

소나무와 낙엽송 스킨티म्버의 ACQ, CUAZ, CuHDO 가압처리를 위한 처리용 목재의 적정 함수율 및 처리목재의 정착 특성 평가*1

최 용 석*2 · 오 세 민*2 · 김 규 혁*2†

Evaluation of Pretreatment Moisture Content and Fixation Characteristics of Treated Wood for Pressure Treatment of Japanese Red Pine and Japanese Larch Skin Timber with ACQ, CUAZ and CuHDO*1

Yong-Seok Choi*2 · Se-Min Oh*2 · Gyu-Hyeok Kim*2†

요 약

본 연구에서는 소나무와 낙엽송 스킨티म्버의 ACQ-2, CUAZ-2, CuHDO-1 가압처리 특성을 평가하기 위해 소나무 변재부와 낙엽송 심재부 시험편을 대상으로 처리용 목재의 함수율이 방부제 처리도에 미치는 영향과 방부제 유효성분인 구리의 처리목재 내 정착 특성을 조사하였다. 본 연구 결과에 의하면 소나무 변재부는 방부제 종류에 관계없이 함수율 30%부터 사용환경 범주 H3용 처리목재의 침윤도와 흡수량 기준을 모두 만족하였다.完전한 방부제 침투가 가능한 소나무 변재부에서 깊이 에 따른 방부제 흡수량 경사를 조사한 결과, 방부제 종류에 따른 차이가 관찰되었다. CuHDO-1 처리 시험편에서 발생한 경사가 ACQ-2와 CUAZ-2 처리 시험편에서의 경사보다 심했는데, 특히 고함수율(25, 30%) 시험편에서 경사가 저함수율(15, 20%) 시험편에서보다 심함을 알 수 있었다. 그러나 난주입성인 낙엽송 심재부는 처리용 목재의 함수율 조건 및 방부제 종류에 관계없이 처리도가 매우 불량하였다. 낙엽송 심재부의 처리도 개선을 위해 증기 전처리(121°C의 포화수증기 조건에서 12시간 처리)를 실시한 결과, 낙엽송 심재부의 침윤도와 흡수량 모두 사용환경 범주 H3용 처리목재 기준에 부합하게 처리도가 개선됨을 확인할 수 있었다. 소나무 변재부와 낙엽송 심재부 시험편에서 공히 방부제 유효성분인 구리의 정착이 비건조 양생에 비하여 건조 양생에서 빨리 진행되었다. 소나무 변재부는 양생 초기 3~6일, 낙엽송

*1 접수 2011년 6월 21일, 채택 2011년 8월 30일

*2 고려대학교 생명과학대학 환경생태공학부, Division of Environmental Science and Ecological Engineering, College of Life Sciences and Biotechnology, Korea University, Seoul 136-713, Korea.

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

심재부는 양생 1일 이내에 3주간 정착된 구리 양의 95% 이상이 정착되었다. 양생 3주 후 처리목재 내에 미정착 상태로 남아있는 구리의 양은 ACQ-2, CuHDO-1, CUAZ-2 순으로 많았는데, 이는 처리용 작업액에 존재하는 구리의 양과 비례하였다.

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the pressure treatment characteristics of Japanese red pine and Japanese larch skin timber with ACQ-2, CUAZ-2 and CuHDO-1. The effect of moisture content (MC) on preservative treatability was investigated for Japanese red pine sapwood and Japanese larch heartwood, and fixation characteristics of CCA alternatives was also evaluated. Japanese red pine sapwood, which was dried below 30 percent MC, was fully penetrated with preservatives, and minimum requirement of preservative retention for the hazard class H3 was achieved. Through measuring preservative retention gradient in Japanese red pine sapwood, it was confirmed that the retention gradient of CuHDO-1 was steeper than that of both ACQ-2 and CUAZ-2. In particular, it was intensified at a higher MCs of wood samples (25~30%). Japanese larch heartwood did not meet the minimum requirement of penetration and retention for the hazard class H3 over the range of pretreatment MCs tested. With presteaming under 121°C for 12 hours, the treatability of Japanese larch heartwood was enhanced to meet the minimum requirement for the hazard class H3. The fixation rate of copper was much more faster under drying condition compared with nondrying condition; more than 95% of copper were fixed in 3~6 days and 1 day under drying conditions in Japanese red pine sapwood and Japanese larch heartwood, respectively. After 3-week fixation period at ambient temperature, the amount of mobile copper in treated wood sample that remains available for leaching from treated wood was the highest in the wood samples treated with ACQ-2, followed by CuHDO-1 and CUAZ-2. It was proportional to the amount of copper in treating solution.

Keywords: skin timber, treatability, moisture content, fixation characteristics, ACQ-2, CUAZ-2, CuHDO-1, Japanese red pine, Japanese larch

1. 서 론

본 연구는 한옥이나 중목구조용의 경량 기둥이나 보 재료로 개발되고 있는 소나무와 낙엽송 스킨티머 (skin timber)의 ACQ-2, CUAZ-2, CuHDO-1 가압처리 특성을 평가하기 위해 수행되었다. 참고로 스킨티머란 Fig. 1에서 보여주는 것처럼 대단면 원주가공재나 정각재의 내부 목질부를 상당량 제거하여 외부의 통피 층만 남긴 경량 구조용 부재를 의미하는데, 원주가공재로부터는 원통형 스킨티머, 정각재로부터는 각주형 스킨티머를 제작한다.

그 동안 소나무와 낙엽송의 CCA 가압처리 특성에 대한 연구는 많이 수행되었으나(강 등, 1995; 김 등 2000a; 김 등, 2000b; 김 등, 2001; 김 등, 2006; 송 등, 2005; Kim and Kim, 2001; Kim et al., 2003), 환경부 고시 제2007-152호(환경부, 2007)에 의해 CCA 처리목재 사용이 전면 금지되면서 본격적으로 국내 시장에서 사용되기 시작한 구리·알킬암모늄화합물계 방부제(ACQ), 구리·아졸화합물계 방부제(CUAZ), 구리·사이크로헥실디아아제니움디옥시-음이온화합물계 방부제(CuHDO)를 이용한 소나무와 낙엽송의 가압처리 특성에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다.

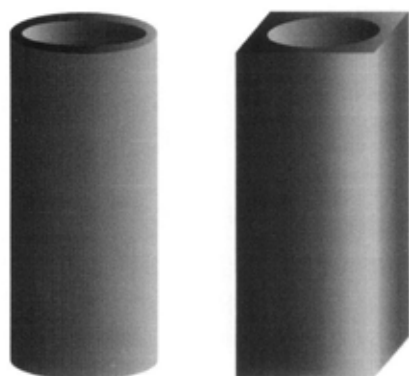


Fig. 1. Configurations of skin timber.

방부제 처리도, 즉 침투깊이와 흡수량을 영향하는 가압처리 조건(전배기 양과 지속시간, 최대 가압력, 가압 지속시간)은 전적으로 처리용 목재 자체 특성의 영향을 받기 때문에 ACQ, CUAZ, CuHDO의 가압처리 시에도 CCA 가압처리 시 사용되었던 가압처리 조건을 그대로 적용할 수 있다. 그러나 처리용 목재의 처리 전 건조 정도, 즉 처리용 목재의 적정 함수율과 처리목재의 양생은 목재 자체 특성뿐만 아니라 방부제의 영향을 받기 때문에 소나무와 낙엽송의 ACQ, CUAZ, CuHDO 가압처리에 대한 별도의 연구가 필요하다 할 수 있다.

방부제가 목재 표면에서 목재 내부로 침투하는 일반 목재의 가압처리와 비교할 때, 스킨티머의 가압처리는 약제가 목재 표면과 내층 제거에 의해 생긴 내부 표면을 통해 양 방향에서 동시에 침투한다는 점을 제외하고는 일반 목재의 약제처리와 동일하다. 또한 소나무와 낙엽송의 심재를 또는 변재부 두께를 고려할 때, 소나무 스킨티머의 통피 층은 100% 변재, 낙엽송 스킨티머의 통피 층은 100% 심재로 구성된다. 따라서 본 연구는 소나무(*Pinus densiflora*) 변재와 낙엽송(*Larix kaempferi*) 심재의 ACQ-2, CUAZ-2, CuHDO-1 가압처리 시 처리용 목재의 적정 함수율을 구명하고, 방부처리 목재의 적정 양생조건을 조사하기 위해 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 방부처리용 목재의 적정 함수율 평가

2.1.1. 시험편 준비

경북 봉화 산림조합 목재집하장과 경기 여주 임산물유통센터에서 구입한 소나무와 낙엽송 원목으로부터 각각 횡단면 치수가 40×80 mm인 변재부 및 심재부 평소각재(이하 각재로 칭함)를 필요량 제재하여 방부처리용 목재의 적정 함수율 평가용 시험편 제조에 사용하였다. 각재의 양 목구멍을 epoxy 도료로 end-coating한 후 실내에서 기건하면서 전기저항식 수분계를 이용하여 기건 중인 각재의 함수율 감소를 지속적으로 관찰하였다. 각재 함수율이 목표 함수율(30, 25, 20, 15%) 근처에 도달하면 각재의 한쪽 끝에서 길이 10 cm 부분을 제거한 후, 길이 2 cm 전건 중량 측정용 시험편, 길이 30 cm 방부처리용 시험편(채취 즉시 end-coating 실시), 그리고 길이 2 cm 전건 중량 측정용 시험편을 차례로 채취하였다. 시험편 채취 후 새로이 노출되는 각재의 목구멍을 epoxy 도료로 다시 end-coating하고 건조를 계속 진행시켰다. 채취된 함수율 측정용 시험편으로부터 측정된 전건 중량에 의거하여 예측된 방부처리용 시험편의 전건 중량(함수율 측정용 시험편 전건중량 $\times$ 15)과 현재 중량을 기준으로 방부처리용 시험편의 함수율을 예측하였다. 이렇게 예측된 함수율은 함수율 측정용 시험편으로부터 측정된 함수율과 유사하였으나 목표 함수율보다는 약간 높은 관계로 방부처리용 시험편을 다시 실내에서 짧은 기간 동안 건조시키면서 목표 함수율에 도달하면 건조를 중단시키고 비닐로 완전 밀봉하여 함수율 변화를 최대한 억제하기 위해 냉장 보관하였다.

2.1.2. 방부처리

목표 함수율에 도달한 시험편들을 증세포법을 이용하여 공시방부제로 가압처리하였다. 구리·알킬암모늄화합물계 방부제(ACQ-2), 구리·아졸화합물계 방부제(CUAZ-2), 구리·사이크로헥실다이아제니움디옥시-음이온화합물계 방부제(CuHDO-1)를 공

시방부제로 사용하였는데, 처리농도는 현재 국내 가압처리 공장에서 사용하는 작업액 농도(ACQ-2: 6.25%, CUAZ-2: 2.78%, CuHDO-1: 3.23%)와 동일하게 하였다. 가압처리는 시험편을 주약관 내에 위치시킨 후, 760 mmHg의 가압력에서 30분간 전배기 후 14 kg/cm²의 가압력으로 refusal point까지 실시하였다. 처리가 종료되면 시험편을 주약관 밖으로 빼내어 10여 분간 방치하면서 잉여약제를 회수한 다음 방부제 유효성분의 처리목재 내 정착을 위한 양생을 상온에서 4주간 실시하였다.

2.1.3. 방부제 처리도 분석

양생이 종료된 시험편의 중앙부에서 두께가 각각 5 mm 및 10 mm인 박편 2개를 채취하여 전자는 방부제 침투깊이 측정용, 후자는 흡수량 분석용으로 사용하였다. 방부제 침투깊이 및 흡수량은 국립산림과학원 고시 제2006-04호(국립산림과학원, 2006)에 의거하여 측정하였다. 방부제 침투깊이는 구리 정색반응을 이용하여 측정하였으며, 흡수량은 박편 표면에서 15 mm 깊이까지 공시방부제가 공히 함유하고 있는 유효성분인 구리(Cu)를 X-ray fluorescent spectrophotometer를 이용하여 정량분석한 후 계산하였다. 또한 소나무 변재부의 경우, 박편 표면으로부터 깊이에 따른 방부제 흡수량 경사를 확인하기 위하여 재 표면으로부터 15 mm 깊이까지 부위를 5 mm 단위의 3개 지역으로 분리하여 각 지역별 흡수량을 별도로 측정하였다.

2.2. 방부처리 목재의 양생조건 평가

2.2.1. 시험편 준비

실내에서 함수율 15% 수준으로 기건된 소나무 변재부와 낙엽송 심재부로부터 횡단면 치수가 25 × 25 mm이고 길이가 80 mm인 시험편을 각각 필요량 준비하였다. 소나무 변재와 낙엽송 심재 시험편은 2.1.1항에서 여분으로 준비한 횡단면 치수가 40 × 80 mm인 각재로부터 제조하였다.

2.2.2. 방부처리

2.1.2 항의 방부처리용 목재의 적정 함수율 평가를 위한 시험편의 방부처리와 동일한 방법으로 준비된 시험편의 방부처리를 실시하였다.

2.2.3. 방부처리 목재의 양생

방부처리 후 시험편 양생은 상온(21°C)의 건조 및 비건조 조건에서 실시하였다. 양생 중 일정 시간 간격으로 시험편 2개를 임의로 꺼내서 중앙부에서 한 변의 길이가 25 mm인 입방체를 채취하였다. McNamara (1989)가 제시한 압출법에 의해 실험실용 소형 압착기를 이용하여 시험편들을 횡단방향으로 두께의 절반까지 압착하여 세포벽에 미정착 상태로 남아있던 구리 성분을 세포내강에 남아있던 물과 함께 압출하여 이를 정착 평가용 시료로 사용하였다. 방부처리 시험편의 양생 정도는 상기 정착 평가용 시료 중의 구리 양을 inductively coupled plasma-optical emission spectrometer (ICP-OES)로 정량분석하여 미리 분석한 처리용 방부제 작업액 중의 구리 양과 비교함에 의해 평가하였다(AWPA, 2005). 건조 조건에서 양생을 실시한 시험편의 경우, 양생용 시험편의 함수율이 짧은 시간 내에 섬유포화점 이하로 내려가면서 세포내강에 물이 존재하지 않기 때문에 비건조 조건에서와 같이 단순 압착에 의해 정착 평가용 시료를 얻을 수 없다. 따라서 입방체를 증류수에 침지하여 10분간 760 mmHg의 가압을 적용시켜 입방체 내로 수분을 강제 주입시켜 입방체 내에 미정착 상태로 존재하던 구리 성분을 용해한 후 압출하였다. 사용된 증류수 내로 용탈된 구리 양을 ICP-OES로 별도 분석하여 압출법으로 얻어진 정착 평가용 시료로부터 측정된 구리 양에 추가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 처리용 목재의 적정 함수율 평가

ACQ-2, CUAZ-2, CuHDO-1의 소나무 변재 침투깊이는 국립산림과학원 고시 제2009-07호(국립산림과학원, 2009)에 제시된 처리용 목재의 함수율(평균

Table 1. Effect of pretreatment MC on ACQ-2, CUAZ-2 and CuHDO-1 treatability of Japanese red pine sapwood^a

Moisture contents (%)	ACQ-2		CUAZ-2		CuHDO-1	
	Penetration	Retention (kg/m ³)	Penetration	Retention (kg/m ³)	Penetration	Retention (kg/m ³)
15	^b	7.49 (0.72)	-	3.61 (0.56)	-	6.18 (1.14)
20	-	6.51 (1.23)	-	3.47 (0.36)	-	5.86 (0.90)
25	-	5.53 (0.61)	-	2.57 (0.75)	-	5.52 (0.75)
30	-	5.39 (1.06)	-	2.27 (0.71)	-	4.46 (0.91)

^a Each value represents the mean of seven replicates, and the values in parentheses represent one standard deviation.

^b Fully penetrated.

Table 2. Effect of pretreatment MC on ACQ-2, CUAZ-2 and CuHDO-1 treatability at 15 mm depth in Japanese larch heartwood^a

Moisture contents (%)	ACQ-2		CUAZ-2		CuHDO-1	
	Penetration (mm)	Retention (kg/m ³)	Penetration (mm)	Retention (kg/m ³)	Penetration (mm)	Retention (kg/m ³)
15	193 (0.18)	0.89 (0.18)	214 (0.40)	0.45 (0.02)	193 (0.25)	0.92 (0.21)
20	202 (0.17)	0.84 (0.16)	219 (0.26)	0.42 (0.02)	205 (0.20)	1.00 (0.20)
25	239 (0.37)	0.93 (0.13)	267 (0.32)	0.48 (0.07)	238 (0.53)	1.04 (0.18)
30	1.65 (0.40)	0.85 (0.21)	1.93 (0.18)	0.38 (0.13)	1.90 (0.31)	0.85 (0.20)

^a Each value represents the mean of seven replicates, and the values in parentheses represent one standard deviation.

30% 이하)을 만족할 때 방부제 종류에 관계없이 목재 내부로 방부제가 100% 침투하였다(Table 1). 또한 사용환경 범주 H3용 처리목재의 흡수량 기준(ACQ-2: 2.6 kg/m³, CUAZ-2: 1.0 kg/m³, CuHDO-1: 3.0 kg/m³)을 모두 만족하였다(Table 1). 소나무 변재의 경우, 목재 함수율이 낮아질수록 방부제 흡수량이 높아지는 것을 확인할 수 있었는데, 단순 직선회귀에 의한 양자 간의 상관관계(R²)가 ACQ-2, CUAZ-2, CuHDO-1별로 각각 0.93, 0.93, 0.92로 매우 높았다. 이러한 높은 상관관계는 방부제 흡수량 변이의 거의 대부분을 처리용 목재의 함수율 변이에 의해 설명 가능함을 의미한다.

소나무 변재 시험편 표면으로부터 깊이에 따른 방부제 흡수량 경사를 보여주는 Fig. 2에 의하면 ACQ-2와 CUAZ-2 처리 시험편과는 달리 CuHDO-1 처리 시험편에서 흡수량 경사가 심함을 알 수 있다. 그리고 ACQ-2와 CUAZ-2 처리 시험편에서는 처리용 목재 함수율에 관계없이 흡수량 경사가 비슷하였으나

CuHDO-1 처리 시험편의 경우에는 함수율 15%와 20%에서 흡수량 경사에 비해 함수율 25%와 30%에서 흡수량 경사가 심함을 알 수 있었다. 그 결과, 함수율 30%인 시험편을 CuHDO-1로 처리한 경우, 표면으로부터 10~15 mm 지역의 방부제 보유량이 1.99 kg/m³로 사용환경 범주 H3용 처리목재의 흡수량 기준(3.0 kg/m³)을 만족시키지 못하였다. 이는 CuHDO-1 처리 소나무 변재부 목재의 사용 중 발생 가능한 표면할열 깊이가 표면으로부터 내부 10 mm 이상으로 연장되면 할열의 끝 부분에서 방부제 침투와 무관하게 내부부후가 발생할 수 있음을 의미한다. 그러므로 현재 국내 가압처리 공장에서 사용하는 CuHDO-1 작업액 농도를 사용하여 소나무 스킨티버를 처리할 경우에는 처리용 스킨티버를 함수율 25%까지 건조해야 함을 알 수 있었다. 참고로 CuHDO-1 처리 시험편에서 관찰되는 심한 흡수량 경사는 CuHDO-1 원액의 점도가 ACQ-2 원액의 점도에 비해 약 7배, CUAZ-2 원액의 점도에 비해 약 3배 가량 높기 때문

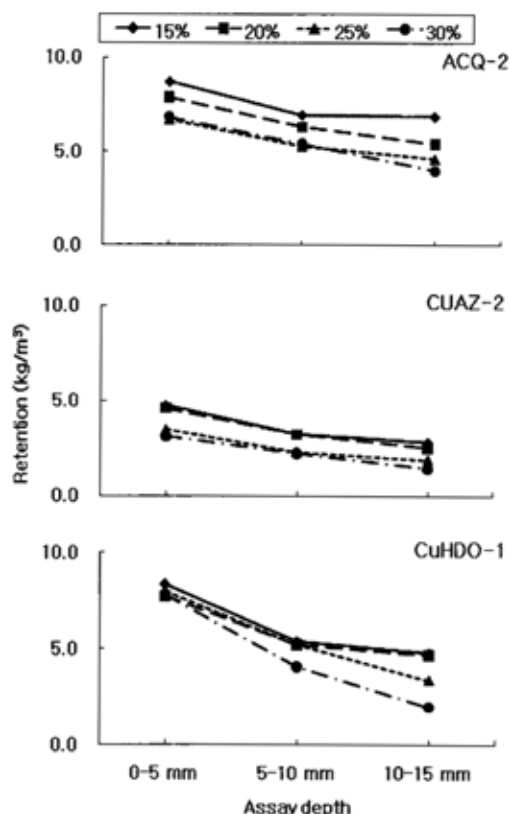


Fig. 2. Retention gradients of ACQ-2, CUAZ-2 and CuHDO-1 in Japanese red pine sapwood at different moisture contents.

에 발생하는 것으로 사료된다.

공시방부제의 낙엽송 심재 침투깊이는 함수율 25%에서 최대 침투깊이를 보이고, 함수율이 25%보다 높거나 낮은 경우에는 침투깊이가 다소 감소하는 것으로 나타났다(Table 2). 처리용 목재의 함수율이 방부제 흡수량에 미치는 영향 또한 방부제 침투깊이와 유사한 경향을 보여 함수율 간에 큰 차이는 없었으나 함수율 25%에서 최대 흡수량을 보였다(Table 2). 그러나 조사된 함수율 범위에서 이처럼 그리 크지 않은 방부제 침투깊이와 흡수량 차이는 실제적 측면에서 그리 중요하지 않다고 사료된다. 따라서 낙엽송 심재부 처리 시, 국립산림과학원 고시 2009-07호(국립산림과학원, 2009)에 제시된 바와 같이 처리용 목재를 함수율 30%까지만 건조해주면 그 이하의 함

Table 3. Penetration and retention of ACQ-2, CUAZ-2 and CuHDO-1 in Japanese larch heartwood after 12 hours pre-steaming^a

Preservative	Penetration (mm)	Retention (kg/m ³)
ACQ-2	813 (138)	515 (0.67)
CUAZ-2	802 (107)	194 (0.19)
CuHDO-1	835 (0.63)	379 (0.34)

^a Each value represents the mean of seven replicates, and the values in parentheses represent one standard deviation.

수율로 건조해 주는 것과 차이가 없을 것으로 판단된다.

수용성 방부제의 목재 내 침투깊이와 흡수량은 이론적으로 함수율이 낮을수록 증가하여야 하나, 본 연구 결과에 의하면 심재 내로의 방부제 침투깊이와 흡수량은 목재 함수율보다는 목재의 투과성을 영향하는 목재 자체 특성의 영향을 더 많이 받는 것으로 사료된다. Kim과 Kim (2001)의 연구 결과에 의하면 낙엽송 심재 내로 CCA 침투가 함수율 20%에서 최대 (3.0 mm)로 달성됨이 관찰되었다. 이처럼 이들의 연구 결과와 본 연구 결과에서 동일 수종이지만 최대 침투깊이가 달성되는 함수율과 최적 함수율에서 최대 침투깊이가 다른 점은 사용된 방부제 종류에 따른 차이가 아니라 동일 수종에서도 관찰할 수 있는 산지와 동일 산지에서도 임목 개체에 따른 처리도의 자연적 변이에 기인한다고 볼 수 있다.

익히 알려진 바이지만 본 연구의 결과에 의하면 낙엽송 심재는 함수율 조건에 관계없이 통상적인 가압 처리로는 필요한 방부제 처리도를 달성할 수 없음을 알 수 있다. 따라서 필요한 방부제 침투깊이를 달성하기 위해서는 방부제 처리도 개선을 위한 전처리가 반드시 필요하다고 할 수 있다(강 등, 1995; 강 등, 1997; 김 등, 2006). 각재의 경우는 자상처리가 가능하지만 스킨팅버의 경우에는 통피 층의 내피부 자상처리가 불가능한 관계로 본 연구에서는 증기 전처리에 의한 처리도 개선 효과를 부수적으로 살펴보았다. 121°C의 포화수증기 조건에서 12시간 동안 증기 전처리를 실시한 시험편을 ACQ-2, CUAZ-2, CuHDO-1

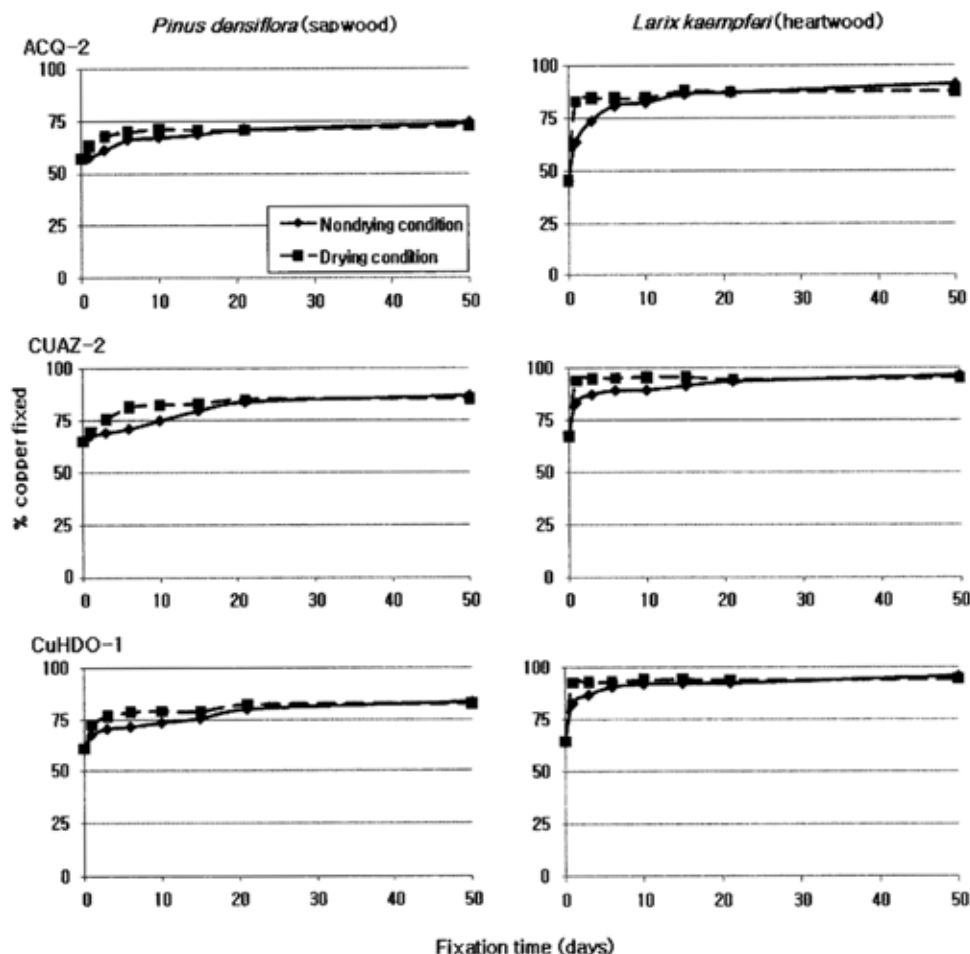


Fig. 3. Percent of copper fixation in ACQ-2, CUAZ-2 and CuHDO-1 treated Japanese red pine sapwood and Japanese larch heartwood under nondrying and drying conditions at 21°C.

로 방부처리하여 방부제 처리도 개선효과를 평가한 결과를 Table 3에 보여준다. 방부제 종류에 관계없이 낙엽송 심재 시험편은 12시간 동안 증자처리를 실시할 경우 사용환경 범주 H3용 처리목재의 침윤도 기준(8.0 mm)과 흡수량 기준(ACQ-2: 2.6 kg/m³, CUAZ-2: 1.0 g/m³, CuHDO-1: 3.0 kg/m³)을 모두 만족시킬 수 있었다. 참고로 증기 전처리에 의한 낙엽송 심재의 방부제 처리도 개선은 강 등(1997)이 기 보고한 타와 같이 torus를 구성하고 있는 microfibril 내의 레미셀룰로오스 분해에 따른 미세공극 구조의 확

장과 관련된다고 할 수 있다.

3.2. 방부처리 목재의 적정 양생조건 평가

양생 경과시간에 따른 방부제별 구리성분의 정착 정도, 즉 처리용 작업액 중 구리 총량에 대한 시험편 내에 정착된 구리 양의 백분율을 Fig. 3에 보여준다. 국립산림과학원 고시 제2009-07호(국립산림과학원, 2009)에 제시된 상은 양생인 자연 양생공정의 최소 기간인 3주간의 양생기간이 경과하였을 때, 방부제

종류와 건조 및 비건조 조건에 관계없이 구리성분의 정착정도는 거의 최대치에 이르렀으며 양생기간을 50일까지 연장시킨다 하더라도 큰 변화가 관찰되지 않았다.

건조와 비건조 양생 간에 양생 3주 후 구리 정착률의 큰 차이는 없었으나 정착 초기에는 건조 양생의 경우 비건조 양생보다 구리 정착이 매우 빠르게 진행되었다. 건조 양생시 구리의 대부분이 초기 단계에서 정착되었는데, 소나무 변재의 경우 3~6일, 낙엽송 심재의 경우 1일 이내에 3주간 정착된 구리 양의 95% 이상이 정착됨을 알 수 있었다. 그러나 비건조 양생시 건조 양생과 달리 구리 정착이 비교적 점진적으로 진행됨을 알 수 있었다. CCA 처리목재에서와는 달리 ACQ-2, CUAZ-2, CuHDO-1 처리목재에서는 건조 양생이 비건조 양생보다 구리 정착을 가속하는 결과를 얻었는데, 이에 대한 정확한 원인은 아직 알려져 있지 않다. 참고로 Ung과 Cooper (2006)도 ACQ type C 처리목재(수종: red pine) 양생시 CCA 처리목재에서와는 달리 비건조 양생시보다 건조 양생시 구리 성분의 정착이 가속된다고 보고한바 있다. 본 연구결과로부터 ACQ-2, CUAZ-2, CuHDO-1 처리목재의 비건조 양생은 무의미함을 알 수 있으며, 또한 통피 층이 각각 변재부와 심재부로 구성된 소나무와 낙엽송 스킨티버를 상온에서 자연양생할 경우 국립산림과학원 고시 제2009-07호(국립산림과학원, 2009)에 제시된 최소 양생기간에 관계없이 각각 3~6일과 1일간 양생을 해도 무방함을 알 수 있다.

건조 또는 비건조 양생에 관계없이 소나무 변재 시험편보다 낙엽송 심재 시험편에서 구리 정착률이 높음을 알 수 있었는데, 이는 Ung과 Copper (2005)가 지적한 바와 같이 낙엽송 심재 내에 존재하는 추출물과 방부제 유효성분간의 반응 결과라고 할 수 있다. 양생 3주 후 구리의 정착정도는 건조 및 비건조 조건에 관계없이 소나무 변재부와 낙엽송 심재부 시험편에서 공히 CUAZ-2 $\geq$ CuHDO-1 > ACQ-2 순으로 높았다. 이는 처리용 작업액에 존재하는 구리의 양(ACQ-2: 3678.3 ppm, CuHDO-1: 3343.3 ppm, CUAZ-2: 3111.1 ppm)과 반비례하는 경향으로 작업액 중 구리 함량이 높을수록 시험편 내에 정착되지

않고 미정착 상태로 잔존하는 구리 양이 높아짐을 확인할 수 있었다.

별도의 용탈시험은 실시하지 않았지만 처리목재 내에 정착되지 못한 구리 성분은 처리목재의 현장시설 후 사용 중에 주변 환경으로 용탈된다. 특히, 구리의 높은 수계독성 때문에 ACQ, CUAZ, CuHDO 처리목재를 담수와 접하는 환경이나 수변지역에 설치할 경우 사용 중 구리 용탈로 인한 심각한 수 생태계의 피해를 초래할 수 있다. 따라서 이를 최소화하기 위해서 ACQ, CUAZ, CuHDO 처리목재 내에서 구리 정착을 최대화하여 구리 성분의 용탈을 최소화할 수 있는 다양한 방안에 대한 연구가 절실히 요구된다.

4. 결 론

소나무 변재는 함수율 30% 이하로 건조되었을 때 목재 내부로 방부제가 100% 침투하며 사용환경 범주 H3용 처리목재의 흡수량 기준을 만족하였다. 다만 소나무 변재 시험편 표면으로부터 깊이에 따른 방부제 흡수량 경사를 조사한 결과, ACQ-2, CUAZ-2에 비해 CuHDO-1의 흡수량 경사가 심함을 알 수 있었으며, 특히 이는 함수율이 높을 때(25~30%) 더욱 두드러지게 나타났다. 낙엽송 심재는 익히 알려진 바와 같이 처리용 목재의 함수율 조건 및 방부제의 종류에 관계없이 처리도가 매우 불량하였다. 121°C의 포화수증기 조건에서 12시간 동안 증기 전처리를 실시하여 낙엽송 심재의 처리도 개선을 모색한 결과, 사용환경 범주 H3용 처리목재의 침윤도 및 흡수량 기준을 모두 만족하였다. ACQ-2, CUAZ-2, CuHDO-1 처리 시험편에서는 건조 양생이 비건조 양생보다 구리 정착을 가속하는 결과를 얻었으며, 건조 양생시 소나무 변재는 양생 초기 3~6일, 낙엽송 심재는 1일 이내에 3주간 정착된 구리의 95% 이상이 정착되었다. 그리고 양생 3주 후 처리목재 내에 미정착 상태로 남아있는 구리의 양은 ACQ-2, CuHDO-1, CUAZ-2 순으로 많았는데, 이는 처리용 작업액에 존재하는 구리의 양과 비례하였다.

사 사

본 연구는 산림청 산림과학기술개발사업(과제번호: 3120808L030120)의 지원에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

1. 각송모, 김규혁, 백기현. 1995. 낙엽송 심재의 CCA와 CCFZ 처리 특성 및 자상처리에 의한 처리도 개선. 목재공학 23(4): 60~66.
2. 각송모, 백기현, 김규혁. 1997. 증기 전처리에 의한 낙엽송 심재의 방부제 처리도 개선에 관한 연구. 목재공학 25(1): 15~22.
3. 국립산림과학원. 2006. 방부·방충처리목재의 침윤도 및 흡수량 측정방법(국립산림과학원고시 제2006-04호).
4. 국립산림과학원. 2009. 목재의 방부·방충처리 기준(국립산림과학원고시 제2009-07호).
5. 김규혁, 김재진, 김형준. 2000a. 소나무, 낙엽송, 북양가문비나무 원주가공재의 CCA 처리. 목재공학 28(1): 42~47.
6. 김규혁, 김재진, 이동흡. 2000b. 국내 주요 유통목재의 CCA 가압처리 특성. 2000 한국목재공학회 학술발표논문집. pp. 123~126.
7. 김규혁, 김형준, 김재진. 2001. 소나무, 낙엽송, 북양가문비나무 변재부에서 CCA와 CCFZ의 정착특성. 목재공학 29(1): 52~59.
8. 김영숙, 홍순일, 윤정희. 2006. 낙엽송 원주상 소경목의 원목성상과 방부 처리성. 목재공학 34(1): 52~60.
9. 한윤상, 손동원, 이동흡, 김규혁. 2005. CCA 처리 소나무, 잣나무, 삼나무의 정착 특성. 2005 한국목재공학회 학술발표논문집. pp. 449~451.
10. 환경부. 2007. 제조·수입 또는 사용 등을 금지하거나 제한하는 화학물질에 관한 규정 일부 개정(환경부고시 제2007-152호).
11. American Wood Protection Association. 2005. Standard methods for analysis of wood and wood treating solutions by inductively coupled plasma emission spectrometry. AWP A20-03, AWP A, Grandbury, TX, USA.
12. Kim, G.-H. and J.-J. Kim. 2001. Effect of moisture content on treatability of Japanese red pine, Japanese larch, and ezo spruce with chromated copper arsenate. Forest Products Journal 51(6): 64~66.
13. Kim, J.-J., H.-J. Kim, J.-B. Ra, S.-K. Chun, and G.-H. Kim. 2003. Fixation and leaching characteristics of CCA- and CCFZ-treated domestic softwood species. Journal of the Korean Wood Science and Technology 31(6): 55~59.
14. McNamara, W. S. 1989. CCA fixation experiments-Part 1. The International Research Group on Wood Preservation. Document No. IRG/WP/3504. Stockholm, Sweden.
15. Ung, T. Y. and P. A. Cooper. 2005. Copper stabilization in ACQ-D treated wood: retention, temperature and species effects. Holz als Roh- und Werkstoff 63: 186~191.
16. Ung, T. Y. and P. A. Cooper. 2006. Stabilization of alkaline copper quaternary (ACQ) wood preservatives. Wood Protection 2006. New Orleans, LA, USA.