

CCA 처리재로부터 방부제 유효성분의 용제추출*1

김규혁*2† · 공일곤*3 · 나종범*4 · 조재성*5 · 김재진*6

Solvent Extraction of Preservative Components from CCA Treated Wood*1

Gyu-Hyeok Kim*2† · Il-Gon Kong*3 · Jong-Bum Ra*4 · Jae-Sung Cho*5 · Jae-Jin Kim*6

요 약

본 연구는 CCA 처리재로부터 방부제 유효성분을 추출하기 위한 적정 용제를 선정하고, 선정된 용제의 최적 추출조건을 평가하기 위해 수행되었다. 추출수율과 용제의 사용 및 환경 안전성을 고려할 때, 과산화수소가 CCA 유효성분을 추출하는 데 가장 적절한 용제로 선정되었다. 과산화수소를 이용한 추출 결과, 추출온도, 추출용제 농도, 추출시간 간에 상호작용이 존재하였으나 추출온도와 추출용제의 농도가 높을수록, 그리고 추출시간이 연장될수록 CCA 유효성분의 추출수율은 증가되었다. 경제적인 측면을 고려할 때 가능하면 낮은 농도의 추출용제를 사용하여 저온에서 추출하여야 하나, 이 경우에는 필요한 추출수율을 달성하기 위한 추출시간이 상당히 길어 지기 때문에 40℃ 이상의 온도에서 추출이 바람직하며 사용할 추출용제의 농도는 추출시간을 고려하여 최종적으로 결정하여야 된다고 사료된다.

ABSTRACT

This research was performed to select an appropriate agent to extract preservative components from CCA-treated wood, and then to evaluate the effect of reagent concentration, extracting temperature, and

* 1 접수 2002년 7월 25일, 채택 2002년 11월 15일

이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2001-041-G00053).

* 2 고려대학교 생명환경과학대학, College of Life and Environmental Sciences, Korea University, Seoul 136-701, Korea

* 3 동화기업(주), Dongwha Enterprise Co., Ltd., Incheon 404-251, Korea

* 4 진주산업대학교 임산공학과, Department of Forest Products Engineering, Chinju National University, Jinju 660-758, Korea

* 5 고려대학교 생명자원연구소, Institute of Life Science & Natural Resources, Korea University, Seoul 136-701, Korea

* 6 Department of Wood Science, University of British Columbia, Vancouver, B.C. Canada V6T 1Z4

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

extracting time on the removal of chrome, copper, and arsenic from treated wood. Hydrogen peroxide was selected as the best extracting agent when considered extraction yield as well as use and environmental safety. Its extraction yield was dependent on extracting variables (temperature, concentration, and time), and a highly significant interaction existed among variables. It should be possible to optimize extraction by manipulating these extracting variables. The results may suggest that the required temperature conditions for the reasonable removal of CCA components are at least above 40°C because extracting time is too long at low temperature (20°C). Reagent concentrations for extracting at above 40°C should be decided by considering the extracting time.

Keywords: CCA, hydrogen peroxide, extraction, chrome, copper, arsenic

1. 서 론

작년 서울환경연합이 크롬·구리·비소화합물계 방부제인 CCA 사용과 관련된 건강 및 환경 위해성에 대한 여러 가지 의구심과 문제점을 제기하였다(서울환경연합, 2001). 방부성능, 방충성능, 용탈저항성, 가격 등의 측면을 고려할 때, CCA가 현재까지 개발된 모든 방부제 중 가장 우수한 방부제임을 부인할 수는 없다. 그러나 CCA 유효성분인 5가비소와 6가크롬이 워낙 극독성인 관계로 완벽하게 양성되지 않은 처리재를 현장에 시설하는 경우와 처리재 시설 현장에서 발생하는 가공폐재와 사용수명을 다한 처리재의 폐기가 부적절하게 될 경우에는 분명히 서울환경연합이 지적하고 있는 문제점이 발생할 수 있다. 이러한 이유로 서울환경연합은 CCA의 전면 사용금지를 주장하고 있는데, 앞으로 국내에서 CCA를 계속 사용할 것인지 아니면 사용을 금지하거나 또는 사용에 대한 일부 필요한 규제를 가할 것인지는 향후 경제협력개발기구인 OECD 화학분과위원회의 결정을 따르면 되기 때문에 지금 단계에서는 이에 대한 더 이상의 논란을 지속할 필요는 없다고 본다.

앞으로 OECD의 결정을 지켜보아야 하겠지만, 설사 CCA의 사용이 전면 금지된다 하더라도 현재 현장에 시설된 후 사용되고 있는 CCA 처리재가 사용수명을 다하여 최종 폐기되려면 앞으로도 수 년 또는 수십 년이 경과하여야 하기 때문에 CCA 처리재의 사용 후 안전한 폐기에 대한 논란은 계속될 것이다. 현재 CCA 처리재는 다른 일반 폐기물과 마찬가지로 토양

매립(landfill) 또는 소각(incineration)에 의해 폐기되고 있다. 그러나 최근 서울환경연합이 지적하였듯이 토양매립은 CCA 유효성분의 용탈로 인한 매립장 주변 환경의 오염문제를 발생시킬 수 있고, 소각은 처리재의 연소시 맹독성의 비산가스를 배출하기 때문에 토양매립이나 소각 모두 폐기 방법으로는 부적절하다. 따라서 CCA 처리재를 친환경적으로 폐기할 수 있는 방법을 모색하여야 하는데, 현 단계에서 생각해 볼 수 있는 유일한 대안이 전처리에 의해 CCA 가공폐재나 폐 CCA 처리제로부터 방부제 유효성분인 크롬, 구리, 비소화합물을 제거한 후 기존의 방법으로 폐기하는 것이다.

폐 처리제로부터 CCA 유효성분의 제거는 미생물을 이용한 생물분해법(Clausen, 2000; Clausen and Smith, 1998; Stephan *et al.*, 1993)과 화학적 방법인 용제추출법(Clausen and Smith, 1998; Kamdem *et al.*, 1998; Kazi and Cooper, 1998; Shiau *et al.*, 2000)에 의해 가능하다. 용제추출법에 비하여 친환경적인 생물분해법은 잠재 가능성은 매우 우수하나 아직은 기초 연구단계로 연구결과의 현장적용을 위해서는 앞으로도 상당한 시간이 걸릴 것으로 예상되지만, 이에 반해 용제추출법은 선정된 적정 용제에 대한 적정 추출조건이 도출된다면 실제 현장에 바로 적용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 용제추출법에 의해 CCA 유효성분이 제거된 목질원료는 필요에 따라서는 파티클보드 원료 등 다양한 용도로 재활용도 가능하며 추출된 유효성분은 CCA 원료나 다른 용도로의 재이용도 가능하리라 생각된다. 국내의 경우, 아직까지는 사용수명이 다한 처리재의 양이 적어 폐기 문제

가 크게 부각되고 있지 않지만 앞으로 폐기되는 처리재의 양이 급격히 늘어날 것으로 예상되어 CCA 처리재의 친환경적 폐기에 대한 연구는 반드시 필요한 실정이다.

본 연구는 CCA 처리재로부터 크롬, 구리, 비소를 추출하는데 사용 가능한 추출용제를 추출수율과 용제의 사용 및 환경 안전성을 동시에 고려하여 선정하고, 선정된 용제를 대상으로 처리재로부터 방부제 유효성분의 추출을 위한 적정 추출조건(추출용제의 농도, 추출온도, 추출시간)을 구명하기 위해 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 추출용 목적분의 준비

횡단면 치수가 4×10 cm인 라디에타소나무(*Pinus radiata* D. Don) 변재부 제재목으로부터 길이 30 cm의 방부처리용 시험편을 준비하여 실내에서 12% 함수율 선까지 건조시킨 후, 2%(w/v) CCA 3호 수용액을 이용하여 총세포법으로 처리하였다. 방부처리 종료 후, 시험편들을 60°C 에서 48시간 동안 가속양생을 실시한 다음 실내에서 충분히 건조시켜 CCA 유효성분의 처리 시험편내 완전 정착을 도모하였다. 추출에 사용할 목적분은 완전 양생된 시험편으로부터 제조한 소형 칩을 Wiley mill을 이용하여 20 mesh로 마쇄하여 준비하였다.

2.2. 적정 추출용제의 선정

염산(hydrochloric acid), 인산(phosphoric acid), 질산(nitric acid), 황산(sulfuric acid), 수산(oxalic acid), 주석산(tartaric acid), 초산(acetic acid), 포름산(formic acid), 과산화수소(hydrogen peroxide), 수산화나트륨(sodium hydroxide)을 대상으로 적정 추출용제 선정시험을 다음과 같이 실시하였다.

목적분 약 2 g을 250 mL 플라스크에 넣은 다음 미리 준비된 10%(w/v) 농도의 추출용제 40 mL을 첨가하여 60°C 로 조정된 shaking incubator에서 150 rpm 조건으로 6시간 동안 진탕 추출하였다. 추출 종료 후,

추출용제 중의 목적분을 filter paper(Whatman[®] No. 4)를 이용하여 100 mL volumetric flask 내로 여과하고, 추출은 되었으나 목적분에 잔존할 수 있는 CCA 유효성분을 최소화하기 위하여 증류수로 수 차례 세척하여 분석용 추출액을 준비하였다. 추출액 중의 CCA 유효성분의 양은 Inductively coupled plasma-atomic emission spectrophotometer(ICP-AES)를 이용하여 미국 방부협회 표준규격 AWPA A21-97(AWPA, 1997) 방법에 의거하여 측정하였다. 그리고 추출용 처리목적분 중의 구리, 크롬, 비소의 원 함량은 AWPA A7-93의 질산과 과산화수소를 이용한 Kjeldhal 분해법을 이용하여 목적분을 추출한 후 위와 동일한 방법으로 측정하였다. 측정된 추출수율과 추출용제의 사용 및 환경 안전성을 고려하여 CCA 유효성분의 추출에 가장 효과적인 용제를 선정하였다.

2.3. 적정 추출조건의 탐색

적정 추출용제의 선정 실험을 통해 최종적으로 선정된 추출용제인 과산화수소를 대상으로 추출용제의 농도(2.5, 5.0, 7.5, 10.0%), 추출시간(3, 6, 12, 24, 48시간), 추출온도($20, 40, 60^\circ\text{C}$)를 변수로 하여 적정 추출조건 탐색 실험을 실시하였다. 분석용 추출액의 준비와 추출액 중 CCA 유효성분의 분석은 2.2항에서 기술된 방법과 동일하게 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 적정 추출용제의 선정

Table 1은 다양한 추출용제를 사용하여 60°C 에서 6시간 동안 CCA 처리재로부터 추출된 방부제 유효성분의 추출수율과 각 용제들의 사용 및 환경안전성을 보여준다. 염산에 의한 크롬 추출수율을 제외하고는 과산화수소와 무기산들은 크롬, 구리, 비소 추출수율이 90% 이상으로 CCA 유효성분의 추출에 매우 효과적인 것으로 나타났다. 그러나 Honda 등(1991)이 지적한 바와 같이 무기산이 총유기탄소(total organic carbon) 추출에 미치는 영향과 이들의 사용 및 환경

Table 1. Toxicological information and effectiveness of leaching agents on the extraction of preservative components from CCA treated radiata pine at 60°C for 6 hours.

Selected leaching agents	Toxicological information	Extraction of CCA components		
		Cr	Cu	As
		------(%)-----		
Hydrochloric acid	Corrosive	89* ¹	91	94
Nitric acid	Corrosive	90	92	96
Phosphoric acid	Irritating to skin	90	91	97
Sulfuric acid	LD ₅₀ 2.14 g/kg	92	92	97
Acetic acid	LD ₅₀ 3.53 g/kg	51	90	65
Formic acid	LD ₅₀ 1.10 g/kg	86	95	98
Oxalic acid	LD ₅₀ 9.5 mL/kg	96	31	97
Tartaric acid	Mildly irritating	87	89	94
Sodium hydroxide	LD ₅₀ 0.5 g/kg	65	2	9
Hydrogen peroxide	Caustic to skin	95	93	99

*¹ Values represent the mean of three replicates.

안전성을 동시에 고려할 때, 무기산은 가격에 관계없이 추출용제로는 적합하지 못할 것으로 사료된다. 유기산들 중에서 수산의 경우, 구리 추출수율은 31%로 저조하였으나 크롬과 비소의 추출수율은 각각 96%와 97%로 무기산과 비슷한 추출수율을 보였다. 그러나 나머지 유기산들은 크롬, 구리, 비소 추출수율이 각각 51~87%, 89~95%, 65~98%로 무기산에 비하여 추출수율이 다소 떨어지는 것으로 나타났다. 알카리인 수산화나트륨의 비소 추출수율은 93%로 양호하였으나 구리와 크롬의 추출수율이 각각 2.4%와 65%로 상당히 낮아서 추출용제로는 효과적이지 못한 것으로 나타났다. 이와 같이 CCA 유효성분의 추출수율과 문헌조사(Susan *et al.*, 1989)를 통해 확인된 추출용제의 안전성을 고려할 때, 과산화수소가 처리재로부터 CCA 유효성분의 추출에 가장 적절한 용제로 판단되었다.

3.2. 과산화수소에 의한 적정 추출조건의 탐색

Table 2는 최종적으로 선정된 과산화수소를 이용하여 수행된 추출시험 결과, 추출조건의 조합별로 방

부제 유효성분의 추출수율을 보여준다. 일반적으로 추출시간이 연장됨에 따라 CCA 유효성분의 총 추출수율은 계속 증가하였으나 추출온도와 추출용제의 농도를 높일 경우 추출시간은 급격히 단축되는 것으로 나타났다(Fig. 1). 먼저 추출온도가 추출시간에 미치는 영향을 살펴보면, 용제농도 10%를 이용한 20°C 추출의 경우에는 48시간을 추출하여도 유효성분의 총 추출수율이 50%를 넘지 않았으나, 40°C와 60°C의 경우에는 각각 48시간과 3시간 이내에 대부분의 유효성분들이 추출되었다. 추출용제의 농도 또한 추출시간의 단축에 큰 영향을 미쳤는데, 60°C 추출의 경우, 용제농도 2.5%에서는 48시간 후에도 추출수율이 약 80% 정도였으나 용제농도를 5%로 상승시키면 24시간 이내에 유효성분의 추출이 거의 완료되는 것으로 나타났다.

과산화수소를 추출용제로 사용하여 처리재로부터 CCA 유효성분을 제거할 수 있는 적정조건을 선정하기 위하여 CCA 유효성분의 총 추출수율이 90% 이상인 추출조건만을 대상으로 Duncan test를 실시한 결과, 추출온도 60°C에서는 10%와 7.5% 농도의 용제를 사용할 경우 6시간, 5% 농도의 용제를 사용할 경우 24시간, 그리고 추출온도 40°C에서는 10% 농도의 용제를 사용할 경우 24시간 이상으로 추출시간을 연장

Table 2. Extraction of CCA components using a hydrogen peroxide as an extracting agent in various leaching conditions

Temperature	Concentration	Time	Extraction of CCA Components			
			Cr	Cu	As	Total
-- (°C) --	-- (%) --	(hrs)	----- (%) -----			
20	25	3	10 ^{*1} (0.64) ^{*2}	7 (0.64)	5 (0.23)	7 (0.50)
		6	12 (0.90)	11 (0.93)	8 (0.35)	10 (0.70)
		12	14 (0.66)	17 (0.32)	12 (0.19)	14 (0.28)
		24	15 (1.44)	26 (3.04)	17 (1.53)	18 (1.89)
		48	18 (2.63)	35 (5.05)	21 (2.97)	23 (3.38)
	5.0	3	14 (0.91)	10 (0.43)	7 (0.37)	10 (0.58)
		6	17 (0.53)	15 (0.24)	12 (0.20)	15 (0.26)
		12	20 (0.47)	25 (0.95)	19 (0.83)	21 (0.41)
		24	18 (3.54)	30 (6.51)	21 (4.47)	22 (4.66)
		48	26 (3.82)	45 (3.93)	31 (4.47)	33 (4.08)
	7.5	3	17 (1.28)	13 (0.79)	10 (0.60)	13 (0.89)
		6	22 (0.60)	20 (0.36)	16 (0.10)	19 (0.27)
		12	25 (0.50)	31 (1.63)	25 (1.26)	26 (0.72)
		24	25 (3.61)	38 (6.44)	28 (4.73)	29 (4.76)
		48	33 (4.89)	51 (4.38)	39 (4.75)	40 (4.69)
	10.0	3	20 (0.86)	15 (0.97)	12 (0.47)	16 (0.73)
		6	26 (0.62)	23 (0.68)	20 (0.64)	23 (0.49)
		12	29 (0.78)	36 (1.97)	30 (1.38)	31 (0.75)
		24	31 (0.29)	44 (1.17)	36 (1.04)	36 (0.77)
		48	40 (4.41)	54 (2.31)	47 (5.27)	46 (4.17)
40	25	3	19 (1.40)	29 (0.90)	18 (1.06)	21 (0.68)
		6	28 (0.55)	51 (1.16)	29 (0.61)	34 (0.62)
		12	38 (3.87)	66 (6.33)	40 (4.35)	46 (4.68)
		24	50 (5.11)	76 (4.21)	52 (4.76)	58 (4.73)
		48	59 (3.76)	74 (6.70)	61 (3.70)	64 (4.39)
	5.0	3	28 (0.19)	41 (1.81)	27 (0.82)	31 (0.83)
		6	42 (0.26)	62 (0.93)	44 (0.19)	48 (0.31)
		12	59 (1.03)	76 (2.24)	61 (1.00)	64 (1.32)
		24	74 (5.88)	84 (4.38)	75 (6.13)	77 (5.55)
		48	88 (1.86)	85 (1.14)	87 (1.77)	86 (1.63)
	7.5	3	37 (1.06)	52 (0.78)	38 (1.62)	41 (1.18)
		6	54 (2.10)	69 (0.26)	57 (2.33)	59 (1.56)
		12	69 (2.44)	77 (3.28)	71 (2.02)	72 (2.45)
		24	91 (2.57)	88 (3.18)	90 (3.06)	90 (2.90)
		48	98 (0.43)	77 (1.31)	95 (1.66)	91 (0.46)
	10.0	3	43 (6.11)	54 (7.39)	45 (6.66)	47 (6.63)
		6	63 (3.43)	72 (2.14)	67 (3.42)	67 (3.08)
		12	79 (3.78)	79 (2.07)	81 (3.12)	80 (3.05)
		24	97 (1.11)	88 (2.32)	95 (1.52)	94 (1.53)
		48	100 (1.45)	69 (4.25)	96 (0.88)	90 (0.70)

Table 2. Continued

Temperature -- (°C) --	Concentration -- (%) --	Time --(hrs)--	Extraction of CCA Components			
			Cr	Cu	As	Total
60	2.5	3	47 (3.35)	72 (3.20)	48 (2.93)	54 (2.46)
		6	58 (1.78)	78 (3.32)	59 (1.92)	64 (2.11)
		12	67 (2.40)	78 (1.45)	68 (1.56)	70 (1.09)
		24	75 (0.24)	78 (1.82)	76 (1.00)	76 (0.85)
		48	81 (2.75)	78 (1.82)	83 (3.28)	81 (2.70)
	5.0	3	72 (2.30)	79 (4.17)	71 (2.32)	74 (1.82)
		6	83 (0.48)	83 (3.33)	82 (0.85)	82 (1.09)
		12	92 (2.12)	82 (1.26)	90 (1.51)	88 (1.54)
		24	98 (2.16)	85 (1.88)	94 (2.00)	93 (1.64)
		48	97 (1.50)	84 (2.43)	94 (1.95)	92 (1.87)
	7.5	3	89 (2.71)	82 (2.45)	87 (1.05)	86 (0.96)
		6	97 (1.20)	86 (3.02)	94 (0.93)	93 (0.70)
		12	100 (0.82)	86 (1.53)	96 (0.28)	95 (0.20)
		24	100 (4.03)	84 (3.10)	97 (3.37)	95 (3.35)
		48	100 (2.08)	85 (2.52)	97 (3.43)	96 (2.63)
	10.0	3	98 (1.68)	86 (3.64)	94 (0.28)	93 (0.36)
		6	100 (0.68)	86 (3.23)	97 (1.47)	96 (1.42)
		12	100 (0.21)	86 (1.77)	98 (1.78)	97 (1.17)
		24	100 (0.96)	86 (0.57)	100 (1.77)	98 (0.79)
		48	100 (2.06)	83 (0.72)	99 (1.50)	96 (1.48)

*¹Values are means of three replicates.

*²Values in parentheses are standard deviations.

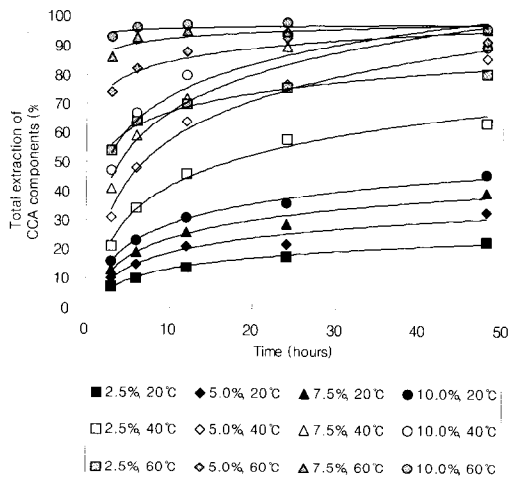


Fig. 1. Effect of hydrogen peroxide concentrations and reaction temperatures on the extraction of CCA components at various time intervals.

하여도 총 추출수율에 미치는 영향은 없는 것으로 나타났으며, 또한 상기 추출조건들 간에도 총 추출수율은 통계적으로 유의성이 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 종합적으로 분석해 볼 때, 경제적인 측면을 고려하면 가능하면 저온에서 낮은 농도의 추출용제를 사용하여 추출하여야 하나 추출온도 20°C에서는 추출시간이 너무 길어지기 때문에 40°C 이상의 추출온도의 적용이 바람직하며, 추출용제의 농도는 추출시간을 고려하여 결정해야 한다고 사료된다. 앞으로 과산화수소를 이용한 CCA 처리재로부터 방부제 유효성분의 추출을 위한 최적 추출조건(추출온도, 용제농도, 추출시간)을 반응표면분석법(response surface methodology)을 이용하여 도출할 예정이다.

크롬과 비소에 비하여 과산화수소에 의한 구리의 추출수율이 낮아서 구리 추출수율을 향상시키기 위한 추가 실험을 수행하였다. 적정 추출용제 선정 시험 결과, 구리의 추출수율이 높은 용제인 포름산과 과산화

수소의 혼합추출과 과산화수소 추출 후 포름산 추출이나 포름산 추출 후 과산화수소 추출의 연속추출을 시도했으나 구리 추출수율의 증가는 없었다.

앞으로 본 연구 결과의 현장 적용을 위해서 시약용 과산화수소 대신에 염가의 공업용 과산화수소를 이용한 실험, 추출용 목질원료의 크기가 CCA 유효성분의 추출에 미치는 영향, 과산화수소 추출에 의한 목질원료의 열화 문제에 대한 추가 실험도 이루어져야 할 것이다.

4. 결 론

추출에 사용된 10개의 용제들을 대상으로 CCA 처리재로부터 CCA 유효성분의 추출수율과 추출용제의 사용 및 환경 안전성을 동시에 고려할 때, CCA 처리재로부터 CCA 유효성분의 추출에 적합한 용제는 과산화수소임을 알 수 있었다. 선정된 과산화수소를 대상으로 실시한 추출 결과, 추출온도, 추출용제의 농도, 추출시간 간에 상호작용이 존재하였으나 추출온도와 추출용제의 농도가 높을수록, 그리고 추출시간이 연장될수록 CCA 유효성분의 추출수율은 증가되었다. 온도조건 40°C에서 대부분의 유효성분이 7.5% 농도를 사용하였을 경우 48시간 내에, 10%에서는 24시간 내에 추출되었으며, 60°C에서는 5%의 경우 24시간, 7.5%에서는 6시간, 10%에서는 3시간 내에 추출되는 것으로 나타났다. 그러나 20°C의 경우 10% 과산화수소를 사용하여 48시간 추출을 하여도 50% 정도의 유효성분이 추출되는 것으로 나타났다. 따라서 처리재로부터 CCA 유효성분을 추출하기 위해서는 최소 40°C의 온도가 필요하며 사용되는 용제의 농도는 처리시간을 고려하여 결정해야 할 것이다.

참 고 문 헌

- American Wood-Preservers' Association. 1997. Book of Standards. Granbury, TX, USA.
- Clausen, C. A. 2000. CCA removal from treated wood using a dual remediation process. Waste Management and Research 18: 485~488.
- Clausen, C. A. and R. L. Smith. 1998. CCA removal from treated wood by chemical, mechanical and microbial processing. The International Research Group on Wood Preservation. Document No. IRG/WP/98-50101, Stockholm, Sweden.
- Honda, A., Y. Kanjo, A. Kimoto, K. Koshii, and S. Kashiwazaki. 1991. Recovery of copper, chromium and arsenic compounds from the waste preservative-treated wood. The International Research Group on Wood Preservation. Document No. IRG/WP/3651, Stockholm, Sweden.
- Kazi, K. M. F. and P. A. Cooper. 1998. Solvent extraction of CCA-C from out of service wood. The International Research Group on Wood Preservation. Document No. IRG/WP/98-50107, Stockholm, Sweden.
- Kamdern, D. P., W. Ma, J. Zhang, and J. Zyskowski. 1998. Recovery of copper chromium and arsenic from old CCA treated commodities The International Research Group on Wood Preservation. Document No. IRG/WP/98-50118, Stockholm, Sweden.
- Shiau, R. J., R. L. Smith, and B. Avellar. 2000. Effects of steam explosion processing and organic acids on CCA removal from treated wood waste. Wood Science and Technology. 34: 377~388.
- Stephan, I., H. H. Nimz, and R. D. Peek. 1993. Detoxification of salt-impregnated wood by organic acids in a pulping process. The International Research Group on Wood Preservation. Document No. IRG/WP/93-50012, Stockholm, Sweden.
- Susan, B. M., J. O'Neil, A. Smith, and P. E. Heckelman. 1989. The Merck index: An encyclopedia of chemicals, drugs, and biologicals (11th edition). Merck & Co, Inc. Rahway, NJ, U.S.A.
- 서울환경운동연합. 2001. 발암물질인 맹독성 비소, 목재 방부제로 대량유통과 관련한 서울환경운동연합의 입장.