

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 22, No. 3, 2002

단열재의 두께 및 연돌높이에 따른 태양열 굴뚝의 자연환기 성능에 관한 실험적 연구

The Experimental Study on the Natural Ventilation Performance of Solar Chimney by the variation of Insulation Thickness and Height

조성우*, 김동완**, 임영빈***
S.W. Cho*, D.W. Kim**, Y.B. Im***

Key words : 태양열 굴뚝(Solar Chimney), 자연환기(Natural Ventilation), 환기성능(Ventilation Performance)

Abstract

The results of experiment on the performance of natural ventilation by insulation thickness and height system of solar chimney are described. The 3-inside wall was made of concrete and 1-wall was made of glass. The two kinds of model experiment were performed. One was the variation of the 60cm, 90cm and 120cm of solar chimney, the other was the variation of the insulation thickness 10mm and 50mm and without insulation of outside wall of solar chimney. As the temperature difference between bottom and top expressed 1.7~2.9°C, air velocity measured 0.5~0.8m/s and ventilation rate was 194.4m³/h in the case of the 120cm height of solar chimney, the respect of natural ventilation performance was superior to others cases in the first model experiment.

Though the case of 120cm height of solar chimney was attached 50mm insulation the ventilation rate was not so much as the case of solar chimney was attached 10mm insulation. the temperature difference between bottom and top was the largest in the other cases.

From this research, the natural ventilation performance of solar chimney was affected by not only height and insulation thickness of solar chimney but also wind velocity and direction.

* 삼척대학교 건축학과. 강사.공학박사
** 부경대학교 건축학부. 강사.공학박사
*** 부경대학교 건축학부. 교수.공학박사

* Department of Architectural Design, Samchok National University
** Division of Architectural Engineering, Pukyong National University
*** Division of Architectural Engineering, Professor, Pukyong National University

1. 서론

21세기에 접어든 시점에서 에너지 절약과 이산화탄소의 감량은 전 세계적인 문제로 중요하게 인식되고 있으며, 우리나라 역시 이 문제에 대하여 많은 관심과 정책적인 배려를 하고 있다. 건축분야에서도 고단열과 고기밀의 건축물을 건설하므로 에너지 절약적인 문제에 대하여서는 큰 성과를 거두고 있는 것이 현실이다. 그러나, 이러한 고기밀 건축물에서 생활하는 재실자들은 환기부족으로 인하여 많은 어려움을 겪고 있으며, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 충분한 환기량의 확보를 위하여 다양한 환기장치에 의존하고 있다. 환기장치는 크게 나누어 기계적인 환기장치와 자연적인 환기장치로 나눌 수가 있다. 기계적인 환기장치는 급기 또는 배기에 동력을 이용하므로 에너지를 이용하게 되고, 이에 따라 이산화탄소의 배출도 증가하게 된다.

그러므로, 자연형 환기장치에 대한 관심이 고조되고 있는 실정이다. 자연형 환기 시스템은 고대 중동지역에서 wind tower의 형태로 많이 관찰되고 있다. 에너지 절약과 이산화탄소의 감량을 고려한 태양열을 이용한 자연형 환기장치에 대하여 전보¹⁾에서는 연돌내부의 상부와 하부의 온도차 즉 연돌효과에 의한 공기속도 및 환기량의 계산에 대한 이론적 고찰을 하였다.

여기서, 본 논문에서는 다세대 주택, 중소규모의 공장 과 아파트에 일반적으로 사용되고 있는 지붕형 환기장치(roof ventilator)의 높이를 기준으로 하여 3종류의 연돌높이에 대하여 환기성능을 1차적으로 조사하였고, 2차적으로 연돌외벽의 단열재의 두께변화에 따른 환기성능을 조사하였다. 2종류의 모델실험을 통하여 연돌높이와 단열재의 두께변화가 자연환기성능에 어떠한 영향

을 미치는가를 조사하여, 자연형 환기시스템인 태양열 굴뚝의 제작에 필요한 기초자료를 제공함을 목적으로 한다.

2. 태양열 굴뚝모델의 개요

태양열 굴뚝은 남측과 동측의 유리면과 북측과 서측의 콘크리트면으로 구성되어 있다. 태양열 굴뚝의 각각의 표면은 남측과 동측의 설치된 유리면을 통하여 들어오는 일사량에 의하여 가열·축열되어 각 표면온도가 상승하게 된다. 이는 연돌 내부의 공기와 벽표면과의 대류작용에 의하여 연돌내부의 공기온도는 상승하여 연돌하부의 찬 공기를 끌어 올리는 구동력으로 작용하게 된다. 이와 같은 연돌효과에 의하여 연돌내부의 공기는 외기로 배출된다. 그림 1은 판넬 및 콘크리트로 제작된 태양열 굴뚝의 모형의 전경을 나타내고 있다.

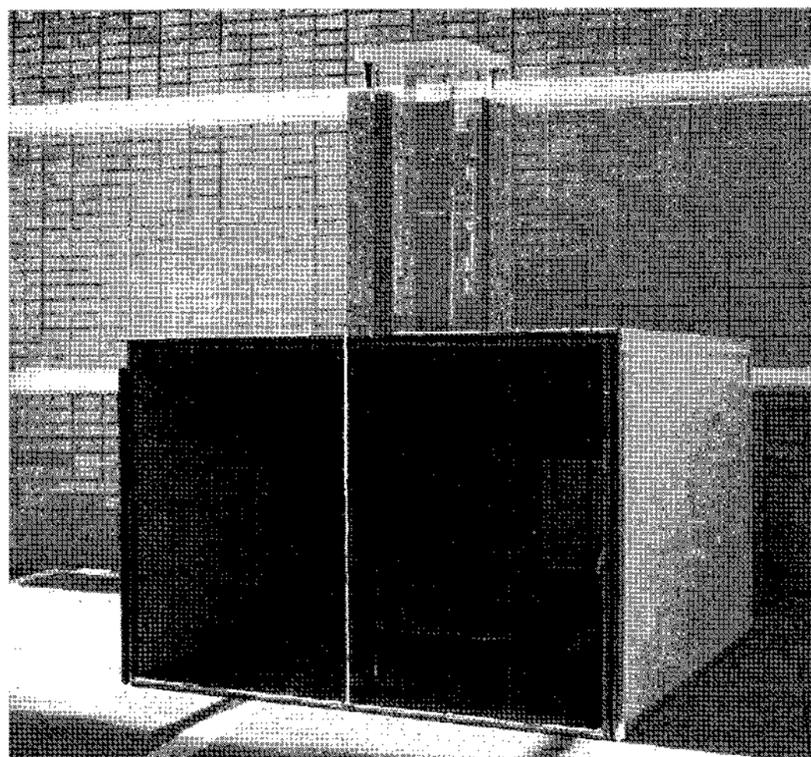


그림 1. The view of solar chimney

연돌의 벽체는 높이 60cm의 콘크리트 구조체 1개와 30cm의 콘크리트 구조체 2개를 제작하여,

1) 조성우, 이재윤 : 연돌효과를 이용한 태양열 굴뚝의 자연환기 성능에 관한 연구, 한국태양에너지학회논문집, Vol. 21, No. 2, 2001.06

모형실험의 60cm, 90cm와 120cm의 높이에 대응하도록 하였으며, 차후 10mm와 50mm의 단열재를 부착하였다. 유출구와 유입구의 크기는 유입구의 크기가 유출구의 크기의 1/2인 경우 환기량을 최대로 얻을 수 있다는 축소모형실험의 결과²⁾에 따라 본 실험모델에서도 그 크기로 결정하여 측정을 하였다. 그림 2는 모델 및 연돌의 크기와 높이변화를 나타내고 있으며, 그림 3은 연돌내부의 공기온도와 표면온도 및 공기속도의 측정지점을 나타내고 있다.

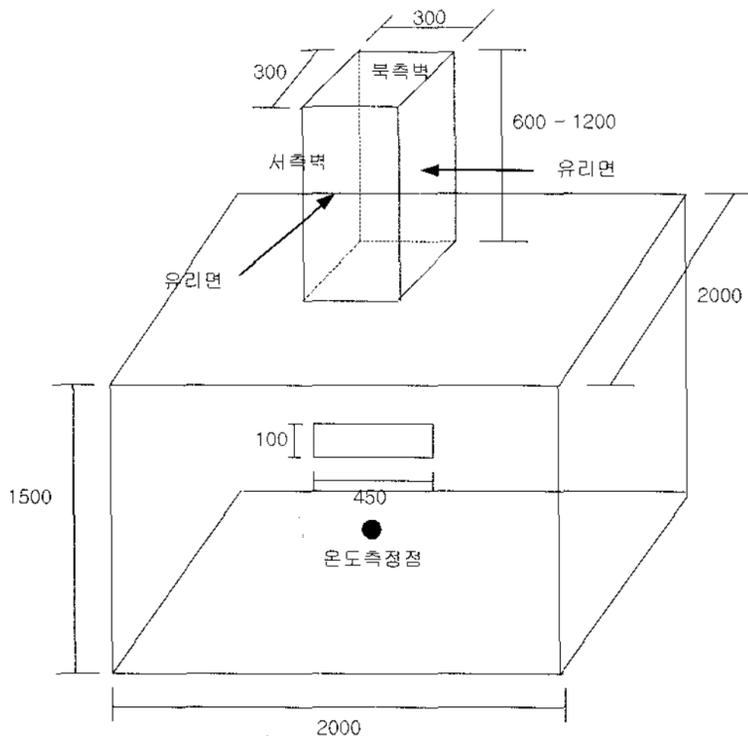


그림 2. The experimental model size

공기온도와 표면온도는 30cm간격으로 측정하였으며, 외기의 영향에 의하여 연돌내부의 공기가 유인효과에 의해서 외기로 배출되므로, 이러한 유인효과를 감안한 기류속도의 측정을 위하여 연돌의 조금 아래지점을 선택하였으며, 총 5개소를 측정하여 평균값을 취하였다.

2.1 측정기기 및 측정기간

태양열 굴뚝 모델은 부산의 P 대학에 정남향으

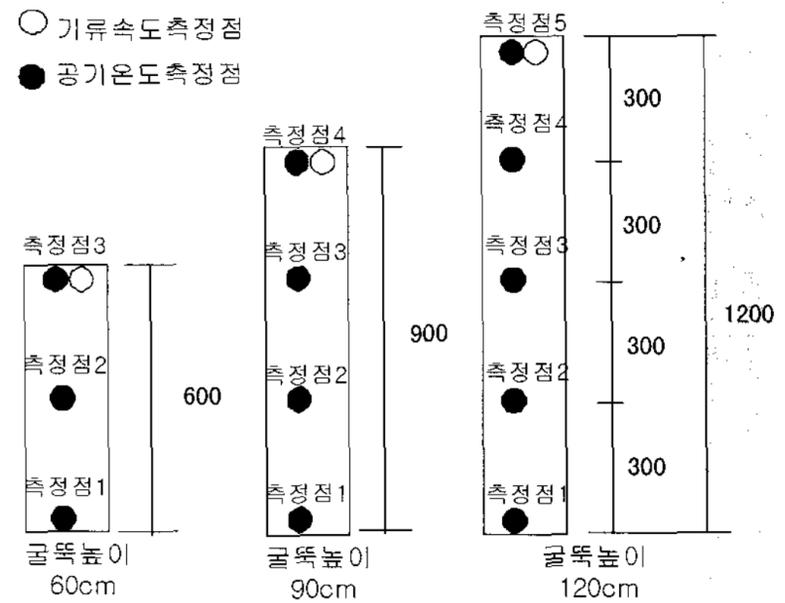


그림 3. The measuring point of air temperature and air velocity

로 설치하였으며, 높이에 따른 환기성능은 2001년 9월 7일~9월 12일까지 60cm, 90cm와 120cm에 대하여 11시, 13시, 15시, 17시의 측정시간대로 나누어 먼저 측정하였다. 그리고, 동년 9월 12일~9월 17일까지 단열재가 없는 경우, 단열재의 두께가 50mm와 10mm인 경우에 대하여 15시, 16시, 17시의 시간대를 측정하였다. 표 1은 측정요소 및 측정기기 및 모델명을 나타내고 있다.

표 1. The measuring factors and instruments

측정항목	측정기기	모델명	제조회사
공기 온도	DATA LOGGER	ALMEMO55903	ALMEMO (독일)
기류 속도	ANEMOMASTER	ANEMOMASTER MODEL24-6111	KANOMAX (일본)

3. 태양열 굴뚝의 모델실험결과 및 분석

연돌높이에 따른 상하온도분포, 기류속도 및 환기량의 실험결과를 분석하고 난 후 단열재의 부착 유무에 대한 실험결과를 분석하였다. 연돌 출구지

2) 조성우, 木村建一, 校舎建築の自然換氣システムにおけるソーラーチムニーの性能豫測に關する研究, 일본건축학회계획논문집, No.537, pp.37-42, 2000.11

점의 공기온도는 외기 영향을 고려하여, 높이가 60cm인 경우 측정점 2, 90cm인 경우 측정점 3, 120cm인 경우 측정점 4를 채택하였다.

3.1 높이에 따른 모델실험결과

태양열 굴뚝의 높이가 60cm인 경우 각 시간대에 따른 연돌내부의 온도변화는 그림 4와 같다.

11시의 경우, 유입구온도는 31.5°C이고, 출구온도는 32.7°C로 상하온도차는 1.2°C를 나타내고 있으며, 일사량이 많은 13시에는 그 차가 2.1°C로 가장 크게 나타났다. 또한, 15시와 17시의 유입구의 온도는 28.6°C와 27.8°C이고, 출구온도는 29.4°C와 28.6°C로, 차는 0.8°C로 나타났다.

그림 5는 연돌높이 60cm인 경우에 대하여 각 시간대별 환기량을 나타내고 있다. 11시와 15시의 경우 외기 풍속이 1.2m/s와 1m/s 일 때, 연돌내부의 평균 기류속도가 0.5m/s이고, 환기량은 162m³/h로 나타났다. 또한, 13시와 17시의 외기 풍속이 0.6m/s와 0.8m/s 일 때, 평균 기류속도는 0.4m/s로, 129.6m³/h의 동일한 환기량을 얻는 것으로 나타났다. 이 경우, 하나의 태양열 굴뚝으로부터 얻을 수 있는 평균 환기량은 145.8m³/h이고, 즉 24.3회/h의 높은 환기횟수를 얻을 수 있다.

모형실험에 있어서 연돌내부의 공기온도차가 가장 큰 13시의 경우 타 시간대에 비하여 환기량

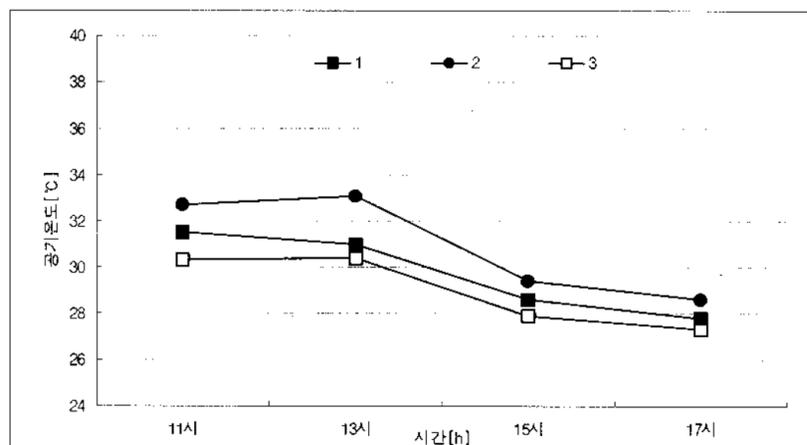


그림 4. The temperature distribution from bottom to top within solar chimney with height of 60cm at 11:00, 13:00, 15:00 and 17:00

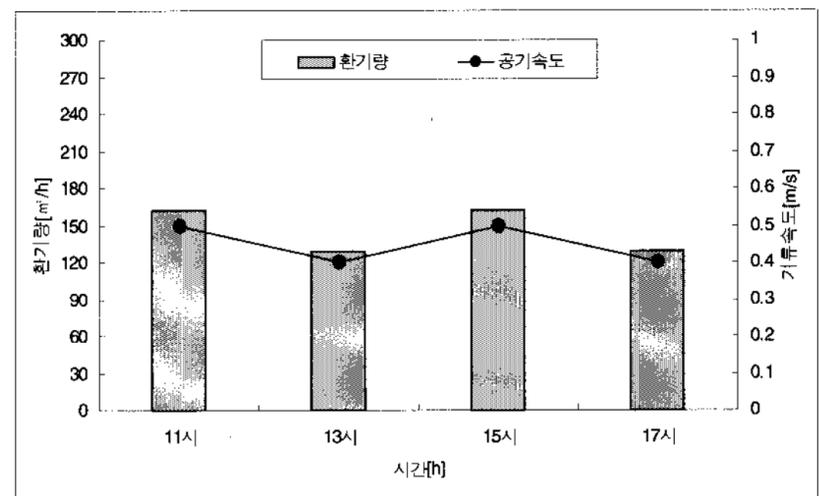


그림 5. The ventilation rate in the solar chimney with height of 60cm at 11:00, 13:00, 15:00 and 17:00

이 작게 나타났다. 이는 연돌상부의 기류흐름은 외기의 풍속과 풍향에 영향을 받는다. 즉, 연돌상부에 작용하는 유인효과가 원인인 것으로 사료된다. 13시와 17시를 비교해보면, 상하온도차가 큰 13시의 경우에는 온도차와 비례함수관계에 있는 연돌효과에 의한 환기량이 전체환기량 중 차지하는 비율이 높을 것으로 판단된다.

그림 6은 연돌높이가 90cm의 경우에 있어서 연돌내부의 공기온도 분포를 나타내고 있다. 11시의 경우, 유입구온도는 29.6°C이고, 출구온도는 32°C로 2.4°C의 차를 나타내고 있으며, 일사량이 많은 13시의 경우에는 유입구의 온도가 30.6°C이고, 출구온도가 34.2°C로 차가 3.6°C로 가장 크게 나타났다. 15시와 17시의 유입구의 온도는 각각 29.2°C와 27.7°C인 경우 출구온도는 30.2°C와 28.7°C로, 차는 각각 1°C로 나타났다.

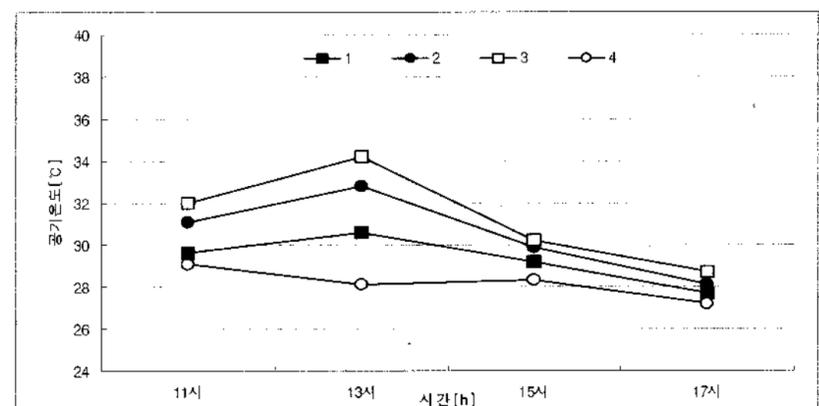


그림 6. The temperature distribution from bottom to top within solar chimney with height of 90cm at 11:00, 13:00, 15:00 and 17:00

연돌높이 90cm의 경우, 일사열을 받는 수열면의 증가로 인하여 연돌높이 60cm에 비하여 전반적으로 상하온도차가 크게 나타난 것을 알 수 있다.

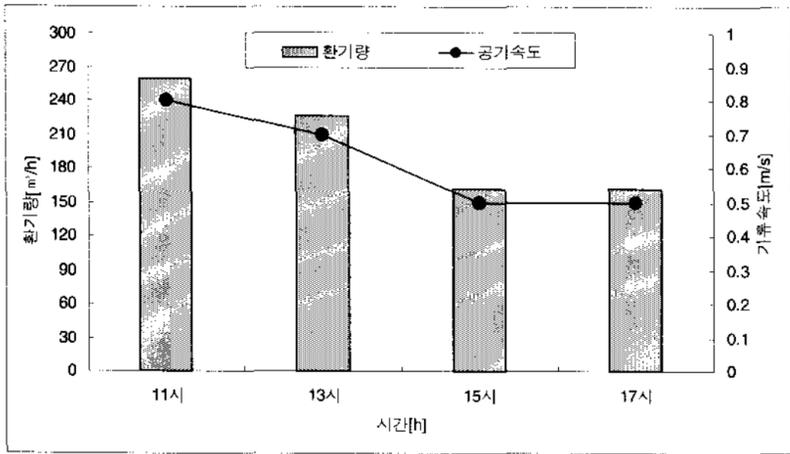


그림 7. The ventilation rate in the solar chimney with height of 90cm at 11:00, 13:00, 15:00 and 17:00

그림 7은 연돌높이 90cm의 경우에 대하여 각 시간대별 환기량을 나타내고 있다. 11시의 경우 외기 풍속이 1.8m/s일 때, 연돌내부의 평균 공기속도가 0.8m/s이고, 환기량은 259.2m³/h, 13시의 경우 외기풍속이 1.3m/s일 때, 연돌내부의 기류속도는 0.7m/s, 환기량은 226.8m³/h로 나타났다. 또한, 15시와 17시의 외기 풍속이 1.2m/s일 때, 기류속도와 환기량은 0.5m/s, 162m³/h로 나타났다.

연돌높이가 90cm인 경우, 높이 60cm의 경우에 비하여 상하온도차는 최대 1.5°C정도 크게 나타났으며, 환기량은 40%정도 증가함을 알 수 있다. 즉, 연돌내부의 벽면온도의 상승과 중성대 높이의 증가는 연돌내부의 상하온도차 및 환기량에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

그림 8은 연돌높이가 120cm의 경우에 있어서 연돌내부의 공기온도 분포를 나타내고 있다. 11시의 경우, 상하온도차는 2.6°C, 13시의 경우에는 그 차이가 2.9°C이고, 15시와 17시에는 그 차이가 각각 2.2°C와 1.7°C로 나타났다.

연돌높이 120cm의 경우, 연돌높이 60cm와 90

cm에 비교하여 상하온도차는 전반적으로 높게 나타났다. 이는 유리면을 통한 일사량을 받는 수열면적의 증가로 온도가 상승된 벽표면과 연돌내부의 공기와의 활발한 대류작용에 의하여 공기온도가 상승하게 된 것으로 판단된다.

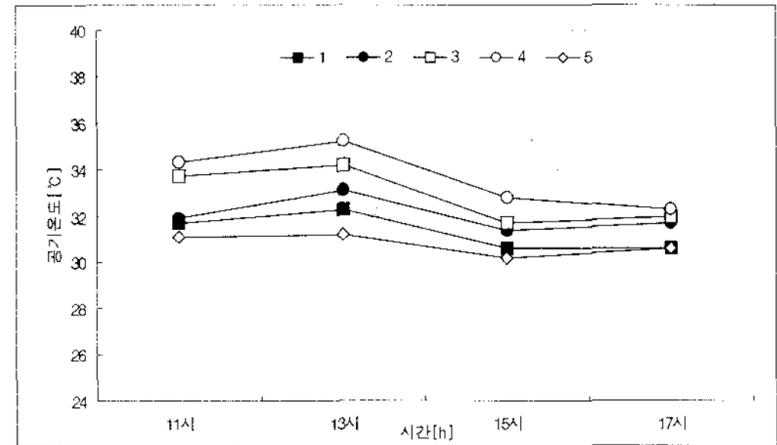


그림 8. The temperature distribution from bottom to top within solar chimney with height of 120 cm at 11:00, 13:00, 15:00 and 17:00

그림 9는 연돌높이 120cm의 경우에 대하여 각 시간대별 환기량을 나타내고 있다. 11시의 경우 외기 풍속이 1.8m/s일 때, 연돌내부의 공기속도가 0.8m/s이고, 환기량은 259.2m³/h, 13시의 경우 외기풍속이 1.5m/s일 때, 연돌내부의 기류속도는 0.6m/s, 환기량은 194.4m³/h로 나타났다. 또한, 15시와 17시의 외기 풍속이 0.9m/s일 때, 평균 기류속도와 환기량은 0.5m/s, 162m³/h로 나타났다.

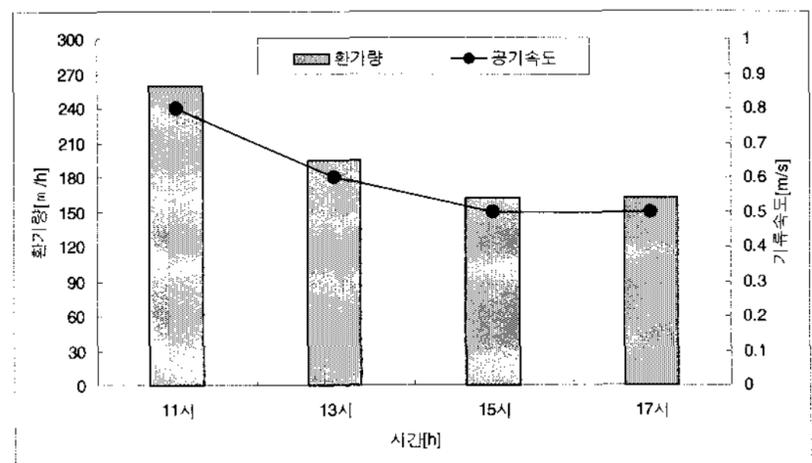


그림 9. The ventilation rate in the solar chimney with height of 120cm at 11:00, 13:00, 15:00 and 17:00

연돌높이가 120cm인 경우, 높이 90cm의 경우에 비하여 상하온도차는 평균 0.4°C정도인 것으로 나타났으나, 환기량은 작게 나타났다. 이는 외기풍속에 의한 환기량은 풍속과 풍향에 영향을 받는 것으로 연돌상부의 유인효과가 원인인 것으로 사료되며, 전체환기량 중 외기풍속에 의한 환기량이 연돌효과에 의한 환기량보다 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

연돌효과에 의한 환기량은 일사량을 받는 수열면적과 중성대의 높이변화에 따라 달라지며, 외기풍속에 의한 환기량은 풍속과 풍향에 영향을 받는 것을 알았다.

3.2 단열재의 두께의 변화에 따른 모델실험결과

단열재 부착 유무의 모델은 상하온도차가 가장 크게 나타난 연돌높이 120cm로 선정하여, 비단열, 2종류의 단열재 두께에 대하여 자연환기성능을 조사하였다.

120cm의 높이를 가진 태양열 굴뚝의 외벽부분이 비단열인 경우, 두께 10mm와 50mm의 단열재를 부착한 경우에 대하여 연돌내부의 상하온도분포 및 환기량에 대한 모델실험의 결과는 그림 10~15와 같다. 그림 10은 15시일 때의 상하온도분포를 나타내고 있다.

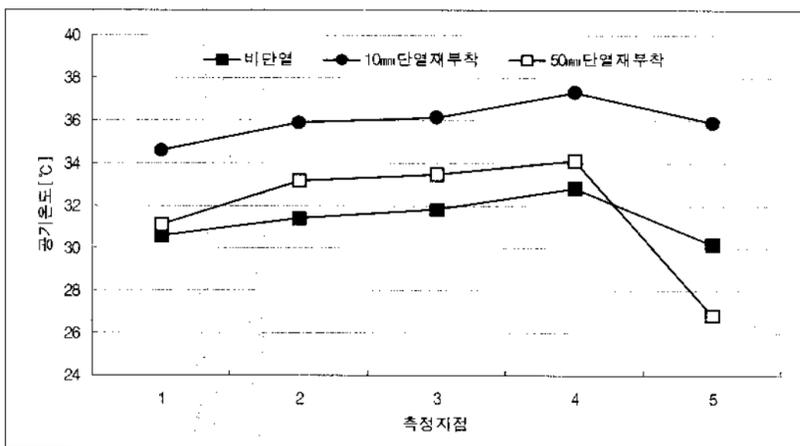


그림 10. The temperature distribution from bottom to top within solar chimney at 15:00

비단열인 경우 유입구 온도가 30.6°C일 때, 출구온도는 32.8°C로 차는 2.2°C, 10mm 단열재를

부착한 경우에는 유입구 온도가 34.6°C, 출구온도는 37.3°C로 차가 2.7°C, 50mm 단열재를 부착한 경우에는 유입구 온도가 31.1°C, 출구온도는 34.1°C로 차가 3°C로 나타났다.

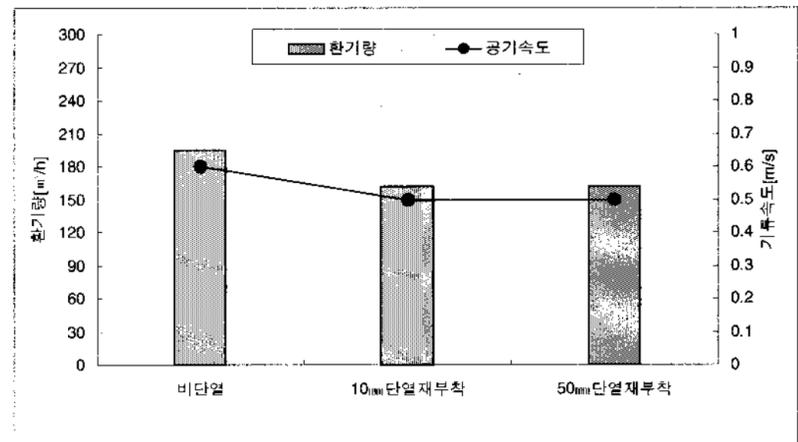


그림 11. The air velocity and ventilation rate in the solar chimney at 15:00

그림 11은 15시의 연돌내부의 기류속도와 환기량을 나타내고 있다. 비단열의 경우, 평균 기류속도는 0.6m/s, 환기량은 194.4m³/h, 10mm와 50mm 단열재를 부착한 경우, 각각의 기류속도는 0.5m/s, 환기량은 162m³/h로 비단열의 경우에 비하여 작은 것으로 나타났다. 이는 연돌효과에 의한 영향보다 외기풍속에 의한 영향이 전체환기량에 많은 영향을 미치는 것으로 생각된다.

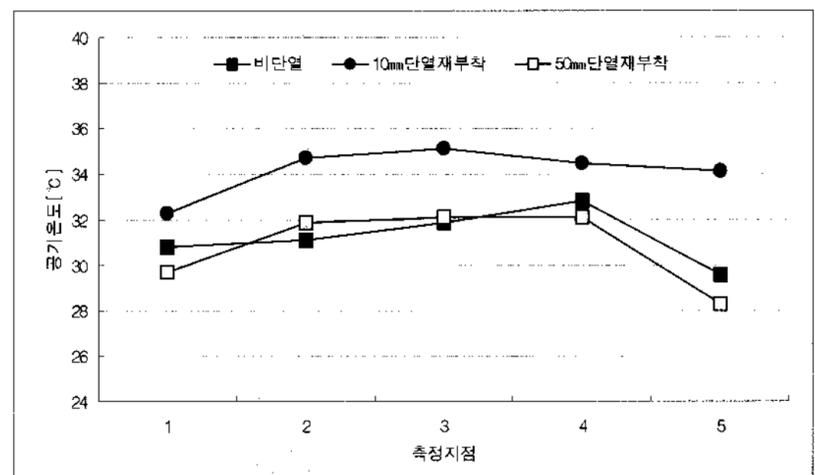


그림 12. The temperature distribution from bottom to top within solar chimney at 16:00

그림 12는 16시일 때의 상하온도분포를 나타내고 있다. 비단열인 경우에는 상하온도차는 2°C,

10mm 단열재를 부착한 경우에는 2.2°C, 50mm 단열재를 부착한 경우에는 2.4°C로, 단열재의 부착으로 인하여 연돌내부의 열손실이 작다는 것을 알았다. 이는 공기와 벽면과의 대류작용에 영향을 미칠 것으로 사료된다.

15시와 16시 연돌내부의 상하온도분포는 비단열이 경우에 비하여 10mm와 50mm 단열재를 부착한 경우가 연돌의 중아부분까지의 온도변화 기울기가 급함을 볼 수 있다. 이는 가열된 벽면과 공기와의 활발한 대류작용에 의하여, 공기속도 또한 빨라질 것으로 생각된다.

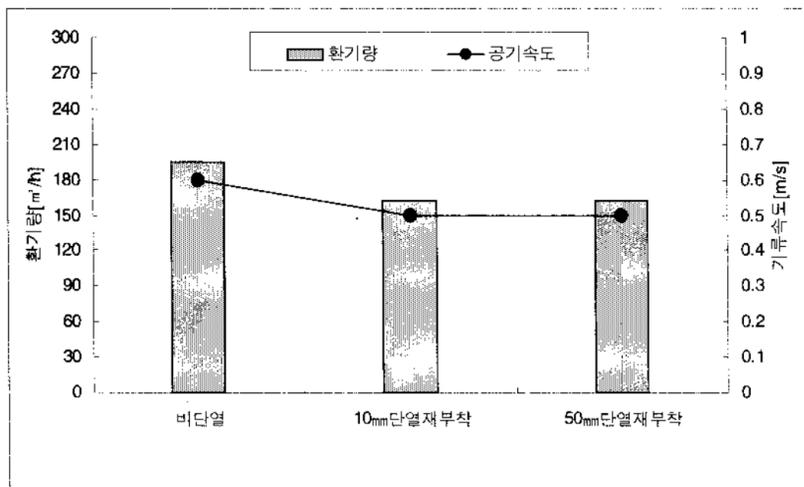


그림 13. The air velocity and ventilation rate in the solar chimney at 16:00

그림 13은 16시의 기류속도와 환기량을 나타내고 있으며, 15시대와 대체적으로 비슷한 현상으로 나타났다.

그림 14는 17시일 때의 상하온도분포를 나타내고 있다. 비단열인 경우 유입구 온도가 30.6°C 일 때, 출구온도는 32.3°C로 차는 1.7°C, 10mm 단열재를 부착한 경우에는 유입구 온도가 29.6°C, 출구온도는 31.6°C로 차가 2°C, 50mm 단열재를 부착한 경우에는 그 차가 3°C로 나타났다.

그림 15는 17시의 연돌내부의 기류속도와 환기량을 나타내고 있다. 비단열의 경우 연돌내부의 기류속도는 0.7m/s, 환기량은 226.8m³/h, 10mm 단열재를 부착한 경우의 기류속도는 0.6m/s, 환기량은 194.4m³/h로 나타났다. 50mm 단열재를

부착한 경우, 기류속도는 0.4m/s, 환기량은 129.6m³/h로 낮게 측정되었다.

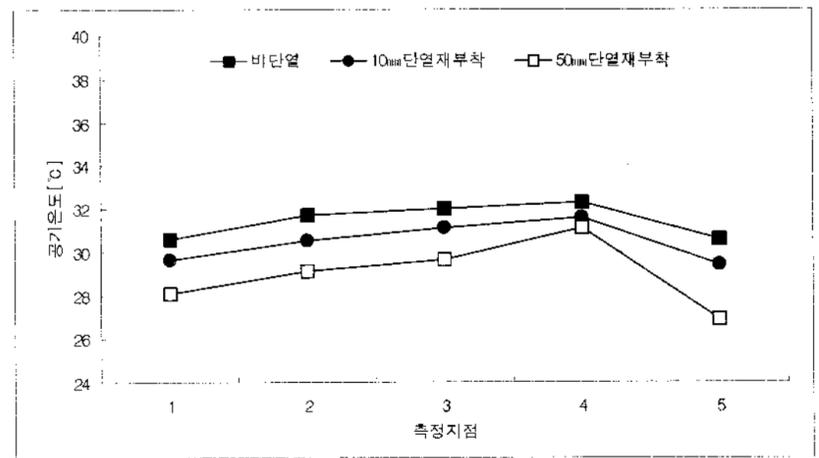


그림 14. The temperature distribution from bottom to top within solar chimney at 17:00

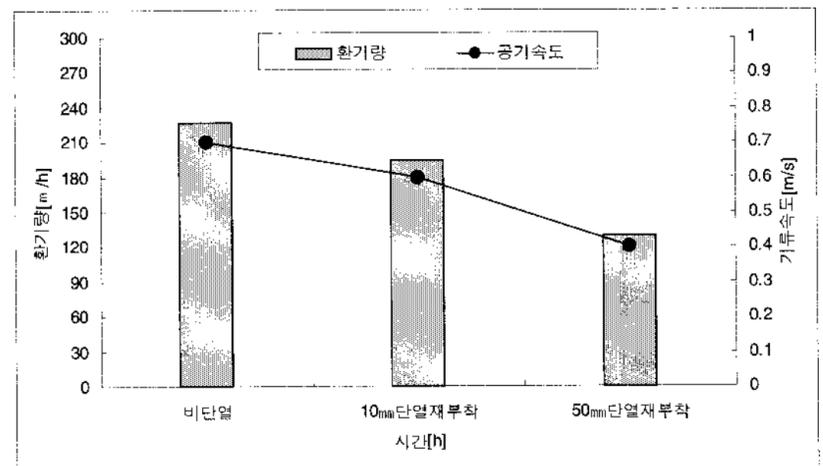


그림 15. The air velocity and ventilation rate in the solar chimney at 17:00

비단열인 경우, 유입구의 공기온도는 거의 일정하게 유지되는 것에도 불구하고, 시간이 지남에 따라 상하온도차 2.2°C에서 1.7°C로 줄어 들었다. 그러나, 단열재의 두께가 10mm와 50mm인 경우에는 시간이 지남에 따라 유입구의 온도차는 3°C 이상 나타났으나, 상하온도차에서는 거의 변화를 볼 수 없다. 이는 벽체 외벽의 단열로 인한 벽체 내부의 축열효과에 기인한 것으로, 태양이 없는 야간의 자연환기에도 많은 영향을 미칠 것으로 판단된다.

전 시간대에 평균 상하온도차와 평균 기류속도는 비단열인 경우에는 1.97°C, 0.63m/s를, 10mm 단열재를 부착한 경우에는 2.3°C, 0.47m/s를

보이고 있다. 그러나, 50mm 단열재를 부착한 경우에는 상하온도차가 2.8°C로 비단열과 10mm 단열재를 부착한 경우보다 최대 1°C 정도의 차를 나타내고 있으나, 평균 기류속도는 0.47m/s로 가장 낮게 나타났다. 이는 연돌상부의 공기흐름에 영향을 미치는 유인효과에 의한 것으로 생각된다.

전체 환기량은 바람과 온도차에 의한 환기량의 합이다. 단열재의 두께 변화에 대한 실험에서 전체 환기량은 온도차에 의한 영향보다는 연돌상부에 작용하는 유인효과에 의한 영향이 더 크다고 판단된다. 그러나, 연돌효과에 의한 환기량은 상하온도차와 중성대의 높이가 영향을 미치므로, 단열재를 부착한 경우와 연돌높이가 높은 경우에는 그 비율이 증가될 것으로 예측할 수 있다.

4. 결론

연돌높이와 단열재의 두께변화에 대한 모델실험을 통하여 아래와 같은 결론을 얻을 수 있다.

1) 연돌 높이가 높아짐에 따라 수열면적이 증가하여 연돌내부의 공기와 벽표면과의 활발한 대류작용에 의하여 연돌내부의 상하온도차가 크다는 것을 알 수 있다.

2) 비단열인 경우보다 단열재를 부착한 경우가 축열효과로 인하여 시간경과에 따른 유입구의 온도변화폭에 비하여 상하온도차의 변화폭은 작다는 것을 알 수 있다.

3) 연돌높이의 변화에 따른 경우 상하온도차가 클수록 환기량이 어느 정도 증가됨으로, 전체 환

기량 중 온도차에 의한 환기량이 차지하는 비율은 단열재를 부착한 경우에서 그 비율이 증가될 것으로 예측할 수 있다.

4) 환기량은 상하온도차의 영향뿐만 아니라 연돌상부에 작용하는 유인효과의 영향도 크다는 것을 알 수 있다.

본 모형실험을 토대로 차후 전체환기량 중 바람에 의한 환기량과 온도차에 의한 환기량을 구분하여 계산할 필요성이 있다고 생각된다.

감사의 글

본 모델실험에 있어서 많은 도움을 주신 문보형 소장님과 유동우 소장님께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 문보형, 조성우, 임영빈, 태양열굴뚝 높이에 따른 자연환기성능에 관한 연구, 대한건축학회 부산경남지회 학술발표대회 논문집, 2001.11
2. 유동우, 조성우, 임영빈, 태양열굴뚝의 단열재 두께에 따른 자연환기성능에 관한 연구, 대한건축학회 부산경남지회 학술발표대회 논문집, 2001.11
3. H.B. Awbi, Ventilation of Buildings, E&FN SPON
4. ASHRAE Fundamentals Handbook, 1993, chapter 23