

물리적 처리에 따른 낙엽송 방부원주목의 표면할렬 방지효과¹

방성준² · 오정권³ · 이상준² · 박준호⁴ · 장성일⁵ · 이진제^{5,6,†}

Surface Checking Reduction Effect of Preservative-treated Korean Larch Round-woods with Various Physical Treatments¹

Sung-Jun Pang² · Jung-Kwon Oh³ · Sang-Joon Lee² · Jun-Ho Park⁴ · Sung-Il Jang⁵ · Jun-Jae Lee^{5,6,†}

요약

본 연구에서는 국산 낙엽송 방부원주목을 대상으로 물리적 처리(인사이징, 배할, 열기건조)에 따른 표면할렬 방지효과와 장기 사용연한 확보 가능성을 실험적으로 검토하였다. 표면할렬이 목재 내·외부의 급격한 수분경사로 인해 발생하기 때문에 본 연구에서는 국내 최저 평형함수율 조건[온도(2℃), 습도(44.6%)]에서 시험편이 평형함수율(8.6%)에 도달할 때까지 실험을 진행하였다. 물리적 처리에 따른 표면할렬 방지효과를 검토한 결과, 무처리 시험편(Type C)의 경우, 모든 시험편에서 약제 침투 깊이보다 깊은 할렬이 발생하여 장기 내부후성을 확보할 수 없는 것으로 나타났다. 한편, 약제침투도 개선을 위해 사용하는 인사이징 처리만으로도 시험편의 80%에서 약제침투깊이보다 깊은 표면할렬을 방지하는 효과가 있었다. 그러나 국내에서 할렬을 방지하고자 사용하는 배할 처리는 인사이징 처리에 비하여 약제 침투깊이보다 깊은 표면할렬을 야기하였다.

ABSTRACT

In this study, the surface check reduction effect of preservative-treated Korean larch round-wood was investigated by applying three physical treatments, such as incising, kerfing, and kiln-drying. Moreover, the possibility of long-term

¹ Date Received August 1, 2016, Date Accepted January 5, 2017

² 국립산림과학원 임산공학부. Department of Forest Products, National Institute of Forest Science, 57 Heogiro, Dongdaemun-gu, Seoul 02455, Republic of Korea

³ 전북대학교 주거환경학과. Department of Housing Environmental Design, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea

⁴ 삼성SDI 소재R&D센터. Materials R&D Center, SAMSUNG SDI CO., LTD., 130, Samsung-ro, Yeongtong-gu, Suwon-city, Gyeonggi-do 16678, Republic of Korea

⁵ 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부. Department of Forest Science, College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, 1 Gwanakro, Gwanak-gu, Seoul 08826, Republic of Korea

⁶ 서울대학교 농업생명과학연구원. Research Institute of Agriculture & Life Science, Seoul National University, 1 Gwanakro, Gwanak-gu, Seoul 08826, Republic of Korea

[†] 교신저자(Corresponding author): 이진제(e-mail: junjae@snu.ac.kr)

service life was also checked by comparing the depth of surface check and the penetration depth of preservative. A rapid gradient of wood moisture content between surface and center causes a surface check. Thus, the effect of reducing surface check was carried out at the lowest equilibrium moisture content (EMC) condition, temperature (2°C), humidity (44.6%), in outdoor locations in Korea until the test specimens reach to the 8.6% EMC. As a result, the preservative-treated specimens without incising, kerfing, kiln-drying (Type C) could not ensure the long-term service life due to a large surface check. Because the surface check depth of all specimens was deeper than the penetration depth of preservative. In case of the incising treated specimens (Type I), 80% of them, the depth of surface check was not deeper than the penetration depth of preservative. However, when a kerfing was additionally treated (Type B), a possibility of happening deeper surface check than penetration depth of preservative was increased rather than Type I.

Keywords : check, larch, wood, Alkaline Copper Quaternary, preservative, incising, kerfing

1. 서 론

구조용 재료의 사용연한은 재료를 선정함에 있어서 그 재료의 구조적 성능과 함께 중요하게 고려된다. 왜냐하면, 재료의 사용연한은 구조시스템의 유지보수 및 경제성과 직접적인 연관이 있기 때문이다. 대개 토목에서 적용하는 재료의 사용연한은 30년 이상이다. 강재의 경우, 부식률(최대 0.104 mm/년, 최소 0.024 mm/년)을 기준으로, 부식여유를 2 mm로 하여 약 20년에서 100년의 내구연한을 갖도록 하고 있다(도로교표준시방서, 2015). 따라서 국산재를 강재와 함께 사용하기 위해서는 목재 또한 강재와 유사한 수준의 사용연한을 확보하여야 한다.

해외에서는 사용자의 편의 및 목재 성능의 직관적인 이해를 도모하기 위해 방부 처리 목재의 사용연한(desired service life)을 15년, 30년, 60년으로 구분하여 제공하고 있다(BS 8417, 2011). 국내에도 방부 처리 규정이 있지만 방부 처리 목재의 사용연한에 대한 연구는 아직 미비하다. 실제 환경에서 장기간 야외노출실험을 수행하여 통계적으로 사용연한을 예측(Freeman *et al.*, 2005)하는 것이 보편적인 방법이다. 그러나 이러한 연구결과는 해당 실험 환경에 한정된다는 한계와 더불어 시간의 제약이 크다는 단점이 있다. 이에 Pang *et al.* (2015, 2017)은 방부약제의 용탈률(flux, mg/m²/day)로 방부 처리 목재 내부에 잔존하는 약제량을 예측하고, 부후균에 대한 방부약제의 최소독성치와 비교하는 방법으로 국산 방부 처리 목재(소나무)의 사용연한이 50년 이상 가능함을

을 보고하였다.

한편, 현재 국내에서 방부 처리하여 사용하는 낙엽송은 대표적인 난주입수종으로 장기간 사용연한을 확보하기 위해서는 약제침투 깊이보다 깊은 표면할렬이 발생하지 않아야 한다. 표면할렬로 인해 약제 미처리 부위에서 부후가 발생할 가능성이 크기 때문이다(Eslyn, 1970; Lee *et al.*, 2002). 국내의 경우, Kang *et al.* (1995; 1997)은 국산 낙엽송의 약제처리도 개선을 위한 연구, Kim *et al.* (2006)은 국내 유통 중인 낙엽송 방부원주목을 대상으로 표면할렬을 측정하여 보고하였다. 한편, Lee *et al.* (2016)은 대단면 부재(douglas-fir)의 건조효율성을 제고하기 위한 방안으로 배할, 자상-인사이징 등의 효과를 보고하였다. 건조분야에서의 연구는 표면할렬의 깊이보다는 할렬의 폭, 길이, 면적 등 겉에서 보이는 결함에 주안점을 두고 있다. Lee *et al.* (2002)은 PEG 처리 효과를 보고하였다. PEG 처리는 할렬 방지효과가 우수하기 때문에 문화재 보존차원에서 적극적으로 검토될 수 있다. 하지만, 경제성과 유지보수 측면에서 일반 토목용재에 적용하기에는 무리가 있다. 토목용재 등 산업에서 일반적으로 사용하고 있는 인사이징과 배할의 효과가 우선적으로 검토되어야 하지만 국산재에 대해서 아직까지 보고된 바 없다.

본 연구에서는 국산 낙엽송 방부원주목의 깊은 표면할렬을 방지하기 위한 기초연구로서 국내에서 주로 사용하는 방법(인사이징, 배할, 열기건조)을 대상으로 표면할렬 방지효과를 구명하였다.

Table 1. Physical treatments of various types

Type	Repetition	Treatment condition			
		Incising	Kerfing	ACQ	Kiln drying after treatment
C	5	×	×	○	×
I	5	○	×	○	×
B	8	○	○	○	×
DB	5	○	○	○	○

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

국산 낙엽송 원주목(지름: 100 mm, 길이: 1,200 mm)의 물리적 처리에 따른 표면할렬 방지효과를 검토하고자 물리적 처리가 다른 4종류의 시험편을 준비하였다(Table 1). Type C는 대조시험편으로 가압방부[Alkaline Copper Quaternary (ACQ)-2호, 처리조건: 전배기 50분(700 mmHg), 가압 300분(18 kg/m³), 후배기 30분(600 mmHg)] 처리를 하였다. Type I는 가압방부 전에 인사이징 처리를 하였고, Type B는 가압방부 전에 인사이징과 배할 처리를 하였다. 인사이징 처리할 때 시험편의 함수율은 30~60%이었고, 인사이징 기기(ACT-IM-3030, Ace Chem Tech Co., Ltd)를 사용하여 인사이징 처리를 하였다. 인사이징 칼날의 깊이는 10 mm, 인사이징 밀도는 3,100/m²이었다. 배할 관련 규격(NiFoS notification No. 2006-6, 2006)에서는 배할의 깊이를 단면 반지름의 1/2까지로 규정하고 있는 바, 본 연구에서는 반지름 50 mm의 시험편에 깊이 20 mm로 배할 처리를 하였다. 모든 시험편은 방부 처리 후 자연양생(3주)하였고, Type DB는 type B와 동일하게 제작된 시험편을 대상으로 열건건조(FPL T5-A1, 목표함수율: 7%)를 진행하였다. 모든 시험편에서 900 mm (Fig. 1의 A)는 항온흡습기 안에 잔적하여 함수율과 표면할렬을 측정하였고, 10 mm (Fig. 1의 B)는 초기함수율 측정을 위해 전건하였다.

한편, 목재의 방부·방충 처리 기준(NiFoS notification No. 2016-2, 2016)에 의하면, 목재에 동일한 인사이징 처리를 하더라도 목재의 두께에 따라 측정

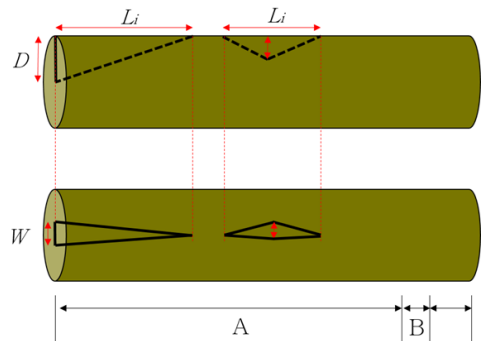


Fig. 1 Specimens for measuring surface check and moisture content.

부위와 적합기준이 달라진다. 본 연구에 사용된 시험편의 침윤도·흡수량 확인 및 측정부위에 따른 침윤도와 흡수량의 차이를 확인하고자 600 mm 길이의 원주목(∅100)과 규격재(38 × 89 mm)를 각각 3개씩 추가하여 방부 처리하였다(Table 2). 목재제품 표준 시험법(Kofpi, 2012)에 준하여 시험편의 침윤도와 흡수량(Cu, DDAC)을 측정하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 실험조건선정

목재의 표면할렬은 이론적으로 결합수의 탈착과 수축으로 인해 발생하는 목재표면의 인장응력이 목재의 탄성한계(인장강도)를 초과할 때 발생한다(Stamm, 1965; Rowell *et al.*, 1981). 목재의 노출된 표면과 노출되지 않은 내부의 급격한 수분경사로 인해 응력이 발생하고 이는 표면할렬을 야기한다(Stamm 1965; Evans *et al.*, 2008). 따라서 본 연구에서는 표면할렬이 목재 내외부의 급격한 수분경사로

인해 발생한다고 가정하였다.

특정 지역환경에서의 실험은 그 지역에 한정된 결과이므로 본 연구에서는 국내 전 지역에 적용될 수 있는 실험조건에서 표면할렬을 평가하고자 하였다. 그리고 국내에서 가장 가혹한 조건이 국내 전 지역에 적용할 수 있는 조건이라 가정하였다. 목재가 국내 최저 평형함수율(equilibrium moisture content, EMC)조건에 노출될 때 목재 내외부의 수분경사가 가장 크고, 이 조건이 국내 전 지역에 적용할 수 있는 가장 가혹한 조건이라 가정하였다. 실제로는 목재 표면에 일시적인 고온, 저습 조건이 형성되어 평형함수율이 더 낮아지는 경우가 있겠지만, 이는 지속적인 것이 않으므로 수분경사에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 가정하였다. 본 연구에서는 전국 일평균 최저 평형함수율을 국내 최저 평형함수율로 설정하였다.

전국 일평균 최저 평형함수율은 Hailwood-Horrobin 방정식 Eq. (1)과 기상청의 전국 온도, 습도 데이터 베이스를 토대로 산출하였다(Ra, 2014). 30년 전국 일평균 최저 평형함수율을 검토한 결과 8.6%가 국내 최저 평형함수율 ((강릉, 12/28); 온도(2℃), 습도(44.6%))로 나타났다.

$$EMC = \frac{1800}{W} \left(\frac{Kh}{1 - Kh} + \frac{K_1 Kh + 2K_1 K_2 K^2 h^2}{1 + K_1 Kh + K_1 K_2 K^2 h^2} \right)$$

$$W = 349 + 1.29T + 0.0135T^2$$

$$K = 0.805 + 0.000736T - 0.00000273T^2$$

$$K_1 = 6.27 - 0.00938T - 0.000303T^2$$

$$K_2 = 1.91 + 0.0407T - 0.000293T^2$$

..... (1)

where,
 EMC: 평형함수율
 T: 온도(℃)
 h: 습도(%/100)
 W, K, K₁, K₂: Hailwood와 Horrobin에 의한 흡착모델의 계수(coefficients of an adsorption model)

2.2.2. 국내 환경조건에서 물리적 처리에 따른 표면할렬 방지효과 검토

시험편이 국내 기후 조건에 노출되었을 때, 물리적 처리에 따른 표면할렬 발생경향을 실험적으로

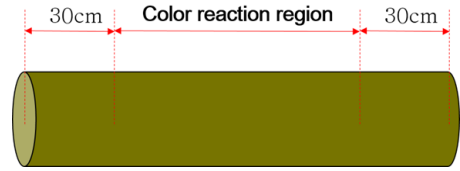


Fig. 2. Measurement region for color reaction and surface check.

검토하고자 향온향습기의 온·습도를 국내 최저 평형함수율조건 (30년간(1981-2010) 전국 일평균 최저 평형함수율 8.6% ((강릉, 12/28); 온도(2℃), 습도(44.6%))로 설정하고, 시험편(Fig. 1의 A)을 향온향습기 안에 잔적하였다. 그리고 1일(24시간) 간격으로 시험편의 무게를 측정하여 시험편의 함수율(moisture content, MC)을 산출하고 표면할렬(길이: L, 깊이: D, 폭: W)을 측정하였다. Hailwood-Horrobin 방정식 Eq. (1)과 Eq.(2)로 향온향습기의 EMC와 시험편의 MC를 각각 계산하였다. 표면할렬 측정용 시험편(Fig. 1의 A)의 평형함수율 예측을 위해 Fig. 1의 B에서 측정한 초기함수율을 표면할렬 측정용 시험편의 초기함수율과 같다고 가정하였다. 시험편이 평형함수율에 도달할 때까지 발생하는 표면할렬의 크기를 측정하였다. 표면할렬 측정용 시험편이 평형함수율에 도달하면, 양쪽 마구리에서 30 cm 떨어진 부위(Fig. 2)에서 할렬 깊이가 최대인 단면에 정색시약을 발라 약제침투깊이보다 깊은 할렬의 발생여부를 판단하였다(Fig. 3). 정색반응 후 표면할렬 측정용 시험편 모두를 전건하고 전건무게를 적용하여 모든 시험편의 실제 함수율을 계산하였다. 정색시약은 크롬아즈롤S 0.5 g과 초산나트륨 5.0 g을 물 800 ml를 넣고 300 ml로 희석한 것을 사용하였고, 시험편의 횡단면에 정색시약을 도포한 후 농청색으로 정색(color reaction)된 부분을 침윤부위로 판단하였다(NIFoS notification No. 2016-2, 2016).

$$\text{함수율} = (\text{측정무게} - \text{전건무게}) / \text{전건무게} \dots (2)$$

Table 2. Penetration and retention of specimens

	Assay zone	Penetration (%)	Average retention (kg/m ³)***		
			CuO	DDAC	Total
C-38 × 89 (38 × 89 × 600 mm)	surface-10 mm	63.3*	2.2	0.9	3.1
I-38 × 89 (38 × 89 × 600 mm incised)	surface-10 mm	88.3*	4.8	2.3	7.1
C-∅100 (∅100 × 600mm)	surface-15 mm	52.0**	1.1	0.8	1.9
I-∅100 (∅100 × 600 mm incised)	surface-15 mm	72.0**	3.3	1.6	4.9

* ≥ 8 mm penetration depth
 ** ≥ 12 mm penetration depth
 *** average of the assay zone in three specimen disks

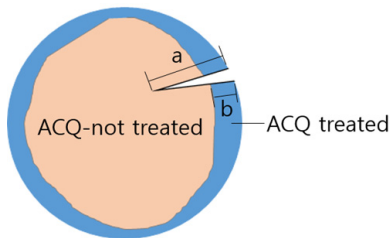


Fig. 3. Criteria for evaluating the probability of long-term service life. ($a/b < 1$)

3. 결과 및 고찰

3.1. 시험편의 침윤도와 흡수량

시험편의 침윤도와 흡수량을 측정한 결과(Table 2), I-38 × 89만이 H4기준 침윤도 적합기준(80% 이상), 흡수량(5.2 kg/m³)을 만족하는 것으로 나타났다. C-38 × 89와 I-∅100의 경우 H3 흡수량(2.6 kg/m³)기준은 만족하지만 침윤도 적합기준(80% 이상)에는 미달하였다. C-∅100 시험편은 개정 전 규격(NIFoS notification No. 2015-10, 2015)의 H2 흡수량(1.3 kg/m³)과 침윤도 적합기준(50% 이상)을 만족하였다.

기준에 알려진 바와 같이 낙엽송의 약제처리도가 좋지 않은 것으로 확인되었으며(Kim *et al.*, 2006), 국내 침윤도 적합기준(NIFoS notification No. 2016-2, 2016)을 만족하기 위해서는 인사이징 처리가 요구된다. 한편, 동일한 인사이징과 방부 처리를 하였음에

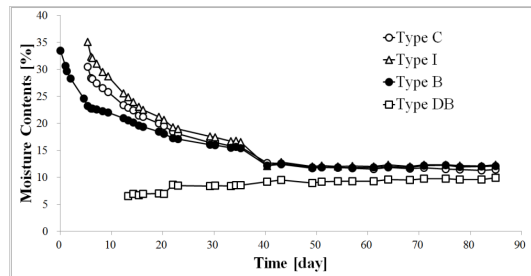


Fig. 4. Moisture Content trends of specimens over time.

도 규격재(38 × 89 mm)에 비해 원주목(∅100)의 침윤도와 흡수량이 낮은 이유는 규격재는 측정부위가 재면에서 10 mm까지로 인사이징 칼날의 깊이(10 mm)와 같지만, 원주목은 측정부위가 재면에서 15 mm로 인사이징 칼날의 깊이(10 mm)보다 5 mm 더 깊은 부위까지 포함되었기 때문이다. 즉, 본 연구에서는 원주목의 침윤도를 NIFoS notification No. 2016-2의 H4 기준(재면에서 15 mm)으로 침윤도를 판단하였기 때문에 침윤도 80%에 미달하였다. 하지만 두께에 따라 측정부위의 깊이 차이가 없는 H3을 기준(재면에서 10 mm)으로 침윤도를 측정하게 된다면, 인사이징 칼날의 깊이에 의해 규격재(38 × 89 mm)와 같이 H3의 침윤도 기준을 만족할 것이다. 낙엽송 원주목을 H4 사용환경범주에 사용하기 위해서는 인사이징 칼날의 깊이를 더 깊게 해야 할 것으로 판단된다.

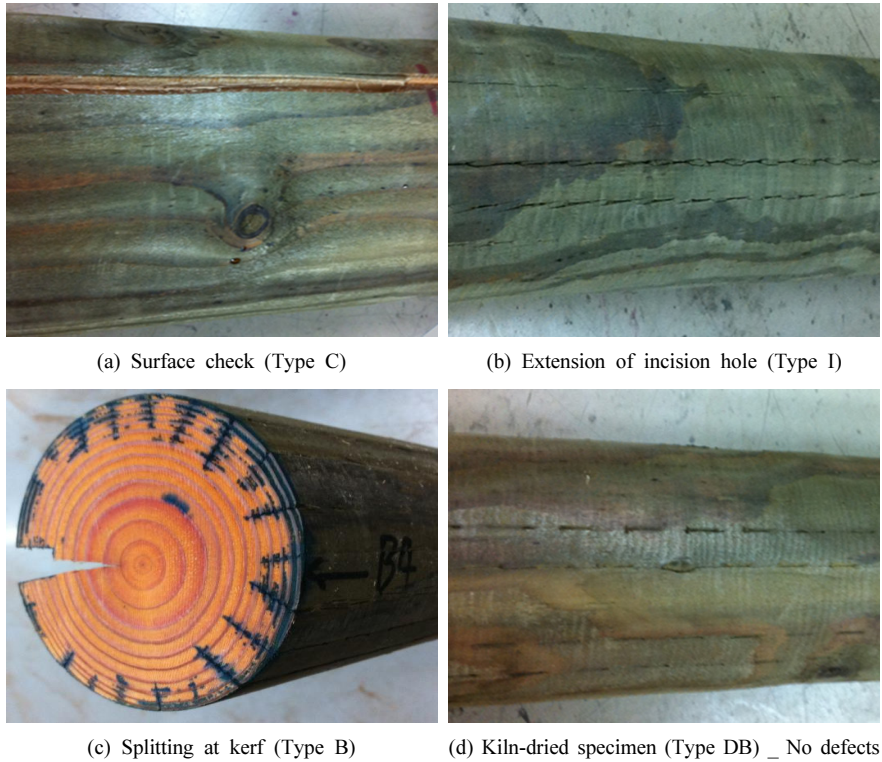


Fig. 5. Surface defects of each specimen when the specimen reached to EMC.

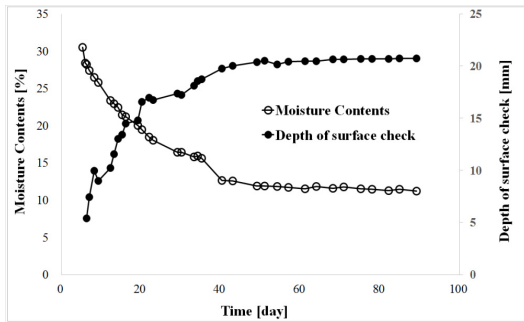


Fig. 6. Relationship of moisture contents (%) and depth of surface check (mm) over time.

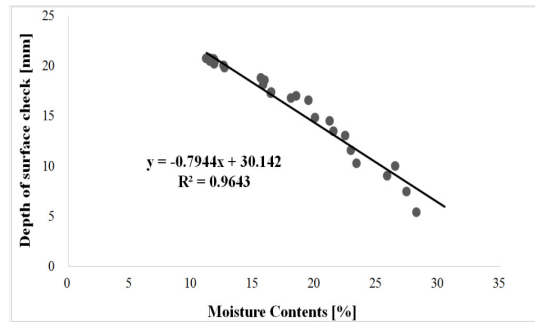


Fig. 7. Increasing of surface check depth (mm) depending on the decreasing of moisture contents (%).

3.2. 물리적 처리에 따른 표면할렬 방지효과

Type C, Type I, Type B의 경우, 실험초반에 함수율(MC)이 지속적으로 감소하였고, 50일 경과 후에는 10~12%로 일정하게 유지되었다(Fig. 4). 표면할렬

의 깊이를 측정된 결과, Type C에서 최소 20 mm 이상의 깊은 할렬이 발생하였다(Fig. 5 a). 특히, 시험편의 함수율이 감소함에 따라 표면할렬 깊이는 깊어졌고(Fig. 6), 시험편의 함수율과 표면할렬의 깊이는 강한 상관관계를 보였다(Fig. 7).

Table 3. Probability that surface check depth is longer than ACQ-treated depth

Type	Number of specimens that surface check depth was longer than ACQ-treated depth / Total tested specimens (percentage)
C	5 / 5 (100%)
I	1 / 5 (20%)
B	4 / 8 (50%)
DB	1 / 5 (20%)

인사이징 처리가 된 경우(Type I)는 인사이징 홈이 벌어지고 홈들이 길이방향으로 확장되면서 서로 연결되었다(Fig. 5 b). 원주 표면을 따라 13 mm 간격으로 인사이징 처리가 되었기 때문에 건조에 의한 응력집중이 분산되는 효과로 인해 인사이징 홈이 커지긴 하지만 이로 인해 깊은 표면할렬은 발생하지 않은 것으로 판단된다. 이는 약제침투도를 높이기 위해 사용하는 인사이징 처리가 할렬 방지에도 효과가 있다고 보고한 Perrin (1978)의 결과와 일치한다. 배할 처리가 추가된 시험편의 경우(Type B)는 일부 시험편에서 배할 처리된 안쪽부분이 갈라지는 현상이 발생하였다(Fig. 5 c). 이는 배할 처리된 모서리 부분에 응력이 집중되어 나타난 현상으로 건조에 의한 응력집중이 충분히 완화되지 못하였음을 의미한다. 따라서 배할 처리를 통한 표면할렬 방지 효과를 극대화하기 위해서는 배할을 좀 더 깊게 해야 할 것으로 사료된다. 한편, 열기건조를 진행한 Type DB 시험편은 시간이 경과함에 따라 함수율이 조금씩 증가(Fig. 7)하였고 표면할렬은 발생하지 않았다(Fig. 5 d).

3.3. 약제침투깊이와 표면할렬의 깊이 비교

시험편이 평형함수율에 도달한 후 정색반응을 통해 약제침투깊이보다 깊은 표면할렬의 발생 여부를 확인하였다. 표면할렬의 깊이가 가장 깊은 부분에서 단면을 절단하여 정색 반응한 결과, 무처리 시험편(Type C)은 모든 시험편에서 약제침투깊이 보다 깊은 표면할렬이 발생하였다(Table 3). 이는 약제 미침

투 부위가 외부에 노출되고, 부후균 및 충해의 침투로 인해 장기간의 사용연한을 확보할 수 없음을 의미한다. 인사이징 처리(Type I)와 열기건조(Type DB)를 한 시험편에서 약제침투깊이보다 깊은 할렬이 발생할 가능성이 각각 20%, 배할 처리(Type B)를 할 경우는 50%였다. 이는 약제침투도 개선을 위해 사용하는 인사이징 처리만으로도 시험편의 80%에서 약제침투깊이보다 깊은 표면할렬을 방지하는 효과가 있었음을 의미한다. 그리고 국내에서 표면할렬을 방지하고자 사용하는 배할 처리가 오히려 약제침투깊이보다 깊은 할렬을 야기하고 있음을 보여준다. 본 연구에서는 시험편당 1개의 배할 처리(20 mm)를 하였고, 이는 토목용 방부목재 규격(NIFoS notification No. 2006-6)에 준한 것이다. Helsing와 Graham (1976)는 방부 처리된 Douglas-fir pole을 대상으로 여러 배할 조건에 따른 표면할렬 방지효과를 검토한 결과, 배할을 pole의 중심 또는 그 이상으로 깊게 할 때 표면할렬 방지효과를 기대할 수 있음을 보고한 바 있다. 따라서 국산 낙엽송 또한 배할 처리를 통해 방부원주목의 장기 내구성을 확보하기 위해서는 배할의 깊이와 배할 개수에 대한 추가적인 연구가 요구된다.

한편, 정색반응결과 열기건조를 진행한 Type DB 시험편에서도 약제 침투깊이보다 깊은 할렬이 1개 나타났다. 이는 항온항습기 내에서 시험시간이 경과함에 따라 시험편의 평균함수율이 증가한 사실을 고려할 때, 항온항습기 내에서의 시험기간 보다는 열기 건조 중에 발생한 표면할렬로 판단된다. 즉, 방부 처리로 인한 수분이동의 제약으로 건조결합이 발생했을 가능성이 있다. 따라서 본 연구에서는 FPL T5-A1의 건조스케줄에 따라 건조를 하였지만, 향후 국산 낙엽송 원주목에 표면할렬을 야기하지 않는 건조스케줄이 개발된다면, 방부 처리목재의 장기 내구성 및 사용연한을 기대할 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 국산 낙엽송 방부원주목을 대상으로 물리적 처리에 따른 표면할렬 방지효과를 검토하

였다. 그 결과, 약제침투도 개선을 위해 사용하는 인 사이징 처리만으로도 시험편의 80%에서 약제침투깊 이보다 깊은 표면할렬을 방지하는 효과가 있었다. 그러나 국내에서 할렬을 방지하고자 사용하는 배할 처리는 오히려 약제침투깊이보다 깊은 표면할렬을 야 기하였다. 이는 방부 처리효과가 무의미해지고 장기 사용연한을 기대하기 어렵다는 것을 의미한다. 본 연 구를 토대로 국산재의 사용연한을 객관적으로 확보 하기 위한 다양한 연구가 진행되고 방부 처리의 실험 효성이 더욱 높아지길 기대한다.

사 사

본 연구는 산림청 연구과제 지원 사업 (S121315L020120)과 국립산림과학원 석·박사연구 원의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

REFERENCES

- British Standard (BS) 8417. 2011. Preservation of wood. Code of Practice.
- Eslyn, W.E. 1970. Utility pole decay. *Wood Science and Technology* 4(2): 97-103.
- Evans, P.D., Urban, K., Chowdhury, M.J.A. 2008. Surface checking of wood is increased by photo-degradation caused by ultraviolet and visible light. *Wood Science and Technology* 42(3): 251-265.
- Freeman, M.H., Crawford, D.M., Lebow, P.K., Brient, J.A. 2005. A comparison of wood preservatives in posts in southern mississippi : results from a half-decade of testing. *Proceedings, American Wood-Preservers' Association*: 136-143.
- Helsing, G., Graham, R.D. 1976. Saw Kerfs Reduce Checking and Prevent Internal Decay in Pressure-treated Douglas-fir Poles. *Holzforchung-International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood* 30(6): 184-186.
- Kang, S.-M., Kim, G.-H., Paik, K.-H. 1995. Treatment characteristics of Japanese larch heartwood with CCA or CCFZ and improving its CCA treatability by incising techniques. *Mokchae Konghak* 23(4): 60-66.
- Kang, S.-M., Paik, K.-H., Kim, G.-H. 1997. Studies on improving preservative treatability of Japanese larch heartwood by presteaming. *Mokchae Konghak* 25(1): 15-22.
- Kim, Y.-S., Hong, S.-I., Yoon, J.-H. 2006. Effects of post individualities on treatability of small diameter Japanese larch (*Larix leptolepis*) with ACQ and CCA. *Mokchae Konghak* 34(1): 52-60.
- Korea Forestry Promotion Institute (Kofpi). 2012. Standard test methods for wood products.
- National Institute of Forest Science (NIFoS) notification No. 2006-6. 2006. Standard and specification of wood products.
- National Institute of Forest Science (NIFoS) notification No. 2016-2. 2016. Standard and specification of wood products.
- Lee, C.-J., Lee, N.-H., Oh, S.-W. 2016. Effects of the knife-incising and kerfing pretreatment on moisture content and surface check occurrence of douglas-fir heavy timber. *The Korean Wood Science and Technology* 44(3): 302-314.
- Lee, J.-S., Yoon, S.-M. 2002. Effects of polyethylene glycol treatment for improvement of preservative penetration and prevention of drying check of preservative treated round post. *Mokchae Konghak* 30(4): 27-32.
- Pang, S.-J., Hong, J.-P., Lee, J.-J., Oh, J.-K. 2015. Service Life Estimation of ACQ-treated Wood Based on Biodeterioration Resistance. *The Korean Wood Science and Technology* 43(5): 641-651.
- Pang, S.-J., Oh, J.-K., Hong, J.-P., Lee, S.-J., Lee, J.-J. 2017. Effect of incising on the long-term biodeterioration resistance of alkaline copper quaternary (ACQ) treated wood. *European*

- Journal of Wood and Wood Products (in print).
- Perrin, P.W. 1978. Review of Incising and its effects on strength and preservative treatment of wood. Forest Products Journal 28(9): 27-33.
- Ra, J.-B. 2014. Determination of equilibrium moisture content of outdoor woods by using Hailwood-Horrobin Equation in Korea. The Korean Wood Science and Technology 42(6): 653-658.
- Rowell, R.M., Feist, W.C., Ellis, W.D. 1981. Weathering of chemically modified southern pine. Wood Science 13(4): 202-208.
- Stamm, A.J. 1965. Modification of wood for improved finishing. Official Digest. Journal of Paint Technology 37: 707-719.