

새로운 水溶性 防腐防蟲劑의 材中 定着性에 관한 界面電氣化學的 特性^{*1}

金 榮 淑^{*2}

Surface Electrochemical Study on the Fixation Properties of New Water-borne Preservatives in Red Pine^{*1}

Yeong-Suk Kim^{*2}

ABSTRACT

In order to investigate the extent of fixation of new water-borne preservatives in blocks of *pinus densiflora* sapwoods the streaming potential through the column with preservative treated wood was measured at various conditions. The rates of leachability of ingredients in the treated wood were estimated by the measurement of electric conductivity of the solution with the leached components. The solution was also analyzed by Atomic absorption spectrophotometer (AA).

As a results, the experimental data indicated that the fixation of CCB, CCFZ and ACQ in wood were relatively unstable. The fixation rates of CCB, CCFZ were improved by increasing heat and drying time. The amounts of the leached ingredients were apparently higher in CCB and CCFZ than in CCA, while the rate of leaching of ACQ was not changed at various drying temperature.

Keywords : Fixation, CCFZ, CCB, ACQ, leaching, ζ -potential

1. 서 론

定着型 木材防腐防蟲劑는 溶劑로 물을 이용할 수 있는 경제적 이점 때문에 保存處理의 필요성이 큰 용도 즉 木質材料로 만들어지는 造景施設, 木電柱, 枕木 등 屋外 사용의 木構造物 등에 많이 이용되어 오고 있다. 그 중 사용량이 가장 많고 사용의 역사도 깊은 藥劑가 銅-크롬-비스(CCA)系 藥劑인데 이는 기능이 각기 다른 單一의

無機物들의 混合型으로서 處理되어진 후 材中에서 각각의 藥劑成分이 化學反應을 일으켜 難溶의 狀態로 존재하면서 오래도록 防腐防蟲效力을 발휘하는 것으로 알려져 있다. 따라서 이러한 定着型 藥劑의 경우 處理 후 材中에서 藥劑의 有效成分이 難溶性을 지니는 형태로 존재하는가가 藥劑 性能 評價에 주요 요인이 되고 있다. 특히 環境 및 사용상의 安全性을 위해 無毒性 또는 低毒性의 藥劑를 추구하고 있으나 근래의 木材防腐防蟲劑 研究 및 産業의 動向에서 나타나는 바와 같이 處理의 경제성 때

*1 접수 1996년 12월 15일 Received December 15, 1996

본 연구는 1994년 임업연구원 목재 및 목질재료의 성능향상 연구의 일환으로 수행된 것임.

*2 국민대학교 삼림과학대학 College of Forest Science, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

문에 水溶性 指向을 피하지 못하는 실정이다. 이러한 실정에서 추구되는 水溶性 藥劑는 대부분이 有效成分의 溶脫을 우려한 定着型 混合藥劑가 주류를 이룬다. 크롬을 定着劑로 사용한 불소-크롬-砒素계(FCAP), 산성 크롬 산銅계(ACC), 銅-크롬-붕소계(CCB), 銅-크롬-불소-아연계(CCFZ), 銅-크롬-인계(CCP) 등과 암모니아를 定着에 이용하면서 비소의 함량을 줄인 암모니아성 亞砒酸銅아연계(ACZA) 및 ACQ등이 그 예이다.

Dahlgren(1972abc·1974·1975a)은 CCA의 定着性에 관한 일련의 研究에서 定着反應 결과 材中에서 만들어진 最終 產物로 $CrAsO_4$, $Cu(OH)CuAsO_4$, $CuCrO_4$ 등을 들고 있으며 이들이 생성되기까지 中間生成物은 물에 溶脫되기 쉬운 물질 등임을 보고했다. Pizzi(1981·1982c)도 CCA處理에서 pH변화에 의한 中間生成物들이 점차 難溶化됨을 보고했고, Wilson(1971) 및 Cooper 등(1995)은 銅 및 비소의 定着性이 크롬의 환원여부에 있음을 밝힌 바 있다. 이러한 定着機構와 관련하여 Anderson(1990), Cooper 등(1989) 및 Wilson(1971)은 溫度의 변화, Steam injection, 定着時間 조절 등의 방법으로 CCA 定着性을 개선할 수 있음을 시사한 바 있다. 또한 Anderson은 크롬·銅을 함유하는 定着型 藥劑 중에서 비소 대신에 다른 元素를 적용시킬 경우 材中에서의 藥劑成分의 舉動 및 定着性이 CCA와 상이함을 보고하였고, 金 등(1985·1990)은 組成비가 각기 다른 CCA-1, 2 및 3호의 경우 각각 材中 定着性이 다르다고 보고했다.

이에 본 研究에서는 국내 또는 외국에서 사용이 시도되고 있는 최근의 각종 定着型 水溶性 藥劑를 국산 針葉樹材에 處理하여 材中에서 이들 藥劑組成成分의 定着性 및 물에 대한 溶脫性을 界面電氣化學的方法(金 등, 1985·1990)에 의해 밝히고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 供試材料

供試藥劑는 水溶性防腐防蟲劑로서 CCA-2, CCFZ, ACQ 및 CCB를 사용하였다. 供試藥劑의 조성을 Table 1에 나타낸다. 供試藥劑의 處理濃度は 각 藥劑 공히 3%로 하였다.

供試木材로는 소나무(*Pinus densiflora*) 邊材를 사용하였고, 試驗體는 $10 \times 10 \times 10$ mm로 하고, 界面電氣化學의 성질에 대한 抽出物의 영향을 없애기 위해 알코올·벤젠 抽出을 6時間 행한 후 乾燥하여 藥劑處理에 이용하였다.

Table 1. Composition of wood preservatives.

Preservatives	Components	Composition (%)
CCA-2	CrO_3	34.0
	CuO	19.0
	As_2O_5	47.0
CCB	$Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$	32.5
	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	32.3
	H_3BO_3	35.2
CCFZ	$(NH_4)_2Cr_2O_7$	63.0
	$Cu(SiF_6)$	17.3
	Zn(SiF) ₆	19.7
ACQ	CuO	11.9
	AAC	9.5

2.2 試驗方法

2.2.1 藥劑處理

減壓處理(50mmHg, 10분 減壓 → 常壓 10분)로 藥液 吸收率에 平均 160~180%가 되도록 處理하였다. 處理 후 乾燥溫度를 각기 15℃, 30℃로, 乾燥期間은 각기 3, 10, 20, 30日間 乾燥하여 流動電位測定 및 溶脫試驗에 사용하였다.

2.2.2 流動電位測定

流動電位測定에는 金 등(1985)이 사용한 것과 같은 장치를 사용했다. ζ -電位(mV)는 測定에서 얻어진 流動電位로부터 Helmholtz-Smoluchowski(北原, 1972)式으로 구했다.

$$E/P = \zeta \epsilon / 4\pi\eta\lambda \dots\dots\dots(1)$$

여기에서 E : 流動電位(mV), P : 압력(g/cm²).

ζ : ζ -電位(mV), ϵ : 誘電率, η : 점도(poise).

λ : 電氣傳導度($\Omega^{-1} \cdot cm^{-1}$)이다.

測定은 無處理 및 處理試驗體를 분쇄하여 試料를 150mesh 이상으로 조정한 다음, 약 60mg을 채취하여 30ml의 물에 5분간 침지시킨 후 濾過하여 잔사는 流動電位測定에 사용하였다. 이 때 濾液에 대하여는 藥劑의 溶脫을 조사하는 試驗을 행하였다.

測定水는 pH 5.5, 電氣傳導率이 $1 \sim 1.5 \times 10^{-6} \Omega^{-1} \cdot cm^{-1}$ 인 超純粹蒸溜水(WX 0004-1 water Omni Solv)를 사용하였다.

有效成分 및 電解質 등의 溶脫을 조사하기 위하여 流動電位測定에서 前處理에서 얻어진 濾液에 대하여 電氣

Table 2. Instrumental parameter for AA determination.

Element	Rsonance line	Flame condition
Copper	324.7	Air-C ₂ H ₂
Chrome	357.9	Air-C ₂ H ₂
Arsenic	193.7	Air-C ₂ H ₂
Zinc	213.9	Air-C ₂ H ₂

傳導度 및 元素分析을 行하였다. 元素分析은 AA(GBC 903 Atomic Absorption Spectrophotometer)로 실시하였고, 測定條件을 Table 2에 나타낸다.

3. 결과 및 고찰

處理木材 내에서 藥劑成分의 定着狀態를 流動電位法으로 조사한 결과를 Fig. 1~4에 나타냈다.

無處理材의 경우 약 8~10회 정도 컬럼에 測定水를 流動시키면, 그 이후는 거의 안정된 값을 보였다. CCA-2 處理材에서 處理後 30日間の 乾燥期間을 둔 경우의 ζ -電位는 15℃ 및 30℃ 乾燥溫度에서 無處理材와 유사하게 안정된 값을 나타냈다. CCB, ACQ 및 CCFZ에서는, 세 藥劑 모두 無處理材에 비해 (-)電位가 높고 流動의 회수가 증가해도 그 값은 일정해지지 않고 계속 변화하는 狀態를 보이고 있다. 그러나 CCB處理材에서 30℃로 乾燥했을 경우에는 流動回數의 증가에 따라 비교적 안정된 測定値가 얻어졌다.

CCA와 같은 無機定着型 藥劑는 木材組成成分과 직접 결합을 하기보다는 여러 종류의 無機化合物이 材中에서

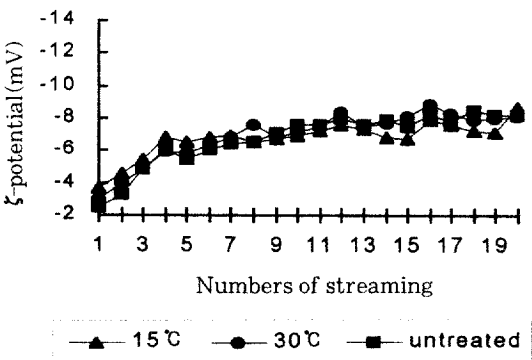


Fig. 1. Relation between the numbers of streaming through the column and ζ -potential of the CCA treated wood.

化學反應을 거쳐 難溶性 물질로 그대로 沈澱되는 것이 일반적이다. 木材에 注入하기 전의 藥液狀態에서는 거의 이온狀態로 존재하다가 木材 내에 處理되면서 材中の pH 및 水分, 溫度 등의 영향을 받아 이온끼리 서로 하나의 錯化合物을 만들게 된다. 錯化合物의 완성율이 높을수록 定着性이 좋다고 할 수 있다(Dahlgren, 1972abc · 1974 · 1975a; Pizzi, 1981 · 1982abc · 1987; Anderson, 1990). 錯化合物이 완성되지 않은 狀態에서 藥劑組成成分은 이온인 狀態로 또는 水溶性의 간단한 化合物로 材中에서 乾燥되어 남아있게 되는데, 이 狀態에서 處理木材에 물을 접촉시키면 이들이 流脫되고 이러한 流脫이 ζ -電位에 영향을 하는 것으로 고찰하였다.

따라서 ζ -電位의 (-)부호 값이 높은 것은 材中の 化合物이 이온을 띄고 있는 것이 많은 것을 의미하고, 특히 流動電位 測定時 超純粹蒸溜水를 통과시키기 때문에 測定值의 誤差가 심하거나 (-)부호가 높으면서 誤差가 큰 것은 물에 溶脫되기 쉽거나 불안정한 定着狀態로 해석할 수 있다(金 등, 1985 · 1990).

특히 CCA의 경우 乾燥期間이 30日 이상 경과하면 乾燥溫度 15 및 30℃ 사이에는 定着狀態에 차이가 없는 것으로 分析되었다. 그러나 CCB, CCFZ 및 ACQ의 경우 乾燥溫度를 15℃로 한 경우 定着狀態가 안정되지 않은 것으로 고찰되었다. 이같은 본 研究의 일부 결과는 金 등(1995)이 15℃에서 CCA處理材는 34일 CCFZ는 64일의 養生期間이 요구된다는 報告와 유사하다.

ACQ處理材에서는 處理材의 ζ -電位가 流動回數 10회 이후에 약 -10~-12mV로 CCA 處理材에 비해 (-)電位가 다소 높은 것으로 나타났다. ACQ 處理材의 경우, 構成成分中 Alkyl Ammonium Chloride의 Cl⁻이 木材

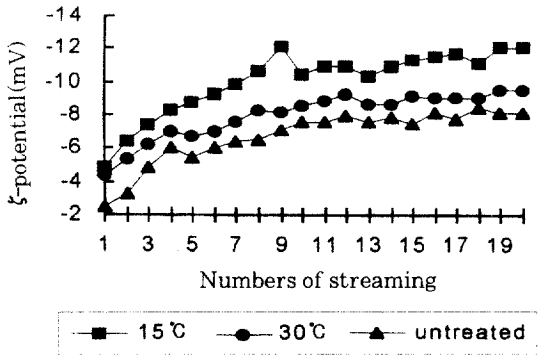


Fig. 2. Relation between the numbers of streaming through the column and ζ -potential of the CCB treated wood.

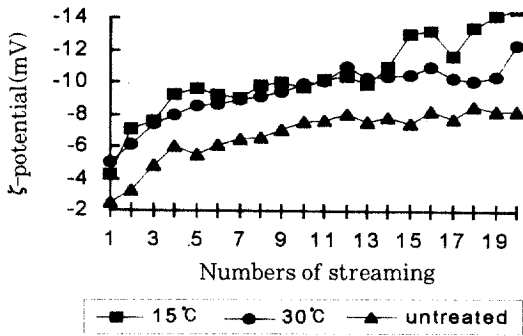


Fig. 3. Relation between the numbers of streaming through the column and ζ -potential of the CCFZ treated wood.

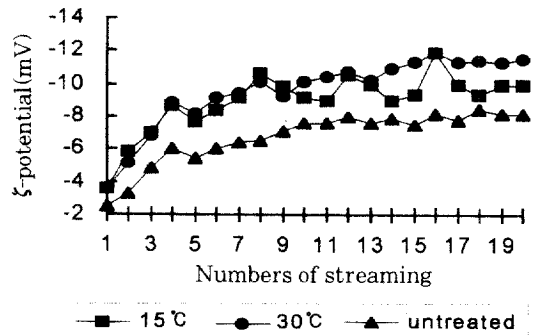


Fig. 4. Relation between the numbers of streaming through the column and ζ -potential of the ACQ treated wood.

表面의 H^+ 에 결합하여 (-)電位가 증가한 것으로 추측된다. 제4급 암모늄염系 藥劑인 Benzalkonium chloride로 처리했을 때 (-)電位가 증가한 보고(Kim *et al.*, 1991)가 있는데, ACQ는 제4급 암모늄鹽系 藥劑와 酸化銅과의 혼합물로 處理材의 ζ -電位는 前者의 영향에 의한 것으로 해석된다.

定着反應이 완료되었다고 예상되는 乾燥日數 30일이 경과한 處理木材 試料의 溶脫液에 대하여 原子吸收分光分析法에 의해 分析한 결과를 Fig. 5~8 및 Table 3에 나타내었다.

溶脫된 크롬의 양은 3~17ppm의 수준으로 나타났으며, CCA-2에 비해 CCB 및 CCFZ의 경우 현저히 많은 양의 크롬이 검출되었고, 定着溫度에 따른 差가 매우 큰 것으로 나타났다. Cu의 경우 供試藥劑 모두 As나 Zn에 비해서는 적은 양을 나타냈으나 CCB 및 CCFZ의 경우는 定着溫度가 15°C인 경우 현저히 큰 溶脫을 보여 溫度

의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

Ruddick 등(1994), Cooper 등(1989·1994), Sheard (1991) 및 Klipp 등(1990)은 人工乾燥를 한 경우 크롬의 還元이 높아지고 有效成分의 溶脫이 감소함을 보고하고 있는데, 본 論文에 사용된 供試藥劑의 경우도 이와 유사한 결과를 나타냈다. 특히 CCFZ의 경우 溫度差에 의한 有效成分의 溶脫量의 差가 매우 현저하였다. 그러나 CCA-2 處理材의 비소는 乾燥溫度를 30°C로 했을 때 다소 낮아졌으나 많은 溶脫量을 보였다. Kim 등(1993)에 의해 CCA 處理材에서 비소가 銅 및 크롬에 비해 약 4~40배로 많이 溶脫된 결과가 있던 하나(pH 6.8 용액으로 溶脫시켰을 때), CCA-2의 경우 定着性이 매우 우수하여 비교적 안전한 藥劑로 취급되었는데, 보다 깊은 검토가 요구되는 부분이다. 특히 Wilson(1971) 및 Cooper 등(1995)은 비소의 定着性은 크롬定着에 영향을 받다고 報告하고 있는데, 본 實驗에서 크롬의 定着과 상충되

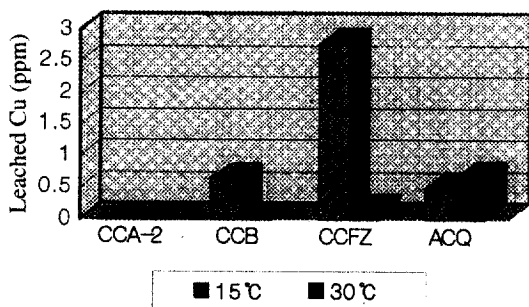


Fig. 5. Leached copper of the preservative treated wood(Fixation period : 30days).

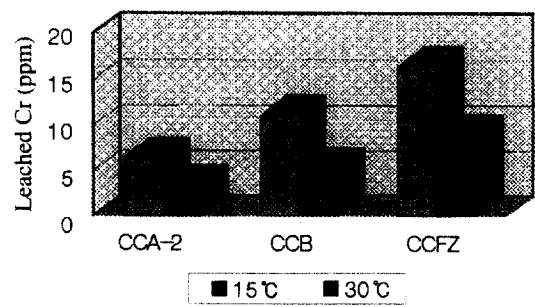


Fig. 6. Leached chromium of the preservative treated wood(Fixation period : 30days).

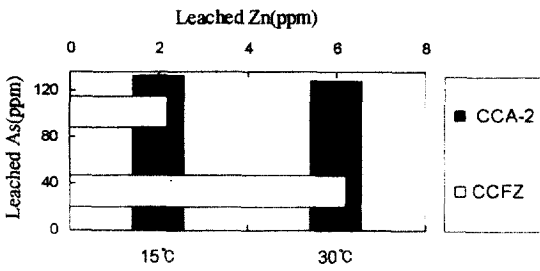


Fig. 7. Leached arsenic and zinc of the preservative treated wood (Fixation period : 30days)

는 결과를 보이고 있다. 그러나 Chou 등(1973)은 CCA가 材中에 定着한 후 각 組成成分의 분포를 조사한 결과에서 Cu는 세포벽 成分에, As는 細胞內腔 表面에 분포가 많음을 報告하고 있는데, 본 實驗에서 나타난 비소의 높은 溶脫은 流動電位 前處理에서 얻어진 初期 溶脫이므로 細胞內腔의 表面에 沈澱되었던 비소化合物에 기인한 가능성도 있는 것으로 高찰되었다. 또한 銅의 경우 處理 직후 매우 初期단계에서 銅이온의 이온交換 反應에 의한 吸着이 상당량 일어나므로 그만큼 溶脫 될 수 있는 量이 As에 비해 적은 것이 원인이 될 수 있는 것으로 高찰되었

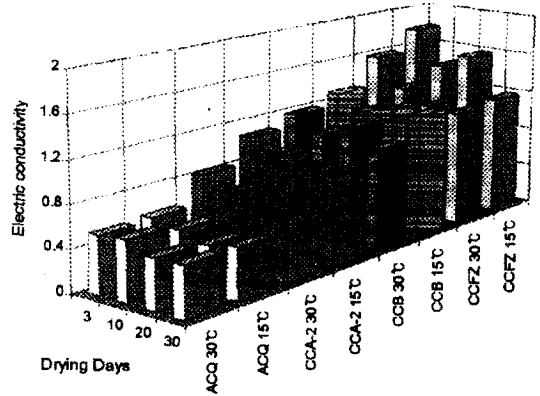


Fig. 8. Electric conductivity of leached solution at each drying days.

다. 한편 리그닌 및 셀룰로오스 含量이 銅 및 비소의 定着에 影響한다는 報告 등(Pizzi, 1990ab)이 있어 이들 有效成分의 溶脫과 木材成分의 關係에 깊은 연구가 필요한 것으로 사료된다.

CCA-2의 경우 乾燥期間이 길어질수록 溶脫액의 電氣 傳導度가 작아져 溶脫된 電解質의 濃度가 낮은 것으로

Table 3. Leached component.

Preservatives	Drying priod (day)	(Unit : ppm)							
		15°C				30°C			
		Cu	Cr	As	Zn	Cu	Cr	As	Zn
CCB	3	0.65	14.37	NT	NT	IV	8.00	NT	NT
	10	0.27	11.56	NT	NT	IV	5.63	NT	NT
	20	0.88	11.58	NT	NT	IV	6.63	NT	NT
	30	0.64	11.10	NT	NT	IV	5.33	NT	NT
CCFZ	3	3.27	21.75	NT	7.00	1.12	17.42	NT	4.41
	10	1.28	17.44	NT	5.03	0.43	13.56	NT	3.19
	20	2.00	18.17	NT	5.84	0.21	12.23	NT	2.77
	30	2.77	16.44	NT	6.22	0.14	8.98	NT	2.18
ACQ	3	IV	NT	NT	NT	IV	NT	NT	NT
	10	IV	NT	NT	NT	0.03	NT	NT	NT
	20	IV	NT	NT	NT	0.36	NT	NT	NT
	30	0.49	NT	NT	NT	0.65	NT	NT	NT
CCA-2	3	IV	9.87	143.80	NT	IV	7.29	145.49	NT
	10	IV	7.94	156.20	NT	IV	5.85	144.93	NT
	20	IV	7.06	156.20	NT	IV	5.81	139.85	NT
	30	IV	6.39	133.08	NT	IV	3.39	128.01	NT

Notes : NT : not tested, IV : insignificant value.

나타났다.

CCFZ 및 CCB의 경우에도 乾燥期間의 增加에 따라 電氣傳導度가 작아지는 경향을 보여 定着기간이 길어질 수록 定着이 양호해짐을 나타내고 있다. 그러나 ACQ에서는 乾燥溫度에 따른 電氣傳導度 값의 差가 적은 결과를 보였는데, 이는 ACQ가 組成分 中에 Alkyl Ammonium 系 藥劑를 포함하고 있으므로 이 藥劑가 溫度의 영향을 받아 오히려 30℃에서 분해되는 양상을 보였을 가능성이 있는 것으로 고찰되었다. Lin 등(1994)은 DDAC, ACQ, CCA의 weathering에 대한 抵抗性을 조사한 결과에서 DDAC 및 ACQ는 Alkyl Ammonium化合物을 함유하여 光分解性이 높은 것으로 報告된 바 있다.

4. 결 론

1. CCB, CCFZ 및 ACQ로 處理한 경우 CCA에 비해 處理材의 (-)電荷의 ξ -電位가 다소 크게 나타났으며, 流動回數에 따른 測定值의 분포도 불안정한 결과를 얻어 藥劑成分의 材中 定着狀態가 CCA에 비해 불안정한 것으로 나타났다.
2. 대부분의 供試藥劑에서, 乾燥溫度를 30℃, 乾燥日數 30일로 한 경우 處理材의 定着性이 다소 개선되었으나 CCA 수준에는 이르지 못하는 것으로 밝혀졌다. 단, ACQ의 경우 15℃로 乾燥溫度가 낮아졌을때 定着狀態가 양호한 것으로 나타났다.
3. 供試藥劑 모두 乾燥(定着)기간을 길게 할수록 定着性이 개선됨이 밝혀졌다.
4. 有效成分의 溶脫性을 조사한 결과, CCB, CCFZ 및 ACQ處理材의 경우 CCA에서 溶脫된 수준보다 높은 量의 成分들이 검출되었다.

참 고 문 헌

1. 金奎赫·羅鍾範. 1995. 養生溫度와 방법이 CCA-Type B와 CCFZ 防腐處理材의 養生에 미치는 影響. 木材工學 23(4) : 33~38
2. 金榮淑. 1993. 環境 安全性을 지향하는 最近의 木材防腐防蟲劑(1) - 水溶性藥劑를 중심으로-. 國民大學校 山林科學 6 : 89~107
3. 金榮淑·黑田健一·井上嘉幸. 1985. 木材防腐防蟲劑의界面電氣化學的 研究(第1報). 防腐防微誌 13(9) : 389~394, 13(9):445~451.
4. 金榮淑·黑田健一·井上嘉幸. 1985. 木材防腐防蟲劑의界面電氣化學的 研究(第2報). 防腐防微誌 13(9)

: 445~451

5. 金榮淑. 1990. 表面電荷密度를 이용한 銅·크롬·비소系防腐防蟲劑의 定着에 관한 研究. 木材工學 18(1) : 24~30
6. 北原文雄·渡邊昌. 1983. 界面動電現象. 共立出版 : 108
7. 園部 積·石田英生·天野光. 1991. CCA處理木材의蒸氣による定着方法について. 木材保存 17(5) : 9~17
8. Anderson, D. G. . 1990. The accelerated fixation of chromated copper preservative treated wood. Proceedings of AWWPA 86 : 129~151
9. Chen, J., M. Kaldas, Y. T. Ung and P. A. Cooper. 1994. Heat transfer and wood moisture effects in moderate temperature fixation of CCA treated wood. IRG/WP 94-40022
10. Chou, C. K., J. A. Chandler and R. D. Preston. 1973. Microdistribution of metal elements in wood impregnated with a copper-chrome-arsenic preservative as determined by analytical electron microscopy. *Wood Sci. & Tech.* 7 : 151~160.
11. Cooper, P. A., Y. J. Ung. 1989. Moderate temperature fixation of CCA-C. IRG/WP 3522
12. Cooper, P. A., R. Macvicar and Y. T. Ung. 1995. Relating CCA fixation to leaching of CCA components from treated products. IRG/WP 95-50045
13. Dahlgren, S. E. 1974. Kinetics and mechanism of fixation of Cu-Cr-As wood preservatives, Pt.IV. Conversion reactions during storage. *Holzforschung* 2(2) : 58~61
14. Dahlgren, S. E. 1975a. Kinetics and mechanism of fixation of Cu-Cr-As wood preservatives, Pt.V. Effect of wood species and preservative composition on the leaching during storage. *Holzforschung* 29(3) : 84~95
15. Dahlgren, S. E. 1975b. Kinetics and mechanism of fixation of Cu-Cr-As wood preservatives, Pt.VI. The length of the primary precipitation fixation period. *Holzforschung* 29(4) : 130~133

16. Dahlgren, S. E., and W. H. Hartford. 1972a. Kinetics and mechanism of fixation of Cu-Cr-As wood preservatives. Pt. 1. pH behaviour and general aspects on Fixation. *Holzforschung* 26(2) : 62~69
17. Homan, W. J. and H. Militz. 1993. Applications of the shower test-Part b: Results from CC and CCB treated wood : influence of fixation process. IRG/WP 93-50010
18. Homan, W. J., H. Militz and D. A. Lewis. 1993. Applications of the shower test-Part a : Results from CCA type C treated wood: influence of fixation process. IRG/WP 93-50009
19. Homan, W. J., 1994. On site test for Indicative determination of leaching of components of preservatives from treated timber. Part 2 : New data on CCA-C, CC and CCB treated timber. IRG/WP 94-50025
20. Kim, J. J. and G. H. Kim. 1993. Leaching of CCA components from treated wood under acidic conditions. IRG/WP/93-50004
21. Kim, Y. S., 1991. Measurement of electrokinetic potential to evaluate adsorption of quaternary ammonium salt. IRG/WP 3672
22. Klipp, H., H. Willeitner, K. Brandt and A. Muller-Grimm. 1990. Migration of active ingredients from treated timber into fresh water. IRG/WP 3660
23. Kubel, H. and A. Pizzi. 1982. The chemistry and kinetic behaviour of Cu-Cr-As/B wood preservatives-Part 5. Reactions of CCB with cellulose, Lignin and their simple model compounds. *Holzforschung und Holzverwertung* 34(4) : 75~83
24. Lin, L., J. N. R. Ruddick and L. Jin. 1994. The influence of copper(II) chemicals on the weathering of treated wood Part 1. ACQ treatment of wood on weathering. IRG/WP 94-30040
25. Osborne, P. D. and E. A. Pasek. 1990. CCA retentions on the percent fixation and fixation rate. Proceeding of AWWA 123~124
26. Pizzi, A., 1982. The chemistry and kinetics behaviour of Cu-Cr-As wood preservatives Part II. Fixation of the Cu/Cr system on wood. *Polymer Sci.* 20 : 707~724.
27. Pizzi, A., 1982. The chemistry and kinetics behaviour of Cu-Cr-As wood preservatives Part II. Fixation of the Cr/As system on wood. *Polymer Sci.* 20 : 725~738
28. Pizzi, A., 1982. The chemistry and kinetics behaviour of Cu-Cr-As wood preservatives Part II. Fixation of the CCA to wood. *Polymer Sci.* 20 : 739~764
29. Pizzi A., 1990. Chromium interactions in CCA/CCB wood preservatives. *Holzforschung* 44(5) : 373~380
30. Ruddick, J. N. R., K. Yamamoto and F. G. Herring. 1994. The influence of accelerated fixation on the stability of chromium(V) in CCA-treated wood. *Holzforschung* 48 : 1~3
31. Sheard, L., 1991. A study of the rate of fixation of various chromium-containing preservatives. IRG/WP/3653
32. Wilson, A., 1971. *J. Institute of Wood Science* : 36~40