〈 総 説 〉

木材保存の最近の動向 —新規薬剤及び保存処理法の改善—

Some Recent Trends in Wood Preservation-
—New Chemicals. Improved Treatment Processes

John A. Butcher*

角 田 邦 夫** 訳

緒 言

これからの10年間に木材保存工業は、変革の時期を迎えることになりそうである。この主な要因として挙げられることは、木材保存処理に使用される薬剤が、人類の健康を害したりあるいは、大規模な環境汚染を引き起こしたりするのではないかと懸念されることである。

多大な努力にもかかわらず、クレオソート、ペンタクロルフェノール及び銅-クロム-ヒ素混合物(CCA)に代わる薬剤の開発がいかに困難であるかと、われわれは痛感しているところである。多分、短期的に見れば、薬剤配合や適用法(処理方法)の改良が、暫定的な解決策となるのであろう。しかしながら、人畜に対する毒性が低く、環境への影響が少ない安全な薬剤の研究・開発が究極的な解決には不可欠であることは疑う余地がない。

木材保存の経済性の向上を達成するためには、処理法の開発・改良が重要であり、健康及び安全性を考慮して、いくつかの処理法が考案されてきた。木材保存工業にとって、より大きな利益をもたらすことに主眼を置いて研究努力が続けられてきたであろうことは容易に想像できよう。

木材に耐朽性だけでなく、寸法安定性、防火性、仕上がり表面性状の持続性の向上などの特質を付与することを目的として、用途(品目)別処理(commodity treatment)の要求度が増大しつつある現況である。この観点に立って、現在、実用

されているものに、有機溶媒で希釈するLOSP(Light Organic Solvent Preservatives)を利用した処理があるが、水溶性薬剤を利用して同様の処理が可能である。また、木質複合材料の保存処理の必要も上昇している。本文では、これらの諸点について、特に、ニュージーランドでの研究成果や実用の経験を中心に言及したいと考えている。

新規木材保存薬剤の開発

新しい防かび剤、防腐剤及び防虫剤の開発には、たえず多くの関心が寄せられている。

クレオソート、ペンタクロルフェノール、CCA、塩素化フェノールのナトリウム塩あるいは有機塩素系防虫剤(ディルドリン、アルドリンなど)など汎用されてきた薬剤は、生物活性の範囲が広く、安定であり、効力の点では問題がなかった。しかし、これらの薬剤は、防除の対象となる生物だけでなく、その他の種々の生物にも作用したり、人類の健康を脅かし、環境汚染の危険性が問題となっている。そこで、今後の新規木材保存薬剤は、防除対象の生物に特異的に効力を発揮し、毒性的にも心配のないものでなければならない。今日までの経験によると、使用時の安全性を確保するには、生物活性や使途の範囲を犠牲にした薬剤でなければならない。この点については、すでに報告している(Butcher, 1985a)ので、ここでは触れないことにする。

ニュージーランドでは、ペンタクロルフェノールのナトリウムが今なお、製材直後の木材や剥皮

* John A. Butcher, ニュージーランド林業試験場

** 京都大学木材研究所

した丸柱・丸杭の防かび処理に利用されている。一方、ニュージーランド林業試験場では、1970年以降防かび剤の開発に総力をあげ(Butcher, 1973; Butcher and Drysdale, 1974, 1978; Butcher, 1980a; Drysdale and Preston, 1982; Drysdale, 1983), いくつかの化合物が防かび剤として実用されるに至っている。実用化されているものとしては、キャプタホル、フォルペット、8-オキシキノリン銅、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の混合物などが挙げられる。また、チオファネートメチルとクロロサロニルの混合物も木材保存業界の研究努力の結果、実用されている。しかしながら、これらの化合物あるいは混合物は、使途の多様性という点では、ペンタクロルフェノールのナトリウム塩には及ばないのは残念なことである。

ペンタクロルフェノールのナトリウム塩に代る新規防かび剤の開発の難しさは、ニュージーランドだけでなく、世界の各国が直面している(例えば, Coggins, 1982)。まず、ペンタクロルフェノールのナトリウム塩に匹敵するような防かび性能に欠けること、また、この点については、薬剤を混合して(例えば、キャプタホルにクロロサロニルを添加)防かび性を上昇させることによって、全面的とは言えないまでも、克服できるであろうが、処理費用が増大し、経済性が低下する。チオファネートメチルとクロロサロニルを配合するなどのフォーミュレーションは、担子菌への効力を増強するが、長期にわたる生材の防かび処理には適さないものである。水和性あるいは懸濁タイプに製剤されたキャプタホルやフォルペットでは、適用方法が限定されることも現実的には、その有用性を低減させるものであろう。この2種の化合物では、循環式のスプレー処理かあるいは、大型の攪拌装置付きの浸漬槽による処理が必要となる。

8-オキシキノリン銅の水溶性製剤は、スプレー処理には理想的であるが、処理液が酸性であり処理用容器などの金属の腐食が問題となろう。

防かび剤の効力に関しては、試験が行われた国によって、また、供試樹種によって異なる結果が

得られている(Butcher, 1982)。キャプタホルの場合、ニュージーランドやオーストラリアでは、トリコデルマ菌(*Trichoderma viride*)の生育をよく抑止できるが、一方、スウェーデンやアメリカ合衆国では、効果が少ない。この例とは対照的に、メチレンビスチオシアネートは、ニュージーランドではトリコデルマ菌にはまったく効果がないが、スウェーデンでは抜群の効果を発揮する。このような差異の原因について、DickinsonとHenningson(1984)は、国によって木材の取り扱い方法が違うことを考えている。Williamsらの研究(1985)では、処理後の木材の貯蔵法が防かび処理の効果を大きく左右すると述べている。高含水率の製材品を積み重ねて処理する際には、水和剤タイプは拡散によって有効成分が木材表面から内部へと移動し、表層の有効成分濃度が低くなるので不適である。さん積の場合には、拡散による有効成分の移動は大した問題とはならない。

生物活性の範囲が広く、化学的にも安定な塩素化フェノールから、生物活性の範囲が小さく使途の多様性に欠ける防かび剤への転換は、木材保存工業界がかつて経験したこともないような取り扱いの煩雑さを呈することになるであろう。短期的にみれば、処理が実施される条件を考慮して、その地方に応じた化合物を選択して防かび処理に使用すれば、その目的は達成できると考えられる。しかし、長期的には、生物活性を拡大するような混合や撥水剤の配合によって防かび性を改良しなければならない。処理法の改良によってもまた、新しい防かび剤の使用範囲を拡充できるであろうし、経済性の上昇にも寄与できよう。処理法の改良については後述したい。

新たな木材防腐剤の研究・開発の重要性和問題点についてはすでに論じられており、(Butcher, 1983a), 新しい防腐剤に関する総説もすでに出されている(例えば, Butcher, 1983b, 1985a; Coggins and Tillott, 1981; Nicholas, 1981)。ニュージーランドでは、アルキルアンモニウム化合物がこれまで重点的に研究されており(Butcher, 1980b; Butcher and Greaves, 1982), この種の

化合物については、諸外国でも精力的に研究されているのが現状である (Coggins and Tillott, 1981; Hedley 他, 1982; Nicholas and Preston, 1980; Preston and Nicholas, 1982; Tsunoda and Nishimoto, 1983)。

一般的に言えば、アルキルアンモニウム化合物は、土壌と接触しない部分の木材の防腐には効果があるが、土壌と接触する木材の防腐には、十分な生物活性の範囲を具備していないと考えられている (Ruddick, 1982)。しかしながら、銅化合物を添加して、生物活性を増強することによって、土壌と接触する木材の防腐処理にも適用できるかも知れない (Butcher 他, 1979, 1981; Sundman, 1984)。ニュージーランドでは、1978年に木材保存管理局 (Timber Preservation Authority) によって、アルキルアンモニウム化合物の実用が認定されている。ただし、適用の範囲について、アルキルアンモニウム化合物として塩化ベンズアルコニウム (アルキルジメチルベンジルアンモニウムクロライド) を用い、処理の対象樹種はラジアータパインだけに限定して、ベセルあるいはローリー法で処理すること、また、処理材は土壌と直接的に接しない所に使用することとなっている。

1982年には、効力の点で問題が生じ、最低注入量を 2.5 kg/m^3 から 3.75 kg/m^3 に引き上げるようになったが、その後も同種の問題が解消されず、1985年中には、塩化ベンズアルコニウムの認定が抹消されることになりそうである。塩化ベンズアルコニウムの実用に当たっての種々の問題点についてはすでに報告しているので (Butcher, 1985b), ここでは割愛したい。ただ、簡単に述べれば、処理そのものが規格通りに実施されていなかったことに起因する腐朽が発生したケースが多かったわけであるが、時には、アルキルアンモニウム化合物に抵抗性の高い *Coniophora* 属の腐朽菌による腐朽も観察された。2, 3の例ではあるが、処理材を互いに接すように積み重ねておいたところ、18～24ヵ月後には、木材の表層から塩化ベンズアルコニウムが検出されないことがあった。しかし、この原因についてはよくわかっていない。

新規木材防腐剤の導入に関連してわれわれが経験したことから言えることは、使用時の安全性と低毒性で環境汚染の心配が比較的少ないものは、生物活性の範囲が小さく、使途が限定されざるを得ないということである。困ったことには、このような問題点は、実験室での研究からは判然としなしい、野外試験からも判明しないことが多い。現実的には、種々の問題があるとは言え、アルキルアンモニウム化合物は、今なお、新規木材防腐剤として有望であると考えられている。特に、生物活性 (殺菌性) の高いジデシルジメチルアンモニウムクロライド (Preston and Nicholas, 1982; Tsunoda and Nishimoto, 1983) などが興味ある化合物となるであろう。また、最近、ある種のアルキルアンモニウム化合物が有機溶媒で希釈して利用する木材防腐剤として使用可能であることが Bravery と Carey (1985) によって示唆されている。

農業用及び工業用薬品のスクリーニング試験の結果では (Hedley 他, 1979), 適用範囲が狭いこと、水に不溶であることが木材防腐剤開発のネックになっていることが示されている。スクリーニングした50種の化合物のうち、19種は担子菌のみに、9種が担子菌と軟腐朽菌に、3種だけが殺菌性能に加えて防虫性能が認められたにすぎない。その後の室内試験の結果から、2-(チオシアノメチルチオ)ベンゾチアゾールだけが次の段階である野外試験に供されることになった。4～5年間の野外試験では、この化合物で処理された試験杭は健全な状態を保持していたが、CCAと比較すると高価であり、経済性では劣っている。これらの研究から、農業用あるいは工業用薬品として利用されているもののうちのごくわずかだが、木材保存剤として利用可能であると考えるのが賢明であろう。同様の結論は、80種の化合物をスクリーニングした Nicholas (1981) によっても得られている。

その他、種々の化合物が新規木材保存剤としての研究対象となっているが、現時点では、とりわけ、3-ヨード-2-プロピニル ブチル カーバメート (Hansen, 1984) と塩素置換したイソチアゾ

ロン(Nicholas 他, 1984)が注目を集めているようである。しかしながら、これらの化合物も水溶性薬剤ではない。

新規木材防虫剤開発に関しては、合成ピレスロイドについての研究が多くされている(Baker and Berry, 1980; Cross, 1980; Greaves, 1980; Orsler and Stone, 1984; Reed and Berry, 1984)。最近では、有機リン系化合物も注目されており(Tsunoda and Nishimoto, 1985)、アセフェートやテトラクロロビンホスなどが防蟻剤としての効果が認められている。

木材の化学修飾もまた、最近関心が増大しつつある分野であると言えよう。木材の化学修飾が生物劣化防止にとって、いかに有効であるか、またいかに逆に作用するかをRowell(1975)が概説している。最近の化学修飾の研究では、ホルムアルデヒド(Vihavainen 他, 1980)、ホルムアルデヒド+十二酸化イオウ(Schmidt, 1983)、チオ酢酸(Kumar and Agarawal, 1983)、アルキレンオキシド(Rowell 他, 1979)、クロロシラン(水素化塩化硅素)(Stevens, 1981, 1985)などが利用されている。

処理法の改良

ごく微量の防かび剤による木材の処理法の改良が現在注目されている。いくつかの方法が検討されているが、木材表面に必要とされる量の防かび有効成分を無駄なく吸収させるという目的を達成するという点では異なるところはない。この方法が確立されると、処理の経済性も上昇し、より安全な処理が可能となろう。

高圧スプレー法などが開発されているようであるが、ニュージーランドでは、泡処理法の開発に力が傾注されている。薬液を発泡させ、その泡が木材表面に付着することによって、有効成分が吸着されるわけであり、薬液の消費量は約10ml/m²と少なく、泡はすぐに消滅して木材表面の性状に何らの変化もきたさないという利点を備えている。その他の利点としては、

- (1) 剤形は水溶でも水和タイプでも支障がない。
- (2) 薬液を繰り返し使用をすることがないので、

鋸屑による処理槽の汚濁などの心配はなく、比較的安全性の乏しい乳剤の使用も可能である。

- (3) 薬液は、比較的高濃度で使用でき、また、予め処理槽で溶解攪拌する必要がないので、品質管理の面でも有利であろう。

ニュージーランドでは、発泡防かび処理装置の第1号機が近いうちに稼動することになり、木材の送り速度4m/秒で処理できるように計画されている。この処理方法は、合板の保存処理への適用も検討されている。単板を乾燥機に入れる際に、単板の両面を処理することになるので、使用される薬剤は、熱安定性が優れているものであることが要求される。この処理法では合板の表裏単板の両面も処理できるので、殺菌剤(防腐剤)や防虫剤を接着剤に混入するよりも有効かも知れない。例えば、合成ピレスロイドは接着剤との混和性が悪く、接着剤混入法には適さないが、接着前に単板を泡処理すれば何ら支障がない。

ニュージーランドでの新しい技術として、防かび剤やホウ素系化合物のような拡散性保存剤への増粘剤の添加が挙げられよう。薬液の粘度を上げることによって、吸収量が増大し、また、薬液の吸収は木材表面の性状よりもむしろ薬液の物理的特性に主として左右されることになるわけである。したがって、心材、含水率にばらつきのある木材、樹脂分の多い木材の処理が効率的に実施できるようになることが予想される。

ニュージーランドでは、長年にわたって、水溶性薬剤による処理方法は、ベセル法及びローリー法であったが、最近特に、ローリー法に関心が集中している。というのは、処理木材の含水率がベセル法の場合よりも低く、処理後の乾燥が経済的であるからである。このため、土壌と接触する木材の処理にローリー、リュピングの両法が検討されている。リュピング法だと処理木材の含水率はより低くなり、乾燥及び運搬経費が軽減できるメリットがある。ニュージーランド林業試験場での予備研究によれば、さらに、同程度の保存性能を得るのに、ローリー法及びリュピング法

では、ベセル法と比較して、木材保存剤がより少なくてよいことが示されている。HedleyとArmstrong(1975)は、処理薬液濃度の方が、重量/体積あるいは重量/重量で表わされた注入量よりもよくラジアータパインの保存性能に対応することを例証した。室内試験、腐朽槽及び野外杭試験結果からすれば、同一濃度のCCAを用いて、ベセル法、ローリー法、リューピング法で処理されたラジアータパインでは、注入量(kg/m^3)はこの順に減少するが、防腐性能には差が認められなかった。この傾向は、処理費用の軽減を考慮する上には極めて重要なものであり、今後さらに研究を進める必要がある。

ニュージーランドでの処理法についての最大の関心は、何と言っても、生材あるいは部分的に乾燥した針葉樹材の処理に関するものであり、これについては、すでにBergervoet(1982)が総説を發表している。新しく開発されたものとしてOscillating Pressure Method(OPM, 加減圧交替処理法)とAlternating Pressure Method(APM, 加圧繰り返し処理法)がある。これらは蒸煮処理した生材を処理シリンダーに入れ、加減圧サイクルによって処理するものであり、各サイクル間に減圧する(OPM)か、あるいは通常の空気圧に戻す(APM)かするわけである。これらの方法は、木材保存業界で実用されてはきたが、処理プラントを若干ではあるが改造しなければならなかった。しかし、在来プラントがそのまま利用できるQ-プロセスの出現によって、この方法がもっともよく使われるようになった。この処理法では、まず、処理する木材を 127°C で蒸煮(処理部辺材3cm厚さに対して1時間の割りで行う)し、その後、処理シリンダーから取り出し、水分の蒸発、含水率の均一化を図るため、木材に覆いをして少なくとも2週間静置する。すなわち、保存剤吸収量が $300\text{ l}/\text{m}^3$ になるような水分の蒸発量が必要とされる。この量は、ラジアータパインの含水率約70%に等しい。保存処理そのものは、高濃度の薬液によるベセル法で行い、吸収量を低くする。この方法によるCCAの浸透深さと注入量は、気乾材

(含水率30%)をベセル法で処理した場合と同様である。

処理時間を短縮するために研究が続けられており(Bergervoet, 1983; Vinden, 私信), 処理前に行う蒸煮後の養生期間を2週間から1~4日間に短縮できる結果が得られている。すなわち、蒸煮が終了すると直ちに、木材をシリンダーから取り出し、 50°C 以下に木材になるまで、最短で12時間位放置する。これは、 50°C 以上ではCCAが不安定なためである。蒸煮1~4日間の養生後、木材は15回の加減圧サイクルのAPMで処理されることになる。この方法は、丸柱及び製材品の両方の処理に実用されている。製材品について言えば、気乾材の処理と比較すると、心材部への浸透が増加する。部分的に乾燥した(蒸煮処理した)木材の処理方法が開発され、実用化に至ったことは、ニュージーランドでの木材保存工業に大きな影響を与えた。ほとんどの丸柱は、今では蒸煮処理後に保存処理されており、いくつかの処理工場では、製材品も同様に処理している。この種の処理方法の利点としては、

(1) 風乾の必要がなく、風乾中の菌害を受けない、(2) 時間がかかる風乾の過程がないので、処理に供する木材のストックを持つ必要がない、(3) 処理工場内に風乾のスペースが不要である、(4) 短期間で処理材を生産できるので、大量の注文に比較的迅速に応じることができる。

処理後のCCAの定着を促進するMSU(ミシシッピ州立大学)法(Wood他, 1980)が考案されている。基本的には、処理後の蒸煮によって定着を促進するわけである。しかしながら、現在のところ実用されてはいないようである。

その他の処理法の改良・開発については、ニュージーランドではつい最近まで注目されなかったが、ホウ素化合物による処理法の改良について検討されつつある(Vinden, 1985)。これまでの予備研究では、ラジアータパイン乾燥材をホウ酸トリメチルガスで処理する場合、ホウ酸トリメチルが水の存在下で加水分解し、木材中にホウ素が沈積するという興味ある結果が得られている。この処

理では、含水率のコントロールが重要であり、木材内のホウ素の分布を一樣にするためには、含水率は6%を越えてはならない。この方法は今のところ実用されていないが、乾燥材のガス処理は今後の研究対象であり、有機溶媒タイプの保存剤に代るものとして期待されるところである。

有機溶媒タイプの保存剤(前出のLOSP)は、ヨーロッパ、特にイギリスで広く実用され、これまで良好な成績が得られてきた。処理は通常、ダブルバキューム法で行い、刃材部の浸透深さは10mm程度であり、溶媒の消費量は少ない(約20 ℓ/m^3)。ニュージーランドとオーストラリアでは、刃材部へは100%の浸透がないと規格に適合しないこともあって、溶媒の消費量が多すぎるのが問題である。ニュージーランドでの最近の研究では、現在の溶媒消費量(50~65 ℓ/m^3)と低圧のリューピング法によって、吸収量を大体35 ℓ/m^3 に抑えることが可能になった。しかしながら、処理の経済性を上げるためには、さらに減少させる必要があり、溶媒回収も含めて、代替溶媒を研究している。

保存処理の究極的目的は、耐朽性だけでなく、その他の性能も合わせて付与できるようにすることである。付加される特質は、処理材の用途によって異なってくるのは勿論である。現在利用されているLOSPは、撥水剤を添加することが可能であり、このことによって処理木材の吸湿を抑制し、寸法安定性を高めることに寄与している。しかし、十分な寸法安定性を得るには、化学修飾によるかあるいはバルキング剤の助けが必要であろう。処理時に着色あるいは表面仕上げが同時にできれば有利であり、LOSP処理では、これらの性能を付与できるシステムが考案され、量的に多くはないが、実際に商品が生産されている。ただ、効果の持続性についてはまだ問題があるようである。

水和性の撥水剤が表面処理用として実用されており、将来的には、加圧注入へも導入されることになるだろう。

CCAに色料を混ぜることも試行されているが、まだ実用化は困難であり、効力の持続性も低い。

ロイヤルプロセスは、木材の用途に応じた処理

に適用できるであろう。水溶性の製剤を使用すること、最終的な仕上げをした材料の処理に利用できること、また、処理材に撥水性を与えたり、着色できることなどによって、大いに興味が抱かれている方法である。処理そのものはローリー法で行い、キックバック後の高温(80°C)の乾燥オイルを処理シリンダーに入れ、減圧する。水分は蒸気の形で除去され、同時に、着色した乾燥オイルが木材表面から3~5mmの深さに浸透し、着色・撥水性を付与する。撥水性がよければ、防腐性が著しく向上することは、アンモニア性カプリン酸銅を用いて、ベセル法とロイヤル法で処理したマツ及びブナ杭を無殺菌土壤に接触させて腐朽させた場合に確証された事実である。ベセル法による処理杭は、腐朽したのに対し、ロイヤル法による杭は、まったく腐朽が認められなかった。

結 論

新規木材保存剤の開発・研究を通じて、低毒性で環境への影響がない化合物であって、生物活性の範囲が大きく、用途の広いものは極めてまれであることが明白になったと言えよう。したがって、これまで汎用されてきたCCA、クレオソート、ペンタクロルフェノールなどと比較すると、効果及び用途の点で制限を受けることは致し方ないことであろう。一方、このような制限は、薬剤の配合を工夫すること、例えば、撥水剤を添加したり、あるいは処理法の改良によって部分的にしる克服できるようになると思われる。

処理方法の改良・開発も重要である。というのは、処理の経済性を上げることは、他製品との競争力を備えるようにすることを可能にするからである。木材そのものは天然材料であり、品質のばらつきが大きい。したがって、耐朽性の他に寸法安定性や均等な着色を付与するなどの処理方法は、木材の用途を拡大するだけでなく、個々の用途に応じた処理を可能にすることはまちがいのない事実であろう。

要 約

新規低毒性化合物の木材保存剤としての利用には、生物活性の範囲に限界があり、したがって、使途が限定されることが問題となろう。しかしながら、適用法の改良や薬剤の配合を工夫すること

によって、使用範囲を拡大できると考えられる。

木材保存処理の経済性を上げるための処理法の開発に関する近年の研究を概説し、木材保存工業の最終的な目標になると思われる用途(品目)別処理の発展について論を進めた。

引 用 文 献

Baker, J.M. and Berry, R.W.: Synthetic pyrethroid insecticides as replacements for chlorinated hydrocarbons for the control of wood-boring insects, Holz als Roh-u Werkstoff 38(4), 121-127(1980).

Bergervoet, T.: Partial seasoning and preservative treatment systems for pine roundwood, IRG/WP/3187(1982).

Bergervoet, T.: Presteamng radiata pine heartwood to improve treatability, IRG/WP/3239(1983).

Bravery, A.F. and Carey, J. K.: Some data on the activity of alternative fungicides for wood preservation, IRG/WP/3333(1985).

Butcher, J.A.: Laboratory screening trials for new prophylactic chemicals against sapstain and decay in sawn timber, Material und Organismen 8(1), 57-70(1973).

Butcher, J.A.: Commercial antisapstain chemicals in New Zealand, IRG/WP/3142(1980a).

Butcher, J.A.: Current status of AAC preservatives in New Zealand, IRG/WP/3141(1980b).

Butcher, J.A.: Keynote addresss on antisapstain chemicals, IRG/WP/3217(1982).

Butcher, J.A.: International trends in wood preservation research, Wood Preservation Symposium, National Timber Research Institute, CSIR, Pretoria(1983a).

Butcher, J.A.: New preservatives-requirements and problems of a research and development programme, Wood Preservation Symposium, National Timber Research Institute, CSIR, Pretoria(1983b).

Butcher, J.A.: Benzalkonium chloride(an AAC preservative): Criteria for approval, performance in service, and implications for the future, IRG/WP/3325(1985a).

Butcher, J.A.: New Preservatives in the challenge of research, Canadian Wood Preservers Association Meeting, Vancouver, November(1985b).

Butcher, J.A. and Drysdale, J.A.: Field trials with captafol and acceptable antisapstain chemical, FPJ 24, 28-30(1974).

Butcher, J.A. and Drysdale, J.A.: Laboratory screening materials with chemicals for protection of sawn timber against mould, sapstain, and decay, Int. Biodeter. Bull. 14(1), 11-19 (1978).

Butcher, J.A. and Greaves, H.: AAC preservatives: recent New Zealand and Australian experience, IRG/WP/3188 (1982).

Butcher, J.A., Hedley, M.E., Preston, A.F. and Cross, D.J.: Alternative chemicals for protection of wood: A New Zealand perspective, Proc. XVII IUFRO World Congress, Japan (1981).

Butcher, J.A., Preston, A.F. and Drysdale, J.A.: Potential of unmodified and copper-modified alkylammonium compounds as groundline preservatives, New Zealand Jour. Forestry Sci. 9(3), 348-358 (1979).

Coggins, C.R.: Antisapstain treatments for freshly sawn timber: The New Chemicals, Rec. 1982 BWPA Annual Conv. (1982).

Coggins, C.R. and Tillott, R.J.: Non-arsenical waterborne preservatives—a review of performance and properties, Rec. 1981 BWPA Annual Conv. (1981).

Cross, D.J.: Future insecticidal treatments for wood products, IRG/WP/3140 (1980).

Dickinson, D. and Henningson, B.: A field test with antisapstain chemicals on sawn pine timber stored and seasoned under different conditions, IRG/WP/3245 (1984).

Drysdale, J.A.: Laboratory evaluation of potential antisapstain treatments for Pinus radiata, IRG/WP/3238 (1983).

Drysdale, J.A. and Preston, A.F.: Laboratory screening trials with chemicals for the protection of green timber against fungi, New Zealand Forestry Sci. 12(3), 457-466 (1982).

Greaves, H.: Wood preservation research in Australia: (In): Joint Symposium Wood Preservation Research from around the World, Int. Res. Group American and Wood Preservers' Association AWPAA Annual Meeting, Nashville, Tenn. (1980).

Hansen, J.: IPBC—a new fungicide for wood protection, IRG/WP/3295 (1984).

Hedley, M.E. and Armstrong, W.: Copper-chrome-arsenate preservative effectiveness in relation to wood density, Material und Organismen 10(1), 67-80 (1975).

Hedley, M.E., Preston, A.F., Cross, D.J. and Butcher, J.A.: Screening of selected agricultural and industrial chemicals as wood preservatives, Int. Biodeter. Bull. 15(1), 89-18 (1979).

Hedley, M.E., Tsunoda, K. and Nishimoto, K.: Evaluation of alkylammonium compounds for use as low toxicity wood preservatives in Japan, Wood Research No. 68, 37-46 (1982).

Kumar, S. and Agarawal, S.C.: Biological degradation resistance of wood acetylated with thioacetic acid, IRG/WP/3223(1983).

Nicholas, D.D.: Multidisciplinary approach to the development of new wood preservatives, FPJ 31(9), 28-33(1981).

Nicholas, D.D. and Preston, A.F.: Evaluation of alkylammonium compounds as wood preservatives, Proc. AWWA Annual Meeting, Nashville, Tenn. 76, 13-21(1980).

Nicholas, D.D., Preston, A.F., Greenley, D.E. and Parkins, S.: Evaluation of a substitute isothiazolone as a potential preservative, IRG/WP/3306(1984).

Orsler, R.J. and Stone, M.W.S.: The performance of permethrin in wood preservation, IRG/WP/3288(1984).

Preston, A.F. and Nicholas, D.D.: Efficacy of a series of alkylammonium compounds against wood decay and termites, Wood and Fiber 14(1), 37-42(1982).

Reed, S.J. and Berry, R.W.: An evaluation of the synthetic pyrethroid cypermethrin in organic solvent and emulsion formulations, IRG/WP/3290(1984).

Rowell, R.M.: Chemical modification of wood: advantages and disadvantages, Proc. AWWA Annual Meeting 71, 14-51(1975).

Rowell, R.M., Hart, S.V. and Esenther, G.R.: Resistance of alkylene-oxide-modified southern pine to attack by subterranean termites, Wood Science 11(4), 271-274(1979).

Ruddick, J.N.R.: Calculation of performance index of Bardac 22 (an alkylammonium compound) evaluated in field stake test, IRG/WP/3206(1982).

Schmidt, E.L.: Effects of a formaldehyde and sulfur dioxide treatment on decay and mechanical properties of a pine waferboard, IRG/WP/3242(1983).

Stevens, M.: Preliminary results of the treatment of wood with chlorosilanes, IRG/WP/3172(1981).

Stevens, M.: Restrictions on the use of chlorosilanes as potential wood preservatives, IRG/WP/3345(1985).

Sundman, C.E.: Tests with ammoniacal copper and alkylammonium compounds as wood preservatives, IRG/WP/3299(1984).

Tsunoda, K. and Nishimoto, K.: Fungicidal and termiticidal effectiveness of alkylammonium compounds, IRG/WP/3232(1983).

Tsunoda, K. and Nishimoto, K.: Laboratory evaluation of organophosphates as termiticides, IRG/WP/3330(1985).

Vihavainen, T., Piispanen, K. and Mansikkamaki, P.:Treatment of wood with formaldehyde. Acid catalysis of the reaction between formaldehyde and wood, IRG/WP/3246(1980).

Vinden, P.:Options for accelerated boron treatment-a practical view of possibilities, IRG/WP/3329(1985).

Williams, R.A., Eaton, R.H. and Lewis, D.A.:Observations on the penetration of preservatives into green timber, IRG/WP/3335(1985).

Wood, M.W., Kelso, Jr. W.C., Barnes, H.M. and Parikh, S.:Effects of the MSU process and high preservative retentions on southern pine treated with CCA-Type C, Proc. AWPA Annual Meeting 79,22-37(1980).

(1985.11.29受理)