

현충사 옛집의 기둥 하부 변색에 관한 연구

– 미생물에 의한 영향 및 강도와의 상관관계를 중심으로 –

정소영^a · 서민석^a · 홍진영^a · 김수지^a · 정아름^b · 김지서^c

^a국립문화재연구소 보존과학연구실 · ^b국립문화재연구소 문화재보존과학센터 · ^c국립문화재연구소 건축문화재연구실

국/문/초/목

일반적으로 목조문화재의 변색은 장식용 목재에서 자주 발견되는 현상으로 여겨지는 경우가 많아, 이번 연구에서는 현충사 옛집을 대상으로 기둥 하부와 하방 등 지면과 인접한 목부재에서 나타나는 백색 변색 현상에 대해 목재단면 성능 조사, 미생물 조사, 현미경 관찰(SEM, 조직 분석 등)을 통해 강도 및 미생물에 의한 영향을 알아보고자 하였다. 연구 결과, ① 목부재 일부 구간에서 저항도가 낮게 측정되는 지점이 있었으나, 강도에 크게 영향을 미칠 정도는 아니었으며, ② 변색 부위의 함수율이 정상 부위보다 상대적으로 높게 측정되었으나, 변색부와 정상부에서 채취한 미생물 조사 결과에서는 정상부의 미생물 종류 및 미생물계수(CFU)가 오히려 높게 나타났다. ③ SEM을 이용한 표면관찰 결과, 500배의 배율에서 크고 작은 알갱이들이 관찰되었으며, 알갱이 부분은 탄소(C), 산소(O), 규소(Si), 칼슘(Ca) 등이 주성분으로 구성되어 있고 일부에서 Na, Cl 등의 성분이 미량 검출되었다. ④ 변색부 시료에 대한 조직분석 결과, 변색은 바깥쪽 표면부에 한정하여 나타난 현상임을 알 수 있었다. 이상의 결과로 볼 때, 목조건축물의 부재에서 관찰되는 변색 현상은 강도와 직접적인 상관관계가 없었으며, 미생물이나 염 등이 변색에 미치는 영향도 거의 없는 것으로 나타났다.

주제어 현충사, 변색, 미생물, 강도, 함수율, 표면오염균, 미생물계수

투고일자 : 2014. 09. 12 | 심사일자 : 2014. 10. 15 | 게재확정일자 : 2014. 11. 06



서론

지구상의 모든 물질은 물질 순환법칙에 의해 고분자물질에서 저분자물질로 변화하거나 분해되는데, 이러한 원리에 의해 여러 가지 형태로 변화하는 것이 '손상(damage)'의 형태로 나타난다(이규식 외 2000: 7). 우리 주변의 문화재도 이러한 변화의 양상을 겪게 되는데, 여기에 관여하는 손상요인은 크게 자연적 요인과 인위적 요인으로 구분할 수 있다.

이 중 문화재의 표면에서 확인되는 변색은 석조문화재, 목조문화재를 비롯하여 지류, 식물 등 대부분의 문화재에서 발생하는 손상 형태로서, 재질에 따라 변색에 의한 영향은 다양하게 나타나는 것으로 알려져 있다.

석탑과 같은 석조문화재는 화학적, 물리적 풍화로 인해 표면 변색이 발생하는 경우가 보고되어 있으며, 변색되는 색깔에 따라 크게 흑색, 황색, 백색의 변색이 발생하는 것으로 알려져 있다(이미혜 외 2013: 447). 화학적, 물리적 풍화 외에도 암석 표면에 발생하는 화학적인 작용에 의해 내부의 성분이 용출되거나 표면에 침착된 오염물 등에 의해 표면 색상이 변화하기도 한다. 이 경우 표면에 백색의 침전물이 쌓이는 백화, 암석 표면의 색상이 다른 색으로 바뀌는 변색·착색, 암석 내부의 수분에 녹아있던 염분들이 암석 표면에서 정출되는 염화 등의 현상으로 나타나게 된다(한병일 2008: 111). 석조문화재 표면에 발생하는 이러한 변색 현상은 암석 표면에 결정을 형성하거나 강도를 약화시킴으로써 문화재가 손상되어 가는 과정으로 인식하고 있다. 일례로 흑화와 관련하여 도심에 위치한 석탑 2기(개성 경천사지 십층석탑, 서울 원각사지 십층석탑)를 대상으로 석탑 표면에 형성된 흑색층의 원소탄소성분을 분석한 연구결과를 보면 대기미세 먼지가 함유하고 있는 규산염광물성분이 석탑의 표면에 침착되면서 흑색층이 형성되었다는 것이 밝혀진 바도 있다(도진영 2007: 64).

이처럼 석조문화재 표면의 변색(백화, 변색, 착색, 염화 등)은 자연적인 풍화 또는 대기환경 오염에 의한 영향으로 석조문화재가 손상되어 가는 과정으로 인식하였으며, 또한

표면의 색 변화에 따른 미관상 문제가 제기되어 원인을 분석하기 위한 다양한 연구들이 수행된 반면, 목재의 변색은 가공과정에서 나타날 수 있는 일반적인 현상으로 보는 관점이 많고, 통상 강도 변화를 수반하지 않는 경미한 목질열화로 여겨지고 있어(김문규·정대교 1986: 41), 변색 원인에 대한 연구가 거의 이루어지지 못한 상황이다.

목재의 변색은 가공과정에서 여러 가지 원인으로 일부가 변화되거나 물질을 침착시켜 변색을 유발할 우려가 많은 것으로 알려져 있으며, 그 중에서도 목재의 오염에 의한 변색은 특유의 성분에 의한 변색, 목재가공공장에서 절삭기계에 의한 철 오염, 목재의 관리 불충분으로 인한 곰팡이 오염, 각종 처리액으로 처리한 경우의 pH에 의한 변색 등(김문규·정대교 1986: 41; 안경모 외 1986: 56) 다양한 원인에 의해 변색이 발생하는 것으로 알려져 있다. 안경모 등(1986)의 연구에 따르면 국내산 목재의 수종에 따라 오염에 의한 변색 원인이 차이를 보이는 것으로 나타났는데, 활엽수재는 태양광 폭로에 의한 변색과 철 오염에 의한 변색이 심한 편으로 나타났고 산 오염과 알칼리에 의한 오염은 비교적 변색정도가 약하게 나타나는 것으로 보고하였으며, 침엽수재는 태양광 폭로에 의한 변색이 가장 심하고 그 다음으로 알칼리 오염, 철 오염, 산 오염의 순으로 변색이 나타난다고 보고하였다(안경모 외 1986: 60). 목조문화재의 경우에는 목재 표면에서 나타나는 오염에 의한 변색 외에도 방염제 등 화학물질을 처리할 때 특수한 성분이 목재 내부로부터 정출되면서 색이 변하는 현상이 최근에 자주 보고되고 있어 실제로 이러한 변색 현상이 강도 등 목재 자체의 구조적인 문제와 관련이 있는지에 대해서도 추가적인 검토가 필요할 것으로 생각된다. 화학물질 처리에 따른 변색의 대표적인 사례로 방염제 도포에 따른 백화현상을 들 수 있는데, 이는 단청이 채색된 목재를 대상으로 인계 방염액을 적용하였을 때 목재를 고압함침한 경우 장단(오렌지색)과 양청(파랑색)을 채색한 시료에서 백화현상이 나타나고 습도가 높은 곳에서도 백화현상이 나타났다고 보고된 바 있어(김인범·현성호 2008: 186), 목재의 수분 함량(함수율)과 밀접한 상관관계를 가지는 것으로 확인되었

다. 일반적으로 목재의 함수율이 변하면 미생물 등 생물학적 열화 가능성이 높아질 우려가 있어 이에 따른 목질 열화나 강도 저하 등과의 상관관계를 분석할 필요성이 있다. 또한 방염 처리된 고건축 부재에서 수침 고목재에서 나타나는 연부후 및 세균에 의한 세포벽 분해 현상이 나타났다는 연구 결과도 보고되고 있어(위승곤 외 2001: 32) 실제로 목재에서 나타나는 부후나 변색 현상의 원인이 무엇인지 다각도로 검토할 필요가 있다.

이상에서 살펴본 것처럼 문화재에서 발생하는 변색은 여러 가지 원인에 의해 발생하는 복합적인 현상으로, 특정한 1~2가지의 원인에 의해 나타나는 현상은 아닌 것으로 판단된다. 특히, 목조문화재에서 나타나는 변색은 시간의 경과에 따른 자연스러운 현상으로 인식하는 경향이 많아 문제라기보다는 오히려 목조문화재의 고색창연함을 보여주는 대표적인 특징으로 판단하기도 한다. 방염제 도포와 같이 화학적인 약제를 처리함으로써 변색이 발생하는 경우를 제외하고는 어떤 원인에 의해 변색이 일어나는지, 목부재에 따라서 변색의 정도가 다르게 나타나는 이유가 무엇인지, 구성부재의 강도 등 물리적인 특성변화를 수반하는 것은 아닌지 등

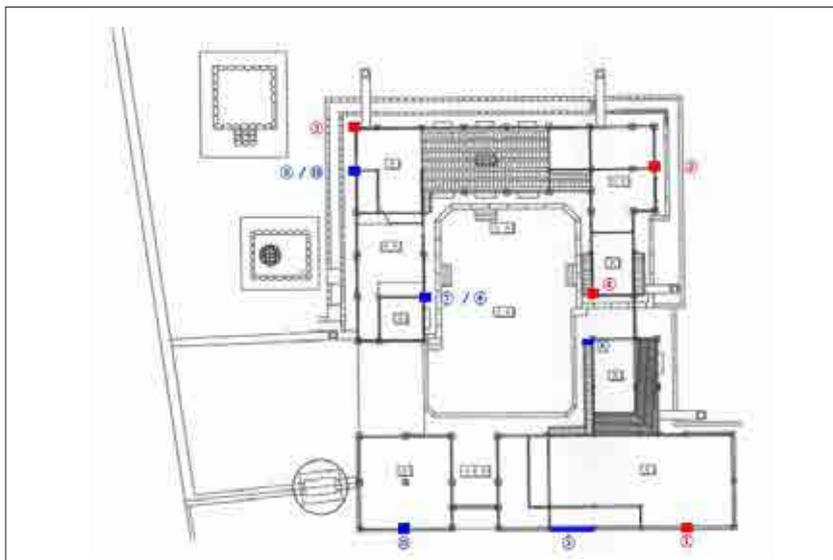
정확하게 밝혀진 바가 없어 이러한 현상에 대해 다각도로 접근하고 해석하는 것이 필요하다.

이에 이번 원고에서는 기둥과 하방 등 지면과 인접한 목부재에서 백색으로 변색되는 현상이 관찰된 현충사 옛집의 목부재를 대상으로 변색에 미치는 미생물의 영향 및 강도와 의 상관관계를 위주로 살펴보고자 한다.

연구대상 및 방법

1. 연구대상

이번 연구에서는 기둥과 하방 등 다수의 부재에서 백색 변색 현상이 확인된 현충사 옛집(고택)을 주요 연구대상으로 하였다. 현충사(顯忠祠)⁰¹는 충무공 이순신 장군의 정신과 위업을 선양하기 위한 사당으로 정내에 충무공의 영정을 모신 본전을 비롯하여 충무공이 사시던 옛집, 이충무공과 그 후손 등 다섯 분의 충신과 효자 편액이 걸려있는 정려 등 다수의 건축물로 구성되어 있는데, 이 중 옛집의 기둥 하부와 하방



【 그림 1 】 Floor plan and investigation point in wooden house of Hyunchungsa(shrine)

⁰¹ 현충사는 충남 아산시 염치읍 백암리 방화산 기슭에 자리하고 있으며, 임진왜란 때 큰 공을 세운 이순신을 기리기 위해 숙종 32년(1706년)에 사당을 세우고 숙종이 직접 '현충사'라 이름 지었다고 한다. 고종 5년(1888년) 대원군의 서원철폐령에 의해 현충사도 철폐되었다가 1966년부터 국가에서 현충사 성역화 사업을 추진하면서 지금의 모습을 갖추게 되었다(현충사관리소 누리집 참조, <http://hcs.cha.go.kr>).



등에서 변색 현상이 다수 발견되었다. 변색이 발생한 목부재를 대상으로 목재 저항도 측정을 통한 성능조사, 함수율 측정 및 미생물조사, 주사전자현미경 관찰과 조직분석 등을 실시하였으며, 조사 및 시료를 채취한 지점은 <그림 1>과 같다.

2. 연구방법

현충사 옛집의 구성 부재 중 백색으로의 변색 현상(이하 '백화'라 한다)이 나타난 ①~④번 부재를 대상으로 목재성능 조사, 함수율 측정 및 미생물 조사, 조직분석 등을 실시하였고 ⑨~⑪번의 변색부와 정상부 시료를 대상으로 주사전자현미경으로 관찰한 후 성분분석을 실시하였다. 또한 목재조직의 변화양상을 비교분석하기 위해 ⑤~⑪번 시료를 대상으로 조직분석을 추가로 실시하였다(표 1).

목재성능 조사는 목재 저항도 계측장비(IML Resistograph resi-400)를 이용하여 지름 3mm의 드릴날을 일정한 속도로 목재에 관통시킬 때 발생하는 저항력을 측정하여 목재 내부의 열화상태와 밀도를 탐지하는 방법이다(국립문화재연구소 2010: 136~145). 이번 조사에서는 기둥의 초석 상부 5~8cm 지점을 드릴링한 후 목재 단면의 저항도를 측정하였다.

또한 기둥 및 하방 등 백화현상이 나타난 부재를 대상으로 하부(변색부)와 상부(정상부)의 표면 함수율을 측정하고(함수율 측정기 MC-460S/ESOTEK) 멸균 면봉을 이용하여 미생물을 채취하였다. 이렇게 채취한 미생물 순수 분리 및 동정은 다음과 같은 과정을 통해 진행하였다.

- ① 미생물을 채취한 면봉에 2ml PDB(potato dextrose broth, Difco) 배지를 넣어 28℃ 진탕배양기(shaking incubator)에서 2시간 동안 배양하였다.
- ② 배양액 100μl를 2개의 PDA(potato dextrose agar, Difco) 배지에 도말한 다음 28℃ 인큐베이터에서 5~10일간 배양한 후 미생물 계수(CFU, Colony Forming Unit)를 확인하였다.
- ③ 각각의 colony를 순수 분리한 후 순수 분리한 균들의 DNA를 추출하고 PCR을 이용해 증폭시켜 서열분석용

vector에 cloning 한 다음 염기서열 분석을 하였다.

- ④ 미생물은 ITS(Internal Transcribed spacer)를 이용하여 염기서열 분석을 한 뒤 미국 국립 생화학 정보센터(NCBI, National Center for Biotechnology Information) 등 균주 리스트가 구축되어 있는 사이트에서 유전자 검색을 통하여 이미 서열이 알려진 균주와 샘플의 서열을 비교하였다.

【 표 1 】 Wooden part used for this study and investigation methods

No.	Wooden part	Photograph	Investigation
①	column		drilling resistograph, occurrence of microorganism, tissue analysis
②	column/ baseboard		
③	column		
④	column		
⑤	baseboard		tissue analysis
⑥	floor (control)		tissue analysis
⑦	column		tissue analysis
⑧	column (control, upperside of ⑦)		
⑨	column		tissue and SEM analysis
⑩	column (control, upperside of ⑨)		
⑪	column (control)		tissue and SEM analysis

마지막으로 목부재의 변색부와 정상부 시료를 대상으로 현미경적 분석을 실시하였다. 변색부와 정상부 시료의 성분 차이를 확인하고자 주사전자현미경(Tabletop SEM, TM 3000/Hitachi)을 이용하여 표면을 관찰하고 성분 분석을 실시하였다. 또한 목부재의 표면과 내부의 변색 여부 및 변색 정도 등을 확인하고자 변색부 시료를 광학현미경(DMR500/Carl Zeiss)을 이용하여 관찰하였으며, 변색에 따른 목재 조직의 변화 양상을 비교 분석하기 위하여 변색부와 정상부 시료에 대한 형광현미경(Eclips 80i/Nikon) 분석을 수행하였다. 채취한 시료는 용이한 분석을 위하여 50% 글리세린 수용액에 침지 및 가열하여 조직을 연화시켰으며, 세포를 명확히 관찰하기 위해 사프라닌(Safranin) 1%(in H₂O)를 사용하여 염색하였다. 채취된 시료가 작아 면도날을 이용하여 핸드섹션 방법으로 박편을 제작한 후 프레파라트를 제작하였으며, 변색 여부 관찰을 위한 시료는 면도날을 이용하여 삼단면을 절단하여 시편을 제작하였다.

연구결과 및 고찰

1. 목재단면 성능 조사

드릴 저항 시험기를 이용해 변색이 발생한 기둥(①~④)을 대상으로 목재단면 성능⁰²을 조사한 결과, 변색이 발생한 4개의 부재는 모두 양호한 상태를 나타내고 있었다(표 2~3). 조사가 이루어진 기둥은 지름이 20cm 정도인 각재였으며, ①번 기둥의 경우, 표면으로부터 16.2cm 지점에서 16.7cm 지점까지 부재의 일부분에서 공극이 확인되었으나, 나머지 다른 부분은 건전한 상태였고 ②번 기둥의 경우에는 전체적으로 양호한 상태를 보이고 있었다. ③번 기둥은 표면으로부터 16.5cm 지점에서 17.7cm 지점까지 1.2cm가 공극으로 나타났

으며, ④번 기둥의 경우, 18.0cm 지점에서 19.8cm 지점까지 1.8cm의 부재가 약한 것으로 나타났으나, 나머지 부분은 양호한 것으로 나타났다. ①, ③번 기둥에서 확인된 공극은 갈래와 결구에 의한 것으로 판단하였고 ④번 기둥의 종료 지점에서 확인된 부분적인 부재의 약화 현상은 원인은 확실치 않으나 강도에 영향을 줄 정도는 아닌 것으로 판단된다.

2. 표면 함수율 측정 및 미생물 조사

현충사 옛집의 구성 부재 중 백화가 확인된 부재(①~④)를 대상으로 하부(변색부)와 상부(정상부)에 대한 표면 함수율 측정 결과, 대부분의 부재에서 변색이 발생한 하부의 함수율이 상부보다 더 높게 나타났다. 이러한 함수율의 차이는 목재 내부의 수분 함량이 변색과 직접적인 연관성이 있다기보다는 측정 위치의 차이에 따른 특징적인 현상으로 생각된다. 함수율 측정 위치는 하부의 경우, 초석 위 10~20cm 지점에서 측정하였고, 상부는 100~130cm 지점을 측정했는데, 하부의 측정지점은 바닥과 면이 닿아 있어 수분에 의한 영향이 발생할 가능성이 높은 것으로 판단된다. 특히, 우천이나 물청소 시 수분이 모이기 쉬운 지점이므로 목재가 수분을 지속적으로 머금고 있을 가능성이 있으며 따라서 함수율도 높게 측정되었을 수 있다. 이에 반해 상부는 햇빛이 비칠 때 햇빛을 받을 수 있는 높이에 위치하고 있어 상대적인 함수율이 낮게 측정되었다고 판단된다.

현충사 옛집에서 채취한 미생물 조사 결과, 총 7종의 균주가 분리되었으며 대부분의 균은 표면오염균으로 나타났다. 같은 부재에서 미생물을 채취했다라도 높이에 따라 배양된 미생물의 수는 차이를 보였으며, 특히 기둥 ①과 기둥 ④의 경우, 변색부(하부)와 정상부(상부)에서 순수 분리한 미생물 균 수에서 현저한 차이가 나타났다. 정상부(상부)에서 채취한 미생물의 균 수가 평균 123~137 CFU/100μl로 나타나 변

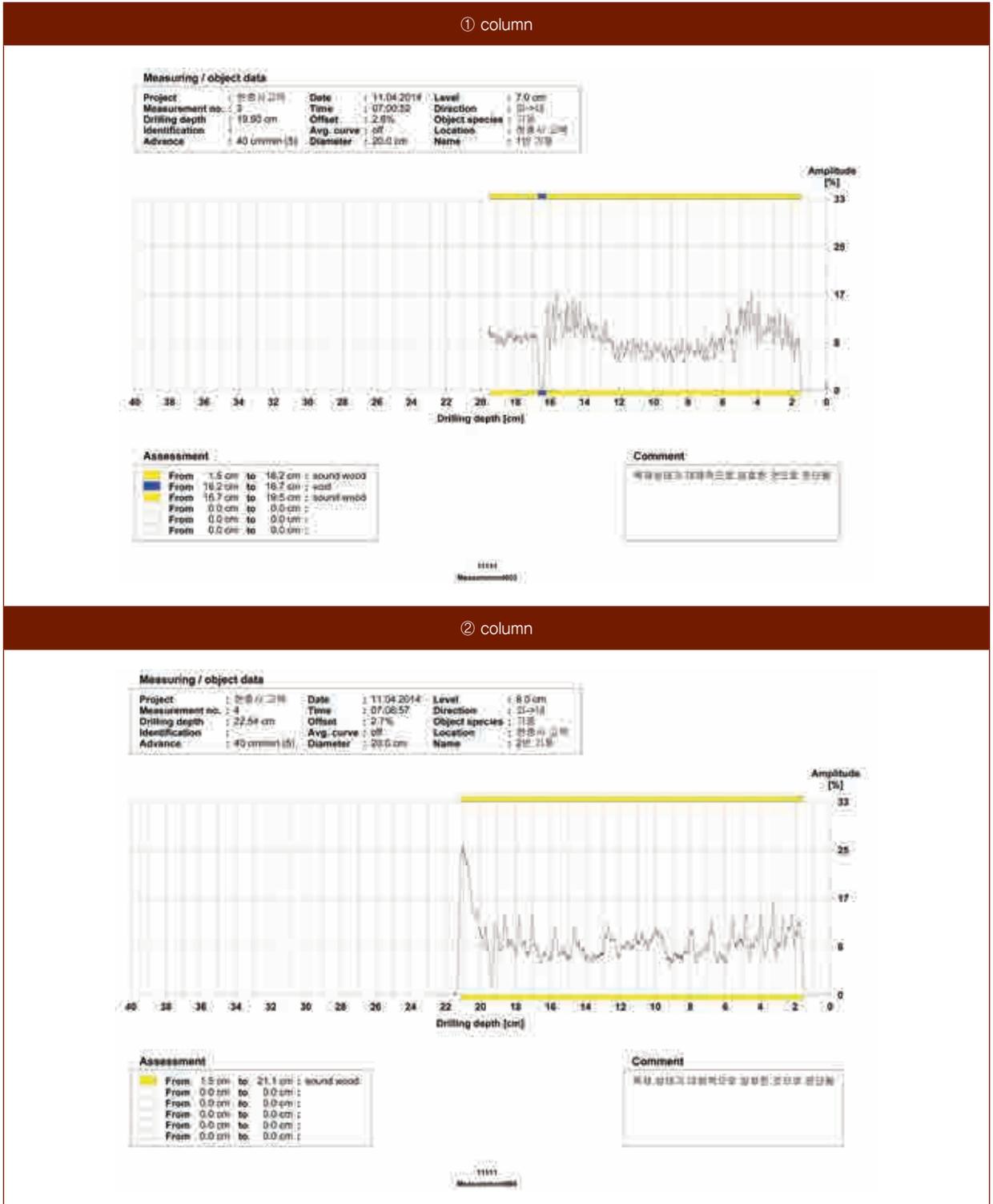
⁰² 드릴 저항 측정 결과 얻어지는 Resistograph는 드릴날이 목재 내부로 침투하여 들어간 길이(cm)를 가로축으로 하고 드릴이 목재 내부로 침투될 때 발생하는 상대적인 저항값을 세로축에 나타냄으로써 상대 밀도의 변화에 따른 목재의 열화 유무 및 길이를 파악하는 방법이다(건축문화재 안전점검 실무편람, 2010).



색부(하부)에 비해 수십 배 이상 높게 나타났다. 그러나 미생
물 균 수와 균주의 종류가 양의 상관관계를 나타내는 것은 아

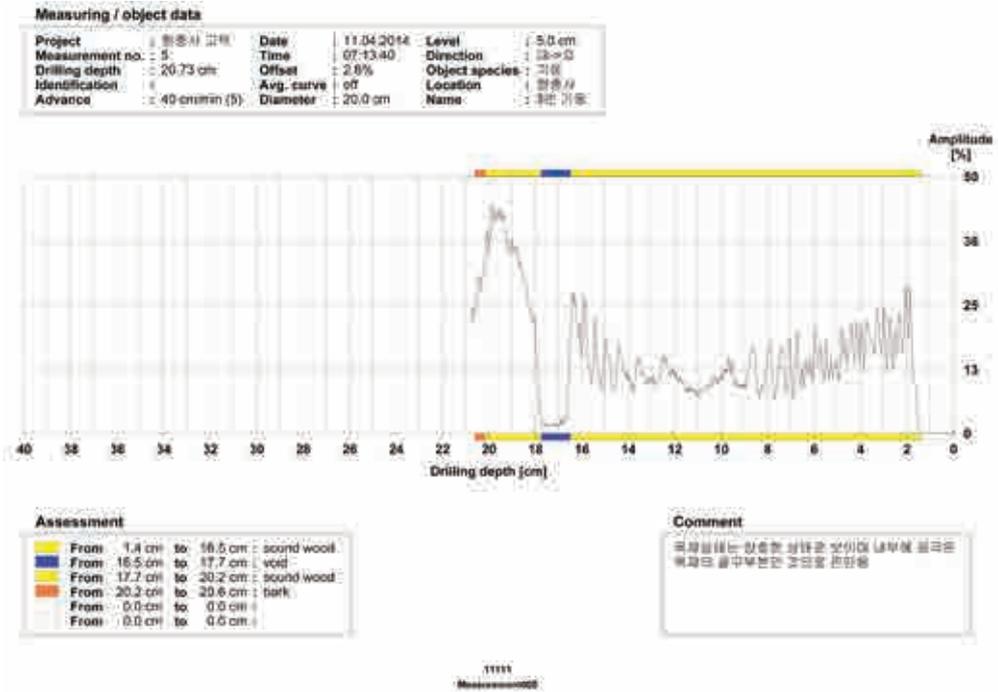
니어서 여러 종류의 미생물이 분포한다기보다는 1~2종류의
미생물이 양적으로 많이 분포하는 양상을 보였다(표 4).

【 표 2 】 Resistograph on the discolored part in wooden house of Hyunchungsa (shrine)

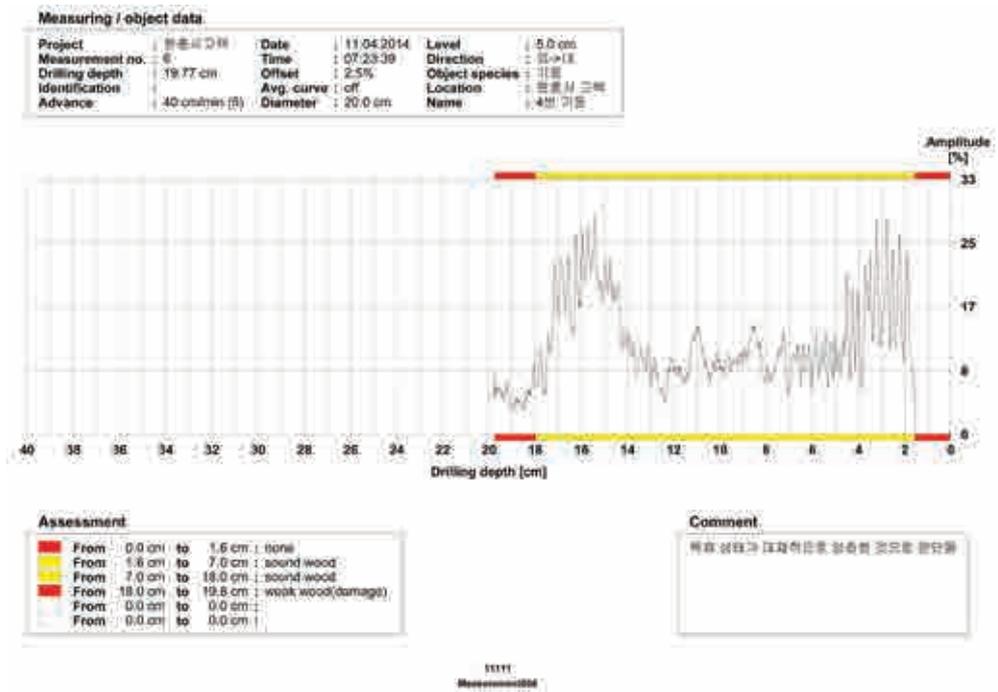


【 丑 3 】 Resistograph on the discolored part in wooden house of Hyunchungsa (shrine)

③ column

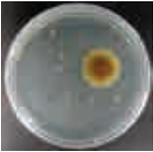


④ column





【 丑 4 】 Moisture content measured from investigation point and identified microbial species

Investigation Point	Moisture content	Colony forming unit	Identified microbial species			
① Column	10cm	16.7				
			3	<i>Capnodiales</i> sp. TR006	<i>Pseudotaeniolina globosa</i> isolate	
	110cm	24				
			137	<i>Pseudotaeniolina globosa</i> isolate	ND	
② baseboard	20cm	27.5				
			2	<i>Bacillus megaterium</i> strain PJ-4	<i>Streptomyces gramineus</i> strain MDMT-7	
	130cm	18.5				
			113	<i>Cladosporium sphaerospermum</i> isolate PKU F16	Uncultured fungus clone CMH375	
③ Column	20cm	35				
			1	ND		
	120cm	22				
			27	<i>Aureobasidium pullulans</i>	<i>Rhizosphaera</i> sp. JYP-2008 strain	<i>Capnodiales</i> sp. TR006

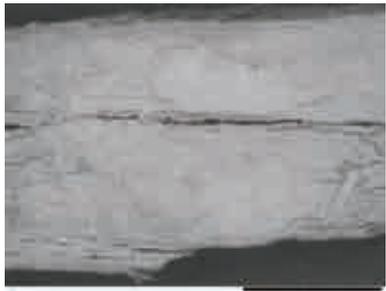
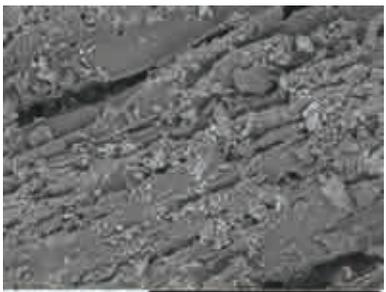
Investigation Point		Moisture content	Colony forming unit	Identified microbial species			
④ Column	10cm	33.5					
			0				
	100cm	18.5					
			123	<i>Capnodiales</i> sp. TR006			

3. 주사전자현미경(Tabletop SEM)을 이용한 표면 관찰 및 성분 분석

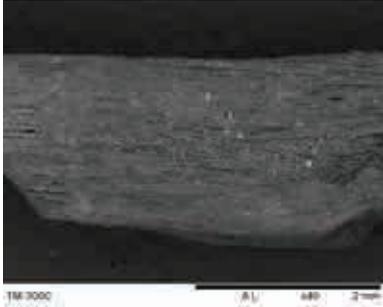
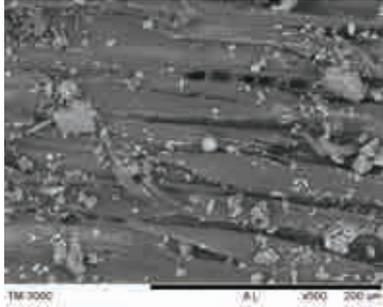
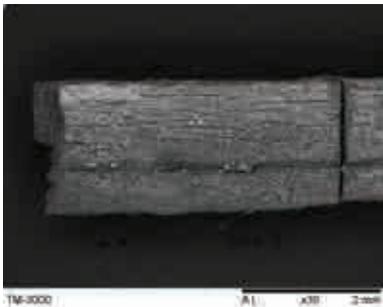
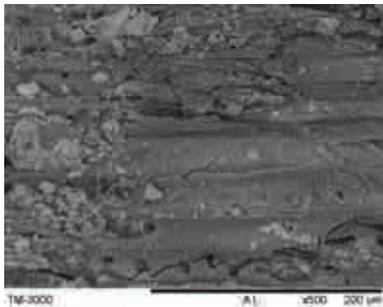
백화 현상이 나타난 ⑨번 시료와 정상인 ⑩, ⑪번 시료 (대조군)를 대상으로 SEM 관찰을 하고 변색부와 정상부 시

료의 미세 성분상 차이점이 나타나는지를 확인하기 위해 EDS 성분 분석을 실시하였다. 대상 시료에 대한 표면 관찰 결과, 500배 이상에서 측정하였을 때 크고 작은 알갱이들 (백색, 검은색 등 색상은 다양)이 존재하는 것을 확인할 수 있었다(표 5).

【 표 5 】 SEM photographs on surface of wooden part(⑨ ~ ⑪ column)

Specimen No.	SEM photographs		Remarks
	30×	500×	
⑨ Column (discolored part, outer side)			- inner and outer side of ⑨ column
⑩ Column (normal part, inner side)			



Specimen No.	SEM photographs		Remarks
	30×	500×	
⑩ Column			
⑪ Column			

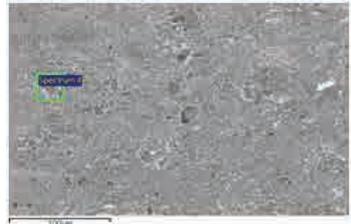
⑩번 시료의 경우, 표면은 백색으로 변색이 발생한 데 반해 내부는 목재 고유의 색을 간직하고 있어, 시료의 내·외부를 대상으로 SEM 관찰과 성분 분석을 실시하였다. 변색부(표면)에서 목재의 주 구성성분인 탄소와 산소를 제외하고 많은 비중을 차지하고 있는 원소는 규소(Si), 칼슘(Ca) 등으로 나타났으며, Na와 Cl 성분도 일부 검출되었다. 정상부(내부)를 대상으로 분석한 결과에서는 칼슘의 양이 상당히 높게 측정되었으며, Cl 성분도 높은 농도로 측정되었다. 이러한 결과로 볼 때 변색부에서 검출된 Na의 양이 미량인데다 Si나 Ca

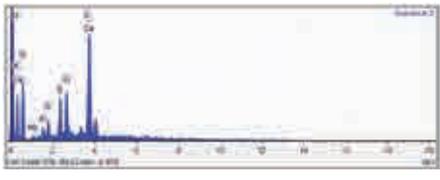
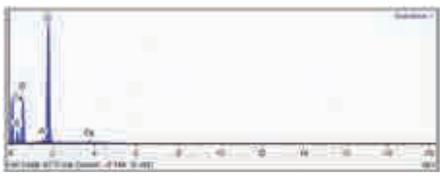
의 양이 더 높은 농도로 검출됨에 따라 NaCl 상태였다기보다는 토양 속의 염화칼슘이나 규산염이 이온화된 상태로 목재 내·외부에서 검출된 것으로 보인다.

이에 반해 ⑩ ~ ⑪번의 대조군(정상부) 시료를 분석한 결과에서는 탄소와 산소 이외에 규소의 검출량이 높게 나타난 현상은 유사했으나, Cl 성분은 거의 검출되지 않았다.

이상의 성분 분석 결과를 보면, 변색에 의해 미세 성분에서 차이가 나타났다고보다는 오히려 부재의 위치에 따른 차이가 더 두드러지게 나타났다는 것을 확인할 수 있었다. 동

【 표 6 】 EDS result on discolored and normal part

Specimen No.	EDS result		
	SEM photograph (500×)	EDS graph	Weight %
⑨ Column (discolored part)			C : 20.820 O : 53.798 Na : 0.408 Mg : 0.232 Al : 2.038 Si : 10.432 S : 1.232 Cl : 1.029 K : 0.764 Ca : 8.167 Fe : 1.079

Specimen No.	EDS result		
	SEM photograph (500×)	EDS graph	Weight %
⑨ Column (normal part)			O : 50,941 Na : 0,656 Al : 1,106 Si : 2,028 S : 5,446 Cl : 7,552 K : 1,629 Ca : 30,642
⑩ Column			C : 40,587 O : 35,517 Na : 2,297 Al : 4,071 Si : 15,971 S : 0,624 K : 0,268 Ca : 0,665
⑪ Column			C : 26,579 O : 45,904 Al : 0,394 Si : 26,466 Ca : 0,657

일한 시료의 바깥(변색부)과 안쪽(정상부)을 대상으로 분석한 결과에서 보여지는 것처럼 오히려 안쪽의 정상부에서 측정된 Ca와 Cl 등의 농도가 변색부보다 더 높게 측정되고 기둥 상부에서 채취한 대조군 시료에서는 Cl 성분이 검출되지 않은 것으로 미루어볼 때 기둥 하부가 염에 의한 영향을 받았으나, 염 성분의 존재 여부가 변색과 직접적인 인과관계를 갖지는 않는다는 것을 알 수 있었다(표 6).

4. 목재 조직 분석

현충사 옛집에서 백화 현상이 나타난 ①~④번 부재를 포함해 7곳의 변색부와 4곳의 정상부를 대상으로 목재 조직을 분석하여 목부재의 변색 정도를 확인하였다. 대상시료에 대한 수중분석 결과, 11점의 시료 중 10점이 소나무속 소나무류로 분석되었으며 현충사 고택 정면 하방에서 채취한 ⑤번

【 표 7 】 The result on the tissue analysis between genus Pinus and Tsuga

	Cross-section	Radial section	Tangential section
Pinus			
Tsuga			



시료(변색부 시료)는 솔송나무속⁰³으로 분석되었다(표 7).

광학현미경을 이용해 변색부 시료의 삼단면⁰⁴을 관찰한 결과, 목부재의 가장 바깥쪽 표면부에 한정하여 변색이 일어났음을 확인할 수 있었다. 횡단면과 방사단면 관찰 결과, 목재 바깥쪽의 표면에서만 백색 변색이 확인되었고, 접선단면을 관찰한 결과에서는 백색 물질이 목재세포(가도관)를 채우고 있는 것을 관찰할 수 있었다(사진 1).

변색에 의한 목재 조직의 열화 상태를 비교하기 위해 변색부와 정상부 시료의 삼단면(횡단면, 방사단면, 접선단면)을 형광현미경으로 관찰한 결과, 목재 조직 측면에서는 변색부와 정상부의 차이가 분명하게 나타나지 않았으며 리그닌의 분포가 변색부와 정상부에서 별 다른 차이점이 없으므로 확인되었다(표 8).⁰⁵



【 사진 1 】 The cross section of discolored part (cross-section, radial section, tangential section from left, DMR500/Carl Zeiss)

【 표 8 】 The result of tissue analysis on discolored and normal part

		Halogen lamp	Mercury lamp		
		visible region	510~560nm	450~490nm	380~420nm
Cross section	discolored part				
	normal part				
Radial section	discolored part				

03 국내에는 솔송나무(*Tsuga sieboldii*) 1종이 울릉도에 자생하며, 국내에 수입되는 외래산 솔송나무로는 북미에서 자생하는 웨스턴 헴록(*T. heterophylla*)이 대표적이다.

04 목재를 방향에 따라 절삭하게 되면 세 개의 주요 단면을 얻을 수 있는데, 길이방향에 수직하게 자른 단면을 횡단면, 나이테에 수직하게 방사방향으로 자른 단면을 방사단면, 나이테에 접선한 접선방향으로 자른 단면을 접선단면이라고 한다.

05 목재는 세포벽과 세포내강으로 이루어진 세포들의 집합체인데, 이 중 세포벽은 셀룰로오스(cellulose), 헤미셀룰로오스(hemicellulose) 및 리그닌(lignin) 등의 성분으로 구성되어 있다. 이들 성분은 세포벽 내에 균일하게 분포되어 있지 않고 세포벽의 층에 따라 각각 다르게 분포되어 있다. 그 중에서 리그닌은 세포벽 사이의 공간들을 채움으로써 세포벽에 기계적 강도를 부여하는 역할을 하는데, 자가형광물질로 단파의 자외선을 쬐었을 때 발광하므로 형광현미경을 이용하여 리그닌 분포를 확인할 수 있다.

		Halogen lamp	Mercury lamp		
		visible region	510-560nm	450-490nm	380-420nm
Tangential section	normal part				
	discolored part				
	normal part				

결론

현충사 옛집에서 확인된 변색 현상은 주로 기둥 하부와 하방 등 지면과 인접한 부재에서 발견되었다.

목재 단면 성능 조사 결과, 현충사 옛집에서 측정된 목재 단면 저항도는 일반 민가의 지붕하중 및 구조와 비교해 볼 때 유사한 수준으로 나타났다. 이러한 결과는 변색 발생 여부가 강도와 직접적인 상관관계를 갖는 것은 아니라는 것을 의미하며, 구조적으로 큰 문제를 야기하지는 않을 것으로 판단된다.

또한 목재 내부의 열화에 영향을 미치는 미생물이 분포하는지에 대한 조사 결과에서도 백화현상이 나타난 지점보다 변색이 발생하지 않은 부재 상부에서 함수율과 평균 미생물 계수가 더 높게 나타나 상대적으로 미생물에 의한 영향도 적었음을 확인할 수 있었다.

변색부 시료에 대한 광학현미경 관찰 결과에서는 변색이 목부재의 가장 바깥쪽 표면에 한정하여 일어났으며, 형광현미경으로 관찰한 변색부와 정상부 시료의 관찰 결과에서

도 변색부와 정상부의 리그닌의 분포가 별 다른 차이점이 없는 것으로 나타나, 변색에 의한 영향이 목재 조직에까지 미치지 않는 것으로 해석할 수 있다.

변색부와 정상부 시료를 대상으로 한 SEM/EDS 분석 결과에서는 시료표면에서 크고 작은 알갱이들이 확인되었으며 변색부와 정상부 시료의 미세 성분에서는 약간의 차이가 나타났으나, 기둥 하부의 변색부와 정상부 시료에 대한 분석 결과를 보면 오히려 변색되지 않은 쪽의 Cl 함량이 더 높은 것으로 나타나 변색의 원인이 염에 의한 것은 아닌 것으로 판단된다. 이러한 결과는 목조문화재에서의 변색 현상이 석조문화재에서 나타나는 염화 현상과는 다른 원인에 의해 발생한 것이라는 것을 유추할 수 있게 해준다. 이번에 조사한 현충사 고택의 경우, 목재에서의 부위별(변색부와 정상부) 성분 차이보다는 오히려 시료 채취 위치에 따른 미세 성분 차이가 더 두드러지게 나타나 기둥 하부처럼 지면과 인접한 부위의 시료가 염에 의한 영향을 받았을 가능성이 있으며, 이 부분의 염은 토양 속에 염화칼슘이나 규산염의 형태로 존재하던 것이 수분의 영향으로 인해 용출된 것으로 판단된다.



이상의 결과로 볼 때, 목조건축물에서 발견되는 변색의 발생 여부는 강도와 직접적인 상관관계가 없었으며, 표면오염균 등 미생물에 의한 영향도 상대적으로 많지 않은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 표면오염균이 목재 표면의 추출성분, 손때, 먼지, 당분 등을 영양원으로 하여 살아갈 뿐, 목재 세포벽 성분을 이용하지 않기 때문에 목재의 강도에 미치는 영향은 미미하다(김윤수 외 2004: 90)는 기존의 연구결과와 일맥상통한다고 할 수 있다. 그러나 목재 중의 리그닌이 태양광에 함유되어 있는 자외선을 흡수하여 라디칼반응에 의해 저분자화 되며, 이러한 반응이 비교적 표층부에 제한되어 일어난다는 연구보고(片岡厚 2008: 165)와 침엽수재와 활엽수재 모두 태양광 폭로에 의해 목재 변색이 심하게 나타난다는 연구결과를 고려할 때 태양광(자외선)이 변색에 미치는 영향에 대해서는 추가적인 실험 연구가 이루어져야 하며, 이와 함께 다른 사례에서 나타나는 변색 현상과의 비교 분석이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 국립문화재연구소, 2011, 『목조문화재 방염제 성능개선을 위한 기초연구』, 국립문화재연구소 문화유산 융복합연구(R&D) 학술연구용역 보고서
- 국립문화재연구소, 2010, 『목재단면 저항성능조사』 『건축문화재 안전점검 실무편람』
- 김문규 · 정대교, 1986, 『韓國産 有用木材의 變色에 관한 연구』 『목재공학』 14(4)
- 김윤수 · 김규혁 · 김영숙, 2004, 『제2장. 목재의 미생물 열화』 『목재보존과학』, 전남대학교 출판부
- 김인범 · 현성호, 2008, 『단청목재의 방염특성에 관한 연구』 『한국화재소방학회 추계학술논문발표회 논문집』 13
- 도진영, 2007, 『도심에 위치한 석탑 표면 흑색층 내의 원소탄소성분과 그 기원연구』 『보존과학회지』 20
- 박천영 · 김광철, 2013, 『운봉 향교 정밀 모니터링을 통한 목재 기둥 부재의 함수율 분포 특성』 『한국가구학회지』 24(1)
- 안경모 · 공영토 · 조재명, 1986, 『목재의 오염에 의한 변색(2) - 한국산 활엽수재의 화학적 변색-』 『목재공학』 14(1)
- 위승곤 · 김익주 · 박영만 · 김윤수, 2001, 『방염 처리 고목재의 미생물 분해의 미시형태적 특징』 『한국문화재보존과학회 제14회 학술대회 발표논문집』
- 이규식 · 정소영 · 정용재, 2000, 『목조문화재의 원형보존을 위한 총해 방제방안』 『보존과학연구』 제21집, 국립문화재연구소
- 이미혜 · 전유근 · 이명성, 2013, 『의성 탑리리 오층석탑의 표면오염물 분석 및 손상메커니즘 해석』 『자원환경지질』 46(5)
- 정용재, 2013, 『생물손상의 이해』 『문화재생물학』, 주류성
- 한병일, 2008, 『한국 석조문화재의 보존방안 연구 - 보존처리 사례분석을 중심으로-』, 단국대학교 박사학위논문
- 片岡 厚, 2008, 『木材の光劣化とその深さ分析』 『木材學會誌』 Vol. 54, No. 4



Study on the Discoloration Identified from the Column of Wooden house, Hyunchungsa(Shrine) - Focused on Influence of Microorganisms and Correlation with Strength -

Jeong So-young^a · Seo Min-seok^a · Hong Jin-young^a · Kim Soo-ji^a · Jeong Ah-ruem^b · Kim Ji-seo^c

^a Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage

^b Conservation Science Center, National Research Institute of Cultural Heritage

^c Architectural Heritage Division, National Research Institute of Cultural Heritage

Abstract

In general, it is thought discoloration on wood is frequently found in decorative wood products. So this study was conducted focusing on white rot found lower parts of columns and baseboards of a wooden house, Hyunchungsa (shrine) to know whether microorganisms have any influence on discoloration or there is correlation with strength by investigating resistograph, occurrence of microorganisms and microscopy for analysis(SEM, tissue analysis etc.).

The results obtained were as follows: ① The result of measurement of resistograph showed there are little correlation between discoloration and strength though there was a spot indicating low resistance. ② The moisture content of discolored part was relatively higher than that of normal parts, but occurrence of microorganisms was less in discolored parts while more kinds of microorganisms were identified in normal parts with high CFU(Colony Forming Unit). ③ The result of SEM (with a magnification of 500 times) on the surface of discolored parts, it was found out there are many kinds of particles in different sizes on the surface and those were composed of elements such as C, O, Si, Ca, and a small amount of Na and Cl (weight %) were detected in part. ④ The result of tissue analysis showed discoloration occurs limitedly to the outer surface of column.

As these results, it is concluded that discoloration has nothing to do with strength, damage by microorganisms and salt.

Key Words Hyunchungsa, Discoloration, Microorganism, Strength, Moisture Content, Colony Forming Unit(CFU)