

## 붕산염 막대를 이용한 부후재의 구제처리

김규혁 · 김재진 · 김형준

고려대학교 산림자원환경학과, 서울특별시 성북구 안암동 5가 1

### Remedial treatment of decayed wood using borate rod

Gyu-Hyeok Kim, Jae-Jin Kim and Hyoung-Jun Kim

Department of Forest Resources and Environmental Sciences, Korea University,  
5-1 Anam-dong, Sungbuk-gu, Seoul 136-701, KOREA

**초록** 본 연구는 갈색부후균인 *Tyromyces palustris*와 *Gloeophyllum trabeum*에 의해 인공적으로 부후된 소나무 시험편을 대상으로 붕산염 막대를 이용한 부후재 구제처리 가능성을 조사하기 위해 수행하였다. 붕산염 막대 처리에 의한 구제처리, 즉 붕산염 막대로부터 확산·이동된 붕소 성분에 의한 기 존재하던 부후균의 박멸과 그 후 부후재에 잔존하는 붕소 성분에 의한 부후균의 재가해 예방이 가능함을 알 수 있었다. 그러나 보다 효과적인 구제처리를 위해서는 붕산염 막대 삽입 지점으로부터 확산거리에 따른 붕소 성분의 보유량 경사를 완만하게 하여 줌이 필요한데, 앞으로 확산기간의 연장과 붕소 투여량이 붕소 성분의 보유량 경사에 미치는 영향에 대한 연구가 필요하다고 본다.

**ABSTRACT** This study was conducted to investigate the feasibility of using a fused borate rod for the remedial treatment, using pine specimens decayed by *Tyromyces palustris* and *Gloeophyllum trabeum*. The borate rod appears to be a useful remedial product for eliminating as well as preventing decay. However, the easiness of retention gradient of boron according to the distance from a rod treatment site, is required for more effective treatment. The effect of the extension of diffusion period and rod size on retention gradient of boron should be fully investigated for successful remedial treatments using borate rod.

#### 1. 서론

문화재급 목조 건축물들의 많은 목부재들이 심각한 부후균의 가해를 받고 있다고 알려져 있으나, 이에 대한 전국 규모의 정확한 조사자료는 찾아볼 수 없다. 그러나 최근 이 등<sup>1)</sup>이 실시한 목조 사찰문화재의 부후 피해 조사결과, 조사대상의 약 50%에 해당하는 사찰의 목부재들이 부후 피해를

받고 있다고 한다. 우리의 귀중한 문화유산인 목조 건축물들을 계속 원형 그대로 보전하기 위해서는 이러한 부후균의 가해를 조기에 탐지하여 현장에서 부후를 중지시키는 조치가 필요하다. 현재 목재를 가해하고 있는 부후균을 박멸하여 부후를 중지시키고 동시에 부후균의 재가해를 방지하고자 실시하는 처리를 구제처리 (remedial treatment)라 한다. 부후는 발생된 목재 부위에 따라 표면부후와 내부부

후로 구분되는데, 부후 형태에 따라 구제처리 방법이 상이하다. 표면부후의 구제처리는 재 표면의 부후 부위를 긁어낸 후 혼합 방부제 반죽 (paste)을 두껍게 바르고 그 위를 비닐 계통의 내수성 재료로 감아주는 “preservative bandage system” 이라 불리는 방법에 의해 주로 실시된다. 내부부후의 구제는 주로 훈증처리 (fumigation)에 의해 실시되고 있는데, 이는 구제처리 대상 목재 내로 주입된 액체 또는 고체 상태의 훈증제가 기체로 휘발된 후, 부후 부위로 확산 이동되면서 가해균인 부후균을 박멸하고 그 후 목재 내에 일정기간 잔존하면서 부후균의 재가해를 예방해준다. 현재 사용되고 있는 대표적인 휘발성 훈증제로는 액체 상태인 Vapam®, Vorlex®, chloropicrin과 고체 상태인 MITC (methylisothiocyanate)를 들 수 있다. 이러한 휘발성 훈증제는 약제 자체의 인축에 대한 독성문제 때문에 취급이 용이하지 못할 뿐만 아니라 이의 사용에 따른 환경 위해 문제를 무시할 수 없다. 따라서 부후균에 대한 효능이 뛰어나면서 인축에 대한 독성이 낮고 친환경적 약제인 붕소 화합물이 휘발성 훈증제의 대체 구제처리제로서 각광을 받고 있다. 현재 북미, 대양주, 그리고 유럽에서는 주성분이 disodium octaborate인 붕소화합물을 녹인 후 원형 틀에 부어 냉각·성형시켜 만든 붕산염 막대가 실제 구제처리 현장에 많이 사용되고 있다.<sup>3,4</sup>

현재 국내에서는 내부부후에 대한 구제처리 방법대로 이루어지지 않을 뿐만 아니라, 이에 대한 연구도 전혀 수행되고 있지 않다. 그러나 적지 않은 문화재급 목조건축물의 부재들이 부후균의 가해를 받고 있는 현 상황에서 내부부후의 구제처리에 대한 종합적인 연구의 필요성은 매우 크다고 할 수 있다. 본 연구는 붕산염 막대를 이용한 구제처리의 기초 연구로서, 국내 고건축물에 많이 사용된 소나무 인공 부후 시험편에 처리된 붕산염 막대의 구제처리 효과, 즉 가해균류의 박멸 여부와 그 후 균류에 의한 재가해 예방 효과를 조사하고자 수행되었다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 부후 시험편의 준비

황단면 치수가 25×25 mm이고 길이가 150 mm인 소나무 변재 시험편 18개를 기전 소나무 (*Pinus densiflora*) 판재로부터 준비하였다. 한 쪽 방사단면의 중앙선을 기준으로 양 목구멍에서 10 mm 떨어진 위치에는 직경 6 mm, 깊이 15 mm인 균 접종용 구멍, 그리고 중앙부에는 직경이 6.35 mm이고 깊이가 19 mm인 붕산염 막대 삽입용 구멍을 뚫었다. 가압에 의해 시험편 내로 물을 주입하여 시험편의 함수율을 100 % 이상으로 높인 후, 시험편을 음지에서 기전하면서 함수율이 약 50 % 선에 도달하면 건조를 중지시키고 121°C 온도의 고압 멸균부를 이용하여 30분간 멸균하였다.

직경과 길이가 각각 5 mm인 원통형 목편을 소나무 변재로부터 준비하여 공시 부후균인 *Tyromyces palustris*와 *Gloeophyllum trabeum*이 왕성하게 생육하고 있는 malt extract-agar (MEA) 배지 위에 14일간 올려놓아서 목편을 부후시켰다. 부후된 목편을 무균상태에서 시험편 (균주별로 6개의 시험편) 양 끝에 미리 천공된 균 접종용 구멍에 집어 넣은 후, 멸균 증류수로 포화된 질석 (vermiculite)을 바닥에 깔고 있는 버섯재배용 봉지 내에서 12주간 강제부후시켰다.

12주간의 강제부후가 종료된 후, 균주별로 3개의 시험편을 대상으로 양쪽 끝 10 mm 부분을 절단하여 함수율을 측정하였고, 나머지 130 mm 부분에 대해서는 균 접종구멍이 있는 면을 기준으로 두께 10 mm의 slice를 수평절단에 의하여 채취하였다. 채취된 slice에서 절단에 의해 새로이 노출된 면을 길이방향으로 삼등분하는 두 선을 따라 양쪽 균 접종구멍으로부터 20, 40, 65 mm (시험편의 중앙부) 떨어진 위치에서 작은 chip을 채취하여 시험편의 부후 여부를 확인하였다. 부후 여부는 benomyl이 첨가된 MEA 배지에 올려놓은 chip으로부터 균사의 발생 여부를 확인함에 의해 결정하였다.

### 2.2. 붕산염 막대처리 및 확산조사

12주간 강제부후된 시험편 (균주별로 6개의 시험편)의 중앙부에 미리 뚫어 놓은 구멍에 무수 disodium octaborate ( $\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13}$ , 82% boric oxide equivalent)가 성분인 붕산염 막대 (Impel Rod®, Chemical Specialities, Inc., Charlotte, NC, U.S.A.)를 삽입한 후, 원통형 목편을 이용하여 밀

봉하였다. 붕산염 막대가 처리된 시험편을 다시 멸균 증류수로 포화된 질석 (vermiculite)을 바닥에 깔고 있는 버섯 재배용 봉지 내에 넣고 4주간 붕산염 막대로부터 붕소 성분의 확산을 도모하였다.

**2.3. 붕소의 확산거리 및 보유량 측정과 구제처리 효과 분석**

4주간의 확산을 종료시키고 시험편의 양쪽 끝 10 mm 부분을 절단하여 함수율을 측정하였고, 나머지 130 mm 부분에 대해서는 균 접종구멍이 있는 면을 기준으로 두께 10 mm의 slice 두개를 수평절단에 의하여 채취하였다. 채취된 하나의 slice에서는 절단에 의해 새로이 노출된 면에 붕소 지시약인 circumin을 분무하여 붕소성분의 수축방향 확산정도를 파악하였다.

그리고 구제처리에 의한 기존 가해균류의 박멸 여부는 시험편으로부터 부후균의 재분리 여부에 의해 결정하였다. 나머지 slice의 중앙부 붕산염 막대 삽입구멍을 기준으로 중앙선을 따라 5 mm 간격으로 작은 chip을 채취하여 benomyl이 첨가된 MEA 배지에 올려놓고 배양하면서 부후균의 재분리를 시도하였다. chip을 채취하고 난 후, 붕산염 막대 삽입 구멍을 기준으로 두께 5 mm의 박편을 연속적으로 채취하여 붕소의 보유량을 Azomethine-

H 방법에 의해 정량하였다.

가해균류의 박멸 후 부후균의 재가해 예방 여부는 4주간 확산이 종료된 시험편에서 막대 삽입구멍을 기준으로 좌우로 길이 10 mm로 절단된 소형 시험편을 채취하여 12주간 강제부후를 실시하여 시험편의 중량감소율에 의해 조사하였다. 강제부후는 미국 방부협회가 제시하고 있는 soil-block 시험법<sup>2</sup>에 의해 실시되었는데, 본 연구에서는 흙 대신에 질석을 사용하였다.

**3. 결과 및 고찰**

*T. palustris*와 *G. trabeum*을 접종하여 12주간 강제로 부후시킨 시험편을 대상으로 부후균을 재분리한 결과, 모든 시험편의 중앙부까지 부후균이 완전히 가해한 것으로 나타나서 부후 시험편을 구제처리용 시험편으로 사용하는데 문제가 없음을 알 수 있었다. 강제부후 기간중 부후균의 왕성한 생육을 위해서 시험편의 함수율이 중요한데, 참고로 12주간의 강제부후 직후 측정된 부후 시험편들의 함수율은 38~69%의 범위 (평균: 52%)였다.

붕산염 막대 삽입후 4주간 확산·저장된 부후 시험편 내에서 발생된 붕소 성분의 수축방향 확산 거리를 Table 1에 보여주는데, 막대 삽입 구멍의

**Table 1.** Longitudinal diffusion distance of boron from fused borate rod through the decayed specimen.

Fungus used for sample decay	Longitudinal diffusion distance (mm)			
	Reps.	Left from rod treatment site	Right from rod treatment site	Average
<i>Tyromyces palustris</i>	1	63.0	62.0	62.5
	2	43.9	43.0	43.5
	3	53.7	54.9	54.3
<i>Gloeophyllum trabeum</i>	1	40.4	40.0	40.2
	2	49.5	42.9	46.2
	3	48.0	41.9	45.0

**Table 2.** The success in re-isolating the test fungi from samples receiving borate rod treatment after 4 weeks diffusion.\*<sup>1</sup>

Fungus	Distance (mm) of isolation point from rod treatment site(*)																						
	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	*	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
<i>T. palustris</i>	Y2	Y2	Y1	Y1	N	N	N	N	N	N	N	-	N	N	N	N	N	N	N	N	Y2	Y2	Y3
<i>G. trabeum</i>	Y3	Y3	Y3	Y3	Y2	Y1	N	N	N	N	N	-	N	N	N	N	N	Y1	Y2	Y3	Y3	Y3	Y3

\*1Y=Fungus was re-isolated after 4 weeks diffusion of boron from borate rod, N=Fungus could not be re-isolated after 4 weeks diffusion of boron from borate rod; The number following 'Y' is the frequency (out of 3) of fungal re-isolation.

로부터 최소 40 mm 이상의 확산이 관찰되었다. 시험편에 따른 붕소 성분의 확산거리 차이는 주로 시험편간의 함수율 차이와 부후도 차이에 따른 시험편간의 밀도 차이에 기인하였으리라 사료된다. 참고로 4주간 확산 종료시 측정된 시험편의 함수율은 40~77%의 범위 (평균: 51%)였다. 부후 시험편의 밀도는 별도로 측정되지 않았으나 시험편간의 부후도 차이가 어느 정도 존재한 관계로 밀도 차이도 존재하였을 것으로 사료된다.

붕산염 막대 삽입 후 4주가 경과된 시험편으로부터 부후균을 재분리한 결과를 Table 2에 보여주는데, *T. palustris* 부후 시험편의 경우는 막대 삽입 구멍으로부터 35~40 mm, 그리고 *G. trabeum* 부후 시험편의 경우는 막대 삽입 구멍으로부터 25 mm까지의 부후균이 완전히 박멸되었음을 알 수 있었다. 이 결과로부터 붕산염 막대 처리에 의한 구제처리, 즉 막대로부터 확산된 붕소 성분에 의해 부후재에 존재하는 부후균의 박멸이 가능함을 알 수 있었다. 붕소 성분의 확산·이동이 정색반응에 의해 확인된 지점이지만 막대 삽입 지점에서 멀리 떨어진 곳에서는 붕소 성분이 부후균을 박멸하지

못함이 관찰되었는데, 이는 확산·이동된 붕소 성분의 양이 부후균에 대한 독성 한계치 (toxic threshold value) 미만이었음을 의미한다. Fig. 1은 4주 확산 후에 관찰된 붕산염 막대 삽입 위치로부터 거리에 따른 붕소성분의 보유량 경사를 보여준다. 확산기간이 연장되면 이러한 보유량 경사가 완만해지면서 막대 삽입 지점으로부터 멀리 떨어진 위치의 붕소 성분 보유량도 증가하여 부후균에 대한 독성 한계치 이상으로 된다. 따라서 확산기간을 연장한다면 막대 삽입 지점으로부터 멀리 떨어진 지점의 부후균도 완전하게 박멸할 수 있으리라 사료된다.

기 존재하는 부후균을 박멸한 후 처리 시험편내에 잔존하는 붕소 성분에 의한 부후균의 재가해 예방 여부를 조사하기 위하여 4주간 확산이 종료된 시험편에서 채취한 소형 시편을 12주간 강제부후시킨 결과, 붕산염 막대 삽입 위치로부터 거리에 따른 시편의 중량감소율을 Fig. 2에 보여준다. *T. palustris*의 경우, 막대 삽입 구멍으로부터 30 mm 지점까지의 중량감소율은 12~15% 정도이나 30 mm 이후 지점에서의 중량감소율은 갑자기 증가하여 무처리 시편의 중량감소율 (59.13%)와 비슷하였다. *G. trabeum*의 경우는 막대 삽입 구멍으로부터 가장 멀리 떨어진 지점에서의 중량감소율도 무처리 시편의 중량감소율 (60.84%)보다 낮았으나 붕소 성분의 보유량이 높은 막대 삽입 구멍으로부터 30 mm 지점까지의 중량감소율은 *T. palustris*의 경우보다 약간 높았다. 부후균의 종류에 관계없이 붕소 성분의 보유량이 높은 지점에서조차도 중량감소율이 10~20%로 높았으나 본 실험에서 적용된 부후조건이 워낙 강한 조건임을 고려할 때, 부후재 내의 부후균을 박멸하고 난 후 부후재에 잔존하는 붕소 성분에 의한 부후균의 재가해 예방 가능성을 알 수 있었다.

붕산염 막대 삽입 후 4주가 경과된 시험편으로부터 부후균을 재분리한 결과 (Table 2)에 의하면 *G. trabeum*의 독성 한계치가 *T. palustris*보다 높은 것으로 나타났다. 그러나 Fig. 2에 보여주는 결과에 의하면 막대 삽입 지점으로부터 30 mm까지는 *T. palustris*의 독성 한계치가 *G. trabeum*보다 높은 것으로 낮으나 30 mm 이후 지점부터는 반대 현상을 보였다. 두 균주간의 독성 한계치에 대한

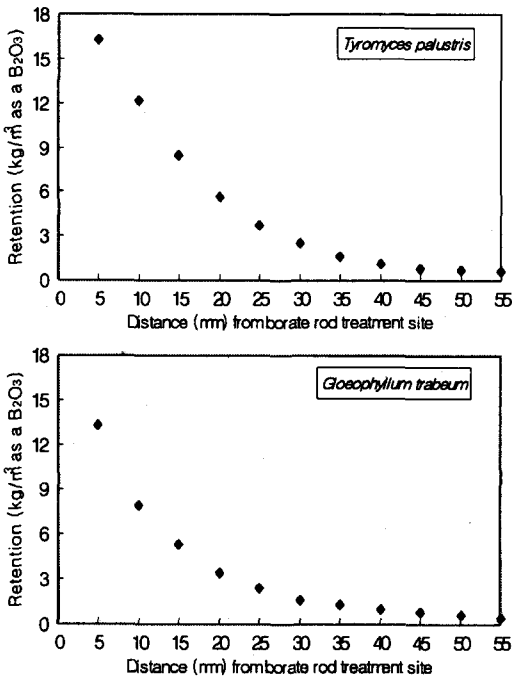


Fig. 1. Retention gradient of boron according to the distance from the rod treatment site.

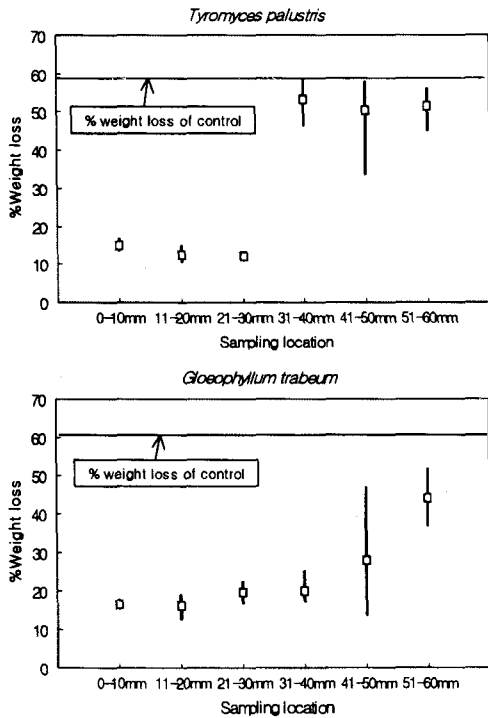


Fig. 2. Percent weight loss according to the distance from the rod treatment site.

이러한 일관성의 부족은 가해중인 부후균 박멸 시험용 시험편과 부후균의 재가해 예방 시험용 시험편 간에 붕소 성분의 보유량 차이와 막대 삽입 지점으로부터 거리에 따른 보유량 경사의 차이가 크지는 않지만 어느 정도 존재하였기 때문이라 사료된다. 앞으로 부후 목부재로부터 부후균을 직접 분리하여 이들에 대한 붕소 성분의 독성 한계치를 결정하는 연구가 필요한데, 이러한 연구 결과는 구제처리시 사용하여야 할 붕산염 막대의 크기, 즉 붕소의 투여량을 결정하는데 중요한 자료가 될 것이다.

#### 4. 결론

실험실 규모의 소규모 실험 결과, 붕산염 막대를 이용한 부후재의 구제처리 가능성을 알 수 있었다. 그러나 효과적인 구제처리, 즉 막대 삽입 위치로부터 멀리 떨어진 위치의 부후균 박멸과 그후 부후균에 의한 재가해 예방을 위해서는 확산기간을 연장하여 확산거리에 따른 붕소 성분의 보유량 경사를 완만하게 하여 줌이 필요하였다. 앞으로 붕소 성분의 확산에 미치는 목재 시편의 부후 정도와 붕소의 투여량에 따른 구제처리 효과를 구명함과 동시에 실제 야외 실험을 통해 붕산염 막대를 이용한 구제처리의 현장 적용 가능성을 입증할 예정이다.

#### 5. 참고문헌

1. 이동흡·강창호·손동원. "목조 사찰문화재의 생물열화 피해실태 조사", '99 한국목재공학회 학술발표논문집, 1999: pp 144-149.
2. American Wood-Preservers' Association, "Book of Standards", Woodstock, Maryland, U.S.A., 1997.
3. D. J. Dickinson, "Remedial treatment: in-situ treatments and treatments historical structures", in *First international conference on wood protection with diffusible preservatives*, Forest Products Society, Madison, WI, U. S. A. 1990.
4. J. N. R. Ruddick and A. W. Kundzewicz, "Fused boron rod treatment of heritage structures", *Proceedings of 12th Annual Meeting*, Canadian Wood Preservers' Association, Association, 1991: pp 277-289.