

구리·알킬암모늄화합물계 목재방부제(ACQ)를 처리한 목재 중의 Didecyldimethylammonium Chloride (DDAC) 성분의 발색처리 방법 개발¹

이종신^{ID 2,†}·최광식³

Development of Coloring Method of Didecyldimethylammonium Chloride (DDAC) in Wood Treated with Alkaline Copper Quat (ACQ) Preservative¹

Jong Shin Lee^{ID 2,†} · Gwang Sik Choi³

요약

ACQ 처리 목재에서 약제의 침투깊이를 확인하기 위하여 지금까지는 Cu 성분만을 대상으로 침윤도를 측정해 왔다. 본 연구에서는 Cu 이외에 ACQ의 유효성분 중에 하나인 DDAC의 침투깊이를 조사할 수 있는 DDAC 발색 처리 방법을 개발하고 다음과 같은 결론을 얻었다. DDAC 성분은 2',7'-dichlorofluorescein 발색 지시약과 반응하여 진한 주황색으로 발색한다. 이와 같은 발색 반응은 DDAC 용액에서 뿐만 아니라 ACQ 처리 목재에서도 진행되어 DDAC가 침투되어 있는 목재 조직에서는 동일하게 주황색으로 발색한다. 본 연구를 통하여 개발된 DDAC 발색기술에 의하여 방부제 난주입성 수종인 가문비나무에서 Cu에 비하여 DDAC의 목재 침투성이 우수한 사실을 육안으로 확인할 수 있었으며, 다른 난주입성 수종에 대해서도 Cu와 DDAC의 침투성 차이를 조사할 필요가 있다.

ABSTRACT

To determine the depth of preservative penetration in ACQ treated wood, the degree of penetration of Cu was measured. In this study, we developed a DDAC coloring method to investigate the penetration depth of DDAC, which is one of the active ingredient of ACQ, into wood. The following conclusions were obtained. The DDAC component reacts with a 2', 7'-dichlorofluorescein indicator and results in a deep orange color. This orange coloring reaction appears not only in DDAC solutions but also in ACQ treated wood tissues in which DDAC is present. It is possible to visually verify that DDAC has better wood penetration than Cu in the spruce, which is a refractory wood species, by the DDAC coloring method developed in this study. In addition to the results, it is necessary to investigate the difference

¹ Date Received April 23, 2018, Date Accepted May 11, 2018

² 충남대학교 환경소재공학과. Department of Biobased Materials, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

³ 충남대학교 농업과학연구소. Institute of Agricultural Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

† 교신저자(Corresponding author): 이종신(e-mail: lee_js@cnu.ac.kr, ORCID: 0000-0003-1046-9112)

in penetration of Cu and DDAC for other wood species with poor preservative penetration.

Keywords: alkaline copper quaternary, didecyltrimethylammonium chloride, 2',7'-dichlorofluorescein, color indicator, alkaline copper quaternary wood preservative

1. 서 론

목재 방부처리 효과를 최대한 달성하고 그 효과를 장기간 지속시키기 위해서는 목재가 처해질 사용 환경 조건에 적합한 품질 기준을 갖도록 처리해야 한다. 목재 방부처리 관련 KS 규격이나 국립산림과학원 고시에서는 목재 사용환경 범주 별로 방부제의 종류 및 보유량과 침윤도 기준을 각각 규정하고 있다. 그러나 그동안 품질 기준에 미달되는 불량 방부목재가 양산, 유통됨으로써 제품에 대한 불신과 함께 방부목재 수요 감소로 현재 국내 목재 방부처리 산업은 침체 국면에서 벗어나지 못하고 있는 실정이다. 산림청에서는 불량 방부목재의 생산과 유통을 근절하기 위하여 방부처리 목재의 품질 표시제를 의무화하고 2011년부터 전면 시행하고 있다.

방부목재의 품질을 판정하는데 있어서 평가 항목에는 약제 보유량과 침윤도가 있으며, 방부처리 목재의 방부 효과를 결정하는 중요한 인자이다. 처리 목재의 약제 보유량 측정방법과 관련해서 Ra (2010)는 구리 함유 목재방부제를 처리한 목재에서의 구리 농도를 spectrophotometer를 이용하여 현장에서 간편하게 측정할 수 있는 새로운 방법에 대하여 보고하였으며, Lee 등(2013)은 ACQ 약제 처리 정도에 따라 처리목재에서의 부후진행 유무가 결정되므로 약제 보유량 측면에서 일정 농도 이상의 약액을 처리해야 한다고 보고하였다. 약제 보유량 조사의 경우에는 제품으로부터 시료를 채취하여 기기 분석을 통해 이루어지지만, 침윤도 평가는 현장에서 시료를 채취한 후 발색 시약을 처리하여 신속하게 평가할 수 있는 장점이 있다. 이때 침윤도 평가는 지금까지 Cu를 대상으로 진행에 왔으며, 그 이유는 첫째, 대부분의 목재방부제에 Cu 화합물이 공통으로 함유되어 있고, 둘째, 2007년부터 강한 독성 때문에 전면 사용이 금지된 크롬·구리·비소화합물계 목재방부제(chromated copper arsenate, CCA)를 처리한 방부

목재를 생산하던 시기에 Cu 발색 시약으로 침윤도를 측정하던 방법을 지금까지 사용하고 있기 때문인 것으로 판단된다. CCA 대체 약제로 개발된 구리·알킬암모늄화합물계 목재방부제(alkaline copper quaternary, ACQ), 구리·아졸화합물계 목재방부제(copper azole, CUAZ) 및 구리·사이크로헥실다이아제니움디옥시-음이온화합물계 목재방부제{bis-(N-cyclohexyldiazoniumdioxy)-copper, CuHDO} 등에는 구리화합물 이외에도 방부효과를 나타내는 유기화합물을 함유하고 있다. 따라서 앞으로 이들 약제 처리 방부목재의 침윤도 평가에서 Cu와 함께 약제 구성 유기화합물의 침투성도 조사할 필요가 있다. 현재 국내 목재방부제 사용량의 90% 이상을 점하고 있는 것으로 알려져 있는 ACQ는 Cu와 DDAC(didecyltrimethyl ammonium chloride)를 유효성분으로 함유하고 있다. Tascioglu 등(2005)과 Lee와 Choi (2014)는 ACQ 유효성분의 목재 내 침투와 관련된 연구를 수행하고, DDAC는 Cu에 비하여 많은 양이 흡착되고 약액 중의 농도 감소가 크게 나타난다고 각각 보고하고 있다. 이들 연구 결과로부터 동일한 처리 조건에서 목재 내부로의 침투성을 비교하면 DDAC가 Cu보다 우수하다는 것을 추정할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 기 개발된 Cu의 발색 기술 이외에 DDAC의 침투상태도 육안으로 확인할 수 있는 새로운 발색처리 기술을 개발하기 위해 2',7'-dichlorofluorescein 화합물의 DDAC와의 발색 반응 특성에 착안하여 ACQ 처리 목재에서의 DDAC 발색반응에 관하여 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

ACQ 목재방부제의 조제 및 DDAC의 발색시험을 위하여 국내 D사로부터 구리화합물(농도 11%)과

DDAC 원액(농도 80%)을 분양받아 사용하였다. 가압방부처리용 ACQ 약액은 KS M 1701 (2002)에서 규정하고 있는 유효성분 비율(구리화합물 62~71 wt%, DDAC 29~38 wt%)에 적합하도록 조제하였으며, 구리화합물과 DDAC의 비율은 65 wt% : 35 wt%, 농도는 0.7 wt%(구리화합물 0.455 wt%, DDAC 0.245 wt%)로 하였다. 또한 처리 목재 중에 침투되어 있는 DDAC 성분의 발색방법을 개발하기 위하여 DDAC 성분만을 함유한 농도 0.245 wt% 용액도 방부처리에 사용하였다.

ACQ 중의 구리 발색 시약 조제는 시약 크롬아즈롤 S(chrome azurol S)와 초산나트륨을 사용하였으며, DDAC의 발색 시약은 2',7'-dichlorofluorescein과 이소프로필 알콜을 사용하여 조제하였다.

ACQ 방부처리를 위한 공시목재는 국산 침엽수인 리기다소나무(*Pinus rigida*)와 수입산 침엽수로는 Spruce-Pine-Fir(이하 SPF라 칭함) 중에서 특히 방부제 난주입성 수종으로 알려진 가문비나무(*Picea sp.*) 제재목을 선별하여 사용하였다. 목재에서의 DDAC의 발색시험을 위한 DDAC 용액의 가압주입 처리에는 리기다소나무의 변재를 사용하였다.

2.2. 실험 방법

2.2.1. 발색 지시약의 조제

구리성분의 발색 지시약은 크롬아즈롤 S 0.5 g과 초산나트륨 5.0 g을 증류수 80 ml에 용해시킨 후 증류수를 추가하여 300 ml로 희석하여 조제하였다(AWPA A3-08, 2010). DDAC의 발색 지시약은 AWPA A17-9(2010)에 따라 2',7'-dichlorofluorescein 0.1 g을 이소프로필 알콜 100 ml에 용해하여 농도 0.1 wt% 용액으로 조제하였다.

2.2.2. 목재 방부처리

각 공시목재로부터 크기 50(너비)×50(두께)×300(길이) mm의 시험체를 채취한 다음 섬유방향으로 약액이 침투하는 것을 방지하기 위해 횡단면에 에폭시수지로 완전 코팅하여 가압 방부처리에 사용하였다.

조제한 ACQ 약액 및 DDAC 용액의 가압방부처리 는 자체 제작한 가압방부처리 장치를 사용하여 주약관 내에 공시목재 시험체를 넣은 후 전배기(700 mmHg, 30분) → 약액 도입 → 약액 가압(15~18 kgf/cm², 120분) → 약액 회수 → 후배기(700 mmHg, 30분)의 공정 순으로 실시하였다. 가압주입 전후의 시험체의 중량 변화로부터 약액 주입량을 산출하였으며, 공시 목재 수종 당 10개의 시험체를 사용하였다.

2.2.3. 유효성분의 발색처리

조제한 2',7'-dichlorofluorescein 발색 지시약에 의하여 수용액 상태에서 DDAC 성분이 발색 현상을 나타내는지 여부를 확인하기 위하여 농도 0.245 wt% DDAC 용액 20 ml에 조제한 발색 지시약 5 ml를 첨가하여 혼합한 후 색상 변화를 육안으로 관찰하였다. 이때 DDAC 성분을 전혀 함유하고 있지 않은 증류수에 대해서도 동일한 방법으로 발색 처리하여 비교하였다. 농도 0.7 wt%의 ACQ 약액 중의 DDAC 성분의 발색 여부는 약액 자체가 진한 청색을 띠고 있어 육안적인 확인이 불가능하였다.

ACQ 약액 또는 DDAC 용액을 가압 주입한 목재에서의 구리와 DDAC 성분의 발색처리는 다음과 같이 수행하였다. 가압주입 처리한 후 실온에 30일간 방치하여 풍건시킨 처리 목재의 중앙부위로부터 두께 3 mm의 시편을 채취하여 횡단면 상에 각각의 조제한 발색 지시약을 분무한 후 상온에 방치하며 색상 변화를 육안으로 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수용액 상에서의 DDAC 성분의 발색

농도 0.245 wt%인 DDAC 용액과 비교를 위해 공시한 증류수에서 2',7'-dichlorofluorescein 발색 지시약 첨가에 따른 색상 변화를 Fig. 1의 (A)에 나타냈다. Fig. 1의 (A)에서 a는 조제한 농도 0.1 wt%의 2',7'-dichlorofluorescein 발색 지시약 용액으로 옅은 황색을 띠고 있다. 지시약을 첨가하기 전에는 모두 투명한 용액이었던 증류수와 DDAC 용액은 지시약

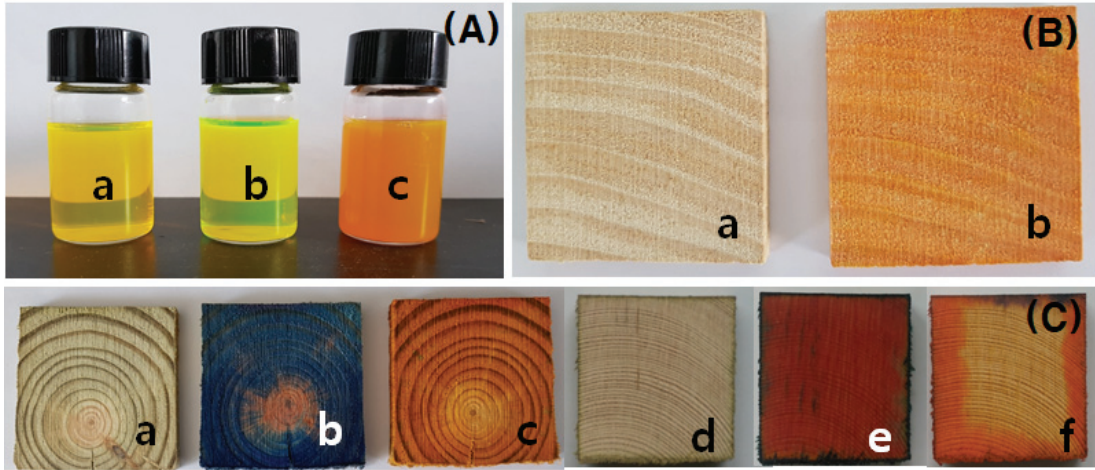


Fig. 1. Coloring of DDAC solution (A) and wood treated with DDAC (B) or ACQ solution (C) by 2', 7'-dichlorofluorescein color indicator.

Notes: (A) is color difference between 2', 7'-dichlorofluorescein color indicator (a) and each solution added with this indicator (b: tap water, c: DDAC solution). (B) is difference in color before (a) and after (b) the color indicator treatment of pitch pine sap wood impregnated with DDAC solution. (C) is coloring reaction result in cross section of pitch pine (a) and spruce (d) wood impregnated with ACQ solution (a, c: before color indicator treatment, b, e: after copper color indicator treatment, c, f: after DDAC color indicator treatment).

첨가에 의해 각각 용액의 색상이 변화하였다. DDAC 성분을 전혀 함유하지 않은 증류수의 경우 (Fig. 1(A)의 b)에는 발색 반응이 진행되지 않고 지시약 보다 약간 엷은 녹색 계통의 색을 띠고 있어 시약이 희석된 양상을 보이고 있다. 이에 반하여 DDAC 성분을 함유하고 있는 용액 (Fig. 1(A)의 c)의 경우에는 시약을 첨가함과 동시에 진한 주황색으로 발색되어 시약 자체의 색상 (Fig. 1(A)의 a) 또는 증류수 (Fig. 1(A)의 b)가 나타내는 색상과는 전혀 다른 계통의 색상으로 발색되는 현상을 보였다. AWPA A17-09의 적정법에 의한 ACQ 약액 중의 DDAC 농도 측정 과정에서 측정 시료 약액에 발색 지시약인 농도 0.1 wt%의 2',7'-dichlorofluorescein 용액을 첨가하게 되면 시료 약액의 색상이 엷은 핑크 색으로 발색된다. 그러나 본 연구에 사용한 DDAC 용액은 Fig. 1(A)의 c와 같이 주황색으로 발색되어 AWPA A17-09(2010)의 적정법에서 나타나는 발색과는 전혀 다른 현상을 보였다. 이와 같이 발생현상에 차이가 나타나는 것은 ACQ 용액의 경우에는 약제 유효

성분으로 DDAC 이외에 구리화합물도 함유되어 있어 발색반응 과정에서 구리화합물의 영향에 의한 것으로 추정된다.

이상의 결과로부터 본 연구를 통하여 ACQ 목재 방부제의 유효성분 중에 하나인 DDAC 성분은 2',7'-dichlorofluorescein 발색 지시약과 반응할 경우에는 주황색으로 발색되는 새로운 현상이 밝혀졌으며, 발색 기작을 설명하기 위해서 추가적인 연구를 진행할 필요가 있는 것으로 판단된다.

3.2. 약액 처리 목재에서의 DDAC 성분의 발색

ACQ 약액 또는 DDAC 용액을 가압주입한 시험체의 약(용)액 침투량을 조사하였다. 공시 목재 중에서 리기다소나무의 경우에는 $642.7 \pm 0.36 \text{ kg/m}^3$ 의 ACQ 약액과 $656.8 \pm 0.79 \text{ kg/m}^3$ 의 DDAC 용액 주입량을 각각 나타냈다. 이에 반하여 가문비나무 시험체의 경우에는 $1.61 \pm 0.24 \text{ kg/m}^3$ 의 ACQ 약액 주입량

을 나타내어 목재 방부제의 침투가 극히 불량한 조직을 갖는 난주입성 수종임을 확인할 수 있었다.

DDAC 성분만을 함유한 농도 0.245 wt% 용액을 가압 주입한 리기다소나무 목재에서의 DDAC 성분의 발색 시험 결과를 Fig. 1의 (B)에 나타냈다. Fig. 1의 (B)에서 a는 발색 시험 전의 시편의 외관을 나타낸 것으로 DDAC 용액의 색상이 투명하기 때문에 처리 목재가 착색되지 않아 목재 고유의 재색을 띠고 있다. 시편 b는 시편 a에 2',7'-dichlorofluorescein 발색 지시약을 분무한 후 실온에 방치한 것으로 횡단면 전체가 주황색으로 발색된 것을 알 수 있다. 이것은 가압 주입한 DDAC 용액이 목재 전체에 균일하게 침투되고, 건조 후에 DDAC 성분이 재중에 잔류하고 있어 발색 지시약과 반응한 결과라고 판단할 수 있다. 이러한 결과로부터 2',7'-dichlorofluorescein 발색 지시약은 수용액 상태(Fig. 1(A)의 c)에서 뿐만 아니라 건조 목재 중에서도 DDAC 성분과 반응하여 동일한 주황색으로 발색된다는 것을 알 수 있다. 따라서 DDAC를 함유하는 ACQ 약액 처리 목재에서도 동일한 발색 반응을 나타내는지 확인할 필요가 있으며, 이것은 개발된 DDAC 발색처리 기술의 현장 적용 가능성 측면에서 매우 중요하다.

방부약액의 주입성이 비교적 양호한 국내산 리기다소나무와 난주입성 수종으로 알려진 수입산 가문비나무를 대상으로 ACQ 약액을 가압주입 처리한 후에 처리 목재 중에서 DDAC 성분의 발색 결과를 조사하여 Fig. 1의 (C)에 나타냈다. a는 리기다소나무, d는 가문비나무를 각각 나타낸 것으로 리기다소나무의 경우(약액 주입량 $642.7 \pm 0.36 \text{ kg/m}^3$)에는 수(pith) 주변 조직 부위를 제외하고 ACQ 약액이 균일하게 침투되어 방부처리 목재 고유의 색으로 착색(열은 녹색계통)되어 있으나, 가문비나무의 경우(약액 주입량 $1.61 \pm 0.24 \text{ kg/m}^3$)에는 시험체 가장자리의 극히 얇은 깊이의 부위에서만 착색되어 있는 것을 관찰할 수 있다. 이와 같은 방부제의 침투깊이를 보다 명확하게 판단하기 위하여 목재방부제의 발색처리 기술이 필요하다.

Fig. 1에서 (C)의 b와 e는 구리 발색 지시약을 처리하여 ACQ 약액의 침투상태를 조사한 것으로 구

리가 존재하는 부위는 농청색, 구리가 분포하지 않는 부위는 적색으로 발색된다. 리기다소나무의 경우 (b)에는 수(pith) 주변 조직을 제외하고 거의 대부분의 부위에서 농청색으로 발색하여 구리성분, 즉 ACQ 약액이 균일하게 침투해 있다는 것을 확인할 수 있다. 그러나 약액 주입량이 적었던 가문비나무의 경우에는 농청색으로의 발색이 시험체 가장자리 극히 일부에서만 나타나고 시험체 내부의 대부분이 적색으로 발색되어 약액의 침투가 극히 불량하였음을 알 수 있다.

Fig. 1(C)의 c와 f는 DDAC 성분의 발색 지시약을 처리한 리기다소나무와 가문비나무 시편으로 전술한 연구결과로부터 알 수 있듯이 주황색으로 발색되는 부위에는 DDAC 성분이 분포하고 있다는 것을 의미한다. 리기다소나무의 경우에는 구리 성분 발색 시편과 동일한 패턴으로 발색되어 구리와 함께 DDAC 성분도 균일하게 침투되어 있음을 알 수 있다. 한편, 가문비나무의 DDAC 성분 발색 시편(f)에서는 구리 성분 발색 시편(e)에서와는 달리 주황색으로 발색되는 부위가 넓게 나타나고 있어 재 표면으로부터 방향에 따라 차이는 있으나 구리성분에 비하여 DDAC 성분이 재 내부로 깊게 침투한 결과를 보이고 있다. 이와 최(2014)는 ACQ 목재방부제의 유효성분의 목재 흡착 특성에 관한 연구를 통하여 ACQ 약액을 재사용하는 과정에서 사용 횟수의 증가와 함께 유효성분의 농도 감소가 발생하며, 그 경향은 구리에 비하여 DDAC가 크게 나타난다고 보고하였다. Tascioglu 등(2005)은 ACQ 목재방부제 유효성분의 목재 흡착에 관한 연구에서 DDAC는 구리에 비하여 보다 빠르고 많은 양이 처리 목재 중에 흡착된다고 보고하였다. 또한 국내의 ACQ 방부처리 목재 생산 현장에서는 일정한 양의 목재를 방부처리 한 후에 회수한 방부 약액에 주기적으로 DDAC 원액을 보충하여 주고 있다. 이와 같은 연구 결과나 사례들은 ACQ 성분 중에서 구리에 비하여 DDAC의 목재 내 침투성이 크다는 것을 의미한다고 할 수 있다. 따라서 약액 침투성이 좋은 리기다소나무에서는 2가지 성분 모두 침투가 잘되어 차이가 나타나지 않았으나 침투성이 불량한 가문비나무에서

는 성분 간에 침투성에 차이가 발생하였으며, 그 결과로 DDAC 발색 시편에서 DDAC의 침투 깊이가 깊어 주황색으로 발색되는 면적이 넓게 나타난 것으로 판단된다. 이와 같이 ACQ 목재방부제에서 성분 간에 침투성의 차이를 육안으로 확인할 수 있는 연구 결과는 처음이며, 앞으로 난주입성 목재 수종의 ACQ 침윤도 측정에서 지금까지는 발색방법이 개발되어 있는 구리 성분만을 대상으로 진행해 왔으나, 본 연구에 의하여 DDAC 발색방법이 개발됨으로써 침윤도 측정방식에 대한 깊이 있는 검토가 필요한 것으로 판단된다.

한편, 전술한 바와 같이 적정법에서 구리와 DDAC 성분을 함유하고 있는 ACQ 약액에 2',7'-dichlorofluorescein 발색 지시약을 첨가하면 옅은 핑크색으로 발색한다. 그러나 ACQ 약액을 처리한 목재에서는 동일한 부위에 구리와 DDAC가 함께 분포하고 있음에도 DDAC 성분만 있을 때(Fig. 1의 c와 Fig. 2의 b)와 동일하게 주황색으로 발색함으로써 발색반응 과정에서 구리의 영향이 없는 것으로 판단된다. 이것은 수분이 없는 건조한 목재상태에서 발색반응이 진행되기 때문인 것으로 추정되며, 이에 관해서는 추가적인 연구를 진행할 계획이다.

4. 결 론

ACQ 목재방부제의 유효성분 중에 한 종류인 DDAC 성분의 발색 방법을 개발하기 위하여 발색 지시약을 선정한 다음 DDAC 용액 및 ACQ 처리 목재를 대상으로 발색 특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. DDAC 성분만을 함유하는 용액에 농도 0.1 wt% 2',7'-dichlorofluorescein 이소프로필 알콜 발색 지시약을 적정량 첨가하면 DDAC와의 발색반응이 진행되어 주황색으로 발색하지만, DDAC 성분을 함유하지 않은 증류수에서는 옅은 녹색을 띤다.
2. DDAC 성분 용액을 가압주입한 후에 건조시킨 목재 표면에 2',7'-dichlorofluorescein 이소프로필 알콜 발색 지시약을 분무하면 서서히 주황

색으로 발색되어 처리 목재 중에 DDAC 성분이 분포함을 알 수 있다.

3. ACQ 약액을 가압 주입한 목재에서도 DDAC 용액을 처리한 목재에서와 동일하게 DDAC 성분이 분포하는 목재 부위에서는 2',7'-dichlorofluorescein 이소프로필 알콜 발색 지시약에 의해 주황색으로 발색한다.
4. DDAC 성분의 발색시험에 의해 목재 방부제의 난주입성 수종인 가문비나무에서 Cu에 비하여 DDAC의 목재 침투성이 우수한 것을 육안으로 확인할 수 있다.
5. 가문비나무 이외에 기타 난주입성 수종에 대해서도 DDAC 발색시험을 통하여 Cu와 DDAC의 침투성 차이를 조사할 필요가 있다.

사 사

이 연구는 2016년도 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음.

REFERENCES

- American Wood Protection Association (AWPA). 2010. Standard methods for determining penetration of preservatives and fire retardants. A3-08. AWPA. Birmingham. p. 199.
- American Wood Protection Association (AWPA). 2010. Standard for determination of didcyldimethylammonium chloride in ACQ solutions. A17-09. AWPA. Birmingham. pp. 247
- Korean Industrial Standard. 2002. Wood preservatives. KS M 1701. Korean agency for technology and standards.
- Lee, H.M., Lee, D.H., Hwang, W.J. 2013. Penetration of ACQ treatment and its effect of degradation on wood tissues (structure). Journal of the Korean Wood Science and Technology 41(6): 576-582.
- Lee, J.S., Choi, G.S. 2014. Adsorption characteristics

구리·알킬암모늄화합물계 목재방부제(ACQ)를 처리한 목재 중의 Didecyldimethylammonium Chloride (DDAC) 성분의 발색처리 방법 개발

- of alkaline copper quat. preservative components in wood. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 42(4): 491-498.
- Ra, J.B. 2010. Measurement of copper concentration in ACQ, CUAZ, and CB-HDO solution by using a spectrophotometer. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 38(5): 450-456.
- Tascioglu, C., Cooper, P., Ung, T. 2005. Rate and extent of adsorption of ACQ preservative components in wood. *Holzforschung* 59: 574-580.