

벽체구성에 따른 목조벽체 내 수분변화에 대한 연구(Ⅱ)*¹ - 외기에 노출된 목조벽체의 수분이동 -

김 세 중*² · 여 환 명*³ · 이 전 제*^{3†}

Study on Moisture Variation in Light Frame Wall with Different Wall Assemblies (Ⅱ)*¹ - Moisture Transfer of Light Frame Wall in Field Test -

Se-Jong Kim*² · Hwanmyeong Yeo*³ · Jun-Jae Lee*^{3†}

요 약

본 연구는 외기에 노출된 경골목조벽체의 수분축적을 감소시킬 수 있는 벽체 구성을 찾기 위해 수행되었다. 이를 위해 다음 다섯 가지 형태의 벽체 구성을 대상으로 벽체 내 수분이동과 수분축적을 평가하였다; 일반적인 벽체구성(기본벽체 T), 실내 측 방습지 추가(P1), 실내 측과 단열재 구간의 방습지 추가(P2), 환기를 위한 사이딩 뒷면의 공기층 추가(P3), P3벽체에서 실외 측 방습지의 실내 측으로 이동(P4). 옥외 실험가옥에 기본벽체와 제안벽체를 설치하여 외기에 노출된 벽체의 수분이동과 수분축적을 평가하였다. 실험결과 계절에 따라 추가 방습지와 공기층의 개선 정도가 다르게 나타났으나 연간 벽체 내 수분축적 감소에 유리한 벽체 구성은 1) 공기층 추가 및 실내 측으로 방습지 이동(P4), 2) 실내 측 방습지 추가(P1), 3) 기본벽체(T), 4) 공기층 추가(P3), 5) 실내 측 및 단열재 구간 방습지 추가(P2) 순으로 나타났다.

ABSTRACT

The purpose of this study was finding out proper wall assembly to reduce moisture accumulation in light frame wall under outdoor air conditions. For the purpose, moisture transfer and accumulation in a wall were evaluated for five types of wall assembly; typical wall (T), addition

*¹ 접수 2009년 10월 30일, 채택 2010년 1월 18일

*² 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부, Department of Forest Sciences, College of Agriculture and Life Science, Seoul National University, Seoul, Korea

*³ 서울대학교 농업생명과학대학 농업생명과학연구원, Department of Forest Sciences, Research Institute for Agriculture and Life Sciences, College of Agriculture and Life Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

† 주저자(corresponding author) : 이전제 (e-mail: junjae@snu.ac.kr)

of a vapor retarder (P1), addition of two vapor retarders (P2), addition of an open air gap for ventilation behind the siding (P3), and shift of vapor retarder with proposed wall 'P3' (P4). The moisture transfer and accumulation in the all walls were evaluated after applying the typical and proposed walls to the field test house. Performances of the typical and proposed walls were compared according to the season. Rank for effective wall on reducing moisture accumulation in wall was 1) shift of vapor ratarder and addition of open air gap (P4), 2) addition of vapor retarder (P1), 3) typical wall (T), 4) addition of open air gap (P3), and 5) the other (P2).

Keywords: light-frame wall, moisture transfer, moisture accumulation, wall assembly, field test

1. 서 론

경골목조주택에서 하중을 지지하는 부재는 목재 및 목질 재료로서 생물학적 열화 피해를 입을 수 있다. 목재의 생물학적 열화가 발생하려면 목재 주변의 온습도 환경이 중요한데 목조벽체에서 벽체 내 수분축적은 벽체 내부에 습한 환경을 조성하여 목재 부재의 열화 피해를 야기한다.

1970년대 제1차 석유파동과 함께 에너지 사용의 효율성을 중요시하면서 건물의 단열성능 증가를 위해 건물외피의 단열층 두께가 두꺼워지기 시작했다. 증가된 단열성능에 따라 실내의 온도차가 커지면서 벽체 내 결로발생 등으로 인한 수분피해가 발생하였다.

목조 벽체의 구조재인 목재 셋기등이 존재하는 벽체 내부 수분의 축적은 습한 환경을 조성하여 곰팡이 발생의 원인이 될 수 있다. 이러한 곰팡이는 적정 온도와 습도가 일정시간 유지되어야 발생할 수 있는데 온도가 높고 습할수록 곰팡이 발생이 쉽다. 목재에서 발생할 수 있는 곰팡이의 발생과 성장에 관한 환경조건이 1960년대 영국 생물학자들에 의해 연구되었다(Ayerst, 1969). Clarke 등(1999)은 온습도에 따른 곰팡이 성장조건을 근거로 건물 외피에서 발생하는 곰팡이 성장을 예측하고자 하였고 Sedlbauer (2002)는 목조벽체에서 발생하는 곰팡이 성장에 대해서 벽체 재료별 곰팡이 성장조건을 근거로 곰팡이 성장을 예측하는 연구를 진행하였다.

벽체 내부의 수분 축적은 건물 외피의 단열성능에

도 영향을 끼친다. 목재 및 목재 패널의 경우 함수율이 증가할수록 열전도계수가 증가하는 것으로 나타났는데(TenWolde 등, 1988), 이는 열확산 증가로 연결되어 재료의 단열성능 저하로 이어질 수 있다. Oshs 등(2008)은 온도에 따른 건축 단열재료의 유효열전도계수에 대한 연구를 진행하였는데 온습도가 높을수록 유효열전도계수도 증가하는 것으로 나타났다.

목조벽체의 벽체 내 수분 분포를 결정하는 것은 벽체의 열전달 및 투과 물성, 벽체 구성방법, 외기 조건 등이 있다(Rousseau, 2003). Sherwood (1983, 1985)는 목조벽체의 벽체 구성을 달리하여 여름철과 겨울철에 발생하는 벽체 내 결로발생 가능성에 대해 벽체 내 온도 및 함수율을 측정하여 평가하였는데 방습지를 사용한 벽체에서 외부로부터의 수분 유입이 감소한 것으로 나타났다. Gudum과 Rode (2004)는 공기층과 방습지의 설치 유무와 벽체 단열재 두께를 달리하여 벽체 내 수분의 증가에 대한 시뮬레이션을 실시하였는데, 환기를 위한 공기층을 설치하게 되면 기밀성과 방습성능이 높은 벽체의 경우 벽체 내 수분의 증가가 우려되지만 실제 벽체에서는 완전히 밀폐되지 않아 공기층이 습한 외기에 대해 환기효과를 볼 수 있다고 하였다. 이는 기밀성이 높으면 단열재 구간에서 온도가 많이 감소하여 뒷면에서 공기층을 통해 들어오는 차가운 외기에 의해 노점 온도에 도달할 수 있기 때문이다. Nore와 Thue (2005)는 목조벽체의 외부마감재와 외부 덮개재 사이에 공기층을 두어 그 간격을 달리함으로써 벽체 흡습성능에 끼치는 영향에 대해 조사하였는데

간격이 넓을수록 벽체 내 수분유입 감소에 효과적인 것으로 나타났다.

국내의 경골목조주택시공은 1980년대 후반에 시작되어 북미의 벽체시스템을 그대로 도입한 것으로 국내의 주거문화 및 기후를 고려하지 못하였다. 시공 전문성 및 국내 여건의 고려 등의 이유로 목조주택에서 결로 및 부후 등 수분피해가 많이 발생하였다. 최근 친환경 주거공간에 대한 관심이 높아지고 그에 따라 목조주택시장이 성장하는 시점에서 이러한 문제점들은 목조주택 보급화에 걸림돌이 될 수 있다.

본 연구에서는 벽체재료 중 방습지와 공기층의 구성방법을 달리한 여러 가지 목조벽체를 외기에 노출시켜 벽체 내 수분이동과 수분축적을 평가하여 실제 환경에서 수분축적 감소에 가장 유리한 벽체구성을 찾고자 하였다. 이를 위해 일반적으로 시공되는 경골목조벽체와 구성을 달리한 네 가지 제안벽체를 옥외 테스트 하우스에 설치하고 외기에 노출시켜 벽체 내 수분이동을 관찰하고 그에 따른 벽체 내 수분 축적을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 벽체구성

Kim 등(2006)이 진행한 목조벽체 실내실험 결과 벽체 구성에서 수분전달과 관련하여 벽체 구성층 중 방습성능을 나타내는 것은 실외측에 위치한 외부 덮개재인 OSB로 실내 측의 석고보드는 수분침투에 취약한 것으로 나타났으며 본 연구 이전의 실내실험(김과 이, 2009) 결과 실내 측 방습지를 추가한 벽체가 실내로부터의 수분침투감소에 효과적인 것으로 나타났다. 따라서 실내로부터의 수분침투 방지를 위해 실내 측의 방습성능을 높일 필요가 있다(벽체 P1). 실내실험(김과 이, 2009) 결과에서 겨울철 단열재 구간의 결로발생 방지를 위해 단열재 구간에 방습지를 추가하였으나 건조성능의 저하로 벽체 내 수분축적이 증가하여 본 실험에서는 단열재 구간에 삽입하는 방습지만 투과성을 높여 3.20×10^{-6} g/P

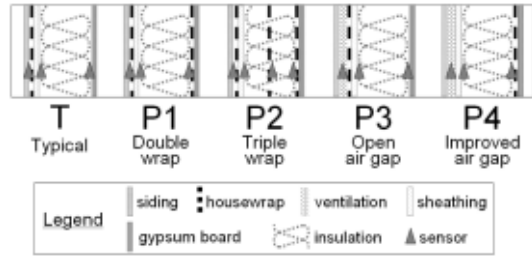


Fig. 1. Wall assemblies and location of sensors.

Table 1. Materials for wall assemblies

Materials	Specification
Stud	2"× 4" SPF lumber
Siding	Western red cedar bevel siding
Ventilation	Home slicker : Nylon6, vertical channel (t = 6 mm)
Housewrap	Housewrap Typar (6.69×10^{-7} g/Pa · s · m ²)
Sheathing	Housewrap Tyvek (3.20×10^{-6} g/Pa · s · m ²)
Insulation	OSB, t = 12 mm
Gypsum board	Glass wool R-15 (kraft-faced) t = 12 mm

a · s · m²의 증기투과성을 갖는 방습지를 설치하였다(벽체 P2). 건조성능 향상을 위한 공기층을 외부 사이딩과 OSB 덮개재 사이에 적용한 벽체 P3의 경우 실내실험 결과 공기층에 의해 실내로부터 실외측으로 수분이동이 유도되어 실내 수분 침투가 발생하였고 이를 감소시키기 위해 실내 측 방습지를 추가하고 실외측으로의 수분이동을 원활히 하고자 OSB 덮개재 외부에 설치하는 방습지를 제거하여 벽체 P4를 구성하였다.

이러한 조건들을 고려하여 본 연구에서는 현재 통상적으로 적용되는 벽체를 기본 벽체(T, typical wall)로 하여 다음 4가지의 제안벽체(P, proposed wall)를 구성하였다(Fig. 1).

Table 1에 벽체 제작에 사용한 재료를 나타내었다. 벽체 P3와 P4는 벽체 T에 환기를 위한 공기층이 배치되도록 목재사이딩과 벽체사이를 그물망 형태의 제품인 home slicker를 사용하여 6 mm 이격시켰

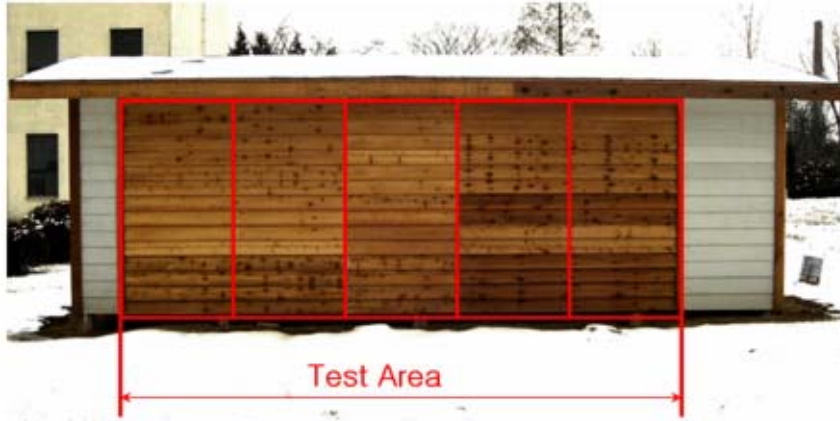


Fig. 2. Picture of house for field test.

다. 온습도 측정은 Pt1000 타입의 온도센서(accuracy: $\pm 0.5^\circ\text{C}$)와 capacitive 타입의 습도센서($\pm 3\%$ at 20°C)가 함께 내장된 직경 12 mm, 길이 116 mm의 온습도센서(EE06, E+E ELEKTRONIK)를 사용하였다.

2.2. 실험방법

수원에 위치한 서울대학교 캠퍼스 내에 $2.4\text{ m} \times 7.8\text{ m} \times 2.4\text{ m}$ (폭 \times 길이 \times 높이) 크기의 옥외 테스트 하우스를 시공하고 일사에 의한 영향이 적은 북측 벽에 기본벽체와 제안벽체를 적용하였다(Fig. 2). 센서의 위치는 실내실험과 동일하며 상대습도가 높을 것으로 예상되는 벽체의 아래 부분으로 바닥으로부터 30 cm 높이에 설치하였다. 테스트 하우스의 동서쪽 양측에 외기환경과 실험구역의 환충공간을 두고 서쪽 환충공간에 데이터 획득 장비를 설치하였다(Fig. 3). 일평균 기온 18°C 이하일 때는 실험구역에 온풍기를 이용하여 20°C 난방을 적용하였다. 데이터 수집 간격은 5분이며 결과 분석에는 1시간 평균값을 사용하였다. 외부환경에 따른 벽체 내 온습도를 2008년 1월부터 2008년 12월까지 12개월간 측정하였다.

2.3. 벽체 성능의 평가

온도에 따른 포화수증기압은 Hyland와 Wexler

(1983b)가 제시한 관계식을 따르며 같은 온도(t)와 기압(p)하에서 상대습도는 포화수증기압과 수증기분압의 비로써 다음 식 (1)과 같이 표현된다.

$$\Phi = \frac{p_w}{p_{ws}} \Big|_{t,p} \quad (1)$$

여기서, p = 대기압
 p_w = 수증기분압
 p_{ws} = 포화수증기압
 t = 온도
 Φ = 상대습도

실험에서 측정된 온도와 상대습도를 위 식 (1)에 적용하여 수증기분압을 구하고 다음 이상기체방정식 (2)에 대입하여 절대습도를 구하였다(ASHRAE, ch.6, 2001).

$$p_w V = n_w R T$$

$$d_v = \frac{m}{V} = \frac{n M_w}{V} = \frac{M_w p_w}{V R T} \quad (2)$$

여기서, d_v = 절대습도(g/m^3)
 M_w = 수증기의 몰 질량(g/mol)
 m = 수증기의 질량(g)
 n = 수증기의 몰 수(mol)

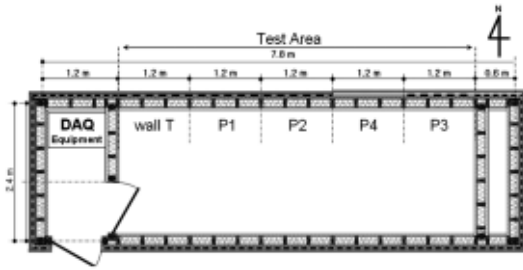


Fig. 3. Plane figure of test house.

- p_w = 수증기분압(kPa)
- R = 이상기체상수, 8314.41 J/(kg mol·K)
- T = 절대온도(K)
- V = 전체부피(m³)

수증기분압은 압력차에 의한 수분의 이동을 발생시키고 상대습도는 포화수증기압에 대한 수증기분압의 %분율이며 절대습도는 공기의 입방미터당 포함된 수증기의 g질량을 나타낸다.

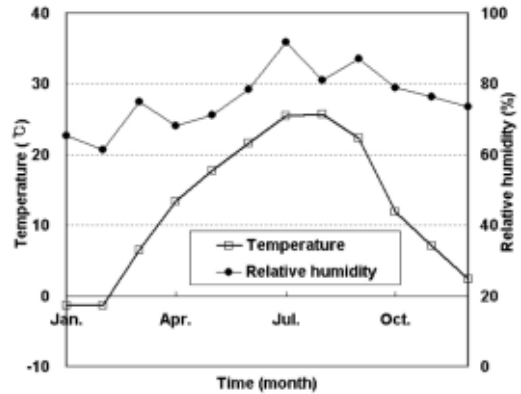
실내외 공기와 벽체의 수증기압 분포를 통해 벽체의 수분 이동 방향을 알 수 있고 상대습도는 100%일 때 결로 발생을 나타내는 지표가 되며 절대습도는 목재 구조재가 노출되는 벽체 내 공기 중의 수분의 양을 평가할 수 있어 벽체 내 수분 축적의 평가 기준으로 정하였다.

단열재의 수분축적에 관련하여 상대습도가 높을수록 결로 발생에 의한 국부적 함수율 증가 또는 고습환경으로 곰팡이 발생에 의한 생물학적 열화피해가 발생하기 쉽다. 즉, 같은 온도 조건에서 습도가 낮은 건조한 벽체일수록 흡습성능이 개선된 것으로 평가하였다.

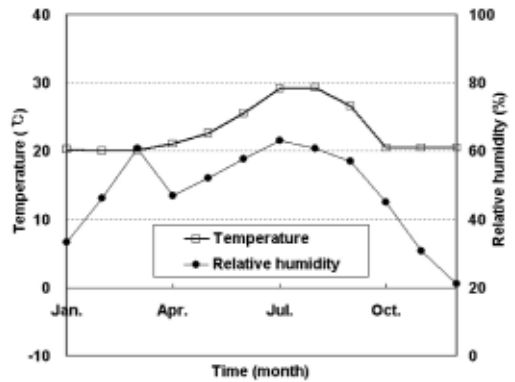
3. 결과 및 고찰

3.1. 수분 이동

실험으로 측정된 연간 외기와 실내의 온습도 데이터를 Fig. 4에 나타내었다. 실내외 기온차가 가장 큰 겨울(1,2월)에 벽체 내 결로 발생확률이 높고 고온다습한 여름(7,8월)에 외기에 의한 벽체 내 수분축



(a) outdoor



(b) indoor

Fig. 4. Air conditions of test house (monthly average, 2008).

적이 발생하였을 것으로 판단된다. 실내외 공기의 온습도에 따른 수증기분압을 구하여 그 차($\Delta p_w = p_w(\text{실외}) - p_w(\text{실내})$)를 다음 Fig. 5에 나타내었다.

수증기의 이동은 수증기압차에 의해 이동하므로 겨울에는 실내에서 실외로 여름에는 실외의 수증기가 실내로 침투하는 것을 확인할 수 있다. 즉, 겨울철 벽체 수분축적의 원인은 실내공기이고 여름철 벽체 수분축적의 원인은 실외공기로 판단된다.

실내외 수증기압 차이에 의한 벽체 내 수분 이동 경향을 확인하기 위하여 겨울 및 여름의 벽체 내 수증기압 분포를 Fig. 6, 7에 나타내었다. Fig. 6은 실내외 온도차가 가장 큰 겨울(1월)의 벽체 내 월평균 수증기압 분포를 나타낸 것이다. 실내 공기의 수증

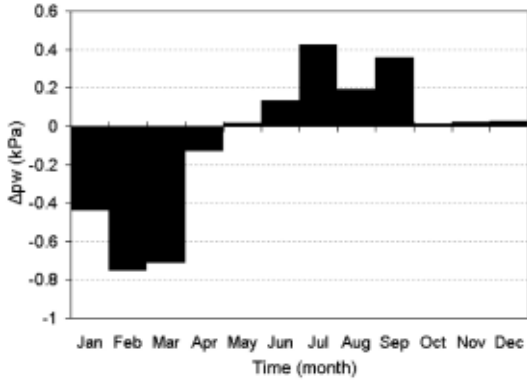


Fig. 5. Vapor pressure difference between outdoor and indoor air (monthly average, 2008).

기압(0.79 kPa)이 외기의 수증기압(0.36 kPa)보다 커 실내로부터의 수분유입이 발생하였다. 실내외 마감재의 방습성능이 증가할수록 벽체 내 수증기압의 값이 작아지고 분포의 경사가 완만해지는데, 제안벽체 중 방습지 두 장을 추가한 벽체 P2만 기본벽체보다 낮은 수증기압분포를 나타내었고 공기층을 설치한 벽체 P3의 경우 수증기압이 기본 벽체 T보다 높아졌다. 이는 실내가 습한 벽체 P3의 실내실험 결과(김과 이, 2009)와 일치한다.

외기의 수증기압이 최대가 되는 여름(7월)의 벽체 내 월평균 수증기압 분포를 Fig. 7에 나타내었다. 실외의 수증기압(2.99 kPa)이 실내(2.57 kPa)보다 높아 외기의 수분이 벽체로 유입되었을 가능성이 크

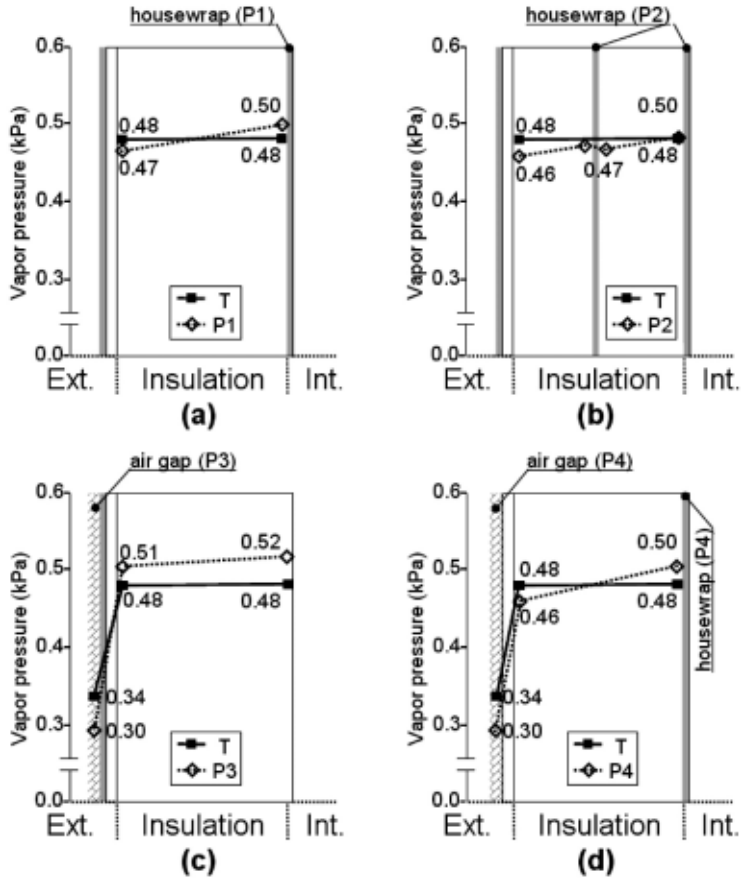


Fig. 6. Distribution of monthly average vapor pressure in walls (January, 2008); (a) T vs P1, (b) T vs P2, (c) T vs P3, (d) T vs P4.

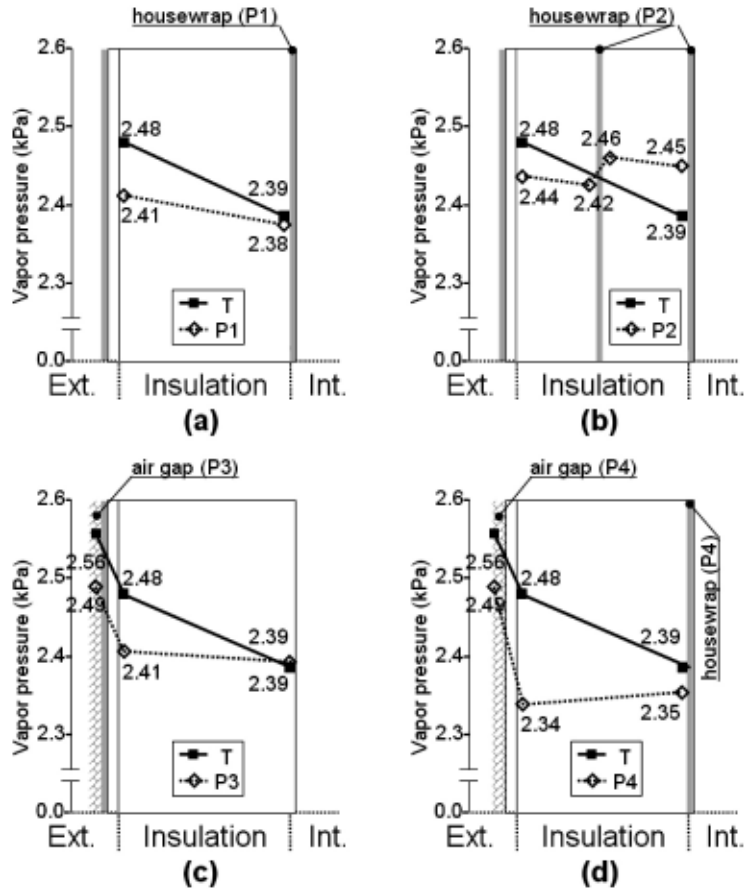


Fig. 7. Distribution of monthly average vapor pressure in walls (July, 2008); (a) T vs P1, (b) T vs P2, (c) T vs P3, (d) T vs P4.

다. 실내 측 방습지를 추가한 벽체 P1, P2, P4 중 P1, P4는 수증기압 감소효과를 보였으나 벽체 P2의 경우 단열재 사이에 위치한 방습지에서 실내 측으로 수분이동이 감소하여 수증기압이 높아졌다. 공기층을 설치한 벽체 P3, P4의 경우 환기에 의한 공기층의 수증기압 감소로 벽체 내 수증기압이 낮아졌다. 벽체 P3에서 실내 공기가 외기보다 수증기압이 높은 겨울(1월)에는 벽체 내 수증기압이 높아지고 외기가 실내공기보다 수증기압이 높은 여름(7월)에는 벽체 내 수증기압이 낮아지는 것을 보아 공기층이 실내에서 실외로 수분이동을 유도한다고 판단된다. 모든 벽체 중 외기가 습한 여름조건에서 공기층을

설치하고 실내 측 방습지를 설치한 P4의 수증기압 분포가 가장 낮게 나타났다. Fig. 7(b)를 통해 외기가 습한 우기에 벽체 내부 단열재 구간에 방습지를 설치하는 것은 벽체 내부 공간의 수분이동을 저하시켜 이미 유입된 수분의 제거에 불리하게 작용한 것으로 판단된다. 따라서 추가방습지의 위치는 벽체 단열재 구간이 아닌 내부 석고보드나 외부 덮개재(OSB)에 접하여 설치하는 것이 유리할 것이다.

3.2. 벽체 내 수분 축적

Table 2는 벽체 내 공기 중 수분의 축적정도를 알

Table 2. Monthly average absolute humidity in walls (2008)

Wall type	Absolute humidity (g/m ³)											
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
T	3.7	3.8	6.5	8.0	9.5	12.6	17.5	17.0	13.8	7.4	5.5	4.0
P1	3.7	3.7	6.2	7.6	9.1	12.3	17.2	16.9	13.8	7.5	5.5	4.1
P2	3.6	3.4	6.2	7.8	9.6	12.9	17.5	17.3	14.2	7.7	5.7	4.1
P3	3.9	4.0	6.9	8.0	9.5	12.8	17.3	17.1	13.9	7.5	5.5	4.0
P4	3.7	3.6	6.0	7.1	8.7	12.0	16.9	16.4	13.4	7.3	5.3	3.9

Table 3. Difference of absolute humidity between proposed (P) and typical (T) wall (monthly average, 2008)

Wall type	Difference of proposed and typical wall* (%)											
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
P1	0.3	-2.6	-5.1	-5.6	-3.3	-2.1	-1.7	-0.4	-0.4	0.5	0.7	1.5
P2	-2.6	-9.1	-5.1	-2.4	1.3	2.2	0.4	2.0	2.3	4.5	3.6	1.5
P3	6.0	6.7	5.4	-0.6	0.6	1.4	-1.2	0.4	0.5	1.0	0.3	0.5
P4	-0.2	-4.6	-7.1	-11.0	-7.8	-4.5	-3.5	-3.2	-3.3	-2.0	-3.2	-2.4

* (proposed-typical)/typical × 100 (%)

아보기 위해 벽체 내부의 월평균 절대습도를 나타낸 것이다. 외기의 기온이 높고 습한 여름(7월, 8월)에 가장 크고 건조한 겨울(1월, 2월)에 가장 작은 값을 보였다. 제안벽체의 수분축적감소를 확인하기 위하여 제안벽체 P(P1, P2, P3, P4)에서 기본벽체 T를 뺀 절대습도 차를 기본벽체 T의 절대습도에 대한 % 비율로 계산하여 다음 Table 3에 나타내었다. 음의 값을 가질 때 제안벽체가 기본벽체보다 낮은 절대습도를 나타내어 개선효과가 있는 것으로 판단하였다.

벽체 내 절대습도는 실내 측에 방습지를 추가한 벽체 P4가 기본벽체 T보다 모든 계절에서 대체로 감소한 경향을 보여 벽체의 수분축적 감소에 가장 우수한 성능을 보였으며 단열재 구간에 방습지를 추가하여 총 2개의 방습지를 추가한 벽체 P2의 경우 겨울을 제외한 나머지 계절에서 모두 증가하여 낮은 성능을 보였다. 공기층을 설치한 벽체 P3의 경우 외기가 습한 여름철에 감소하고 실내가 습한 겨울철에

증가하였다. Nore와 Thue (2005)는 공기층의 환기 효과에 대해 공기층의 크기를 달리하여 현장실험을 실시하였는데 외기가 습할 때 외장 마감재 뒷면의 열린 공기층이 클수록 함수율이 낮게 유지되는 것을 보고하여 본 연구와 일치하는 결과를 보였다. 공기층으로 인해 발생하는 실내수분의 벽체 내부로의 이동은 겨울철 상대습도 증가로 벽체 내 결로발생과 같은 수분축적의 원인이 될 수 있다. 이러한 공기층 벽체 P3의 대안으로 실내 측에 방습지를 추가한 벽체 P4는 모든 계절에서 벽체 내 수분 축적이 가장 작은 값으로 나타났다.

겨울철 발생하는 벽체 내 결로는 벽체 내 수분축적뿐만 아니라 단열재에 의해 발생하는 외기와 벽체 간 온도 차이에도 크게 영향을 받는다. 이렇게 발생한 결로는 국부적인 수분의 증가로 고습환경을 조성하여 봄철 기온이 상승하였을 때 생물학적 열화에 유리하게 작용한다. 겨울철 벽체 내에서 발생할 수

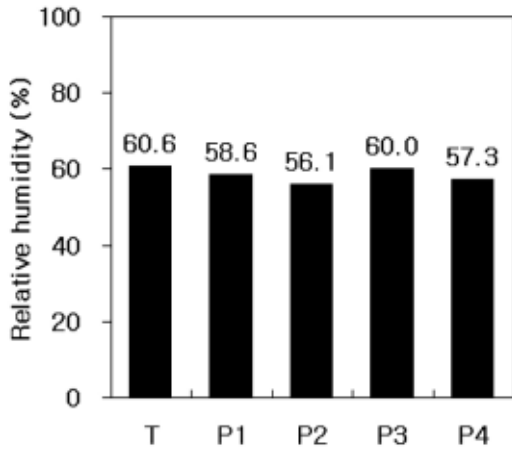


Fig. 8. Relative humidity in cavity on sheathing (monthly average, January, 2008).

있는 결로 가능성을 확인하기 위하여 각 벽체의 OSB 덮개재 뒷면에서 측정된 상대습도 월 평균값을 Fig. 8에 나타내었다. 벽체 P1, P2, P4와 같이 방습지가 추가될수록 실내의 수분유입이 줄어들어 벽체 내 상대습도가 감소하는 것으로 나타났다. 벽체 P3의 경우 Table 3에서와 같이 벽체 내부로 기본벽체 T보다 더 많은 수분이 유입되었지만 벽체 내 온도가 기본 벽체보다 높아 상대습도가 상승하지 않은 것으로 나타났다.

본 연구에서는 벽체 내부에 겨울철 결로가 발생하지 않았지만 실제 현장의 경우 개구부의 창틀, 문틀, 배관 등에서 나타나는 높은 열전도계수와 콘센트 등에서 발생하는 실내외 공기의 유입에 의해 발생할 수 있다. 따라서 결로에 대한 벽체 실험은 벽체 구성만이 아닌 개구부와 같이 벽체면의 손실을 고려한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

경골목조벽체의 벽체 내 수분축적에 따른 생물학적 열화피해를 줄이고자 국내 기후에 적합한 벽체 구성을 제시하고 이를 외기에 노출시켜 실제 환경에서 가장 유리한 벽체 구성을 찾고자 본 연구를 진행하였다. 일반적으로 시공되는 기본 벽체와 제안된

벽체 구성 4가지를 외기에 노출시켜 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 실내 측 방습지를 설치한 제안벽체 P1, P2, P4는 겨울철에 나타나는 실내로부터의 수분침투방지에 효과적인 것으로 나타났다. 단, 단열재 구간에 방습지를 설치한 벽체 P2의 경우 방습지의 잘못된 위치선정으로 외기가 습한 환경일수록 벽체 내부 수분축적이 증가하는 것으로 나타났다.

2) 공기층을 설치한 벽체 P3는 실내에서 실외로 수분이동을 유도하여 여름철에 실내의 수분을 벽체 내부로 유도하여 벽체 내 수분축적이 증가하는 결과를 보였다.

3) 벽체 P3의 단점을 보완하고자 실내 측 방습지를 추가한 벽체 P4의 경우 연중 기본벽체 T보다 모두 개선된 결과를 보여 모든 벽체 중 가장 우수한 흡습성능을 나타내었다.

4) 국내 기후에서는 벽체구성만으로 결로발생이 어려우며 실제 결로 발생 원인은 개구부 및 콘센트 등 벽체 손실에 의한 전도열전달 및 외기의 유입 등에 의한 것으로 판단된다.

네 가지 제안벽체 구성의 외기에 노출된 결과를 통해 국내 기후에서는 실내로부터의 수분유입을 방지하도록 실내 측 방습지를 설치하고 건조성능을 향상시킬 수 있는 공기층을 외부사이드와 덮개재 사이에 설치하는 것이 벽체 내 수분축적 감소에 우수한 성능을 보여 생물학적 열화 피해 방지나 단열성능 저하 등에 유리한 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2007-314-F00021).

참 고 문 헌

1. 김세중, 이진제. 2009. 벽체구성에 따른 목조벽체 내 수분변화에 대한 연구(I) - 실내 실험을 통한 개선 가능성 평가 -. 목재공학. 35(4): 320~329.
2. Ayerst, G. 1969. The effect of moisture and tem-

- perature on growth and spore germination in some fungi. *J. Stored Prod. Res.* 5. S: 127~141.
3. Clarke, J. A., C. M. Johnstone, N. J. Kelly, R. C. McLean, J. A. Anderson, N. J. Rowan, and J. E. Smith. 1999. A technique for the prediction of the conditions leading to mould growth in buildings. *Building and Environment.* 34(4): 515~521.
 4. Gudum, C. and C. Rode. 2004. Moisture transport by convection in lightweight exterior facades. *Proceeding CD of Performance of Exterior Envelopes of Whole Buildings IX.*
 5. Hyland, R. W. and A. Wexler. 1983b. Formulations for the thermodynamic properties of the saturated phases of H₂O from 173.15 K to 473.15 K. *ASHRAE Transactions* 89(2A): 500~519.
 6. Kim, S. J., C. Y. Park, and J. J. Lee. 2006. Hygroscopic properties of light-frame wall with different assemblies. *Mokchae Konghak.* 34(2): 22~29.
 7. Nore, K. and J. V. Thue. 2005. *Ventilated Wooden Claddings - A Field Investigation.* Project paper of NBI Research & Development program. http://www.byv.kth.se/avd/byte/reykjavik/pdf/art_103.pdf.
 8. Ochs, F., W. Heidemann, and H. Müller-Steinhagen. 2008. Effective thermal conductivity of moistened insulation materials as a function of emperature. *International Journal of Heat and Mass Transfer.* 51(3-4): 539~552.
 9. Owen, M. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 2001 *ASHRAE Handbook Fundamentals.* ch. 6.2~6.9.
 10. Rousseau, M. Z. 2003. Heat, air and moisture control strategies for managing condensation in walls. *Building Science Insight 2003 Proceedings.* National Research Council Canada. NRCC 46734: 1~11.
 11. Sedlbauer, K. 2002. Prediction of Mould Growth by Hygrothermal Calculation. *Journal of Building Physics.* 25(4): 321~336.
 12. Sherwood, G. E. 1983. Condensation potential in high thermal performance walls - Cold winter climate. Forest Service, Forest Products Laboratory. Research Paper FPL 433.
 13. Sherwood, G. E. 1985. Condensation potential in high thermal performance walls - Hot, humid summer climate. Forest Service, Forest Products Laboratory. Research Paper FPL 455.
 14. TenWolde, A., J. D. McNatt, and L. Krahn. 1988. Thermal Properties of wood and wood panel products for use in buildings. Forest Service, Forest Products Laboratory. DOE/USDA-21697/1. ORNL/Sub/87-21697/1.