

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 25, No. 4, 2005

냉방부하 최소화를 위한 지붕의 최적기울기에 관한 연구

태원진*

*명지대학교 건축대학 건축과(taewj@mju.ac.kr)

A Study on the Optimum Slope of the Roof for Minimum Cooling Load

Tae, Won-Jin*

*Dept. of Architecture, College of Architecture, Myongji University(taewj@mju.ac.kr)

Abstract

The main purpose of this study is to define an optimum slope of the roof that demands minimum cooling load of the building, when the roof is affected by the solar and wind energy. Two different roof shapes were chosen: hip, gabled. The cooling load of building having those roof shapes was calculated through the computer simulation, using DOE program. For the simulation, the angle of the roof and angle of the orientation was changed. In the conclusion of this paper, an optimum slope of the roof which causes minimize cooling load is presented according to the roof shape and orientation. The result of this study could provide a practical design guideline for determining the roof angle for various climatic conditions.

Keywords : 지붕의 최적 기울기(Optimum angle of the roof), 최소 냉방부하(Minimum Cooling Load), 에너지절약(Energy conservation)

1. 서 론

일반적으로 지붕은 인간을 위하여 여러 가지 자연적인 기후조건에 따라 내, 외부 기능을 만족할 수 있도록 지붕의 형태(shape)와 기울기(angle)

를 결정하여 왔고 결과적으로 그 지방의 특유한 지붕의 형태를 만들기도 한다. 그러나 현대에 와서 재료의 발달과 기능의 복잡화, 서구문화의 영향 등으로 지붕의 형태가 다양화를 보이면서 그 지역의 기후나 에너지 소모를 고려하지 않는 경향이 나타

나고 있다. 건물의 에너지 손실과 획득은 건물 외피의 전도에 의한 것과 바람에 의한 대류로 인한 것 그리고 복사에 의하여 발생하는데 그 중 지붕은 일반적인 주택의 경우 건물 전체 에너지 손실과 획득에 커다란 영향을 주고 있다.

건물 최상층의 지붕은 하절기에는 일사수열 영향으로 실온 상승을 일으키며 결과적으로 냉방부하를 증가시킨다. 지붕에서의 일사수열의 양은 지붕의 향과 형태에 따라 결정된다. 수평면과 수직면의 일사량 수열을 비교하면 하절기인 경우 수평면이 최고 6배에 달하고 있어 지붕에서 일사수열을 최소한으로 하기위하여서는 수직에 가까운 지붕의 경사를 이루도록 설계하여야 한다. 또한 지붕의 전체적인 향은 북쪽으로 결정하는 것이 유리하다. 그러나 이런 조건을 수용하여 지붕의 향과 기울기를 결정하기는 현실적인 어려움이 있다. 현재 에너지를 고려한 지붕 형태 설계에 있어서 의사결정에 관한 연구는 매우 미흡하다. 특히 에너지 절약을 고려한 지붕의 형태, 경사도 등에 따른 구체적인 적용 방안과 지표가 미약한 실정이다. 본 연구에서는 우리나라에서 일사의 획득과 바람에 의한 에너지의 변화를 고려한 지붕의 최적 기울기(optimum slope)를 시뮬레이션을 통하여 규명하고 지붕의 형태 설계에 있어 디자인 지침(design guideline)을 제공함을 목적으로 한다.

2. 시뮬레이션

2.1 시뮬레이션 모델 개요

본 연구에서 지붕의 열적 부하에 의한 에너지 측면에서 지붕의 형태를 결정할 수 있다고 판단되어 지붕의 열적인 측면에 대한 에너지 소비를 최소화 할 수 있는 지붕형태의 최적 기울기를 제시하는 것에 한정한다. 건물에서 지붕의 최적기울기를 제시하기 위하여 건물에너지 해석 프로그램인 DOE를 사용하였다.

시뮬레이션에 적용된 건물은 용적을 고정시킨

다음 각 방위별로 지붕의 기울기를 변화시켰고 이에 따라 건물의 냉방부하를 산출하였다. 건물의 열 성능과 에너지 소비에 영향을 미치는 요소들은 바닥면적, 장단변비, 건물의 층고, 단열재의 두께, 위치, 열용량 등 다양한 것들이 있으나 모델을 단순화하여 다음과 같이 설정하였다. 그림 1과 같이 건물은 단층으로 바닥 면적은 54 (6mx9m)m² 이고 용적은 약 324m³로 설정하였다. 지붕의 형태는 보편적인 외쪽 지붕과 박공지붕 2개로 설정하였다. 장단변비는 각 방위별 외피면적에 영향을 주어 외피에 의한 열 손실과 투과체에 의한 유입 일사량이 달라져서 평면의 장단변비는 건물의 연간 에너지 소비량에 영향을 미친다. 본 연구에서는 장 변대 단 변의 비는 3:2로 설정하였다. 외벽의 구조는 부위별 열관류율 기준에 따랐으며, 외벽 구조의 재료와 물성치는 표 1과 같다. 본 연구에서 여름철 바람의 방향은 남서쪽으로 정남에서 45도 각 도를 이루고 있으며 여름철 평균풍속을 약 1.5m/sec로 설정하였다. 일사량과 외기 온도는 표준기후데이터를 사용하였다.

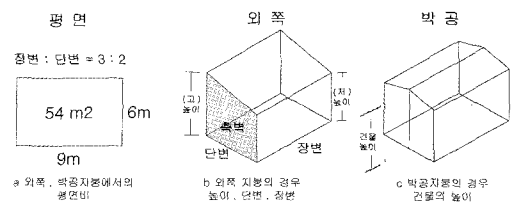


그림 1. 시뮬레이션을 위한 건물모델

표 1. 외벽구조의 재료와 물성치

재료	구성 재료	두께 (mm)	전도 (kcal/mh°C)	밀도 (kg/m³)	열 저항 (m²/W)	열관류율 (kcal/mh°C)
1	몰탈	20	0.935	2,020	0.02	0.291
2	콘크리트	180	1.4	2300	0.11	
3	단열재	100	0.034	48.06	2.57	
4	집섬보드	19	0.1380	800.93	0.12	
공기에 의한 표면열전달					0.11	

* 바람의 방향과 풍속: 남동쪽 약 1.5m/sec

2.2 시뮬레이션 모델 특성과 분석

건물의 용적을 동일하게 하고, 건물의 지붕기울기를 증가함에 따라 건물의 총 외피면적은 증가하며 지붕의 면적에 영향을 준다. 본 연구에서 건물의 체적(324m³)을 동일하게 하면서 지붕의 기울기의 변화를 주기 때문에 건물의 높이는 지붕의 기울기에 따라 다르다. 시뮬레이션에 사용된 지붕의 기울기 변화는 그림 2와 같이 0°에서 45°까지로 하였다. 동일 용적하에서 박공지붕과 외쪽지붕 각각의 지붕기울기에 따른 외피면적, 지붕의 면적 등의 상관관계는 표 2, 3과 같다.

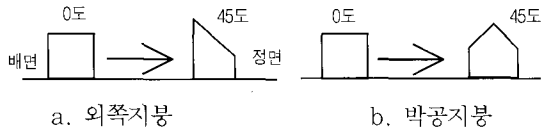


그림 2. 외쪽 및 박공지붕의 기울기 변화

표 2. 기울기에 따른 외쪽지붕건물의 변화 특성

단위 평	기울기 °	체적	표면적(외기노출면적) : m ²					m		
			T	지붕	벽	(고)벽 면적	(저)벽 면적	측벽 면적	건물 높이	(저)벽 높이
외 쪽 지 붕	0	324	234.00	54	180	53.9	54	36	5.99	동일
	5		234.21	54.21	180	56.3	51.64	36	6.26	5.73
	10		234.61	54.84	180	58.7	49.24	36	6.53	5.47
	15		235.91	55.91	180	61.2	46.76	36	6.80	5.19
	20		237.47	57.46	180	63.8	44.17	36	7.09	4.90
	25		239.58	59.58	180	66.6	41.41	36	7.40	4.60
	30		242.35	62.35	180	69.6	38.41	36	7.73	4.26
	35		245.92	65.92	180	72.9	35.1	36	8.10	3.89
	40		250.49	70.49	180	76.6	31.35	36	8.52	3.48
	45		256.36	76.36	180	80.9	27	36	9.0	3.00

건물의 체적과 평면을 동일하게 하고, 지붕기울기를 5°씩 증가시키면, 외쪽지붕의 경우는 계속하여 전체표면과 지붕의 면적은 증가한다. 박공지붕의 경우 건물의 총 표면적은 감소하다가 다시 증가함을 보이고 기울기가 30°쯤에서 최소임을 보이고 있다. 외쪽지붕과 달리 건물의 벽 면적은 지붕의 기울기가 증가함에 따라 감소하고 지붕의

표 3. 기울기에 따른 박공지붕 건물의 변화 특성

단위 평	기울기 °	체적	표면적(외기노출면적) m ²				m		
			T	지붕	벽	(저)벽 면적	측벽 면적	건물의 높이	(저)벽 높이
박 공 지 붕	0	324	234.00	54	180	53.9	36	6.0	동일
	5		231.72	54.21	177.51	52.8	36	6.13	5.87
	10		230.07	54.83	175.24	51.6	36	6.26	5.73
	15		228.67	55.90	172.77	50.4	36	6.42	5.59
	20		227.64	57.46	170.17	49.1	36	6.55	5.45
	25		226.99	59.58	167.41	47.7	36	6.70	5.30
	30		226.76	60.35	164.41	46.2	36	6.87	5.13
	35		227.04	65.92	161.12	44.5	36	7.05	4.95
	40		227.83	70.49	157.34	42.7	36	7.26	4.74
	45		229.37	76.37	153.00	40.5	36	7.50	4.50

면적은 증가한다. 건물의 높이는 지붕의 기울기가 증가함에 따라 증가하고 정면과 배면의 높이는 감소하지만, 측면의 면적은 유사한 값을 갖는다.

설정된 모델의 특성과 재료의 선정을 가지고 시뮬레이션을 실행하였으며, 종류와 범위로는 건물이 가질 수 있는 8개의 방위별로 나누었고, 각 방위별로 지붕의 형태를 외쪽지붕과 박공지붕 2가지로 나누어 각 지붕의 형태마다 5°간격으로 0°에서 45°까지의 10가지의 기울기로 분류하여 총 120가지의 시뮬레이션을 실행하였다.

3. 시뮬레이션 결과와 분석

총 120개의 각 방위별, 지붕형태에 따른 시뮬레이션 결과 중 보편적인 향인 정남향에서 외쪽지붕, 박공지붕 건물의 8월 냉방 부하량은 표 4, 5와 같다.

표 4. 정남 외쪽지붕 지붕, 벽, 냉방부하(Mwh)

기울기	지붕 에너지	벽 에너지	총에너지
0	0.148	0.472	0.62
5	0.150	0.471	0.621
10	0.153	0.470	0.623
15	0.157	0.469	0.626
20	0.161	0.468	0.629
25	0.169	0.467	0.636
30	0.176	0.466	0.642
35	0.185	0.465	0.65
40	0.196	0.464	0.66

표 5. 정남 박공지붕 지붕, 벽, 냉방부하(Mwh)

기울기	지붕에너지	벽 에너지	총에너지
0	0.148	0.472	0.62
5	0.148	0.467	0.615
10	0.150	0.463	0.613
15	0.152	0.458	0.61
20	0.155	0.453	0.608
25	0.160	0.448	0.608
30	0.165	0.442	0.607
35	0.171	0.436	0.607
40	0.180	0.429	0.609
그래프			

외쪽지붕에서 여름철 총 냉방부하와 지붕의 에너지는 기울기가 0°일 때 가장 작은 것으로 나타났다. 이 기울기는 평지붕을 의미한다. 박공지붕의 경우 총 냉방부하가 가장 적은 경우는 각도가 30-40 0°일 때이다. 그러나 지붕만을 본 경우 각도 0-5 0°에서 가장 적은 에너지가 발생한다.

정남향의 외쪽지붕과 박공지붕 건물과 같이 다른 향(남동향, 남서향, 동향, 서향, 북향, 북동향, 북서향)에서도 같은 방법으로 분석하여 종합해 보면 표 6과 같다.

표 6. 냉방위주 건물에서 방위별 적정 기울기

지붕형태와 기울기	정남	남동	남서	동향	서향	북향	북동	북서
외쪽지붕	40	9	9	9	8	8	7	7
	35	8	8	8	7	7	6	6
	30	7	7	7	6	6	5	5
	25	6	6	6	5	5	4	4
	20	5	5	5	4	4	3	3
	15	4	4	4	3	3	2	2
	10	3	3	3	2	2	○ 1	○ 1
	5	2	2	2	○ 1	○ 1	8	○ 1
	0	○ 1	○ 1	○ 1	○ 1	○ 1	8	○ 1
	5	6	6	6	5	5	6	6
박공지붕	10	5	5	5	4	4	5	5
	15	4	4	4	3	3	4	4
	20	2	2	2	● 1	● 1	2	2
	25	2	2	● 1	● 1	● 1	2	● 1
	30	● 1	● 1	● 1	● 1	● 1	● 1	● 1
	35	● 1	● 1	● 1	2	2	● 1	● 1
	40	3	3	3	3	3	3	3

○ : 향에 따른 외쪽지붕 있어서 적정 기울기
 ● : 향에 따른 박공지붕 있어서 적정 기울기
 수치: 외쪽지붕, 평지붕, 박공지붕 내에서 비교한 우열 순위

외쪽지붕건물에서는 여름철 냉방을 위한 건물들이 다양한 결과를 보이는 데, 정남향, 남동향, 남서향은 지붕기울기가 0°인 평지붕일 때 냉방을 위한 적정기울기를 갖으며, 동향과 서향은 지붕기울기가 0~5°일 때, 북향은 지붕기울기가 10°일 때, 북동향과 북서향은 지붕기울기가 0~10°일 때 적정기울기임을 보이는 데, 이러한 이유는 태양이 지붕과 법선을 이루는 각은 8월에 태양고도가 63°~ 65°정도이므로 지붕기울기가 25°~ 27°일 때 복사에너지는 최고가 될 것이다. 그 결과 냉방을 위한 지붕의 에너지 부하가 최대가 되어야 하나 지붕에서 그 영향보다는 면적이 증가하여 복사량을 더 많이 받아들이기 때문에 냉방부하가 최대가 되는 기울기는 지붕기울기가 클수록 높게 나타나고 있는 것으로 사료된다. 또한 외부기온이 낮 동안 지붕표면의 온도보다 높기 때문에 더욱 외피면적이 많은 쪽이 에너지 부하가 높게 나타난다. 그리고 지붕이 태양에너지를 받아들이는 시간은 오전 5시부터 오후 8시정도 14시간정도 되므로 열 획득이 많고 열 손실이 적기 때문이다.

4. 결론

본 연구에서는 자연에너지를 고려한 건물의 지붕형태를 대상으로 방위별 지붕형태의 최적 기울기를 제안함으로써 냉방부하를 최소화하여 건물계획 시 에너지 절약을 위한 방위별 지붕형태의 기울기를 선정할 수 있는 자료를 제공하고자 했다. 본 연구의 결론으로 지붕의 형태와 기울기를 통하여 냉방을 최소로 하는 지붕형태 최적기울기를 제시하면 다음과 같다.

- 1) 시뮬레이션 결과 건물의 재료의 특성이 일정하기 때문에, 동일 용적, 동일 평면에서의 에너지 부하가 차이가 나는 것은 건물의 외피면적의 비와 그와 관련된 자연에너지와의 관계에서 차이를 보이고 있다는 것을 알 수 있다.
- 2) 여름철 냉방위주의 건물에서는 태양에너지인

일사의 영향을 차단할 수 있는 형태가 유리하며, 여름철 풍향의 고려가 있어야 할 것이다. 즉 여름철 주풍향이 남동쪽에서 불고 부풍향이 서쪽에서 불기 때문에, 바람이 부는 방향으로 외피면적을 넓게 하는 것이 여름철 유리하다. 여름철 최대의 부하가 생기는 8월의 냉방부하 시뮬레이션 결과 박공지붕의 형태가 유리함을 알 수 있으며, 그 다음이 남향의 건물들은 평지붕이 유리함을 보이고 동향과 서향은 지붕기울기가 $0^\circ \leq x < 10^\circ$ 범위에 있는 건물이 유리하고, 북동과 북서는 $0^\circ \leq x < 15^\circ$ 인 범위, 북향은 외쪽지붕이 평지붕보다 유리하다.

- 3) 동일평면, 동일 용적, 동일 열관류율의 건물에서의 지붕의 형태를 변화시킨 경우, 에너지 부하에서 차이를 보이고 있는데, 냉방부하가 작은 지붕형태는 각 방위별로 박공지붕이고, 그 다음은 각 방위별로 약간의 차이를 보이는데, 정남과 남동방위는 외쪽지붕($0^\circ < \text{지붕기울기} < 15^\circ$)일 때이고, 남서방위는 외쪽지붕($0^\circ < \text{지붕기울기} < 10^\circ$)가 나머지 5 방위에서는 평지붕이 유리함을 보이고 있다. 이 결과를 분리하여 정리하면 다음과 같다.
- ① 정남, 남동방위에서 에너지 부하가 작은 건물 형태는 박공지붕 건물 < 외쪽지붕 건물($0^\circ < \text{지붕기울기} < 15^\circ$) < 평지붕 건물 < 나머지 외쪽지붕 건물 순이다.
 - ② 남서방위에서 에너지 부하가 작은 건물 형태는 박공지붕 건물 < 외쪽지붕 건물($0^\circ < \text{지붕기울기} < 10^\circ$) < 평지붕 건물 < 나머지 외쪽지붕 순이다.
 - ③ 5 방위인 동, 서, 북, 북동, 북서 방위는 에너지 부하가 작은 건물 형태는 박공지붕 건물 < 평지붕 건물 < 외쪽지붕 건물 순이다.

이상과 같이 각 방위에서 에너지 절약적인 건

물 지붕의 형태는 평지붕과 외쪽지붕, 박공지붕 중 박공지붕 건물이 각 방위에 상관없이 냉방에너지 절약에 유리한 형태이다. 본 연구는 냉방부하만을 고려한 지붕의 적정 기울기를 제시하였지만 차후 연구로는 냉난방 전체를 고려한 지붕의 적정 기울기에 대한 연구가 필요하다고 본다.

참고 문헌

1. 에너지경제연구원, 에너지통계월보, 12권11호, 에너지경제연구원, 1996.11.
2. 에너지관리공단, 월간 에너지소비통계, 에너지관리공단, 1996. 12.
3. 이상우 외 9, 건축환경계획론, 태림문화사, 2002.
4. ASHRAE, ASHRAE Handbook 1993 Fundamentals, ASHRAE, 1993.
5. Givoni, Baruch, Climate Considerations in Building and Urban Design, Van Nostrand Reinhold, 1998.
6. Givoni, Baruch, Man, Climate and Architecture 2nd. Edition, Van Nostrand Reinhold, 1981.
7. Lechner, Nobert, Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architects, John Wiley & Sons, 1991.
8. Peter F. Smith, Architecture in a Climate of Change, Architectural Press, 2001.
9. R. McMullan, Environmental Science in Building, 건축환경과학, 이연구 외 1, 태림문화사.
10. Watson, Donald and Labs, Kenneth, Climatic Design: Energy Efficient Building, Principles and Practices, McGraw-Hill, 1983.