

木材保存技術と材料開発*

角 田 邦 夫**

Role of Wood-Preserving Techniques for Developing Novel Woody Materials*

Kunio TSUNODA**

(平成元年8月1日受付)

1. 緒 言

木材及び木質材料は、種々の用途に適した優れた材料であることはこれまでの歴史が示すところであるが、生物劣化によって耐久性が低下することはよく知られている。耐朽・耐蟻性が高い樹種は、保存処理を施さなくても耐久性には問題はないが、汎用されている樹種に関しては、生物劣化による品質低下は材料としての木材あるいは木質材料を利用する上で不可避の問題である。

高耐久性材が確保できた範囲においては、木材の保存処理を考慮する必要がなかったであろうが、現実的には、汎用樹種に耐久性を付与するために、主として薬剤による処理が行われてきた。したがって、劣化機構の解明とそれに基づく劣化防止手段の研究とその応用を骨子とする木材保存学において、保存処理技術(薬剤や処理方法)の研究・開発は極めて重要なテーマである。

生物劣化によって生じる経済的損失についての正確なデータは皆無に等しいが、アメリカ合衆国の場合、地下シロアリ防除費用は年間15億ドルにも達する¹⁾。この数値は1960年代初頭のものであり、現在ではさらに多くの費用を要していると考えられる。腐朽による被害はさらに多く、1978年カリフォルニア州だけでも2億ドルを越えると算定されている。また、家主が修理のために負担した費用は、全国で20億ドルに達しているとされている。一方、海虫による被害は減少傾向にあるようであるが、年間2億ドル以上にはなりそうである²⁾。

これらのデータに対応するわが国でのデータはないが、木材及び木質材料の生物劣化による応急措置、取替え、修理などに係る費用は、大よそ、火事によってこうむる経済的損失と同程度であろうと言われている。これらの損失をできる限り軽減させ、木材の長期耐用を可能にするための保存処理技術の研究は重要である。

2. 保存処理木材生産量の推移

生物劣化によって生じる経済的損失に関する数値を挙げていくと、木材や木質材料の保存処理に多くの金額が費されているように思われるが、わが国での保存処理木材・木質材料の生産量は予想外に少ない。各国における加圧処理木材生産量を Table 1 に示している。

* 第44回木研公開講演会(平成元年5月19日, 大阪)において講演

** 高耐久性木材開発部門 (Research Section of High Performance Wood Products)

Key words: Preservative treatment, biodeterioration, pressure treatment, LOSP, OPM.

Table 1. Production of preservative-treated wood in various countries

($\times 1,000 \text{ m}^3$)

Commodity	Countries and year						
	USA	Sweden		New Zealand		Japan	
	1984	1983	1985	1981	1983	1983	1984
Sleepers	2,744	39.3	33.9	23.0	17.0	112.7	94.7
Poles & posts	2,758	79.7	74.3	402.2	395.3	62.0	44.4
Piles	334	—	—	—	—	—	—
Sawn timber & others	8,297	356.6	382.2	904.8	986.7	224.8	223.4
Total	14,133	475.6	490.8	1,330.8	1,399.0	399.5	362.5

日本では年間約 40万 m^3 、アメリカ合衆国では1,400万 m^3 の木材が加圧処理されており、人口比率を加味しても、わが国での生産量が極めて低いことが明白である。わが国の場合、日本木材防腐工業組合の資料による品目別の加圧処理木材生産量の推移を見てみると、電柱や枕木の生産量の低下が1960年代後半にはじまり、反面、製材品の処理量が増加傾向を示している (Fig. 1)。製材品は主として土台と考えられ、水溶性混合薬剤である CCA (Copper chrome arsenate) によって加圧処理されている。薬剤別の処理木材生産量は、上述の傾向を反映して、クレオソート油や PF (フッ化物、ヒ素化合物、クロム化合物、フェノール類の混合薬剤) 処理が減少し、CCA がわずかではあるが最近になって増加傾向を呈している (Fig. 2)。わが国の木材保存工業の歴史的なあゆみの詳細については、(社)日本木材保存協会が設立10周年を記念して編さんした「木材保存の歩みと展望」(監修 芝本武夫)³⁾ が格好の資料になると思われる。わが国の木材保存工業では、電柱、枕木が主要な処理対象であった時代から、徐々にではあるが、製材品、すなわち、加圧処理

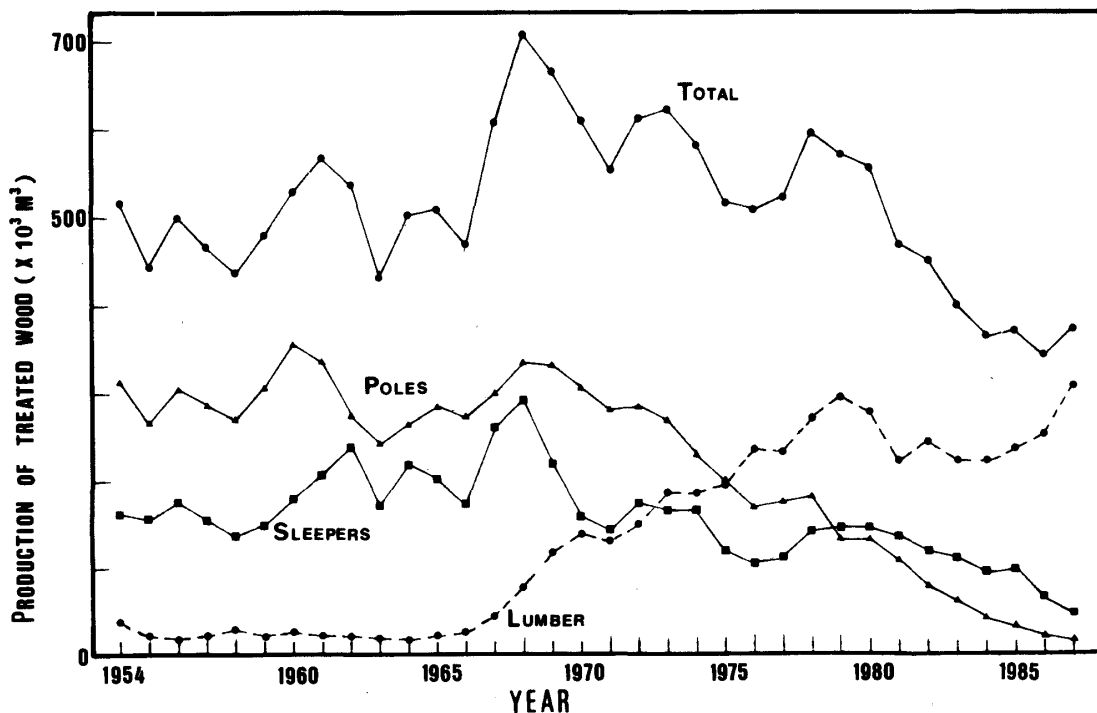


Fig. 1. Production of preservative-treated (pressure treatment) wood classified by commodities in Japan

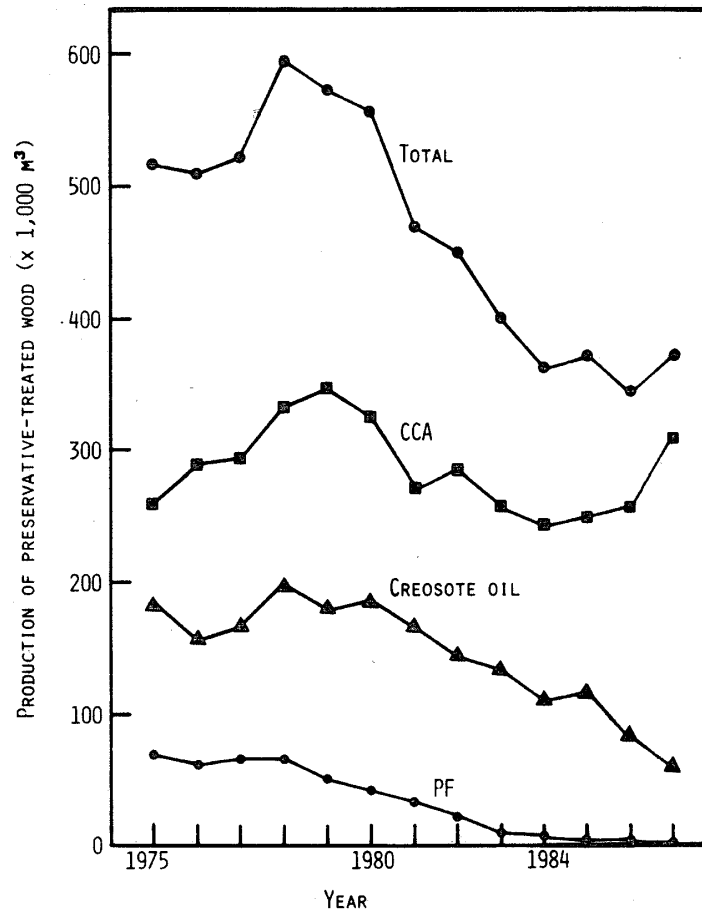


Fig. 2. Production of preservative-treated (pressure treatment) wood classified by preservatives in Japan

した防腐・防蟻土台の生産量が増大していることは上述の通りであるが、処理土台の市場への出現と定着は、木保存工業関係各位の並々な努力の末に達成されたものであることは高く評価されるべきであろう。現時点では、これまでに培ってきた保存処理技術を駆使して、新たな用途を模索しており、園芸用材や公園遊具などが新しい製品として登場している。

3. 保存処理技術の問題点と開発・改良されるべき点

3.1 表面処理法

塗布・吹付・浸漬（拡散）による防腐・防蟻・防虫（防かび）処理は、簡便であり、比較的生物劣化の危険性が低い箇所に使用される製材品、ボード類に適用される。しかし、常にこの処理で問題にされるのは、長期の効力持続性である。表面処理では、処理表面から数 mm 以内しか薬液が浸透していないことが多く、処理後に割れが発生すれば、そこから生物による劣化が開始する恐れがあるわけである。防蟻、防虫あるいは防かびには、ある程度の効力持続が期待できるにしても、防腐に関しては、界面活性剤の応用による浸透性剤型などが今後よく研究されるべきである。ヨーロッパでは、木製窓枠が腐朽されたような場合に適用できる拡散タイプのホウ素系薬剤が開発され⁴⁾、現場処理用として実用化されている。

防かびについては、浸漬あるいは吹付の表面処理が一般的であり、この方法でこれまで実効をあげてきたようである。効力持続期間が比較的短かくてよいことが、単純な方法の適用を可能にしていると判断され

る。ただ、輸入材の防かびに関しては、輸出国サイドで適切な時機に処理されなければ、防かび効果は期待通りには発現されない。木材輸出国であるカナダでは、製材については必ずテトラクロロフェノール主剤品による防かび処理を行っている。野外試験による新規防かび剤の開発に当たっては、6カ月間以上の効力持続を一応の目安としているようである。

ニュージーランドやチリから日本に輸入されているラジアータパインは、変色菌やかびが発生しやすい樹種として知られている。伐倒後から輸出される以前、あるいは南半球から赤道を越えて海上輸送されてくる間に、多くの材に変色菌やかびが発生してしまう。チリからの製材品は防かび処理がされていたり、乾燥しているため、変色菌やかびの発生例はほとんどないようである。丸太では、樹皮が剥落した箇所や木口に微生物の発育が認められることが多い。特に、樹皮下の形成層を含む師部が残っていると、微生物の生育が旺盛であり、丸太の防かび処理は適切な剥皮後に実施しなければ期待する効果はあげられない。

ラジアータパインに対しては、わが国では、低級材のイメージが強く、梱包用材の主要樹種であったが、近年になって、小規模ではあるが、家具用材としても利用されるようになってきており、今後は、高品質材としての用途が拡大されるべきであろう。特に、ニュージーランドでは1990年代半ば以降は年間1,000万 m^3 以上の余剰材の生産が見込まれており、その受け皿としては日本が格好の需要と経済力を備え、地理的位置にも恵まれていると言えよう。さて、ラジアータパイン丸太の防かび処理は、伐採後できるかぎり早く剥皮してから実施する必要がある。この考えに沿って、実際にニュージーランドから日本に輸入されるラジアータパイン丸太について、10月に伐採後、10日以内に剥皮し、防かび処理した。海上輸送された丸太の日本到着時及びその後の変色菌・かびの発生状況を調査したところ、到着後1カ月以内に製材され、製材所で通常の防かび処理が実施されれば、防かびの目的は達成された⁵⁾。日本のような木材輸入国にあっては、生物劣化から原料としての木材（丸太）を保護し、高品質を確保するためには、輸入相手国での伐採直後からの対応が要求されることを銘記しておきたい。

3.2 加圧処理法

1838年にベセル法が確立され、1900年代に相次いで油性あるいは油溶性薬剤の加圧注入技術としてのリューピング法とローリー法が考案された。その後、今日に至るまで大きな変化はなかった。CCAなどの水溶性薬剤の加圧注入はベセル法で行われ、樹種や前処理としての乾燥条件にもよるが、処理によって木材1 m^3 当たり450～500 kgの重量増加になってしまい、当然ではあるが、処理後の乾燥の必要性が生じてくる。また、有効成分が固着するには、10～15日間を要するため、もし、この期間に雨にあたれば、成分の流脱があるばかりでなく、六価クロムに起因する取扱い上の煩雑さや安全上の注意を怠れないなどの不便さがある。

そこで、空細胞法であるリューピング法を改良した処理法が、1970年代後半にW.C. Kelsoによって開発され、彼の所属大学であったミシシッピ州立大学(Mississippi State University)の頭文字をとってMSUプロセスと名付けられた。この方法の特徴は、後排気に伴うキックバック以前に金属塩の木材中での沈着を生起させてしまう点である^{6,7)}。処理工程の概要はFig. 3に示す通り、a. 空気圧入、b. 缶内に薬液充填、加圧、c. 加圧状態保持、d. 加圧停止、薬液排出、e. 水（蒸気）による加熱、f. 固着期、g. 加圧解除、加熱用水の回収、h. 後排気である。この処理の主な利点は、①処理による木材の重量増加は、通常のベセル法によるCCA処理の場合の1/3にも達せず、160/kg/ m^3 以下であること、したがって、場合によっては処理後の乾燥工程を省略できる。②注薬缶から処理木材を取り出す時点では、金属塩の沈着は終了しており、取扱い上の注意が大いに軽減される。③処理時間の短縮など、処理効率が上昇するなどが挙げられる。わが国でも実用化に向けて、トライアルが実施される価値は大であろう。

MSUプロセスでは、一般の加圧注入法と同じく、処理前の乾燥が浸透性を高め、基準値以上の薬剤吸収量を得るために不可欠であり、生材や乾燥が不十分な木材の処理は困難である。生材や未乾燥材の加圧注入には、Oscillating Pressure Method (OPM)と呼ばれる方法が開発され⁸⁾、短時間の加圧、減圧の繰返

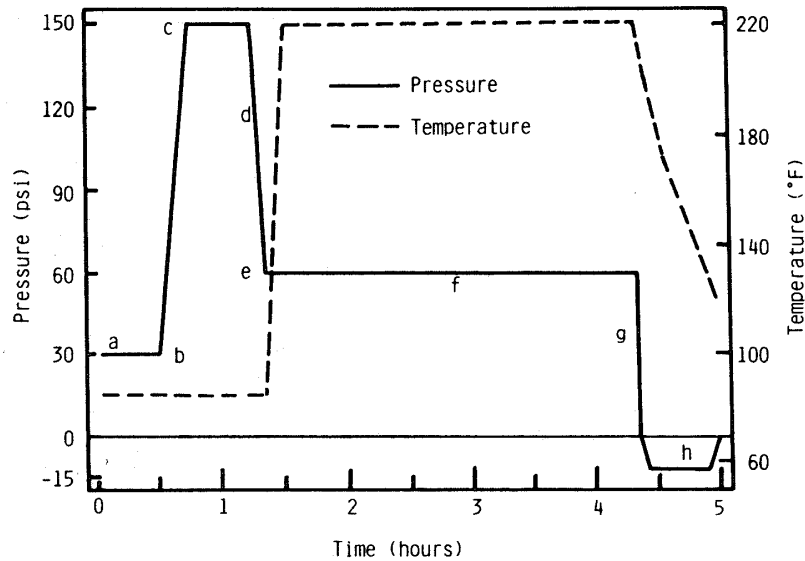


Fig. 3. MSU process treating cycle^{6,7)}

しによって、薬液を材中深く浸透させることができる。最近になって、ニュージーランドでは、減圧を大気圧レベルにした Alternating Pressure Method (APM) を考案した。この方法で未乾燥のラジアータパイン丸太を処理すると、辺材への薬液の浸透性が良好であったばかりでなく、心材部への浸透も認められた⁹⁾。アメリカ合衆国でもサザインパインを同様に処理したところ、満足できる処理性を示した⁷⁾。

処理の均一性を維持するためには、注入前処理が必要なことも多い。プレボーリングやインサイジングなどは常用されている前処理である。例えば、土台に多用されているベイツガにはインサイジングすることが普通である。生材などの高含水率材の乾燥に関しては、天然乾燥や人工乾燥は別にしても、スチーミング法、ペーパードライ法、ブルトン法などがすでに開発されており、生材の注入処理には有用な技術となるであろう。

従来の水溶性薬剤による加圧注入処理では、一旦乾燥された材が処理によって高含水率となり、実用前には何らかの乾燥工程が必要であるのが一般である。しかし、加工材や乾燥材を処理直後に実用に供したい場合には、これらの方法は不適當である。注入に伴う寸法変化を生じることなく、あるいはほとんど問題にならない程度に抑制するには、有機溶媒タイプの薬剤〔LOSP=Light Organic Solvent Preservative(s)〕

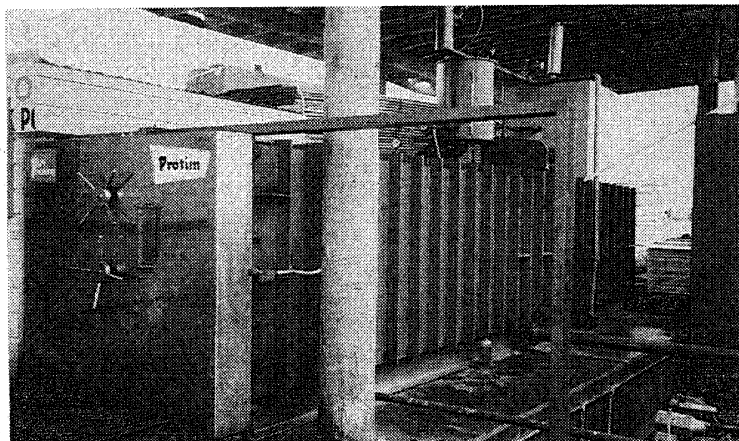


Fig. 4. Typical treating plant using LOSP

の採用が考慮されるべきである。すでに欧米では有機スズ化合物やナフテン酸銅などを利用した処理プラントが稼働している (Fig. 4)。LOSP による処理は、充細胞法の 1 種であるダブルバキューム法などによって行われ、加圧度を低くして、薬液の浸透深さを表面から数 mm 程度に制限して、極力、薬剤量を少なくして、なおかつ目的とする保存性能を付与しようとするものである。わが国でも今後は、プレカット材料などへの適用を考えるべきであり、さらに一步進めて溶剤回収処理^{10,11)}も実用化への努力がされるべきである。

3.3 薬剤の開発

これまでの保存処理は、すべて薬剤を利用したものであったと言っても決して過言ではない。その観点からすれば、より信頼できる薬剤の開発や剤型の改良は、これからも木材保存分野では重要な研究対象である。

世界各国で、油性のクレソート油、水溶性の CCA がこれまで大量に木材保存薬剤として利用されてきたが、環境問題や人畜への毒性に関心が集中するにつれて、代替薬剤の開発への要求度が高まってきた。世界的なすう勢として、クレオソート油の消費は減少、反面、CCA はわずかに増加しており、近い将来に CCA が木材保存工業から一掃される形勢にはないと言えよう。

油性薬剤については、いくつかの新しい化合物が木材保存分野に導入されている。例えば、有機ヨウ素系化合物の 4-クロルフェニール-3-ヨードプロパギル ホルマル (通称 IF-1000)¹²⁾、3-ブロモ-2,3-ジヨード-2-プロピニルエチルカルボナート (通称 EBIP)¹³⁾、3-ヨード-2-プロピニルブチル カーバメート (通称 IPBC)¹⁴⁾ などである。これらは、防かび剤の成分として、乳化あるいは可溶化剤製されているばかりでなく、PCP や有機スズ系化合物に代る防腐剤として、わが国では防蟻剤との混合薬剤の形で利用されることが多い。

防蟻剤関係では、日本の場合1986年にクロルデンが事実上使用禁止になってから、有機リン系化合物 (例えば、クロルピリホスやホキシムなど) が主として利用されている。これらは乳化させて土壌処理剤として、あるいは防腐剤と混合して油性の木部処理剤として用いられる。また、接着剤混入法に適用され、防蟻・防虫性能を具備した木質材料の製造にも利用されつつある^{15,16)}。作業への安全や長期の効力持続を確保するために、マイクロカプセル化などの剤型上の研究が、最近では重点的にされているようである。一方、すでに有機リン系化合物の後続として、合成ピレスロイド系化合物の研究も各国で盛んに実施されている^{17~19)}。遅効性防蟻薬剤として低毒性のトリプロピルイソシアヌレート (通称 TPIC)²⁰⁾もわが国では実用されている。

水溶性あるいは水可溶性に製剤したものは、防かび処理や加圧注入処理用薬剤として利用されるが、過去10年間で新たに開発が進んだものは極めて少数である。防かび剤としては、8-オキシキノリン銅や 2-チオシアノメチルチオ ベンゾチアゾールとメチレンビス チオシアネートとの混合薬剤、IPBC とアルキルアンモニウム化合物 (通称 AAC) との混合薬剤などは実用されている^{5,21,22)}。価格あるいはそれに相応する効力の点からは、塩素化フェノール類 (PCP や TCP 及びそれらのナトリウム塩) に劣るかも知れないが、毒性面からの安全性は大幅に改善されていると考えられる。

加圧注入用薬剤として、最近注目されているものに、マイクロエマルジョンタイプのナフテン酸金属塩や AAC が挙げられよう。マイクロエマルジョンタイプのナフテン酸銅及び亜鉛については正わが国でも標準法に準じた室内試験から、防腐性能は満足できるものであることや²³⁾、実物大の角材を用いた加圧注入試験でも、良好な処理性が立証されており²⁴⁾、今後、実用化に向けてさらに努力が払われるものと推察される。

AAC と略されるアルキルアンモニウム化合物は、工業用殺菌剤として長年、実用されてきたものである。AAC には、Fig. 5 に示すようにバラエティーがあり、ジアルキルジメチルアンモニウムクロライドの防腐性能が優秀であることが室内試験で示唆されている^{25,26)}。ニュージーランドではいち早く AAC が実用化され、非接地状態で使用される木材の注入処理に用いられるようになったが²⁷⁾、AAC 処理材を供用中

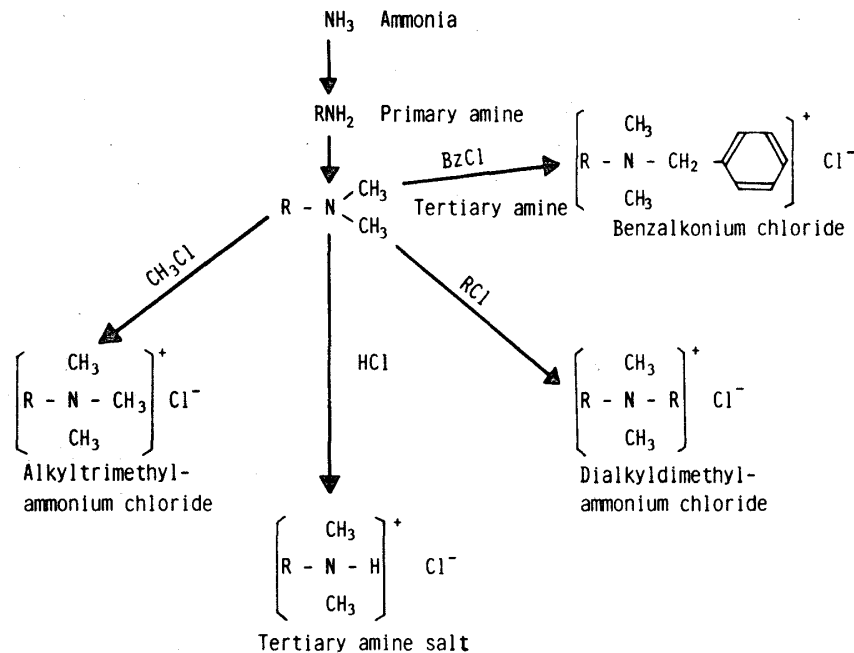


Fig. 5. Alkylammonium compounds

に腐朽が発生した事例が報告され、現在は認定薬剤からはずされている。AAC は低毒性であることは勿論のこと、水溶性であることが大きな利点であるが、防腐・防蟻効力を補足するために、他薬剤との混合を図り、触地状態で使用される木材の処理に適用可能な保存薬剤としての完成へ向けて、各国で研究が続行されている。

オーストラリアでは、クレオソート油にピグメントを添加し、乳化した Pigment Emulsified Creosote (略称 PEC) が開発され²⁸⁾、土木用杭やウォーターフロント構築物に実用されている。処理後の薬液の浸出もなく、表面がクリーンであるところから、クリーンクレオソートの別名もあり、わが国でもウォーターフロント構築物の部材の処理への採用は一考の価値がある。

4. 新しい材料開発に向けて

上述した通り、加圧注入という点に限定すれば、保存処理技術それ自体には、過去 100 年間にドラスチックな変化は起っていないわけである。しかし、木材あるいは木質系材料を“信頼できる材料”として確立するには保存処理は無視できない。保存処理技術を、処理法や薬剤の選定、使用後の廃材処理まで含めた一連の流れとして考慮すると、今後は、“安全性”すなわち、安全な薬剤、処理工場での安全管理の確立、廃材処理の安全性などが最重要課題として取上げられねばならない。その意味からすれば、アセチル化に代表される化学修飾も保存処理法として探究される価値があろう。しかしながら、CCA 処理土台が無処理土台の 1.5 倍の価格であってもなかなか使用拡大が浸透しないことや、処理費用の割には生物劣化抵抗性の点では処理効果が必ずしも満足できるものでないなどの理由から、この技術が保存工業界を席捲するとは考えられない。また 木材の準不燃化に成功している二重拡散処理による木材と無機質との複合化材料も、製品としての用途をよく考えなければ、実用面での価値は半減してしまう。

このような木材保存処理技術を取り巻く状況を総合的に判断すれば、より安全な薬剤による、より適切な処理法による均一な処理を図り、より長期の耐用を可能にすることを目標に研究が進められるべきである。その中には当然のことであるが、木質系以外の他材料と複合化や化学的な改質をも含めた総合的な知識の集約と活用が認められなければならない。

“信頼できる材料”を産するための基本的な考え方としては、まず、使用条件や環境によって、劣化の危険性の度合とそれに応じた処理内容が明確に呈示される必要がある。すわわち、処理を必要とする材料（＝部材）と処理の程度から、可能な限り正確に期待される耐用年数を算定することである。アメリカ合衆国木材保存協会（AWPA）規格²⁹⁾やオーストラリア、ニュージーランドでの規格³⁰⁾を参考に、生物劣化の危険度と処理の対象となる木材の使用環境とを類別すると、Table 2 のように要約される。また、アメリカ合衆国で基準とされている品目別の使用薬剤と必要される最低吸収量及び想定される耐用年限³¹⁾を Table 3 に示している。表中、penta は pentachlorophenol, ACA は Ammoniacal copper arsenate, Cu-Naph は Copper naphthenate, creo.-coal tar は Creosote coal tar, ACC は Acid copper chromate のことである。また耐用年限欄の数字の後の＋は“以上”の意味である。

Table 2. Hazard class description^{29,30)}

Hazard Class	Situations	Hazard	
		Decay	Insect
1. Low	Out of ground contact, protected from the weather with the possibility of occasional wetting (Indoor situation)	▲	▲
2. Moderate	Out of ground contact, exposed to the weather (Outdoor situation)	●	●
3. Severe	Ground contact, favorable to decay	◎	◎
4. Extreme	Ground contact, extreme hazard because of climate, soil, etc.	◎	◎
5.	Immersion in sea water	Marine organisms	

Table 3. Products, recommended preservatives, retentions and estimated service life³¹⁾

Product	Preservative	Retention (Kg/m ³)	Service Life (year)	Remarks
Pole-utility, farm and industrial	Creosote	144.2	35	
	Penta	7.2	35	
	CCA/ACA	9.6	50	
	Cu-naph	10.9	35	
Poles-residential	Penta	12.8	50+	Exterior only
	CCA/ACA	12.8	50+	
Poles-recreation & commercial	Penta	9.6	35	
	CCA/ACA	9.6	50	
Posts-fence	Creo. -Coal tar	96.1	25	
	Creosote	96.1	25	
	Penta	4.8	25	
	CCA/ACA	6.4	35	
	Cu-naph	7.2	35	
	ACC	8.0	35	

Posts-fence, residential & commercial	Penta	3.0	25
	CCA/ACA	4.0	35
	ACC	5.0	35
Posts-highwayguardrail	Creo. -Coal tar	192.4	30
	Creosote	192.4	30
	Penta	9.6	30
	CCA/ACA	9.6	30
	Cu-naph	14.4	30
Piling-marine	Creo. -Coal tar	320.4	20
	Creosote	320.4	20
	CCA/ACA	40.1	30
Crossties	Creo. -Coal tar	128.2	35
	Creosote	128.2	35
	Penta	6.4	25
	Cu-naph	9.6	25
Crossarms	Creosote	128.2	40
	Penta	6.4	40
	CCA/ACA	6.4	40
	Cu-naph	9.6	40
	ACC	8.0	40
Cooling tower slats	CCA/ACA	6.4	20
	ACC	8.0	20
Agricultural uses	CCA/ACA	8.0	30
	Cu-naph	12.0	30
	ACC	9.9	30
Landscaping and garden timbers & decking	Penta	8.0	30
	CCA/ACA	6.4	30
	ACC	8.0	30
Containers (boxes, crates, etc.)	Penta	4.8	
	CCA/ACA	4.0	
	Cu-8	1.9	
	TBTO	1.9	
	Cu-naph	7.2	
	ACC	4.0	
	CZC	7.2	
Boat hulls & decks	CCA/ACA	9.6	
Highway sound barriers	Penta	9.6	35
	CCA/ACA	9.6	35
Playground equipment	CCA/ACA	6.4	30
	ACC	8.0	30

的確な性能基準が設立されてはじめてそれに対応する製造基準が決定できるわけであり、また、それらの基準に沿って製造された処理木材あるいは木質材料は、少なくとも生物劣化に対しては、想定される最短の耐用年数以上の実用が可能となるはずである。このことを実現してこそ、耐用年数に関しては信頼できる材料として生産できる状態になるのである。かつて通商産業省は、昭和58年度新住宅開発プロジェクトの一環として「住宅躯体材料の耐久性向上技術の開発」の中から、「木材の耐久性向上に関する研究」を（社）日本木材保存協会に委託し、同協会では、関係各位の協力の下に、部材の耐久性能基準、使用基準、性能評価試験方法、薬剤処理技術などについて報告書³²⁾をとりまとめている。今後への指針として大いに役立つ資料であろう。

保存処理は材料供給者の単なるサービス行為ではなく、性能面からの付加価値の増大であるとの正当な意識が高揚すれば、自然に性能・製造基準の作成作業が精力的に推進され、保存処理技術の材料への適用という面で新しい局面が迎えられることが期待される。

引用文献

- 1) H.B. MOORE: Wood-inhibiting insects in houses: their identification, biology, prevention and control, USDA For. Ser. and the Dept. of Housing and Urban Development, 133pp. (1979)
- 2) D.D. NICHOLAS and R. COCKCROFT: STU Information No. 288 (1982)
- 3) (社) 日本木材保存協会: 木材保存の歩みと展望 (監修 芝本武夫), 297pp. (1985)
- 4) P.E. DICKER, *et al.*: Rec. BWPA Ann. Conv., 73-81 (1983)
- 5) 角田邦夫: 木材工業, **42**: 396-401 (1987)
- 6) M.W. WOOD, *et al.*: Proc. AWPA, **76**: 22-37 (1980)
- 7) H.M. BARNES: For. Prod. J., **35**(1), 13~22 (1985)
- 8) J. BLEW, JR., *et al.*: For. Prod. J., **11**: 275-282 (1961)
- 9) A.J. BERGERVOET: IRG Doc. No.: IRG/WP/3187 (1982)
- 10) 広瀬六郎: 木材工業, **39**: 395-399 (1984)
- 11) 岩崎克己: 木材保存, **26**: 60-65 (1985)
- 12) 梶田雅尚: 日本防菌防黴学会 木材保存剤 (防腐・防黴・防虫剤) 講習会テキスト, 57~72 (1980)
- 13) Y. MORISAWA, *et al.*: Holzfor., **38**: 225-231 (1984)
- 14) J. HANSEN: IRG Doc. No.: IRG/WP/3295 (1984)
- 15) Australian Quarantine and Inspection Service: Cargo containers-Quarantine aspects and procedures, 39pp. (1988)
- 16) 伏木清行: (社) 日本木材保存協会第5回年次大会研究発表・特別講演要旨集, 13-21 (1989)
- 17) J.W. CREFFIELD and C.D. HOWICK: IRG Doc. No.: IRG/WP/1230 (1984)
- 18) J.K. MAULDIN, *et al.*: IRG Doc. No.: IRG/WP/1323 (1987)
- 19) 吉村 剛, 他: 木材保存, **14**: 268-277 (1988)
- 20) 高橋啓暘, 他: 木材誌, **31**: 504-514 (1985)
- 21) 中村嘉明: 木材保存, **12**: 167-179 (1986)
- 22) 角田邦夫: 木材保存, **14**: 215-225 (1988)
- 23) 檜垣宮都, 他: 防菌防黴誌, **15**: 381-388 (1987)
- 24) 竹内孝常, 他: (社) 日本木材保存協会第5回年次大会研究発表・特別講演要旨集, 1~12 (1989)
- 25) A.F. PRESTON and D.D. NICHOLAS: Wood and Fiber, **14**(1), 37~42 (1981)
- 26) K. TSUNODA and K. NISHIMOTO: IRG Doc. No.: IRG/WP/3232 (1983)
- 27) J.E. BUTCHER and H. GREAVES: IRG Doc. No.: IRG/WP/3188 (1982)
- 28) C.W. CHEN, *et al.*: IRG Doc. No.: IRG/WP/3235 (1983)
- 29) AWPA: Book of Standards (1988)
- 30) New Zealand Timber Preservation Council: Specification of the minimum requirements, MP 3640 (1988)
- 31) USDA: Tech. Bull. No. 1658-I (1981)
- 32) 通商産業省: 昭和58年度新住宅開発プロジェクト研究開発委託事業研究成果報告書 (1984)