25), 학교보건법 시행규칙 제정 (교육인적자원부령 제 804호 2002. 4.18), 오염공기 폐기물 소음 미세먼지의 예방 및 처리기준 (제3조 제1항 제3호 관련)
4. Jin-Woo Kim, Eun-Sang Shin, 대한위생학회지 17권 제1호, 2002년. A Study on the Indoor Air Pollution Levels in the Classroom at Public Schools in Suwon
5. Myung-Do Oh, 空氣調和 冷凍工學會 제 19卷 제 6號 1990년. Contamination Control and Air Cleaning system for Indoor Air Quality
6. 朴揆侖 著, 建築環境工學, 2002, 技文堂

감사의 글

본 논문을 완성할 수 있도록 지도해 주신 수산교육과의 김삼곤 교수님과 박종운 교수님, 장한기 교수님, 황희숙 교수님, 그리고 냉동공조공학과와 오 후규 교수님, 김중수 교수님, 김영수 교수님, 최광환 교수님, 윤정인 교수님 외 모든 교수님들께 감사의 말씀을 드립니다. 특히 석사 과정동안 지도교수님으로 많은 지도와 관심을 베풀어주신 금중수 교수님과 함께 연구해 주신 건축환경설비 연구실의 모든 실험실원 여러분께 깊은 감사를 담아 드립니다. 그리고, 실험 측정을 위해 협력해 주신 분포 초등학교, 분포 중학교, 경남 고등학교 학생 및 교직원들에게도 특별한 감사를 드립니다.

29년 동안 저를 낳아주시고 길러주신 아버지와 어머니, 항상 제 곁에서 은은하고 따뜻한 힘이 되어준 남편에게 고마움을 전합니다

그리고 이 석사 과정을 졸업할 수 있도록 배려해 주신, 제가 근무하고 있는 완도 수산고등학교의 홍성수, 박우길, 최형철, 조영식 선생님과 교감, 교장 선생님께 감사드립니다.

이 밖에도 저를 아는 모든 분들께 이제까지의 제 삶에 영향을 준 것에 깊은 감사의 마음 전하며 항상 건강하고 웃음 잃지 않으시길 바랍니다.

이번 논문을 통하여 작은 논문이지만 얼마나 많은 분들의 도움이 필요한지 직접 느끼게 되었습니다.

다시 한번 이 모든 분들께 감사 말씀 드리며, 특히 저를 끝까지 믿어주고
항상 뒤에서 힘이 되어주신 어머니와 남편에게 이 세상의 모든 기쁨과 슬픔
을 함께 나눌 소중한 사람이라는 말을 남기며 이 논문을 드립니다.