

# CCA (Chromated Copper Arsenate)처리 목재의 저온 열분해와 CCA 유효 성분분리 특성\*1

임기표\*2† · 이종택\*2 · 범정원\*2

## Characterization of Low-Temperature Pyrolysis and Separation of Cr, Cu and As Compounds of CCA-treated Wood\*1

Kie-Pyo Lim\*2† · Jong-Tak Lee\*2 · Jung-Won Bum\*2

### 요 약

생태건축에서 토대나 데크 또는 조경용으로 사용되는 CCA처리 목재를 맹독성의 비소(As)를 목탄에 잔류시켜 질산으로 용출시킨 다음, 얻어진 목탄을 에너지 자원으로 재활용하기 위하여 CCA처리된 Hemlock 판재를 280~340°C 사이에서 1시간동안 저온 열 분해처리하여 발생한 휘발성분을 1차 세척수와 2차 1%HNO<sub>3</sub> 흡수액으로 처리하여 휘발하는 중금속 성분을 포집하여 전체를 증발농축하여 CCA함량을 ICP-AES로 분석하고, 목탄중의 CCA를 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다. 1. 목탄의 수율은 340°C 에서 50%에 이르고, 일반 저온 열분해의 경우와 유사한 경향을 보였다. 2. 체계적이고, 반복적인 모니터링이 필요하지만, 온도가 증가할수록 CCA 성분 중 비소성분은 휘발량이 증가하는 경향이였다. 3. 300°C의 저온 열분해에서는 85% 이상의 CCA성분이 목탄중에 잔류하였다. 4. 보다 정밀하고, 반복된 데이터가 필요하지만, 비소화합물은 320~340°C 이상에서 갑자기 열분해되어 휘발하고, 1차 세척수에 흡수된 것으로 생각된다. 5. 세척수의 흡수량이 손실량보다 적은 것은 세척시스템의 용량이 부족하기 때문에 특수 설계가 필요한 것으로 판단된다. 6. 따라서 저온열분해 방법으로 CCA처리목재 중의 CCA를 보다 완전히 회수 분리하기 위하여서는 320°C 이하의 온도에서 보다 작은 목재 입자를 균일하게 가열하는 시스템개발이 필요하고, 보다 완벽한 세척시스템 개발이 필요하였다.

\* 1 접수 2006년 11월 2일, 채택 2006년 12월 20일

이 논문은 교육 인적 자원부 지방 연구중심 대학 육성사업(바이오하우징연구사업단)의 지원에 의하여 연구되었음.(This work was supported by the Regional Research Centers Program(Bio-housing Research Institute), granted by the Korean Ministry of Education & Human Resources Development.)

\* 2 전남대학교 농업생명과학대학 산림자원조경학부 (Division of Forest Resources and Landscape Architecture, College of Agriculture and Life Sciences, Chonnam National University)

† 주저자(corresponding author) : 임기표(e-mail: kplim@chonnam.ac.kr)

## ABSTRACT

This study was carried out to separate the heavy toxic metals in eco-building materials by low-temperature pyrolysis, especially arsenic (As) compounds in CCA wood preservative as a solid in char. The pyrolysis was carried out to heat the CCA-treated Hemlock at 280°C, 300°C, 320°C, and 340°C for 60 mins. Laboratory scale pyrolyzer composed of [preheater → pyrolyzer → 1st water scrubber → 2nd bubbling flask with 1% HNO<sub>3</sub> solution → vent], and was operated to absorb the volatile metal compound particulates at the primary water scrubber and the secondary nitric acid bubbling flask with cooling condenser of 4°C under nitrogen stream of 20 mL/min flow rate. And the contents of copper, chromium and arsenic compounds in its pyrolysis such as carbonized CCA treated wood, 1st washing and 2nd washing liquors as well as its raw materials, were determined using ICP-AES. The results are as follows : 1. The yield of char in low-temperature pyrolysis reached about 50 percentage similar to the result of common pyrolytic process. 2. The higher the pyrolytic temperature was, the more the volatiles of CCA, and in particular, the arsenic compounds were to be further more volatile above 320°C, even though the more repetitive and sequential monitorings were necessary. 3. More than 85 percentage of CCA in CCA-treated wood was left in char in such low-temperature pyrolytic condition at 300°C. 4. Washing system for absorption of volatile CCA in this experiment required much more contacting time between volatile gases and water to prevent the loss of CCA compounds, especially the loss of arsenic compound. 5. Therefore, more complete recovery of CCA components in CCA-treated wood required the lower temperature than 320°C, and the longer contacting time of volatile gases and water needed the special washing and recovery system to separate the toxic and volatile arsenic compounds in vent gases.

**Keywords:** heavy toxic metals, chromium, copper, arsenic, CCA-treated wood, pyrolysis, low-temperature pyrolysis, pyrolytic separation of heavy metal compounds, toxic metal ionic pollutants, landfill, incineration

## 1. 서 언

최근 친환경 건축 소재라는 이유에서 목재로 구성된 전원주택이나 펜션주택들이 확산되고 있으나 우리나라의 목재자원 부족으로 대부분이 수입되고 있으며, 내구성 때문에 각종 방부제로 처리된 목재들이 수입되고 있다.

즉 토목건축용 대형 목재는 목재를 생산하는 입장에서 원목을 생산하고, 건축업자의 요구에 따라 임산공업에서 용도에 적합하도록 가공하여 공급하는 것이 일반적이다. 이때 건축용 대형목재와 목제품들

은 자연계에서 노출될 때, 내구성이 짧기 때문에 목제품의 성능향상과 내구성 향상을 위하여 각종 방부제와 난연제로 처리되고, 특히 토양과 접하거나 비바람에 노출된 목재와 목제품들은 방부제처리가 필요하다.

환언하면 현재까지 목재 내구성 향상에 가장 효과적이고 경제적인 방부제는 CCA (chromated copper arsenate)로 알려져 있다. 그러나 연구결과 환경과 인체에 독성을 가지고 있는 비소와 크롬을 함유하고 있어 저독성 방부제들이 개발되고 있으나 CCA만큼 경제적이고, 효과적인 방부제는 아직 개발되지 않았다고 한다(김윤수 등, 2004).

그렇지만 생활에 필요한 목재주택은 필요할 때마다 즉시 건설되어야 한다. 따라서 주택을 건설할 때는 이미 사용되어 폐기될 주택이나 수명을 다한 기존의 주택을 해체(demolition)하거나 새로운 택지에 건설하기 때문에, 목조 주택은 해체와 건설이 동시에 일어나 방부처리된 목재 주택 부재나 테크와 울타리 등의 조경용 방부목재 등 각종 건축 폐 목재들이 발생하고 있다. 특히 폐건축재는 일부가 재활용되기도 하지만, 대부분이 폐기되어 중국에는 토양에 매립하거나 소각처리되지만, 2차적인 환경오염을 야기하고 있다.

즉 우리나라도 2005년부터 선진국과 같이 소각에서 발생하는 대기배출허용기준을 마련하여, 소각시 배출되는 기존의 가스상 물질인 NH<sub>3</sub>, CO, HCL, CL<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CS<sub>2</sub>, CH<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>S, F화합물, HCN, Br화합물, 벤젠, 페놀화합물, Hg화합물, As화합물, 탄화수소 외에, 입자상 물질로 먼지, Cd, Pb, Cu, Ni, Zn, 비산먼지, 매연(smoke) 등을 추가하여 폐건축재의 소각처리를 규제하고, 토양매립 시에는 침출수에 의한 매립장의 지하수질 오염을 규제하고 있다. 따라서 독성물질을 함유하고 있는 목재 방부제 처리는 토양매립이나 소각처리도 불가능해지면서 사용을 금지하거나 사용 시 완전 회수처리를 강요받고 있다.

따라서 선진국에서는 최근 저비점 화합물로서 휘발이 용이한 비소화합물에 대한 규제가 먼저 제기되면서, 건축재에 이용되는 목재의 CCA처리를 금지하는 추세인 반면, 이미 사용된 CCA처리 목재주택의 재건축시 발생하는 각종 CCA처리 폐목재는 경제적이고 안전한 분리처리, 특히 소각처리에 대한 연구가 활발하다.

즉 CCA-처리목재의 열분해 특성을 연구한 Green (2000)에 따르면, CCA-처리된 폐 목재를 600~1100°C의 microgasifier에서 실험한 결과, 거의 대부분의 구리와 크롬성분은 목탄에 잔류하나, 비소는 40%~60%가 휘발하여 대기를 오염시키고, As의 목탄 잔류화를 위하여 가스화로에 생석회나 산화알루미늄과 같은 흡착제를 혼입하면, 비소휘발이 어느

정도 감소되거나 목표로 하는 90% 잔류는 불가능하다고 보고하였다.

또한 독성 크롬과 비소를 목탄에만 잔류시켜 분리할 수 있는 저온 열분해 방법을 연구한 Van den Broecke 등(1997)은 CCA처리목재와 저온 열분해에서 얻어진 목탄중의 CCA성분을 [초산암모늄 → 히드록시아민 → 과산화수소 → 불화수소/과염소산] 수용액으로 연속 추출한 결과 거의 99.5%까지 추출할 수 있음을 밝히고, Helsen 등(1998)은 CCA처리 목재를 저온 열분해하여 생성된 목탄 중에 95% 이상의 CCA가 잔류하기 때문에, 이를 미소분말로 분쇄한 후 원심 분리하면 목재 방부제로 사용된 CCA를 회수하여 재활용할 수 있음을 제안하였다.

또한 Helsen과 Van den Bulck (2000)는 350°C에서의 열분해도 비소의 휘발을 무시할 수 없기 때문에 이어지는 연구에서 CCA처리목재를 TGA (thermogravimetric analysis) 분석 결과 327°C에 이르면, 비소(As)가 독성이 강한 As(III)로 휘발하기 때문에 300°C의 저온에서 열분해된 목탄을 질산용액으로 연속 침출시키는 시스템을 제안하기도 하였다.

따라서 본 연구에서는 현재 우리나라에 수입되는 각종 전원주택이나 펜션주택에 사용되고 있는 CCA 처리 수입목재에 대한 저온 열분해 특성과 중금속 분리 특성을 규명하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 재료

CCA처리목재(CCA-treated wood): 전남대학교의 바이오하우징개발연구소(Biohousing Research Institute)에서 학생 교육을 위하여 설계된 파이롯트 목재구조물 건설에 사용된 미국 산 CCA(chromated copper arsenate)처리 험록(Hemlock) 판재를 시료로 사용하였다. 사용된 시편은 시료의 중앙을 절단하여 chrome azurol S를 분무한 결과 전 표면에 청색을 발현하였으며, 한국 기초과학지원연

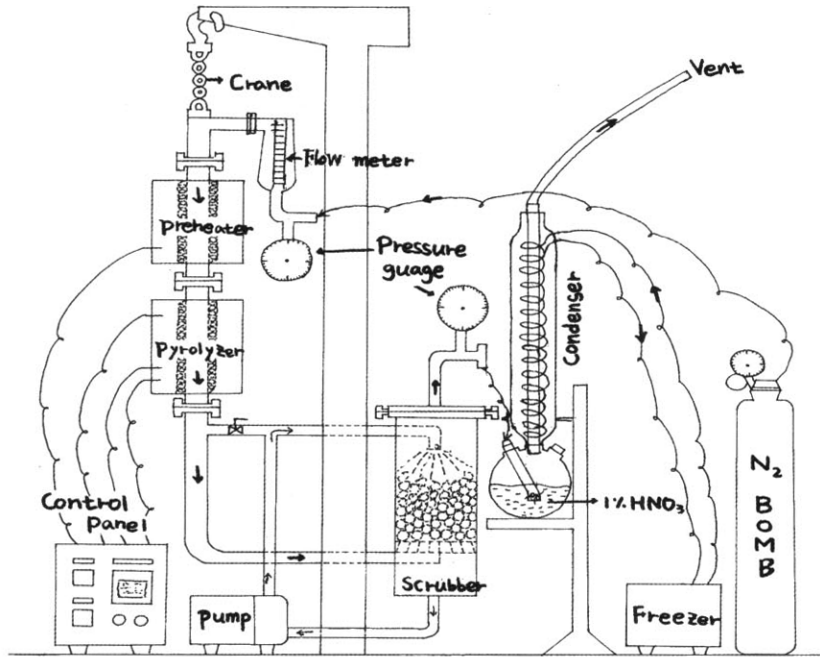


Fig. 1. Structure of low-temperature pyrolysis system constructed.

구원에 의뢰하여 환경 독성을 가진 주요 중금속함량을 분석한 결과 Cu = 2766 ppm, Cr = 4569 ppm, As = 3636 ppm, Sn = 6.73 ppm, Pb = 15.75 ppm, Cd = 100 ppm 등이 포함되어 있었다.

## 2.2. 시험방법

### 2.2.1. 열분해 장치의 시스템 구성과 조작 조건

목재의 저온 열 분해에 사용된 실험장치는 Fig. 1 과 같이 구성하였다. 즉 직경 5 cm의 예열로와 열 분 해로를 구성하고, 열분해 시 발생하는 탄화가스 중 의 중금속화합물을 흡수분리하기 위하여 1차로 강제 순환식 스크러버(scrubber)에서 물로 세척하고, 이어서 흡수되지 않은 휘발하는 가스중의 중금속 분 지를 포집하기 위하여 영하 4°C의 부동액으로 냉각 시키는 응축기가 부착된 질산용액(1% $HNO_3$ )이 들어 있는 플라스크에서 2차 흡수시키는 시스템을 구성하였다.

또한 열분해 조작은 질소( $N_2$ )기류 중에서 열분해

로의 온도가 200~340°C를 유지하면서 열분해되고, 이어서 발생한 휘발가스는 질소기류와 함께 1차와 2 차 세척액을 통과하여 대기 중으로 배출되도록 구성 하였다.

### 2.2.2. 열분해 시편 제작과 조작

열분해처리 시편은 국내의 전원주택건설을 위하여 수입된 CCA처리 험록(Hemlock) 판재로서 [두께 38 mm × 폭 140 mm] 크기의 방부처리목재에서 폭 10 mm 정도 횡절하고, 절삭된 목편에서 길이방향으 로 폭의 중앙을 절삭하여 만들어진 목편[두께 38 mm × 폭 70 mm × 길이 10 cm]의 목편(약 10 g)을 만든 다음, 길이방향으로 [길이 방향 10 mm × 폭 10 ~20 mm × 두께 2~5 mm]의 칩을 조제하고, 이를 60 mesh의 스텐레스 철망으로 묶어 Fig. 1의 열분해 장치에서 열분해로의 하단 최종 가열지점에 장착한 다음, 열분해로와 세정시스템을 연결하고, 공기가 침투되지 않도록 조립하였다.

열분해 조작은 150°C까지 예열한 후, 질소( $N_2$ )가

Table 1. Low-temperature pyrolysis condition of CCA-treated lumber

Sample	Atmosphere	Temperature	Time		
			Heating from 150°C	Retention at target temp	Total
approx. 10 g	N <sub>2</sub> stream @ 20 mL/min	280°C ; 300°C ; 320°C; 340°C	10~15 min	45~50 min	60 min

스를 통과시키면서, Table 1의 조건에서 150°C까지 가열한 다음, 소정의 질소기류를 통과시키면서 10~15분 동안, 목표 온도까지 가열하고, 소정의 목표온도에서 60분가 열분해시킨 후, 가열을 중단하고, 질소기류 중에서 자연 냉각시켜 상온에 이르면, 다음과 같이 분석시료를 조제하여 한국 기초과학 지원연구원에 의뢰하여 CCA 방부제 주성분인 크롬, 구리, 비소와 주요한 환경 독성 금속인 주석, 납, 카드뮴, 수은등의 함량을 분석하였다.

1) 목탄 : 냉각된 열 분해로를 해체하여 생성된 목탄을 분리하여 무게를 측정된 다음, 주말에서 분쇄하여 분말상태로 만들어 중금속 함량분석을 의뢰하고,

2) 배출가스의 1차 세정 흡수액 : 순환식 스크러버(recirculation scrubber)중의 세척액(5 L 정도)는 일차 배출한 다음, 5 L의 초순수로 2회 반복 세척하여 총 15 L를 수집한 다음, 전체 세정액을 가열 증발시켜 30~40 mL 정도로 농축시켜 중금속 함량 분석을 의뢰하였으며,

3) 배출가스의 2차 세정 흡수액 : 1차 세척 스크러버를 통과한 배출가스를 다시 1000 mL 용량의 3구 플라스크에 배출가스의 반복 냉각을 위하여 응축기를 설치하고 영하 4°C의 냉동기를 가동하여 계속 환류하고, 그 플라스크에는 300 mL 정도의 1% HNO<sub>3</sub> 수용액을 투입하고, 배출가스를 bubbling시켜 1차 세척에서도 흡수되지 않은 배출가스를 2차 세정한 후, 소량의 신선한 1% HNO<sub>3</sub> 수용액으로 2회 세정하여 모아진 질산 흡수액을 30 mL 정도까지 농축시켜 중금속 함량 분석에 의뢰하였다.

### 2.2.3. 시료중의 중금속 함량 계산

조제된 목탄 분말과 세정액은 한국 기초과학 지원

연구원에 의뢰하여 ICP-AES에 의하여 시료 중의 Cr, Cu, As, Cd, Pb, Hg, Sn 함량을 분석하였다. 시료중의 중금속함량은 다음식과 같이 계산하기 때문에, 실제로 열분해에 투입된 시료 중의 중금속 투입량(g)은 ICP-AES로 분석된 중금속농도(ppm)에 실제 투입된 시료 량을 곱하여 중금속 투입량을 계산하고, 그에 따른 열분해 분리 특성을 분석하였다

$$\text{중금속함량(ppm)} = (\text{시료액시료 중금속 농도(ppm)} - \text{공시험중금속농도(ppm)}) \times (\text{희석계수})$$

(예) 원소별(ppm) =

$$[(\text{시료의 ICP중금속농도:ppm}) - (\text{공시험 ICP 중금속농도:ppm})] \times [(\text{용해농축시료의 1\% 질산액 무게:g}) + (\text{전건시료무게:g})]$$

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. CCA처리목재의 온도별 열분해와 목탄 수율

CCA처리 헴록 판재를 온도별로 열분해시킨 후, 열분해 잔류 목탄의 수율은 Table 2와 같았다. 즉 온도가 저온이기는 하지만, 20°C 증가할수록 목탄 수율이 10% 정도씩 감소하고, 340°C에서 50% 정도에 불과하였다.

이러한 경향은 방부제를 포함한 각종 무기 난연제의 열분해 특성을 연구한 Levan (1984)의 연구결과와 비교하면, 무기이온의 종류에 따라 약간 다르나 280~340°C에서 동일시간에 무처리목재보다 난연제 처리목재가 보다 중량감소율이 높다는 점을 고려할 때 유사한 결과라고 생각된다.

Table 2. Char yield of CCA-treated Hemlock by low-temperature pyrolysis

Pyrolysis (°C)	280°C	300°C	320°C	(330°C)	340°C
Char yield (%)	74.94	65.97	59.03	(53.12)	49.64
Weight loss (%)	25.06	34.03	40.97	(46.88)	50.36
Total (%)	100.00	100.00	100.00	(100.00)	100.00

※ Number of yield and loss was averaged from 3~7 replications, and ( ) was the result of one time

### 3.2. 열분해 온도별 생성물과 중금속 이온 분포

한편 질소(N<sub>2</sub>) 기류 중에서 열분해 가스를 초순수와 질산(1%HNO<sub>3</sub>) 수용액으로 2단계 세척하여 휘발하는 중금속이온을 흡수 포집하여 CCA 성분 외에 오염된 주요 환경오염 중금속이온을 분석한 결과 Table 3과 같았다.

즉 열분해 후 실험 온도 범위 내에서 1차 및 2차 세척수에 포집된 중금속 함량은 생성된 목탄에 잔류한 중금속이온과 비교할 때, 95% 이상이 목탄에 잔류하였으며, 휘발된 성분 중에서 세척수에 흡수된 중금속 수량은 일부에 불과하였다. 특히 2차 세척수중에 포집수량은 1% 이하로 무시할 정도이었지만, CCA처리목재의 함량과 비교할 때, 본 실험의 세척시스템은 그의 분해가스중의 중금속 흡수 용량이 부족하여 것으로 판단된다.

이러한 경향은 Type III CCA로 처리한 Hemlock을 공업적인 방법으로 상온에서 3주간 건조시켜 정착시킨 목재를 N<sub>2</sub> 기류하에서 135~500°C에서 0~60 min까지 3 °C/sec로 가열한 Kakitani (2004)에 따르면, 화학적으로 정착된 CrAsO<sub>4</sub>는 400~500°C에서 분해되어 독성이 강한 As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 휘발하나 정착되지 않은 As<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 200°C 이상이면 분해된다고 하므로 보다 면밀한 연구가 필요하였다.

한편 용점이 높은 CCA를 구성하는 크롬(Cr : mp = 1,905°C)과 구리(Cu : mp = 1,083°C) 및 비소(As : sp = 616°C)는 대부분이 목탄 중에 잔류하였으나, 극미량이지만 용점이 낮은 주석(Sn : mp = 232°C)이나 납(Pb : mp = 327°C) 또는 카드뮴(Cd : mp =

321°C), 수은(Hg : mp = -39°C) 등이 존재하여 본 실험이 실시된 300°C 정도에서 열분해된 것은 성장과정에서 환경적으로 오염된 것으로 판단된다.

### 3.3. CCA의 저온 열분해 분리 특성

한편 CCA처리 Hemlock의 열분해 생성물인 목탄과 휘발가스를 1차세척수와 2차의 1%HNO<sub>3</sub> 수용액을 ICP로 분석하여 [((목탄 중 중금속함량) ÷ ((목탄 중 중금속함량) + (1차세척수 중 중금속함량) + (2차 세척수 중 중금속함량))) × 100]으로 계산하여 분배율을 나타낸 결과 Fig. 2와 같았다.

즉 목탄 중의 CCA함량은 중금속의 종류에 따라 다르나, 일반적으로 열분해 온도가 증가할수록 목탄중에 잔유비율은 큰 변동이 없으나 320°C와 340°C 사이에서 약간 큰 차이를 보인 반면, 1차 세척수에서는 300°C 이하의 온도에서 320°C 이상의 온도에서보다 많은 양이 포집되었고, 2차 세척수에서는 온도가 증가할수록 포집량이 0.3 ppm 이하로 극히 적었다.

반대로 CCA를 처리한 원료 목재중의 CCA함량을 기준하여 계산된 열분해 손실율은 온도가 증가할수록 증가하고, 340°C에서는 Cr이나 Cu 또는 As 모두 10%를 넘어 세척시스템의 용량부족으로 판단된다. 따라서 보다 완벽한 흡수 세척을 위하여서는 휘발성 가스와의 충분한 접촉을 위하여 충분한 크기의 세척시스템이 필요한 것으로 판단된다.

한편 목재 방부제로 사용된 CCA는 3가지 중금속 성분 중 비점이 가장 낮아 휘발하기 쉬운 맹독성의 비소화합물을 목탄내 잔류시켜 분리 처리하고자 저온 열분해 특성을 연구한 Helsen과 Van den Bulck

Table 3. CCA residual and separation ratio of CCA-treated Hemlock by pyrolytic temperatures

Temp.	Products		Heavy metal content (ppm) by products						Average collect (g)	
			Cu	Cr	As	Sn	Pb	Cd		Hg
amb.	Raw materials	content (ppm)	2766	4569	3636	6.73	15.75	100.1	N.D.	10.00 g
		residual (mg)	27.66	45.69	36.36	0.067	0.158	1.001	0.0	
280°C	char	content (ppm)	3824.75	6663.25	5216.5	5.62	12.07	130.45	N.D.	6.692 g
		residual (mg)	25.59	44.59	34.91	0.037	0.081	0.87	0.0	
	1st wash	content (ppm)	24.70	17.56	15.30	N.D.	5.29	N.D.	N.D.	38.049 g
		residual (mg)	0.939	0.668	0.582	0.0	0.050	0.0	0.0	
	2nd wash	content (ppm)	3.34	0.82	1.88	N.D.	1.01	N.D.	N.D.	17.469 g
		residual (mg)	0.058	0.14	0.032	0.0	0.017	0.0	0.0	
	residual sum (mg)			26.587	45.272	35.524	0.037	0.148	0.87	0.0
	char	content (ppm)	5084.00	8062.25	6483.58	N.D.	3.23	37.1	N.D.	5.087 g
		residual (mg)	25.863	41.013	32.982	0.0	0.016	0.189	0.0	
	1st wash	content (ppm)	22.40	27.10	27.43	N.D.	3.57	N.D.	N.D.	39.608 g
residual (mg)		0.887	1.073	0.888	0.0	0.141	0.0	0.0		
2nd wash	content (ppm)	1.83	0.43	0.99	N.D.	0.63	N.D.	N.D.	27.81 g	
	residual (mg)	0.051	0.012	0.028	0.0	0.018	0.0	0.0		
residual sum (mg)			26.801	42.098	33.898	0.0	0.175	0.189	0.0	
char	content (ppm)	5334.29	7939.71	6648.57	N.D.	5.01	50.49	N.D.	4.859 g	
	residual (mg)	25.919	38.579	32.305	0.0	0.024	0.245	0.0		
1st wash	content (ppm)	21.15	18.67	41.86	N.D.	4.00	0.16	N.D.	36.102 g	
	residual (mg)	0.764	0.674	0.151	0.0	0.144	0.006	0.0		
2nd wash	content (ppm)	0.97	0.71	0.41	N.D.	0.59	N.D.	N.D.	29.453 g	
	residual (mg)	0.029	0.021	0.012	0.0	0.017	0.0	0.0		
residual sum (mg)			26.712	39.274	32.468	0.0	0.185	0.251	0.0	
char	content (ppm)	5590.50	8481.75	7073.25	N.D.	6.30	N.D.	N.D.	4.151 g	
	residual (mg)	23.206	35.208	29.361	0.0	0.026	0.0	0.0		
1st wash	content (ppm)	19.57	11.10	42.54	N.D.	3.71	N.D.	N.D.	41.877 g	
	residual (mg)	0.82	0.465	1.782	0.0	0.155	0.0	0.0		
2nd wash	content (ppm)	1.38	0.34	1.75	N.D.	0.21	0.35	N.D.	30.449 g	
	residual (mg)	0.042	0.01	0.053	0.0	0.006	0.011	0.0		
residual sum (mg)			24.068	35.683	31.196	0.0	0.187	0.011	0.0	

※: Content of 1st wash was absorbed in total content of forced recirculation scrubber and that of 2nd wash was absorbed in 1% HNO<sub>3</sub>-solution bubbling and condensation of volatile vent gases.

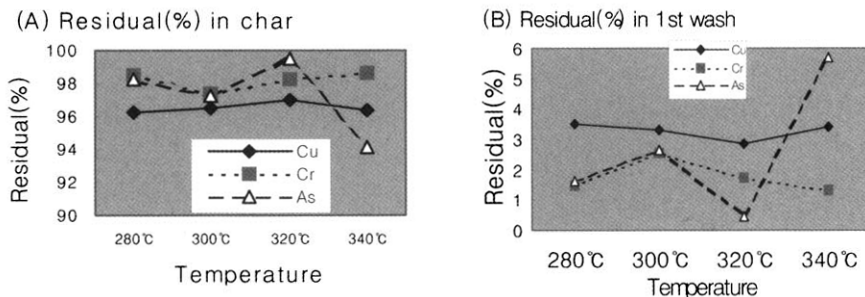


Fig. 2. CCA Contents of char and 1st washing liquor produced by the pyrolytic low-temperature of CCA-treated hemlock.

(2000)에 따르면, 5가의 오산화비소( $As_2O_5$ )를 물에 용해시키면 맹독성의 비산염(arsenate)이 형성되고, 계속 가열하면 삼산화비소( $As_2O_3$ )가 생성되어 327°C에서 휘발한다고 한다.

그러나 본 실험은 열분해장치의 기계적 한계로 최고온도를 340°C에서 실험하고, 시편사이의 균일한 질소가스 흐름과 입자가 큰 시편에의 균일한 열전달을 보장하기 어려운 점을 고려할 때, Helsen 과 Van den Bulck (2000)의 연구결과와 유사한 결과가 얻어진 것으로 생각된다.

따라서 CCA 방부제로 처리된 건축용 목재를 열분해로 회수분리하기 위하여서는 펠프제조용 칩(chip)보다 작은 균일한 크기의 목재 입자가 필요하고, 320°C 이하에서 모든 입자에 균일하게 가열되는 열분해시스템 개발과 열분해가스중의 중금속 분진의 세척회수를 위한 적절한 크기의 세척시스템 개발이 필요한 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

따라서 CCA처리된 Hemlock 판재를 280~340°C 사이에서 1시간동안 저온 열 분해처리하여 발생한 휘발성분을 1차 세척수와 2차 1% $HNO_3$  흡수액으로 처리하여 휘발하는 중금속 성분을 포집하여 전체를 증발농축하여 CCA함량을 ICP-AES로 분석하고, 목탄중의 CCA를 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 목탄의 수율은 340°C 에서 50%에 이르고, 일반 저온 열분해의 경우와 유사한 경향을 보였다.
- 2) 체계적이고, 반복적인 모니터링이 필요하지만, 온도가 증가할수록 CCA 성분 중 비소성분은 휘발량이 증가하는 경향이였다.
- 3) 300°C의 저온 열분해에서는 85% 이상의 CCA 성분이 목탄 중에 잔류하였다.
- 4) 보다 정밀하고, 반복된 데이터가 필요하지만, 비산화합물은 320~340°C 이상에서 갑자기 열분해되어 휘발하고, 1차 세척수에 흡수된 것으로 생각된다.
- 5) 세척수의 흡수량이 손실량보다 적은 것은 세척

시스템의 용량이 부족하기 때문에 특수 설계가 필요한 것으로 판단된다.

6) 따라서 저온열분해 방법으로 CCA처리목재 중의 CCA를 보다 완전히 회수 분리하기 위하여서는 320°C 이하의 온도에서 보다 작은 목재 입자를 균일하게 가열하는 시스템개발이 필요하고, 보다 완벽한 세척시스템 개발이 필요하였다.

#### 참 고 문 헌

1. Green, A. E. S. 2000, Thermal Disposal of CCA-Treated Wood. 2005. <http://www.florida-center.org/publications/green-00-07.pdf>.
2. Helsen, S. L, E. van den Bulck, and J. S. Hery. 1998. Total Recycling of CCA-Treated Wood Waste by Low-Temperature Pyrolysis, Waste Management, 18 : 571 - 578; 2005, <http://people.mech.kuleuven.be/~lieve/publications/1998P19.pdf>.
3. Helsen, L. and E. van den Bulck. 2000. Low-Temperature Pyrolysis as a Possible Technique for the Disposal of CCA-Treated Wood Waste : Metal Behaviour, 2005, <http://people.mech.kuleuven.be/~lieve/publications/2000P03.pdf>.
4. Kakitani, T., T. Hata, T. Kajimoto, and Y. Imamura. 2004. Two possible pathways for the release of arsenic during pyrolysis of chromated copper arsenate(CCA)-treated wood, 2005, [http://phys4.harvard.edu/~wilson/arsenic/references/Kakitani\\_etal2004.pdf](http://phys4.harvard.edu/~wilson/arsenic/references/Kakitani_etal2004.pdf).
5. Levan, S. L. 1984. Chemistry of Fire Retardancy, in "The Chemistry of Solid Wood", ed. by R. Rowell, American Chemical Society, Washington, DC, p531-574.
6. Van den Broecke, K., C. Vandecasteele, L. Helsen, and E. van den Bulck. 1997. Determination and Characterisation of Copper, Chrome and Arsenic in CCA-treated Wood and its Pyrolysis Residues by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, 2005, <http://people.mech.kuleuven.ac.be/~lieve/publications/1997P08.pdf>.
7. 김윤수, 김규혁, 김영숙. 2004. 목재 보존과학, 전남대출판부, 광주, p186.