

공학석사 학위논문

태양열 굴뚝 내부의 연돌효과와
외기영향에 대한 환기성능에
관한 연구

지도교수 임 영 빈

이 論文을 指導교수 임영빈 先生의 學位論文으로 提出함



부경대학교 산업대학원

건축공학과

이 갑 택

이 논문을 이갑택의 공학석사
학위논문으로 인준함

2002年 6月 22日

주 심 공학박사 박 천 석



위 원 공학박사 김 영 찬



위 원 공학박사 임 영 빈



목 차

1. 서론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 내용 및 방법	2
2. 이론적 고찰	3
2.1 연돌효과에 의한 환기성능	3
2.2 외기영향에 의한 환기성능	8
3. 모형실험	10
3.1 높이 및 단열재 부착에 따른 측정지점	10
3.2 측정기간 및 측정기기	12
4. 결과분석	14
4.1 단열재 두께변화에 따른 자연환기 성능	14
4.1.1 단열재가 없는 경우	14
4.1.2 10mm단열재인 경우	17
4.1.3 50mm단열재인 경우	20
4.1.4 기류속도 및 환기량	23
4.2 태양열굴뚝 높이에 따른 자연환기 성능	24
4.2.1 태양열굴뚝 높이 60cm인 경우	24
4.2.2 태양열굴뚝 높이 90cm인 경우	27
4.2.3 태양열굴뚝 높이 120m인 경우	30
4.2.4 기류속도 및 환기량	33
5. 결론	35
참고문헌	36
SUMMARY	40

표 목 차

표 3.1 측정항목과 측정기기	13
표 4.1 비단열인 경우의 온도변화	14
표 4.2 10mm단열재인 경우의 온도변화	17
표 4.3 50mm단열재인 경우의 온도변화	20
표 4.4 태양열굴뚝의 표면온도와 공기온도변화	24
표 4.5 굴뚝높이 90cm일때의 표면온도와 공기온도변화	27
표 4.6 굴뚝높이 120cm일때의 표면온도와 공기온도변화	30

그 립 목 차

그림 2.1 태양열굴뚝 내부의 압력차	3
그림 2.2 태양열굴뚝 내부압력 분포	4
그림 2.3 건물내부에서의 굴뚝내부효과	8
그림 3.1 모형실험체	10
그림 3.2 기류측정지점	11
그림 3.3 온도측정지점	11
그림 3.4 DATA LOGGER	12
그림 4.1 비단열인 경우의 시간대별 굴뚝 내부온도변화	14
그림 4.2 비단열인 경우의 실험값과 계산값의 환기량 변화	15
그림 4.3 10mm단열재인 경우의 시간대별 굴뚝 내부온도변화	17
그림 4.4 10mm인 경우의 실험값과 계산값의 환기량 변화	18
그림 4.5 50mm단열재인 경우의 시간대별 굴뚝 내부온도변화	20
그림 4.6 50mm인 경우의 실험값과 계산값의 환기량 변화	21
그림 4.7 단열재 유무에 따른 기류속도 변화	23
그림 4.8 60cm인 경우의 시간대별 굴뚝 내부의 온도변화	24
그림 4.9 60cm인 경우의 실험값과 계산값의 환기량 변화	25
그림 4.10 90cm인 경우의 시간대별 굴뚝 내부의 온도변화	27
그림 4.11 90cm인 경우의 실험값과 계산값의 환기량 변화	28
그림 4.12 120cm인 경우의 시간대별 굴뚝 내부의 온도변화	30
그림 4.13 120cm인 경우의 실험값과 계산값의 환기량 변화	31
그림 4.14 태양열굴뚝 높이에 따른 기류속도의 변화	33

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

과다한 화석연료의 사용으로 인한 이산화탄소(CO_2)의 증가는 지구 대기 환경의 온난화와 오존층의 파괴로 지구환경에 많은 악영향을 미쳐왔을 뿐만 아니라, 생태계의 파괴에까지 이르는 심각한 수준에 도달해 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 수력, 풍력, 태양열 에너지와 같은 자연 에너지의 이용에 대한 관심이 증대되어 왔으며, 건축분야의 경우 건축물을 유지관리 하는데 이용되는 에너지와 사용 후 발생하는 이산화탄소의 문제 외에도 소위 빌딩증후군(Sick Building Syndrome)의 문제가 있다. 이러한 빌딩증후군은 불충분한 환기에 의해서 발생되며, 건물내부 재실자들에게 불쾌감을 줄 뿐 아니라 업무 효율의 저하와 건강한 삶을 해칠 우려가 높다.

따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 건물내부의 환기시스템은 거주 공간에 신선한 외기공기를 가능한 한 많이 도입하여 거주공간 내부의 신선공기의 비율을 높여 주는 것이 문제 해결의 한 방법이 될 것이다.

본 연구에서는 건물내부의 환기시스템에 이용되는 동력 에너지를 최소한으로 절감시키기 위한 방법으로 자연환기 시스템중의 하나인 연돌효과를 이용한 태양열굴뚝(solar chimney, 이하 태양열 굴뚝이라고 칭함)을 본 연구과제로 채택을 한바, 모델실험의 결과중에 태양열 굴뚝에 의한 자연환기 성능에 영향을 주는 여러 요소들중에 연돌내부의 상·하 온도차로 인한 연돌효과에 의한 자연환기 성능과 외기풍속에 의한 자연환기 성능으로 나누어 계산하였으며, 각각의 효과에 대한 자연환기 성능

을 비교 검토함으로써 차후 건물내부의 자연환기 시스템의 설계시 기초자료를 제공하는 것을 본 연구의 목적으로한다.

1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구는 태양열 굴뚝내부 단열재의 부착유무 및 두께 변화와 연돌 높이의 변화에 따른 자연환기 성능을 모델실험을 통하여 측정하였으며, 이를 토대로 연돌내부의 상하온도차로 인한 자연환기 성능과 풍속의 변화에 따른 자연환기 성능으로 나누어 계산하였다.

연돌내부의 상하온도분포는 기류 유입구 부분에서 유출구 부분까지를 30cm간격으로 측정하여 온도차를 구하였으며, 풍속의 측정지점은 연돌 효과에 의한 상승기류 부분과 외기풍속에 영향을 받는 유출구의 5cm아래 부분에 풍속계를 설치하여 유속을 측정하였다.

모델 실험상에서 연돌효과에 의한 자연환기성분과 외기풍속에 의한 자연환기성분의 분할은 실험상의 어려움이 있으므로, 모델실험에서 측정한 자연환기량의 결과값을 계산식을 이용하여 연돌효과에 의한 성분과 외기풍속의 성분으로 나누어 계산하고, 이를 모델실험의 결과치와 비교하여 검증하였다.

2. 이론적고찰

2.1 연돌 효과에 의한 환기성능

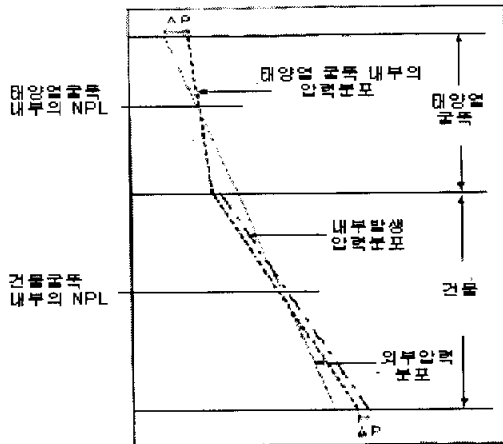


그림 2.1. 태양열 굴뚝내부의 압력차

태양열 굴뚝(solar chimney)을 이용한 자연환기는 굴뚝내의 최상부와 최하부의 상·하 온도차 변화에 의해 생기는 공기의 밀도변화에 의한 것이다. 이러한 현상을 일반적으로 연돌효과(stack effect)라 부르며, 계산식으로는 이상기체 방정식과 베르누이 방정식을 이용하여 계산할 수 있다. 자연환기에 의한 환기량은 베르누이 방정식과 연속방정식에 의해서 구할 수 있으며, 이 식은 굴뚝내부의 상하 온도차에 의해 굴뚝 내부 사이와 외부 사이의 밀도 차이를 보여주는 것으로서, 건물지붕위의 태양열굴뚝이나 건물내부의 굴뚝에는 외기인입인 NPL(Natural Pressure Level)이 존재하며, 태양열 굴뚝내부의 NPL(Natural Pressure Level)의 위치는 그림2.1과 같다.¹⁾

1) 조성우, Study on the performance prediction of solar chimney in natural ventilation system for school building, Tranaction of AIJ, Vol.537, 2000.11 pp45

그림2.1은 건물위 태양열 굴뚝 부분에서의 NPL의 위치와 건물내부의 굴뚝에서의 NPL의 위치를 나타내고 있다.

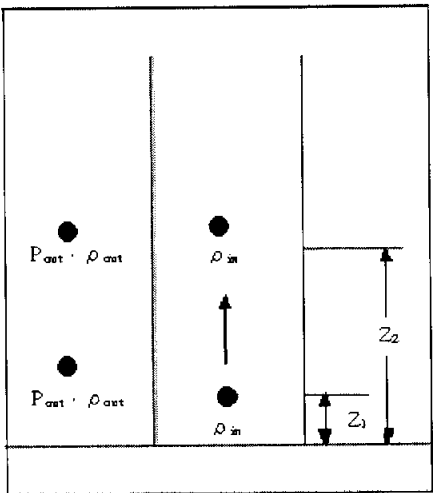


그림 2.2. 태양열 굴뚝내부압력 분포

태양열굴뚝을 이용한 자연환기는 굴뚝내의 상하 온도차의 원인으로 생기는 압력차 즉 연돌효과에 의해서 생긴다. 공기를 정지상태의 기체 (static air)인 경우,연돌효과에 따른 실내외의 압력차는 그림 2.2에서의 두 지점 Z_1 과 Z_2 에 대하여 아래식(1)과 식(2)로 나타 낼수 있다.

$$P_{z1} = P_{out} - \rho_{in} g Z_1 \text{-----식(1)}$$

$$P_{z2} = P_{out} - \rho_{in} g Z_2 \text{-----식(2)}$$

여기서, P_{out} 는 $\rho_{out} g Z_1$ (Z_1 지점)

P_{out} 는 $\rho_{out} g Z_2$ (Z_2 지점)

공기압력은 z_1 과 z_2 의 거리차에 따라 변화함으로서 z_1 과 z_2 사이에서의 압력차는 식(3)과 같이 나타 낼 수 있다.

$$\Delta P = (\rho_{out} - \rho_{in})g(Z_2 - Z_1) \text{-----식(3)}$$

식(3)의 z_1 과 z_2 대신에 h_{npl} 과 h 를 대입하면,식(4)와 같이 나타 낼 수 있다.

$$\Delta P = (\rho_{out} - \rho_{in})g(h_{npl} - h) \text{-----식(4)}$$

공기밀도는 온도, 습도와 기압과의 함수관계에 있으므로, 공기를 이상기체(ideal air)로 가정하면 실내외의 공기 밀도차는 식(5)와 식(6)과 같다.

$$\rho_{in} = \frac{P}{R T_{in}} \text{-----식(5)}$$

$$\rho_{out} = \frac{P}{R T_{out}} \text{-----식(6)}$$

식(4)에 식(5)와 식(6)을 대입하면, 식(7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta P = \rho_{out} (h_{npl} - h) g (T_{in} - T_{out}) / T_{in} \text{-----식(7)}$$

식(7)은 태양열굴뚝내의 상하온도차에 따른 압력차 즉 연돌효과만을 나타내고 있다.

연돌효과의 환기량은 내부 공기를 정상상태(state condition), 비압축성이고, 점성인 경우, 베르누이 방정식과 연속방정식에서 구할수 있다 .

$$P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g z_1 = P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g z_2 \text{-----식(8)}$$

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \text{-----식(9)}$$

식(8)에서 제1항은 압력에너지, 제2항은 속도에너지, 제3항은 위치에너지를 나타내고 있다.

태양열 굴뚝의 유출구는 지붕위에 존재하고 있으므로 z_1 과 z_2 의 높이는 같으므로 위치에너지는 무시 할 수 있다. 태양열 굴뚝의 유출구 쪽의 속도를 V_2 라 하면

식(8)과 식(9)에서

$$V_2 = \sqrt{2(P_1 - P_2) / \rho (1 - (\frac{A_2}{A_1})^2)} \text{-----식(10)}$$

여기서 A_2 는 외기로부터 실내로 유입되는 유입구 면적을 나타내고, A_1 은 공기가 배출되는 유출구의 면적을 나타낸다.

개구부의 면적 $A_2 \ll A_1$ 인 경우, A_2/A_1 는 무시 할수 있으므로, 식(10)을 다시 쓰면, 식(11)과 같다.

$$V = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} \text{----- 식(11)}$$

그러나, 식(8)에서 유도된 식(11)은 이상기체의 경우를 나타낸 것으로써 점성과 난류현상이 무시된 상태이다. 따라서 배출계수(discharge coefficient)를 도입함으로써 그 값을 보정 해 줄 수 있다. 배출계수는 풍속, 온도차와 개구부의 형상에 따라 달라진다.

본 연구에서는 배출계수는 식 (12)를 사용하였다. 식(13)에 배출계수를 대입하여 다시 쓰면, 식(14)가 된다.

$$C_d = 0.0835 (\Delta T/T)^{-0.3} \text{----- 식(12)}$$

$$V = C_d \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} \text{----- 식(13)}$$

식(13)에 식(7)을 대입하면, 연돌효과만에 의한 환기량은 식(14)과 같다.

$$Q = C_d A \sqrt{2g \Delta h_{nb} \frac{(T_m - T_{out})}{T_m}} \text{----- 식(14)}$$

2.2 외기영향에 의한 환기성능

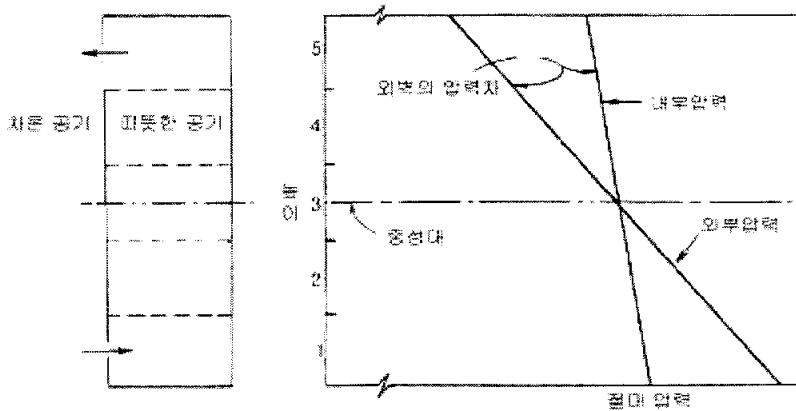


그림 2.3. 건물내부에서의 굴뚝연돌효과

그림2.3²⁾은 ASHRAE HANDBOOK(chart 23장)에서 건물높이에 대한 압력 분포를 나타내고 있다.

실 내외의 온도차가 없을 경우 외부의 풍속이 상당히 큰 경우에는 자연환기가 촉진된다. 풍속에 의한 자연환기는 환기공이라든가 출입구 등의 틈에서 침입하는 공기량과 여기에서 흡출되는 공기량에 의한다고 생각할 수 있다. 환기량은 풍속에 비례하므로 풍속에 의한 환기량은 다음과 같다.

$$Q = E \cdot A \cdot v$$

Q : 환기량(m^3/h)

A : 유입구 면적(m^2)

2) ASHRAE HANDBOOK (SI), 23.6 Fig3 Distribution of Inside and Outside Pressures Over the Hight of a Building

v : 풍속(m/s)

E : 개구부의 효율, 개구부에 직각으로 바람이 부는 경우 : 0.5~0.6

개구부에 45° 경사지게 부는 경우 : 위 값의 50%

만약 건물내부의 환기를 기계적 환기가 아닌 자연 환기 시스템으로 연돌 효과를 이용 한다면, 건물내부 연돌의 NPL을 건물 최 상층부 이상으로 올려 주어야만 자연 환기 효과를 얻을 수 있으며, 그 중요 인자는 다음과 같다.³⁾

1)외기 침입의 환기구 OPENING SIZE

2)각층별 배기 OPENING SIZE

3)태양열 굴뚝 벽면의 일사량에 의한 표면온도 와 벽면의 축열 성능

4)외기 기류 방향

5)태양열 굴뚝의 높이와 내부 면적 등의 요인

3) ASHRAE HANDBOOK (SI), 23.8 Flow Caused by Wind

3. 모형실험

3.1 굴뚝높이 및 단열재 부착에 따른 측정지점

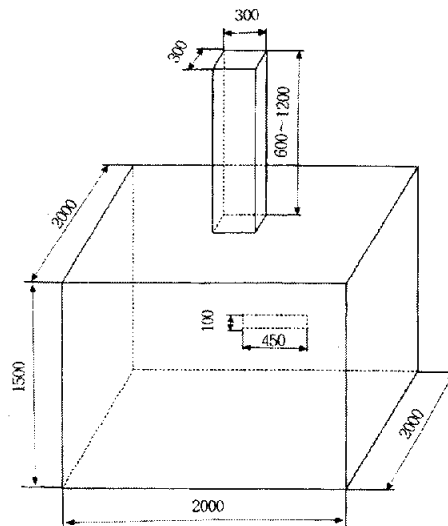


그림 3.1. 모형실험체

본 모형실험체는 부경대학교 용당캠퍼스 제10공학관 남측 전면부에 가로×세로×높이가 각각 2m×2m×1.5m인 크기로 (전면은 10mm 유리면) 고정 설치하였다.

태양열 굴뚝은 가로·세로 30cm×30cm로 하고 높이는 60cm, 90cm 120cm가 되게 만들었으며, 굴뚝의 상부 남측면과 동측면에는 유리면으로 만들고 북측면과 서측면은 열용량이 큰 콘크리트구조물로 제작하였다. 단열재의 부착 유무에 따른 모델 실험체의 높이는 120cm로 고정하여 온도 및 풍속을 측정하였다.

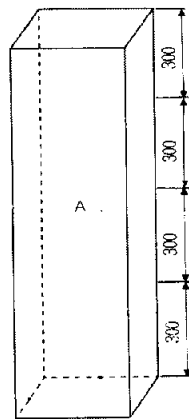


그림 3.2.
기류측정지점

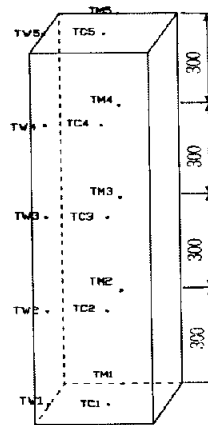


그림 3.3.
온도측정지점

태양열 굴뚝의 최하단 부에서부터 30cm간격으로 태양열 굴뚝내부 공기온도(T_c), 서측 내벽의 표면온도(T_w), 북측내벽의 표면온도(T_n)를 측정하기 위하여 열전대를 각각 5개씩 설치하여 DATALOGGER에 연결하여 10분 간격으로 온도(T)변화를 측정하고, 태양열굴뚝내부의 A지점에서 ANEMOMASTER를 사용하여 매 10분 간격으로 기류를 측정하고 측정결과를 15시, 16시, 17시 시간대의 값을 평균하여 실험data로 사용하였다.

3.2 측정기간 및 측정기기

3.2.1 측정기간

실험기간은 2001년 9월 12일은 단열재가 없는 경우, 16일은 단열재 50mm, 17일은 단열재 10mm를 설치한 경우를 각각 측정을 하였으며, 측정시간은 복사열과 일사량이 적어지는 15시부터 18시까지 측정하였다. 태양열 굴뚝높이에 따른 실험은 2001년 9월 7일은 연돌높이 60cm, 9월 11일은 90cm, 9월 12일은 120cm 경우를 각각 측정하였으며, 시간대별 일사량의 차이를 고려하여 측정시간을 11시, 13시, 15시, 17시로 2시간 간격으로 측정하였다.

3.2.2 측정기기



그림 3.4. DATA LOGGER

표 3.1. 측정항목과 측정기기

측정 항목	측 정 기 기	모 델 명	회 사
온도	DATA LOGGER	ALMEMO55903	ALMEMO (독일)
기류 속도	ANEMOMASTER	ANEMOMASTER MODEL24-6111	KANOMAX (일본)

4. 결과분석

4.1 단열재의 부착 유무 및 두께변화에 따른 자연환기 성능

4.1.1 단열재가 없는 경우

표 4.1. 비단열인 경우의 온도변화

단위 : °C

위치	시간	T1	T2	T3	T4	T5
태양열 굴뚝내부의 공기온도(Tc)	15시	30.6	31.4	31.8	32.8	30.15
	16시	30.8	31.1	31.9	32.8	29.6
	17시	30.6	31.7	32	32.3	30.6
서측굴뚝내부표 면온도(Tw)	15시	32.8	33.2	34.5	35.8	33.1
	16시	31.4	32.2	33.9	34.7	30.3
	17시	32.7	33.2	34.2	34.6	32.5
북측굴뚝내부표 면온도(Tn)	15시	42	34.2	34.7	38.1	33.5
	16시	31.6	32.2	34.7	35.2	31.3
	17시	33.5	34.1	34.7	35.1	33.8

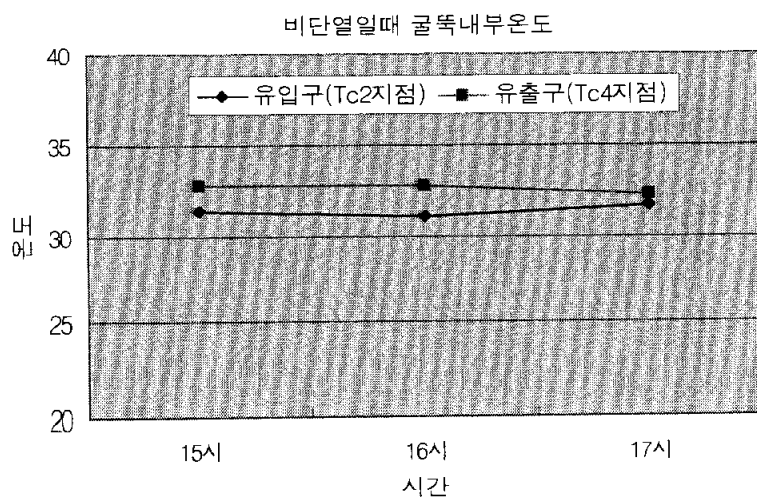


그림 4.1. 비단열인 경우의 시간대별 굴뚝내부온도변화

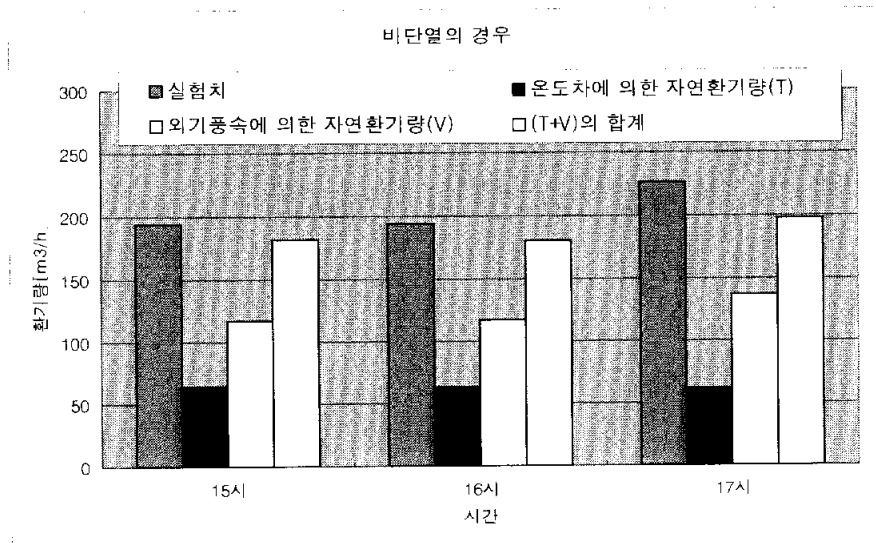


그림 4.2. 비단열인 경우의 실험값과 계산값의 환기량변화

그림 4.1은 단열재를 설치하지 않았을 때이며, 굴뚝내부온도의 측정지점은 총 5지점중 제 2지점인 유입구 부분의 굴뚝 내부 온도값과 제 4지점인 유출구 부분의 굴뚝 내부 온도값을 나타내고 있다.

제2지점의 굴뚝내부 평균온도는 31.4°C 로 나타났고, 제4지점의 굴뚝내부 평균온도는 32.6°C 로 2지점의 굴뚝내부 온도보다 1.2°C 정도 높게 나타났으며, 전체적으로 단열재를 설치하지 않았을때의 굴뚝내부 평균온도는 31.34°C 로 나타났다.

그림 4.2는 단열재를 설치하지 않은 경우에 있어서, 실험과 계산 결과값의 차는 전체적으로 약 8%를 보이고 있으므로, 두 결과값은 아주 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

15시의 계산식에 의한 경우, 온도차에 의한 자연환기량은 $65\text{m}^3/\text{h}$, 외기에 의한 자연환기량은 $117\text{m}^3/\text{h}$ 로 총 환기량은 $182\text{m}^3/\text{h}$ 이며, 이는 모델 실험결과 값과의 6.5%의 차를 나타내고 있으며, 16시의 경우에는 온도차에 의한 자연환기량은 $64\text{m}^3/\text{h}$, 외기에 의한 자연환기량은 $117\text{m}^3/\text{h}$

로 총 환기량은 $180\text{m}^3/\text{h}$ 로 모델실험 결과값과는 7.3%의 차를 나타내고 있다. 그러나, 상하온도차가 타 시간대에 비하여 작은 17시의 경우에는 온도차에 의한 자연환기량은 $62\text{m}^3/\text{h}$ 로 다소 낮게 나타났고, 외기풍속에 의한 자연환기량이 $136\text{m}^3/\text{h}$ 로 타 시간대에 비하여 외기풍속에 의한 자연환기량이 69%를 보이고 있으며, 실험결과 값과의 차가 12.8%로 타 시간대에 비하여 다소 큰 차를 나타내고 있다.

계산식에 따르면 총 환기량중 온도차에 의한 자연환기량이 약 34%를 차지하고, 외기풍속에 의한 자연환기량이 약 66%를 차지하는 것으로 계산되었다.

계산식과 모델 실험결과 값과 비교해보면, 온도에 의한 자연환기량이 약 31%, 외기풍속에 의한 자연환기량이 약 69%를 차지하는 것으로 예측할 수 있다.

4.1.2 10mm단열재인 경우

표 4.2. 10mm단열재인 경우의 온도변화

단위 : °C

위치	시간	T1	T2	T3	T4	T5
태양열 굴뚝내부의 공기온도(Tc)	15시	34.6	35.9	36.1	37.3	35.9
	16시	32.3	34.7	35.1	34.5	34.1
	17시	29.6	30.5	31.1	31.6	29.4
서측굴뚝내부표면 온도(Tw)	15시	39.1	39.7	39.9	40.5	39.3
	16시	36.2	36.7	36.9	37.4	36.3
	17시	31.5	31.9	32.7	32.8	27.3
북측굴뚝내부표면 온도(Tn)	15시	38.3	38.5	39.9	40	37.3
	16시	36.1	36.2	36.8	37.3	38.4
	17시	32.1	32.8	33.1	33.6	30.2

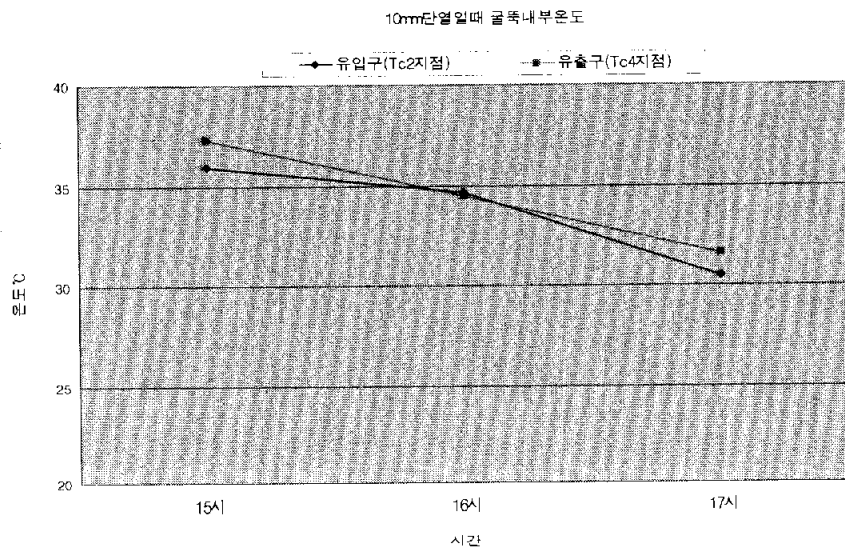


그림 4.3. 10mm단열재인 경우의 시간대별 굴뚝내부온도변화

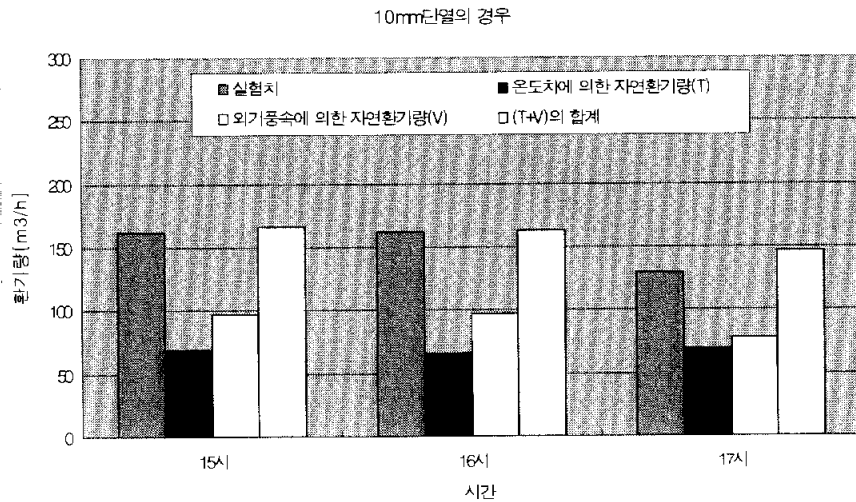


그림 4.4. 10mm인 경우의 실험값과 계산값의 환기량변화

그림 4.3은 10mm단열재를 설치한 경우이며, 굴뚝내부온도의 측정지점은 그림 8과 같은 측정지점인 총 5지점중 제 2지점인 유입구 부분의 굴뚝 내부온도값과 제 4지점인 유출구 부분의 굴뚝 내부 온도값을 나타내고 있다.

제2지점의 굴뚝내부 평균온도는 33.7℃로 높게 나타났고, 제4지점의 굴뚝 내부 평균온도는 34.5℃로 2지점의 굴뚝내부 온도보다 0.8℃정도 높게 나타났으며, 전체적으로 단열재를 설치하지 않았을때의 굴뚝내부 평균온도는 33.5℃로 단열재를 설치 하지 않았을 때보다 2.16℃정도 높게 나타났다.

그림 4.4는 10mm단열재를 설치한 경우에 있어서, 실험과 계산 결과값의 차는 비단열인 경우보다5%정도 더 정확하게 결과값이 일치하는 것을 알 수 있다.

15시의 경우, 온도차에 의한 자연환기량은 68m³/h, 외기에 의한 자연환기량은 97.2m³/h로 비단열인 경우보다 자연환기량은 3m³/h정도 높게 나

타나고, 외기풍속에 의한 자연환기량은 $19.44\text{m}^3/\text{h}$ 정도 낮게 나타났으며, 총 환기량은 $165\text{m}^3/\text{h}$ 으로, 이는 모델실험결과값과의 1.8%의 차를 나타내고 있다.

16시의 경우에는 온도차에 의한 자연환기량은 $65\text{m}^3/\text{h}$, 외기에 의한 자연환기량은 $162\text{m}^3/\text{h}$ 로 총 환기량은 $162\text{m}^3/\text{h}$ 이며 모델실험 결과값과는 0.15%의 차로 가장 낮은 차를 보이고 있다.

17시의 경우에는 온도차에 의한 자연환기량은 $64\text{m}^3/\text{h}$ 로 나타났고, 외기풍속에 의한 자연환기량은 $117\text{m}^3/\text{h}$ 로 실험결과값과의 차가 7.1%를 나타내고 있다. 계산식에 따르면 총 환기량중 온도차에 의한 자연환기량이 약 39%로 비단열의 경우보다 5%로 높게 나타났으며, 외기풍속에 의한 자연환기량이 약 61%로 비단열의 경우보다 5%정도 낮게 나타나는 것으로 계산되었다.

4.1.3 50mm단열재인 경우

표 4.3. 50mm단열재인 경우의 온도변화

단위 : °C

위치	시간	T1	T2	T3	T4	T5
태양열 굴뚝내부의 공기온도(Tc)	15시	31.1	33.2	33.5	34.1	26.8
	16시	29.7	31.9	32.1	32.1	28.3
	17시	28.1	29.1	29.6	31.1	26.9
서측굴뚝내부표면 온도(Tw)	15시	34.8	35.7	36.3	36.9	31.6
	16시	32.8	33.5	33.8	34.1	32.7
	17시	30.3	30.7	31.1	32.6	29.2
북측굴뚝내부표면 온도(Tn)	15시	35.6	36.1	36.6	37.3	31
	16시	32.1	32.7	32.6	33.7	31
	17시	30.7	31.2	31.9	33.2	28.3

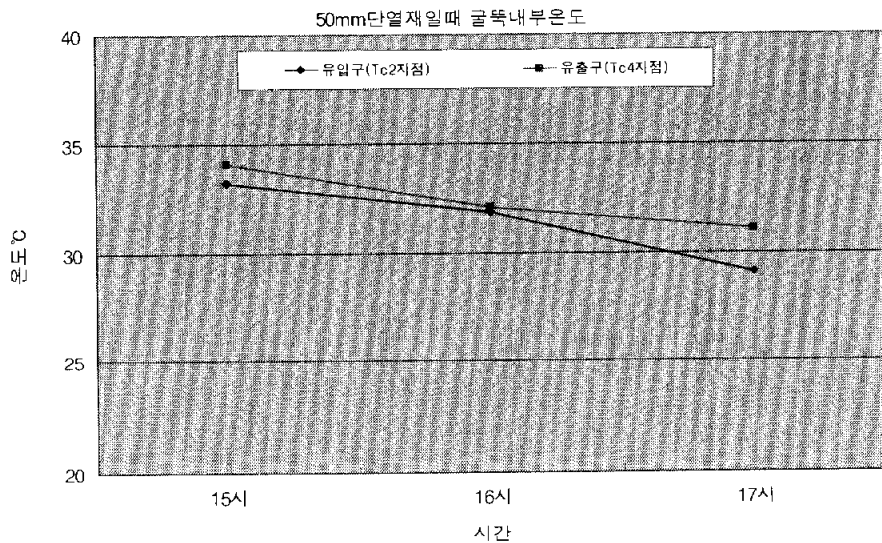


그림 4.5. 50mm단열재인 경우의 시간대별 굴뚝내부온도변화

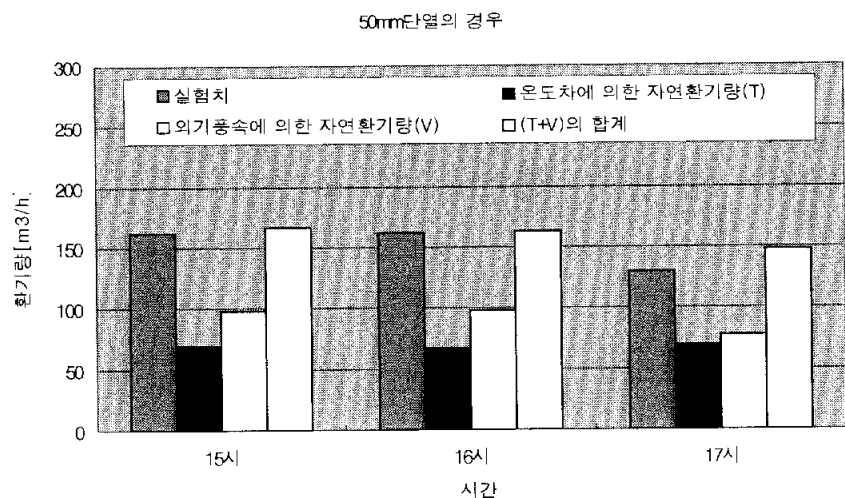


그림 4.6. 50mm인 경우의 실험값과 계산값의 환기량변화

그림 4.5는 50mm단열재를 설치한 경우이며, 굴뚝내부온도의 측정지점은 단열재의 유·무의 측정지점과 동일한 총 5지점중 제 2지점인 유입구 부분의 굴뚝 내부온도값과 제 4지점인 유출구 부분의 굴뚝 내부온도값을 나타내고 있다.

제2지점의 굴뚝내부 평균온도는 31.4℃로 단열재를 설치하지 않은 경우와 동일한 온도값이 나왔고, 제4지점의 굴뚝내부 평균온도는 32.4℃로 2지점의 굴뚝내부 온도보다 1℃정도 높게 나타났으며, 비단열인 경우보다는 0.2℃정도 낮게 나타났으며, 10mm단열재를 설치한 경우보다 2.1℃정도 낮게 나타났다.

전체적으로 비단열일 경우의 굴뚝내부 평균온도는 30.5℃로 50mm단열재를 설치한 경우보다 1℃정도 낮게 나타났으며, 10mm단열재를 사용했을 때 보다는 3℃정도 낮게 나타났다.

그림 4.6은 50mm단열재를 설치한 경우에 있어서는, 실험과 계산 결

과값의 차는 전체적으로 약6%의 차로 비단열인 경우보다 2%정도 근접한 것으로 나타났다.

15시의 경우, 온도차에 의한 자연환기량은 $69\text{m}^3/\text{h}$ 로 비단열일때와 10mm단열재를 설치한 경우와 $3\sim 4\text{m}^3/\text{h}$ 정도 높게 나타났으며, 외기에 의한 자연환기량은 $113.4\text{m}^3/\text{h}$ 로 비단열인 경우보다 자연환기량은 $3\text{m}^3/\text{h}$ 정도 낮게 나타나고, 10mm단열재를 설치한 경우보다 $6\text{m}^3/\text{h}$ 정도 높게 나타났다. 외기풍속에 의한 자연환기량은 $19.44\text{m}^3/\text{h}$ 정도 낮게 나타났으며, 총 환기량은 $182.6\text{m}^3/\text{h}$ 으로, 이는 모델실험결과값과의 19.5%의 차로 가장 많은 차를 나타내고 있다.

16시의 경우에는 온도차에 의한 자연환기량은 $66\text{m}^3/\text{h}$, 외기에 의한 자연환기량은 $97.2\text{m}^3/\text{h}$ 로 총 환기량은 $164\text{m}^3/\text{h}$ 이며 모델실험 결과값과는 15.9%의 차를 보이고 있다.

17시의 경우에는 온도차에 의한 자연환기량은 $69.3\text{m}^3/\text{h}$ 로 가장 높게 나타났고, 외기풍속에 의한 자연환기량은 $64.8\text{m}^3/\text{h}$ 로 총 환기량은 $134.1\text{m}^3/\text{h}$ 이며 실험결과값과의 차가 3.5%를 나타내고 있다. 계산식에 따르면 총 환기량중 온도차에 의한 자연환기량이 약 43%로 비단열의 경우보다 9%로 높게 나타났으며, 10mm단열재의 경우보다 4%정도 높게 나타났고, 외기풍속에 의한 자연환기량이 약 57%로 비단열의 경우보다 9%정도 낮게 나타나고, 10mm단열재의 경우보다 5% 낮게 나타나는 것으로 계산되었다.

4.1.4 기류 속도 및 환기량

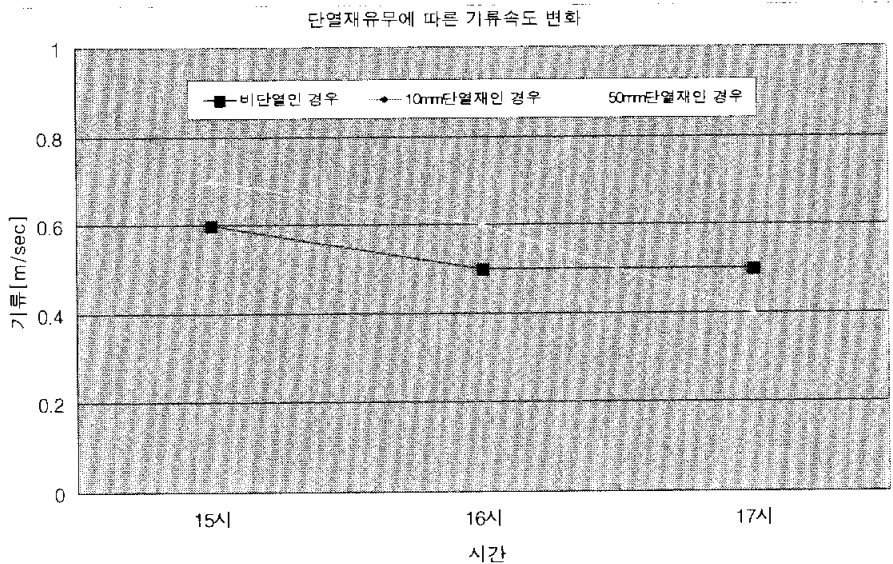


그림 4.7. 단열재 유무에 따른 기류속도 변화

그림 4.7은 단열재를 설치하지 않은 경우와 10mm단열재를 붙였을 경우, 15시에서 기류속도가 0.6m/s로 동일하게 나타나 타 시간대에 비하여 높게 측정이 되었고, 16시와 17시 경우의 기류속도는 0.5m/s로 측정되었다.

50mm단열재를 설치한 경우는 15시에 0.7m/s로 가장 높게 측정되었고, 16시에 0.6m/s, 17시에 0.5m/s로 나타나 일사량의 감소에 따라 기류속도가 낮아짐을 알 수 있다.

또한 환기량은 단열재를 설치하지 않은 경우와 단열재를 설치한 경우, 3시간 동안의 평균 환기량은 $172.8\text{m}^3/\text{h}$, 28.8회의 환기횟수를 얻었으며, 50mm의 단열재를 설치한 경우, 15시의 환기량은 $226.8\text{m}^3/\text{h}$, 16시에는 $194.4\text{m}^3/\text{h}$, 17시에는 $129.6\text{m}^3/\text{h}$ 으로 나타났으며, 3시간동안의 평균환기량은 $183.6\text{m}^3/\text{h}$ 로 30.6회의 환기횟수를 얻었다.

4.2 태양열 굴뚝 높이에 따른 온도

4.2.1 태양굴뚝 높이가 60cm인 경우

표4.4. 태양열 굴뚝의 표면온도와 공기온도변화

단위 : °C

위치	시간	T1	T2	T3
태양열 굴뚝내부의 공기온도(Tc)	11시	31.5	32.7	30.3
	13시	31	33.1	30.4
	15시	28.6	29.4	27.9
	17시	27.8	28.6	27.3
서측굴뚝내부표면온 도(Tw)	11시	35.6	36.3	31.2
	13시	35.1	36.6	31.7
	15시	31.4	34.2	31.9
	17시	30.1	31.4	29.3
북측굴뚝내부표면온 도(Tn)	11시	34.7	35.6	33.4
	13시	35.4	36.8	33.8
	15시	31.5	34.2	32.4
	17시	29.2	30.7	28.8

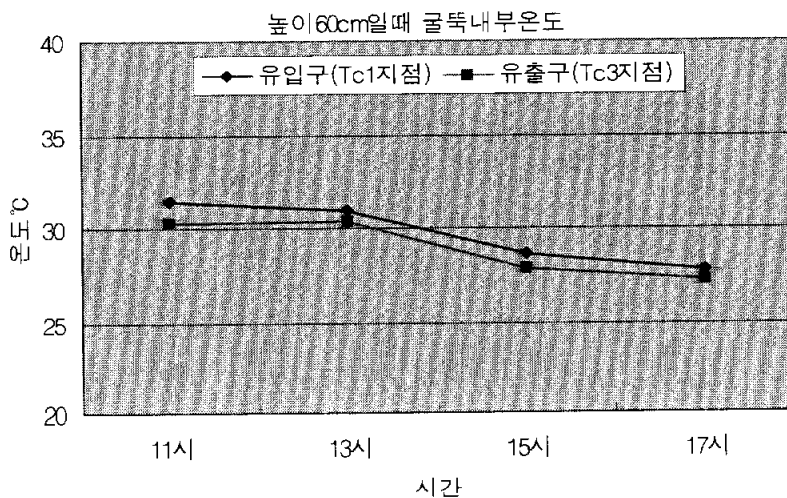


그림 4.8. 60cm인 경우의 시간대별 굴뚝내부의 온도변화

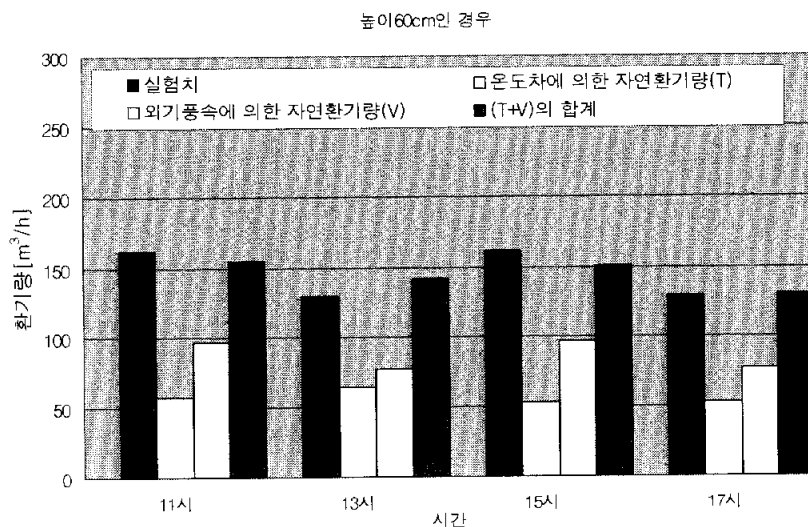


그림 4.9. 60cm인 경우의 실험값과 계산값의 환기량변화

그림 4.8은 높이 60cm일때이며, 굴뚝내부온도는 측정지점이 3지점으로 1지점인 유입구 지점의 굴뚝 내부온도 값과 3지점인 유출구 지점의 굴뚝 내부온도를 나타내고 있다.

유입구 부분과 유출구 부분의 가장 큰 온도차는 1.5℃로 이 두 지점이 거의 차를 보이고 있지 않고 있으며 굴뚝 높이 60cm일때의 유입구와 유출구의 온도는 거의 비슷한 것으로 나타났다.

그림 4.9는 태양열 굴뚝 높이가 60cm인 경우에 있어서, 실험과 계산 결과값의 차는 전체적으로 약 5.6%를 보이고 있으며, 이 두 값은 단열재의 유·무일때의 결과값과 비슷한 결과값을 나타내고 있다.

11시의 계산식의 경우, 온도차에 의한 자연환기량은 58m³/h, 외기에 의한 자연환기량은 97.2m³/h로 총 환기량은 155m³/h이며, 이는 모델실험결과 값과의 4.5%의 차를 나타내고 있다.

13시의 경우에는 온도차에 의한 자연환기량은 64m³/h, 외기에 의한

자연환기량은 $78\text{m}^3/\text{h}$ 로 총 환기량은 $142\text{m}^3/\text{h}$ 로 모델실험 결과값과는 9.3%의 차로 다소 높게 나타나고 있다.

15시의 경우에는 온도차에 의한 자연환기량은 $53\text{m}^3/\text{h}$ 로 다소 낮게 나타났고, 외기풍속에 의한 자연환기량이 $97.8\text{m}^3/\text{h}$ 로 11시와 같은 값이 나타났으며, 총환기량은 $150\text{m}^3/\text{h}$ 를 보이고 있다. 실험결과 값과의 차는 7.1%로 나타나고 있다.

일몰이 되어가는 17시의 경우, 온도차에 의한 자연환기량 $53\text{m}^3/\text{h}$, 외기 풍속에 의한 자연환기량 $78\text{m}^3/\text{h}$ 를 나타내고 있으며, 총 환기량은 $131\text{m}^3/\text{h}$ 를 보이고 있다. 17시의 경우 실험결과 값과의 차를 보면, 1%로 두 결과값은 아주 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

4.2.2 태양굴뚝 높이가 90cm인 경우

표4.5. 굴뚝높이 90cm일때의 표면온도와 공기온도변화

단위 : °C

위치	시간	T1	T2	T3	T4
태양열 굴뚝내부의 공기온도(Tc)	11시	29.6	31.1	32	29.1
	13시	30.6	32.8	34.2	28.1
	15시	29.2	29.9	30.2	28.3
	17시	27.2	28.1	28.7	27.2
서측굴뚝내부표면 온도(Tw)	11시	31.9	35.6	36.2	31.8
	13시	32.5	33.4	37.6	30.9
	15시	28.9	31.1	31.4	26.6
	17시	29.2	31.5	32.8	28.5
북측굴뚝내부표면 온도(Tn)	11시	34.5	34.7	36.8	33.5
	13시	33.5	35.5	37.2	31.8
	15시	32.5	33.7	34.6	31.3
	17시	28.0	28.7	31.6	28.6

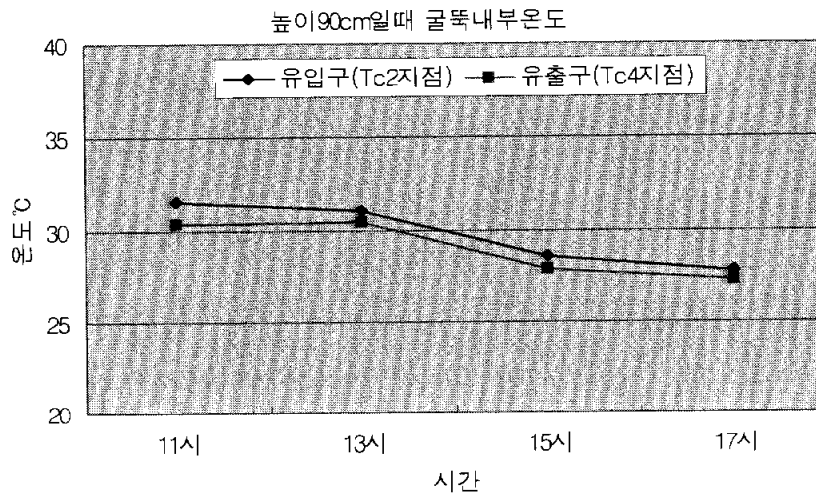


그림 4.10. 90cm인 경우의 시간대별 굴뚝내부의 온도변화

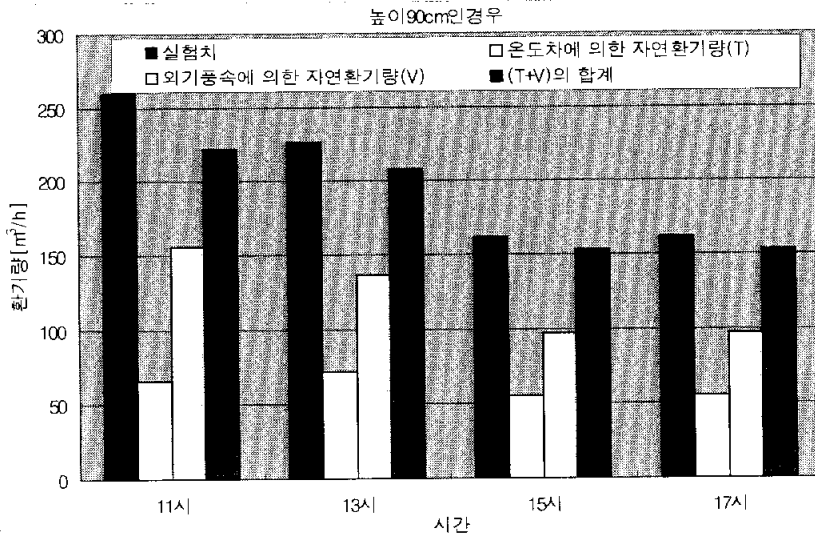


그림 4.11. 90cm인 경우의 실험값과 계산값의 환기량변화

그림 4.10은 태양열 굴뚝 높이가 90cm이며, 굴뚝내부온도의 측정지점을 4지점으로 잡고, 이때의 지점중 제2지점인 유입구 부분의 굴뚝내부온도의 값과 제4지점인 유출구 부분의 굴뚝내부온도의 값을 나타내고 있다.

그림 15에서의 측정지점이 그림 17에서 변동된 이유는 굴뚝높이의 변동사항 때문이며, 굴뚝높이가 길어짐에 따라서 평균 2℃ 정도의 굴뚝내부온도가 상승했음을 알 수 있다.

그림 4.11은 태양열 굴뚝높이가 90cm인 일 때, 실험과 계산 결과값의 차는 전체적으로 약 8.6%를 보이고 있으며, 두 결과 값의 차는 비단열인 경우의 차와 비슷한 값을 보이고 있다.

11시의 경우, 온도차에 의한 자연환기량은 66m³/h, 외기에 의한 자연환기량은 155m³/h이며, 총 환기량은 221m³/h로 가장 높게 나타나고 있다. 이는 모델실험결과값과의 14%의 차를 나타내고 있으며, 이 결과값의 차 또한 6~9%의 차를 나타내고 있다.

13시의 경우에는 온도차에 의한 자연환기량은 $71.7\text{m}^3/\text{h}$, 외기에 의한 자연환기량은 $136\text{m}^3/\text{h}$ 로 총 환기량은 207로 다소 높게 나타났으며, 결과값과는 8.3%의 차를 나타내고 있다.

15시의 경우에는 온도차에 의한 자연환기량은 $55\text{m}^3/\text{h}$ 로 다소 낮게 나타났고, 외기풍속에 의한 자연환기량이 $97.2\text{m}^3/\text{h}$ 로 나타났으며, 실험결과값과의 차는 5.7%로 나타나고 있다.

17시의 경우에는 상하 온도차가 타 시간대에 비하여 작게 나타났으며, 온도차에 의한 자연환기량은 $55.6\text{m}^3/\text{h}$, 외기풍속에 의한 자연환기량은 $97.2\text{m}^3/\text{h}$ 로 15시의 경우와 같게 나타났으며, 모델실험결과값과의 차는 5.6%를 나타내고 있다.

4.2.3 태양굴뚝 높이가 120cm인 경우

표 4.6. 굴뚝높이 120cm일때의 표면온도와 공기온도변화

단위 : °C

위치	시간	T1	T2	T3	T4	T5
태양열 굴뚝내부의 공기온도(Tc)	11시	31.7	31.9	33.7	34.3	31.1
	13시	32.3	33.1	34.2	35.2	31.2
	15시	30.6	31.4	31.7	32.8	30.2
	17시	30.6	31.7	32.0	32.3	30.6
서측굴뚝내부표면 온도(Tw)	11시	33	33.3	35.1	36.5	32.9
	13시	34.6	34.8	36.5	37.8	33.3
	15시	32.8	33.2	34.5	35.8	33.1
	17시	32.7	33.3	34.2	34.2	32.5
북측굴뚝내부표면 온도(Tn)	11시	32.3	33.5	36.5	36.6	32.0
	13시	34.6	35.1	38.2	38.4	33.6
	15시	34	34.2	34.7	38.1	33.5
	17시	33.5	34.1	34.7	35.1	33.8

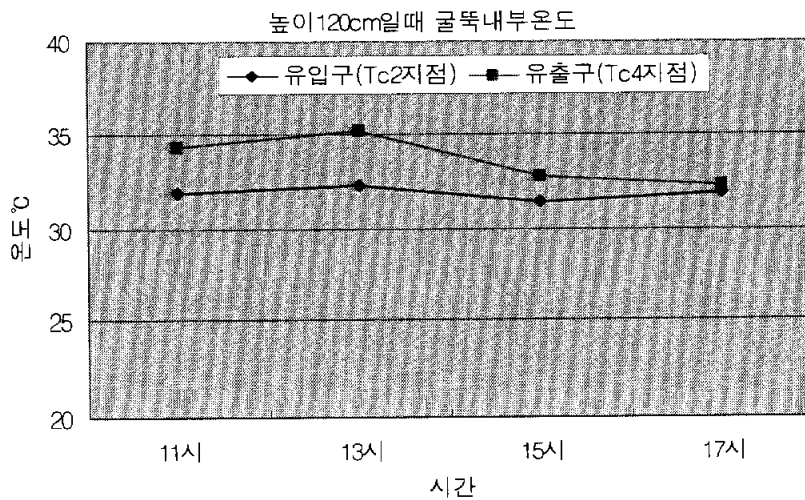


그림 4.12. 120cm인 경우의 시간대별 굴뚝내부의 온도변화

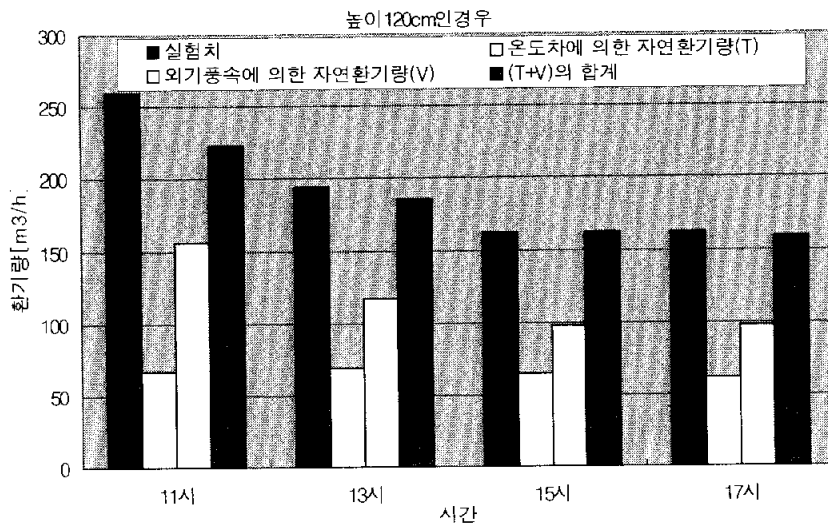


그림 4.13. 120cm인 경우의 실험값과 계산값의 환기량변화

그림 4.12는 태양열 굴뚝높이가 120cm일 때, 굴뚝내부온도의 측정지점을 굴뚝높이 90cm일때와 동일하게 제 2지점인 유입구 부분의 굴뚝 내부온도 값과 제 4지점인 유출구 부분의 굴뚝 내부 온도값을 나타내고 있다.

120cm일때의 굴뚝내부 평균온도는 32.1℃로 90cm일 때 보다는 1℃정도 낮으며, 60cm일 때 보다는 1℃정도 높게 측정되었다.

그림 4.13은 태양열 굴뚝높이가 120cm인 경우에 있어서, 실험과 계산 결과값의 차는 전체적으로 약5%를 보이고 있으며, 높이 60cm일때의 값과 0.6%정도 작게 나타났다.

11시의 계산식의 경우, 온도차에 의한 자연환기량은 67m³/h, 외기에 의한 자연환기량은 155m³/h로 총 환기량은 222m³/h으로 가장 큰 값을 나타내고 있으며, 최소값과의 차는 93m³/h이며 모델실험결과 값과의 14%의 차를 나타내고 있다. 13시의 경우에는 온도차에 의한 자연환기량은 68m³/h로, 외기에 의한 자연환기량은 116m³/h로 총 환기량 184m³/h로 모델실험 결과값과는 4.6%의 차를 나타내고 있다.

15시의 경우에는 온도차에 의한 자연환기량은 $65\text{m}^3/\text{h}$ 로 나타났으며, 외기풍속에 의한 자연환기량이 $162\text{m}^3/\text{h}$ 로 나타났다.

17시의 경우에는 온도차에 의한 자연환기량은 $61\text{m}^3/\text{h}$ 로 가장 낮게 나타났고, 외기풍속에 의한 자연환기량은 $97\text{m}^3/\text{h}$ 이며, 총환기량은 $158.9\text{m}^3/\text{h}$ 로 나타났으며, 모델실험 결과 값과의 차는 5.2%를 나타내고 있다.

4.2.4 기류 속도 및 환기량

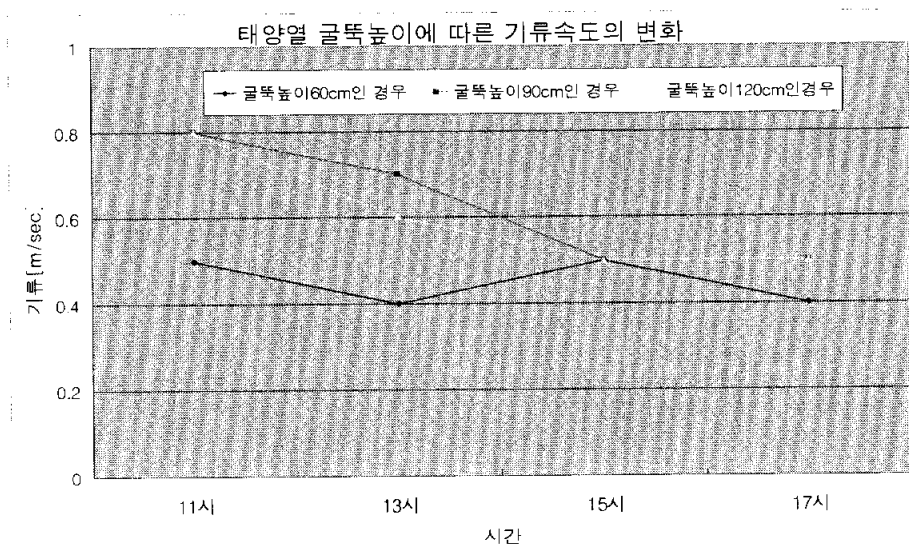


그림 4.14. 태양열 굴뚝높이에 따른 기류속도의 변화

그림 4.14는 굴뚝높이 60cm인 경우 기류속도는 11시에서 0.5m/s, 13시에는 0.4m/s이며, 15시에는 0.5m/s, 17시에는 0.4m/s로 시간대별로 0.4m/s~0.5m/s의 주기적인 변화를 보이고 있으며, 굴뚝높이 90cm인 경우에는 11시에 0.8m/s, 13시에 0.7m/s, 15시에는 0.5m/s 17시에는 0.4m/s로 기류가 점점 저하되고 있다.

120cm인 경우의 기류속도는 11시에 0.8m/s로 90cm일때의 11시의 값과 같은 값을 가지며, 13시에는 0.6m/s 15시에는 0.5m/s로 나타났다. 특히 15시의 값은 60cm, 90cm, 120cm일때의 값이 모두 같게 나타난 것을 알 수 있다.

또한 환기량은 태양열 굴뚝높이 60cm일 때 6시간 동안의 평균 환기량은 $145.8\text{m}^3/\text{h}$ 환기횟수는 24.3회/h를 얻었으며, 태양열 굴뚝높이가 90cm일 때 6시간동안의 평균 환기량은 $202.5\text{m}^3/\text{h}$ 으로 환기횟수는 34.02회를 얻었다.

태양열 굴뚝높이 120cm일 때의 6시간 동안의 평균 환기량은 $194.4\text{m}^3/\text{h}$ 로 나타났으며, 환기횟수의 값은 32.4회/h로 나타났다.

5. 결론

모델실험과 계산식을 통한 결론은 다음과 같다.

1. 단열재 부착 유·무에 따른, 모델실험결과 값과 계산결과 값과의 차이가 5.8%이고, 연돌높이가 다른 경우, 모델실험값과 계산결과값의 차이는 6.4%로 나타났으며, 전체적으로는 약6%정도의 차를 나타내고 있으므로 모델 실험결과 값과 계산결과값은 어느 정도 일치하는 것으로 나타났다.
2. 모델실험을 통하여 온도차에 의한 환기량은 전체환기량의 약37%를 차지하고, 풍속에 의한 환기량은 약63%정도를 차지하는 것으로 계산이 되었다.
3. 앞으로 아파트나, 다세대 주택의 실내환기를 roof ventilator에만 의존하지 말고 본 실험에서와 같이 온도차를 이용한 태양열 굴뚝시스템을 병용시킬 경우는 전체 환기량의 약30%정도를 더 향상 시킬뿐만 아니라 에너지 절약에도 많은 도움이 될것이다.

참고문헌

- 1) 건축설비, 장순익저, 보성각, pp.580-581
- 2) 건축기술정보, pp23-32, 1997.9
- 3) 김영호, 박정원, 공기조화설비, 기문당
- 4) 단열재를 부착한 태양열 굴뚝의 연돌효과에 관한 실험연구,
유동우(공동연구)
- 5) 대한설비공학회, 설비저널 Vol.30, 100. 1. 2001. 1
- 6) 모델실험을 통한 태양열 굴뚝 높이에 따른 자연환기 성능에 관한
연구, 문보형(공동연구)
- 7) 신우철, 환기목적으로 설치되는 Solar Chimney 에서의 자연대류에
관한연구, 대전대학교, 대학건축학회논문집, 제12권 제 12호, 98호, 1996
- 8) 설비저널, pp. 17, 2001-1
- 9) 임영빈 외 2인, 건축환경계획, 보성각
- 10) 윤재옥, 고층아파트 단지의 기류형태에 관한 모형실험연구. 공학박
사과정, 연세대학교
- 11) 윤재옥, 이경희, 아파트 住戶의 自然通風에 關한 模型 實驗研究, 대
한건축 학회 춘계학술발표회 논문집, 1986
- 12) 木村建一외 1인, 建築士技術全書 2-環境工學, 彰國社刊
- 13) 中井多喜雄,공조설비의 유지관리, pp. 40-42, 圖書出版 義僑
- 14) 山河浩, 西岡利晃, 齊藤隆, 煙風洞に よ り建物の通風の研究, 日本建
築學會學術講演梗概集, 10月,1982, pp347-348
- 15) A Share Handbook 1989 Fundamentals Chart 23장
- 16) Bahadori, M.N. : Passive Cooling System in Lranian Architecture
Scientific American, Vol. 238, No.2, pp. 144-154
- 17) Clito Afonso and Armando Oliveira : Solar Chimney-Aimulation

- and Experiment, Energy and Buildings, 2000, Vol. 5, pp. 1081-1090
- 18) Research on the Performance of Solar Chimney for Natural Ventilation System Of Buildings, Waseda University, 조성우, February 2001, chart 3장 pp.45-49
- 19) Martin Evan, Housing Climate and Comfort, The Architectural Press, 1980
- 20) SungWoo CHo and Ken-ichi Kimura, Study on the performance prediction of solar chimney in natural ventilation system for school building, Tranaction of AIJ, Vol.537, 2000.11
- 21) Solar Energy Utilization Handbook, 1985

SUMMARY

A Study on the Stack Effect of the Inside of Solar Chimney and Ventilation Performance by Outdoor Effect.

by Gab-Tack Lee

**Dept. of Architectural Engineering
Graduate School of Industry, Pukyong National University
Busan ,Korea**

Increasing in CO_2 by the excessive use of fossil fuel has had some bad effects such as warm an ozone layer destroy on the earth environment.

To solve these problems we have been concerning in the use of natural powers such as water power, wind force solar energy If these kind of natural powers are adapted to indoor it might can reduces the using energy rates and has contributes in environment.

Convey power, needed to ventilate indoor was minimized by adapting to nature ventilation system the test ,used solar chimney was divided into two parts one was nature ventilation performance by stack effect and one by wind velocity of outdoor.

This experiment took place at engineering building No.10

yongdang campus pukyoung National University, the model experiment was performed on the aspect ratio of 2:1, with the chimney height of 60cm, 90cm, 120cm.

Model's eastern and southern walls were made by the glass. model's western and northern walls were made by the concrete and each walls had not insulation 10mm, insulation 50mm.

A data logger which was used to take temperature of inside stack an anemomaster was used to measure the an air current.

The efficiency of the nature ventilation at inside stack was analyzed by a Bernoulli's theorem and continuity equation.

The efficiency of the nature ventilation by wind velocity of outdoor was calculated by no.1 formula at the results of the test, there were 5.8% of differences between experiment value and calculation a result value when these results were compared with each two kind of models one had insulation and another one didn't and in case where the height of stack was different from each other, the results also showed 6.4% of differences between experiment value and calculation a result value.

Efficiency of the nature ventilation by stack was 70% and one by the air temperature was 30% of total ventilation.

Roof ventilator normally used at the apartment building and common house is nature ventilation system only depend on wind velocity of outdoor since it so much depend on wind velocity of outdoor it is being expected increasing in efficiency of the nature ventilation more than 30% in case where the solar chimney would be used at ventilator.

감사의 글

본 논문이 오늘의 작은 결실을 맺기까지 아낌없는 지도와 격려를 하여주시고, 학문의 길에 정진하도록 힘써주신 임영빈 지도교수님께 깊은 감사를 드립니다.

논문이 완성되기까지 부족한 점을 보완해주시고 심사를 지도해 주신 박천석 교수님, 김영찬 교수님께 감사 드리며, 부경대학교 건축공학과 조홍정 교수님, 류종우 교수님, 신용재 교수님, 이수용 교수님, 김기환 교수님, 이재용 교수님, 조영행 교수님께도 감사를 드립니다.

또한 학부과정에서 언제나 사랑으로 대해주신 기계공학과 이도형 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

동고동락한 환경연구실 선·후배, 조성우 박사님, 정근주 박사님, 동문 서학한 임종문, 양효철, 유동우, 문보형, 김종배 선배님과 후배 강무봉, 박지훈, 박상환, 정성근, 석철환, 김태영, 최재욱군과 박소정양에게도 감사드립니다.

힘들 때 많은 격려와 조언으로 용기를 북돋아준 사랑하는 아내와 아들 이민석, 땀속의 둘째와 아버지님 그리고 하늘나라에서 제일 기뻐하실 어머니님과 장인어른, 장모님께도 감사드립니다.

마지막으로 본 논문이 나올 때 까지 따뜻한 격려와 배려를 아끼지 않은 회사 동료분들께 감사드립니다.

2002년 6월

이 갑 택