

소나무와 잣나무에서 붕산염 막대로부터 붕소의 확산

오충섭 · 김재진 · 김규혁

고려대학교 산림자원환경학과, 서울특별시 성북구 안암동 5가 1

The Diffusion of Boron from Borate Rod through *Pinus densiflora* and *Pinus koraiensis*

Choong-Sup Oh, Jae-Jin Kim, and Gyu-Hyeok Kim

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

초록 본 연구는 붕산염 막대(borate rod)를 이용한 고건축물 부재의 부후 구제처리에 대한 기초 연구로서, 소나무와 잣나무에서 붕산염 막대로부터 붕소의 확산시 목재 함수율과 확산기간의 영향을 조사하고자 수행하였다. 함수율이 15, 25, 40%로 조정된 목재 시험편에 1,000 mg의 붕산염 막대를 삽입한 후, 상온에서 2, 4, 8, 12주간 확산시키고 붕소 성분의 수축 및 횡단방향 확산정도를 평가하였다. 붕소의 원활한 확산을 위해서는 적어도 섬유포화점 이상의 목재 함수율이 요구되었으며, 또한 확산기간이 연장될수록 붕소의 확산 정도가 증가하였다. 붕소 확산의 이방성이 관찰되었는데, 수축방향 확산이 횡단방향보다 훨씬 우수하였으며 횡단방향에서는 방사방향 확산이 접선방향보다 우수하였다. 동일 함수율과 확산기간의 조합에서도 확산 정도는 수종간에 조금씩 상이하였는데, 모든 방향에서 잣나무를 통한 확산이 가장 용이하였다. 소나무 심재를 통한 수축방향 확산이 변재를 통한 확산보다 용이하였으며, 횡단방향 확산의 경우는 큰 차이는 없었으나 변재를 통한 확산이 심재를 통한 확산보다 약간 양호하였다. 함수율 40%와 확산기간이 12주인 시험편에 대한 결과를 기준으로 할 때, 붕산염 막대의 수축방향 적정 처리간격은 소나무 심재와 잣나무 심재의 경우는 약 120 mm, 소나무 변재의 경우는 60 mm이고, 횡단방향은 수종에 관계없이 공히 약 30 mm이었다. 그러나 보다 정확한 붕산염 막대의 적정 처리간격을 구명하기 위해서는 앞으로 붕산염 막대의 크기와 장기 확산저장이 붕소 성분의 확산에 미치는 영향에 대한 보다 심도 있는 연구가 필요하다고 생각된다.

ABSTRACT The effects of moisture content (MC) and diffusion period on the diffusion of boron from borate rod through *Pinus densiflora* and *P. koraiensis* were investigated as a preliminary research of integrated remedial treatment for heritage wooden structures using borate rod. After equilibrating MCs of samples (15, 25, and 40%), borate rod (1,000 mg) was inserted into the sample, and stored for diffusion of boron at room temperatures (23°C) for 2, 4, 8, and 12 weeks. Wafers were serially cut at constant intervals from rod treatment point and the boron penetration through longitudinal and transverse direction was measured by staining with boron indicator. For boron diffusion, MC above fiber saturation point was needed, and the diffusion rates increased with time. The fastest rates of diffusion were observed in longitudinal direction, followed by the radial and then the tangential direction. The rates of diffusion in all directions

were the fastest in *P. koraiensis*. In *P. densiflora*, the diffusion rates through heartwood was faster than that in sapwood in longitudinal direction and *vice versa* in transverse direction. Based on the best result of this study, optimal space between rod insertion points could be recommended as follows; approximately 120 mm for *P. koraiensis* and heartwood of *P. densiflora*, 60 mm for sapwood of *P. densiflora* in longitudinal direction, and approximately 30 mm for all species tested in transverse direction. However, the effect of rod size and long-term exposure for diffusion on boron movement should be fully investigated for the accurate evaluation of optimal space between rod holes.

1. 서론

정확한 조사 결과는 없으나 문화재급 목조 건축물내 많은 목부재들이 심각한 부후균의 피해를 받고 있다고 알려져 있다. 우리의 귀중한 문화유산인 목조 건축물들을 계속 원형 그대로 보존하기 위해서는 이러한 부후균의 피해를 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 표면부후(surface decay)와 내부부후(internal decay)로 구분되는데, 부후 형태에 따라 구제처리 방법이 상이하다.

표면부후의 구제처리는 재표면의 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. 여기에 사용되는 대표적인 방부제 반죽으로는 미국 Osmose사의 Osmoplastic® (sodium fluoride, creosote, potassium dichromate로 구성)과 ISK Biosciences사의 CuRap® (copper naphenate와 sodium tetraborate decahydrate로 구성)이 있다. Sodium fluoride와 sodium tetraborate decahydrate는 목재 내부로 확산 침투하여 목재 내에 남아있는 부후균을 박멸하고, creosote, potassium dichromate, copper naphenate는 표면에 남아 있으면서 외부로부터 부후균의 재가해를 막아주는 역할을 한다.

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 가

해중인 부후균을 박멸하고 그 후 목재 내에 일정 기간 잔존하면서 부후균의 재가해를 예방해준다. 현재 사용되고 있는 대표적인 휘발성 훈증제로는 액체 상태인 Vapam® (sodium methyldithiocarbamate), Vorlex® (methylisothiocyanate in chlorinated C₃ hydrocarbon), chloropicrin (trichloronitromethane)과 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 환경 친화적 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 봉신염 막대가 실제 구제처리 현장에 많이 사용되고 있다.^{1,2} 봉신염 막대로부터 확산된 붕소 성분은 목재 내의 재반 부후균들을 효과적으로 박멸할 수 있으나, 수분과 접촉시 목재 밖으로 용탈되는 단점이 있다. 그리고 휘발성 훈증제에 비하여 목재내 확산 속도가 매우 느릴 뿐만 아니라 붕소의 목재내 확산은 목재 함수율의 영향을 크게 받는다. 또한 수축방향으로의 붕소 확산은 용이하지만 횡단방향으로의 확산이 매우 더디게 일어나는 문제점도 있다. 그러나 약제 자체의 사용 및 환경 안전성이 매우 우수하기 때문에 봉신염 막대의 구제처리 사용은 상기한 단점들에도 불구하고 꾸준히 증가되리라 본다.

현재 국내에서는 내부부후에 대한 구제처리가 이루어지지 않을 뿐만 아니라, 이에 대한 연구도 전혀 수행되고 있지 않다. 그러나 적지 않은 문화재급 목조 건축물의 부재들이 부후균의 가해를 받고 있는 현 상황에서 내부부후의 구제처리에 대한

종합적인 연구의 필요성은 매우 크다고 할 수 있다. 본 연구는 봉산염 막대를 이용한 구제처리의 기초 연구로서 국내 고건축물에 많이 사용된 침엽수인 소나무(*Pinus densiflora*)와 잣나무(*Pinus koraiensis*)를 대상으로 목재 흡수율과 확산기간이 봉산염 막대로부터 붕소 성분의 확산에 미치는 영향을 파악하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 시험편의 준비 및 흡수율 조정

직경이 35 cm 전후인 소나무와 잣나무 원목을 숲에서 구입하여 일정 두께의 판재로 제재한 후 실내에서 기건 시켰다. 기건 판재로부터 횡단면의 치수가 30x30 mm이고 길이가 200 mm인 시험편들을 필요량 준비하였다. 변재율이 비교적 높은 소나무는 변재부와 심재부 시험편을 채취하였으나 잣나무는 심재부에서만 시험편을 분리하여 채취하였다. 준비된 각 시험편의 기건 밀도를 측정 한 후, 각 수종의 흡수율과 확산기간의 조합별로 그룹 간에 밀도분포가 서로 비슷하도록 시험편을 배치하여 붕소 성분의 확산에 대한 밀도의 영향을 최소화하였다.

충새포법 (760 mmHg에서 30분간 진 배기 후 14 kg/cm²의 압력으로 2시간 가압)을 이용하여 일단 시험편 내로 물을 주입하여 시험편의 흡수율을 80% 이상으로 높였다. 그리고 나서 시험편을 욕지에서 기건시키면서 수종별로 시험편의 흡수율이 목적 흡수율 (15, 25, 40%)에 도달하면 건조를 중지시키고 더 이상의 수분손실을 막기 위하여 바로 파라핀을 이용하여 시험편 전면을 피복하였다. 그리고 나서 붕소 확산을 영향하는 시험편의 횡단방향 흡수율 분포가 균일하게 되도록 시험편들을 2주간 냉장·보관하였다. 물 주입 후 건조중인 시험편들의 흡수율은 다음과 같은 방법에 예측하였다. 확산 시험용 시험편을 채취하면서 시험편의 양끝에서 길이 40 mm의 소형 시편을 흡수율 예측을 위한 시험편의 전진중량 예측용으로 별도 준비하였다. 이렇게 준비된 소형 시편의 전진중량을 측정 한 후, 이들 중량의 5배(= 200 mm/40 mm)를 각 시험편의 전진중량으로 하여 시험편의 흡수율을 예측하였다.

2.2 봉산염 막대의 삼입과 확산조사

시험편의 목구멍에서 15 mm 떨어진 지점에 직경이 6.35 mm이고 길이가 21.25 mm인 구멍을 뚫고 무수 disodium octaborate($\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13}$, 82% boric oxide equivalent)가 성분인 봉산염 막대 (Impel Rod[®], Chemical Specialities, Inc., Charlotte, NC, U.S.A.)를 삼입한 후 실리콘으로 밀봉하였다. 확산은 상온 (23°C)에서 2, 4, 8, 12주간 실시하였다.

2.3 확산거리 측정

정해진 기간이 경과되면 확산처리를 종료하고 각 시험편으로부터 두께 6 mm 박편을 봉산염 막대 삼입 위치를 기준으로 10 mm 간격으로 연속적으로 횡절단에 의해 채취하였다. 더 이상의 붕소 확산을 중지시키기 위하여 채취된 박편을 103°C에서 완전 건조시킨 후, 횡단면을 사포로 가볍게 연마하여 횡절단중 톱날에 의한 붕소 성분의 이동 가능성을 최소화하였다.

채취된 박편내 붕소의 존재 여부는 정색반응에 의해 확인되었는데, 본 연구에서 사용한 정색반응은 미국 목재방부협회와 표준규격 AWPA A3-95에 의거하였다³. 먼저 10 g의 curcumin을 95% ethanol 90 ml에 녹인 1차 정색시약과 6 g의 salicylic acid와 20 ml의 진한 염산을 100 ml의 ethanol에 녹인 2차 정색시약을 연속적으로 박편의 표면에 분부하였다. 1차 정색시약의 분부에 의해 재면의 색이 노란 색으로 변하고, 2차 정색시약의 분부시 붕소가 존재하는 경우에는 색의 변화가 다시 나타난다. 색의 변화는 붕소의 보유량에 따라 Table 1에서 보여주는 것처럼 상이한데, 본 연구에서는 부후균에 대한 붕소의 특성 한계치를 고려하여 밝은 적색(bright red)으로 색이 변한 지점까지만 붕소 성분이 확산된 것으로 간주하였다. 수축방향 확산거리리는 박편이 봉산염 막대 삼입위치를 기준으로 10 mm 간격으로 채취되었기 때문에 각 박편의 정색 여부에 따라 10 mm 단위로 결정하였다. 그리고 횡단방향 확산거리는 봉산염 막대와 바로 인접한 위치에서 채취된 박편과 수축방향 확산이 발생된 모든 박편을 대상으로 측정하였는데, 박편의 기하학적 중심점을 기준으로 방사 및 접선방향의 확산거리를 측정하였다. 그리고 붕소의 횡단

Table 1. The range of color changes after spraying of second solution according to the retention of boron.

Color	Bright red	Red brown	Brown yellow	Yellow (no color change)
Retention (% boric acid on dry wood)	0.3 or more	0.25	0.20	less than 0.15

방향 확산 형태가 불규칙하기 때문에 각 방향별로 최대 및 최소 확산거리를 측정하여 이들의 평균치를 확산거리로 하였다.

3. 결과 및 고찰

수종별로 함수율과 확산기간 조합에 따른 불산염 막대내 붕소의 수축 및 횡단방향 확산거리를 Table 2에 요약하였다. 붕소의 확산속도는 예상했던 대로 방향에 관계없이 함수율과 확산기간이 증가할수록 증가하였다.

3.1 수축방향 확산

함수율 15%에서는 확산이 전혀 관찰되지 않았으며, 함수율 25% 시험편에서는 2주 확산의 소나무 변재와 2, 4주 확산의 잣나무를 제외하고는 어느 정도의 붕소 확산이 관찰되었으나 그 정도는 미미하였다. 함수율 40%에서는 모든 공시수종에서 확산 2주부터 확산이 관찰되었다. 그 동안의 연구 결과들에 따르면 붕소의 확산을 위해서는 소나무나 마 세포내강 내에 확산매체 역할을 하는 자유수가 존재하여야 한다고 한다^{5,7}. 공시수종들의 섬유포화점을 수확등온선법을 이용하여 측정한 결과를 Table 3에 보여주는데, 모든 공시수종들의 섬유포화점이 25% 이상인데도 시험편 함수율 25%에서 확산이 관찰된 이유를 다음과 같이 설명할 수 있다. 첫째는 시험편들의 평균 함수율은 25%이지만 시험편 내에 부분적으로 함수율이 25% 이상, 즉 섬유포화점 이상인 부위가 존재하였기 때문에 확산이 발생하였을 것이다. 따라서 향후 실험시는 함수율 조정후 실시되는 횡단방향 확산을 검사 완화기간을 본 연구에서 사용한 2주보다 연장시킬 필요가 있다고 본다. 참고로 Morrell⁸은 시험편 내 함수율 경사를 없애기 위해서는 최소 4주간이 필

요하다고 하였다. 둘째는 시험편의 함수율이 섬유포화점보다 낮아서 세포내강에 자유수가 존재하지 않아도 확산기간이 연장되면 미미하나 확산이 발생할 수도 있다는 것이다. 이에 대한 설명은 현재로서는 불가능하나, 앞으로 이러한 현상을 구명하기 위한 연구가 필요하다고 본다.

붕소 확산에 대한 확산기간의 영향을 살펴보면 일반적으로 시간이 연장될수록 확산은 증가되었다. 확실한 확산이 발생하는 함수율 40% 시험편을 대상으로 확산기간의 연장에 따른 확산거리 증가는 예상과 달리 증가 정도가 완만하였다. 이러한 현상은 본 연구에 사용된 불산염 막대의 크기와 관련된다고 생각된다. Morrell 등⁹은 붕소 투여량(dosage)을 증가시킬수록 동일 확산기간에서 붕소의 확산정도가 증가한다고 하였는데, 이는 투여량이 많을수록 확산기간의 연장에 따른 확산거리의 증가 정도가 팽라짐을 의미한다. 본 연구에서는 시판 불산염 막대중 제일 작은 것(중량: 약 1.0 gram)을 사용하였기 때문에 확산기간이 확산거리에 미치는 영향이 예상했던 바와는 달리 크지 않았다고 말할 수 있을 것이다.

Figure 1은 함수율 40%인 시험편들의 확산기간 별 붕소의 수축방향 확산거리 및 이들의 평균치를 수종별로 보여준다. 확산기간에 따른 수종간 확산거리의 차이가 조금씩 존재하나, 전반적으로 볼 때 소나무 변재를 통한 확산이 가장 불량하였고 잣나무를 통한 확산이 가장 양호함을 알 수 있었다. 함수율이 동일할 경우 수종간 확산속도를 영향하는 인자로서 수종의 비중을 생각할 수 있는데, Eaton과 Hale¹⁰은 비중과 확산속도간의 관계는 반비례 관계, 즉 비중이 낮을수록 확산속도가 증가한다고 하였다. 본 연구에 사용된 공시수종들의 생체비중을 Table 3에 보여주는데, 만일 함수율이 동일한 경우 수종간 확산속도의 차이가 전적으로 비중의 영향을 받는다면 평균 확산거리는 잣나무, 소나무 변재, 소나무 심재 순으로 짧아져야 한다. 그러나 이러한 가정은 본 연구의 결과와는 일치하지 않는데, 이는 비중 외에도 붕소의 확산을 영향하는 다른 목재인자가 존재함을 의미한다. 현재로서는 단언하기는 어렵지만 수종간 추출물 함량 차이와 목재와 붕소 성분간의 상호작용이 상이함 때문에 수종간 확산정도의 차이가 발생된다고 생각되는데,

Table 2. Diffusion distance(mm) of boron from borate rod according to the combination of moisture contents and diffusion periods.

Diffusion period (weeks)	MC (%)	<i>Pinus densiflora</i> (sapwood)			<i>Pinus densiflora</i> (heartwood)			<i>Pinus koraiensis</i>		
		L ^{*1}	R ^{*2}	T ^{*3}	L	R	T	L	R	T
2	15	0 ^{*4}	6.8 (5-8) ^{*5}	3.7 (2.5-5)	0	9.1 (7-14)	5.4 (2.5-8.5)	0	4 (0-7.5)	2.5 (0-5)
	25	0	8 (7.5-9)	5.4 (2.5-7.5)	6 (0-10)	10.6 (6.5-14)	6.7 (5-8.5)	0	10.2 (9-11)	6.6 (5.5-7.5)
	40	10 (10-10)	14.5 (11-17.5)	8.2 (6.5-10.5)	23.3 (20-30)	12.5 (6.5-15.5)	8.8 (4.5-14.5)	40 (30-50)	15.5 (13.5-17)	13.8 (9-16)
4	15	0	4.4 (0-8)	2.9 (0-5)	0	8.6 (5.5-11)	5.5 (4.5-7)	0	4.3 (0-8.5)	3.6 (0-8)
	25	2 (0-10)	9.9 (6-13.5)	7.1 (5-10.5)	5 (0-10)	12.8 (8-16.5)	9.3 (5-14)	0	11.9 (10-15)	7.8 (7-8.5)
	40	16.7 (10-50)	11.5 (7-18.5)	7.8 (5.5-11)	23.3 (20-30)	15.5 (15-16)	12.5 (9.5-14.5)	50 (20-80)	17.1 (16-18.5)	14.6 (11.5-17)
8	15	0	6.6 (5-8.5)	5.5 (4-6)	0	7.6 (5.5-11)	4.8 (3-8.5)	0	7.2 (2-9)	6.4 (4.5-10)
	25	5 (0-10)	12.8 (9.5-16)	8.4 (5-11)	7.5 (0-10)	12.8 (11.5-16)	7.4 (5-8.5)	6 (0-10)	12.2 (9-15.5)	9.1 (8-10)
	40	28 (10-50)	17.5 (13-21)	10.6 (6.5-14)	45 (20-100)	15.6 (15-16.5)	12.0 (10-14.5)	52.5 (30-70)	16.9 (15.5-19)	12.6 (11.5-15)
12	15	0	9.4 (8.5-11)	5.6 (2-8.5)	0	8.6 (7-11.5)	5.9 (4-8.5)	0	8.3 (7.5-9)	5.0 (5-5)
	25	2.5 (0-10)	11.1 (8.5-14)	8.9 (7-12)	7.5 (0-20)	11.5 (8-15)	8.5 (7-11)	8 (0-20)	12.1 (5.5-16)	7.6 (7-11.5)
	40	30 (20-40)	16.6 (16-17.5)	14.1 (13-14.5)	64 (50-110)	17.1 (16-18.5)	15.5 (12.5-18)	60 (40-80)	17.1 (15-20)	14.0 (12-16.5)

^{*1} L represents longitudinal direction.^{*2} R represents radial direction.^{*3} T represents tangential direction.^{*4} Values represent means of five replicates.^{*5} Values represent the range of boron diffusion distance.**Table 3.** Fiber saturation point and green specific gravity of various species used in this study. ^{*1}

Property	Species	<i>Pinus densiflora</i> (sapwood)	<i>Pinus densiflora</i> (heartwood)	<i>Pinus koraiensis</i>
Fiber saturation point(%)		26.5	25.6	29.2
Green specific gravity		0.42	0.45	0.35

^{*1} Values represent means of ten specimens.

앞으로 이에 대한 보다 심도 깊은 연구가 필요하다고 본다. 소나무의 경우 심재를 통한 확산이 변

재를 통한 확산보다 용이하였다. 동일 수종에서 소나무 심재와 번재간의 확산정도 차이에 대한 그

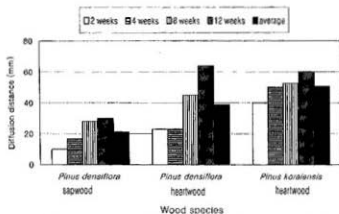


Fig. 1. Comparison of longitudinal diffusion of boron among species(at 40% MC).

동안의 연구 결과들을 살펴보면 Becker¹⁾는 구주적송(*Pinus sylvestris*)의 경우 심재와 변재간에 붕소화합물의 확산 차이가 없다고 보고하였으나, Dietz와 Schmidt²⁾는 ponderosa pine (*Pinus ponderosa*)의 경우 변재를 통한 붕소 확산이 심재를 통한 확산보다 우수하다고 하였다. 따라서 심재와 변재간의 확산 정도 차이는 수종에 따라 일정치 않은데, 이는 앞서 지적한대로 확산에 대한 추출물의 영향과 목재와 붕소 성분간 상호작용의 영향 가능성을 뒷받침해준다.

3.2 횡단방향 확산

붕소의 횡단방향 확산은 수축방향 확산과는 달리 함수율 15%와 25%인 시험편에서도 뚜렷이 관찰되었다. 이는 함수율의 영향에 의한 확산·이동이라기 보다는 확산 측정용 박편이 봉산염 막대 삽입 지점과 바로 접한 위치에서 절단·채취된 관계로 톱날에 의해 봉산염 막대로부터 붕소 성분의 일부가 박편의 확산 측정 면에 묻었기 때문이라 생각된다. 수축방향 확산을 측정하기 위해 채취된 박편에서 수축방향 확산과 동시에 발생된 횡단방향 확산을 조사하였는데, 그 결과를 Figure 2에 보여준다. 함수율 25% 시험편에서도 봉산염 막대 삽입 위치로부터 최대 20 mm 떨어진 지점까지 붕소의 횡단방향 확산이 관찰되었는데, 이 역시 수축방향 확산에서 설명한 바와 같은 이치에 의한다고 생각된다. 확산기간이 붕소의 횡단방향 확산에 미치는 영향은 본 연구에 사용된 시험편의 치수가 작아서 조사할 수 없었다. 즉 함수율이 40%인 시험편의 경우 확산기간 2주부터도 수종에 따라서는

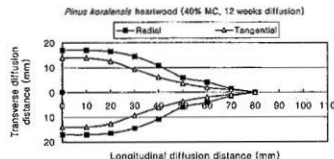


Fig. 2. Transverse diffusion of boron measured using wafers cut for the evaluation of longitudinal diffusion (●: rod insertion point).

붕소의 횡단방향 확산거리가 시험편의 횡단 치수보다 긴 경우가 종종 발견되었기 때문에 확산기간의 영향에 대한 조사는 불가능하였다. 따라서 추후 횡단 치수가 더 큰 시험편을 사용하여 이에 대한 연구를 수행할 필요가 있다고 본다.

Figure 3은 함수율이 40%이고 확산기간이 2주인 시험편들의 횡단방향, 즉 방사 및 접선방향으로의 붕소 확산거리와 이들의 평균치를 보여준다. 일반적으로 볼 때 횡단방향으로 붕소의 확산속도는 잣나무>소나무 변재≥소나무 심재의 순으로 나타났다. 공시 수종중 잣나무의 경우는 수축과 횡단방향 확산속도가 가장 우수하나, 소나무의 경우는 심재와 변재간 횡단방향 확산속도 차이가 수축방향 확산의 경우와는 반대경향을 나타냄을 알 수 있었다. 방사방향과 접선방향의 확산 차이는 뚜렷하지는 않았지만 방사방향의 확산거리가 접선방향의 확산거리보다 길게 나타났다 (Figure 3). Becker¹⁾는 구주적송(*Pinus sylvestris*)을 대상으로 한 방사방

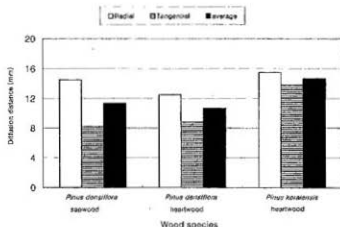


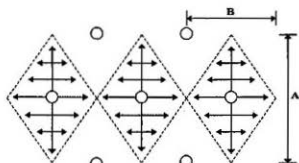
Fig. 3. Transverse diffusion of boron after 2 weeks diffusion (at 40% MC).

향과 접선방향 간의 확산차이를 연구한 결과, 섬유포화점 이상에서 방사방향 확산이 접선방향 확산보다 양호한 것으로 보고하였다. 이는 목재구조의 차이에서 비롯된 것으로서 접선방향의 경우 세포벽이 두꺼운 하재, 또는 그보다 얇은 춘재 세포벽 모두 확산이 진행되는 방향(접선방향)과 동일 선상에서 확산에 지속적인 영향을 주지만, 방사방향의 경우 방사조직이 존재하여 봉소의 확산·이동이 접선방향보다 용이해지기 때문에 생각된다.

3.3 봉산염 막대의 적정 삽입간격

함수율 40%, 확산기간 12주인 시험편을 대상으로 얻어진 본 실험의 결과를 토대로 하였을 경우, 부후가 진행되고 있는 원목 또는 가지의 구제처리 시 봉산염 막대의 적정 처리 간격은 Table 4와 같이 제시할 수 있다. 소나무 심재와 잣나무의 경우는 수축방향으로 약 120 mm 간격을 두고 봉산염 막대가 삽입되어야 할 것이며, 소나무 변재는 60 mm 처리간격이 필요하다고 볼 수 있다. 그리고 횡단방향의 경우는 수중에 관계없이 방사방향으로는 34 mm, 접선방향으로는 28~31 mm 정도의 삽입간격이 유지됨이 효율적이라 생각된다. 봉산염 막대를 구제처리에 적용할 시 반드시 고려해야 할 사항은 Figure 2에서 보여주듯이 봉산염 막대 삽입 지점으로부터 멀어질수록 횡단방향 확산이 감소한다는 것이다. 즉 봉산염 막대의 삽입위치부터 멀어질수록 봉소의 횡단방향 확산거리는 삼각형태를 유지하면서 점진적으로 감소하기 때문에 봉산염 막대의 삽입 위치를 Figure 4에서 보여주는 바와 같이 설정하여야 할 것이다.

본 연구의 결과, 봉산염 막대를 이용한 주요 침



○ : Borate rod

A : Maximum diffusion distance in longitudinal direction

B : Maximum diffusion distance in transverse direction

↑ : Longitudinal diffusion path

↔ : Transverse diffusion path

Fig. 4. The proposed treatment method of fused borate rod in wood poles and timbers subjected to the wood decay fungi.

엽수종의 부후 구제처리가 가능한 것으로 나타났다. 그러나 봉소의 수축방향 확산을 측정하는 방식이 봉산염 막대의 삽입 지점을 기점으로 10 mm 간격으로 박편을 제조한 후 박편의 정색반응 여부에 따라 확산거리 측정을 하였기 때문에 10 mm 단위의 측정만이 가능하여 10 mm 이하의 수축방향 확산을 보인 시편에 대해서는 확산이 안된 것으로 측정된 결과, 동일 함수율, 확산기간 조건에서 수축방향 확산거리가 횡단방향 확산거리보다 짧게 나타나기도 했다. 따라서 보다 정확한 봉산염 막대의 적정 처리간격을 구명하기 위해서는 수축방향 및 횡단방향 시편을 각각 별도로 준비하여 확산정도를 측정하고, 또한 봉산염 막대의 크기와 장기 확산정장이 봉소 성분의 확산에 미치는 영향에 대한 실험도 있는 연구가 필요하다고 생각된다.

4. 결론

소나무 심·변재와 잣나무를 통한 봉산염 막대내 봉소의 확산에 관한 본 연구의 결과, 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

1. 봉소의 확산은 처리목재의 함수율과 확산기간의 영향을 크게 받았다. 적어도 섬유포화점 이상의 목재 함수율이 봉소의 확산을 위해 요구되었으며, 확산기간이 연장될수록 봉소의 확산 정도가 증가하

Table 4. Recommended longitudinal and transverse space (mm) between rod holes based on the results obtained from samples of 40% moisture content on 12 weeks diffusion.

Species	Direction		
	Longitudinal	Radial	Tangential
<i>Pinus densiflora</i> (sapwood)	60	33	28
<i>Pinus densiflora</i> (heartwood)	128	34	31
<i>Pinus koraiensis</i>	120	34	28

였다.

2. 수축방향 확산이 횡단방향 확산보다 훨씬 우수하였으며, 횡단방향 확산의 경우는 방사방향 확산이 접선방향보다 우수하였다.

3. 동일한 함수율과 확산기간의 조합에서도 봉소의 확산은 수중에 따라 조금씩 상이하였다. 수축방향 확산은 잣나무>소나무 심재>소나무 변재의 순으로, 그리고 횡단방향 확산은 잣나무>소나무 변재 ≥ 소나무 심재의 순으로 우수하였다.

4. 함수율 40%, 확산기간 12주인 시험편에 대한 실험 결과를 기준할 때, 봉선염 막대의 적정 수축 및 횡단방향 처리, 즉 삼입 간격을 다음과 같이 제안할 수 있다. 수축방향 적정 처리간격은 소나무 심재와 잣나무는 약 120 mm, 소나무 변재는 60 mm이고, 횡단방향 적정 처리간격은 수중에 관계없이 공히 약 30 mm 전후이다.

참고 문헌

1. D. J. Dickinson, "Remedial treatment: in-situ treatments and treatments of historical structures," in *First international conference on wood protection with diffusible preservatives*, Forest Products Soc., Madison, WI, U.S.A., 1990.
2. J. N. R. Ruddick and A. W. Kundzewicz, "Fused boron rod treatment of heritage structures," *Proceedings of 12th Annual Meeting*, Canadian Wood Preservers' Assoc., 1991; 277-289.
3. American Wood-Preservers' Assoc. Book of Stan-

dards. Standard A3, Woodstock, Maryland, U.S.A., 1995.

4. *TIMBOR Preservative: Plant Operators' Manual of Recommended Practice*, Borax Holdings Ltd., Borax House, Carlisle Place, London, UK, 1984.
5. M. G. Dietz and E. L. Schmidt, "Fused borate and bifluoride remedial treatments for controlling decay in window millwork," *Forest Products J.*, 38(5), 9-14 (1988).
6. T. L. Hightley and L. Ferge, "Movement of boron from fused boron rods implanted in southern pine, Douglas fir, red oak, and white oak timbers," The International Research Group on Wood Preservation. Document No. IRG/WP/95-30061, 1995.
7. L. H. Williams, "Diffusion treatment of wood an American preservative," in *The Chemistry of Wood Preservation*, The Royal Soc. Chem., Cambridge, UK, 1991; pp. 34-52.
8. J. J. Morrell, "Conserving energy by environmentally acceptable practices in maintaining and procuring transmission poles," *17th Annual Report, Cooperative Pole Research Program*, Dept. of Forest Products, Oregon State Univ., Corvallis, OR, U.S.A., 1997; pp 28-34.
9. J. J. Morrell, C. M. Sexton, and A. F. Preston, "Effect of moisture content of Douglas-fir heartwood on longitudinal diffusion of boron from fused borate rods," *Forest Products J.*, 40(4), 37-40 (1990).
10. R. A. Eaton and M. D. C. Hale. *Wood: Decay, Pests and Protection*, Chapman & Hall, London, UK, 1993.
11. G. Becker, "Treatment of wood by diffusion of salts," *J. of Institute of Wood Science*. 7(4), 30-36(1976).