[UCI]I804:24011-200000263698

2013年　2月

碩 士 學 位 論 文

수치해석 및 실험을 통한 트롬월 시스템의 적용성 검토

朝 鮮 大 學 校　大 學 院

建 築 工 學 科 (建 築 工 學 專 攻)

金　尙　玩

수치해석 및 실험을 통한 트롬월 시스템의 적용성 검토

Application of trombe wall system using numerical analysis and experiments

2013年 2月 25日

朝 鮮 大 學 校 大 學 院

建 築 工 學 科 (建 築 工 學 專 攻)

金 尙 玩

수치해석 및 실험을 통한 트롬월 시스템 적용성 검토

指導敎授　　徐　長　厚

이 論文을 工學 碩士學位申請 論文으로 提出함.

2012年　10月

朝 鮮 大 學 校　大 學 院

建 築 工 學 科 (建 築 工 學 專 攻)

金　尙　玩

金尙玩의 碩士學位論文을 認准함

委員長 朝鮮大學校 敎授 曺 昌 根 印

委 員 朝鮮大學校 敎授 徐 長 厚 印

委 員 朝鮮大學校 敎授 曺 圭 萬 印

2012年 11月

朝 鮮 大 學 校 大 學 院

차 례

ABSTRACT

제1장 서론

1.1 연구의 배경 ····· 1

1.2 연구의 목적과 방법 ····· 2

1.3 선행연구 고찰 ····· 5

제2장 자연형 태양열 시스템(Passive Solar System)

2.1 자연형 태양열 시스템의 정의 ····· 7

2.2 자연형 태양열 시스템의 종류 ····· 9

2.2.1 직접 획득형 (Direct Gain) ····· 9

2.2.2 간접 획득형 (Indirect Gain) ····· 9

2.2.3 분리 획득형 (Isolated Gain) ····· 10

제3장 CFD를 이용한 트롬월의 열 및 기류 분포해석

3.1 CFD의 정의 및 모델 설정 ····· 14

3.1.1 정의 ····· 14

3.1.2 CFD의 적용분야 ····· 16

3.1.3 CFD해석을 위한 모델 설정 ····· 17

3.2 경계조건의 설정 ····· 18

3.2.1 지배방정식 ····· 18

3.2.2 경계조건 설정 ····· 20

3.3 CFD 해석 및 결과 ····· 21
3.3.1 기류분포 결과 ····· 21
3.3.2 온도분포 결과 ····· 22
3.4 설계적 변수에 의한 CFD 해석 ····· 23
3.4.1 개구부 간 수직간격의 차이에 따른 CFD 해석 ····· 23
3.4.1.1 CFD 해석결과 ····· 23
3.4.1.2 온도 및 기류 분포 ····· 35
3.4.2 중공층 간격의 차이에 따른 CFD 해석 ····· 37
3.4.2.1 CFD 해석 결과 ····· 37
3.4.2.2 온도 및 기류 분포 ····· 42
3.5 소결 ····· 44

제4장 축소모형실험

4.1 축소모형실험 ····· 45
4.1.1 축소모형실험의 개요 ····· 45
4.1.2 축소모형실험체의 구조 ····· 45
4.1.3 축소모형실험체의 제작 ····· 47
4.2 축소모형실험의 측정 ····· 48
4.2.1 축소모형실험의 측정위치 선정 ····· 48
4.2.2 축소모형실험의 측정 장치 ····· 49
4.2.3 축소모형 실험 방법 ····· 52
4.3 결과분석 ····· 54
4.3.1 트롬월 시스템(Trombe wall System) 적용시 온도분포 ····· 54
4.3.1.1 측정 실험 결과 ····· 54
4.3.1.1 결과 분석 ····· 56
4.3.2 트롬월 시스템(Trombe wall System) 비적용시 온도분포 ····· 58
4.3.2.1 측정 실험 결과 ····· 58
4.3.2.1 결과 분석 ····· 60
4.4 소결 ····· 62

제5장 결론 ····· 63

참고문헌 ····· 65

표 차 례

[표 1.1] 국내 선행 연구 고찰 ····· 5
[표 1.2] 국외 선행 연구 고찰 ····· 6

[표 2.1] 축열벽의 두께 설계지침 ····· 12
[표 2.2] 각 자연형 태양열 시스템 장·단점 ····· 13

[표 3.1] CFD 해석 모델의 경계조건 ····· 20
[표 3.2] S의 변화에 따른 하부에서 1.2m 높이의 실내의 평균온도 분포 ····· 24
[표 3.3] S의 변화에 따른 상부 개구부를 통과하는 기류의 속도 ····· 24
[표 3.4] S의 변화에 따른 상부 개구부를 통과하는 기류의 속도 ····· 24
[표 3.5] W의 변화에 따른 하부에서 1.2m 높이의 실내의 평균온도 분포 ····· 26
[표 3.6] W의 변화에 따른 상부 개구부를 통과하는 기류의 속도 ····· 26

[표 4.1] 열전대 제원 ····· 50
[표 4.2] 데이터로거의 제원 ····· 51
[표 4.3] 트롬월이 32.2℃일 때 4회의 실내 평균 온도분포 측정결과 ····· 57
[표 4.4] 트롬월이 30℃일 때 4회의 실내 평균 온도분포 측정결과 ····· 57
[표 4.5] 3회의 ②번 측정지점의 온도와 실내 평균 온도분포 측정결과 ····· 60
[표 4.6] ②번 측정지점 온도가 20℃일 때 3회의 실내 평균 온도분포 측정결과 · 61

그 림 차 례

[그림 1.1] CFD 해석을 위한 설정모델 ····· 3
[그림 1.2] 전체 연구 흐름도 ····· 4

[그림 2.1] 자연형 태양열 시스템의 분류 ····· 8
[그림 2.2] 매스월과 트롬월의 기본 개념도 ····· 10
[그림 2.3] 자연형 태양열 시스템 적용 방법상 개념도 ····· 11

[그림 3.1] CFD 해석 모델 ····· 17
[그림 3.2] 트롬월을 적용하였을 경우 실내 기류분포 ····· 21
[그림 3.3] 트롬월을 적용하였을 경우 실내 온도분포 ····· 22
[그림 3.4] 설계 변수를 적용하기 위한 CFD해석 대상의 입면도 ····· 23
[그림 3.5] S = 0cm(Case 1)일 때 실내 온도분포(℃) ····· 25
[그림 3.6] S = 0cm(Case 1)일 때 실내 기류분포 ····· 25
[그림 3.7] S = 10cm(Case 2)일 때 실내 온도분포(℃) ····· 26
[그림 3.8] S = 10cm(Case 2)일 때 실내 기류분포 ····· 26
[그림 3.9] S = 20cm(Case 3)일 때 실내 온도분포(℃) ····· 27
[그림 3.10] S = 20cm(Case 3)일 때 실내 기류분포 ····· 27
[그림 3.11] S = 30cm(Case 4)일 때 실내 온도분포(℃) ····· 28
[그림 3.12] S = 30cm(Case 4)일 때 실내 기류분포 ····· 28
[그림 3.13] S = 40cm(Case 5)일 때 실내 온도분포(℃) ····· 29
[그림 3.14] S = 40cm(Case 5)일 때 실내 기류분포 ····· 29
[그림 3.15] S = 50cm(Case 6)일 때 실내 온도분포(℃) ····· 30
[그림 3.16] S = 50cm(Case 6)일 때 실내 기류분포 ····· 30
[그림 3.17] S = 60cm(Case 7)일 때 실내 온도분포(℃) ····· 31
[그림 3.18] S = 60cm(Case 7)일 때 실내 기류분포 ····· 31
[그림 3.19] S = 70cm(Case 8)일 때 실내 온도분포(℃) ····· 32

[그림 3.20] S = 70cm(Case 8)일 때 실내 기류분포 ····· 32
[그림 3.21] S = 80cm(Case 9)일 때 실내 온도분포(℃) ····· 33
[그림 3.22] S = 80cm(Case 9)일 때 실내 기류분포 ····· 33
[그림 3.23] S = 90cm(Case 10)일 때 실내 온도분포(℃) ····· 34
[그림 3.24] S = 90cm(Case 10)일 때 실내 기류분포 ····· 34
[그림 3.25] S값 변화에 따른 1.2m 높이의 실내 평균온도분포 ····· 35
[그림 3.26] S의 변화에 따른 상부 개구부를 통과하는 기류의 속도 ····· 36
[그림 3.27] 설계 변수를 적용하기 위한 CFD해석 대상의 단면도 ····· 37
[그림 3.28] W = 20cm(Case A)일 때 실내 온도분포(℃) ····· 39
[그림 3.29] W = 20cm(Case A)일 때 실내 기류분포 ····· 39
[그림 3.30] W = 30cm(Case B)일 때 실내 온도분포(℃) ····· 40
[그림 3.31] W = 30cm(Case B)일 때 실내 기류분포 ····· 40
[그림 3.32] W = 40cm(Case C)일 때 실내 온도분포(℃) ····· 41
[그림 3.33] W = 40cm(Case C)일 때 실내 기류분포 ····· 41
[그림 3.34] W의 변화에 따른 하부에서 1.2m 높이의 실내의 평균온도 분포 ····· 42
[그림 3.35] W의 변화에 따른 상부 개구부를 통과하는 기류의 속도 ····· 43

[그림 4.1] 실험체 온도측정 위치 ····· 48
[그림 4.2] 트롬월 적용 1회 측정 실험 결과 ····· 54
[그림 4.3] 트롬월 적용 2회 측정 실험 결과 ····· 55
[그림 4.4] 트롬월 적용 3회 측정 실험 결과 ····· 55
[그림 4.5] 트롬월 적용 4회 측정 실험 결과 ····· 56
[그림 4.6] 트롬월 미적용 1회 측정 실험 결과 ····· 58
[그림 4.7] 트롬월 미적용 2회 측정 실험 결과 ····· 59
[그림 4.8] 트롬월 미적용 3회 측정 실험 결과 ····· 59

사 진 차 례

[사진 4.1] 제작중인 축소모형실험의 윗면 벽(왼쪽)과 아랫면 벽(오른쪽) ····· 46
[사진 4.2] 완성된 축열벽(왼쪽)과 옆면 벽(오른쪽) ····· 46
[사진 4.3] 완성된 윗면 벽(왼쪽)과 뒷면 벽(오른쪽) ····· 46
[사진 4.4] 전체적인 실험체 제작 순서 ····· 47
[사진 4.5] 실험체에 측정 장비 설치 ····· 49
[사진 4.6] 열전대 ····· 50
[사진 4.7] 데이터 로그 ····· 51
[사진 4.8] 트롬월 시스템 적용과 비적용 ····· 52
[사진 4.9] 트롬월 적용했을 경우와 적용하지 않았을 경우의 가열상태 ····· 53

Abstract

Application of trombe wall system using numerical analysis and experiments

Kim, Sang Wan
Advisor : Prof. Seo, Janghoo,
Department of Architectural Engineering,
Graduate School of Chosun University

From the solar thermal systems used in building structures, the nature-type solar energy system that applied nature circulating method for the heat transfer is consisted of direct gain, indirect gain and isolated gain. Among them, a type of the representative indirect gain method, the passive system method, is largely classified in the trombe wall method with the upper and lower air circulation vent and the mass wall only with the energy storage mass. The trombe wall method has relatively high system efficiency and easier to apply for the southern walls from the nature-type solar energy system that it is the most widely applied system.

In general, there were many theoretical and empirical advance on the trombe wall system, but there is an insufficient analysis on heat efficiency following the air flow distribution, heat transfer characteristics and vertical gap in the opening by using the computational fluid dynamics.

Therefore, in this study, as a result of principle on operation of air flow and heat in engineering verification by using the CFD analysis when the Trombe wall system is applied on building structure as well as anlyzing the indoor air flow and thermal movement on night condition, following conclusion has been acquired.

1. Interpretation of existing general trombe wall system, was applied for -10℃, the same temperature for both indoor and external wall boundary conditions without classification. However, under this research, it was considered that the interior part of the building structure could not be the sane as the external temperature of -10℃ in winter that the interior wall temperature was assumed for 10℃, and as a result of its interpretation, the temperature showed the characteristics of air flow pattern and thermal movement that had the warm indoor air to escape to the glass window with declining temperature and the cold air from the heat loss flowing into the indoor.

2. By using the CFD analysis, when the analysis was made by affixing the figures of the 'opening area'(D) and 'cavity interval'(W) and changing the figure of the 'step'(S) height, the optimal efficiency step (S) figure in the Trombe wall was analyzed. As a result, when the step (S) figure was 30cm, it was shown to have the best efficiency.

3. When the analysis was made by applying the figure with the optimal efficiency from the figure of step (S) that was analyzed earlier by using the CFD analysis and affixing the opening area (D) and changing the cavity interval (W) figure, the optimal efficient cavity interval (W) figure in the Trombe wall was analyzed. As a result, the efficiency was the best when the cavity interval (W) figure was 20cm.

4. In the efficiency review of the Trombe wall system through the experiment, if the Trombe wall was applied in the building structure, the Trombe wall had the indoor temperature increased at the time the temperature was declining that the Trombe wall had the stored heat into the interior. In addition, in

the event that the Trombe wall was not applied, the initial indoor average measurement temperature was measured higher than the case applied for the Trombe wall. However, it was decreased with significant range of change with the lapse of time, and when the experiment was completed, the external wall and the temperature were similarly measured to have greater heat loss when applied the Trombe wall. In the event that the Trombe wall was applied on building structure, it was proven to have higher effect in the energy efficiency aspect.

제1장 서 론

1.1 연구의 배경

최근 인류가 소비하는 에너지원의 90% 이상을 석탄, 석유, 천연가스 등의 화석연료에 의존하고 있으며, 무분별하게 사용된 화석에너지에 의해 발생된 온실 가스는 이상기후 등 지구 환경의 변화를 초래하고 있다. 특히 선진국일수록 건축물이 차지하는 에너지 소비량이 높으며, 우리나라 또한 건축물 부문에 있어서 에너지 소비량은 지속적 증가하는 추세에 있다. 국내의 총 에너지 사용량 가운데 건축분야에서 소비되는 에너지 사용량은 전체 에너지 사용량의 약 21.5% 정도에 다다르고 있으며,[1] 이 수치는 사회· 산업구조가 고도화됨에 따라 꾸준히 증가할 것으로 예상되고 있다. 그리고 미 에너지성(DOE)의 2008년 건축물에너지 데이터 분석에 따르면, 2006년 38.9%를 차지하는 건축물 에너지 비율이 2030년 42.4%까지 증가할 것으로 예상되고 있다.[2]

이러한 흐름에 발 맞춰 선진 각국에서는 국가 에너지 소비를 줄일 수 있는 방안으로 건축 분야의 에너지 절감을 추진하고 있다. 최소의 비용으로 최대의 효과를 기대 할 수 있는 분야로 분석되기 때문이다.

더욱이 국내에서도 자원고갈에 대비하고 저탄소 녹색 성장을 통한 에너지 절약 및 선제적인 기후 변화 대응을 위해 국토해양부에서 2025년까지 제로에너지 주택 공급 목표를 자체적으로 설정하고 단계별 에너지 의무 절감 계획을 수립 중에 있다고 밝힌바 있다.

일부 개정되어 2012년 9월에 고시된 “친환경 주택의 건설 기준 및 성능(국토해양부 고시)” 에 따르면 11월부터 신축되는 건축물은 그 해당건축물의 에너지를 30% 의무 절감해야 하며, 2017년에는 60%, 2025년 까지 에너지 절감 율을 100%로 의무화 한다고 한다.[3]

그동안 건축물에너지에 대한 단순한 요소 기술 개발과 추상적인 에너지 절약에만 중

1) 에너지경제연구원편, 『에너지 통계 월보』, 지식경제부, 2011. 12, pp.12
2) U.S Department of Energy, Energy Efficiency & Renewable Energy. 2008 Building Energy Data Book, Movember, 2008
3) 「친환경 주택 건설기준 및 성능」국토해양부

점을 둔 나머지 실제적 건축물의 에너지 절약적인 시스템을 갖추지 못하였다. 따라서 건축물 에너지 소비 절감은 1차적으로 디자인의 원리에 바탕을 둔 실내 환경 성능을 극대화 할 수 있는 건축적 기법(Passive system)의 건축물 설계가 선행되어야 한다.

최근 자연형 태양열 패시브 시스템(Passive solar system)을 건축에 적용하는 사례가 많이 늘어나고 있다. 그 사례 가운데 하나가 바로 축열벽(Trombe wall)방식 이다. 열관리가 단순하고 경제적이며 쾌적할 뿐만 아니라 건축 계획적 수법만으로도 태양에너지의 취득과 보존을 충분히 운용할 수 있다.[4)]

이러한 패시브 시스템의 적용은 건축물에서의 에너지 효율 향상과 자연 에너지의 이용을 위한 건축적 기술의 개발과 응용은 건축물 에너지의 절감을 위해 꼭 필요한 연구라고 판단된다.

1.2 연구의 목적과 방법

(1) 연구의 목적

국내에서 자연형 태양열 시스템인 트롬월 시스템에 대한 많은 이론적, 실험적 선행연구가 수행되었지만, 전산유체해석(이하, CFD)을 이용한 트롬월 시스템의 기류와 열의 이동 및 분포에 대한 분석은 매우 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 CFD 해석을 이용하여 트롬월 시스템을 건축물에 적용하였을 때, 겨울철 야간상태의 실내에 미치는 열 분포 및 기류속도를 분석하고, 이후 설계적 변수를 두어 개구부 수직 간격 및 중공층 간격에 차이를 두었을 때 가장 효율적인 효과를 갖는 설계 방안을 검토하고자 한다.

또한, 건축물에 트롬월을 적용하였을 경우와 적용하지 않았을 경우에 대하여 실험모형을 제작하고 실측을 통해 실내에 미치는 온열환경을 측정, 분석하므로 트롬월의 효율성에 대해 검증하고 건축적 적용성 검토에 목적을 둔다.

4) 윤태균, 인하대학교, 2012, “자연형 태양열 시스템을 이용한 커튼월 벽체의 應用에 관한 硏究”, 4쪽.

(2) 연구의 방법

본 연구는 자연에너지 이용을 극대화하기 위한 자연형 태양열 패시브 시스템 중 간접획득형(축열벽)을 건축물에 적용했을 경우에 야간 정상상태일 때 실내에 미치는 영향을 전산유체해석 프로그램인 CFD를 이용하여 연구를 수행하였으며, 이후 건축물에 트롬월을 적용과 미적용의 경우에 대하여 실험모형을 제작하고 실측을 통해 실내에 미치는 온열환경을 측정, 분석하므로 트롬월의 효율성에 대해 검증하고 트롬월의 건축적 적용성을 검토한다. 구체적인 연구의 방법은 다음과 같다.

첫째, 자연형 태양열 시스템 중 간접획득형인 트롬월 시스템을 이론적으로 정립하고 CFD 해석을 위한 모델을 설정한다.

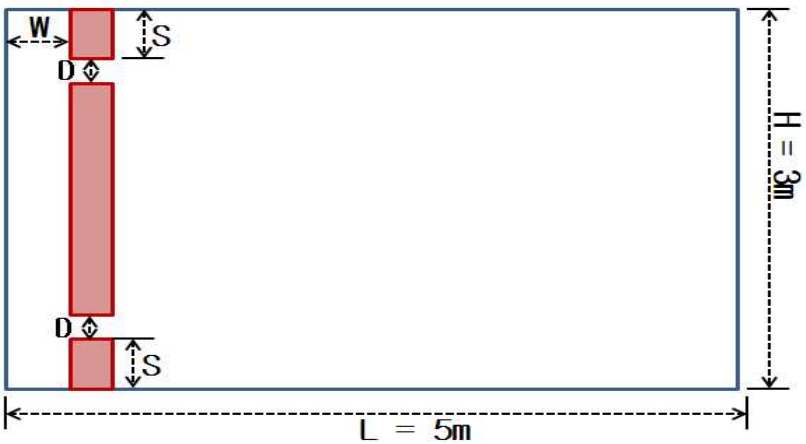
둘째, CFD 관련 이론을 숙지한 뒤 [그림 1.1]과 같은 트롬월의 기본적 모델을 CFD를 이용하여 선행 해석한다.

셋째, [그림 1]에서 중공층(W), 개구부면적(D), 길이(L), 높이(H) 값을 고정하고 최적의 스텝(S) 의 값을 검토한다.

넷째, 선행 해석 결과 스텝(S) 값과 개구부(D), 길이(L), 높이(H) 값을 고정하고 최적의 효율을 갖는 중공층(W) 값을 검토한다.

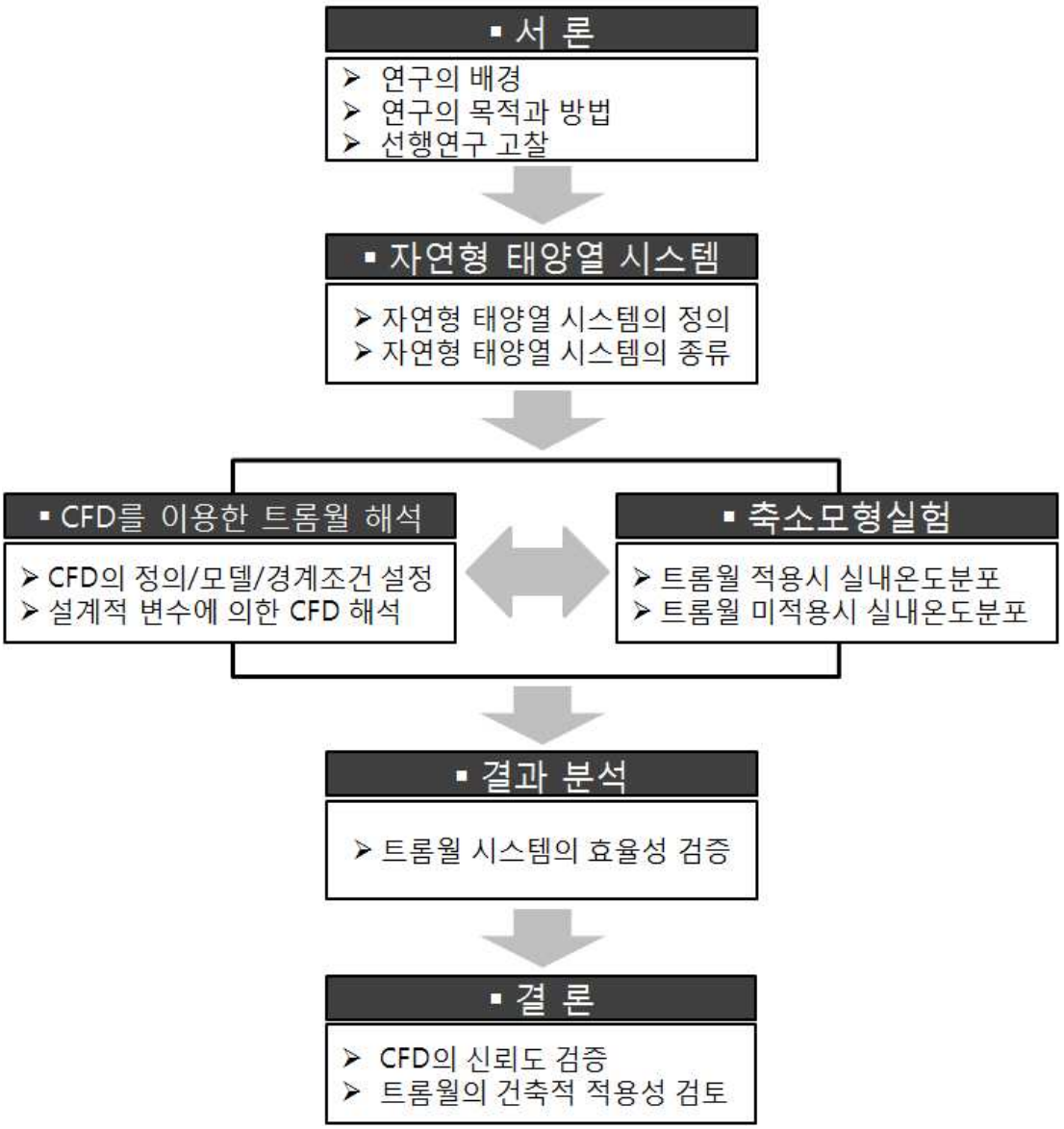
다섯째, 축소모형을 제작하고 트롬월의 적용과 미적용의 경우에 대하여 실측을 통해 트롬월이 실내에 미치는 온열환경을 측정, 분석한다.

여섯째, 트롬월의 효율성에 대해 검증하고 건축적 적용성을 검토한다.



[그림 1.1] CFD 해석을 위한 설정모델

다음 [그림 1.2]는 본 연구의 전체 연구 흐름도를 나타낸다.



[그림 1.2] 전체 연구 흐름도

1.3 선행연구 고찰

선행연구는 [표 1.1]과 [표 1.2]와 같이 국내와 국외로 나누어 고찰 하였다. 국내·외의 기존의 CFD 해석 연구와 실측을 통한 실험연구 결과를 토대로 기존 연구의 문제점에 대해 평가하여 더 발전된 연구를 위한 근간이 되므로 연구자의 시행착오를 줄일 수 있는 기준이 된다고 할 수 있다.

[표 1.1] 국내 선행 연구 고찰

종 류	연구자	연도	연 구
자연형 태양열 시스템 적용	이경회 외	1986	자연형 태양열 축열벽 시스템의 열성능평가 연구
	이경회 외	1989	자연형 태양열 축열벽 시스템의 열성능에 관한 실험적 연구
	장향인 외	1991	실험모델에 의한 자연형 태양열 시스템 야간 단열구조의 열성능에 관한 연구
	이원근	1992	자연형 태양열 시스템의 열성능 해석 및 최적화
	윤종호 외	2008	자연형 태양열 트롬월 축열벽 시스템의 열성능 특성 실측 분석 연구
	박진서	2010	오피스 건물 적용을 위한 자연형 태양열 난방시스템의 효율 분석
	박진서	2010	사무소 건물을 위한 자연형 태양열 시스템의 응용
	윤태균	2011	건물외피에 적용한 자연형 태양열 시스템의 성능 분석
	윤태균	2012	자연형 태양열 시스템을 이용한 커튼월 벽체의 응용에 관한 연구
트롬월	이명호 외	1988	자연형 태양열 트롬월 방식에서의 야간단열에 관한 실험적 연구
	노지희	2004	흙을 이용한 트롬월의 열성능 시뮬레이션 평가에 관한 연구
	박경수	2012	축열재료에 따른 트롬월 시스템의 열적 성능평가

[표 1.2] 국외 선행 연구 고찰

종 류	연구자	연도	연 구
Trombe Wall	Guohui Gan	1998	A parametric study of Trombe walls for passive cooling of buildings
	Arvind Chel, et	2008	Energy conservation in honey storage building using Trombe wall
	Basak Kundakci Koyunbaba, et	2011	An approach for energy modeling of a building integrated photovoltaic (BIPV) Trombe wall system
	Samar Jaber, et	2011	Optimum design of Trombe wall system in mediterranean region
	Wei Sun, et	2011	Performance of PV-Trombe wall in winter correl-ated with south facade design
	Francesca Stazi, et	2012	Trombe wall management in summer condition : An experimental study
	Basak Kundakci Koyunbaba, et	2012	The comparison of Trombe wall systems with single glass, double glass and PV panels
CFD	Guohui Gan	2006	Simulation of buoyancy-induced flow in open cavities for natural ventilation
	Cristina Sanjuan, et	2011	Energy performance of an open-joint ventilated facade compared with a conventional sealed cavity facade

제2장 자연형 태양열 시스템

2.1 자연형 태양열 시스템의 정의

자연형 태양열 시스템을 말하기에 앞서 태양열 시스템이란 태양에너지를 건축물의 난방 또는 냉방에 이용하기 위해 고안된 시스템으로 크게 집열부, 축열부 및 이용부로 구성된다. 이들 구성요소간의 열전달방법에 따라 자연형 태양열 시스템과 설비형 태양열 시스템으로 구분된다. 자연형 태양열 시스템(Passive Solar System)은 외부로부터의 에너지 공급없이 전도, 대류 또는 복사와 같은 자연적인 열전달에 의한 방식을 이용한 것이며, 설비형 태양열 시스템(Active Solar System)은 펌프나 송풍기 등과 같이 별도의 에너지를 소모하는 기계적인 열전달에 의한 방식을 이용한 것이다.

여기에 집열부는 건축물 남측벽에 에너지 집열용 남향창을 설치하고, 축열부는 건축물 내부의 축열벽, 축열지붕, 축열바닥 등 건축물 구조체를 이용하여 태양열을 저장하고, 이용부는 실내공간으로 집열부와 축열부의 자연적인 열전달 방법에 의해 난방과 냉각효과를 볼 수 있는 구조와 시스템을 갖는다.[5)]

특히 남향 집열창과 축열 부위의 적절한 조화는 난방과 냉방을 겸할 수 있는데, 여름철 일사차단과 통풍을 고려하고, 건축물 구조체가 태양열에 과열되는 것을 방지하여 실내·외의 열 이동을 최소화 한다면 기계적 힘을 이용하지 않고 실내온도를 낮추는 자연형 냉방효과도 볼 수 있다.

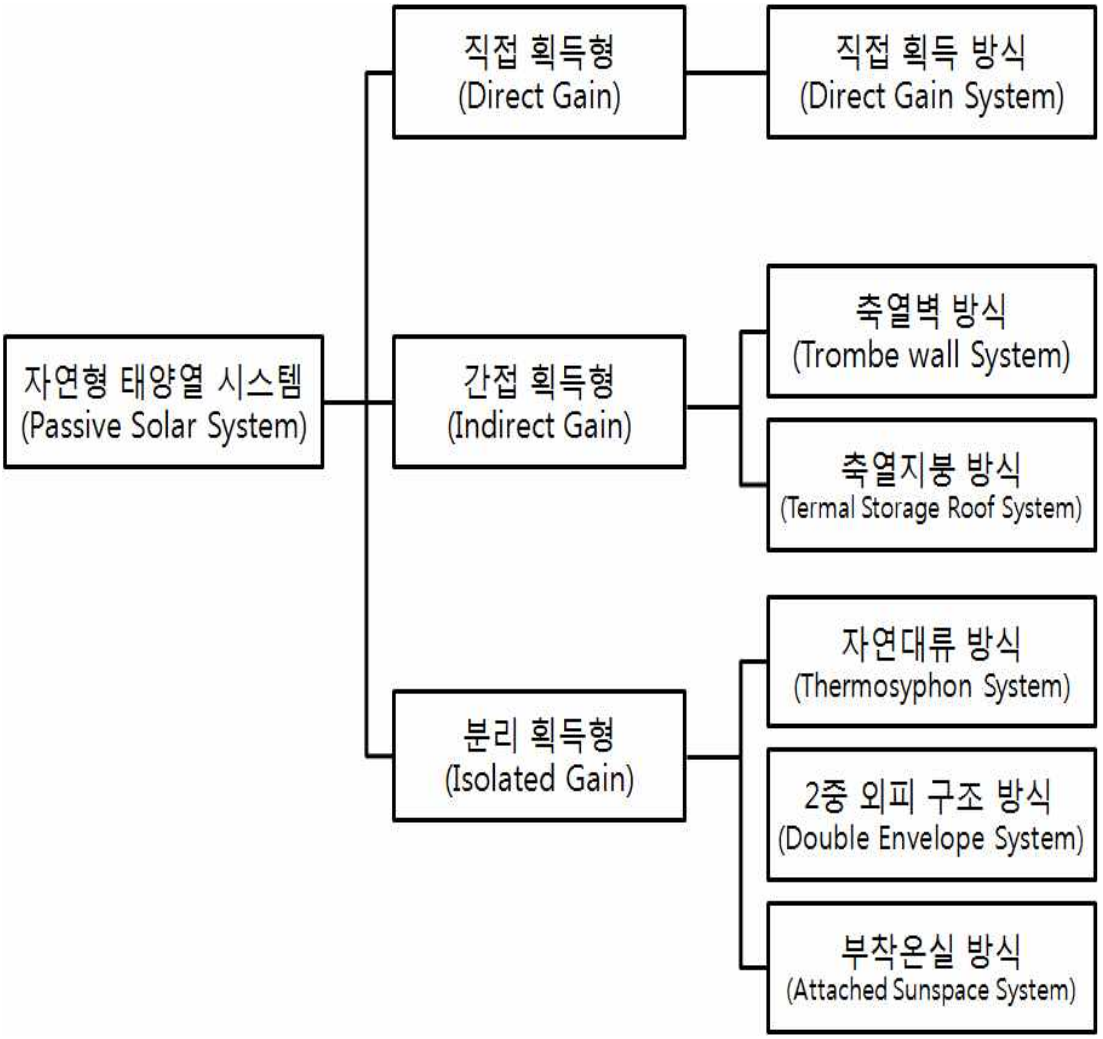
이러한 자연형 태양열 시스템은 집열, 저장, 이용방식에 따라 직접획득형(Direct Gain), 간접획득형(Indirect Gain), 분리획득형(Isolated Gain)의 3가지로 분류하며, 구조 형태상의 분류로 직접획득방식(Direct Gain System), 축열벽 방식(Trombe wall System), 축열지붕 방식(Termal Storage Roof System), 자연대류 방식(Thermosyphon System), 2중 외피구조 방식(Double Envelope System), 부착온실 방식(Attached Sunspace System)으로 분류된다.[6)]

[그림 2.1]은 자연형 태양열 시스템의 분류이다.

---

5) Norbert Lechner, Heating Cooling Lighting- Design Methods for Architects, John Wiley & Sons, Inc. 2002

6) 윤태균, 인하대학교, 2012, “자연형 태양열 시스템을 이용한 커튼월 벽체의 應用에 관한 硏究”, 7쪽.



[그림 2.1] 자연형 태양열 시스템의 분류

2.2 자연형 태양열 시스템의 종류

2.2.1 직접획득형(Direct Gain)

남향면의 집열창을 통하여 겨울철 많은 양의 햇빛이 직접적으로 실내로 유입되도록 하여 얻어진 태양에너지를 바닥이나 실내 벽체에 열에너지로서 저장하여 야간이나 흐린 날 난방에 이용할 수 있도록 하는 형태이다.

2.2.2 간접획득형(InDirect Gain)

태양에너지를 석벽, 벽돌벽, 또는 물벽이나 콘크리트 벽 등에 축열하여 열전도, 복사 및 대류와 같은 자연현상, 자연대류에 의하여 실내 난방효과를 얻을 수 있도록 한 것으로, 태양과 실내난방 공간 사이에 집열창과 축열벽을 두어 주간에 집열된 태양열이 야간이나 흐린 날, 외기보다 실내의 기온이 낮을 때 서서히 방출되도록 하는 것이다.

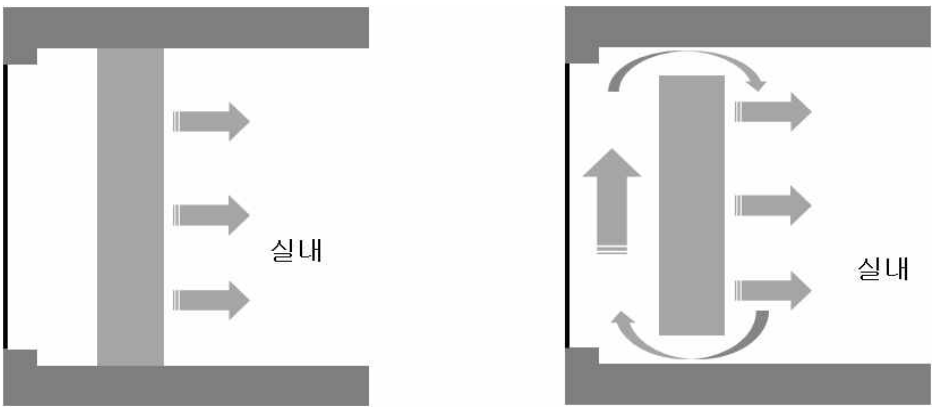
(1) 매스월(Mass Wall)

건축물을 이중 외피로 하여 그 사이로 공기가 순환되도록 하는 방식이며 집열과 축열은 실내공간으로부터 분리되지만, 열적으로는 서로 연결되어 벽체를 통해서 전도에 의해 에너지가 전달되면 열 복사에 의해 실내 공간으로 전달된 에너지가 방사되는 시스템이다.

(2) 트롬월(Trombe wall)[7)]

집열창과 축열벽사이의 공간(중공층)에서 수집된 태양열이 실내로 전달되는 과정에서 축열벽의 전도 및 복사 이외에 추가로 자연대류에 의한 열전달이 이루어지는 방식이다. 축열벽 상부와 하부에 각각의 통기구(Vent)를 설치함으로서 가열된 공기가 벽의

7) 박진서, 2010, “오피스 건물 적용을 위한 자연형 태양열 난방시스템의 효율 분석”, 7쪽.



[그림 2.2] 매스월과 트롬월의 기본 개념도

상하의 통기구를 통하여 연속으로 순환된다. 그러나 벽체의 부피가 크고 조망에는 불리하다.

[그림 2.2]는 매스월과 트롬월의 기본 개념도를 나타낸다.

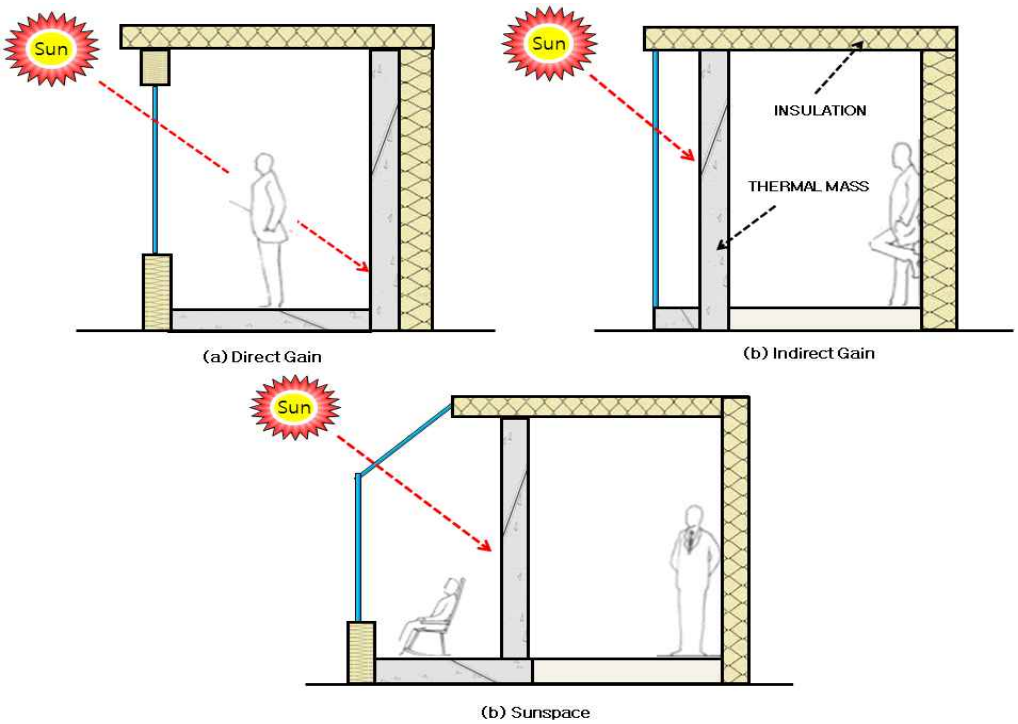
2.2.3 분리획득형(Isolated Gain)

집열 및 축열부와 이용부(실내)를 격리시킨 형태를 말한다. 이 방식은 실내와 단열되거나 떨어져 있는 부분에 태양에너지를 저장할 수 있는 집열부를 두어 실내난방 필요시 독립된 대류작용에 의하여 그 효과를 얻을 수 있다. 즉, 태양의 집열과 축열이 실내난방공간과 분리되어 있어 난방효과가 독립적으로 나타날 수 있다는 점이 특징이다.[8] [그림 2.3]은 자연형 태양열 시스템의 적용상 대표적인 개념도를 나타낸 것이다.

한편, 자연형 태양열 시스템에서 가장 중요한 요소는 축열체이며 낮 동안 얻은 태양열을 저장할 수 있도록 충분한 부피와 면적의 축열체가 있어야 한다. 이러한 축열체는 주간 및 야간의 실내온도차를 최소화하는데 큰 역할을 한다.

또한 적당한 시간지연효과(Time-lag)와 실내온도 변화폭을 줄이기 위해 실내공간으로 들오는 일사량의 약 60%를 축열체에 저장되도록 설계하고, 겨울철 맑은 날을 기준

8) 이경회, 건축환경계획, 문운당, 3rd, 2007, p. 295.



[그림 2.3] 자연형 태양열 시스템 적용 방법상 개념도[9)]

으로 하루 동안 실내 난방공간의 온도 격차가 5 ~ 8 ℃ 정도로 유지되도록 해야 한다.[10)]

그러나, 자연형 태양열 시스템은 겨울철 난방부하 절감에 효과적이지만 여름철 일사를 통한 냉방부하 상승을 초래하므로 여름철 실내 일사취득으로 인한 냉방부하 상승을 억제할 수 있는 방법을 함께 고려해야 할 것이다.

따라서 축열벽 방식을 건축물에 적용하여 에너지효율의 향상 및 실내의 쾌적한 환경을 증진시키기 위해서는 축열체의 종류와 두께에 의한 열성능 평가가 선행되어야 한다. 다음 아래 [표 2.1]은 축열벽 두께 설계지침이다.[11)]

9) 윤태균, 인하대학교, 2012, “자연형 태양열 시스템을 이용한 커튼월 벽체의 應用에 관한 硏究”, 9쪽.
10) 이경회, 건축환경계획, 문운당, 3rd, 2007, p, 303.
11) 이경회, 건축환경계획, 문운당, 3rd, 2007, p, 305.

[표 2.1] 축열벽의 두께 설계지침

축열벽 구조재료	벽두께 (m)
어도비 벽돌	0.2 ~ 0.3
보통 벽돌	0.25 ~ 0.35
콘크리트	0.3 ~ 0.45
물	0.15 이상 (집열창 면적 1㎡ 당 0.15㎥ 이상)

궁극적으로 자연형 태양열 시스템은 특별한 기계장치 없이 태양에너지를 자연적인 방법으로 집열, 저장하여 이용할 수 있도록 한 것이다. 따라서 경제성이 높은 것은 물론 고장이 잘 안 나고 오래 쓸 수 있으며 관리가 쉽다는 장점이 있다.

그러나 남측 전면부에 집중적으로 설치되어 사용되고 있으므로 벽의 부피가 크고 조망이 결핍되며 창이 넓어지므로 사생활이 침해되는 등 구조적인 역활을 겸용하지 못하면 시공비가 증가하게 된다.

[표 2.2]는 직접획득형과 간접획득형의 장·단점을 나태난 것이다. 직접획득형의 경우 겨울철 많은 일사가 실내로 유입되도록 하여 얻어진 태양에너지를 바닥이나 실내벽에 열에너지로 저장함으로서 야간에 사용되지만 여름철 많은 양의 일사로 인해 과도하게 실온을 상승시키고 실의 큰 온도변화폭을 감수해야 한다. 반면, 간접획득형인 트롬월은 높은 수준의 열 쾌적대를 실에 제공하며 주광의 과다한 유입을 피할 수 있으나 고비용이며 구조적인 문제와 주변 조망 및 채광이 차단되는 등 문제점을 내포 하고 있는 실정이다.[12)]

12) 윤태균, 인하대학교, 2012, “자연형 태양열 시스템을 이용한 커튼월 벽체의 應用에 관한 硏究”, 12쪽.

[표 2.2] 각 자연형 태양열 시스템 장 · 단점[13)]

System	장 점	단 점
직접획득형	▷ 큰 창을 사용할 수 있다. ▷ 저비용 고효율이다. ▷ 정측광과 천창 사용가능하다. ▷ 주광과 열을 결합시켜 학교나 작은 사무실에 적합하다. ▷ 전체 창의 크기가 작을 때 매우 융통성 있고 우수하다.	▷ 너무 많은 빛으로 현휘를 유발한다. ▷ 열저장벽은 카펫으로 덮어서는 안되고 페인트칠도 적게 해야 한다. ▷ 과열이 일어날 수 있다. ▷ 큰 온도변화폭을 감수해야 한다. (약 5℃)
간접획득형	▷ 열쾌적대를 높은 수준으로 제공한다. ▷ 직접획득형과 결합에 의해 주광의 과도한 유입을 피할 수 있다. ▷ 기존벽에 장치하기가 쉽다. ▷ 큰 난방부하에 효율적이다.	▷ 직접획득형보다 고가이다. ▷ 작은 창으로 채광과 조망을 해야 해야한다. ▷ 매우 흐린 날씨에는 효율이 좋지 않다.

13) 윤태균, 인하대학교, 2012, “자연형 태양열 시스템을 이용한 커튼월 벽체의 應用에 관한 硏究”, 12쪽.

제3장 CFD 해석을 이용한 트롬월의 열 및 기류 해석

3.1 CFD의 정의 및 모델 설정

3.1.1 CFD의 정의

김권호(2011)는 CFD정의에 있어 아래와 같이 정의하고 있다.

“CFD(Computational Fluid Dynamics)이란 학문적인 용어로서 그 적용방법을 CFD 기술이라 부른다. 우리의 생활주변을 포함해서 자연에서 일어나는 모든 물리적 현상을 해석하는 데는 관찰 또는 현상을 재현하는 실험적 방법과 수학적 언어를 사용하여 그 현상을 표현하는 방정식을 만들어 해석하는 방법, 그리고 사람의 수작업 등으로 간단히 구해지지 않는 복잡한 유동현상에 대한 유체운동 방정식을 컴퓨터를 이용하여 시뮬레이션을 수행하는 방법으로 나눌 수 있다. CFD는 이 마지막 방법에 속하며, 물리현상을 해석하는 이러한 세 가지 방법은 서로 밀접한 관계를 가지고 있다.

일반적인 열유체 유동현상을 지배하는 기본 이론인 질량보존, 운동량 보존 및 에너지 보존의 법칙에 지배를 받는 연속적인 유체의 지배방정식인 Navier-Stokes 방정식을 수치적으로 풀 수 있도록 편미분방정식의 차분화된 대수방정식과 경계조건이나 초기조건을 이용하여 해를 구하는 이론과 방법을 CFD라고 한다. 이러한 유체역학적 기본지배방정식에 난류모델, 연소모델, 다상유동모델, 열복사모델, 자유표면모델, 상변화모델 등 다양한 수치적인 보조방정식을 통하여 복잡한 열유체 및 연소, 다상유동, 상변화 현상 등을 수치적으로 구현한다.

일반적으로 복잡한 편미분방정식을 수치적인 차분화를 통해 대수방정식으로 변환하는 방법에 따라 크게 유한차분법(FDM : Finite Difference Method), 유한체적법(FVM : Finite Volume Method), 유한요소법(FEM : Finite Element Method)으로 분류한다. 또한, 유체의 압축성과 비압축성적인 특성에 따라 압축성알고리즘과 비압축성알고리즘으로 분류된다. 압축성알고리즘은 질량보존방정식의 밀도, 운동량보존식의 속도, 에너지방정식의 온도, 이러한 유동변수의 매개체인 압력에 대한 상태방정식을 통합적으로 푸

는 알고리즘이다. 비압축성알고리즘으로는 밀도 변화가 없다고 가정하여 질량보존방정식으로 풀지 않고, 질량과 운동량방정식으로부터 압력방정식을 유도하여 압력을 보정하고, 운동량보존방정식의 속도 및 에너지 방정식의 온도, 그리고 압력과 온도의 관계인 상태방정식을 푸는 방법이다. 대표적으로 SIMPLE알고리즘, PICO알고리즘 등이 있다.

CFD에서 사용되는 편미분방정식은 Navier-Stokes 방정식으로 현재까지 알려진 미분방정식 중에서 가장 복잡하고 어려운 것 중의 하나로 알려져 있다. 수백년 간의 연구에도 불구하고 Navier-Stokes 방정식의 일반적인 해는 발견되지 못했으며 많은 유체현상이 밝혀지지 않은 채 남아 있게 되었다. 20세기 중반 컴퓨터의 발명 이후로 컴퓨터를 이용한 유체역학 연구는 난제로 남아있던 Navier-Stokes 방정식 해석에 도전하게 되었다. 그러나 CFD의 역사는 당시의 컴퓨터 성능에 따라서 발전하게 되어 1960년대에는 단순한 선형방정식으로 시작하여 1980년대에는 Euler 방정식, 1990년대부터는 Navier-Stokes 방정식에 대한 해석 등으로 발전해 왔다.

현재 대부분의 항공기 생산회사와 자동차 회사, 엔진 회사 등에서는 CFD를 적극 도입하여 제품개발의 비용과 기간을 단축하는데 활용하고 있다. CFD를 이용한 가상 실험은 지구상에서 재현하기 힘든 다양한 문제의 해석에도 응용된다. 미국이 우주사업을 수행하는 동안 우주선의 대기권 진입에 수반되는 현상의 해석을 위하여 이러한 CFD방법을 사용하였으며 최근에 이루어진 화성 탐색선 패스파인더의 개발과정에서도 응용된 바 있다. 그리고 미사일이나 전투기를 개발하는데 있어 CFD의 사용은 이미 필수적인 것이 되었다.

국외에서는 초기 설계과정에서 다양한 후보 형상들을 설계하고 이들을 평가하는데 있어 CFD를 응용한 최적설계 기술을 적극 도입하고 있다. 국내에서도 대학과 연구소를 중심으로 이러한 문제들에 대한 연구가 꾸준히 시도되고 있으며 많은 성과를 얻고 있다. 특히 최근에 개발된 훈련기와 현재 개발중인 발사체에 있어서도 CFD가 개발 단계에서 적극 활용되고 있으며, 항공분야와 기계분야 뿐만 아니라, 토목, 건축, 환경 및 생체공학 등 이미 많은 부분에서 CFD가 사용되어지고 있다.” [14]

---

14) 김권호, 2011, “CFD해석에 의한 풍환경 평가 기법 연구” 15-16쪽.

3.1.2 CFD의 적용분야

CFD 해석법을 적용하고 있는 여러 분야의 연구들을 개략적으로 살펴보면 다음과 같다.

에너지 절감 선박을 개발하기 위해 선박주위에서 일어나는 파형 및 난류유동 해석과 고효율의 선박추진기 개발을 위해 프로펠러 주위, 워터제트 추진기의 유체운동 현상을 해석하는데 사용되고 있다. 잠수함의 경우 잠수함 설계 전반에 걸친 유동해석 뿐만 아니라, 유체에 의해 발생하는 소음을 예측하여 소음에 의한 추적의 원인을 제거하는데 적용되고 있다. 거친 파랑 중에 운항하는 선박에 대해 CFD 시뮬레이션을 수행하여 선박의 운동 형태와 파도에 의해 작용하는 매우 큰 유체력 등을 예측하여 안정적이고 구조적으로 신뢰할 수 있는 선박을 설계하는데 사용되고 있다.

자동차의 경우 엔진소음분야의 소음수준이 많이 감소함에 따라 고속에서의 발생하는 주요 공력소음에 대한 연구, 연소해석, 자동차 엔진 실린더헤드 내의 회전유동 해석 등에 CFD가 적용되고 있다.[15)]

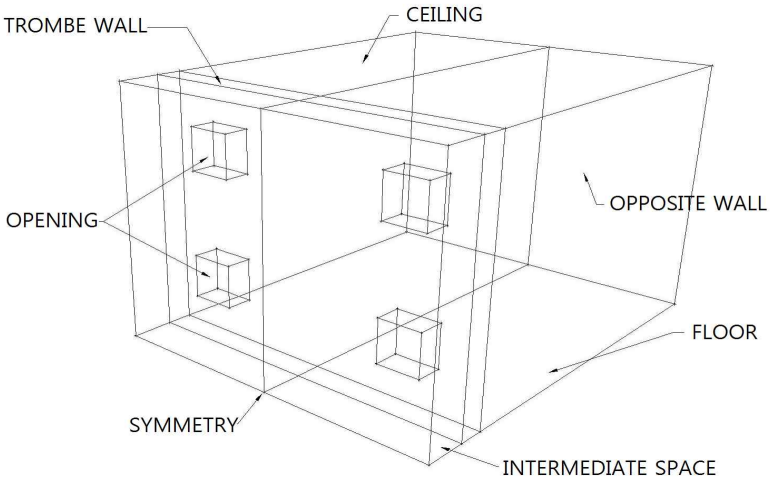
건축분야에서도 CFD가 적용되고 있는데 유체력 등을 예측하여 건축물내의 환기를 도모하는 상업용·주거용 건축물 내 공조시스템, 건축물의 자연환기시스템, 오염원 확산 및 제어(IAQ)와 산업용 클린룸 기류개선, 건축물 내의 방재해석, 터널 내의 화재 및 환기 해석 등과 같은 연구가 진행되고 있고, 건축물외의 유체력 등을 예측하여 건축물 풍하중 해석, 건축물단지의 기류정체 및 오염원 확산등과 같은 연구에 대해서도 CFD가 적용되어지고 있다.[16)]

15) 김권호, 2011, “CFD해석에 의한 풍환경 평가 기법 연구” 17쪽.
16) 현석균, 2006, “건축 및 설비분야에서의 CFD 적용 및 응용”

3.1.3 CFD 해석을 위한 모델설정

본 연구에서 CFD 해석을 위한 대상공간은 다음 [그림 3.1]과 같다. 해석 대상공간은 5m×4m×3m의 공간으로 직육면체 형태이고 외부로부터 공기의 침입이 없는 기밀 상태이며, 실내와 통하는 개구부의 면적은 0.25m^2으로 상하부에 각각 2개씩 구성되어 있다. 트롬월과 유리 사이의 중공층은 0.5m로 설정하였다.

트롬월의 구성재료는 콘크리트 이며, 온도차에 의한 부력으로 자연대류가 발생하는 모델로 설정하였다. 주간동안 트롬월에 축열된 열이 실내로 열을 방출하는 야간(19~20시) 정상상태 해석을 실시하였다.



[그림 3.1] CFD 해석 모델

3.2 경계조건의 설정

3.2.1 지배방정식

CFD 해석을 하기 전 CFD에 이용되는 이론을 정립하고 난류 특성을 파악하기 위해 유동 해석의 계산을 위한 지배 방정식은 살펴보면 다음과 같다.

연속방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho u_y)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho u_z)}{\partial z}=0 \qquad (1)$$

운동량 방정식

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t}+\frac{\partial(\rho uu)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho vu)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho wu)}{\partial z} \qquad (2)$$
$$=\rho g_x-\frac{\partial P}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial z}(\mu_e\frac{\partial u}{\partial x})$$
$$+\frac{\partial}{\partial y}(\mu_e\frac{\partial u}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial z}(\mu_e\frac{\partial u}{\partial z})$$

$$\frac{\partial \rho v}{\partial t}+\frac{\partial(\rho uv)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho vv)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho wv)}{\partial z} \qquad (3)$$
$$=\rho g_y-\frac{\partial P}{\partial y}+\frac{\partial}{\partial x}(\mu_e\frac{\partial v}{\partial x})$$
$$+\frac{\partial}{\partial y}(\mu_e\frac{\partial v}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial z}(\mu_e\frac{\partial v}{\partial z})$$

$$\frac{\partial \rho w}{\partial t}+\frac{\partial(\rho uw)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho vw)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho ww)}{\partial z} \qquad (4)$$
$$=\rho g_z-\frac{\partial P}{\partial z}+\frac{\partial}{\partial x}(\mu_e\frac{\partial w}{\partial x})$$
$$+\frac{\partial}{\partial y}(\mu_e\frac{\partial w}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial z}(\mu_e\frac{\partial w}{\partial z})$$

비압축성 에너지 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho C_p T)+\frac{\partial}{\partial x}(\rho u C_p T)+\frac{\partial}{\partial y}(\rho v C_p T)+\frac{\partial}{\partial z}(\rho w C_p T) \qquad (5)$$
$$=\frac{\partial}{\partial x}(K_e\frac{\partial T}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(K_e\frac{\partial T}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial z}(K_e\frac{\partial T}{\partial z})$$

여기서, ρ : 밀도 [kg/m^3] t : 시간 [sec]

u, v, w : 속도 [m/s] x, y, z : 좌표축 [m]

P : Pressure [N/m^2] C_p : 비열 [J/Kg·K]

μ_e : 유효 점성 [N·s/m^2] K_e : 유효 열전도율[/m·K]

또한, 본 연구의 CFD 해석 중 공기의 침입이 없는 즉, 기밀한 상태에서 온도차에서만 발생되는 부력(자연대류) 해석은 어렵다. 따라서 부력(자연대류)으로 인한 기류 분포 해석을 위해 유체영역(Fluid)을 비압축성 이상기체(Incompressible-ideal-gas)로 설정하였다.

유동이라는 현상은 유체에 힘이 가해져서 생기는 흐름을 말하는 것으로서, 그 힘을 고려하여 계산하려면 밀도와 중력에 대한 정의를 함께 내려줘야 한다. 하지만 유체역학적 관점에서 질량을 나타내기 힘들기 때문에 제어체적이라는 영역이 필요하게 되고 단위체적당의 질량, 즉 밀도 [kg/m^3]라는 개념으로 질량을 정의하게 된다.

비압축성 이상기체 방정식

$$\rho=\frac{P_{op}}{\frac{R}{M_w}T} \qquad (6)$$

여기에서, R : 보편적 가스 상수

M_w : 가스의 분자량

P_{op} : 작동조건에서 작동압력으로 정의

3.2.2 경계조건 설정

기존 연구에서의 트롬월 시스템은 주간에 축열된 열을 야간에 실내로 방출하는 이상적인 조건으로 설정하기 위하여 트롬월의 창측 벽에서 외부로 방출되며 외기온도와 실내벽면의 온도가 공간의 구분 없이 동일하게 설정하였다. 그러나 이는 현실적으로 외기와 실내온도가 같을 수 없을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 트롬월의 야간 방열 표면 온도는 선행연구에서 실측을 통하여 조사된 값 32.2℃로 설정 하고,[17] 창측 및 실내측으로 흐르는 방열량을 보정하기 위하여 타 선행연구에서 제시된 TRNSYS 분석 값을 기반으로 열손실계수를 트롬월에서 열을 전달하는 정도를 나타내는 열전도로 환산하여 트롬월의 경계 조건에 입력하였다.[18] 또한 창측의 외기온도는 -10℃로 설정하였고, 이외 나머지 벽면 온도는 10℃로 벽면을 통한 열손실이 있는 것으로 가정하였다.

본 연구의 CFD 해석을 위한 세부 설정 조건은 다음 [표 3.1]과 같다.

[표 3.1] CFD 해석 모델의 경계조건

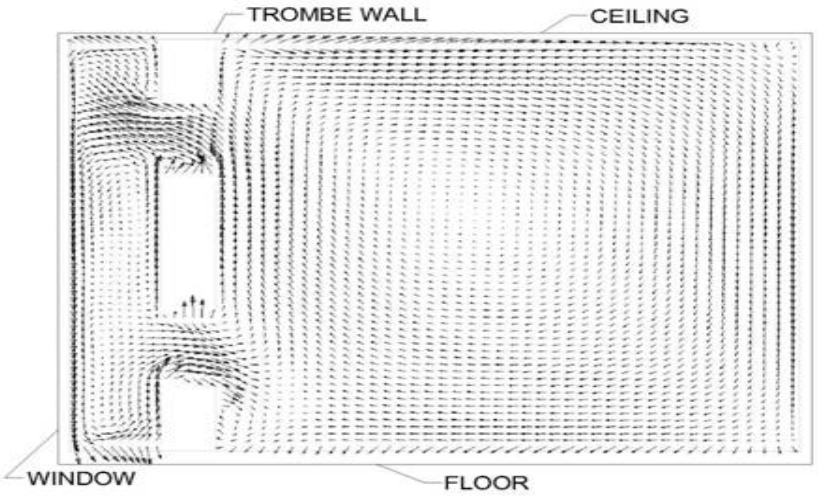
구 분	설 정 모 델	
축열부 발열벽면	32.2℃	
외기 온도	-10℃	
경계층 온도	창 측	-10℃
	그 외 벽면	10℃
난류 모델	K-ε Model	
축열벽(Solid)	밀 도	2,240 kg/m^3
	열 용 량	2,040 J/kg · K
	열 전 도 율	1.4 W/M · K
열 손실계수	축열벽의 창 측 벽	5.56 W/m^2 · K
	축열벽의 실내측벽	3.05 W/m^2 · K
기류장, 온도장 해석	3차원의 대칭성을 고려하여, 공간의 1/2영역만 해석한다.	

17) 윤종호, 2008, “자연형 태양열 트롬월 축열벽 시스템의 열성능 특성 실측 분석 연구”
18) 박경수, 2012, “축열재료에 따른 트롬월 시스템의 열적 성능평가”

3.3 CFD해석 결과

3.3.1 기류 분포 결과

겨울철 야간 정상상태(19시~20시)일 때 건축물에 트롬월을 적용하였을 경우 CFD를 이용하여 해석한 기류분포 결과는 다음 [그림 3.2]와 같다.

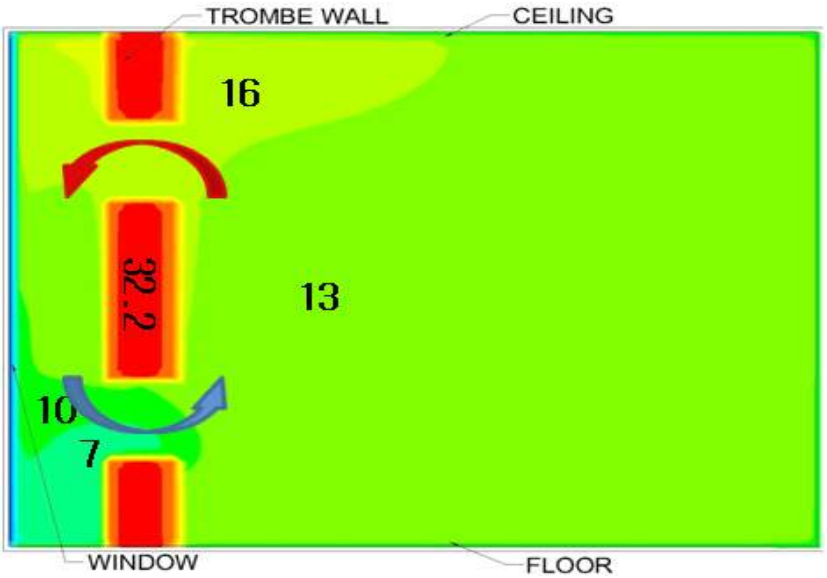


[그림 3.2] 트롬월을 적용하였을 경우 실내 기류분포

따뜻한 공기가 상부 개구부를 통해 실내로 유입되고 찬 공기는 하부 개구부를 통해 개구부로 유입되는 이상적인 자연 대류현상이 확인되지 않고 이와 반대로 기류패턴이 되는 이유는 열의 이동특성상 온도가 상대적으로 높은 실내공기가 기온이 하강하는 중공층으로 개구부를 통해 공기가 유입되면서 외기에 접한 창 쪽으로 열손실이 일어나며 차가운 공기가 실내로 유입되는 것을 확인하였다.

3.3.2 온도 분포 결과

겨울철 야간 정상상태(19시~20시)일 때 건축물에 트롬월을 적용하였을 경우 CFD를 이용하여 해석한 온도분포 결과는 다음 [그림 3.3]과 같다.



[그림 3.3] 트롬월을 적용하였을 경우 실내 온도분포(℃)

트롬월이 32.2℃로 발열하는 야간 정상상태일(19~20시)때의 온도 분포를 나타낸다. 열의 이동특성상 온도가 상대적으로 높은 16℃의 실내공기가 온도가 하강하는 중공층으로 개구부를 통해 공기가 빠져나가고 외기에 접한 창 쪽으로 열손실이 일어나며 7℃의 찬 공기가 실내로 유입되는 것을 확인하였다.

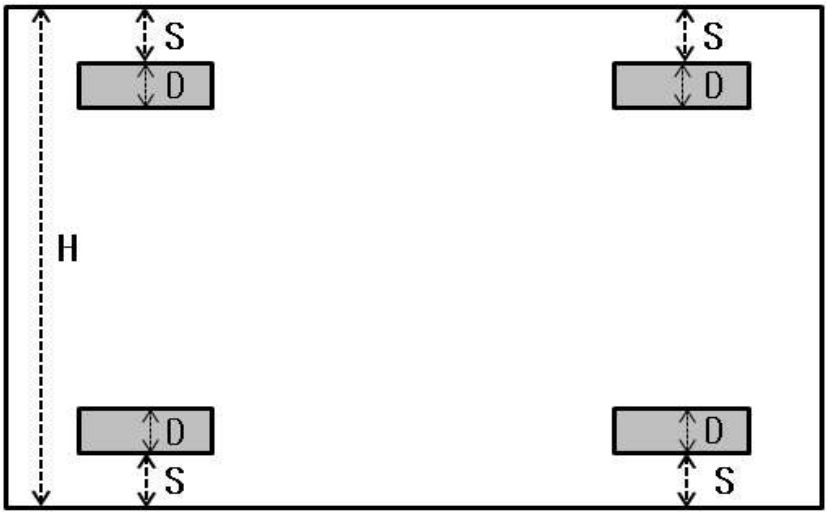
3.4 설계적 변수에 의한 CFD 해석

3.4.1 개구부 간 수직간격의 차이에 따른 CFD 해석

3.4.1.1 CFD 해석 결과

1장에서 기술한 바와 같이 D값(0.02m^2(0.2m×0.1m)), W값(0.5m), L값(5m), H값(3m)을 고정하고 [그림 3.4]와 같이 스텝(S)의 값을 0cm에서 90cm까지 변수로 주어 기류 및 온도분포를 해석하였다.

최적의 효율을 갖는 스텝(S)값을 찾기 위해 CFD를 이용하여 해석한 결과 [표 3.2]~[표 3.3], [그림 3.5]~[그림 3.]와 같다.



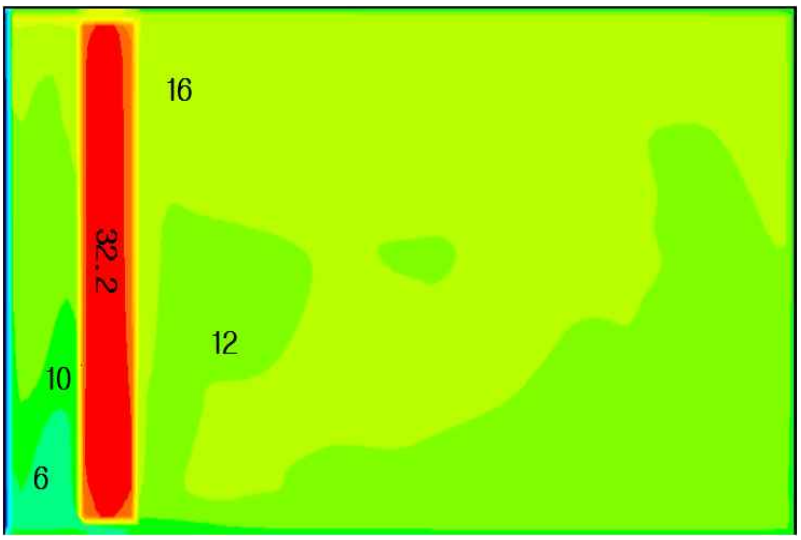
[그림 3.4] 설계 변수를 적용하기 위한 CFD해석 대상의 입면도

[표 3.2] 스텝(S)의 변화에 따른 하부에서 1.2m 높이의 실내의 평균온도 분포

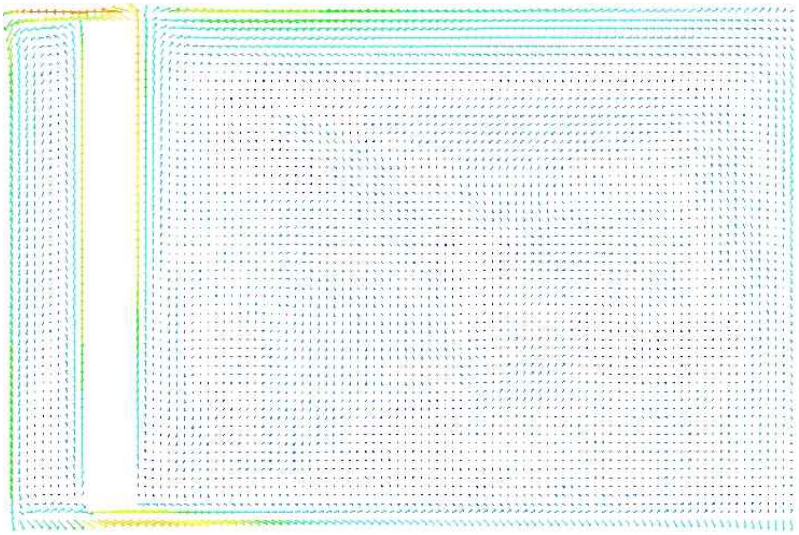
스텝(S)의 변화 값(cm)	온도분포(℃)
0 (Case 1)	12.80
10 (Case 2)	12.88
20 (Case 3)	13.35
30 (Case 4)	13.47
40 (Case 5)	12.89
50 (Case 6)	12.68
60 (Case 7)	12.66
70 (Case 8)	12.59
80 (Case 9)	12.39
90 (Case 10)	12.37

[표 3.3] 스텝(S)의 변화에 따른 상부 개구부를 통과하는 기류의 속도

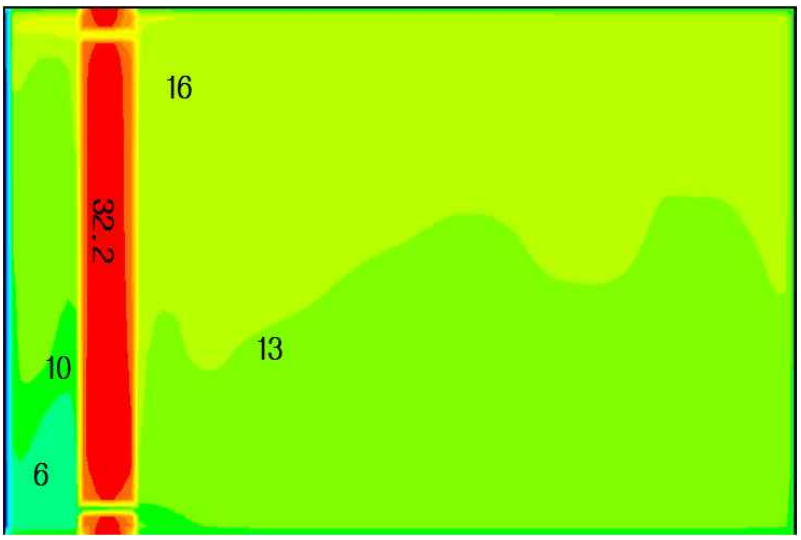
스텝(S)의 변화 값(cm)	기류 속도(m/s)
0 (Case 1)	0.27731
10 (Case 2)	0.25584
20 (Case 3)	0.25558
30 (Case 4)	0.25408
40 (Case 5)	0.24950
50 (Case 6)	0.25096
60 (Case 7)	0.24120
70 (Case 8)	0.23911
80 (Case 9)	0.22521
90 (Case 10)	0.19998



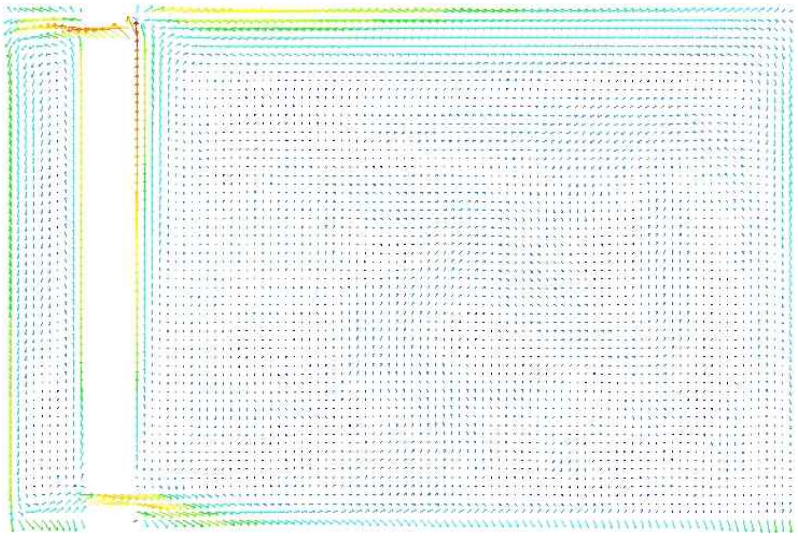
[그림 3.5] 스텝(S) = 0cm(Case 1)일 때 실내온도분포(℃)



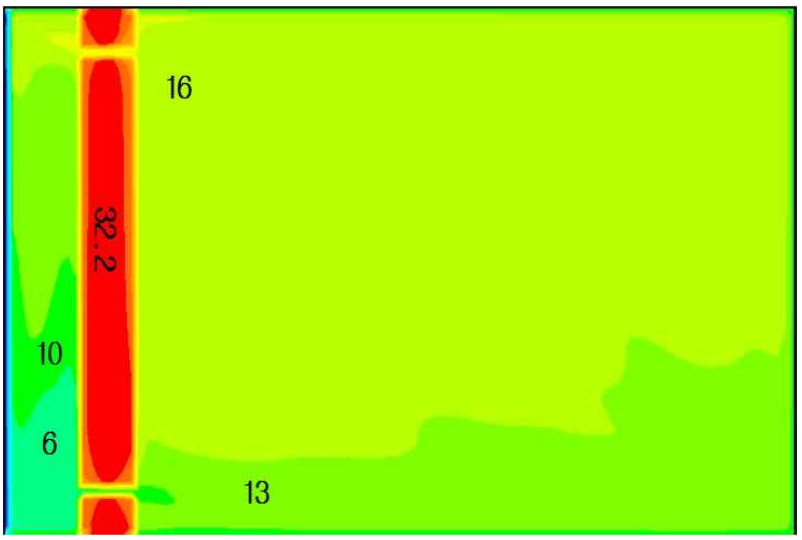
[그림 3.6] 스텝(S) = 0cm(Case 1)일 때 실내기류분포



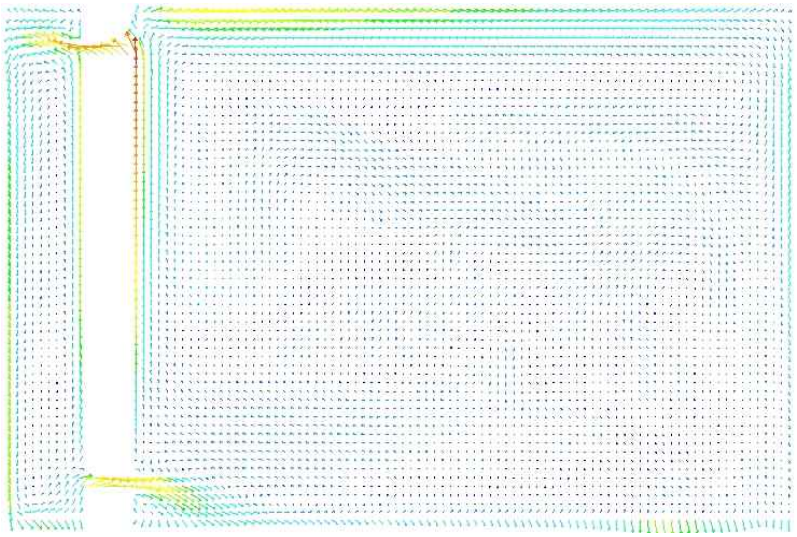
[그림 3.7] 스텝(S) = 10cm(Case 2)일 때 실내온도분포(℃)



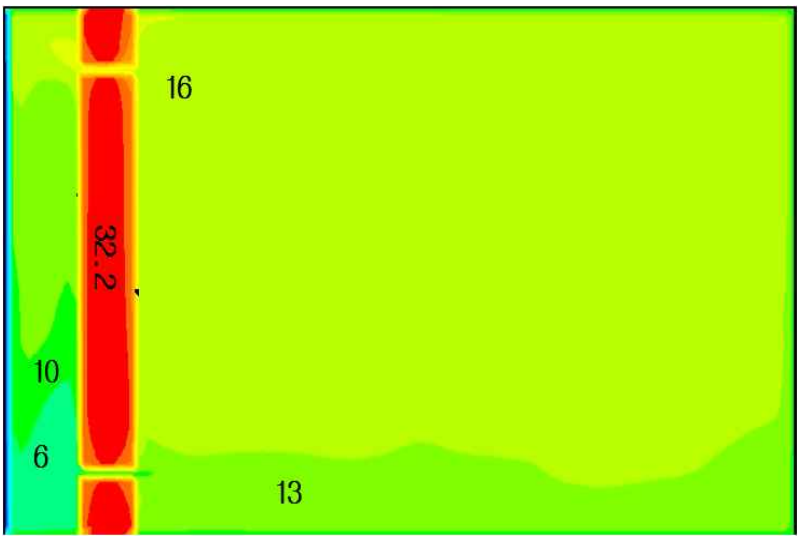
[그림 3.8] 스텝(S) = 10cm(Case 2)일 때 실내기류분포



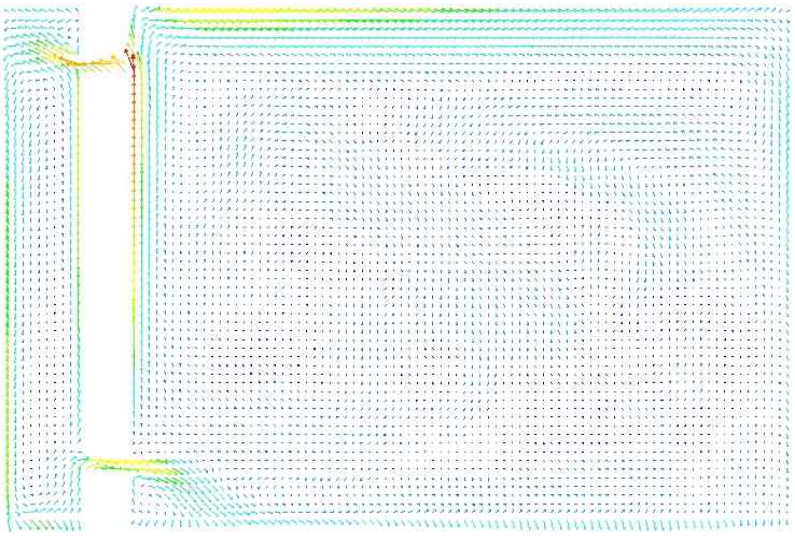
[그림 3.9] 스텝(S) = 20cm(Case 3)일 때 실내온도분포(℃)



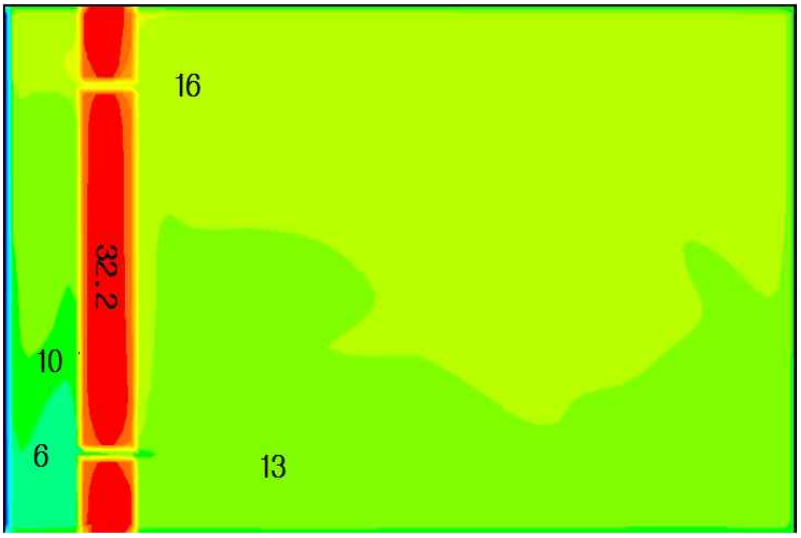
[그림 3.10] 스텝(S) = 20cm(Case 3)일 때 실내기류분포



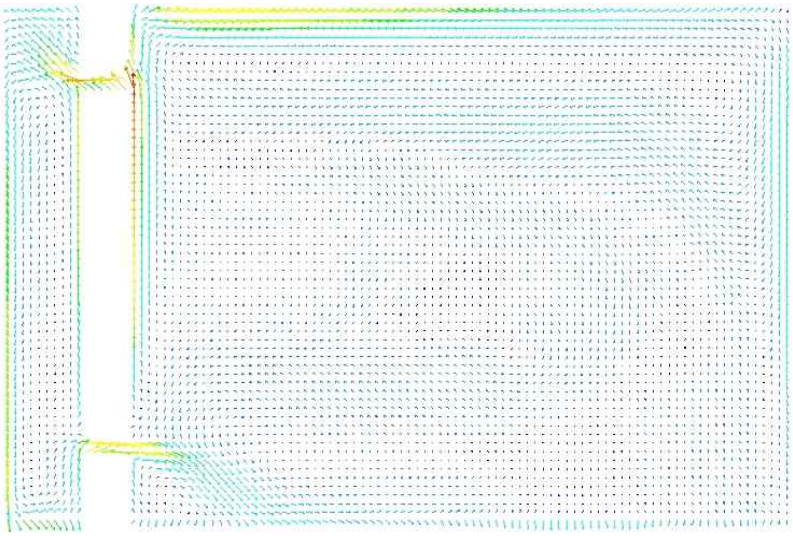
[그림 3.11] 스텝(S) = 30cm(Case 4)일 때 실내온도분포(℃)



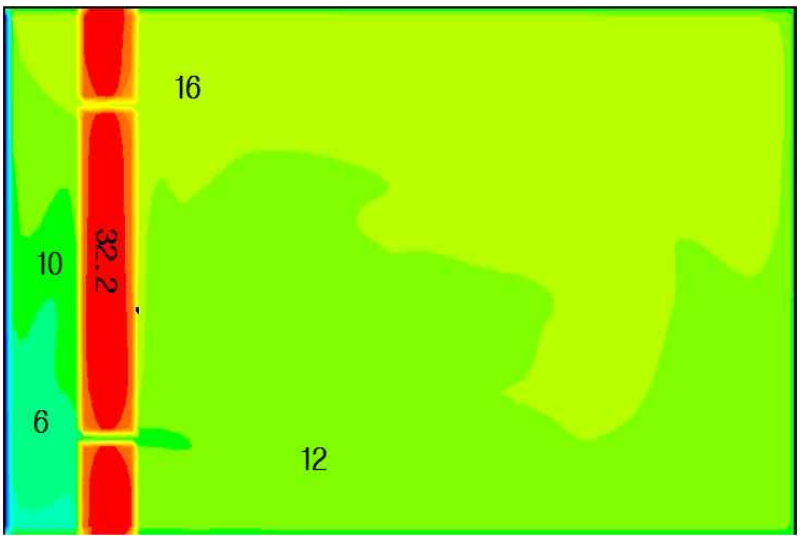
[그림 3.12] 스텝(S) = 30cm(Case 4)일 때 실내기류분포



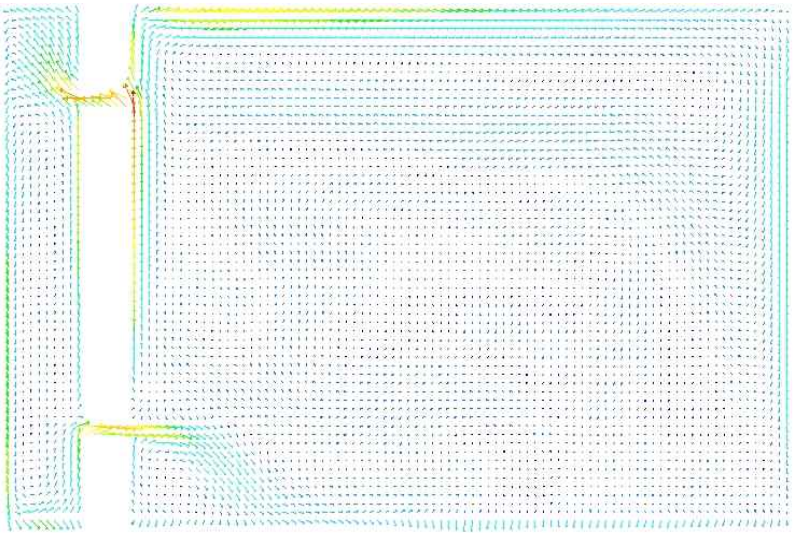
[그림 3.13] 스텝(S) = 40cm(Case 5)일 때 실내온도분포(℃)



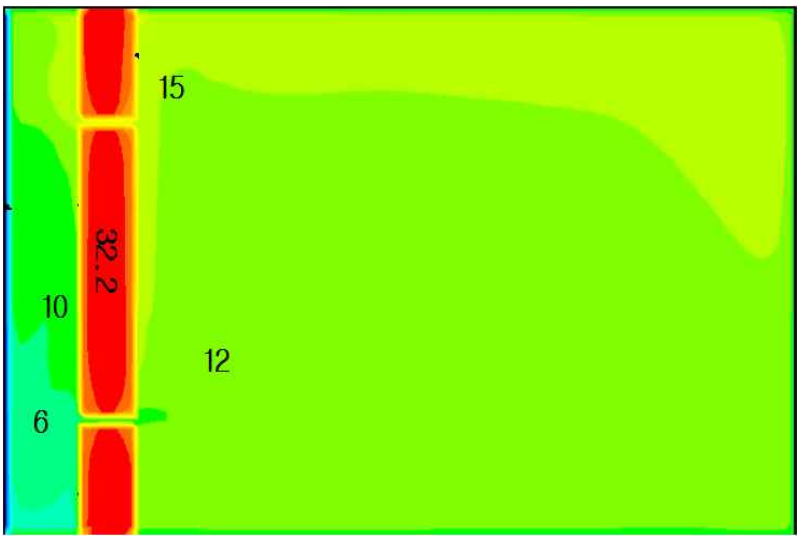
[그림 3.14] 스텝(S) = 40cm(Case 5)일 때 실내기류분포



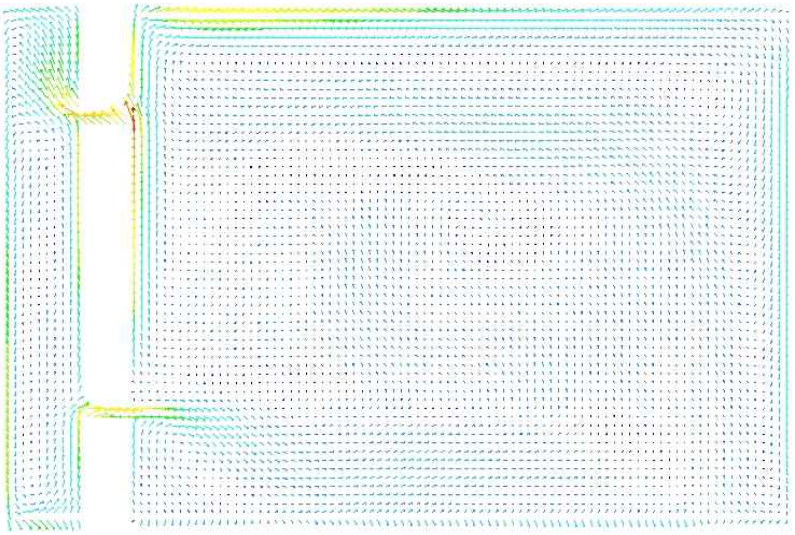
[그림 3.15] 스텝(S) = 50cm(Case 6)일 때 실내온도분포(℃)



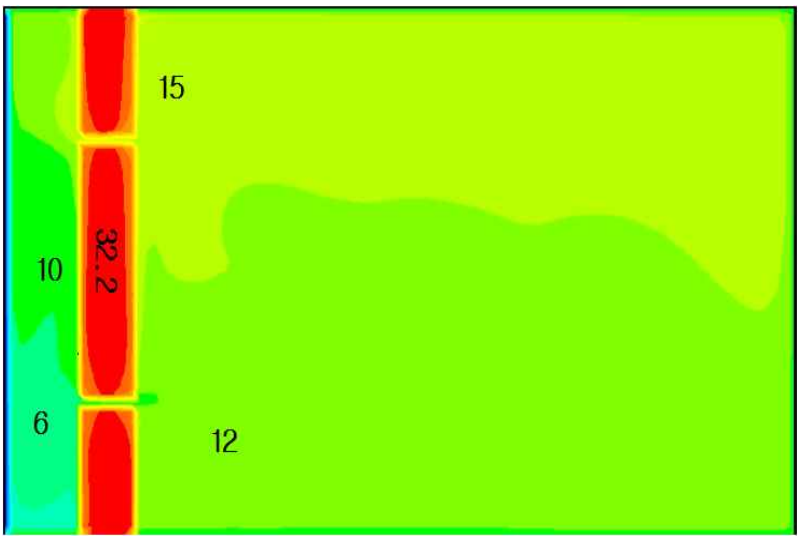
[그림 3.16] 스텝(S) = 50cm(Case 6)일 때 실내기류분포



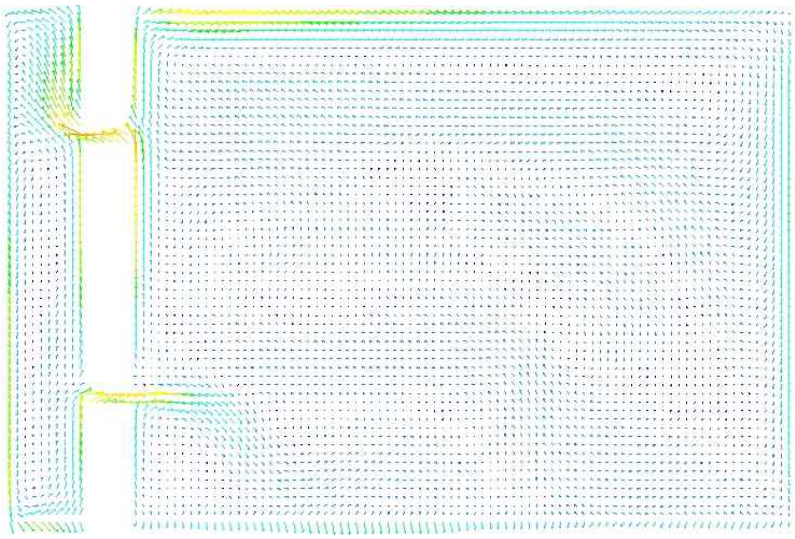
[그림 3.17] 스텝(S) = 60cm(Case 7)일 때 실내온도분포(℃)



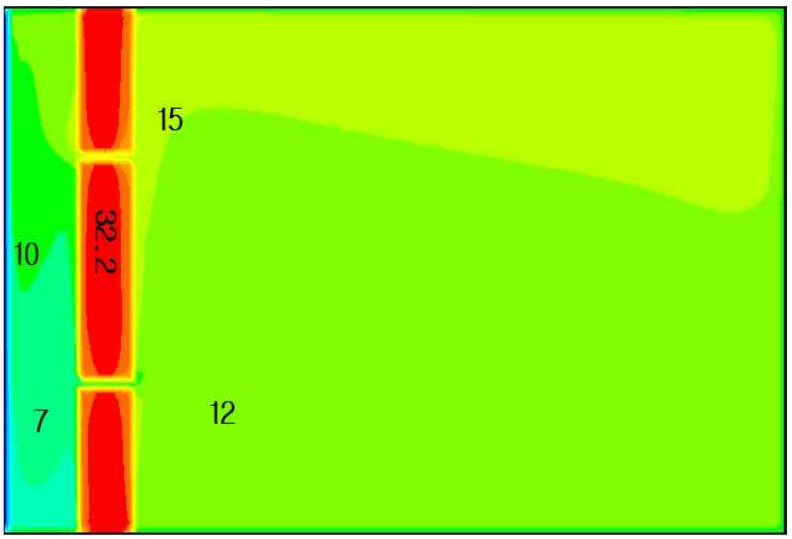
[그림 3.18] 스텝(S) = 60cm(Case 7)일 때 실내기류분포



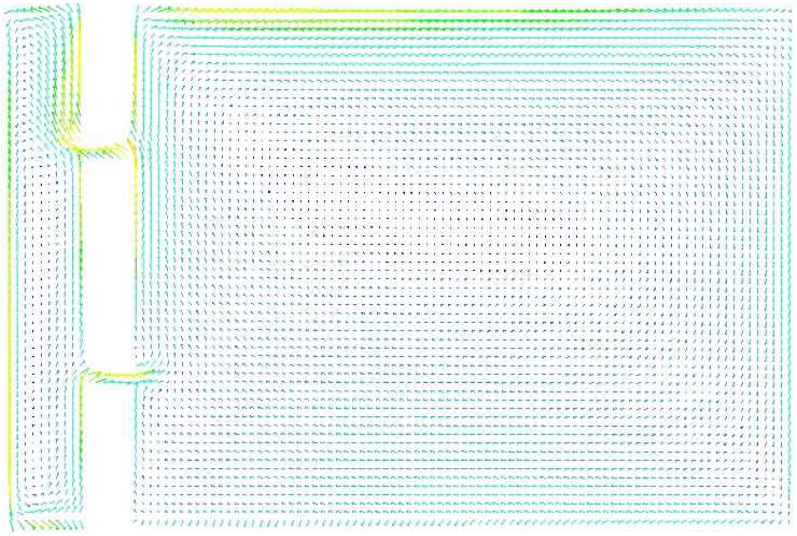
[그림 3.19] 스텝(S) = 70cm(Case 8)일 때 실내온도분포(℃)



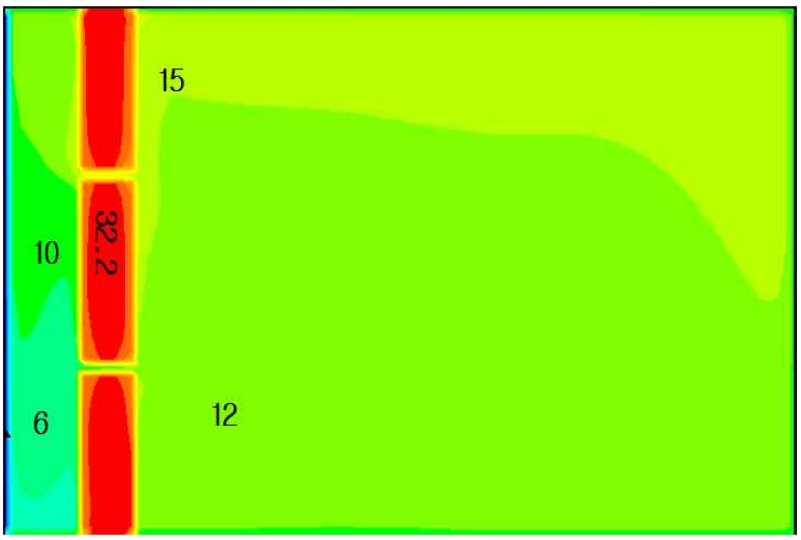
[그림3. 20] 스텝(S) = 70cm(Case 8)일 때 실내기류분포



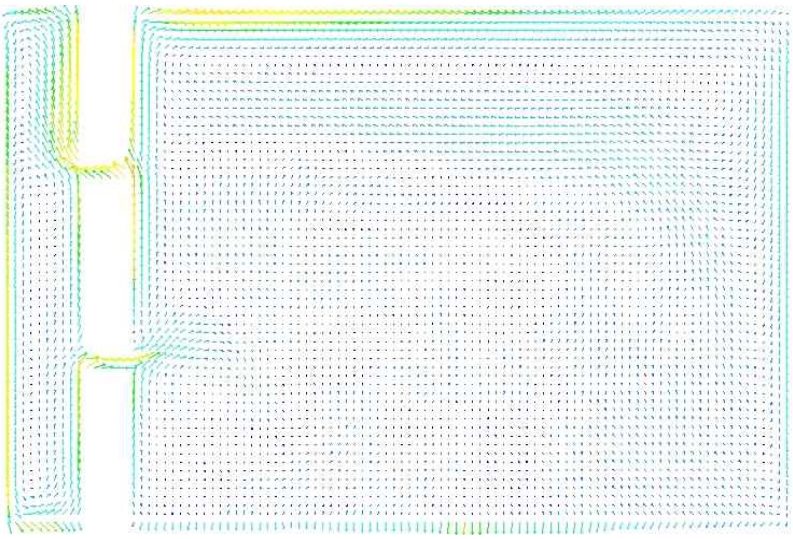
[그림 3.21] 스텝(S) = 80cm(Case 9)일 때 실내온도분포(℃)



[그림 3.22] 스텝(S) = 80cm(Case 9)일 때 실내기류분포



[그림 3.23] 스텝(S) = 90cm(Case 10)일 때 실내온도분포(℃)



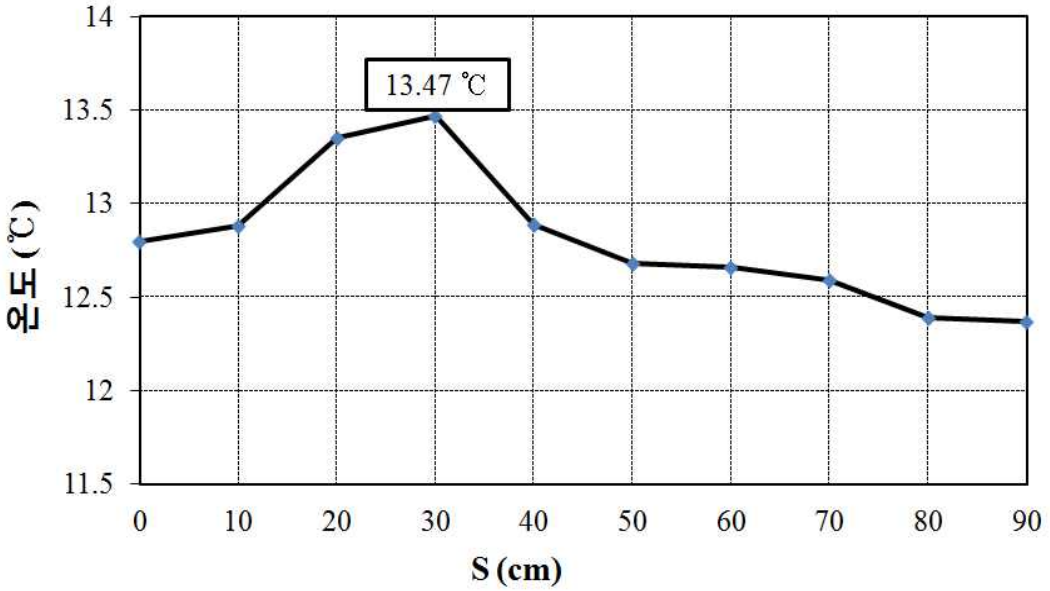
[그림 3.24] 스텝(S) = 90cm(Case 10)일 때 실내기류분포

3.4.1.2 온도 및 기류 분포

(1) 온도 분포

[그림 3.5] ~ [그림 3.24]는 스텝(S)이 0 ~ 90cm까지 변화할 때 그에 따라 실내에 미치는 온도 분포 양상을 나타낸다. 트롬월에 의해 데워진 높은 온도의 영역이 스텝(S) 0cm에서 30cm까지 변화할수록 밑면까지 고르게 분포되는 양상을 보이고, 스텝(S) 40cm부터는 그 값이 커질수록 높은 온도의 영역대가 점차 줄어드는 것을 확인하였다.

다음 [그림 3.25]는 스텝(S)의 변화에 따라 실제 사람의 거주 영역인 바닥에서 1.2m 높이의 실내 평균온도 분포이다. 최적의 스텝(S) 값은 30cm 였을 때 13.47℃로 가장 높은 값을 가졌다.

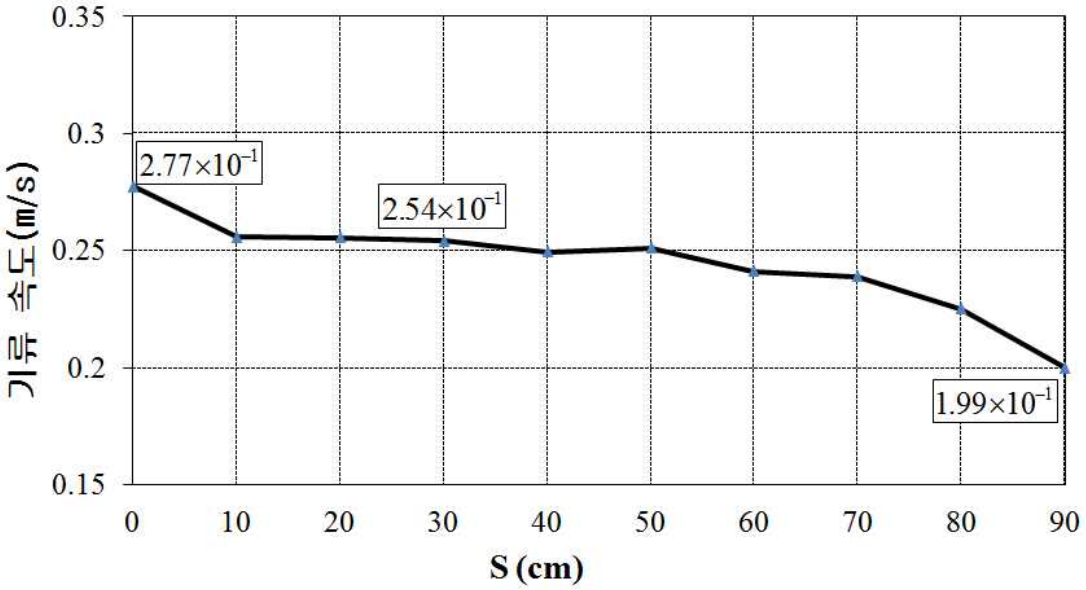


[그림 3.25] 스텝(S)값 변화에 따른 1.2m 높이의 실내 평균온도분포

(2) 기류 분포

[그림 3.5] ~ [그림 3.24]는 스텝(S)이 0 ~ 90cm까지 변화할 때 그에 따라 실내에 미치는 기류 분포 양상을 나타낸다. 기류 분표 양상을 봤을 때 전체적으로 개구부 주변에서 유속이 높게 흐르는 것을 확인하였다. 스텝(S) 값이 작을수록 트롬월 벽면을 흐르는 공기가 부력으로 인해 질량 유속이 높아 대류가 활발히 일어나고, 반대로 스텝(S) 값이 커질수록 부력으로 인한 유속이 낮아짐을 확인 할 수 있었다.

다음 [그림 3.26]은 스텝(S)의 변화에 따른 상부 개구부를 통과하는 기류의 속도를 나타낸다. 개구부 위치가 가장 멀리 떨어져있는 Case 1(S=0cm)일 때, 2.77×10^{-1}m/s의 값을 가졌고 개구부가 근접해 있는 Case 10(S=90cm)일 때, 1.99×10^{-1}m/s값을 가졌다.



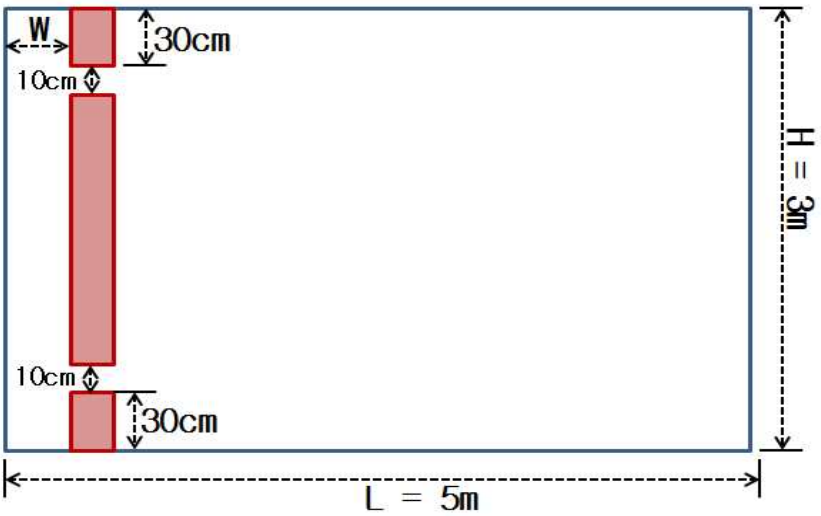
[그림 3.26] 스텝(S)의 변화에 따른 상부 개구부를 통과하는 기류의 속도

3.4.2 중공층 간격의 차이에 따른 CFD 해석

3.4.2.1 CFD 해석 결과

개구부 수직간격 차이에 따라 가장 효율적인 효과를 갖는 스텝(S)값 연구에 대하여 그 값이 30cm이었을 때, 효과가 가장 좋은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과를 바탕으로 [그림 3.7]과 같이 최적효율 갖는 스텝(S)값 30cm를 기준으로 개구구 면적(D)값 (0.02m^2), 길이(L) 값(5m), 높이(H) 값(3m)을 고정한 뒤 중공층(W)의 값을 20cm에서 50cm까지 변수로 주어 기류 및 온도분포를 해석하였다.

최적의 효율을 갖는 중공층(W)값을 찾기 위해 CFD를 이용하여 해석한 결과 [표 3.5]~[표 3.6], [그림 3.8]~[그림 3.9]과 같다.



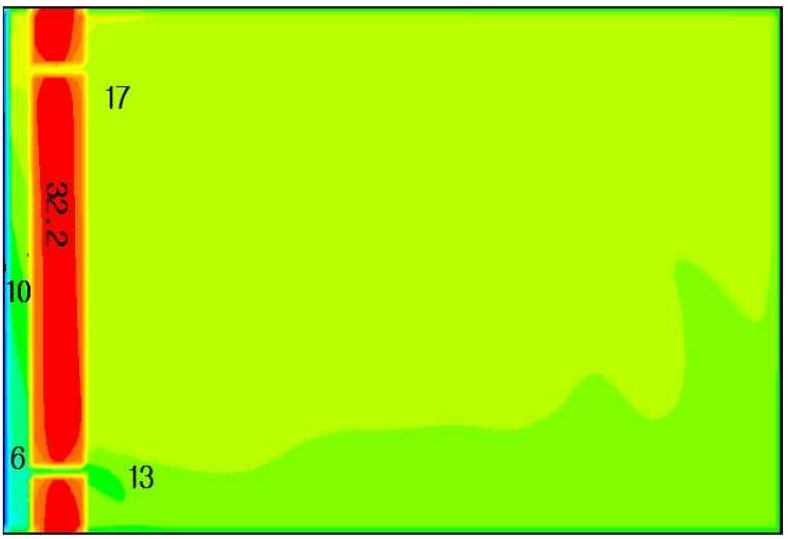
[그림 3.27] 설계 변수를 적용하기 위한 CFD해석 대상의 단면도

[표 3.5] 중공층(W)의 변화에 따른 하부에서 1.2m 높이의 실내의 평균온도 분포

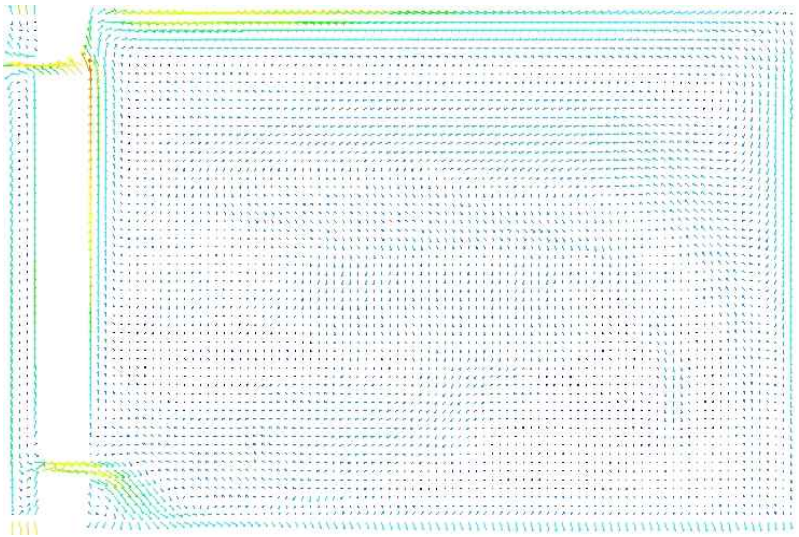
중공층(W)의 변화 값(cm)	온도분포(℃)
20 (Case A)	13.87
30 (Case B)	13.80
40 (Case C)	13.48

[표 3.6] 중공층(W)의 변화에 따른 상부 개구부를 통과하는 기류의 속도

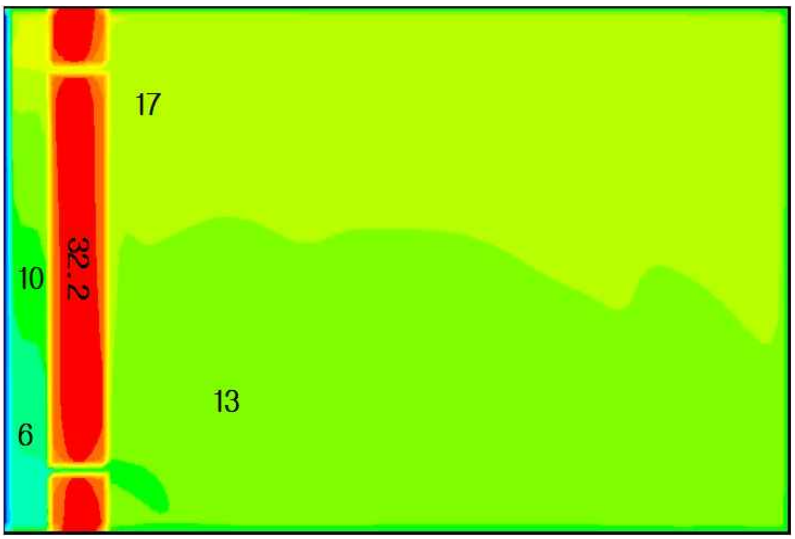
중공층(W)의 변화 값(cm)	온도분포(℃)
20 (Case A)	0.22514
30 (Case B)	0.22970
40 (Case C)	0.23429



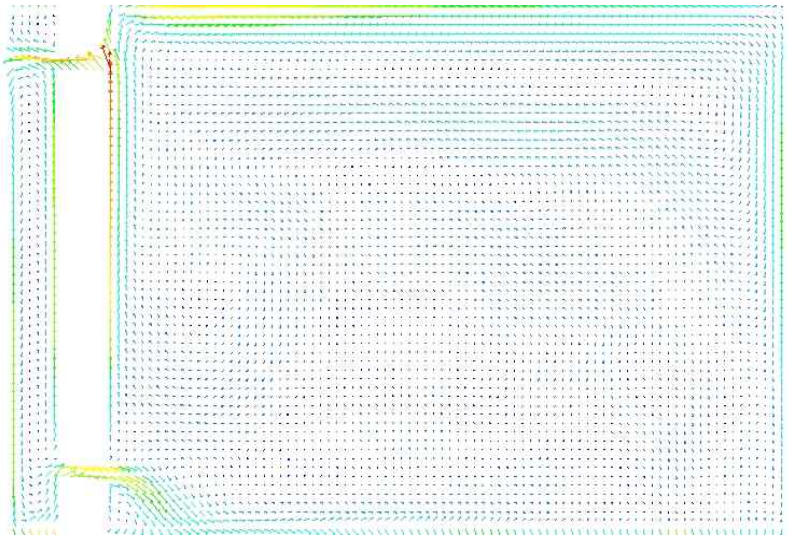
[그림 3.28] 중공층(W) = 20cm(Case A)일 때 실내온도분포(℃)



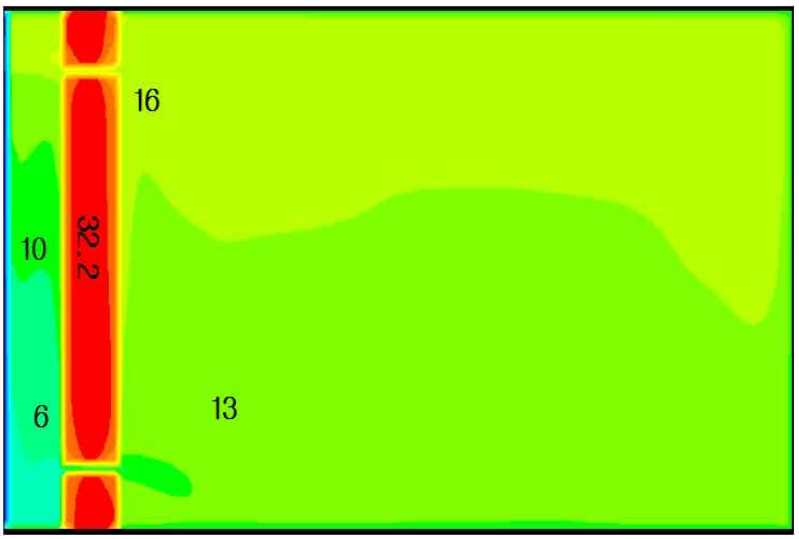
[그림 3.29] 중공층(W) = 20cm(Case A)일 때 실내기류분포



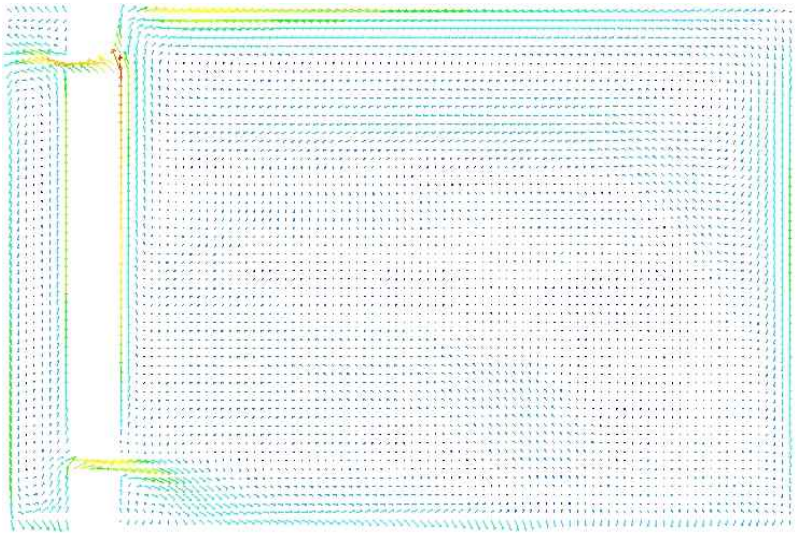
[그림 3.30] 중공층(W) = 30cm(Case B)일 때 실내온도분포(℃)



[그림 3.31] 중공층(W) = 30cm(Case B)일 때 실내기류분포



[그림 3.32] 중공층(W) = 40cm(Case C)일 때 실내온도분포(℃)



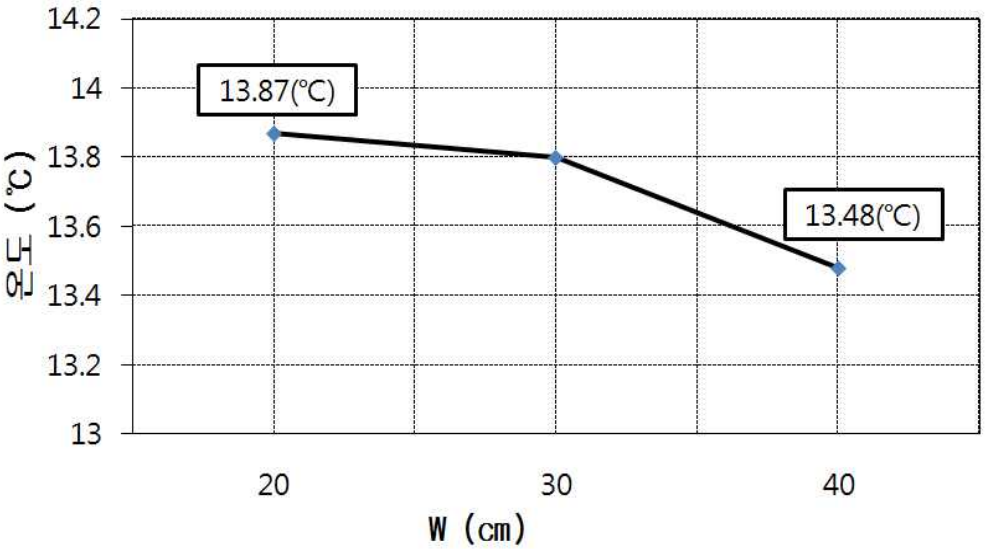
[그림 3.33] 중공층(W) = 40cm(Case C)일 때 실내기류분포

3.4.2.2 온도 및 기류 분포

(1) 온도 분포

[그림 3.28] ~ [그림 3.33]는 중공층(W)이 20cm ~ 40cm까지 변화할 때 그에 따라 실내에 미치는 온도 분포 양상을 나타낸다. 트롬월에 의해 데워진 높은 온도의 영역대가 중공층(W)값이 20cm일 때 밑면까지 고르게 분포되는 양상을 보이고 중공층(W)값이 넓어질수록 효과가 낮다는 것을 확인하였다.

다음 [그림 3.34]는 중공층(W)의 변화에 따라 실제 사람의 거주 영역인 바닥에서 1.2m 높이의 실내 평균온도 분포이다. 최적의 중공층(W) 값은 20cm이었을 때 13.87℃로 가장 높은 값을 가졌다.

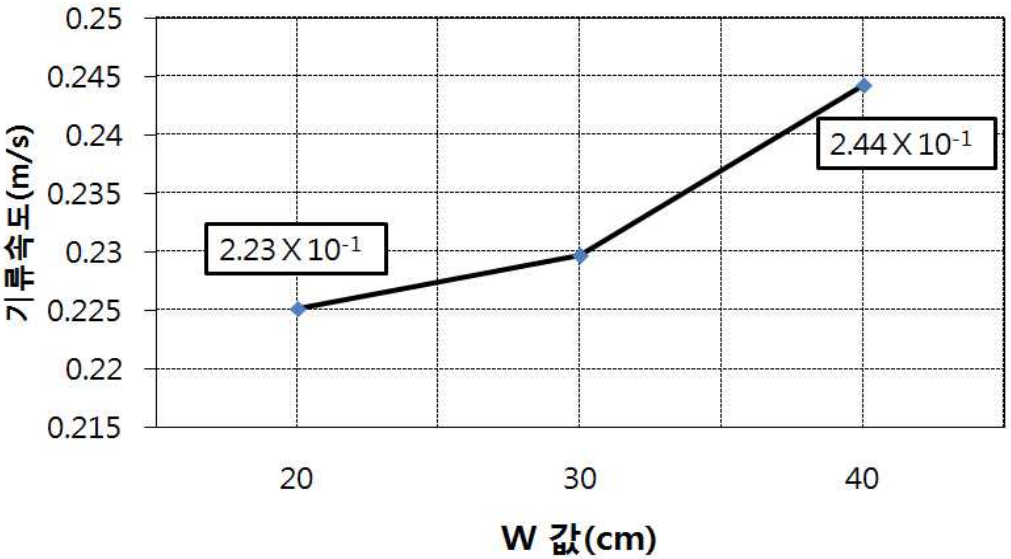


[그림 3.34] 중공층(W)의 변화에 따른 하부에서 1.2m 높이의 실내의 평균온도 분포

(2) 기류 분포

[그림 3.28] ~ [그림 3.33]는 중공층(W)값이 20 ~ 40cm까지 변화할 때 그에 따라 실내에 미치는 기류 분포 양상을 나타낸다. 기류 분포 양상을 봤을 때 앞전의 연구와 동일하게 전체적으로 개구부 주변에서 유속이 높게 흐르는 것을 확인하였다. 중공층(W)값이 작을수록 부력에 의한 대류가 활발하지 않아 상대적으로 유속이 낮고, 반대로 중공층(W)값이 커질수록 부력으로 인한 유속이 높아짐을 확인 할 수 있었다.

다음 [그림 3.35]은 중공층(W)의 변화에 따른 상부 개구부를 통과하는 기류의 속도를 나타낸다. 중공층 간격이 상대적으로 좁은 Case A(W=20cm)일 때, 2.23×10^{-1}m/s의 값을 가졌고 중공층 간격이 넓은 Case C(W=40cm)일 때, 2.44×10^{-1}m/s값을 가졌다.



[그림 3.35] 중공층(W)의 변화에 따른 상부 개구부를 통과하는 기류의 속도

3.5 소 결

건축물에 트롬월 시스템의 적용시 스텝(S)의 변화에 따라 실내에 미치는 온도와 기류분포를 확인하였다. 실제 사람의 거주 영역인 바닥에서 1.2m 높이의 실내 평균온도 분포를 확인한 결과 최적의 스텝(S) 값은 30cm 였을 때 13.47℃로 가장 높은 값을 가졌다.

이는 중공층내 공기층의 단열효과로 상부 개구부를 통과하는 공기의 온도가 상승되어 상대적으로 낮은 공기가 분포한 하부 개구부 사이와의 열 유속이 높아져, 창으로 통한 열 손실이 감소하고 실내로 유입되는 공기의 온도 편차가 적었기 때문으로 판단된다.

이러한 경향은 스텝의 값이 작으면 유속이 필요이상으로 증가하여 효과가 좋지 않고, 스텝의 값이 어느 한계 이상 커지게 되면 개구부 사이가 근접하게 되므로 대류에 의한 열 이동이 미비하여 효과가 좋지 않다는 것을 확인할 수 있었다.

개구부를 통과하는 평균 유속을 나타내는 그래프에서도 알 수 있듯 스텝(S) 값이 작을수록 트롬월 벽면을 흐르는 공기가 부력으로 인해 질량 유속이 높아 대류가 활발히 일어나는 반면, 스텝(S) 값이 커질수록 공기의 순환거리가 가까워짐으로 부력으로 인한 유속이 낮아짐을 확인 할 수 있었다.

중공층 간격에 따른 CFD 해석에서도 중공층(W) 값이 20cm 였을 때 13.87℃로 가장 높은 온도분포를 나타내고 40cm이었을 땐 13.48℃로 확인하였다. 또한 중공층 간격이 좁아지므로 부력에 의한 대류 속도는 상대적으로 낮아지고 중공층이 40cm이었을 때는 보다 상대적으로 높게 나타났다.

제4장 축소모형실험

4.1 축소모형실험의 개요

4.1.1 축소모형실험의 목적

건축물의 실제 주변 기후, 온도, 습도 및 기타 환경변화 등 비정상(Unsteady) 자연상태의 조건에서 정상상태로 해석된 CFD의 값을 신뢰하기엔 다소 무리가 있으므로 CFD 해석의 신뢰도를 검증하기 위해 이와 같은 실험을 하였다.

5m×4m×3m라는 해석 대상 모델을 실제로 축조하기엔 많은 자금과 제약이 따르므로 1/10의 스케일로 축소하여 50cm×40cm×30cm로 축소모형을 제작하고 실험하도록 한다.

CFD를 이용하여 건축물에 적용한 트롬월 시스템의 설계적 변수에 따른 해석을 통해 가장 효율이 좋았던 Case로 실험모형을 만들고 트롬월을 적용하였을 경우와 적용하지 않았을 경우, 이 두 경우를 비교하여 트롬월 시스템 적용의 효율성 검증과 건축적 적용에 대한 검토를 한다.

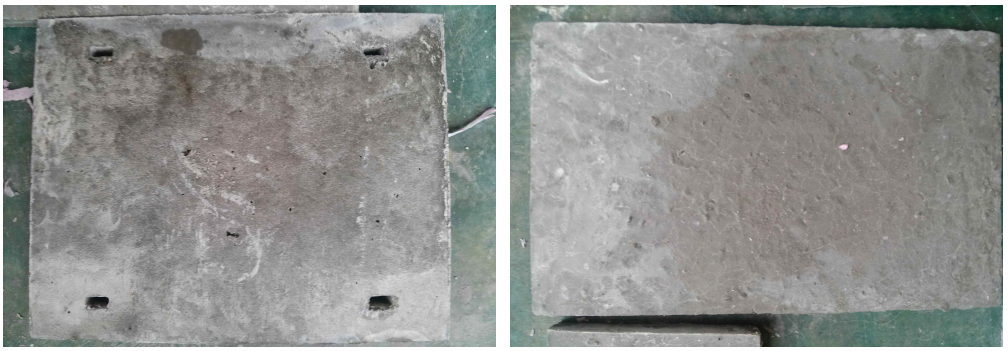
4.1.2 축소모형실험체의 구조

길이 50cm, 폭 40cm, 높이 30cm의 직육면체로 된 실험체이며 순수 축열만을 위해 철근을 배근하지 않은 일반 콘크리트이다.

CFD해석과 같이 침기가 없는 기밀한 상태로 만들기 위하여 실리콘을 이용해 상세히 마감을 하였으며 중공층 간격은 50cm이고, 개구부 면적은 2cm^2(2cm×1cm)로 상, 하부에 각각 두 개씩 구성 되어있다.

다음 [사진 4.1] ~ [사진 4.3]은 축소모형 양생과 탈형 된 사진이다.

[사진 4.1] 제작중인 축소모형실험의 윗면 벽(왼쪽)과 아랫면 벽(오른쪽)

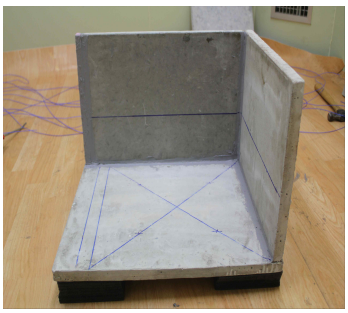
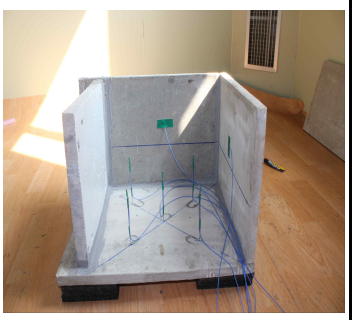
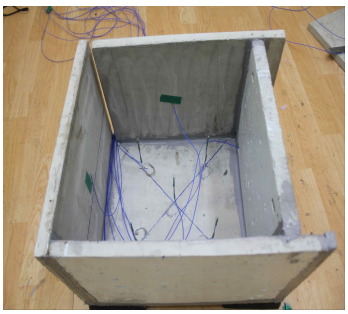
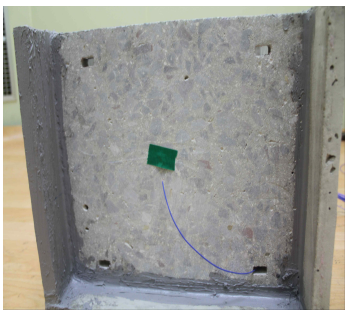


[사진 4.2] 완성된 축열벽(왼쪽)과 옆면 벽(오른쪽)

[사진 4.3] 완성된 윗면 벽(왼쪽)과 뒷면 벽(오른쪽)

4.1.3 축소모형실험체의 제작

다음 [사진 4.4]와 같은 순으로 실험체 제작이 진행되었다.

(a) 타설 및 양생	(b) 탈형 및 가공	(c) 조립
		
(d) 측정위치 선정	(e) 축열벽 조립	(f) 측정위치에 센서부착
		
(g) 기타 벽체 조립	(h) 축열벽에 센서부착	(i) 유리부착 및 완성

[사진 4.4] 전체적인 실험체 제작 순서

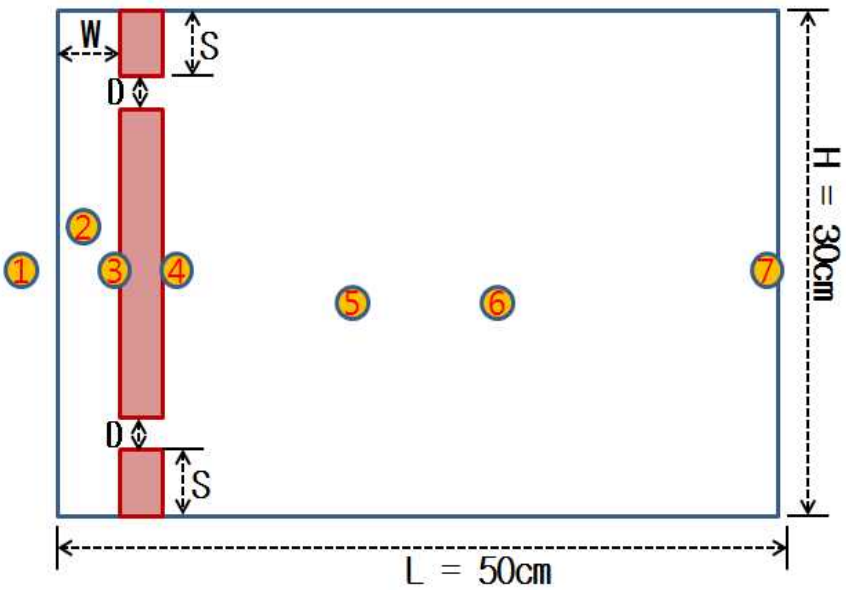
4.2 축소모형실험의 측정

4.2.1 축소모형실험의 측정위치 선정

CFD를 이용해서 트롬월 시스템을 해석했던 결과와 연계하여 그 값을 검토하였던 위치와 동일하게 다음 [그림 4.1]과 같이 측정위치를 선정하고 해당 위치에 측정 장비를 설치하도록 한다.

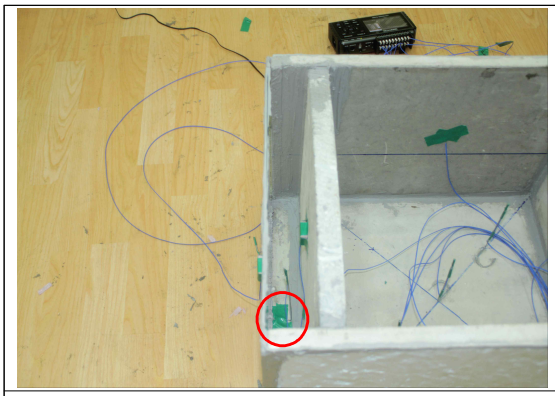
실험체가 1/10로 축소된 만큼 측정 위치도 모형에 비례하여 설치하도록 한다. 각 번호가 의미하는 측정위치는 다음과 같다.

① 외기온도 ② 중공층 온도 ③ 축열벽 외표면온도 ④ 축열벽 내표면온도
⑤ 바닥에서 12cm 높이의 온도 ⑥ 바닥에서 12cm 높이의 온도 ⑦ 외벽



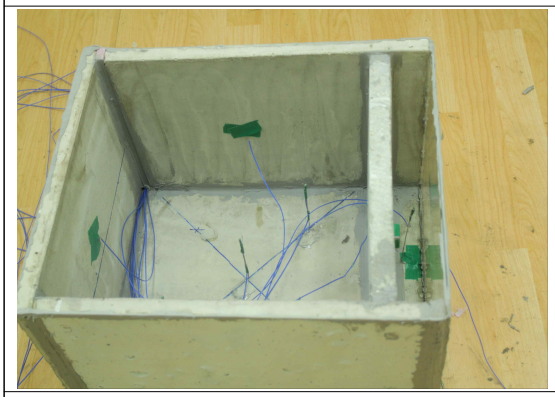
[그림 4.1] 실험체 온도측정 위치

다음 [사진 4.5]는 [그림 4.1]의 도식에 맞게 측정 장비를 설치한 사진이다.

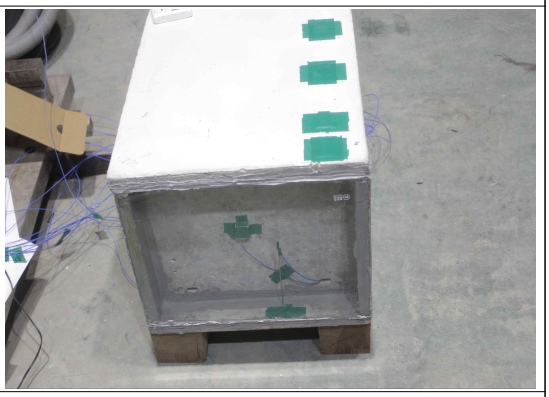


(a) 중공층 열전대 위치

(b) 실내 열전대 위치 (우측)



(C) 실내 열전대 위치 (좌측)



(d) 설치 완료

[사진 4.5] 실험체에 측정 장비 설치

4.2.2 축소모형실험의 측정 장치

(1) 열전대 정의

서로 다른 두 종류의 금속도체에 폐회로가 형성 되도록 결합하고, 두 결합사이에 온도차이를 유지하면 폐회로 내에 기전력이 발생한다.

이렇게 한쪽(냉접점)을 정확하게 0℃로 유지하고, 다른 한쪽(온접점)을 측정하려는 대상에 놓아두면, 기전력이 측정되어 온도를 알 수 있다. 서로 다른 금속 도체의 결합

을 “열전대” 라고 한다.

해당 실험에 사용된 열전대의 제원은 다음과 같다.

[표 4.1] 열전대 제원

제 품 명	정밀 열전대 와이어 - K type
전 선 규 격	AWG28(0.32mm dia.)
재 질	PFA/PTFE
허 용 오 차	±60㎶(±2.5℃)
절 연 범 위	-75℃ ~ 260℃
사용 온도 범위	-25℃ ~ 200℃
특 징	기전력의 직선성이 좋아 가장 보편적으로 사용

[사진 4.6] 열전대[19]

19) ㈜세인교정기기, 온도센서(접촉식), Class 1 정밀 열전대와이어

(2) 멀티 데이터로그

해당 실험에 사용된 데이터로그의 제원은 다음과 같다.

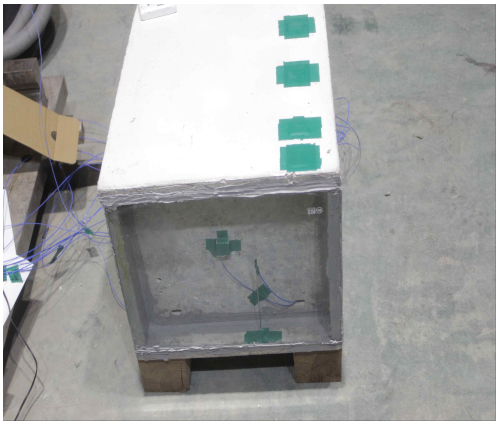
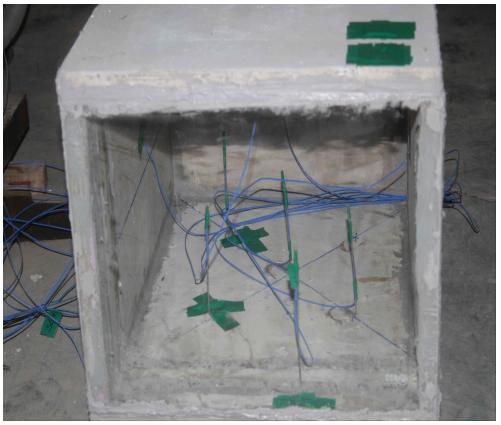
[표 4.2] 데이터로거의 제원

제 품 명	Milti-channel Datalogger : TX-220
연결가능채널	1unit (10ch)
샘플링 간격	10ms ~ 1h
측 정 범 위	Voltage : 20 ~ 500mv, 1 ~ 50v
	Humidity : 0 ~ 100% RH
	Temperature : K, J, E, T, R, S, B, N, W type
측정 정확도	Voltage : ±0.1% of F.S
	K-type : -200≤TS≤-100℃ ±(0.05% of rdg + 2.0℃) T-type : -200≤TS≤-100℃ ±(0.05% of rdg + 1.5℃) J-type : -200≤TS≤-100℃ ±2.7℃
작 동 환 경	Temperature 0℃ ~ 45℃, Humidity 5 ~ 85% RH
디스플레이 사이즈	4.3inch TFT color LCD(WQVGA : 480×272 DOTS)
기기 사이즈(W×D×H)	7.63in × 4.63in × 1.65in

[사진 4.7] 데이터 로그

4.2.3 축소모형실험 방법

(1) 건축물에 트롬월 시스템을 적용했을 때와 적용하지 않았을 때 실내에 미치는 온열환경을 조사하기 위하여 두 경우에 대해 실험하기로 한다. 실험을 위한 Case는 다음 [사진 4.8]과 같다.

	
(a) 트롬월 시스템의 적용	(b) 트롬월 시스템의 비적용

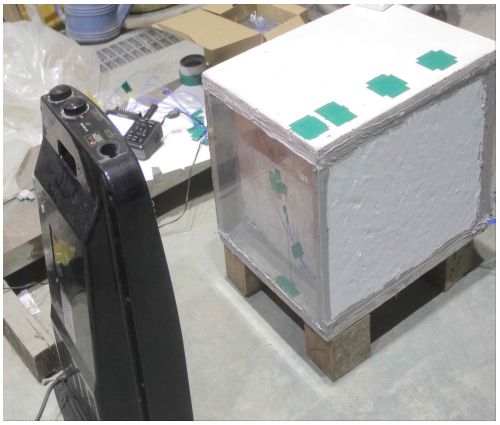
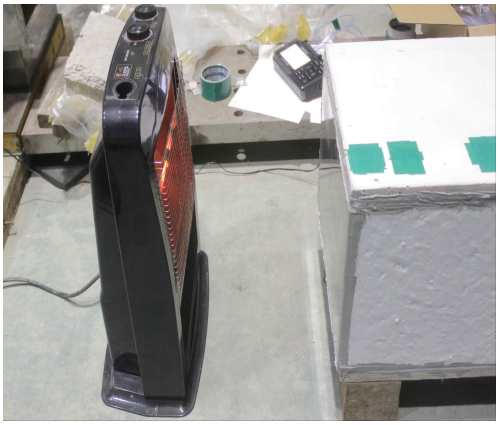
[사진 4.8] 트롬월 시스템 적용과 비적용

(2) 실제 태양복사를 구현하지 못하므로 다음 [사진 4.9]와 같이 복사열을 가할 수 있는 전열기로 선행 연구에서 실측 실험을 통해 조사되었던 트롬월 외표면 실측값 32.2℃와 중공층 온도의 실측값 52℃까지[20] 가열한다.

트롬월 시스템을 적용하지 않았을 경우 트롬월 외표면 실측값과 중공층 실측값을 사용할 수 없으므로 트롬월 시스템을 적용했을 경우 가열했던 시간과 같은 시간으로 가열하도록 한다.

실험횟수는 트롬월 시스템 적용시 4회, 비적용시 3회씩 실시되었으며 겨울철과 유사한 외기 조건을 만들기 위하여 태양복사가 없는 밤(20시 이후) 시간대에 야외 실험

20) 윤종호, 2008, “자연형 태양열 트롬월 축열벽 시스템의 열성능 특성 실측 분석 연구”

	
(a) 트롬월 적용시 경우의 가열	(b) 트롬월 비적용시 경우의 가열

[사진 4.9] 트롬월 적용했을 경우와 적용하지 않았을 경우의 가열상태

동에서 실험을 진행 하였다. 온도 등 기타 환경 변화폭이 적은 날에 실험을 진행하였으며 실험실 내부 습도는 40%이다.

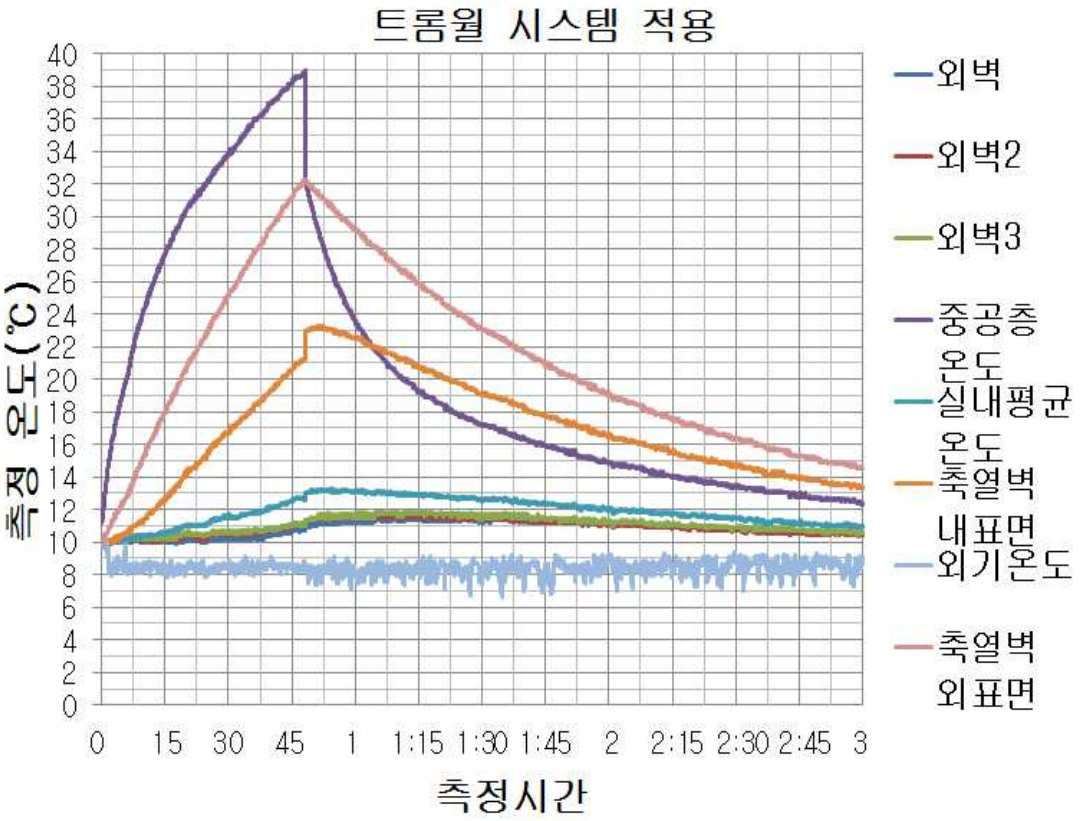
(3) 적정 온도까지 가열한 후 전열기를 제거하고 트롬월에 의한 실내 온열환경 변화가 어떻게 진행되는지 내부 온도 변화를 측정하고 결과를 그래프로 나타내었다.

4.3 결과분석

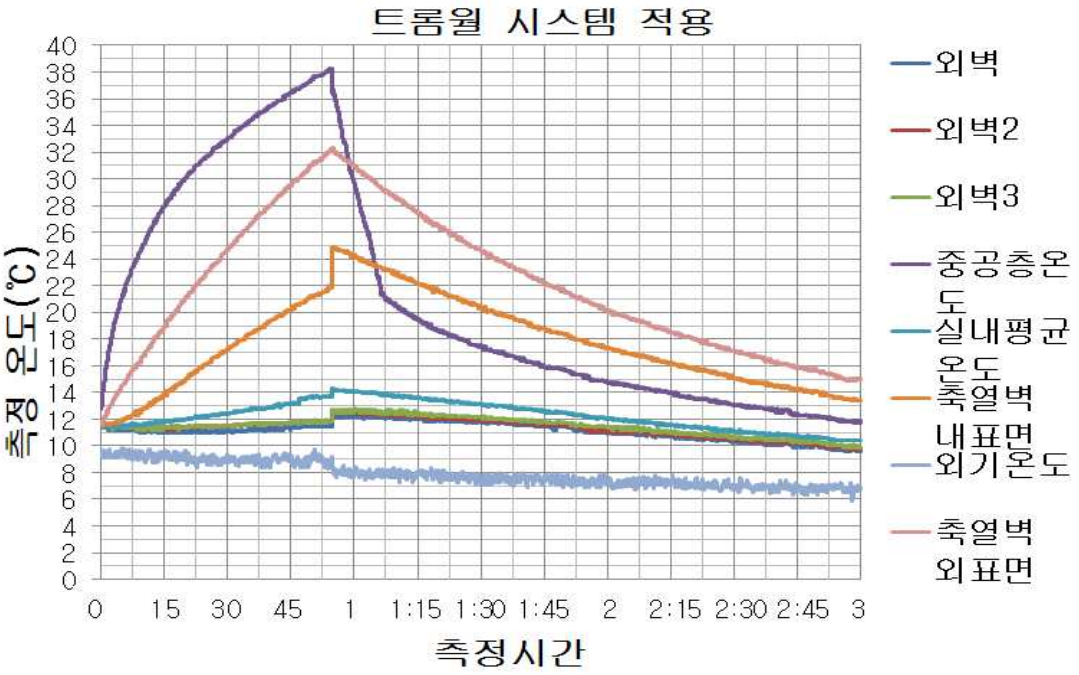
4.3.1 트롬월 시스템(Trombe wall System) 적용시 온도분포

트롬월을 적용하였을 경우 4회에 걸친 실험 결과는 다음 [그림 4.2]~[그림 4.5]의 그래프와 같다.

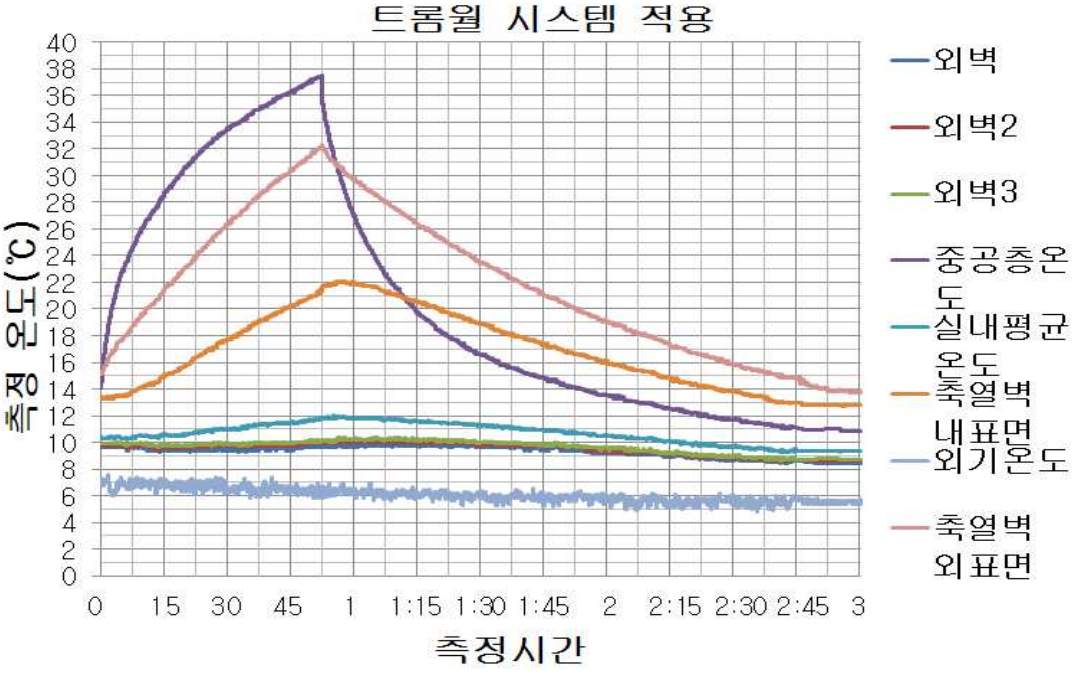
4.3.1.1 측정 실험 결과



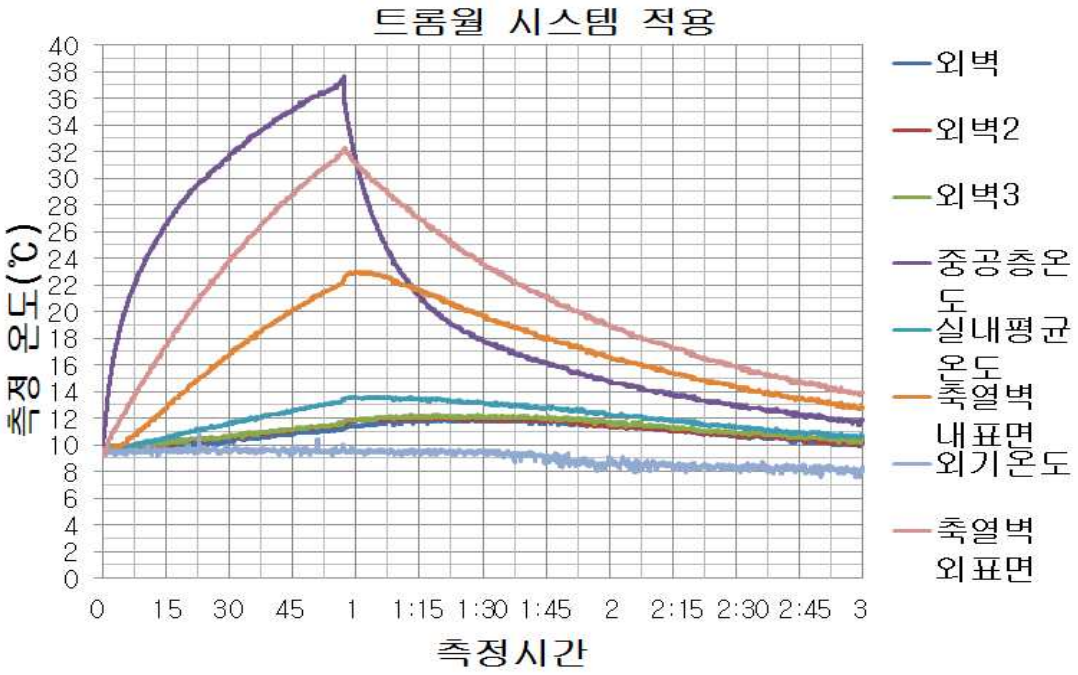
[그림 4.2] 1회 측정 실험 결과



[그림 4.3] 2회 측정 실험 결과



[그림 4.4] 3회 측정 실험 결과



[그림 4.5] 4회 측정 실험 결과

4.3.1.2 결과 분석

(1) 실험 수행기간 외기온도는 8℃이었으며, 외벽은 10℃사이로 측정되었고 실험시간은 3시간동안 진행되었다. 축열벽은 32.2℃까지 가열되었고 중공층은 선행 연구의 실측온도 값까지 인공열원의 한계로 가열하지 못하였지만, 총 4회에 걸친 실험 결과 38℃사이에서 동일한 온도 분포를 나타내고 있다.

다음 [표 4.3]은 총 4회에 걸쳐 트롬월을 32.2℃까지 가열하고 바닥에서 1.2m 높이 부근의 실내 평균 온도를 측정한 결과이다.

[표 4.3] 트롬월이 32.2℃일 때 4회의 실내 평균 온도분포 측정결과

측정 회수	측정 온도
1회 측정 결과	12.67 ℃
2회 측정 결과	13.71 ℃
3회 측정 결과	11.83 ℃
4회 측정 결과	13.34 ℃
평균 결과	12.89 ℃

(2) 그래프에서 볼 수 있듯이 트롬월 표면이 30℃로 온도가 하강하였을 때, 실내온도가 상승된 것을 확인할 수 있었다.

다음 [표 4.4]는 트롬월의 온도가 30℃로 하강할 때 바닥에서 1.2m 높이 부근의 실내 평균온도를 측정한 결과이다.

[표 4.4] 트롬월이 30℃일 때 4회의 실내 평균 온도분포 측정결과

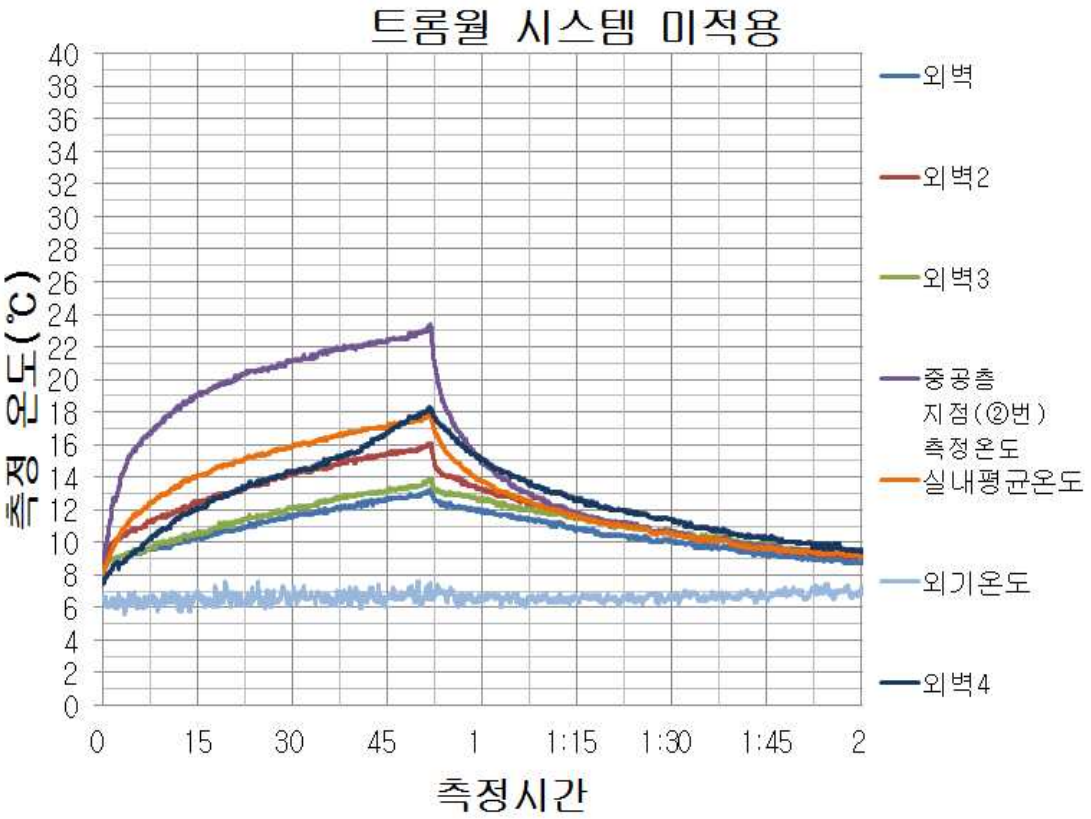
측정 회수	측정 온도
1회 측정 결과	13.01 ℃
2회 측정 결과	14.23 ℃
3회 측정 결과	12.02 ℃
4회 측정 결과	13.63 ℃
평균 결과	13.22 ℃

(3) 트롬월의 온도가 하강할 때 실내온도는 약 0.5℃ 상승하였고, 총 4회의 실험 종료 시까지 실내 평균온도는 평균적으로 11.53℃로 측정되었고, 외벽보다 상대적으로 높은 온도 분포를 나타내고 있다.

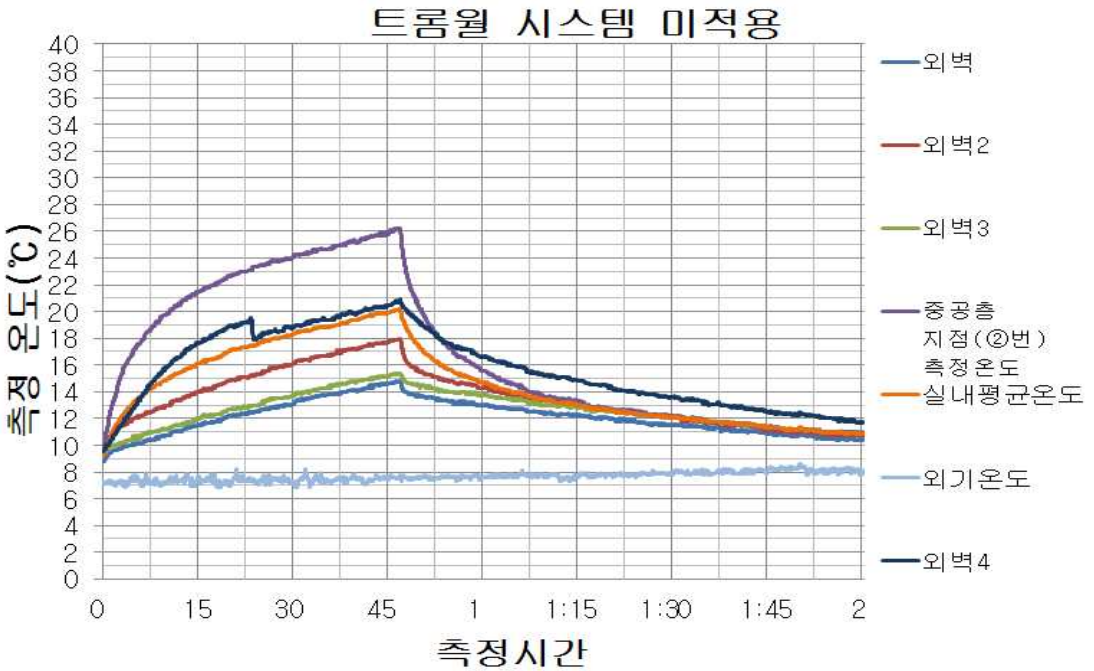
4.3.2 트롬월 시스템(Trombe wall System) 미적용시 온도분포

4.3.2.1 측정 실험 결과

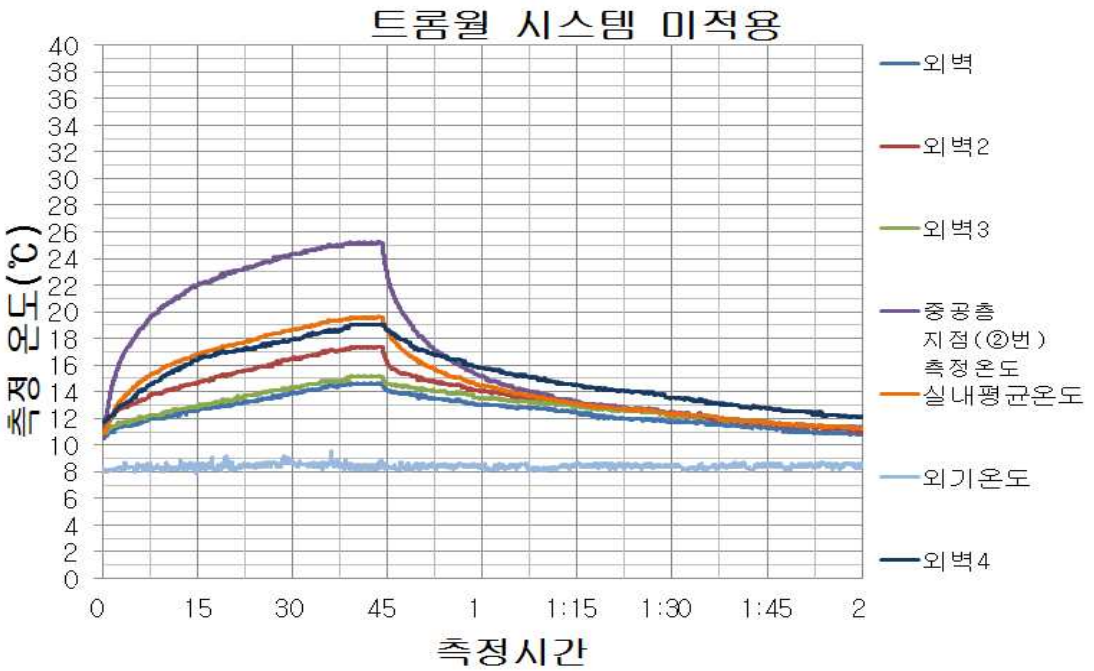
트롬월을 적용하지 않았을 경우 3회에 걸친 실험 결과는 다음 [그림 4.6]~[그림 4.8]의 그래프와 같다.



[그림 4.6] 1회 측정 실험 결과



[그림 4.7] 2회 측정 실험 결과



[그림 4.8] 3회 측정 실험 결과

4.3.2.2 결과 분석

(1) 실험 수행기간 외기온도는 7℃이었으며, 외벽은 10℃사이로 측정되었고 실험시간은 2시간동안 진행되었다. 트롬월을 적용하였을 경우와 측정시간이 다른 이유는 그래프에서도 알 수 있듯이 트롬월 적용하였을 경우와 같은 열원을 공급하였지만 일정시간 온도 상승이 확인되지 않고 지속됨을 나타내고 있어 추가적인 열원의 공급이 불필요하다 판단하여 열원을 제거, 측정을 시작하였다.

트롬월을 적용하였을 때의 중공층의 온도를 측정하는 위치에 있는 지점에서 평균 24.83℃로 나타내고 있다. (측정점 ②번, [그림 4.1]참고)

다음 [표 4.3]은 총 3회에 걸쳐 트롬월을 적용하지 않았을 때 바닥에서 1.2m 높이 부근의 실내 평균 온도를 측정한 결과이다.

[표 4.5] 3회의 ②번 측정지점의 온도와 실내 평균 온도분포 측정결과

측정 회수	②번 측정지점 온도	실내평균온도
1회 측정 결과	23.0 ℃	17.70 ℃
2회 측정 결과	26.2 ℃	20.15 ℃
3회 측정 결과	25.3 ℃	19.63 ℃
평 균 결 과	24.83 ℃	19.16 ℃

(2) 그래프 결과에서 볼 수 있듯이 열원을 제거함과 동시에 ②번 측정지점을 포함한 모든 평균온도가 같이 하강하는 모습을 확인할 수 있었다. 트롬월을 적용하였을 경우와 동일하게 온도가 하강하는 시점에서 실내평균온도를 측정하였다.

다음 [표 4.4]는 열원을 제거하고 ②번 측정지점의 온도가 20℃로 하강할 때 바닥에서 1.2m 높이 부근의 실내 평균온도를 측정한 결과이다.

[표 4.6] ②번 측정지점 온도가 20℃일 때 3회의 실내 평균 온도분포 측정결과

측정 회수	실내평균온도
1회 측정 결과	16.48 ℃
2회 측정 결과	17.2 ℃
3회 측정 결과	17.3 ℃
평 균 결 과	16.99 ℃

(3) ②번 측정지점의 온도가 하강하는 시점에서 실내평균온도는 앞 결과와 2.2℃정도 차이를 보여주고 있다. 총 3회의 실험 종료 시까지 실내 평균온도는 평균적으로 9.1℃로 측정되었고, 외벽과 같은 온도분포를 나타내고 있다.

4.4 소 결

(1) 트롬월을 적용하였을 경우

트롬월을 32.2℃까지 인공열원으로 가열하고 바닥에서 1.2m 부근의 실내 평균온도를 조사한 결과 4회에 걸친 실험에서 실내온도는 평균 12.89℃로 측정되었다.

또한 트롬월이 30℃로 온도가 하강하는 시점에서 실내온도는 평균 13.22℃로 온도가 같이 하강하지 않고 오히려 0.5℃ 더 상승한 것을 볼 수 있는데, 이는 트롬월이 축열된 열을 실내측으로 발열하여 실내 온도에 영향을 미치기 때문이다.

이후 실험 종료시 평균적으로 실내온도는 11.53℃로 측정되었고, 외벽보다 상대적으로 높은 온도 분포로 확인되는 것은 트롬월 적용으로 축열된 열의 지속적 방출로 인해 외벽으로 통한 열손실이 적기 때문이다.

(2) 트롬월을 적용하지 않았을 경우

트롬월을 적용하지 않았을 경우에는 외측 창을 통해 실내로 유입되는 열량이 같음에도 불구하고 ②번 측정지점에서 온도가 상승하지 않고 일정한 것으로 나타났다. 그 이유는 트롬월 적용시 존재하는 중공층 부재로 열이 트롬월을 통해 순환하지 못하고 온도가 낮은 창 측을 통하여 열 손실이 일어났기 때문이다.

열을 제거한 뒤, 1.2m 부근의 실내 평균온도를 조사한 결과 3회에 걸친 실험에서 평균 19.16℃로 측정되었다.

트롬월을 적용하지 않았을 경우, 직접 가해지는 열로 인해 실내온도가 높게 측정되었으나, 트롬월 적용시 온도가 하강하여도 실내 온도는 오히려 상승되고 온도 변화가 적은반면, 미적용시 열원을 제거함과 동시에 ②번 측정지점의 온도와 모든 평균온도가 같이 하강하였으며 실내온도는 평균 16.99℃로 약 2.2℃씩 큰폭으로 감소한다는 것을 확인하였다. 이는 트롬월의 부재로 축열된 열을 방출하지 못하고, 외기의 영향을 받아 기온이 낮은 창 측을 통하여 다량의 열손실이 일어나기 때문이다.

이후 실험 종료 시까지 실내온도는 평균적으로 9.1℃로 측정되었고, 외벽과 같은 온도분포를 나타내고 있다. 트롬월을 적용하지 않으므로 에너지 손실이 더욱 크다는 것을 확인하였다.

제5장 결 론

본 연구에서는 주거 공간에서의 트롬월 사용으로 인한 실내 기류 및 열 분포를 야간일 때 CFD해석을 이용하여 검토하고 이와 병행하여 건축물에 트롬월 시스템을 적용하였을 경우와 적용하지 않았을 경우, 이 두 가지 경우를 놓고 축소모형실험을 수행, 조사하였다.

(1) 온도가 하강하는 중공층으로 실내의 따뜻한 공기가 빠져나가고 온도차에 의한 자연대류의 영향으로 공기가 순환하면서 창 쪽으로 열 손실이 일어나며 차가운 공기가 실내로 유입되는 것을 확인 하였다.

(2) 설계적 변수에 따른 CFD해석에서 스텝(S)의 값을 변화시키면서 적용하여 해석한 결과, 실내 평균온도 분포는 스텝(S)의 값이 30cm일 때, 13.47℃로 가장 좋은 효과를 갖는다는 것을 확인하였다.
반면, 이 이상 스텝(S)값이 커지게 되면 개구부간 격차가 근접하게 되어 대류에 의한 열 이동이 미비하여 효과가 좋지 않다는 것을 확인 하였다.

(3) 스텝(S)의 값이 작을수록 트롬월 벽면을 흐르는 공기가 부력으로 인해 질량 유속이 높아져 대류는 활발해지나 유리로 통한 열 손실이 커져 유입되는 공기의 온도 저하로 사용상의 불리함을 확인한 반면, 스텝(S)값이 커질수록 유리를 통한 열손실은 줄어드나 대류 활동이 미비하여 열 순환 면에서 불리함을 확인하였다.

(4) 중공층 간격(W)을 변화시켜 적용하여 해석한 결과, 실내 평균온도 분포는 중공층 간격(W)값이 20cm일 때, 13.87℃로 가장 좋은 효과를 갖는다는 것을 확인하였다.
하지만 중공층이 상대적으로 좁은 간격인 만큼 부력에 의한 대류활동이 상대적으로 줄어들어 기류 속도는 낮은 것을 확인 하였다.

(5) 축소모형실험에서 트롬월 시스템을 적용하였을 경우, 트롬월 외표면이 32.2℃로 가열되었을 때 측정된 4회의 실험에서 실내온도는 평균 12.89℃로 측정되었다.
또한, 트롬월이 온도가 하강하는 시점에서 실내온도는 평균 13.33℃로 오히려 온도

가 상승된 것을 확인하여 건축물에 트롬월 시스템의 적용이 실내 난방에 효과적인 것을 확인 하였다.

(6) 축소모형실험에서 트롬월 시스템을 적용하지 않았을 경우, 트롬월 시스템 적용시와 같은 열원을 공급한 뒤, 3회의 실험에서 실내온도 평균은 19.16℃로 측정되었다.
트롬월을 적용하였을 경우보다 온도가 높게 측정되었지만, 온도가 하강하는 시점에서 실내온도는 평균 16.93℃로 약 2.5℃로 동시에 큰 변화폭으로 하강하였다. 시간이 지날수록 외벽과 같은 온도를 나타내어 열 취득에 있어 불리함을 확인하였다.

(7) 실험에서 확인한 바와 같이 트롬월 시스템의 적용이 건축물의 난방 효과에 효율적이라는 것을 확인하였다. 또한 CFD를 이용하여 트롬월 시스템을 해석, 분석한 결과값의 신뢰도를 입증하였다.
더불어 겨울철 야간의 트롬월 시스템 적용은 개구부를 통한 열손실이 증가하므로 이에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1) 이경회, 신인호, "자연형 태양열 축열벽 시스템의 열성능평가 연구", 대한건축학회, Vol. 6, No. 1, 1986.

2) 이명호, 송국섭, 황정하, 김동환, "자연형 태양열 트롬월 방식에서의 야간단열에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 논문집, Vol. 8, No. 2, 1988.

3) 이경회, 유호천, 이윤규, "자연형 태양열 축열벽 시스템의 열성능에 관한 실험적 연구", 대한건축학회, Vol. 9, NO. 2, 1989.

4) 이명호, 이언구, 전봉구, "실험모델에 의한 자연형 태양열 시스템 야간 단열구조의 열성능에 관한 연구", 대한건축학회, Vol. 7, No. 2, 1991.

5) 이원근, "자연형 태양열시스템의 열성능해석 및 최적화", 태양에너지학회 Vol. 12, NO. 2, 1992.

6) 노지희, "흙이용 트롬월의 열성능 평가에 관한 연구", 공주대학교 석사학위 논문, 2004.

7) 윤종호, 백남춘, 신우철, "자연형태양열 트롬월 축열벽 시스템의 열성능 특성 실측 분석 연구", 한국태양에너지학회, Vol. 28, No. 1, 2008.

8) 박진서, "오피스 건물 적용을 위한 자연형 태양열 난방시스템의 효율 분석", 인하대학교 석사학위 논문, 2010.

9) 박진서, "사무소 건물을 위한 자연형 태양열 시스템의 응용", 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 30, No. 4, 2010.

10) 윤태균, "건물외피에 적용한 자연형 태양열 시스템의 성능 분석", 대한건축학회 논문집, Vol. 31, No. 2, 2011.

11) 윤태균, "자연형 태양열 시스템을 이용한 커튼월 벽체의 응용에 관한 연구", 인하대학교 석사학위 논문, 2012

12) 박경수, 박성현, 서장후, "축열재료에 따른 트롬월 시스템의 열적 성능평가", 한국건축친환경설비학회 논문집, Vol. 2012, No. 3, 2012.

13) Guohui Gan, "A parametric study of Trombe walls for passive cooling of buildings", Energy and Buildings, Volume. 27, Issue. 1, Pages 37-43, 1998.

14) Guohui Gan, "Simulation of buoyancy-induced flow in open cavities for

natural ventilation ", Energy and Buildings, Volume. 38, Issue. 5, Pages 410-420, 2006.

15) Arvind Chel, J.K Nayak, Geetanjali Kaushik, "Energy conservation in honey storage bilding using Trombe wall", Energy and Buildings, Volume. 40, Issue. 9, Pages 1643-1650, 2008.

16) Cristina Sanjuan, Maria Jose Suarez, Marcos Gonzalez, Jorge, Pistono, Eduardo Blanco, "Energy performance of an open-joint ventilated facade compared with a conventional sealed cavity facade", Solar Energy, Volume. 85, Issue. 9, Pages 1851-1863, 2011.

17) Basak Kundakci Koyunbaba, Zerrin Yilmaz, Koray Ulgen, "An approach for energy modeling of a building integrated photovoltaic (BIPV) Trombe wall system", Energy and Buildings, In Press, Corrected Proof, Available online 28, 2011.

18) Samar Jaber, Salman Ajib, "Optimum design of Trombe wall system in mediterranean region", Solar Energy, Volume. 85, Issue. 9, Pages 1891-1898, 2011.

19) Wei Sun, Jie Ji, Chenglong Luo, Wei He, "Performance of PV-Trombe wall in winter correlated with south facade design", Applied Energy, Volume. 88, Issue. 1, Pages 224-231, 2011.

20) Francesca Stazi, Alessio Martrucci, Contanzo di Perna, "Trombe wall management in summer condition : An experimental study", Solar Energy, Volume 86, Issue 9, Pages 2839-2851, 2012.

21) Basak Kundakci Koyunbaba, Zerrin Yilmaz, "The comparison of Trombe wall systems with single glass, double glass and PV panels", Renewable Energy, Volume. 45, Pages 111-118, 2012.