

개방에 따른 실내 온습도 변화가 목조문화재 보존환경에 미치는 영향 예측¹

김민지² · 신현경³ · 최용석³ · 김광철⁴ · 김규혁^{5,†}

Predicting Influence of Changes in Indoor Air Temperature and Humidity of Wooden Cultural Heritages by Door Opening on Their Conservation Environment¹

Min-Ji Kim² · Hyun-Kyeong Shin³ · Yong-Seok Choi³ · Gwang-Chul Kim⁴ · Gyu-Hyeok Kim^{5,†}

요약

1년간 측정된 개방 및 인접 비개방 전각의 실내 온습도 및 목재 기둥 내측의 표면함수율을 문헌조사를 통해 확인된 목재 가해균류 포자 발아와 생육이 가능한 최소 온습도(최소 습도의 지속기간 포함)와 목재 함수율과 비교하는 간접적인 방법으로 전각 개방이 전각 내부 보존환경에 미치는 영향을 예측하였다. 개방 여부에 관계없이 연중 전각 내부의 온습도 및 목재 함수율 조건은 부후균과 변재변색균의 생육에는 부적절하였으나 장마철이 포함된 여름철 전각 내부의 온습도 및 목재 함수율 조건은 표면오염균의 생육에 적절하였다. 표면오염균 생육을 위한 상대습도 및 목재 함수율 조건, 즉 실내 상대습도가 75% 이상으로 상승한 후 지속되는 기간과 목재 기둥 내측의 표면함수율이 15% 이상으로 상승되는 총 일수를 비교할 때, 전각 내부의 표면오염균 관련 보존환경은 개방 전각이 비개방 전각에 비해 다소 우수하다고 할 수 있다. 오히려 비개방 전각의 경우, 외기 상대습도가 높아지는 여름철에는 전각 내부의 상대습도를 낮추기 위해 문을 개방할 필요가 있다고 사료된다.

ABSTRACT

This study was conducted to predict the effect of door opening in wooden cultural heritages (WCHs) on their conservation environment. For this prediction, measured relative humidity (RH) and surface wood moisture content (MC)

¹ Date Received June 22, 2015, Date Accepted November 2, 2015

² BK21 Plus 기후환경변화 적응을 위한 에코리더 양성사업단. BK21 Plus Eco-Leader Education Center, Korea University, Seoul 02841, Republic of Korea

³ 국립산림과학원 임산공학부 재료공학과. Division of Wood Engineering, Department of Forest Products, Korea Forest Research Institute, Seoul 02455, Republic of Korea

⁴ 전북대학교 생활과학대학 주거환경학과. Department of Housing Environmental Design, College of Human Ecology, Chonbuk National University, Jeonju 54899, Republic of Korea

⁵ 고려대학교 생명과학대학 환경생태공학부. Division of Environmental Science and Ecological Engineering, College of Life Sciences and Biotechnology, Korea University, Seoul 02841, Republic of Korea

[†] 교신저자(Corresponding author): 김규혁(e-mail: lovewood@korea.ac.kr)

of inner part of wood columns in open wooden building and neighboring closed wooden building were compared with minimum RH, including the duration of minimum RH, and MC required for spore germination and resultant growth of wood-degrading fungi reported in some literatures. Moisture conditions, namely RH of inside wooden building and MC of wood was unsuitable for decay and sap-stain fungi all the year round; however, moisture conditions during summer season was suitable for spore germination and resultant growth of surface mold fungi, regardless of door opening. When compared, the duration of minimum (75%) or higher RH and the number of wood columns with MC level greater than the minimum MC (15%) during summer season, the surface mold related to the conservation environment of inside wooden building was somewhat better in open building than in closed building. Rather, doors should be opened in closed building for reducing indoor RH as a necessary measure during summer season when outdoor RH is high.

Keywords : wooden cultural heritage, conservation, fungal deterioration, door opening, relative humidity, surface moisture content

1. 서 론

문화재청은 2010년 4월부터 전각 내부에서 밖을 조망했을 때 경관이 빼어난 서울 시내 궁궐의 일부 전각을 개방하여 관람객 출입을 허용하였다. 이러한 전각 개방은 전각 내부에 대한 관람객의 호기심 충족 및 휴식공간 제공과 함께 ‘누마루 길들이기’ 효과를 통한 전각 보존이라는 긍정적인 효과 때문에 기대되었다. 앞으로 전각 개방을 확대하기 위해서는 이러한 개방이 전각 내부 보존환경에 미치는 영향을 심도 있게 평가할 필요가 있다.

전각 개방에 따른 실내 온습도 변화가 전각 내부 보존환경에 미치는 영향을 평가하기 위해서는 원칙적으로 실험용 목재 시험편을 개방 및 비개방 전각 내부에 장기간 폭로하면서 목재 가해균류에 의한 실제 가해 여부를 조사하여야 한다. 그러나 이러한 평가 방법은 최종 결과를 얻기까지 장시간이 소요되기 때문에 간접적인 방법으로 일정 기간 측정된 개방과 비개방 전각의 실내 온습도 또는 목재 함수율과 목재 가해균류 생육이 가능한 최소 온습도 또는 목재 함수율을 비교함에 의해 예측할 수 있다.

일반적으로 가해균류가 목재를 가해하기 위해서는 세포내강에 소량이라도 자유수가 존재하여야 한다고 알려져 있지만 그간의 연구 결과들에 의하면 높은 상대습도가 일정기간 유지된다면 목재가 대기 중 수증기를 흡착하여 함수율이 상승하면서 다양한

목재 가해균류의 열화가 발생한다고 한다(Viitanen 과 Bjurman, 1995; Viitanen, 1996; Viitanen, 1997; Viitanen과 Salonvaara, 2001; Viitanen 등, 2010). Viitanen과 Salonvaara (2001)는 생육 가능 온도범위에서 부후균, 변색변색균, 표면오염균 포자의 발아와 생육을 위한 최소 상대습도가 각각 95%, 95%, 75% 이상이라 하였고, 또한 Morris (1998)는 목재 함수율이 각각 최소 30%와 15%에 도달하였을 때 부후균과 표면오염균 포자의 발아와 생육이 시작되었다고 하였다.

본 연구는 개방 및 비개방 전각의 실내 온습도와 목재 기둥의 내측 표면함수율을 1년간 측정 후, 그 결과를 문헌조사를 통해 확인된 목재 가해균류 생육이 가능한 최소 온습도 및 목재 함수율과 비교하여 개방에 따른 전각 내부 보존환경을 전술한 간접적인 방법으로 예측하기 위해 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 개방 및 비개방 전각 선정

개방과 비개방에 따른 목조문화재의 실내 온습도 변화를 모니터링하기 위해 유네스코 세계문화유산에 등재된 창덕궁 후원의 인접 전각인 영화당과 주합루를 각각 개방 전각과 대조 전각인 비개방 전각으로 선정하였다. 영화당은 항시 사방의 문이 열려있어 관

람객의 내부 출입이 자유로운 전각이고 영화당으로부터 30 m 북서측, 6 m 상측에 위치한 주합루는 항시 사방의 문이 닫혀있는 전각이다.

2.2. 실내 온도, 실내 상대습도, 목재 표면 함수율 측정

영화당과 주합루 실내에 온습도 측정용 데이터로거를 설치하여 2012년 5월 15일부터 2013년 5월 14일까지 1년간 1시간 간격으로 건구온도와 상대습도를 측정하였다. 그리고 목재 기둥 내측의 표면함수율을 지면으로부터 15 cm, 120 cm, 200 cm 위치에서 전기저항식 수분계를 이용하여 1년간 거의 매주 간격으로 측정하였다.

2.3. 보존환경 예측

개방과 비개방 전각 내부의 목재 가해균류 열화 관련 보존환경은 측정된 전각 실내의 온습도와 목재 기둥의 내측 표면함수율이 각각 Viitanen과 Salonvaara (2001)가 제시한 목재 가해균류 생육이 가능한 최소 상대습도(표면오염균 75%, 변재변색균 및 부후균 95%)와 Morris (1998)가 제시한 최소 함수율(표면오염균 15%, 부후균 30%) 도달 여부와 도달시 지속 기간에 의해 예측하였다.

3. 결과 및 고찰

개방 전각인 영화당과 비개방 전각인 주합루의 실내 온도와 상대습도, 그리고 목재 기둥의 내측 표면 함수율 측정 결과를 각각 Fig. 1과 Fig. 2에 보여준다. 전각 내부의 상대습도가 Viitanen과 Salonvaara (2001)가 제시한 변재변색균 및 부후균 생육이 가능한 95% 이상으로 상승하는 경우는 개방 및 비개방 전각 공히 10월 말부터 2월 말까지 4개월간 총 14일 관찰되었으나 그 지속기간이 24시간 이내로 매우 짧고 온도 역시 이 기간에는 매우 낮기 때문에 변재변색균과 부후균에 의한 목재 열화는 전각의 개방 여부에 관계없이 발생하지 않을 것으로 사료된다. 또한

실내 상대습도의 영향을 직접적으로 받는 목재 함수율도 Morris (1998)가 제시한 부후균 생육이 가능한 30% 이상으로 상승하는 경우는 관찰되지 않았다. 따라서 액상 수분과 직접 접촉에 의한 재젖음이 발생하지 않는다면 전각 내부의 목재에는 변재변색이나 부후가 발생하지 않는다고 할 수 있다.

개방 및 비개방 전각에서 공히 상대습도가 Viitanen과 Salonvaara (2001)가 제시한 표면오염균 생육이 가능한 75% 이상으로 상승하는 경우는 연중 많이 관찰되었으나 목재 표면에 도달한 표면오염균 포자가 발아하기 위해서는 75% 이상의 상대습도가 어느 정도 지속되어야 한다. 이러한 지속기간은 균종에 따라 상이하기 때문에 개방 및 비개방 전각에서 직접 분리 동정한 표면오염균 중 변색 정도가 심한 5종(*Aureobasidium pullulans*, *Cladosporium cladosporioides*, *Conicochaeta velutina*, *Discosia artocreas*, *Graphiopsis chlorocephalas*)을 대상으로 20~30℃ 온도, 상대습도 75% 조건에서 포자가 발아하여 목재 표면을 변색시키는데 소요되는 시간을 결정하기 위한 소규모 실험을 별도로 수행하였다. 실험 결과, *A. pullulans*와 *C. cladosporioides*는 접종 후 4주 경과 시점에서 소나무 변재 표면을 변색시켰으나 나머지 3종은 접종 후 12주가 경과되어도 소나무 변재를 변색시키지 못하였다. 따라서 상대습도가 75% 이상으로 상승된 후 최소 4주간 지속되면 목재가 표면오염균의 가해를 받는다고 할 수 있다.

전각 내부의 상대습도가 75% 이상으로 상승하여 일정 기간 지속되는 계절은 장마철을 포함한 여름철인데, 7월 한 달에만 개방 전각인 영화당과 비개방 전각인 주합루의 실내 상대습도가 각각 25일과 28일간 75% 이상으로 유지되었다. 따라서 여름철에는 개방 여부에 관계없이 전각 내부 목재의 표면오염균 피해가 우려되는데, 75% 이상 상대습도가 지속되는 기간이 비개방 전각이 개방 전각보다 약간 길어서 전각의 개방이 표면오염균 열화 관련 보존환경 측면에서 부정적이지 않음을 알 수 있었다. 참고로 비개방 전각의 실내 상대습도가 개방 전각에 비해 75% 이상 유지되는 일수가 조금 많은 이유는 개방 전각

개방에 따른 실내 온습도 변화가 목조문화재 보존환경에 미치는 영향 예측

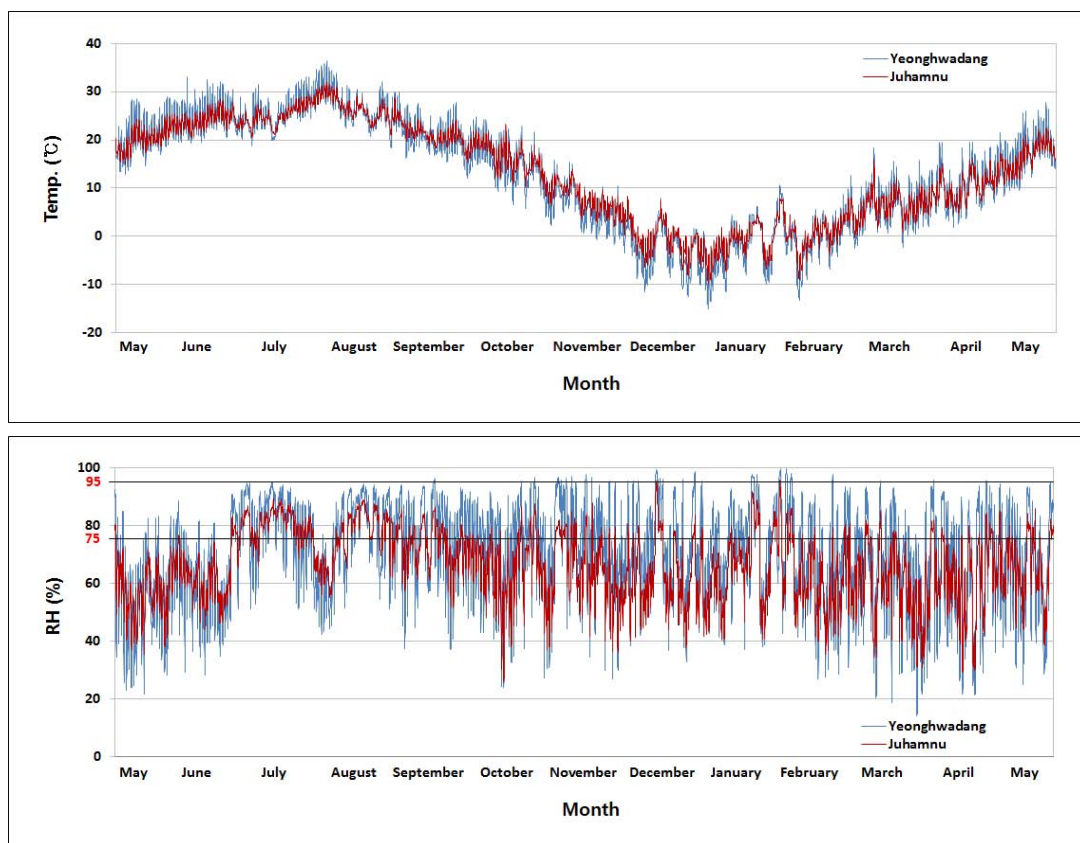


Fig. 1. Measured indoor temperature and relative humidity of Yeonghwadang Pavilion (open building) and Juhamnu Pavilion (closed building) for one year.

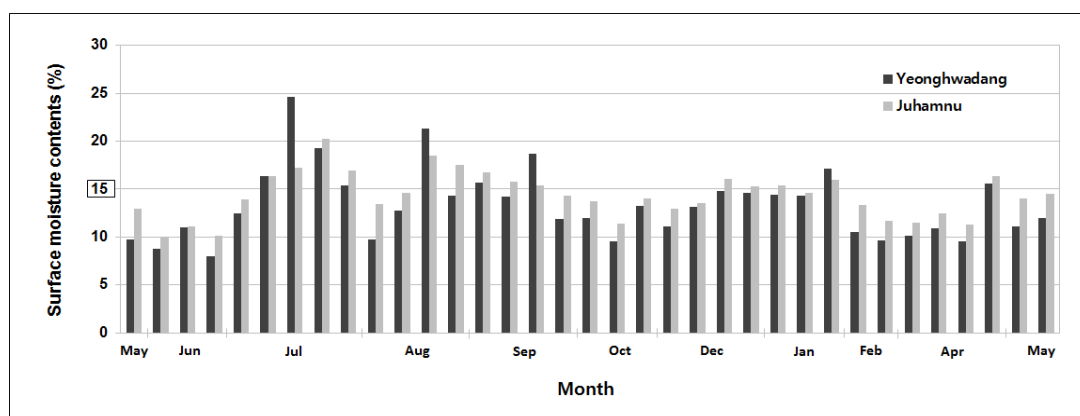


Fig. 2. Surface moisture contents of the inner part of wooden columns in Yeonghwadang Pavilion (open building) and Juhamnu Pavilion (closed building).



Fig. 3. Severe surface mold damages of the interior of Cheonseokjeong.

의 경우에는 습하던 외기가 건조해지면 바로 반응하여 실내 상대습도가 내려가지만 비개방 전각 경우에는 외기 상대습도 변화에 반응하여 실내 상대습도가 다시 내려가는데 다소 시간이 걸리기 때문이다. 따라서 큰 차이라고 볼 수는 없지만 전각의 개방이 실내 목재의 표면오염균 피해 측면에서 비개방보다 유리하다고 할 수 있다. 오히려 비개방 전각의 경우 장마철에 비가 그치고 햇빛이 나면서 외기 상대습도가 낮아질 때는 전각의 문을 일시적으로 개방하여 내부 습기를 외부로 배출시킬 필요가 있다고 본다.

Morris (1998)의 보고에 의하면 목재 표면함수율이 15% 이상이면 표면오염균이 목재 표면을 가해할 수 있다고 하는데 균의 생육이 활발한 여름철에는 개방 여부에 관계없이 두 전각의 기둥 표면함수율이 15%를 상회하는 경우가 많아 표면오염균의 가해 위험이 상존한다고 할 수 있다. 7월 초순부터 9월 중순까지 총 12회 측정에서 개방 전각인 영화당 16개 기둥의 표면함수율이 15%를 넘는 경우는 총 7회이나 비개방 전각인 주합루 10개 기둥의 함수율이 15%를 넘는 횟수는 총 9회로 목재 표면함수율을 기준으로 예측할 수 있는 보존환경 역시 실내 상대습도를 기준으로 예측한 보존환경과 마찬가지로 비개방 전각이 개방 전각보다 조금은 열악하다고 할 수 있다.

본 연구의 대상 전각인 영화당과 주합루의 실내

목재는 설사 생육 조건이 맞아도 표면 단청으로 인해 표면오염균이 목재 표면을 가해할 수 없었지만 주합루 북동쪽에 인접한 비개방 전각인 천석정의 비단청 실내 목재에서는 표면오염균에 의한 가해가 실제로 심각함을 확인할 수 있었다(Fig. 3). 변색된 색상으로 유추할 때, 검정색 변색은 *A. pullulans*에 의한 변색이고 진한 회녹색 변색은 *C. cladosporioides*에 의한 변색으로 사료된다. 참고로 *A. pullulans*와 *C. cladosporioides* 공히 영화당과 주합루 실내에서 분리되었는데, *C. cladosporioides*는 분리된 표면오염균 중 분리빈도가 가장 높았다(Kim *et al.*, 2015). 따라서 여름철에는 전각 내부의 비단청 목재나 단청처리가 된 경우에도 처리 후 표면할렬이 생기면서 노출된 목재 내부가 표면오염균의 가해를 받을 확률이 높기 때문에 전각의 개방 여부에 관계없이 전각 내부의 상대습도를 낮추기 위한 자연환기나 인위적인 제습 등의 조치가 필요하다고 사료된다.

4. 결 론

전각 개방이 전각 내부의 목재 가해균류 열화 관련 보존환경에 미치는 영향을 1년간 측정된 개방 및 비개방 전각의 실내 온도 및 목재 함수율을 목재 가해균류 생육이 가능한 최소 온도 및 목재 함수

율과 비교하는 간접적인 방법에 의해 예측하였다. 부후균과 변재변색균에 의한 전각 내부 목재 열화는 불가능한 것으로 예측되었으나 개방 여부에 관계없이 장마철이 포함된 여름철에는 표면오염균에 의한 목재 열화가 가능한 것으로 예측되었다. 여름철 중 7월 한 달의 상대습도를 살펴보면 표면오염균 생육이 가능한 75% 이상인 날수가 개방 전각인 영화당에서 25일, 비개방 전각인 주합루에서 28일로 나타나 전각 개방이 실내 상대습도를 기준으로 하는 보존환경 측면에서는 비개방에 비해 다소 유리하다고 할 수 있다. 실내 목재 기둥의 표면함수율은 비개방 전각에서 대체적으로 높았는데, 7월 초순부터 9월 중순까지 총 12회 측정에서 개방 전각은 표면함수율이 표면오염균 가해가 가능한 15%를 넘는 경우가 총 7회이나 비개방 전각은 총 9회로 목재 표면함수율을 기준으로 하는 보존환경 역시 개방 전각이 비개방 전각보다 조금은 유리하다고 할 수 있다. 이상의 결과를 종합할 때, 개방에 따른 전각의 실내 온습도 변화가 목조문화재의 미생물 열화에 대한 보존환경에 부정적이지 않음을 알 수 있었다. 오히려 비개방 전각의 경우, 강우에 의해 외기 상대습도가 높아지는 계절에 비가 그치고 햇빛이 나면서 외기 상대습도가 낮아질 때 전각의 문을 일시적으로 열어 실내의 습기를 외부로 배출시킬 필요가 있다고 본다.

사 사

본 연구는 문화재청 국립문화재연구소 국가연구개발사업(과제번호: NRICH-1207-B11F-1)의 지원을 받아 이루어진 것입니다.

REFERENCES

- Kim, M.-J., Shin, H.-K., Choi, Y.-S., Kim, G.-C., Kim, G.-H. 2015. An aeromycological study of various wooden cultural heritages in Korea. *Journal of Cultural Heritage* (in press).
- Morris, P.I. 1998. Understanding biodeterioration of wood in structures. Forintek and British Columbia Building Envelope Council, Canada.
- Viitanen, H. 1996. Factors affecting the development of mold and brown rot decay in wooden material and wooden structures: effect of humidity, temperature and exposure time. PhD thesis. The Swedish University of Agricultural Sciences, Sweden.
- Viitanen, H. 1997. Critical time of different humidity and temperature conditions for the development of brown rot decay in pine and spruce. *Holzforschung* 51(2): 99-106.
- Viitanen, H., Bjurman, J. 1995. Mould growth on wood under fluctuating humidity conditions. *Material und Organismen* 29(1): 27-46.
- Viitanen, H., Salonvaara, M. 2001. Failure criteria. In: *Moisture analysis and condensation control in building envelopes*, ASTM Manual Series MNL 40, Ed. by Trechsel, H.R. ASTM, USA.
- Viitanen, H., Vinha, J., Salminen, K., Ojanen, T., Peuhkuri, R., Paajanen, L., Lähdesmäki, K. 2010. Moisture and bio-deterioration risk of building materials and structures. *Journal of Building Physics* 33(3): 201-224.