

# 한랭기후에서 학교건물의 외벽을 통해 직접적으로 외기를 공급하는 단순화된 환기시스템의 평가

Mads Mysena, Peter G. Schilda, Vidar Hellstranda, Kari Thunshelle  
 Energy and Buildings 37 (2005) 157-166

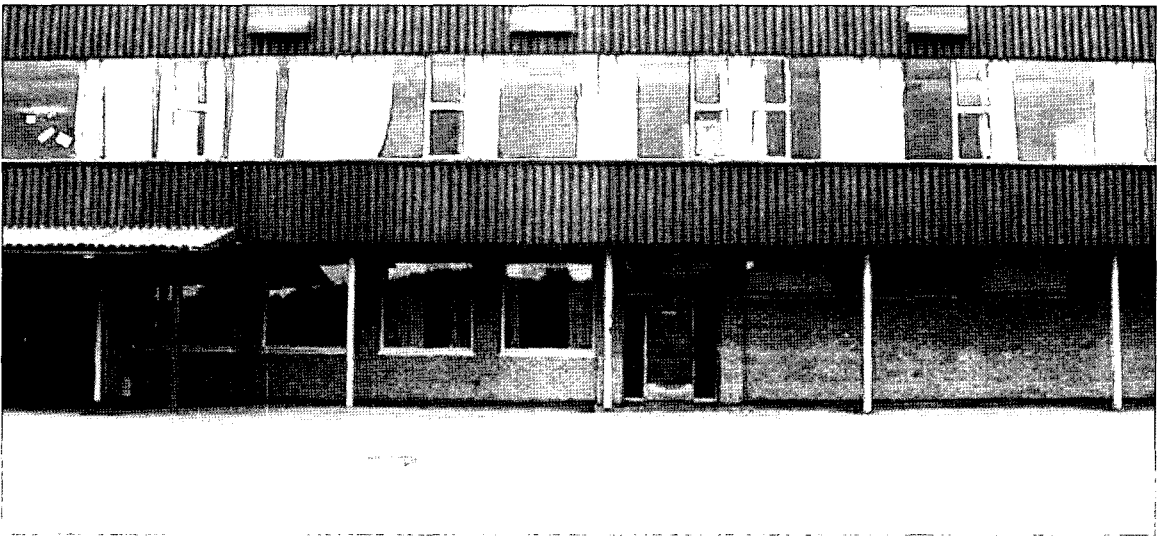
번역 : 송 두 삼 / 성균관대 건축공학과 교수(dssong@skku.edu)  
 이 명 규 / 성균관대 건축환경연구실

## 서론

기계식 환기시스템으로 학교건물을 개수하는 것은 상당히 많은 비용이 소요되며, 중앙공조기 및 덕트 설치공간의 부족으로 인해 건물에 적용하는 것에도 문제가 있다. 이런 이유로 단순화된 환기시스템의 적용이 추진되고 있다. 노르웨이의 Revetal 중학교는 개수가 되었는데, 건물면적은 5,882 m<sup>2</sup>이며, 환기시스템을 개수하는데 책정된 비용은 대략 50만

유로였다. 그러나, 새로운 밸런스를 고려한 기계환기 시스템(balanced fmechanical ventilation, BMV)을 설치하는데 대략 100만 유로 정도가 소요된다. 그래서, 설계팀은 다른 대안을 찾을 수 밖에 없었으며, 건물 외벽에서 비공조된 외기를 도입하고, 단열된 덕트와 급기노즐을 통해 천장레벨에서 교실로 분배되는 간단한 환기시스템 그림 1을 채용하기로 하였다.

각 교실에서의 배기덕트는 지붕레벨의 중앙팬으로



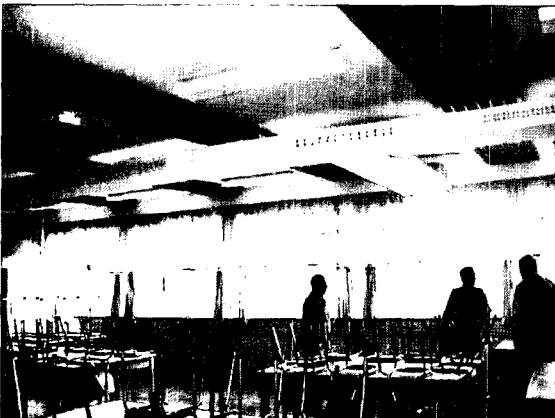
[그림 1] 각 교실 천장레벨의 정면에 설치된 공기 유입구

집결된다. 이를 통해 교실에 항상 부압이 걸리도록 하였다. 외기 공급량은 각 교실의 CO<sub>2</sub>와 온도가 통합된 센서에 의해 조절되며, 이것에 의해 각 교실의 배기덕트 내에서 댐퍼가 조절된다. 센서는 바닥에서 약 1.6 m의 위치의 교실 내벽에 설치되었다. 측정기간 중에 외기도입량은 실내 CO<sub>2</sub>농도가 800 ppm이하가 되도록 조절되었다. 또한, 만약 센서의 온도가 19℃이하가 되면 배기용 댐퍼가 닫히도록 하였다.

교장선생님에 의하면 실내환경은 만족스러우며, 비록 건물의 환기회수가 개수 전에 비해 월등히 증가하였음에도 불구하고 에너지소비는 개수 후에 그다지 증가하지 않았다고 한다. 학교에는 수영장이 있으며 구체적인 에너지소비량은 2002년에 218 kWh/m<sup>2</sup>이었다. 평균적으로 보면 다른 학교의 경우 237 kWh/m<sup>2</sup>이다<sup>1)</sup>. 만일 열회수 히트펌프를 사용하여 배기쪽의 열을 회수하게 되면 에너지 비용은 더 절감할 수 있을 것이다. 이 가능성에 대해서는 아직 규명되지 않았다.

이 환기시스템은 매우 흥미로운데, 사용자의 만족도를 제외하더라도, 이것은 설치비용이 매우 낮으며, 배기열 회수가 된다는 전제하에서 낮은 운영비용이 기대된다. 그러나 이 시스템을 다른 학교에 적용하기 위해서는 다음과 같은 사항들이 검토되어야 한다.

1. 다른 학교에 비해 학생들이 정말로 실내환경에 만족을 하고 있는가?
2. 추운 날에 콜드드래프트의 문제는 없는가?



[그림 2] 통합된 디퓨저 노즐을 가지는 단열 급기덕트

3. 급기덕트 내에 먼지가 쌓이거나 미생물이 번식함으로 인해 공급되는 공기가 오염될 위험은 없는가?
4. 필터링이 되지 않는 외기의 공급이 만족스러운가?
5. 알레르기가 있는 사람은 없는가?

## 방법

### 교실내의 열쾌적성 측정

먼저, 스모크 테스트를 이용하여 도입외기의 실내 확산이나 국부적으로 콜드드래프트의 발생 가능 지점 등을 조사하였다. 이들 지점들에 대한 추가 측정이 이루어졌다. 풍속, 기온, 난류강도 등을 바닥에서 3 cm, 책상에서 3 cm, 바닥에서 1.2 m(머리/목) 높이에서 측정하였다. 측정은 2003년 1월에 2일에 걸쳐 교실 201, 202의 각각의 책상에 대해 행하여졌다(그림 3). 각 측정항목에 대한 측정시간은 3분이었다. 최대치, 최소치, 시간평균, 표준편차값이 저장되었다. 드래프트 레벨이 드래프트에 의한 재실자의 불만족율(PPD) 측면에서 CR-1752에 의해 계산되었다.

### 설문

두 개의 같은 교실(201, 202)의 학생들이 자신들의 건강, 실내환경, 기초정보 등의 45개 항목에 대해 단순히 yes/no 설문에 답하였다. 설문은 Örebro 설문<sup>3)</sup>을 노르웨이 사람들에게 적용한 것으로 학생들에게 보



[그림 3] 교실내 기류속도, 온도 측정

다 정확한 결과를 제공하기 위해 단순화시키거나 수정되었다. 설문에서의 주요 개선사항은 사람들이 지난 3개월 동안 일반적으로 어떻게 느꼈는가? 라고 하는 대신에 사람들이 현재 어떻게 느끼고 있는가? 라고 묻는 것이다. 설문은 동일 집단의 학생들에 대해 2주 동안 3회 실시되었으며, 각 문항 및 개인에 대해 평균값이 계산되었다. Revetal 중학교의 경우, 각 학생들은 2003년 1월에 3회에 걸쳐 마지막 날에 설문을 실시하였다. 동일한 설문이 지금까지 약 24개의 노르웨이 학교에서 실시되었으며, 새롭고 유용한 참고자료를 제공하고 있다. 중학교 학생의 경우 피로, 두통 등 많은 문제를 가지고 있었으며, 초등학교에 비해 탁한 공기에 대해 더 불평을 하였다<sup>5)</sup>. 설문의 결과는 동일한 연령 그룹에 대해 3개의 다른 신축 및 개수건물과 비교되었다. 이들 학교중 하나는 유사한 급기시스템을 가지고 있었으며, 나머지 두곳은 밸런스를 고려한 기계 환기시스템(BMV)을 가지고 있었다. 학교들에 대한 주요사항은 다음 표 1과 같다.

모든 “no” 대답은 “not a problem”을 의미하며 0의 값으로 주어지며, “yes”는 1의 값이 부여된다. 이것은 평균값이 설문에서 yes로 응답한 상대적 비율을 의미한다. 대답을 하지 않은 설문은 무시되었다.

설문은 SPSS를 사용하여 통계적으로 분석되었다. 각 학생들의 평균은 일방향 분산분석(ANOVA, analysis of variance)를 통해 각 학교 사이의 차이점을 찾아내기 위해 분석되었다. 이것은 양분된 값들을 다루는 모호한 방법이다. 그러나 이 경우에 있어서 절차는 정당성을 가지는데 왜냐하면 분석의 목적이 단순히 향후 분석을 위한 경향을 찾는 것이기 때문이다.

**기타 측정**

외기의 공기 입자, 급기덕트, 교실, 복도 등에 대한 미생물 분석(Air-O-Cell and Mycotape)이 실시되었다.

급기덕트, 교실 내에서의 퇴적된 먼지량이 BM 먼지검출기를 통해 측정되었다.

외기온도를 측정하고, CO<sub>2</sub>와 온도 복합센서는 켈

<표 1> 동일한 설문조사를 한 Revetal 학교와 비교대상인 세 학교에 대한 주요 사항

Type of ventilation	School no.	Location	Built or retrofitted	Class	No. of pupils	Time of questionnaires
Simplified supply direct from facade	1	Revetal—south-east Norway. Inland climate	2000	9b and 9d	50	20–29th January 2003
	2	Presterød—south-east Norway. Coastal	2000	9b and 9c	48	5–11th June 2003 12–20th March 2002
Mechanical balanced ventilation (BMV) with central AHU	3	Oslo—south-east Norway. Coast/inland climate	1997	10a and 10f	48	13–20th March 2002
	4	Grong—middle of Norway. Inland climate	1997	9a and 10b	28	3–17th April 2002

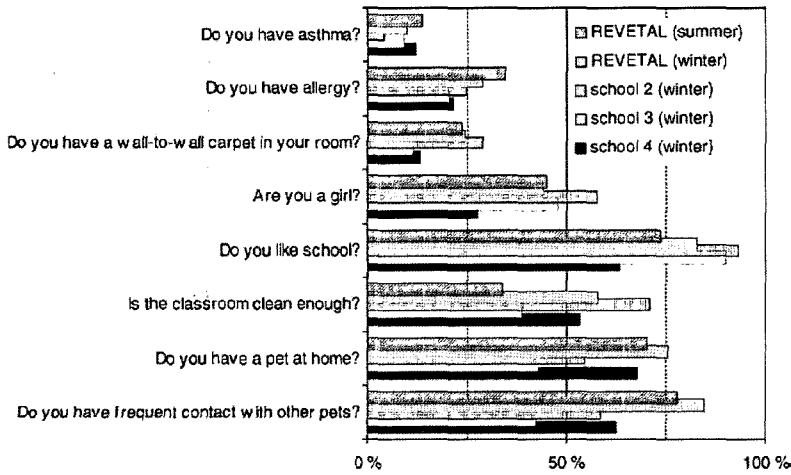
Note: Revetal has had two separate questionnaire surveys with the same pupils, one during winter and one during summer.

<표 2> 1월 23일, Revetal 학교의 시간평균 온도, 풍속 및 드레프트율

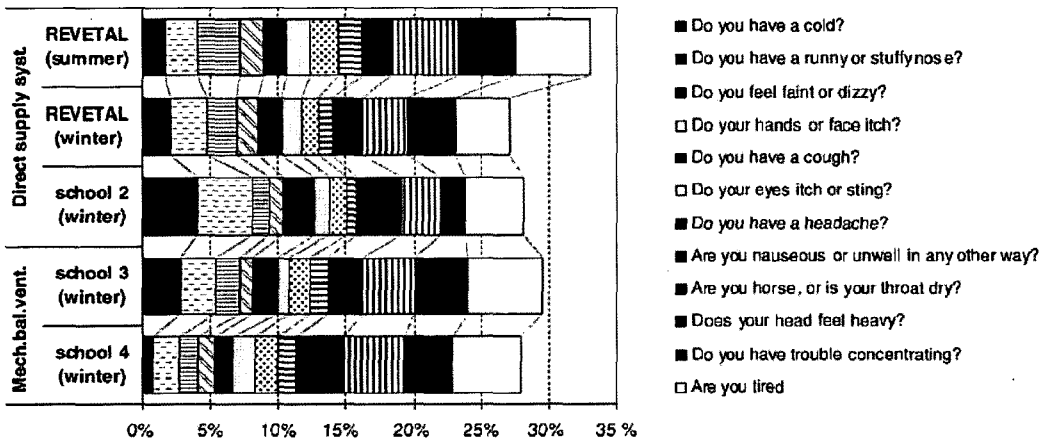
Classroom no.	Persons in room	Time of day	Outdoor air temperature (°C)	Measuring point	Local air temperature (°C)	Local air velocity (m/s)	Draught rating (%)
201	21	12:00	2.5	Floor	19.3	0.204	21.4
				Neck	17.9	0.233	27.3
210	22	09:30	2.5	Floor	19.4	0.183	18.8
				Desk	19.2	0.181	18.8
				Neck	19.3	0.227	24.2
				Floor	18.9	0.140	14.3
				Neck	19.4	0.245	26.2
				11:00	2.5	Floor	18.9
10:30	2.5	Neck	19.4	0.245	26.2		

<표 3> 1월 31일, Revetal 학교의 시간평균 온도, 풍속 및 드래프트율

Classroom no.	Persons in room	Time of day	Outdoor air temperature (°C)	Measuring point	Local air temperature (°C)	Local air velocity (m/s)	Draught rating (%)
201	27	09:30	-14.0	Floor	14.5	0.421	77.3
				Desk	14.8	0.330	65.1
				Neck	15.6	0.227	50.5
210	25	10:30	-12.5	Floor	14.0	0.335	68.1
				Desk	14.5	0.180	37.5
				Neck	14.8	0.235	48.2



[그림 4] Revetal 학교와 비교대상인 3학교의 관련성 항목에대한 평균점수(%)(100%는 모든 학생들이 반복된 질문에 대해 yes 라고 대답한 것을 의미함)



[그림 5] 건물증후군과 관련된 증상의 빈도

리브레이션 장치를 통해 체크되었다. 상승한 CO<sub>2</sub>농도에 대한 댐퍼의 반응이 체크되었다. 급기덕트도 시각적으로 조사되었다. 마지막으로 측정기간동안 학생들의 행동이 관찰되었다. Mysen<sup>4)</sup>는 측정 및 관찰에 대해 상세하게 기술하고 있다.

## 결과

### 풍속 및 온도 측정

측정기간 동안 이러한 종류의 환기시스템에 기대되었던 풍속 및 온도가 변화하였다. 표 2, 표 3은 측정결과의 일부를 보이고 있다. 1월 23일에 목 높이에서의 드래프트율이 여러 차례 25%를 상회하고 있다. 1월 31일의 바닥부근에서의 드래프트율이 70%를 상회하고 있다.

### 설문

그림 4는 Revetal 중학교의 겨울과 여름 및 비교대상 학교들의 몇몇 관련요소에 관한 평균치를 퍼센트로 나타내고 있다.

그림 5에 건물증후군에 관련된 증상들의 빈도를 보이고 있다. 각 학교에 대한 막대의 총길이는 설문에서 10개 문항에 대한 합이며, 건물증후군 지수(BSI)라고 불려 같이 정의된다.

$$BSI = \frac{\sum_{i=1}^n AS_i}{n} \quad (1)$$

여기서, AS<sub>i</sub>는 질문 I에 대한 평균값(%), n은 지표에서 사용한 총 질문 문항수

그림 6에 실내환경에 대한 불만의 빈도를 나타내고 있다. 각 학교에 대한 막대의 총길이는 설문에서 10개 문항에 대한 합이며, 실내환경지수(IEI)라고 불린다.

다음 질문에 대해 Revetal의 학생들은 겨울 동안에 BMV 학교의 학생들에 비해 상당히 많이 불만족하고 있다.

“출습니까?”, “머리나 목부위에서 드래프트를 느끼십니까? [그림 6]

또한, 여름철의 경우, 다음 질문에 대해 Revetal의 학생들은 BMV 학교의 학생들에 비해 상당히 많이 불만족하고 있는 것으로 나타났다.

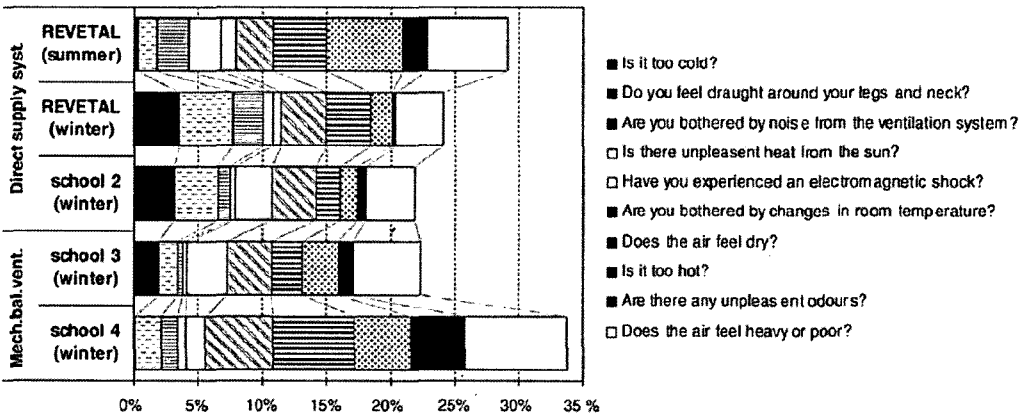
“어지럽거나 졸리다고 느낍니까?” [그림 5], “너무 덥습니까?”, “태양으로부터 불쾌한 열이 있습니까?” [그림 6], “알레르기가 있습니까?” [그림 4]

그러나, 겨울철에 Revetal 학생은 BMV 학교보다 다음 질문에 대해서 더 만족하는 것으로 나타났다.

“피곤합니까?” [그림 5], “너무 덥습니까?”, “공기가 갑갑하거나 좋지 않습니까?”, “불쾌한 냄새가 있습니까?”, “정전기를 경험한 적이 있습니까?” [그림 6]

계절별로 비교해보면, Revetal 학생은 6월보다 1월 일 때 다음 질문에 대해 더 만족하는 것으로 나타났다.

“피곤합니까?”, “머리가 무겁습니까?”, “두통을 가



[그림 6] 실내환경지수(IEI)의 빈도

지고 있습니까?”, “너무 덥습니까?”, “태양으로부터 불쾌한 열이 있습니까?”, “공기가 갑갑하거나 좋지 않습니까?”, “불쾌한 냄새가 있습니까?”

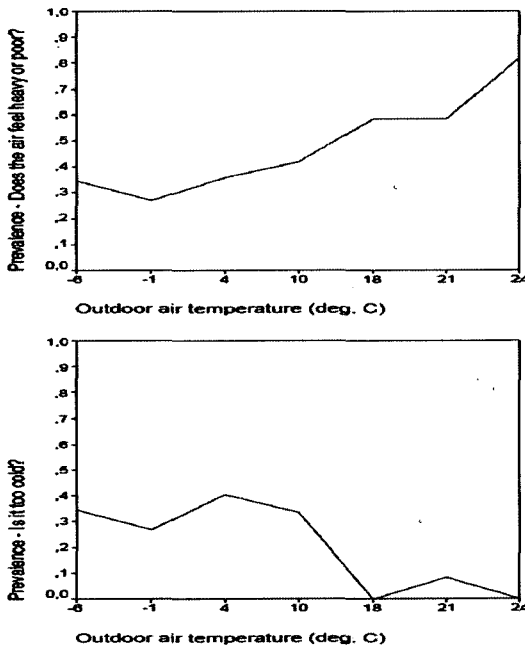
Revetal 설문은 7번에 걸쳐 각각 다른 외기온도 조건에서 진행되었다.

비공조상태에서 실내로 공기가 도입되기 때문에, 급기온도는 외기온도와 상당히 유사하다. 그림 7은

〈표 4〉 외기온도와 연관성을 가진 빈도

Question	Pearson's <i>r</i>	<i>P</i> -value (2-tailed)
Are you tired?	0.182	0.004
Is your head heavy?	0.220	0.001
Do you have a headache?	0.131	0.041
Is it too hot?	0.402	0.000
Is there unpleasant heat from the sun?	0.316	0.000
Is it too cold?	-0.349	0.000
Do you feel draft around your legs or neck?	-0.275	0.000
Does the air feel heavy or poor?	0.273	0.000
Do you smell any unpleasant odours?	0.251	0.000
Are you bothered from noise from outside?	0.160	0.012
Is it clean enough?	-0.233	0.000
Do you like it at school?	-0.221	0.001
Is your bedroom well ventilated at night?	0.182	0.004

Note: that the Pearson's *r* and *P*-values are based on scores from dichotomous variables.



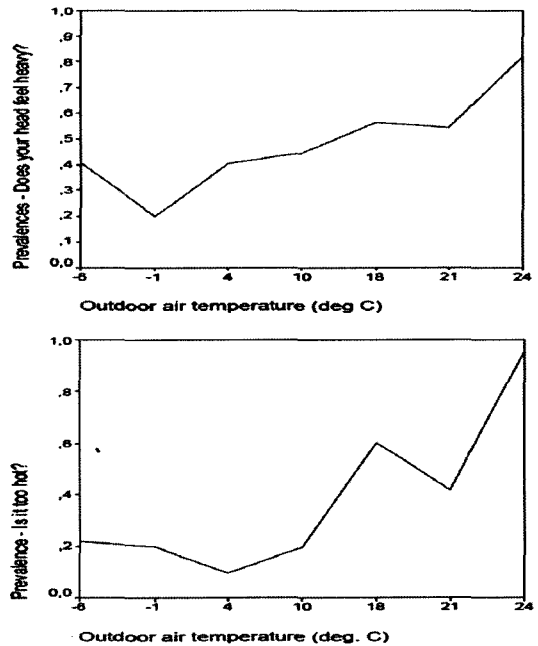
〈그림 7〉 외기 온도와 관련된 응답의 빈도(18℃와 21℃ 사이의 상승부분은 일사에 의한 현상임)

외기온도와 각 질문들의 평균값과의 상관관계를 보이고 있다.

표 4의 각 질문에 대해 외기온도와 유병율(prevalence) 사이의 상관은 상당히 유의한 것으로 나타났다. 알레르기에 관한 학생들의 대답이 분석되었다. 일반적으로 알레르기 증상의 학생들은 보통 학생들에 비해 건물증후군 증세에 대해 상당히 높은 유병율을 나타냈다. 그러나 각 학교 사이의 유의차는 없었다. 알레르기를 보고한 학생의 총수는 학교에 따라 6에서 15사이를 나타냈다(그림 4)

균류, 파티클과 먼지

교실 210에 대한 급기덕트가 시각적으로 조사되었다. 교장에 의하면 청소없이 4년을 사용하였다고 하나 깨끗하게 보였다. 그러나 미생물 분석결과 외기에 비해서 균류의 성장은 높은 레벨을 보였으며, 상당한 양의 퇴적된 꽃가루가 덕트내에서 관찰되었다. 섬모충(ciliata)이 급기덕트에서 발견되었다. 이것은 단세포 생물로 액상의 수분이 있는 모든 환경, 특히 풍부한 영양을 가진 균으로 둘러싸인 물에서 서식한다.



지면에서 1.5 m 지점의 외기의 공중입자의 농도는 공급되는 공기에 비해 약 2배 정도 높았다.

급기덕트내의 먼지로 덮힌 면적의 평균값은 바닥에서 약 11.2%, 측면에서 약 6.3%를 나타냈다.

### 관찰

측정기간 중의 학생들의 행동 및 활동량이 관찰되었다. 1월 23일 201교실에 들어섰을 때 공기가 약간 신선하지 못한 것처럼 보였다. 학생들이 교실에 들어서자 실내공기가 신선해지기 시작했는데 이것은 수요제어(demand-control) 환기시스템에 의해 환기율이 증가한 것에 기인한다. 열환경이 수업을 저해하는 상황은 없었다.

1월 31일, 교실 201에 들어섰을 때 열환경은 만족스럽게 느껴졌다. 그러나 잠시후 불쾌한 드래프트로 인해 춥게 느껴지기 시작했다. 20분이 지난후 3명의 여학생이 자켓을 걸쳤으며, 몇몇 학생이 스카프와 모자를 걸쳤다. 측정된 실내온도는 다시 상승하기 전에는 17℃에서 15℃로 떨어졌다. 많은 학생들이 열적 조건에 불만을 나타냈으며, 수업에 방해로 받았다.

### 토론

#### 열환경

2003년 1월 2번에 걸쳐 공기온도와 기류속도를 측정한 결과, 1월 동안의 2번 측정된 열쾌적성은 상이었다(표 2, 3). 외기온도가 2~3℃일 때, 교실의 공기온도가 18~20℃의 범위를 보이고, 기류속도는 10~25 cm/s를 나타냈다. 드래프트율(draught rating) 윗부분의 범위는 약 20~25%였다. 이것은 열적 기후가 CR-1752<sup>2)</sup> 실내 환경의 디자인 기준인 Category C를 만족시키기 힘들다는 것을 의미한다.

외기온도가 -12~-14일 때, 드래프트율은 50~75%였고, 이것은 학생들의 대다수가 불쾌하다는 것을 의미한다. 실 내벽에 설치된 온도센서가 19℃ 이하일 때, 환기율을 제한토록 하였는데, 환기율이 줄기 전에 실내 온도가 14℃보다 낮다는 것을 측정을 통해 나타냈다. 이것은 교실 전체에 고른 온도분포를 유지하지 않는다는 것을 의미한다. 매우 추운 기후일 때, 내벽에 설치된 센서의 온도가 실내 평균 공기

온도보다 높다는 것을 말한다. 매우 추운 기후일 때, 실내 드래프트율은 창과 열교(thermal bridge)를 통해 콜드드래프트의 영향을 받는다. 창 프레임을 통한 누기가 관찰되었고, 이 환기시스템은 BMV에 비해 누기가 증가되었다. 이것은 건물이 상대적으로 음압일 때 증가되기 때문이다.

### 설문

다른 타입의 환기시스템이 설치된 교실의 학생에게 동일한 설문지를 작성토록 했고, 만족도와 차이점은 결과에서 이미 언급한 바 있다. 다른 학급과 비교할 때, 환기시스템과는 별개의 다른 요소들에 의해 응답에 영향을 받는 것을 명심해야 한다. 따라서, 이런 비교는 최종 분석을 위한 경향을 발견하기에 적당하다. 그림 4는 성별, 침실 카페트 여부, 애완동물 여부, 건강상태, 학교 청결감지도와 같은 몇몇 중요한 차이를 보이고 있다.

Revetal 학교의 동일한 학생에게 1월에서 6월동안 수차례에 걸쳐 설문을 했다. 설문의 응답에 있어 유의차는 실내환경의 실제적 차이에서 의한 것임을 시사하고 있다.

당연히, 추운 기후 동안에 Revetal 학교의 학생들이 BMV 학교 학생들보다 드래프트 문제에 더 영향을 받았다. Revetal 학생은 1월에 건물증후군과 관련된 증상을 약간 보였으나 1월에서 6월로 갈수록 이런 증상의 유병율은 증가하였다. 인지공기질(그림 7)인 "피곤합니까?", "머리가 무겁습니까?", "두통을 가지고 있습니까?"와 같은 건물증후군 증상의 유병율은 외기온도와 긴밀한 연관성을 가지고 있다. 풍량 증가로 겨울철 건물증후군 증상의 감소되는 것은 아니다. 왜냐하면, 풍량이 6월보다 1월이 같거나 작은 것으로 가정했기 때문이다. 대신, 낮은 급기온도와 열전달 손실로 인한 낮은 실내온도 때문이다. 여러 연구결과에서 보면, 더운 공기는 덜 신선하고 받아들이기 힘든 것으로 느낄 수 있으며, 피로, 두통과 같은 건물증후군 증상은 온도와 습도가 상승된 공기에 노출되었을 때 나타난다<sup>7-11)</sup>. 사람은 자연환기를 행하는 건물에 있어서 추운 기후 동안에 충분한 행동적 적응(behavioral adaptation)이 가능한 경우 낮은 실내온도에 적응을 하며, 실내 작용온도가 약 18℃일 때 거주자의 90%가 열적 쾌적을 느낄 수 있다

12,13)

외기온도와 건물중후군 증상간의 상관에 기여하는 다른 요소에는:

청정도가 바뀌었는지 모른다. 이 가정은 “교실이 충분히 깨끗한가”라는 질문의 답에 기초한 것이다 [그림 4].

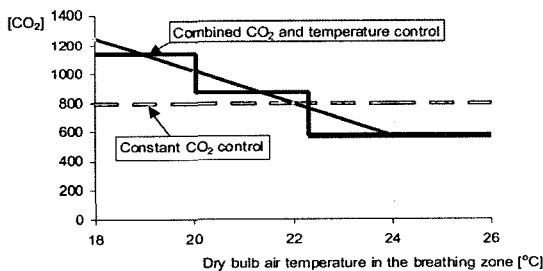
차가운 급기의 부력으로 인해 실내 온도 성층이 증가, 이것이 호흡존(breathing zone)의 공기질을 향상시키는데 기여한다.

1월에서 6월로 갈수록 급기중의 꽃가루와 같은 오염물질의 증가되기 때문이다.

전반적으로, BMV 학교에 비해 Revetal 학교에서 알레르기 문제가 있었으며, 1월에서 6월로 갈수록 알레르기가 증가하였다. 필터링되지 않은 급기는 침실 카펫과 애완동물의 접촉과 함께 문제를 일으켰다 [그림 4]. 필터없는 환기시스템은 BMV 시스템보다 교실에 꽃가루와 같은 알레르기를 일으키는 물질을 더욱 통과시키므로, 꽃가루 알레르기 조건을 통해 건물중후군과 관련된 증상을 증가시켰다. Revetal 학교에서 알레르기 질문에 yes라고 대답한 학생은 BMV 학교 학생들이 응답한 것보다 건물중후군과 관련된 증상을 말하지 않았다. 그러나, 어떤 확정된 결론을 유추하기에는 알레르기가 너무 적어 모든 종류의 알레르기가 포함된다.

### 기타 결과

급기덕트 내 섬모충(ciliata)의 존재는 높은 습도 기 간과 덕트 내부의 물기를 의미한다. 급기덕트내 미



[그림 8] 수요제어환기(DCV)를 위한 세가지 제어방법 일 반적인 일정 CO2 제어와 여기서 향상시킨 온도 보상CO2 설정점에 대한 선형 또는 스텝 제어

생물의 서식은 실내공기질을 떨어뜨리고, 실내 환경에 해가 될 수 있다.

공기분배 덕트내 상당한 양의 꽃가루는 꽃가루 알레르기를 가진 학생들을 불쾌하게 한다.

외기와 급기에 있는 입자농도는 상당한 차이가 있다. 왜냐하면, 공기 유입구가 지면에 가까울수록 지붕 높이 근처보다 입자의 농도가 높아진다 [그림 11]. 그러나, 덕트에서 침전은 부가적인 원인이 될 수 있다.

급기덕트의 바닥에 대한 평균 먼지 점유면적 비율이 11.2%로 나타났다. 실내 공기질 조건<sup>15)</sup>에 대한 실내 표면에 대한 최대값으로 5%를 권장한다. 적어도 급기덕트 내부에도 동일한 조건이 적용되어야 한다.

### 전반적인 개념의 잠재적 향상 및 평가

Revetal 중학교에 대한 결과는 상당히 타당하다. Revetal 환기시스템은 더욱 향상될 수 있다. 드래프트와 상당히 낮은 온도 문제는 제어시스템의 조정으로 완화될 것이다. 이러한 환기개념에 대해 CO2와 온도를 결합하여 사용하는 것이 더욱 적당할 것이다. 이는 호흡존(breathing zone)의 낮은 실내공기 온도로 인해 6월보다 1월이 더욱 인지공기질이 좋다는 사실이 뒷받침한다. Fang et al.<sup>7)</sup>에 의해 건물중후군 증상과 관련된 실내공기질과 인지공기질이 실내 공기온도에 영향을 많이 받는다는 가정이 실험실 연구(field laboratory study)를 통해 확립되었다. 한 사람당 3.5 l/s에서 10 l/s로 풍량을 증가시켜도 인지 공기청정도(perceived air freshness)에는 영향을 미치지 않는 것으로 보이며, 일정한 온도 20°C, 상대 습도 40%에서 생각의 차이가 분명하였다<sup>7)</sup>. CO2 레벨만으로 실내공기질을 측정하는 것은 상당히 부족하다. 그림 8은 서로 다른 제어 방법에 대한 예를 보여준다. 그림은 CO2 설정점에 대한 온도보상의 향상된 제어방법을 제시한다. 제어는 선형 또는 단계적으로 그림에서 보여주는 것과 같다.

이러한 제어방법을 통해서, 추운 기후 동안에 인지 공기질을 떨어뜨리지 않고 열적 쾌적성을 향상시키고, 난방을 위한 에너지 사용을 절감시킬 수 있었으며, 더운 기후 동안에 에너지 사용의 약간의 증가로 실내공기질을 향상시킬 수 있었다.

외기 CO2 농도를 350 ppm으로 가정하면, CO2 설정점을 800 ppm일 경우에 비해 1250 ppm일 경우,



급기풍량을 50% 감소시킬 수 있었으며, 열적 조건을 상당히 향상시킬 수 있었다.

이러한 제어방법은 오염부하(pollution load)가 청정 기준, 건축자재의 오염방출, 습도 문제로 인한 오염물질과 같은 요인으로 인한 것이라면, 실내공기질과 관련된 증상에 대해서는 부정적인 결과를 야기할 수 있다. 전체 오염부하가 거주자로 인한 오염이 지배적이라고 전제될 경우에 CO<sub>2</sub> 병행 수요제어환기(DCV, Demand-controlled ventilation) 또는 온도보상 CO<sub>2</sub> 제어가 적당하다.

Revetal 학교의 급기 디퓨저는 2열의 13개의 작은 노즐로 구성된다(그림 2). 더욱 일정한 급기 분배를 위해, 작은 노즐을 가진 하나의 긴 열이나 길고 좁은 슬릿 방식을 적용하면, 지역적인 드래프트 문제를 감소시킬 수 있다.

미생물 서식과 침전된 먼지 제거를 위해, 공기분배 덕트는 정기적으로 점검하고 청소되어야 한다. 각 덕트의 말단과 T-접합 덕트의 단열된 점검 해치와 공기 유입구의 접근공간은 점검 및 청소를 위해 덕트 내부표면에 접근하기 용이하도록 한다.

공기 유입구는 덕트 내부로 물기가 유입되지 않도록 향상시켜야 한다.

## 결론 및 추론

측정 및 설문을 바탕으로, 다음과 같은 대답들이 유추될 수 있다.

- 다른 학교에 비해 학생들이 정말로 실내기후(환경)에 만족하는가?  
예, 추운날씨의 실내 열환경을 제외하고
- 추운날에 불쾌한 콜드드래프트의 문제는 있는가?  
예, 외기온이 낮은 날의 실내 열환경은 만족스럽지 못했다. 외기온도가 +2℃일 경우에도 실내환경은 겨우 CR-1752<sup>2)</sup>에 부합되었다.
- 급기덕트내에 축적된 먼지 및 미생물의 성장으로 인해 공급공기의 오염의 위험이 있는가?  
예, 미생물의 성장이 발견되었다. 그리고 먼지가 차지하는 비율이 IAQ 논리에서 권장하는 것보다 높았다.
- 필터링이 되지 않은 외기의 공급은 만족스러운가?  
학생들은 전반적으로 공기질에 만족하고 있다.

그러나, 급기덕트에서의 유기물질의 퇴적, 습기 등 미생물의 성장을 위한 조건을 제공하는 것은 유해 가능성이 있다.

- 알레르기로 문제가 되는 사람이 있는지?  
아마도, BMV 학교에 비해서 Revetal 학교에서 알레르기 문제에 대해 보고한 학생이 더 많았으며, Revetal 학교의 학생들이 화분에 더 노출되어 있는 것 같다. 한편, 조사는 Revetal 학교의 알레르기를 가지고 있는 학생들이 BMV 학교의 알레르기를 가진 학생들에 비해 더욱 건물증후군과 관련한 증상을 가지는 것을 증명하지는 않는다. 그러나 어떤 확고한 결론에 이른 알레르기 대상은 거의 없었으며, 모든 알레르기가 포함되었다. 따라서, 우리는 이 환기시스템이 유효한 요소라고 확신도 부정도 할 수 없다.

일반적으로 건물과사드를 통해 직접 외기를 도입하는 단순한 환기시스템을 적용할 경우, 추운 날씨에 열쾌적성을 만족시키기 위해 800 ppm보다 높은 DCV(demand-controlled ventilation)가 요구된다. 이것은 온도보상된 CO<sub>2</sub> set-point 환기제어 방법에 의해 달성될 수 있다. 이러한 제어방법은 차가운 날씨에서도 PAQ를 손상시키지 않고 열쾌적성을 개선하고 난방에 요구되는 에너지사용을 줄일 수 있을 것이다. 더불어, 이 환기시스템은 더운 날씨에 약간의 에너지 사용 증가를 통해 IAQ를 개선할 수 있을 것이다.

미생물 성장을 위한 번식조건에 관한 위험은 주위 값은 디자인, 양호한 접근, 정기적인 점검 및 청소를 통해 가능한 한 최소화할 수 있을 것이다.

추운 기후하에서 이런 환기개념이 권장되기 앞서 개선된 해결책에 관한 상세한 평가가 요구된다.

## Acknowledgements

이 연구는 “건물에서 환경친화적인 에너지사용(Environmentally favorable energy use in buildings)” 연구프로그램의 일부로 Norwegian Research Council의 지원하에 수행되었다.

## References

1. Enova, Energy Statistics of Norwegian Buildings 2002, Enova, Norway, 2003 (in Norwegian).
2. CR 1752, Ventilation for Buildings: Design Criteria for the Indoor Environment, CEN, Brussels, 1998.
3. K. Andersson, The MM-questionnaires A Tool when Solving Indoor Climate Problems, Ørebro Medical Center Hospital, Sweden, 1993.
4. M. Mysen, Simplified ventilation system at Revetal Secondary School, Norwegian Building Research Institute, Project Report N-9797, Oslo, 2003 (in Norwegian).
5. C.I. Ulriksen, Investigation and comparison of indoor environment quality and use of energy in building using hybrid ventilation systems vs. building with traditional mechanical ventilation systems, M.Eng. Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, 2002 (in Norwegian).
6. H.M. Mathisen, F. Frydenlund, Preventive measures and intervention on carpet removal and ventilation improvement in eleven schools, vol. 1, in: Proceedings of the Healthy Buildings 2000, Helsinki, pp. 219-224.
7. L. Fang, D.P. Wyon, G. Clausen, P.O. Fanger, Sick building syndrome symptoms and performance in a field laboratory study at different levels of temperature and humidity, in: Proceedings of the Indoor Air 2002.
8. D.P. Wyon, P.O. Fanger, B.W. Olesen, The mental performance of subjects clothed for comfort at two different air temperatures, Ergonomics 18 (1975) 359-374.
9. L. Berglund, W.S. Cains, Perceived air quality and the thermal environment, in: Proceedings of the IAQ '89, San Diego, 1989, pp. 345-350.
10. L. Fang, G. Clausen, P.O. Fanger, Impact of temperature and humidity on the perception of indoor air quality, Indoor Air 8 (2) (1998) 80-90.
11. J. Toftum, A.S. Jørgensen, P.O. Fanger, Effect of humidity and temperature of inspired air on perceived comfort, Energy and Buildings 28 (1) (1998) 15-23.
12. R.J. de Dear, G.S. Brager, Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55, Energy and Buildings 34 (2002) 549-561.
13. R.J. de Dear, G. Brager, D. Cooper, Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, Final Report on RP-884, Macquarie Research Ltd., Australia, 1997.
14. NS-INSTA-800, Cleaning Quality Measurement System for Evaluation of Cleanliness, 1st ed., October, 2000.
15. T. Schneider, T. Løbner, S.K. Nilsen, O.H. Petersen, Quality of cleaning quantified, Building and Environment 29 (3) (1994) 363-367. 