

최 종
연구보고서

국산 침엽수를 이용한 고품질 · 고수율
제재목 및 원주가공재 생산기술 개발

Development of manufacturing technologies of
high yield and value-added domestic softwood
sawn products and round logs

연구기관
고려대학교

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “국산 침엽수를 이용한 고품질·고수율 제재목 및 원주가공재 생산기술 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2003년 7월 30일

주관연구기관명: 고려대학교

총괄연구책임자: 김 규 혁

세부연구책임자: 이 우 균

세부연구책임자: 김 진 성

요 약 문

I. 제목

국산 침엽수를 이용한 고품질·고수율 제재목 및 원주가공재 생산기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

국산 침엽수를 이용한 고품질·고수율 제재목 및 원주가공재 생산기술 개발을 위한 본 연구의 목적을 세부과제 별로 다음과 같이 간략하게 기술할 수 있다.

제 1 세부과제(목제품의 고품질 및 고부가화 기술 개발)는 ¹⁾제재목의 종합적인 변색방지 및 변색제거 기술, ²⁾조경시설재용 원주가공재의 대형 할렬 최소화 기술, ³⁾칼라 방부처리재 생산기술을 개발하고자 수행되었다. 제 2 세부과제(제재목 생산관리 시스템 개발)는 ¹⁾원목 조재 및 관리시스템, ²⁾원목선별 및 제재단위시스템, ³⁾제재목 등급결정 및 관리시스템, ⁴⁾통합 제재목 생산관리시스템을 개발하고자 수행되었다. 제 3 세부과제(기술개발의 경제성 분석)는 제 1 및 제 2 세부과제를 통해 개발된 기술의 경제성 분석을 수행하여 개발된 기술의 수익성과 산업체 이전에 따른 경제효과를 분석하였다.

2. 연구개발의 필요성

가. 기술적 측면

현재 국산 침엽수 원목은 주로 건축·토목용 및 가구용 제재목과 조경시설재용 원주가공재 생산에 이용되고 있다. 산림조합 중앙회의 임산물 종합유통센터나 각 지역 산림조합의 목재집하장 등에서 생산되는 이들 1차 가공제품들은 품질이 그리 우수하지 못하면서도 가격이 비싸기 때문에 국내 시장에서 이들 제품의 시장

경쟁력이 크게 떨어지고 있는 실정이다. 국산재 이용을 활성화하여 국내 임업을 중흥하기 위해서는 이와 같은 국산 원목으로부터 생산된 제재목이나 원주가공재의 낮은 시장경쟁력을 반드시 개선하여야 한다. 이를 위해서는 두 가지 방법을 생각할 수 있는데, 하나는 이들 제품의 가격경쟁력을 제고하는 방법이다. 원료인 국산 원목 자체의 가격이 동급·동질의 수입 원목보다 비싸기 때문에 발생하는 이러한 문제는 현재의 국산 원목의 고비용 생산 및 유통체계를 개선함에 의해 해결할 수 있으리라 본다. 다른 하나는 제품의 품질경쟁력 면에서 우위를 확보하는 방법인데, 이는 현재 우리가 보유하고 기술력으로 얼마든지 해결할 수 있다고 본다. 국산 원목의 생산 및 유통체계 개선을 통한 가격경쟁력의 제고 문제는 산림청 임업연구원의 그 동안 연구에 의해 어느 정도 해결되었지만, 제재목과 원주가공재의 고품질화에 의한 부가가치 상승문제는 아직까지 해결되지 못한 상태이다.

현재 국산 제재목의 품질상 문제가 되는 점은 생물학적 변색에 의한 제품가치의 하락을 들 수 있다. 따라서 고품질의 제재목 생산을 위한 종합적인 생물학적 변색의 방제기술과 원목의 저장중에 기 발생되어 제재목에 나타나는 변색의 제거 기술 개발은 국산 제재목의 품질제고 측면에서 매우 중요하다고 할 수 있다. 국산 제재목의 또 다른 문제점으로 들 수 있는 생산과정의 고비용을 해결하기 위해서는 제재수율을 높이는 방법과 제재과정의 합리화를 통한 비용절감형 제재목 생산기술이 개발되어야 할 것이다.

원주가공재의 시장경쟁력을 높이는 방법으로는 저할렬 방부처리 원주가공재를 생산하여 판매하는 방법을 생각할 수 있다. 방부처리에 의해 내구연한을 최대한으로 연장하여 원주가공재의 부가가치를 높여야 하고, 또한 제품의 출하시 표면에 대형 할렬이 없어야 할 뿐만 아니라 현장 시설후 사용중에 대형 표면할렬의 발생이 없어야 한다. 국산 원주가공재의 방부처리에 관한 연구는 그 동안 본 연구팀의 총괄 연구책임자에 의해 기 수행되어 주요 수종별로 가압 방부처리 스케줄이 제시되어 있다. 그러나 원주가공재의 방부처리전 전건조시와 방부처리후 재건조시 대형 표면할렬의 최소화에 대한 연구가 국내에서는 전혀 이루어지지 않았다. 기계적 전처리와 발수제 주입에 의한 이러한 대형 할렬의 발생 최소화 기술

개발 역시 원주가공재의 고품질·고부가화를 위해서는 반드시 필요하다고 할 수 있다. 그리고 저할랄 방부처리 원주가공재의 부가가치를 보다 향상시킬 수 있는 방법이 원래 수종의 재색과 거의 동일한 색을 보유하는 칼라 방부처리재를 생산하여 판매하는 것인데, 그 동안 이에 대한 연구가 전혀 이루어지지 않았으나 현 시점에서는 이에 대한 연구의 필요성이 매우 높다고 할 수 있다.

나. 경제·산업적 측면

환경친화적이고 재생가능한 자원인 목재는 우리 생활과 밀접한 관련이 있는 건축 및 토목산업, 가구산업, 제지산업 등의 주원료로서 그 소비가 계속 증가하고 있다. 그러나 세계적으로 대두되고 있는 환경문제와 관련하여 목재생산 및 무역에 각종 규제가 가해지는 관계로 앞으로 점차 외국으로부터 산업용 목재를 확보하는데 여러 가지 어려움이 따를 것으로 예상된다. 따라서 앞으로는 국내 산림으로부터 내수용 목재를 안정적으로 공급받을 수 있는 생산체계를 마련하여 목재자급률을 높여야 할 것이다.

최근 국내 목재시장에서 국산재가 여러 측면에서 외면당하고 있는 실정이다. 국산재가 안고 있는 여러 가지 문제점, 즉 고비용 생산 및 유통체계, 저품질 생산, 취약한 시장 교섭력 등이 국산재의 시장경쟁력을 약화시키고 있고, 이에 따라 국산재를 원료로 하는 목재관련 산업 및 목재 생산업은 원자재나 거래처 확보 면에서 많은 어려움을 겪고 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위한 연구를 통해 국산재 이용을 활성화시킴과 동시에 목재산업의 산업 경쟁력 및 국내 산림자원의 생산성을 제고시켜야 미래의 안정적 목재공급을 보장받을 수 있을 것이다.

임목 축적량중 가장 많은 양을 차지하면서도 그 이용도가 높지 않은 침엽수 원목을 이용한 고품질·고부가 제재목 및 원주가공재의 생산기술이 개발되면 국내 산림 부존자원의 효율적 이용과 국산재의 부가가치 증대를 통한 임업 종사자의 소득증대에 크게 기여할 것으로 기대된다. 또한, 국산재 이용의 활성화로 발생하는 수입 대체효과에 따른 외화절약에도 일익을 담당할 수 있을 것이다.

본 연구를 통해 개발된 기술의 관련 산업체 이전은 국산재 가공업체의 활성화를 꾀할 수 있으며, 또한 개발기술을 수입 원목에도 적용할 수 있는 관계로 국내 전체 목재 관련산업의 활성화를 위해서도 본 연구의 의미는 크다고 할 수 있다.

다. 사회·문화적 측면

국내 목재 수요의 90% 이상을 수입에 의존하는 국내 목재업계는 1992년 UN 환경회의이후 원목 수출국들의 벌채량 감소로 인한 원목가격의 급등과 원목 상태로의 수출 규제 등으로 원료 확보문제에 많은 어려움을 겪고 있다. 따라서 국내 목재가공 업계에도 이러한 상황에 적절하게 대처할 수 있는 많은 변화가 요구되는데, 이를 위해서는 우리나라의 목재산업도 국산 원목을 이용한 제품생산 기술 개발에 적극적으로 임해야 할 것이다. 기술개발이 적시에 되지 못할 경우에는 외국기술에 대한 투자 의존도가 높아지기 때문에 수입 목제품과 경쟁력이 약해질 뿐만 아니라 목제품의 수요가 급증하고 있는 현실을 고려할 때 완제품 수입에 따른 외화 낭비와 국산재의 산림내 방치로 인한 국내 임업의 사양화는 명약관화하다.

따라서 현시점에서 국산 침엽수재 원목을 이용한 고품질·고수율 제재목 및 원주가공재 생산기술의 개발은 원목의 수입량을 감소시켜 대외적으로는 우리가 지구환경보호와 관련된 산림보전에 적극 동참함을 알리는 기회를 제공할 수 있을 것이다. 그리고 이러한 기술의 개발은 국가적 차원에서는 고부가가치의 창출과 더불어 기술축적으로 인한 국가기술력의 대외 경쟁력에도 이바지하게 되리라 본다. 마지막으로 본 연구과제의 기술개발로 관련 산업체의 고용증대와 임업인들의 소득증대를 통한 산촌경제 활성화 등, 사회·문화적인 측면에서 얻을 수 있는 여러 가지 간접효과도 크게 기대된다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 제 1 세부과제: 목제품의 고품질 및 고부가화 기술 개발

국내에서 생산하고 있는 목제품은 크게 1차 가공제품인 제재목, 조정시설재용 원주가공재, 통나무집용 원목, 소형 제재목을 측면 접착한 집성판과 목질 판상제품(합판, 파티클보드, 섬유판)으로 대별된다. 국내의 판상제품 생산기술은 목재산업 선진국에 비하여 전혀 떨어지지 않을 만큼 발전되어 있다. 그러나 1차 가공제품은 그 동안 주로 저급용으로 사용된 관계로 이들의 고품질화와 고부가화에 대한 연구는 건조결합의 최소화와 관련된 연구를 제외하고는 거의 수행되지 않았다.

최근 가구부재와 내장재 용도로 제재목 소비량의 증가와 더불어 제재목의 미적 가치가 중요시되면서 변색예방에 대한 관심이 국내에서도 크게 고조되고 있다. 제재목의 품질은 건조중 발생하는 건조결합의 정도와 생물학적 변색 여부에 따라 결정된다. 제재목의 경우 건조기술의 발달로 건조결합에 대한 문제는 별로 없으나 변색에 의한 품질 저하는 매우 심각할 정도이다. 제재목의 고품질화를 위해서 이러한 변색은 반드시 예방되어야 하고, 또한 불가피한 사정 때문에 발생한 변색을 제거하여 목재의 아름다운 자연 재색을 복원시킬 수 있는 변색제거 기술의 개발이 시급한 실정이다. 특히, 최근에 목재의 문양과 색상을 그대로 유지시킬 수 있는 투명도료의 사용 증가와 더불어 이러한 변색예방 및 제거기술은 더욱 중요시되고 있다. 본 연구에서는 주요 수종별로 변색원인균을 분리·동정한 후, 이들에 의한 변색을 예방할 수 있는 적정 방미제(anti-stain chemicals)를 선정·제시하였다. 그리고 제재목에 기 발생된 변색을 표백기술로 제거하여 수종 고유의 원래 재색과 유사하게 회복시킬 수 있는 변색제거 기술을 개발하였다.

주로 방부처리후 조정시설재로 사용되는 원주가공재 표면에 발생하는 대형 할렬은 이들 제품의 품질을 저하시켜 상품가치를 크게 떨어뜨리는데, 이들 제품의 고품질화를 위해서 이러한 대형 할렬의 발생을 최소화할 수 있는 방법의 개발이 시급하다고 본다. 원주가공재의 표면에 발생하는 할렬의 최소화는 원주가공후 생

재 상태에서 적용되는 배합법 등의 다양한 기계적 전처리나 방부처리시 수용성 발수제를 방부제에 혼합처리하는 방법에 의해 가능하다고 보고, 본 연구에서 그 가능성을 조사하여 저할랄 방부처리 원주가공재의 생산기술을 개발하였다.

조경시설재용 원주가공재는 토양과 직접 접촉하거나 강우등 수분과 접촉하는 장소에 사용하기 때문에 반드시 방부처리를 실시하여야 한다. 원주가공재는 단순 방부처리 그 자체로도 내구성이 크게 증가되기 때문에 부가가치가 어느 정도 상승하지만, 방부처리재의 고부가화 방안으로 본 연구에서는 칼라 방부처리 원주가공재 생산기술을 개발하였다. 칼라 방부처리재(colored preservative-treated wood)는 처리재의 색상이 원래 수종의 색상과 유사한 처리재 또는 원하는 색상을 보유하는 처리재인데, 이의 생산은 적절한 안료나 염료를 방부제와 혼합·처리함에 의해 가능할 것이다.

2. 제 2 세부과제: 제재목 생산관리 시스템 개발

목재수요의 대부분을 수입에 의존하고 있는 상황에서 국산 목재시장을 활성화시키기 위해서는 국산재의 품질 및 가격경쟁력의 제고가 수반되어야 한다. 국산 제재목의 가격경쟁력을 제고시킬 수 있는 방안으로 크게 생산비용절감과 고부가가치화에 의한 선호도 제고를 들 수 있다.

생산비용 절감은 제재목 생산 및 판매에 수반되는 각종 자료관리의 전산화를 통해 제재공정에 수반되는 각종 의사결정의 효율성 제고를 통해 이루어 질 수 있다. 제재공정에서의 수율 제고 또한 생산비 절감의 중요한 요소로 볼 수 있다. 현재, 단일 등급으로의 판매보다는 생산 제재목을 등급화하여 차별화된 가격 및 용도를 채택함으로써 국산 제재목의 선호도 및 판매량제고를 기대할 수 있을 것이다.

이에 본 연구는 다양한 전산처리 및 화상처리 기술을 적용하여 제재목 생산과정에 수반되는 각종 자료관리 및 분석을 전산처리하는 다양한 시스템을 구축하고, 이를 이용하여 제재목 생산공정에 수반되는 다양한 의사결정을 효율적으로 수행할 수 있는 방안을 제시하고자 수행하였다. 이를 통해 궁극적으로는 제재수

을 제고 및 제재목 등급화에 의해 국산 제재목의 가격 및 품질 경쟁력을 제고시킬 수 있는 방안을 제시코자 하였다.

이러한 목표를 달성하기 위해 본 연구에서는 산지에서 벌채된 원목의 조재로부터 제재공정, 생산된 제재목 관리까지의 전 과정을 통합한 제재목 생산관리시스템을 구축하였다. 1차년도에는 벌채목에 대한 간곡선을 이용하여 조재수율의 최대화를 달성할 수 있는 원목조재시스템(optimal log making system), 산림조합 중앙회의 입산물종합유통센터로 운송된 원목의 자료를 전산관리하는 원목관리시스템(log inventory system)을 구축하였다. 2차년도에는 주문 및 수요규격에 적합한 제재목을 생산하기 위하여 투입되어야 할 최적의 원목규격 및 등급을 자동으로 선별하는 원목선별시스템(log input system), 현재 원목재고로 생산할 수 있는 제재목의 잠재 생산량을 추정하여 제재목 생산의 의사결정에 활용할 수 있는 제재단위시스템(sawing unit system)을 구축하였다. 3차년도에는 생산된 제재목의 등급을 자동으로 결정하고, 전송된 제재목 자료를 전산관리하는 제재목 등급결정 및 관리시스템(lumber grading and inventory system)을 구축하였다. 이상의 시스템을 통합적으로 관리하는 제재목 생산관리 시스템(lumber production process system)을 최종적으로 구축하였다.

3. 제 3 세부과제: 기술개발의 경제성 분석

제 1 세부과제 및 제 2 세부과제를 통해 개발된 기술의 경제성 분석을 수행하여 개발된 기술의 수익성과 산업체 이전에 따른 경제효과를 분석하였다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 제 1 세부과제: 목제품의 고품질 및 고부가화 기술 개발

국산 소나무와 잣나무 원목 및 제재목의 생물학적 변색을 일으키는 다수의 변색원인균(표면오염균과 변재변색균)을 분리·동정하였다. 앞으로 이 균들은 연구책임자의 목재변색 관련 연구들의 매우 중요한 자료가 될 것이며 또한 요청에 의해 국내의 관련 연구자들에게 무상으로 분양할 예정이다. 참고로 현재까지 산림청 임업연구원 화학미생물과(*Trichoderma* 속)와 국민대학교(Ophiostomatoid 균)에 연구용으로 분양하였다.

소나무 및 잣나무 제재목의 변색방제를 위해 사용 가능한 방미제와 이들의 적정 처리농도를 실제 야외폭로 시험을 통해 제시하였다. 참고로 경제성 분석 결과, 본 연구를 통해 얻어진 적정 처리농도와 방미제 가격에 의해 산출된 방미처리 비용이 변색에 의한 제재목 가격 하락 폭보다 적어 방미처리를 통한 무변색 제재목 생산이 훨씬 경제적임을 알 수 있었다. 현재 대부분의 국산 소나무 및 잣나무 제재목을 생산하는 지역 산림조합의 목재집하장이나 개인 제재소에서는 변색의 심각성(소비자들이 변색목재의 구매를 기피하여 원래 용도가 아닌 저급의 타 용도로 염가 판매)은 인지하면서도 처리용 방미제의 가격과 관련된 생산비 증가 문제 또는 방미제 선정과 방미처리 방법에 대한 무지로 변색발생에 대하여 속수무책인 실정이다. 따라서 앞으로 본 연구의 결과를 국산재 제재소뿐만 아니라 수입목재, 특히 변색에 예민한 라디에타소나무 제재소에 적극 홍보하여 고품질 및 고부가 제재목을 생산할 수 있도록 홍보할 것이며, 업체의 요청에 따라 현장 기술지도도 병행할 예정이다.

기존의 염소계 표백제와 달리 환경 친화적이고 인체 위해성이 전혀 없는 과산화수를 표백제로 이용한 변색 소나무 및 잣나무의 변색제거 기술을 개발하였고, 표백조건(표백제의 농도, 표백온도, 표백시간)이 변색 제거에 미치는 영향을 반응표면분석법(response surface methodology) 중의 하나인 중심합성계획법(central composite design)에 의거하여 조사하여 최적의 표백조건을 결정·제시하였다. 참

고로 경제성 분석 결과, 본 연구를 통해 얻어진 표백처리 비용이 변색에 의한 제재목 가격 하락 폭보다 적어 표백처리를 통한 변색제거는 경제적임을 알 수 있었다. 현재 대부분의 국산 소나무 및 잣나무 제재목을 생산하는 지역 산림조합의 목재집하장이나 개인 제재소에서 방미처리를 실시하지 않는 관계로 덩고 습한 여름철에 대량의 목재가 변색되면서 경제적 손실을 입히고 있는데, 처리용 표백제의 가격과 관련된 생산비 증가 문제 또는 표백제 선정과 표백처리 방법에 대한 무지로 변색제거 처리를 거의 실시하지 않고 있는 실정이다. 따라서 앞으로 본 연구의 결과를 국산재 제재소뿐만 아니라 수입목재, 특히 변색에 예민한 라디에 타소나무 제재소에 적극 홍보하여 고품질 및 고부가 제재목을 생산할 수 있도록 홍보할 것이며, 업체의 요청에 따라 현장 기술지도도 병행할 예정이다. 단순 표백처리에 의해 변색목재의 재색을 원래 재색으로 완전 회복하는 것은 실제적으로 불가능하나 유색 오일 스테인을 이용하여 착색을 하면 재색을 거의 완벽하게 회복시킬 수 있음을 연구기간중 확인하였는데, 추후 이에 대한 보다 자세한 연구를 실시할 예정이다.

방부처리시 방부제에 수용성 발수제를 혼합 처리함에 의해 방부처리 원주가공재 표면에 발생하는 할렬을 양과 질, 두가지 측면에서 효과적으로 감소시킬 수 있는 방법을 개발하였다. 그리고 혼합된 발수제가 방부처리 목재의 방부효능, 정착특성, 용탈특성을 부정적으로 영향하지 않았다. 현재 발수제가 혼합된 CCA로 처리된 원주가공재가 현재 1년째 야외에 폭로되어 폭로기간의 경과에 따른 새로운 할렬의 발생 또는 기 발생된 할렬의 악화 여부를 지속적으로 조사하고 있는데, 폭로는 24개월간 지속될 예정이다. 현재 본 연구에 사용된 수용성 발수제(Ultrawood)를 수입할 예정인 국내 모 화공약품 업체와 몇몇 국산재를 비롯하여 수입재를 처리하는 가압 방부처리 업체가 본 기술에 대한 관심을 표명하고 있는데, 이들의 요구가 있으면 관련 기술을 이양할 예정이다.

방부처리시 방부제에 수용성 염료를 일정량 혼합하여 원하는 재색의 칼라 방부처리재를 생산할 수 있는 기술을 개발하였다. 원하는 재색은 사용 염료의 종류와 염료의 혼합농도에 의해 조절할 수 있었지만 실험실 실험과 야외폭로시 염료 성

분이 소량 용탈되면서 조금 탈색되는 문제점이 발생하였다. 본 연구에서는 가압 처리후 처리재를 염료 고착제 수용액에 침지하는 방법을 사용하였는데, 앞으로 처리목재내 염료 고착에 대한 추후 연구가 일부 필요하다고 판단된다. 개발된 기술은 조만간 특허를 출원할 예정이며, 현재 몇몇 국산재를 비롯하여 수입재를 처리하는 가압 방부처리 업체가 본 기술에 대한 관심을 표명하고 있는데, 이들의 요구가 있으면 관련 기술을 이양할 예정이다.

2. 제 2 세부과제: 제재목 생산관리 시스템 개발

본 연구에서는 국산 목재시장의 활성화 방안의 하나로 국내산 목재의 가격 경쟁력을 높이기 위한 조재 및 제재공정에서의 수율제고방안, 업무효율성 증대를 위한 원목 및 제재목관리의 전산화, 품질경쟁력을 높이기 위한 제재목의 등급결정방법을 등을 제시하였다.

우선 원목의 별채단계에서부터 발생하는 재적손실을 줄이기 위해 원목조재시스템에서는 수율최대화를 위한 조재단위가 추정되도록 하였다. 이와 같이 산지에서 별채작업이 이루어지기 전에 최적의 조재단위가 결정됨으로써 부적절한 조재단위의 적용으로 인한 조재수율의 감소를 미연에 방지할 수 있게 되었다.

원목의 합리적 관리를 위하여 원목재고자료의 입력, 검색, 수정 및 갱신, 출력 등이 가능한 원목관리시스템을 개발하여 원목재고 파악 및 관리의 효율성을 높일 수 있도록 하였다.

제재공정의 효율성 제고를 위한 방안으로 원목선별 시스템과 제재단위 시스템을 개발하였다. 원목선별시스템에서는 생산하고자 하는 제재목의 규격을 입력하면 수율을 최대로 할 수 있는 가장 적당한 규격의 원목을 선별할 수 있도록 하였다. 제재단위시스템에서는 일정규격의 원목에 대해 초살도와 휨 정도를 고려하여 가능한 여러 가지의 제재규격이 제시되도록 하였다.

제재목에 대한 부가가치를 높이기 위한 방안으로 제재목의 등급결정 시스템을 개발하였다. 제재목 등급결정시스템 연구부분에서는 최근 다양한 산업분야에서 활용되고 있는 화상처리기술을 적용하였으며, 제재목 재면화상의 화소값 분석을

통해 옹이, 변색 등의 제재목 결함을 계량적으로 파악할 수 있는 방법을 개발하였다. 이와 같이 계량화된 결함정도를 근거로 제재목의 등급을 결정할 수 있다. 또한, 제재목의 수종, 규격, 등급 등이 제재목관리시스템으로 자동 전송 및 저장되어 제재목재고 관리가 전산으로 이루어 질 수 있도록 하였다.

이상의 시스템들을 하부모듈로 통합하는 제재목생산관리시스템을 최종적으로 구축하였다. 본 연구에서 개발된 제재목생산관리시스템은 벌채 - 조재 - 원목관리 - 제재공정 - 등급결정 - 제재목관리 등의 국산 제재목의 전 생산 과정에서 국산제재목의 가격 및 품질 경쟁력을 높이기 위해 활용될 수 있다.

조재 및 제재공정에서는 본 시스템을 활용하여 기본적으로 수율제고를 통한 비용절감을 효과를 기대할 수 있다. 또한, 제재공정에서는 제재관련 의사결정을 합리적으로 수행할 수 있어 업무효율성 증대에 의한 비용절감의 효과도 기대할 수 있다. 등급별로 차별화된 가격정책을 통해 국산제재목의 판매다양화를 꾀하고자 할 때 등급결정시스템을 활용하여 제재목의 등급을 자동으로 구분할 수 있다. 원목 및 제재목관리의 업무효율성 증대를 위해서는 원목 및 제재목관리시스템을 활용할 수 있다. 이상의 모든 기능이 통합된 제재목생산관리시스템은 임산물 유통센터, 목재집하장, 원목 및 제재목 생산업체 등에서 활용될 수 있다. 또한, 원목조재를 위한 간곡선 모델, 제재목생산을 위한 원목선별 및 제재단위시스템, 등급결정 시스템 등에 활용된 각종 전산처리 알고리즘은 원목 및 제재목 산업분야에 필요한 다양한 활용시스템 구축에 응용모듈로 이용될 수 있다.

Summary

This project was carried out to develop manufacturing technologies of high yield and value-added domestic softwood sawn products and round logs.

In the chapter of development of manufacturing technologies of high quality and value-added wood products, the research was partitioned into a series of substudies: (1) prevention of fungal discoloration on sawn products and removal of fungal stain from stained wood by bleaching; (2) reduction of large surface checks in CCA-treated round logs for landscape architecture; and (3) manufacture of colored CCA-treated wood products.

Before establishing integrated control strategies of fungal discoloration, more complete knowledge about causal organisms is needed. As a first step, we initiated a through survey of fungi colonizing commercially important domestic softwood (*Pinus densiflora* and *Pinus koraiensis*) logs and lumber. In summer 2000, fungi were isolated from logs and lumber of Japanese red pine and Korean pine, and identified based on their morphological characteristics. Mating tests and DNA sequence data were also employed to identify for Ophiostomatoid fungi, which are well known as strong sapstainers of softwood species. Various molds, black yeasts, dark molds, and Ophiostomatoid fungi were identified and stored for further uses. This result indicates that Japanese red pine and Korean pine sapwood are susceptible to colonization by a variety of fungal species. The type of stain-causing fungi and their isolating frequencies were so different between two pine species, particularly in case of Ophiostomatoid fungi. As a result, different control strategies could be established for different wood species because the efficacy of anti-stain chemicals can vary with fungal species.

The susceptibility of Japanese red pine and Korean pine sapwood to fungal attacks and the ability of selected fungicides to control colonization of sapstain and mold fungi on green Japanese red pine and Korean pine sapwood were evaluated. The ability of commercial fungicides to prevent fungal discoloration on pine sapwood was assessed using an accelerated 6-week test on small samples in the laboratory, and in field tests using bulk-piled boards exposed outdoors for 8 weeks during summer rainy season. Japanese red pine and Korean pine sapwood was highly susceptible to fungal staining, suggesting that prompt application of fungicides after sawing is essential for preventing fungal colonization. In both laboratory tests and field tests, six different fungicides provided various degrees of protection against fungal discoloration, suggesting that certain concentrations of topical fungicides can protect Japanese red pine Korean pine sapwood. Fungicide D, a formulation containing carbendazim and copper-8-hydroxyquinolate and fungicide F, a formulation containing 3-iodo-2-propynyl butyl carbamate for Japanese red pine boards, and fungicide C, a formulation containing ortho-phenylphenate, carbendazim, and 3-iodo-2-propynyl butyl carbamate and fungicide D for Korean pine boards provided excellent protection through the 8 weeks in field tests.

The feasibility of using bleaching treatments for removing fungal stain was evaluated on heavily stained Japanese red pine and Korean pine sapwood. The addition of sodium silicate and sodium hydroxide in the hydrogen peroxide solution as a buffer could remove fungal discoloration completely; however, the color of wood surface turned faint green after bleaching, thereby reducing the lightness of bleached samples. The results suggest that hydrogen peroxide bleaching could be a feasible method for removing fungal discoloration of stained pine sapwood, although further research is needed to solve the problem of color change after bleaching. The quadratic regression

models representing the improvement in lightness at various bleaching conditions (concentration of hydrogen peroxide, bleaching temperature, and bleaching time) were fitted using the central composite design, one of response surface methodologies (RSM). The coefficients of determination of fitted models were 0.94, regardless of wood species, meaning that the model is highly accurate to predict the improvement in lightness at various bleaching conditions. The fitted RSM models allowed multiple solutions with any desirable improvement in lightness. It indicates that the use of a RSM model may offer much flexibility in controlling bleaching variables for the practical uses.

Various kerfing (single, double, and quadruple kerfing) and center boring were applied to green, peeled, Japanese red pine posts. Posts were air-dried and assessed checks developed. Posts were then pressure treated with a chromated copper arsenate (CCA-C) preservative and exposed outdoors in a horizontal position. Checks in the treated posts were assessed after one year of outdoor exposure. Double and quadruple kerfing were effective in reducing the number and size of checks in untreated posts after air drying; however, no significant differences in reducing checking were observed between double and quadruple kerfing. Unexpectedly, center boring was ineffective in reducing checks after air drying, probably due to the small diameter of hole. All the physical treatments failed to reduce checking in the treated posts after one year outdoor weathering.

A field trial was established to assess the effect of water repellent additives on the checking of CCA-treated Japanese red pine posts exposed to outdoor weathering. After two months redrying and the additional four months weathering, the number and sizes of checks developed in CCA and CCA-WR treated posts were assessed. In addition, the effect of WR addition on the

fungus efficacy, and fixation and leaching characteristics of CCA-treated wood was evaluated. Posts treated with CCA-WR had fewer checks, which were significantly smaller in size than those in CCA-only treated posts after two months redrying and the additional four months outdoor exposure. Moreover, the effect of WR addition was more apparent when the higher concentration of the WR was mixed. The addition of WR did not show any negative effects on CCA treated posts, namely decay resistance, fixation and leaching characteristics. Long term data on the ability of CCA-WR treatment to reduce checking of treated posts is unavailable, and therefore periodic remeasurement of checking in the treated posts will be continued and reported later.

To develop the manufacturing technologies of colored preservative treated wood, selection of appropriate dyes used for an additive, fixation characteristics of dye components into treated wood, weathering resistance of colored preservative treated wood samples, and the effect of dye addition on the fungus efficacy, and fixation and leaching characteristics of treated wood were evaluated. Low temperature fixational reactive dye in procion family (プロシオン M-G dye was used in this study.) was selected as an adequate dye for manufacturing colored preservative treated wood and two phase method, which treated wood with preservative and dye is dipped into fixation solution after treatment, was considered as the best fixation method of dye components in treated wood. A field trial was conducted to assess the weathering resistance of Japanese red pine board samples treated with CCA including various concentrations of dye (0.1%, 0.3% and 0.5%). After exposed to the weather, surface color of colored CCA-treated wood was faded extremely in case of 0.1% and 0.3% concentration of dye by weathering, but color of treated wood with 0.5% concentration of dye was nearly unchanged until 4 months exposure. As a result, it is concluded that more than 0.5% concentration of

dye should be added for preparing colored CCA-treated wood. The addition of dye did not show any negative effects on CCA treated samples, namely decay resistance and fixation characteristics comparing CCA-only treated ones. However, high amount of arsenic leaching was observed from colored CCA-treated samples; therefore, future study should be needed for elucidate the reason for high arsenic leaching for safe uses of colored CCA-treated wood.

In the chapter of the development of lumber production process system, the research was partitioned into a series of substudies: (1) development of optimal log making and log inventory system; (2) development of log input and sawing unit system; (3) development of lumber grading and inventory system; and (4) development of integrated lumber production process system using the results of substudies (1), (2), and (3).

For the optimal log making system, the stem taper curve models for red pine, korean pine, and larch were first derived for different region. A possible length for log making can be estimated using the stem taper curve models. Optimal lengths of log making can be selected considering the possible lengths for logmaking which are estimated for given end diameters. For efficient management of log inventory, log inventory system was made so that input, query, modify and update, print of the log inventory data can be easily done at computer.

For the given width, thickness, and length for lumbering, log input system selects the suitable log size from the data in log inventory system. Considering the tapering and bending rate of the log, the sawing unit system presents various sawing units for a given log size. Inputting large and end diameter, length of log into the system makes it possible to get various sawing units for lumbering.

This lumber grading system was developed to automatize lumber panel grading. This system scans the lumber surface to find faults through image processing

techniques, which is usually used for various industrial areas. The system quantifies the lumber faults through analyzing the pixel values of lumber imagery, and grades the lumber quality automatically. The species, size, grade of lumber are automatically transferred and stored into the lumber inventory system, so that the lumber inventory can be effectively managed through the computer system.

The lumber production process system was designed to integrate and control all subsystems. Under the main system, each subsystems are interactively connected but separately operated with own windows. All systems, which are built with GUI(graphic user interface) for giving easier handling, are run under MS-Windows.

Contents

Chapter 1. Description of research project	21
Chapter 2. Current domestic and foreign status of research and development related to this project	30
Chapter 3. Development of manufacturing technologies of high quality and value-added wood products	34
Section 1. Intruduction	34
Section 2. Prevention of fungal discoloration on sawn products and removal of fungal stain from stained wood by bleaching	37
Section 3. Reduction of large surface checks in CCA-treated round logs for landscape architecture	115
Section 4. Manufacture of colored CCA-treated wood products	147
Chapter 4. Development of lumber production process system	180
Section 1. Intruduction	180
Section 2. Optimal log making and log inventory system	182
Section 3. Log input and sawing unit system	204
Section 4. Lumber grading and inventory system	221
Section 5. Integrated lumber production process system	242
Chapter 5. Economical efficiency evaluation of developed technologies	243
Chapter 6. Literature cited	279

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	21
제 2 장 국내외 기술개발 현황	30
제 3 장 목제품의 고품질 및 고부가화 기술 개발	34
제 1 절 서론	34
제 2 절 제재목의 종합적인 변색방제 및 변색제거 기술 개발	37
제 3 절 조경시설재용 원주가공재의 대형 할렬 최소화 기술 개발	115
제 4 절 칼라 방부처리재 생산기술 개발	147
제 4 장 제재목 생산관리 시스템 개발	180
제 1 절 서론	180
제 2 절 원목 조재 및 관리시스템 개발	182
제 3 절 원목선별 및 제재단위시스템 개발	204
제 4 절 제재목 등급결정 및 관리시스템 개발	221
제 5 절 통합 제재목 생산관리시스템 개발	242
제 5 장 개발 기술의 경제성 분석	243
제 6 장 인용문헌	279

여 백

제 1 장 연구개발과제의 개요

1. 제 1 세부과제: 목제품의 고품질 및 고부가화 기술 개발

가. 제재목의 종합적인 변색방제 및 변색제거 기술 개발

1) 제재목의 변색방제 기술 개발

변색원인균의 가해를 예방할 수 있는 시판 방미제의 적정 처리농도를 변색 소나무 및 잣나무 원목과 제재목에서 분리된 주요 변색원인균을 공시균으로 사용한 실험실 실험을 통해 결정하고, 방미제의 실제 방미효력을 검증하기 위하여 변색원인균의 가해가 가장 활발한 여름철에 실대 크기의 판재를 이용한 야외 폭로시험을 경북 봉화산림조합 목재집하장(소나무)과 경기 가평산림조합 목재집하장(잣나무)에서 실시하였다.

가) 소나무와 잣나무 원목 및 제재목으로부터 변색원인균의 분리 및 동정

벌채후 집하장에 저목중인 소나무 및 잣나무 원목과 제재 직후 및 제재후 1개월 경과된 소나무 및 잣나무 제재목에서 채취한 목편 또는 칩을 2% malt extract agar(MEA) 배지와 Ophiostomatoid fungi 분리를 위한 선택배지인 streptomycin/cycloheximide amended malt extract agar(SCMEA) 배지에 접종한 후 실온에서 계속적으로 계대배양을 반복하여 순수한 단일 균으로 분리하였다. 분리된 변색원인균 중 Ophiostomatoid 균을 제외한 모든 변색원인균은 형태학적 특징만을 이용하여 동정하였으나, 변재변색균중 심각한 변색을 야기하는 Ophiostomatoid 균은 우선 형태학적 방법을 통한 대략적인 동정과 RAPD-PCR 방법에 의한 그룹화 후, 교배시험법(mating test)과 DNA sequence data를 비교하는 분자생물학적 방법으로 최종 동정을 실시하였다. Ophiostomatoid 균의 동정을 위하여 단포자 분리를 실시하였다.

표면오염균의 경우, 소나무와 잣나무 원목 공히 *Trichoderma* 속 중 *T. longibrachiatum*, *T. pseudokoningii* 등이 가장 높은 분리빈도를 보였는데, 소수

의 분리빈도를 보인 *T. hamatum*(0.3%)의 경우는 소나무에서만 분리되었다. 제재목에서는 두 수종 모두 *T. viride*가 가장 높은 분리빈도를 보였다. Black yeast에 속하는 균 중 소나무 원목에서는 잣나무 원목에서 분리되지 않은 *Rhinochloidiella atrovirens*가 13.3%의 높은 분리빈도를 보인 반면에 잣나무 원목에서 분리된 *Phialophora* sp.와 *Rhinochloidiella cellaris*는 소나무 원목에서는 분리되지 않았다. 제재목에서는 *Hormonema dematioides*(1.2%)와 *Phialophora fastigiata*(0.4%)가 소나무 제재목에서만 분리되었고 비교적 높은 분리빈도의 *Cytospora* sp.(11.9%)는 잣나무 제재목에서만 분리되었다. 목재에 강력한 변재변색을 야기하는 Ophiostomatoid fungi의 경우, 두 수종 모두 *Leptographium* sp., *Ophiostoma badiilignum*, *Ophiostoma piceae* complex가 주요 변재변색균으로 확인되었다. 특히, 잣나무 원목에서 *Ophiostoma badiilignum*이 압도적으로 높은 분리빈도를 보인 반면에 잣나무 제재목에서는 *Leptographium* sp.가 보임으로써 두 균 모두 잣나무에서 주요 방제대상균이라 할 수 있다. 또한 소나무에서도 비록 *Ophiostoma badiilignum*과 *Leptographium* sp.의 분리빈도가 잣나무에서보다는 낮지만 비교적 높은 분리빈도를 보임으로써 이들 균들이 주요 방제대상균이라 할 수 있다. 현재 국내에 가장 많이 수입되고 있는 라디에타소나무 원목으로부터 *Leptographium* 불완전세대의 균 3종, *Leptographium procerum*, *Ophiostoma huntii*, *Ophiostoma synnemaradiata*를 분리한 적이 있는데, 소나무와 잣나무로부터 오로지 *Leptographium* sp.만 분리되는 것으로 보아 3종의 *Leptographium* 불완전 세대의 균들은 라디에타소나무의 원산지나 운송도중 미리 감염되어 도입된 것으로 본다. 이러한 균들이 언제 소나무 및 잣나무에 전염되어 얼마나 심한 변색을 야기할지는 예측할 수 없으므로 이에 대한 대책 마련도 시급한 실정이다. 목재내에서 깊은 변색을 야기하지 않는 Piceae complex group의 경우, *Ophiostoma piceae*와 *Ophiostoma floccosum*은 두 수종에서 모두 분리되었으나, *Pesotum fragrans*는 소나무 원목에서만 *Ophiostoma quercus*는 잣나무 원목에서만 분리되었다. 실제로 목재 내 깊은 변색을 야기하는 Ophiostomatoid 균들 소나무에 비하여 잣나무 원목 및 제재목에서 월등하게 높은 분리빈도를 보였다. 심지어

어 제재직후 분리된 균에서조차 Ophiostomatoid 균들의 분리빈도가 매우 높아 잣나무 변재변색의 심각성을 알 수 있었다.

이상의 내용에서 알 수 있듯이 소나무와 잣나무간에 주요 변색원인균의 종류와 분리빈도에 있어서 상당한 차이가 있음을 알 수 있었다. 특히 목재내 변재변색의 원인이 되는 Ophiostomatoid fungi의 분리빈도 차이가 크게 나타났다. 이는 변색원인균의 지리적인 분포 차이 및 영양원 차이에 따른 균의 수종 선호도 차이에서 비롯되었다고 사료된다. 그리고 실제 매개충(insect)에 의해 감염되는 것으로 알려진 균들의 경우 이와 같은 매개충의 수종 선호도 또한 간과할 수 없을 것이다. 본 연구에서 얻은 이러한 결과와 방미제 효력이 방제 대상 수종과 변색원인균의 조합에 따라 차이가 있다는 그간의 연구 결과들을 종합해 볼 때, 소나무와 잣나무에 대한 변색 방제전략이 상이하게 적용되어야 할 것으로 사료된다.

나) 제재목의 변색방제 기술 개발

소나무와 잣나무의 변재부로부터 분리된 변색원인균(변재변색균과 표면오염균)의 목재 변색능력과 변색원인균들에 의해 야기되는 변색의 방제를 위한 시판 방미제의 효력을 실험실 실험 및 야외 폭로시험을 통해 평가하였다. 변색원인균의 목재 변색능력 시험 결과, 소나무 및 잣나무는 균종에 따른 다소의 차이는 있었지만 균에 의한 변색에 매우 예민하여 반드시 제재 후 신속한 방미 처리가 필요하다고 판단되었다. 적정 방미제의 선정과 유효 처리농도 결정을 위해 6주간 실험실 실험과 8주간의 야외 폭로시험을 실시하여 방미제의 효력을 평가하였다. 실험실 규모의 방미제 효력검정 결과, Britewood XL과 Hylite extra가 낮은 처리농도에서도 소나무에 대한 매우 우수한 효과를 보였으며, 잣나무에서는 NP-1과 Britewood XL이 최소 처리농도에서도 매우 우수한 효력을 보였다. 나머지 방미제들도 처리대상 수종에 대하여 다양한 방미효력을 보였으나 Woodguard와 Britewood S가 각각 소나무와 잣나무에 대하여 각각 가장 낮은 방미효력을 나타내었다. 야외 폭로시험 결과, 소나무의 경우 Hylite extra와 Woodguard, 잣나무는 Hylite clear와 Hylite extra가 가장 우수한 방미효력을 나타내었다.

2) 변색제거 기술 개발

과산화수소에 활성제로 일정량의 규산나트륨과 수산화나트륨을 첨가한 표백제를 이용한 변색목재의 변색 제거시, 표백조건(표백제의 농도, 표백온도, 표백시간)이 변색 제거에 미치는 영향을 반응표면분석법(response surface methodology) 기법 중의 하나인 중심합성계획법(central composite design)에 의거하여 조사하여 최적의 표백조건을 결정·제시하였다. 표백에 의한 변색제거 정도는 표백이 주로 목재의 명도를 영향하는 점에 착안하여 표백 전후의 명도지수 차이(ΔL^*), 즉 표백에 의한 명도 개선정도에 의해 판정하였다.

수중에 관계없이 표백시간과 반응온도가 증가함에 따라 명도지수는 개선되는 경향을 보였으며, 과산화수소 4% 용액을 사용할 때 명도지수의 개선정도가 가장 좋은 경향을 보였다. 표백 전후의 명도지수의 차와 표백조건간의 관계식의 상관계수(R^2)는 수중에 상관없이 0.94를 보였기 때문에 도출된 아래 관계식을 이용하여 표백조건에 따른 표백정도를 예측하는 것은 문제가 없을 것으로 사료된다.

$$\text{소나무: } y = -10.54 + 4.16c + 0.055t + 0.54T - 0.48c^2 + 0.081tT \quad (R^2=0.94)$$

$$\text{잣나무: } y = -4.38 + 1.855c + 0.0005t - 0.64T - 0.2c^2 + 0.099tT \quad (R^2=0.94)$$

여기서: y = 표백 전후 명도지수 차, c = 표백제의 농도,
 t = 표백온도, T = 표백시간

나. 조경시설재용 방부처리 원주가공재의 대형 할렬 최소화 기술 개발

1) 기계적 전처리에 의한 대형 할렬 최소화 기술 개발

본 연구에서는 국내에서 주로 사용되는 single kerfing 외에 할렬 최소화 효과가 우수하면서 배할 목재의 외관상 문제를 어느 정도 해결해줄 수 있는 double kerfing과 quadruple kerfing, 그리고 할렬 최소화 효과는 의문시되나 목재의 외관상 상처가 전혀 보이지 않는 center boring의 적용 가능성을 타진하였다.

전처리 방법중 double 및 quadruple kerfing은 single kerfing에 비해서는 할렬 숫자와 할렬의 평균 길이를 제외한 할렬 크기(최대 폭과 깊이)의 감소 측면에서

방부처리된 전건조시 할렬 억제 효과가 우수하였으나 두 kerfing 방법 간에는 효과 차이가 없었다. Center boring은 예상과는 달리 double 및 quadruple kerfing과 비교할 때, 할렬 숫자 및 할렬 크기의 감소 효과가 없는 것으로 밝혀졌는데, 이는 center boring의 직경이 적은데 기인한다고 사료된다.

다양한 kerfing 방법과 center boring 방법을 적용하여 건조된 원주가공재를 CCA로 방부처리하여 12개월간 야외폭로시킨 결과, 엄청난 양의 할렬이 발생하여 할렬 숫자 및 할렬 크기의 측정 자체가 불가능하였다. 따라서 기계적 전처리 방법중 double 및 quadruple kerfing은 처리된 원주가공재의 전건조시 할렬 발생을 억제할 수 있으나 방부처리 후에는 그 효과가 전혀 없는 것으로 나타났다.

2) 발수제 혼합처리에 의한 할렬 최소화 기술 개발

방부처리시 방부제에 발수제를 혼합처리 함에 의해 방부처리 원주가공재의 현장 시설후 사용중에 표면에서 발생하는 표면할렬의 발생 억제효과를 평가하기 위하여 CCA와 발수제 혼합 수용액으로 가압처리된 소나무 원주가공재를 이용하여 야외폭로 시험을 수행하였다. 천연건조에 의한 2개월간의 재건조 직후와 그 이후의 4개월간의 야외폭로중 매 2개월마다 CCA 단독처리구와 CCA 및 발수제 혼합처리구에 발생된 표면할렬의 개수와 크기를 조사하여 발수제 혼합처리 효과를 평가하였다. 또한, 부가적으로 CCA와 발수제의 혼합처리가 처리재의 성능에 미치는 영향을 조사하기 위하여 방부효능시험, 정착 및 용탈특성 시험도 동시에 수행하였다.

방부처리시 CCA 수용액에 적량의 발수제를 혼합처리 함에 의해 방부처리 원주가공재의 발수효능을 증가시켜 재건조시와 현장시설후 사용중 발생하는 표면할렬을 양적 및 질적인 측면에서 효과적으로 억제할 수 있었다. 혼합된 발수제의 농도가 높을수록 발생하는 할렬 자체를 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 발생된 할렬의 크기(길이, 폭, 깊이)도 크게 감소시킬 수 있었다. CCA 단독처리 시편과 CCA와 발수제 혼합처리 시편간에 처리시편의 방부효능, CCA 유효성분의 처리재내 정착속도, 처리재로부터 CCA 성분의 용탈량에 큰 차이가 관찰되지 않았다. 따라

서 발수제 혼합처리가 처리재의 성질에 부정적인 영향을 미치지 않는다고 할 수 있다. 발수제의 표면할렬 발생억제 효과에 대한 장기간의 자료가 아직 확보되지 않은 관계로 앞으로 지속적으로 주기적인 할렬 조사를 실시하여 이에 대한 결과를 제시할 것이다.

다. 칼라 방부처리재 생산기술 개발

염료를 적량 혼합한 CCA 방부제(칼라 방부제)를 이용한 칼라 방부처리재 생산 기술을 개발하기 위하여 혼합용 염료의 선택, 처리후 염료의 처리재내 고착, 칼라 방부처리 시편의 기상열화 저항성, 염료 혼합처리가 처리재의 성능에 미치는 영향을 조사하였다.

저온 고착형 반응성 염료인 procion 계통의 염료가 칼라 방부제 사용에 적합한 염료로 선정되었으며, 처리후 염료성분의 처리재내 고착 방법은 처리재를 고착제 수용액에 일정시간 침지하는 방법이 적합하다고 판단되었다. 본 연구에 사용된 공시염료인 브론 M-G를 0.1, 0.3, 0.5% 혼합한 2% CCA로 처리한 소나무 시편을 야외 폭로한 결과, 염료 농도가 0.1%와 0.3%의 경우에는 기상열화에 의한 재색 변화가 심하게 야기되어 기존 재색이 유지되지 않으나 염료농도 0.5%로 처리된 시편의 재색은 육안적으로 대부분 기존 재색을 거의 유지하여 칼라 방부제 제조시 염료의 혼합농도가 적어도 0.5% 이상이 되어야 함을 알 수 있었다. CCA 단독처리 시편과 CCA와 염료 혼합처리 시편간에 처리시편의 방부효능, CCA 유효성분의 처리재내 정착속도에는 큰 차이가 관찰되지 않았다. 그러나 염료의 혼합에 따라 비소성분의 용탈량이 크게 증가하였는데, 앞으로 비소 용탈량 증가 원인과 해결 방안에 대한 추후 연구가 필요하다.

2. 제 2 세부과제: 제재목 생산관리 시스템 개발

목재수요의 대부분을 수입에 의존하고 있는 상황에서 국산 목재시장을 활성화시키기 위해서는 국산재의 품질 및 가격경쟁력의 제고가 수반되어야 한다. 국산 제재목의 가격경쟁력을 제고시킬 수 있는 방안으로 크게 생산비용절감과 고부가

가치화에 의한 선호도 제고를 들 수 있다.

생산비용절감은 제재목 생산 및 판매에 수반되는 각종 자료관리의 전산화를 통해 제재공정에 수반되는 각종 의사결정의 효율성 제고를 통해 이루어 질 수 있다. 제재공정에서의 수율 제고 또한 생산비 절감의 중요한 요소로 볼 수 있다. 현재, 단일 등급으로의 판매보다는 생산 제재목을 등급화 하여 차별화 된 가격 및 용도를 채택함으로써 국산 제재목의 선호도 및 판매량제고를 기대할 수 있을 것이다.

이에 본 연구는 다양한 전산처리 및 화상처리기술을 적용하여 제재목 생산과정에 수반되는 각종 자료관리 및 분석을 전산처리하는 다양한 시스템을 구축하고, 이를 이용하여 제재목 생산공정에 수반되는 다양한 의사결정을 효율적으로 수행할 수 있는 방안을 제시하고자 수행하였다. 이를 통해 궁극적으로는 제재수율 제고 및 제재목 등급화에 의해 국산 제재목의 가격 및 품질 경쟁력을 제고시킬 수 있는 방안을 제시코자 하였다.

이러한 목표를 달성하기 위해 본 연구에서는 산지에서 벌채된 원목의 조재로부터, 제재공정, 생산된 제재목 관리까지의 전 과정을 통합한 제재목생산관리 시스템을 구축하였다. 1차 년도에는 벌채목에 대한 간곡선을 이용하여 조재수율의 최대화를 달성할 수 있는 원목조재 시스템(optimal log making system), 임산물종합유통센터로 운송된 원목의 자료를 전산관리하는 원목관리시스템(log inventory system)을 구축하였다. 2차 년도에는 주문 및 수요규격에 적합한 제재목을 생산하기 위하여 투입되어야 할 최적의 원목규격 및 등급을 자동으로 선별하는 원목선별 시스템(log input system), 현재 원목재고로 생산할 수 있는 제재목의 잠재생산량을 추정하여 제재목 생산의 의사결정에 활용할 수 있는 제재단위 시스템(sawing unit system)을 구축하였다. 3차 년도에는 생산된 제재목의 등급을 자동으로 결정하고, 전송된 제재목 자료를 전산관리하는 제재목 등급결정 및 관리시스템(lumber grading and inventory system)을 구축하였다. 이상의 시스템을 통합적으로 관리하는 제재목 생산관리 시스템(lumber production process system)을 최종적으로 구축하였다.

가. 원목 조재 및 관리시스템

원목의 벌채단계에서부터 발생하는 재적손실을 줄이기 위해 원목조재시스템(optimal log making system)에서는 소나무, 잣나무, 낙엽송 등의 주요 수종에 대해 간곡선(stem taper curve)을 지역별로 유도하였으며, 이를 기초로 수율최대화를 위한 조재 길이가 추정되도록 하였다. 지역 및 수종별 간곡선 식이 마련됨으로써 원목의 조재단위 결정에 필요한 수간 부위별 직경추정 및 직경별 수간 높이의 추정이 가능하게 되었다. 따라서 조재될 원목의 말구직경에 해당하는 제재가능 길이를 추정하여 이를 기초로 최적의 조재단위를 결정할 수 있다. 이와 같이 산지에서 벌채작업이 이루어지기 전에 최적의 조재단위가 결정됨으로써 부적절한 조재단위의 적용으로 인한 조재수율의 감소를 미연에 방지할 수 있게 되었다.

또한, 원목의 합리적인 관리를 위하여 원목재고자료의 입력, 검색, 수정 및 갱신, 출력 등이 가능한 원목관리시스템(log inventory system)을 개발하여 원목재고의 파악 및 관리에 효율성을 높일 수 있도록 하였다.

나. 원목선별 및 제재단위시스템

원목선별시스템에서는 일정규격으로 주문 받은 제재목을 생산하는데 가장 적합한 원목을 선택할 수 있는 방법개발을 주목적으로 하였으며, 생산하고자 하는 제재목의 규격을 입력하면 수율을 최대로 할 수 있는 가장 적당한 규격의 원목을 선별할 수 있도록 하였다. 주문 받은 원목의 수종, 폭(W), 두께(T), 재장(L)을 원목선별시스템에 입력하면 높은 수율로 제재 가능한 최적의 원목을 검색할 수 있다.

제재단위시스템에서는 일정규격의 원목으로 최대의 수율을 낼 수 있는 최적의 제재단위를 결정할 수 있는 방법개발을 주목적으로 하였으며, 일정규격의 원목에 대해 초살도와 휨 정도를 고려하여 가능한 여러 가지의 제재규격이 제시되도록 하였다. 원목의 원구직경, 말구 직경, 재장을 입력하면 다양한 제재규격과 그에 따른 수율이 제시되어 최적의 제재방식을 선택할 수 있다.

다. 제재목 등급결정 및 관리시스템

제재목 등급결정시스템 연구부분에서는 제재목을 스캔하여 제재목의 화상자료를 생성하고 이를 근거로 제재목의 결함을 계량화하여 등급을 자동으로 결정할 수 있는 시스템을 구축하였다. 이를 위해 최근 다양한 산업분야에서 활용되고 있는 화상처리기술을 적용하였으며, 제재목 재면 화상의 화소값 분석을 통해 옹이, 변색 등의 제재목 결함을 계량적으로 파악할 수 있는 방법을 개발하였다. 이와 같은 계량화된 결함정도를 근거로 제재목의 등급을 결정할 수 있도록 하였다.

제재목의 수종, 규격, 등급 등이 자동으로 제재목관리 시스템으로 자동전송 및 저장되어 제재목재고 관리가 전산으로 이루어 질 수 있도록 하였다.

라. 통합 제재목 생산관리시스템

이상의 세부시스템들이 상호 연계되어 운영되도록 모든 세부시스템을 하부모듈로 통합하는 제재목 생산관리 시스템을 최종적으로 구축하였다. 모든 시스템은 PC Windows 환경에서 운영되도록 하였으며, 각 하부시스템은 통합시스템 환경 하에서 별도의 창(windows)으로 운영되도록 하였다. 또한, 사용자의 편의를 위해 그래픽지원의 사용자위주환경(graphic user interface)으로 시스템을 구축하였다.

3. 제 3 세부과제: 개발기술의 경제성 분석

제 1 세부과제 및 제 2 세부과제를 통해 개발된 기술의 경제성 분석을 수행하여 개발된 기술의 수익성과 산업체 이전에 따른 경제효과를 분석하였다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

그 동안 목제품의 고품질·고부가화를 위한 국내의 연구는 주로 건조결함을 최소화하여 고품질의 건조재 생산을 위한 연구에 주로 치중되어 왔다. 그러나 변색발생을 예방하거나 기 발생된 변색을 제거하여 제재목(가구부재나 내장재로 사용되는 제재목과 집성재 제조를 위한 집성소재용 소형 제재목)의 품질을 높이는 연구는 최근에 들어서야 조금씩 수행되고 있으나 이에 대한 국내 연구는 그 수준이 아직은 극히 초보단계에 머물고 있다. 김(1998)은 알킬암모늄계 화합물인 DDAC와 DBAC의 변색 및 표면오염균에 대한 방미효력 시험을, 그리고 이 등(1998)은 실험실에서 제조한 유화성 방미제인 YSB-WT, IPBC, Cu-naphthenate, Zn-naphthenate의 방미효력 시험을 수행하였다. 그러나 상기 연구들에 사용된 변색 원인균들이 국내에서 사용되는 목재로부터 분리된 균이 아닌 관계로 이들 연구결과의 현장 적용성에 의문이 제기된다고 할 수 있다. 따라서 국내 사용수종 목재로부터 변색 원인균의 분리와 사용수종에 적합한 방미제의 개발에 대한 체계적이고 종합적인 연구가 필요하다. 최근에 본 연구팀 총괄 연구책임자의 연구실에서 목재변색에 대한 체계적인 연구가 시작되고 있는데, 국내에 수입된 뉴질랜드산 라디에타소나무 원목을 가해하는 변색 원인균을 조사한 결과, 총 24속 47종의 변재변색균과 표면오염균을 분리·동정하였다(김과 김, 1999). 그리고 국내에는 현재 사용되고 있지 않으나 북미, 유럽, 대양주에서 많이 사용되는 방미제를 대상으로 한 은행나무 변색예방을 위한 적정 방미제와 그 처리농도에 대한 연구(Kim *et al.*, 1999)와 목재 변색의 생물학적 방제기작에 대한 연구(Kim and Morrell, 1998)가 수행되었다. 그리고 많은 목재업계, 특히 무늬목이나 무늬단판 생산업체에서 변색제거 기술 개발의 필요성을 크게 느끼고 있지만 국내에는 외국에서 수행된 연구결과가 소개되는 정도에 그치고 있다(공, 1992). 국산 수종의 재색이 외국 수종과 반드시 일치하지 않으므로 외국의 결과를 바로 국산 수종에 적용하는 것은 문제가 따르므로 반드시 국산 수종을 대상으로 한 변색제거 기술의 개발이 필요하다고 본다.

그리고 방부처리전 전건조와 방부처리후 재건조시 조경시설재용 원주가공재와 통나무집용 원목에 발생하는 대형 할렬의 예방 또는 최소화를 위한 기술개발과 관련된 연구는 현재까지 국내에서 전혀 수행된 바가 없다. 또한 칼라 방부처리재 개발도 전 세계적으로 볼 때도 새로운 연구로 이에 대한 연구는 국내는 물론 외국에서도 수행된 적이 없다.

지금까지의 국산목재 가공에 관한 많은 연구가 수행되었으나, 국산재를 이용한 제재공정의 합리화 및 수율 제고를 위한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 특히, 본 연구에서 대상으로 하는 원목 조제시스템, 원목 관리시스템, 원목 선별시스템, 제재 단위시스템, 등급결정 및 제재목 관리시스템, 경영분석 시스템, 제재목 생산관리 시스템 등과 같은 제재관련 시스템 개발연구는 전무한 상태이다.

북미, 유럽, 대양주의 국가에서는 변색의 중요성을 일찍 인식하여 변색과 관련된 많은 연구가 수행되었는데, 그 동안의 연구결과를 이용하여 지금은 변색에 의한 경제적 손실을 크게 줄이고 있다. 1930년대 중반부터 변색에 대한 연구가 시작된 서구의 경우 1940년 미국 농무부에서 발간된 변색관련 technical bulletin(Scheffer and Lindgren, 1940)은 지금도 이 분야의 bible과 같은 존재로서 아직까지도 이 보고서의 많은 내용이 현장에서 변색예방에 적용되고 있다. 지역과 수종별로 가해하는 균이 상이하므로 일단 국가와 지역별로 사용되는 주요 수종을 가해하는 변색 원인균의 동정은 끝난 상태인데, Kaarik(1980)은 그간의 연구들을 종합하여 온대지방에서 목재의 변색을 야기하는 균은 총 341종이며, 이중 29종은 표면오염균이라고 보고하였다. 방미제로는 처음에는 ethyl mercury phosphate와 sodium pentachlorophenate(Na-PCP)가 사용되었으나 이들 방미제 사용의 안전성 문제가 대두되면서 후자는 1960년대에 사용이 중지되었다. Na-PCP도 아직 많은 나라에서 사용하고 있지만 약제중에 포함된 다이옥신 때문에 점차 사용이 규제되고 있다. 80년대에 들어서면서 친환경적이면서 사용이 안전한 대체 방미제의 개발에 대한 연구들이 수행되면서 많은 Na-PCP 대체 방미제들이 개발되었으며, 현재도 꾸준히 새로운 대체 방미제의 개발이 지속되고 있다(Cserjesi, 1980; Drysdale and Prestone, 1982; Cassens and Eslyn, 1983;

Lewis *et al.*, 1985; Miller and Morrell, 1989, 1990; Miller *et al.*, 1990; Presnell and Nicholas, 1990; Williams and Lewis, 1991; Wakeling *et al.*, 1995; Freeman *et al.*, 1997; Nunes and Dickinson, 1997; Kim *et al.*, 1999). Hansen과 Morrell(1997)은 미국 서부지역의 침엽수 제재목의 변색방지에 이용되는 방미제에 대한 설문조사를 통해 NP-1[®], Britewood S[®], Timbercote 2000[®]이 주로 이용됨을 보고하였다. 참고로 본 사업팀의 사업팀장이 국제 목재보존연구회(International Research Group on Wood Preservation)에 가입된 회원국 36개국을 대상으로 설문 조사한 결과에 의하면 현재 Austria, Slovenia, Thailand에서는 Na-PCP의 사용이 전면 금지되어 있고, 앞으로 많은 나라에서 Na-PCP의 사용 금지가 예상된다. 화학 방미제를 이용한 변색예방 이외에도 길항미생물을 이용한 변색 원인균의 생물학적 방제에 대한 연구가 80년대 후반부터 시작되어 계속 진행되고 있는데, 현재 몇 가지 방선균이 길항 미생물로서 사용이 가능성이 밝혀졌다(Zabel and Morrell, 1992). Morrell과 Dawson-Andoh(1997)은 미국 임산물협회 주최의 변색관련 심포지움에서 그 동안 수행된 이 분야 연구를 중심으로 생물학적 방제와 관련된 제반 문제점들과 이러한 문제들을 극복할 수 있는 전략, 향후 이 분야의 연구 필요성 등을 요약, 발표하였다. 또한 최근에는 목재에 변색을 야기시키는 색소인 melamin 계통의 형성 기작을 구명한 후 이 기작을 봉쇄하는 방법을 연구하고 있는데, 이렇게 될 경우 변색 원인균은 목재를 가해하나 목재의 재색은 변화되지 않는다(Zink and Fengel, 1988, 1989, 1990; Ritchkoff *et al.*, 1997; Eagon *et al.*, 1997). 변색제거를 위한 용제나 화학처리법의 개발은 아직은 완전히 성공적이지 못하나(Zabel and Morrell, 1992), 이에 대한 연구가 최근에 활발히 수행되고 있다. Lee 등(1995)은 알칼리 표백에 의한 폰데로사소나무의 변색 제거에 관한 연구를 수행하였으며, Croan(1997)은 생물학적 방법에 의한 변색제거 기술을 개발하여 보고하였다.

칼라 방부처리재에 대한 연구는 아직 외국에서도 수행된 적이 없으며, 원주가 공재나 통나무집용 원목에서 건조중 또는 사용중 대형 할렬의 발생 최소화 또는 예방 방안으로 외국 업계에서는 방부처리용 목재의 건조시 기계적 전처리로 주로

배할방법(kerfing)을 사용하고 있는데, 최근에는 center boring 등의 방법이 사용되고 있다고 한다. 그러나 수용성 방부제 처리후 재건조시 발생하는 할렬의 예방을 치수안정제와 방부제의 혼합처리에 의해 최소화 또는 예방하려는 시도는 연구된 바가 없다.

국외에서는 컴퓨터, CT, Image Processing 등의 기법으로 고수율 가공기술에 대한 연구 다양하게 이루어지고 있다. Log scanner 및 컴퓨터를 이용한 가공자동화에 대한 연구가 이루어져 산업체에서 활용되고 있다(Araman and Schmoldt, 1995; Occena와 Schmoldt, 1997). 또한, Log scanner, X-Ray, CT(Computed Tomography)등을 이용한 원목 및 제재목의 자동결함 발견 및 자동 grading 시스템에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다(Araman and Schmoldt, 1995; Schmoldt *et al.*, 1995; Schmoldt, 1995; Kline *et al.*, 1998; Kline *et al.*, 1997; Kinkhachorn *et al.*, 1995; Araman *et al.*, 1992; Conners *et al.*, 1989; Conners와 Cho, 1989; Conners *et al.*, 1990; Cho *et al.*, 1990). 또한, 주어진 원목에서 동일한 수율을 얻으면서도 높은 등급의 제재목을 생산하기 위한 연구가 각종 장비를 이용하여 이루어지고 있다. 즉, 원목측정 및 재고 관리시스템, 제재과정에서 발생하는 재적감소를 최소화하고 제재수율 제고를 위한 각종 simulation, 제재방법에 수반되는 의사결정 시스템 등에 대한 연구가 다양하게 이루어지고 있다(Kline과 Araman, 1990; Mendoza *et al.*, 1991; Wiedenbeck과 Araman, 1995; Steele *et al.*, 1993; Occena와 Schmoldt, 1995; Lin *et al.*, 1995; Gatchell, 1992; Kline *et al.*, 1992)

제 3 장 목제품의 고품질 및 고부가화 기술 개발

제 1 절 서론

국내에서 생산하고 있는 목제품은 크게 1차 가공제품인 제재목, 조정시설재용 원주가공재, 통나무집용 원목, 소형 제재목을 측면 접착한 집성판과 목질 판상제품(합판, 파티클보드, 섬유판)으로 대별된다. 국내의 판상제품 생산기술은 목재산업 선진국에 비하여 전혀 떨어지지 않을 정도로 발전되어 있다. 그러나 1차 가공제품은 그 동안 주로 저급용으로 사용되어 온 관계로 이들의 품질은 매우 낮고, 또한 이들의 고품질화와 고부가화에 대한 연구는 건조결함의 최소화와 관련된 연구를 제외하고는 거의 수행되지 않았다.

최근 가구부재와 내장재 용도로 제재목 소비량의 증가와 더불어 제재목의 미적 가치가 중요시되면서 변색예방에 대한 관심이 국내에서도 크게 고조되고 있다. 제재목의 품질은 건조중 발생하는 건조결함의 정도와 생물학적 변색 여부에 따라 결정된다. 제재목의 경우 건조기술의 발달로 건조결함에 대한 문제는 별로 없으나 변색에 의한 품질 저하는 매우 심각할 정도이다. 제재목의 고품질화를 위해서 이러한 변색은 반드시 예방되어야 하고, 또한 불가피한 사정 때문에 발생한 변색을 제거하여 목재의 아름다운 자연 재색을 복원시킬 수 있는 변색제거 기술의 개발이 시급한 실정이다. 특히, 최근에 목재의 문양과 색상을 그대로 유지시킬 수 있는 투명도료의 사용 증가와 더불어 이러한 변색예방 및 제거기술은 더욱 중요시되고 있다. 본 연구에서는 국산 침엽수종 생물학적 변색이 문제되는 소나무와 잣나무로부터 변색 원인균을 분리·동정한 후, 이들에 의한 변색을 예방할 수 있는 적정 방미제(anti-stain chemicals)와 처리농도를 선정·제시하고, 최종적으로 제재목에 기 발생된 변색을 제거할 수 있는 표백기술을 개발하였다.

원주가공재와 통나무집용 원목의 건조 또는 사용중 발생하는 대형 표면할렬은 이들 제품의 품질을 저하시켜 상품가치를 크게 떨어뜨리는데, 이들 제품의 고품

질화를 위해서 이러한 대형 할렬의 발생을 최소화할 수 있는 방법의 개발이 시급하다고 본다. 목재에서 표면할렬(이하 할렬로 약함) 발생은 재료의 특성상 당연한 현상이나 할렬에 따른 목재의 외관상 문제는 목재의 생물열화 및 연소성과 더불어 사람들로 하여금 목재 사용을 기피하게 하는 주된 원인이 된다. 이러한 목재의 할렬은 조경시설재로 주로 사용되는 원주가공재 등의 대형 목재에서 특히 심각하게 발생한다. 특히 방부처리재에서는 이러한 외관상의 미적 문제뿐만 아니라 사용중 할렬이 악화되면서 할렬 깊이가 방부제 침투 부위를 통과하여 내부 미처리 부위까지 연장될 경우에는 내부부후가 발생되면서 처리재의 사용수명을 크게 단축시키는 문제점도 초래한다. 국내에서 조경시설재로 사용되는 방부처리 원주가공재(이하 처리재로 약함)중 이러한 문제는 변재폭이 좁아 방부처리가 용이하지 않은 난주입 수종인 낙엽송(*Larix kaempferi*)이나 북양가문비나무(*Picea jezoensis*) 처리재 등에서 매우 심각하게 발생한다. 변재폭이 넓어 처리가 용이한 라디에타소나무(*Pinus radiata*)나 국산 소나무(*Pinus densiflora*) 처리재 등의 경우에는 상기한 내부부후 문제는 별로 발생하지 않으나 발생한 표면할렬은 처리재의 외관상 문제를 일으키고 강도 감소를 초래한다.

따라서 현장 시설후 사용중인 처리재 표면에서 발생하는 할렬을 완전히 예방할 수는 없어도 최소한 할렬의 발생을 양적(발생되는 할렬의 숫자) 및 질적(발생된 할렬의 길이, 폭, 깊이) 측면에서 최대한 억제하여야 한다. 처리재의 할렬을 최소화하기 위한 방법으로는 크게 세가지 방법을 들 수 있다. 첫째는 원주가공재에 배할(kerfing) 등의 기계적 전처리를 실시하여 건조한 후 방부처리를 실시하는 방법이고, 둘째는 방부처리후 처리재 표면에 침투성 도료인 발수제(water repellent)나 외장용 페인트 등의 도막형성 도료를 도장하는 표면도장법이고, 셋째는 원주가공재의 방부처리시 방부제에 발수제를 혼합 처리하는 방법이다.

조경시설재용 원주가공재의 현장 시설후 사용중 발생하는 대형 할렬의 최소화 기술을 개발하기 위하여 수행된 본 연구에서는 기계적 전처리 방법과 방부처리시 방부제에 일정량의 가압처리용 발수제를 혼합 처리하는 방법의 적용 가능성을 검토하였다.

조경시설재용 원주가공재는 도양과 직접 접촉하거나 강우등 수분과 접촉하는 장소에 사용하기 때문에 반드시 방부처리를 실시하여야 한다. 원주가공재와 통나무집용 원목은 단순 방부처리 그 자체로도 내구성이 크게 증가되기 때문에 부가가치가 어느 정도 상승하지만, 방부처리재의 고부가화 방안으로 본 연구에서는 칼라 방부처리 원주가공재 생산기술을 개발하고자 하였다. 칼라 방부처리재 (colored preservative-treated wood)는 처리재의 색상이 원래 수종의 색상과 유사한 처리재인데, 적절한 안료나 염료를 방부제와 혼합·처리함에 의해 이의 생산을 시도하였다.

제 2 절 제재목의 종합적인 변색방제 및 변색제거 기술 개발

1. 소나무와 잣나무 원목 및 제재목으로부터 변색원인균의 분리 및 동정

가. 서론

자낭균류와 불완전균류의 가해에 의한 목재의 생물학적 변색은 목재강도는 영향하지 않으나 목재의 미적 가치, 즉 상품가치를 저하시켜 결과적으로 막대한 경제적 손실을 초래하기 때문에 이러한 변색은 반드시 예방되어야 한다. 최근 국내에서도 변색의 문제점을 인식하게 되면서 변색예방에 대한 관심이 높아지고 있다. 목재의 생물학적 변색과 방제에 대한 중요성이 오래 전부터 인식되어온 북미, 유럽, 대양주에서는 이에 대한 많은 연구들이 수행되었으며, 그 동안 꾸준히 축적된 연구결과들을 현장에 적용하여 지금은 변색에 의한 경제적 손실을 크게 줄이고 있다. 국내의 경우는 목재변색과 방제에 대한 연구가 아직은 초보단계에 머물고 있으나, 변색목재에 대한 소비자의 기피현상이 증가될 것으로 예상되기 때문에 앞으로 이 분야의 연구가 활발히 진행될 것으로 사료된다. 변색원인균과 목재 수종의 조합에 따라 방미제의 효력이 상이하므로(Miller and Morrell, 1989, 1990; Miller *et al.*, 1990; Tsunoda and Nishimoto, 1985; Kim *et al.*, 1999), 국내 사용수종의 변색방제를 위한 방미제의 선정시 반드시 방제대상 수종으로부터 분리된 변색원인균을 공시균으로 사용하여야 한다. 그러나 최근 국내에서 수행된 방미제 효력시험(김, 1998; 이 등, 1998; 오 등, 1999)에 사용된 공시균들은 변색방제대상 수종으로부터 분리된 변색원인균이 아니라 일반적으로 분리빈도가 높고 변색능력이 탁월한 대표적인 변색원인균들이기 때문에 이들 연구결과를 현장에 바로 적용하는 데는 문제가 있다고 본다.

따라서 국내 사용수종의 변색방제에 사용 가능한 방미제 선정을 위한 연구에 앞서 이들 수종을 가해하는 변색원인균의 분리 및 동정이 반드시 필요하다. 참고로 국내에서 변색원인균의 분리는 Oh와 Lee(1999)에 의해 국산 잣나무, 리기다소

나무, 해외 조림지로부터 수입된 리기테다소나무로부터 Ophiostomatoid fungi를 분리한 것이 전부라고 할 수 있다.

본 연구는 어떤 종류의 자낭균류 및 불완전균류가 국산 소나무와 잣나무 원목 및 제재목을 가해하는 변색원인균에 해당되는지를 구명하기 위해 수행되었다.

나. 재료 및 방법

1) 변색원인균의 분리

겨울에 벌채되어 경북 봉화군 산림조합 목재집하장과 경기도 여주 임산물 유통센터 목재집하장에 야적되어 있던 길이 2.7m의 소나무(*Pinus densiflora*) 원목과 잣나무(*Pinus koraiensis*) 원목으로부터 장마가 지난 2000년 8월에 균 분리용 목편(core)을 채취하였다. 소나무와 잣나무 원목을 각각 10개씩 임의로 선정한 후, 양 목구면으로부터 각각 30cm와 100cm 떨어진 지점과 원목 중앙부의 내 방향에서 내경 5mm의 성장추를 이용하여 한 개씩, 총 20개의 길이 1cm 목편을 채취하여 균 분리용 시편으로 사용하였다.

겨울에 벌채된 후 야적장에 야적중인 원목에 본격적인 변색이 발생하기 직전인 5월 중순에 무변색 원목을 구입하여 현장(소나무는 경북 봉화군 산림조합 목재집하장, 잣나무는 경기도 가평군 산림조합 목재집하장)에서 횡단면의 크기가 5×10 cm인 제재목을 제재하였다. 제재후 6시간이 경과된 후 소형 칼을 이용하여 제재목에서 균 분리용 칩(chip)들을 채취한 후, 제재후 시간의 경과에 따른 변색원인균의 차이를 조사하기 위하여 제재목들을 1개월 동안 동일 장소에 폭로시켜 균 가해를 유도한 후 다시 균 분리용 칩을 채취하였다. 목편과 칩 채취시 사용된 성장추와 칼은 매번 화염으로 멸균처리 하였고, 목편과 칩은 채취 즉시 비닐 주머니에 넣어 냉장보관 하였다.

냉장상태로 실험실로 가져온 목편과 칩들을 정규배지인 2% malt extract agar(MEA) 배지와 Ophiostomatoid fungi 분리를 위한 선택배지인 streptomycin/cycloheximide amended malt extract agar(SCMEA) 배지에 접종한 후 실온에서 계속적으로 계대배양을 반복하면서 순수한 단일 균으로 분리하였다

(Seifert and Grylls, 1992; Harrington, 1981).

2) 분리된 변색원인균의 동정

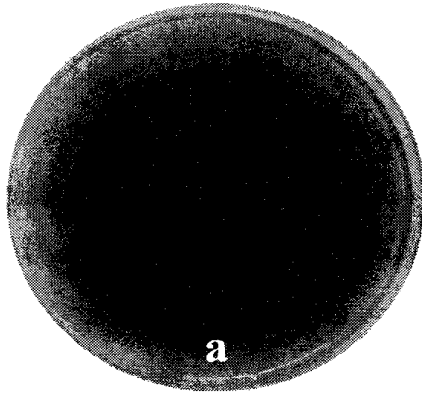
분리된 변색원인균 중 Ophiostomatoid 균을 제외한 모든 변색원인균은 형태학적 특징만을 이용하여 동정하였으나 변재변색균중 심각한 목재 변색을 야기하는 Ophiostomatoid 균은 우선 형태학적 방법을 통하여 대략적인 동정과 RAPD-PCR 방법에 의해 그룹을 지은 후, 교배시험법(mating test)과 DNA sequence data를 비교하는 분자생물학적 방법으로 최종 동정을 실시하였다. Ophiostomatoid 균의 동정을 위하여 바늘로 균의 분생자병속 또는 자낭각(perithecium) 끝에 붙어있는 분생자 덩어리를 제거한 후 멸균수 1 ml가 포함된 tube 내에 넣고 잘 흔든 후 배지 위에 도포하는 방법인 단포자 분리(single spore isolation)를 실시하였다 (Webber *et al.*, 1986; Uzunovic *et al.*, 2000).

가) 형태학적 특징에 의한 동정

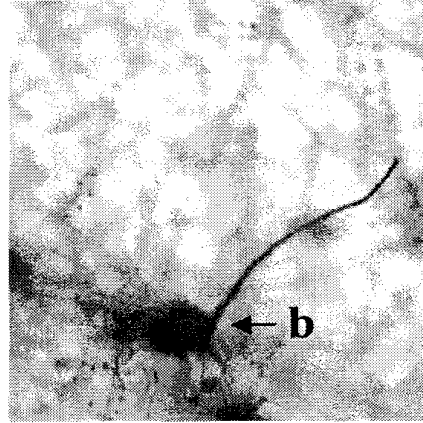
분리된 균은 Arx(1981), Barnett and Hunter(1987), Bissett(1984, 1991a, 1991b, 1991c), Carmichael *et al.*(1980), Cole and Kendrick(1973), Ellis(1971, 1976), Hawksworth *et al.*(1996), Hutchison and Reid(1988a, 1988b), Kendrick(1961, 1962, 1963a, 1963b, 1964), Nobles(1965), O'Donnell(1979), Ramirez(1982), Raper and Fennell(1973), Rifai(1969), Sutton(1980), Upadhyay(1981), Wang and Zabel(1990) 등의 문헌을 참고하여 petri dish상에서 colony의 형태와 색, 그리고 현미경을 이용하여 관찰한 자낭각(perithecia), 자낭포자(ascospores), 분생자병속(synnemata), 분생자병(conidiophores), 분생자 형성세포(phialides), 분생자(conidia) 등의 형태학적 특징에 의해 동정하였다(Figure 1). 동정된 균들은 다섯 가지 부류, 즉 표면오염균(surface mold), black yeasts, dark molds, Ophiostomatoid 균, 기타(fungi of unknown biological significance)로 구분하였다 (Seifert, 1993).

나) 교배시험을 통한 Ophiostomatid 균의 동정

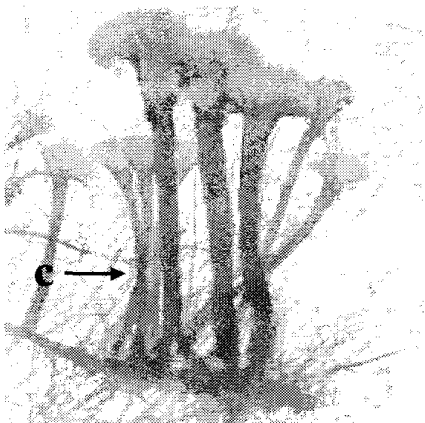
자낭각을 형성하는 완전세대(sexual stage)를 갖는 Ophiostomatoid 균은 homothallic 균과 heterothallic 균으로 구분할 수 있다. Homothallic 균은 (+)와 (-) type의 성을 동시에 가지고 있어 스스로 자낭각을 형성한다. 반면에 heterothallic 균은 strain 별로 성이 다르기 때문에 자연상태에서는 바람 등 여러 가지 vectors에 의해 (+)와 (-) type이 교배가 이루어져 자낭각을 형성할 수는 있지만 배지상에서 자낭각을 관찰하기가 매우 까다롭다. 이러한 heterothallic 그룹에 속하는 균들은 Brasier(1981)가 제시한 교배방법에 의해 소나무 톱밥 배지(200g 소나무 변재 톱밥+20g agar+1000 ml 증류수)와 소형 소나무 변재 시편 위에서 교배를 실시하여 자낭각을 형성시켰다(Figure 2). 참고로 자낭각 형성은 균종에 따라 차이가 있었으며, 일반적으로 2~4주 정도의 시간이 소요되었다. 소나무와 잣나무로부터 분리된 여러 균주들의 교배시험을 위하여 (+)와 (-) tester strains들을 Breuil's Culture Collection(University of British Columbia, Canada) 으로부터 분양받았다(Table 1).



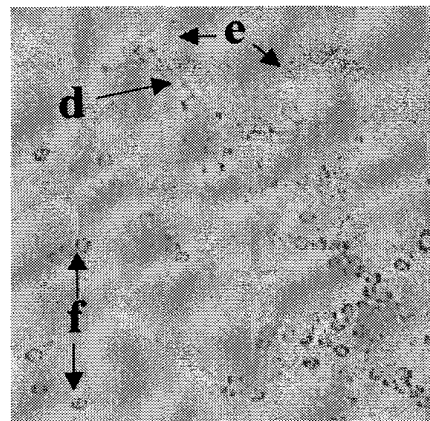
Alternaria alternata



Ophiostoma piliferum (x40)

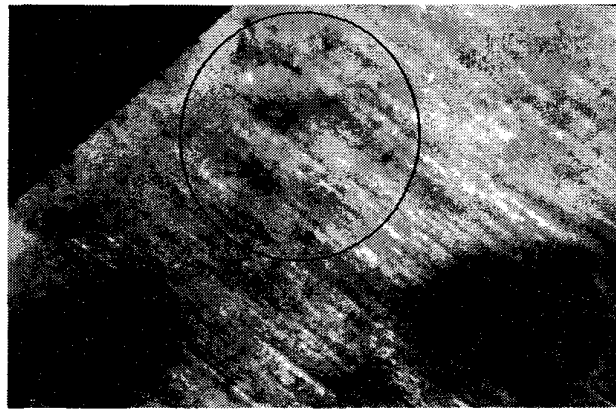


Ophiostoma putredinis (x200)



Trichoderma atroviride (x400)

Figure 1. Macroscopic and microscopic characteristics of fungi used for identification: (a) growth characteristics of fungus on MEA medium, (b) perithecium, (c) synnemata, (d) conidiophores, (e) phialides, and (f) conidia.



(A) *Ophiostoma piliferum*

(B) *Ophiostoma piceae*

Figure 2. Production of sexual stages (perithecia) through the mating tests on pine sawdust media (A) and pine sapwood block (B).

Table 1. Type cultures used in mating tests.

Species	Isolate No.	Mating type	Host	Origin	Collector
<i>Ophiostoma floccosum</i>	AU55.1	A	<i>Pinus contorta</i>	Canada	A. Uzunovic
	AU56.2	B	<i>Pinus contorta</i>	Canada	A. Uzunovic
<i>Ophiostoma piceae</i>	AU40	A	<i>Picea glauca</i>	Canada	A. Uzunovic
	AU40.2	B	<i>Picea glauca</i>	Canada	A. Uzunovic
<i>Ophiostoma quercus</i>	H1039	A	<i>Quercus sp.</i>	U. K.	J.F. Webber
	H1042	B	<i>Quercus sp.</i>	U. K.	J.F. Webber
<i>Ophiostoma setosum</i>	AU160-27	A	<i>Tsuga heterophylla</i>	Canada	A. Uzunovic
	AU160-25	B	<i>Tsuga heterophylla</i>	Canada	A. Uzunovic
<i>Ophiostoma piliferum</i>	AU42.1	A	<i>Picea glauca</i>	Canada	A. Uzunovic
	AU41.3.1	B	<i>Picea glauca</i>	Canada	A. Uzunovic

다) 분자생물학적 기법을 이용한 Ophiostomatoid 균의 동정

(1) 공시균 및 DNA 추출

소나무 및 잣나무 원목으로부터 분리되어 현재 고려대학교 균주 보관센터(KUCC, Korea University Culture Collection)에 보관 중인 Ophiostomatoid 균들과 비교균주를 공시균으로 사용하였다(Table 2). 단 흰색 colony를 갖는 *Acremonium* 속의 균들은 비록 Ophiostomatoid 균에 속하는 불완전세대이나 목재 변색을 야기하지 않을 뿐만 아니라 식물 분야에서 중요하게 다루어지는 균인 관계로 본 연구에서는 배제하였다. 비교균주들은 ATCC(American Type Culture Collection), CBS(Centraal bureau voor Schimmelcultures), DAOM (Canadian Collection of Fungal Cultures), UAMH(University of Alberta Microfungus Collection) 등의 균주보관센터와 A. Uzunovic(Western lab., Forintek Canada Corp.), D. L. Six (School of Forestry, University of Montana, U. S. A.), H. Masuya(Forestry and Forest Products Research Institute, Japan), H. Solheim (Norwegian Forest Research Institute, Norway), J. Webber(Forestry Commission Research Agency, U. K.), L. Bernier(Faculty of Forestry and Geometry, University of Laval, Canada), M. J. Wingfield(Forestry and Agricultural Biotechnology Institute, University of Pretoria, South Africa) 등의 균학자들로부터 분양받았다. 또한 본 실험실에서 라디에타소나무로부터 분리하여 완벽하게 동정된 Ophiostomatoid 균들도 함께 이용하였다(김, 2001).

공시균들을 2% MEA 배지상에서 25°C 온도조건으로 균 종에 따라 5~7일간 배양한 후, 균의 포자와 균사를 채취하여 DNA 추출을 위한 시료로 사용하였다. 일정량의 균사와 포자를 800 μ l lysis buffer(100mM Tris; 50mM EDTA, pH7.5; 100mM sodium chloride; 1% sodium dodecyl sulfate; 0.1% spermine tetrachloride; 0.1% spermidine trihydrochloride; 1% 2-mercaptoethanol)에 희석하여 65°C 조건에서 흔들며 주면서 60분간 가열한 후 원심분리(12,000 rpm, 4°C, 10 min.)하였다.

Table 2. Reference cultures used in molecular work.

Species	Isolate No.	Host	Origin	Collector
<i>Ceratocystiopsis minima</i>	UAMH9961	<i>Pinus banksiana</i>	Canada	J. Reid
<i>Ceratocystiopsis minuta</i> -1	AU-MPB	<i>Pinus contorta</i>	Canada	J.-J. Kim
<i>Ceratocystiopsis minuta</i> -like	KUC2422	<i>Pinus koraiensis</i>	Korea	J.-J. Kim
<i>Ceratocystiopsis minuta</i> -bicolor	CBS635.66	<i>Pinus contorta</i>	Canada	R.W. Davidson
<i>Ceratocystiopsis minuta</i> -bicolor	UAMH9551	<i>Pinus contorta</i>	Canada	J. Reid
<i>Leptographium</i> sp.	KUC2102	<i>Pinus koraiensis</i>	Korea	J.-J. Kim
<i>Leptographium</i> sp.	KUC2072	<i>Pinus densiflora</i>	Korea	J.-J. Kim
<i>Leptographium abietinum</i>	DAOM60343	Unknown	Canada	R.W.Davidson
<i>Leptographium abietinum</i>	DAOM37980A	<i>Picea engelmanni</i>	Canada	A. Molnar
<i>Leptographium elegans</i>	CMW2245	<i>Chamaecyparis formosensis</i>	Taiwan	M.J. Wingfield
<i>Leptographium lundbergii</i>	UAMH9584	<i>Pinus sylvestris</i>	Sweden	A. M.-Kaarik
<i>Leptographium lundbergii</i>	DAOM64746	<i>Pinus strobus</i>	Canada	K. Shields
<i>Leptographium pinidensiflorae</i>	CMW5157	<i>Pinus densiflora</i>	Japan	H. Masuya
<i>Leptographium pinidensiflorae</i>	CMW5158	<i>Pinus densiflora</i>	Japan	H. Masuya
<i>Leptographium pyrinum</i>	ATCC34943	<i>Pinus ponderosae</i>	U. S. A.	R.W. Davidson
<i>Leptographium terebrantis</i>	UAMH9722	<i>Pinus contorta</i>	Canada	J. Reid
<i>Ophiostoma aureum</i>	ATCC16936	<i>Pinus contorta</i>	Canada	R.W. Davidson
<i>Ophiostoma badiilignum</i>	KUC2089	<i>Pinus densiflora</i>	Korea	J.-J. Kim
<i>Ophiostoma badiilignum</i>	KUC2120	<i>Pinus koraiensis</i>	Korea	J.-J. Kim
<i>Ophiostoma canum</i>	30(NFRI1652/2)	Unknown	Holland	H. Solheim
<i>Ophiostoma canum</i>	MCC195	<i>Pinus densiflora</i>	Japan	H. Masuya
<i>Ophiostoma clavigerum</i>	ATCC18086	<i>Pinus contorta</i>	Canada	R.C.R.-Jeffrey / R.W. Davidson
<i>Ophiostoma floccosum</i>	387N	Unknown	Canada	Forintek Co.
<i>Ophiostoma floccosum</i>	KUC2412	<i>Pinus koraiensis</i>	Korea	J.-J. Kim
<i>Ophiostoma floccosum</i>	KUC2514	<i>Pinus densiflora</i>	Korea	J.-J. Kim
<i>Ophiostoma huntii</i>	KUC2042R	<i>Pinus radiata</i>	Korea	J.-J. Kim
<i>Ophiostoma huntii</i>	UAMH4825	<i>Pinus contorta</i>	Canada	A. Tsuneda
<i>Ophiostoma ips</i>	CBS137.36	<i>Ips</i> beetle	U. S. A.	C.T. Rumbold
<i>Ophiostoma ips</i>	DLS1114	<i>Ips</i> beetle	U. S. A.	D.L. Six

Table 2. Continued.

Species	Isolate No.	Host	Origin	Collector
<i>Ophiostoma montium</i>	CBS151.78	<i>Pinus ponderosae</i>	U. S. A.	R.W. Davidson
<i>Ophiostoma montium</i>	ATCC64697	<i>Pinus contorta</i>	Canada	Y. Hiratsuka
<i>Ophiostoma novo-ulmi</i>	CESS16K	<i>Ulmus</i> sp.	Canada	L. Bernier
<i>Ophiostoma piceae</i>	KUC2311	<i>Pinus densiflora</i>	Korea	J.-J. Kim
<i>Ophiostoma piceae</i>	KUC2015R	<i>Pinus radiata</i>	Korea	J.-J. Kim
<i>Ophiostoma piceae</i>	H2181	<i>Picea</i> sp.	U. K.	J. Webber
<i>Ophiostoma piliferum</i>	KUC2339	<i>Pinus densiflora</i>	Korea	J.-J. Kim
<i>Ophiostoma piliferum</i>	KUC2429	<i>Pinus koraiensis</i>	Korea	J.-J. Kim
<i>Ophiostoma piliferum</i>	KUC2039R	<i>Pinus radiata</i>	Korea	J.-J. Kim
<i>Ophiostoma piliferum</i>	AU55-4	<i>Pinus contorta</i>	Canada	A. Uzunovic
<i>Ophiostoma quercus</i>	KUC2108	<i>Pinus koraiensis</i>	Korea	J.-J. Kim
<i>Ophiostoma quercus</i>	KUC2210R	<i>Pinus radiata</i>	Korea	J.-J. Kim
<i>Ophiostoma quercus</i>	H1039	<i>Quercus</i> sp.	U. K.	J. Webber
<i>Ophiostoma robustum</i>	CMW2805	<i>Pinus ponderosae</i>	U. S. A.	T. Hinds
<i>Ophiostoma setosum</i>	KUC2035R	<i>Pinus radiata</i>	Korea	J.-J. Kim
<i>Ophiostoma setosum</i>	AU160-27	<i>Tsuga heterophylla</i>	Canada	A. Uzunovic
<i>Ophiostoma synnemaradiata</i>	KUC2036R	<i>Pinus radiata</i>	Korea	J.-J. Kim
<i>Ophiostoma ulmi</i>	W9	<i>Ulmus</i> sp.	U. K.	L. Bernier
<i>Pesotum fragrans</i>	KUC2080	<i>Pinus densiflora</i>	Korea	J.-J. Kim
<i>Pesotum fragrans</i>	DAOM229580	<i>Picea rubens</i>	Canada	G. Alexander.

원심분리 결과 얻어진 상등액(700 μ l)에 phenol:chloroform: isoamylalcohol(25:24:1) 500 μ l을 혼합하여 재차 원심분리(12,000rpm, 4 $^{\circ}$ C, 15 min.)를 실시한 후, 상등액(700 μ l)을 획득하여 동량의 chloroform과 혼합한 후 다시 원심분리(12,000rpm, 23 $^{\circ}$ C, 15 min.)를 실시하여 상등액을 추출하였다. 추출한 상등액에 isopropanol을 넣고 잘 섞어 -20 $^{\circ}$ C에서 24시간 동안 유지시킨 후 꺼내어 원심분리(12,000rpm, 4 $^{\circ}$ C, 15 min.)를 또다시 실시하였다. 이러한 과정을 통하여 얻어진 DNA pellet을 70% ethanol로 세척하여 건조시키고, 이를 TE buffer에 용해시킨 후

UV-spectrophotometer를 이용하여 DNA 농도를 측정하여 순도가 높은 DNA만을 실험에 사용하였다.

(2) 균의 β -tubulin genes의 PCR 및 sequencing

β -tubulin genes의 일부를 T10(5-ACGATAGGTTTCACCTCCAGAC-3) (O'Donnell and Cigelnik 1997)/BT12 (5-GTTGTCAATGCAGAAGGTCTCG -3) (Kim *et al.*, 2003) primer를 이용하여 증폭하였다. 각각의 용량이 25 μ l인 PCR 반응액은 100 ng of template DNAs, 0.5 unit Thermostable DNA Polymerase (Rose Scientific), 1x buffer (10 mM Tris-HCl, pH 8.0, 1.5 mM MgCl₂, 50 mM KCl), 80 mM of each dNTP, 20 pmol of each primer, 10 mM of dimethyl sulfoxide로 제조하였다. PCR 반응은 Hybaid touch down thermocycler를 이용하여 94 $^{\circ}$ C에서 4분간의 전처리 후 94 $^{\circ}$ C에서 30초간 denaturation, 55 $^{\circ}$ C에서 50초간 primer annealing, 72 $^{\circ}$ C에서 50초간 extension시키는 것을 1회 증폭으로 하여 총 30회 반복 증폭시키고, 최종적으로 72 $^{\circ}$ C에서 10분간 추가 extension을 수행하였다. PCR 증폭산물은 ethidium bromide(5 μ l/100ml)가 첨가된 1% agarose gel, 1x TBE buffer를 사용하여 120V에서 30분간 전기영동 하였다. 전기영동 후 UV-transilluminator를 이용하여 증폭산물의 유무를 관찰하였다.

Sequence를 위해 β -tubulin genes 증폭산물들을 agarose gel로부터 잘라내어 Qiaquick gel extraction kit(Qiagen Inc.)를 이용하여 깨끗한 PCR 증폭산물을 획득한 후, TOPO TA Cloning Kit(Invitrogen)와 PCR[®] 2.1-TOPO TA vectors를 사용하여 cloning을 실시하였다. 다음으로 sequence를 위한 PCR 반응이 실시되었는데, 4 ul BigDye premix(Applied Biosystems), 3.2 pmol of primer, 30-60 ng/ul of DNA로 총 20 μ l의 반응액을 만든 후, 96 $^{\circ}$ C 30초, 50 $^{\circ}$ C 15초, 60 $^{\circ}$ C 4분을 1회로 하여 총 25회 증폭하였다. Sequence는 PRISM 377 DNA sequencer(Applied Biosystems)를 이용하여 University of British Columbia Nucleic Acid and Protein Service Unit에서 수행하였다.

(3) Phylogenetic 분석

Sequence 결과의 phylogenetic 분석은 ClustalW algorithm(Higgins *et al.*, 1991)와 PHYDIT program version 3.2(<http://plaza.snu.ac.kr/~jchun/phydit/>)를 이용하였다. 분석할 때 sequence profile이 뚜렷하지 않은 지역은 최종분석에서 제외하였으며, 10 gap open penalties와 1 gap extension penalty의 multiple alignment parameters를 사용하였다. Phylogenetic 분석은 β -tubulin sequences의 exon 지역만을 대상으로 하였으며(Ayliffe *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2003), outgroup으로는 *Ceratocystis resinifera* 균주의 sequence (Genbank accession No. AY140940)를 이용하였다. β -tubulin gene regions를 기초로 한 Neighbour-joining trees는 Hasegawa 등(1985)이 제시한 model을 이용하였다.

라) 분리빈도

형태학적, 교배실험, 분자생물학적 방법을 통하여 최종 동정된 균의 분리빈도는 다음과 같은 식에 의해 계산되었다.

$$\% \text{ Frequency of isolates} = \frac{\text{Number of isolates}}{\text{Total number of isolates}} \times 100$$

다. 결과 및 고찰

1) 교배시험(mating test)을 이용한 동정

현재까지 Ophiostomatoid 균중 교배실험으로 동정이 가능한 균은 *Pesotum fragrans*를 제외한 *Ophiostoma piceae* group(Harrington *et al.*, 2001)과 *Ophiostoma piliferum*이 보고되고 있다(Uzunovic *et al.*, 2000). 가장 심각한 변색을 야기하는 *Leptographium*을 불완전세대로 하는 *Ophiostoma* spp.들은 homothallic인 경우가 많으며 heterothallic 균들은 Kim 등(2003)에 의해 보고된 *O. synnemaradiata*가 유일할 정도로 교배를 통한 자낭각의 형성이 어려운 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서도 각각 *Graphium*과 *Sporothrix*를 불완전세대로 갖는 *O. piceae* group과 *O. piliferum*를 대상으로 준비된 (+)/(-) tester strains과 교배실험을 실시하였다. 그 결과, *O. piceae* group에서는 형태학적 방법으로 *Graphium* spp.로 동정된 것들이 *O. piceae*, *O. floccosum*, *O. quercus*로 최종 동정되었고, 형태학적 방법으로 *Sporothrix* sp.라고 동정된 균들 중 대부분이 *O. piliferum*으로 동정되었다. 그러나 *Graphium* 불완전세대를 갖는 *Pesotum fragrans*는 자낭각을 형성하지 않았으며 흰색 colony와 *Sporothrix* 불완전세대를 갖는 균들도 교배실험을 통하여 자낭각을 형성하지 못하였다. 본 연구를 통하여 소나무와 잣나무에서 분리한 *O. piceae*, *O. floccosum*, *O. quercus*와 *O. piliferum* 균들의 (+)/(-) type strains들을 확보하면 앞으로 국내에서 이들 불완전세대 균주의 동정에 있어 많은 도움이 될 것으로 사료된다.

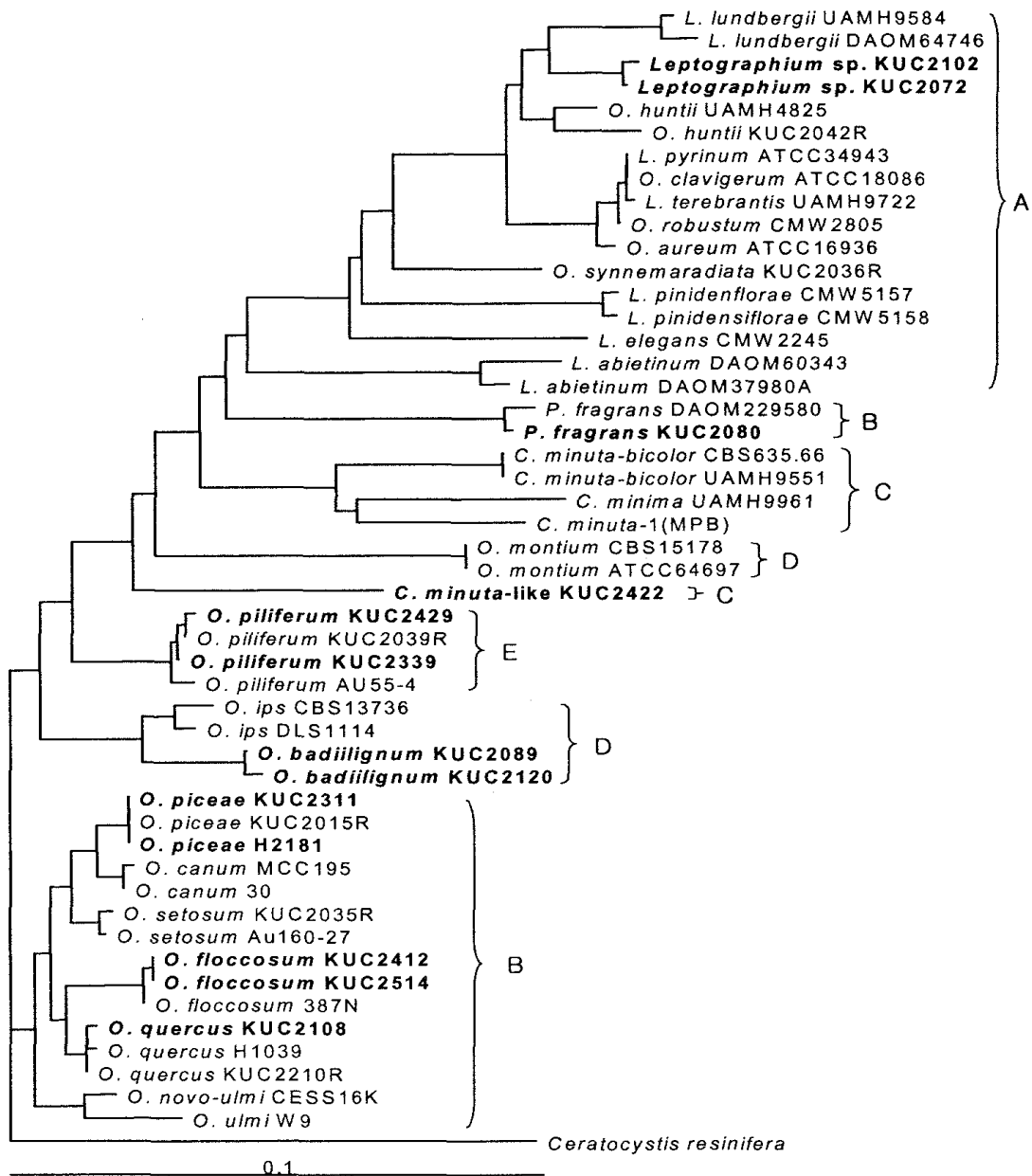


Figure 3. A phylogram based only on exon sequences in the partial β -tubulin genes of Ophiostomatoid fungi: A, *Leptographium* group (*Ophiostoma* spp. having *Leptographium* anamorph and *Leptographium* spp.); B, Piceae complex group; C, Minuta group; D, Ips group; and E, Pilifera group. Outgroup: *Ceratocystis resinifera*.

2) 분리된 Ophiostomatoid 균의 sequence data 분석을 통한 동정

소나무와 잣나무에서 분리된 모든 Ophiostomatoid 균들은 Figure 3에서 볼 수 있듯이 다섯 가지 그룹, 즉 (A) Leptographium group(*Leptographium* sp. 불완전세대로 갖는 *Ophiostoma* spp.와 *Leptographium* spp.), (B) *Graphium*를 불완전세대로 갖는 Piceae complex group, (C) 자낭포자가 falcate 모양인 Minuta group, (D) 자낭포자가 pillow 모양인 Ips group, (E) *Sporothrix*를 불완전세대로 갖는 Pilifera group으로 비교균주들과 묶임을 알 수 있었다(Harrington *et al.*, 2001; Olchowecki and Reid, 1974).

가) *Leptographium* group

형태학적 방법 및 DNA sequence 결과, 소나무와 잣나무 원목과 제재목으로부터 가장 심각한 변색변색균으로 알려진 *Leptographium*의 불완전세대를 갖는 균은 한 종이 분리되었다(Figure 4). 본 연구에서 분리된 *Leptographium* sp.는 *Leptographium lundbergii*와 형태학적으로 다소 비슷하여 이미 본 연구자들에 의해 *L. lundbergii*로 학회에 발표된 적이 있으나(Kim *et al.*, 2001), Figure 4에서 보여주는 바와 같이 *L. lundbergii*와는 유전적으로 상당한 거리가 있는 것으로 확인되었다. 그리하여 소나무와 잣나무에서 분리된 *Leptographium* sp.는 추후 신종으로 학회에 등록할 예정이다. 이를 뒷받침해 주기 위해 한국내 라디에타소나무로부터 분리된 모든 *Leptographium* spp.들과 비교하였으며, 심지어 일본 내 *Pinus densiflora*에서 분리된 *Leptographium pinidensiflorae*와 비교하였으나, 형태학적 및 DNA sequence 결과가 본 연구에서 분리된 *Leptographium* sp.와 많은 차이가 있었다. 소나무와 잣나무에서 분리한 *Leptographium* sp.가 동일 종인지를 조사하기 위해 소나무와 잣나무에서 분리된 여러 개의 *Leptographium* sp.를 DNA sequence를 실시하여 보았으나, 그들의 DNA sequence 결과가 거의 차이가 없어 동일 종인 것으로 판단되었다. 변색원인균의 방제 측면에서는 동일 종이라도 균의 host에 따라 방미제의 효능이 다르다고 보고되고 있기 때문에 이 균을 방제하기 위해서는 소나무와 잣나무에서 분리된 *Leptographium* sp. 모두에 대해 연

구가 필요할 것이다. 그러나, 다행스럽게도 유전적으로는 차이가 없기 때문에 또 다른 분자생물학적 방법 즉, RFLP(restriction fragment length polymorphisms) PCR 등을 이용하여 DNA marker가 개발된다면 소나무와 잣나무에서 이 균의 신속한 검출을 위해 적용할 수 있을 것으로 본다. 이러한 DNA marker는 현재 본 실험실에서 개발 중에 있는데, 이것은 목재 내에서 신속하게 방제 대상균을 검출함으로써 변재변색 예방에 대처할 수 있으며, 외국으로부터 수입되는 목재로부터 발견되는 균주들과도 쉽게 구분할 수 있어 앞으로 검역관계에서 발생할 수 있는 문제도 해결이 가능할 것으로 본다.

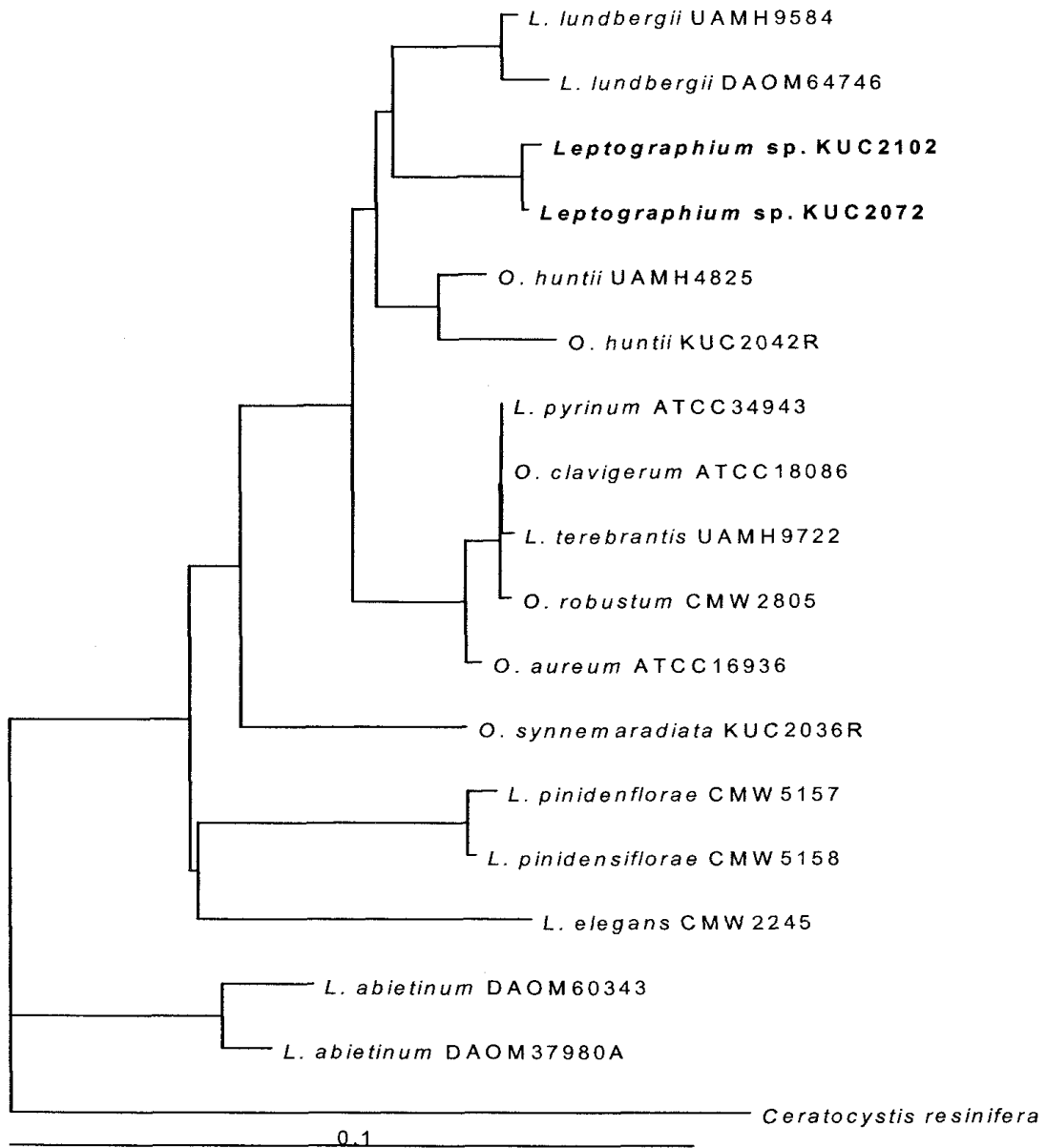


Figure 4. A phylogram based only on exon sequences in the partial β -tubulin genes of *Leptographium* group (*Ophiostoma* spp. having *Leptographium* anamorph and *Leptographium* spp.). Outgroup: *Ceratocystis resinifera*.

나) Piceae complex group과 Pilifera group

이들 두 group은 Piceae complex group의 *P. fragrans*를 제외하고는 이미 교배 실험을 통하여 동정된 균들이다. 목재의 변재변색 방제를 위해서는 신속한 균 동정이 요구되는데, 교배실험이 가장 확실한 동정방법인 것은 사실이나 자낭각을 형성시키는데 많은 시간이 소요되는 문제점을 안고 있다. 따라서 본 연구에서 이들 group에 대해서도 DNA sequence 분석을 통한 동정을 실시하였다(Figure 5). 교배실험의 결과에서도 언급하였듯이 소나무와 잣나무로부터 분리된 Piceae complex group(*O. piceae*, *O. floccosum*, *O. quercus*, *P. fragrans*)과 Pilifera group에 속하는 균들이 동일 균명의 기알려진 비교균주들과 확실하게 묶임으로써 손쉽게 동정할 수 있었다. 국내에 수입된 라디에타소나무에서 분리된 균들과 비교했을 때, 소나무와 잣나무에서 분리된 *Leptographium* sp.는 라디에타소나무에서는 분리되지 않았으나 소나무와 잣나무에서 분리된 Piceae complex group과 Pilifera group에 속하는 균들이 라디에타소나무에서도 모두 분리되었고, 또한 DNA sequence 분석결과에서도 그들간에 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 소나무와 잣나무에서 분리된 이들 균들이 실제 라디에타소나무로부터 도입되었을지도 모르기 때문에 이들의 미세한 유전적 차이를 조사할 필요가 있는 것으로 사료된다. 이러한 균주들을 구분하기 위해서는 RAPD(random amplification of polymorphic DNA) 또는 AFLP(amplified fragment length polymorphism) PCR 등 다른 분자생물학 방법을 이용하여 심도있는 연구가 필요할 것이라 사료된다. 실제로 *O. piliferum*의 경우는 이러한 연구들을 통하여 지역간에 어느 정도의 유전적 차이를 확인하였다(Schroeder *et al.*, 2001).

참고로 Piceae complex group 중 유일하게 완전세대가 확인되지 않은 *Pesotum fragrans*는 아시아 지역에서는 본 연구에서 처음 보고된 것이다. 이 균주는 북아메리카 지역에서 *Tetraphium* beetle에 의해 목재에 감염되는 것으로 보고되고 있다(Jacobs *et al.*, 2003).

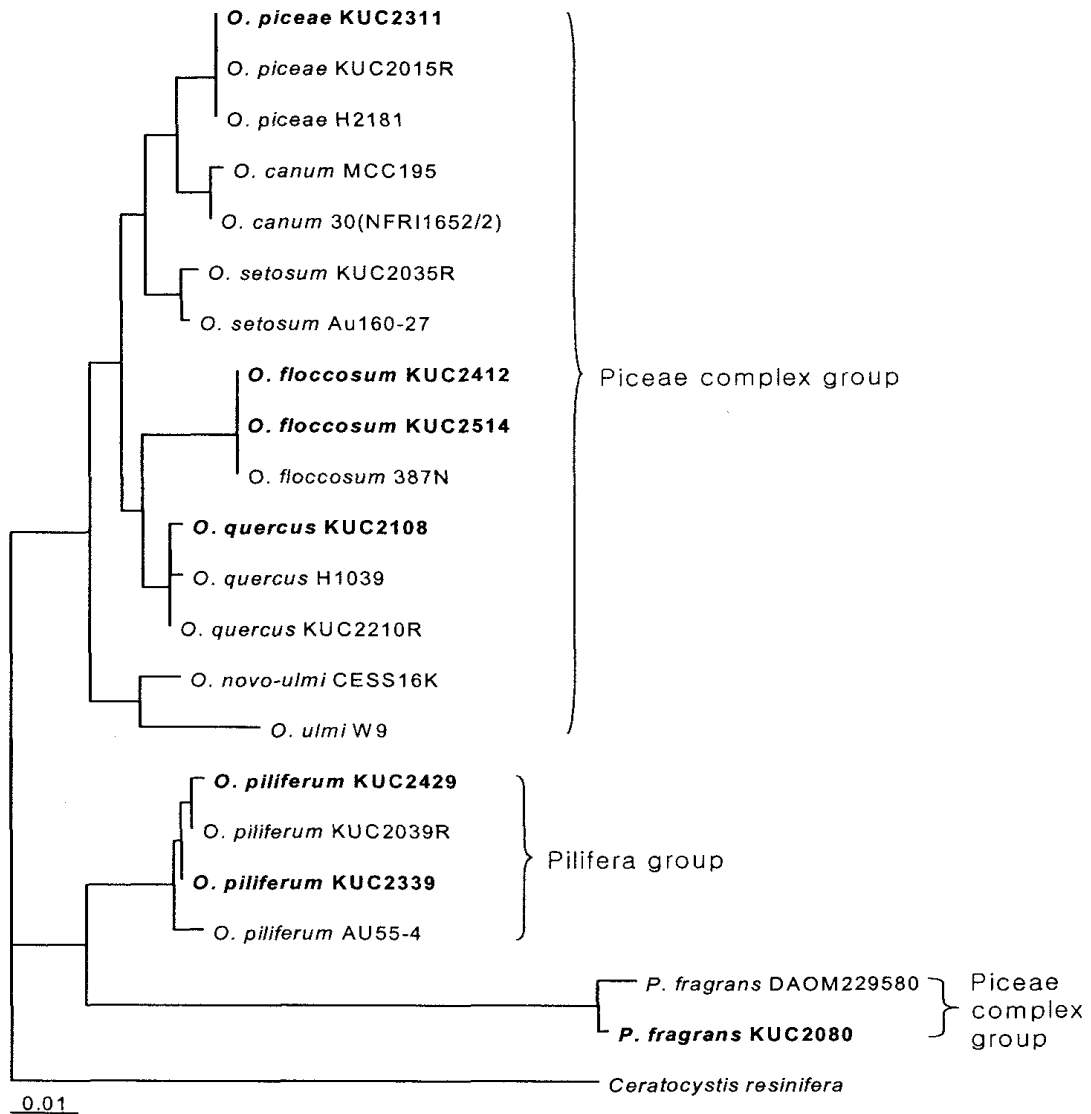


Figure 5. A phylogram based only on exon sequences in the partial β -tubulin genes of the Piceae complex group and the Pilifera group. Outgroup: *Ceratocystis resinifera*.

다) Ips group과 Minuta group

소나무와 잣나무에서 분리된 Ips group과 Minuta group에 속하는 균들은 Figure 6에서 보여주는 바와같이 어떤 비교균주들과도 가깝게 묶이지 않음으로써

현재 이 균주들은 신종으로 파악되고 있다. 특히, Ips group에 속하는 *O. badiilignum*은 형태적으로 분자생물학적 방법을 사용하지 않고는 동정이 어려울 정도로 *Phialocephala dimorphospora*와 흡사하여 이미 *P. dimorphospora*로 학회에 보고된바 있었다(Kim *et al.*, 2001). 그 후 분자생물학 연구를 통하여 신종으로 판단되었으며, 또한 지금까지 Ophiostomatoid 균에 의해 보고된 적이 없는 소나무와 잣나무에 갈색의 변재변색을 야기하는 특이한 균주로 확인되어 Kim 등 (2002)에 의해 이미 학회에서 발표된적이 있다. 이 균주는 β -tubulin genes의 PCR 증폭산물의 band size가 소나무, 잣나무, 라디에타소나무로부터 분리된 Ophiostomatoid 균들 중 가장 작은 PCR band size를 나타내고, 차이 또한 심하기 때문에 DNA sequence를 하지 않고 단지 PCR 증폭산물만으로도 신속하게 확인할 수 있을 것이다. *Ophiostoma minuta*-like는 형태학적으로 Minuta group에 속하여 Minuta group에 속하는 여러 비교균주들과 비교하였으나 그들과는 유전적으로 상당한 차이가 있는 것으로 나타나 현재까지 확실하게 동정을 하지 못한 상태이다. 앞으로 *O. minuta*-like의 정확한 동정을 위해서는 그 균주와 형태학적 및 유전적으로 유사한 균주들을 더 많이 확보하여 비교·검토하는 것이 필요할 것으로 판단되었다.

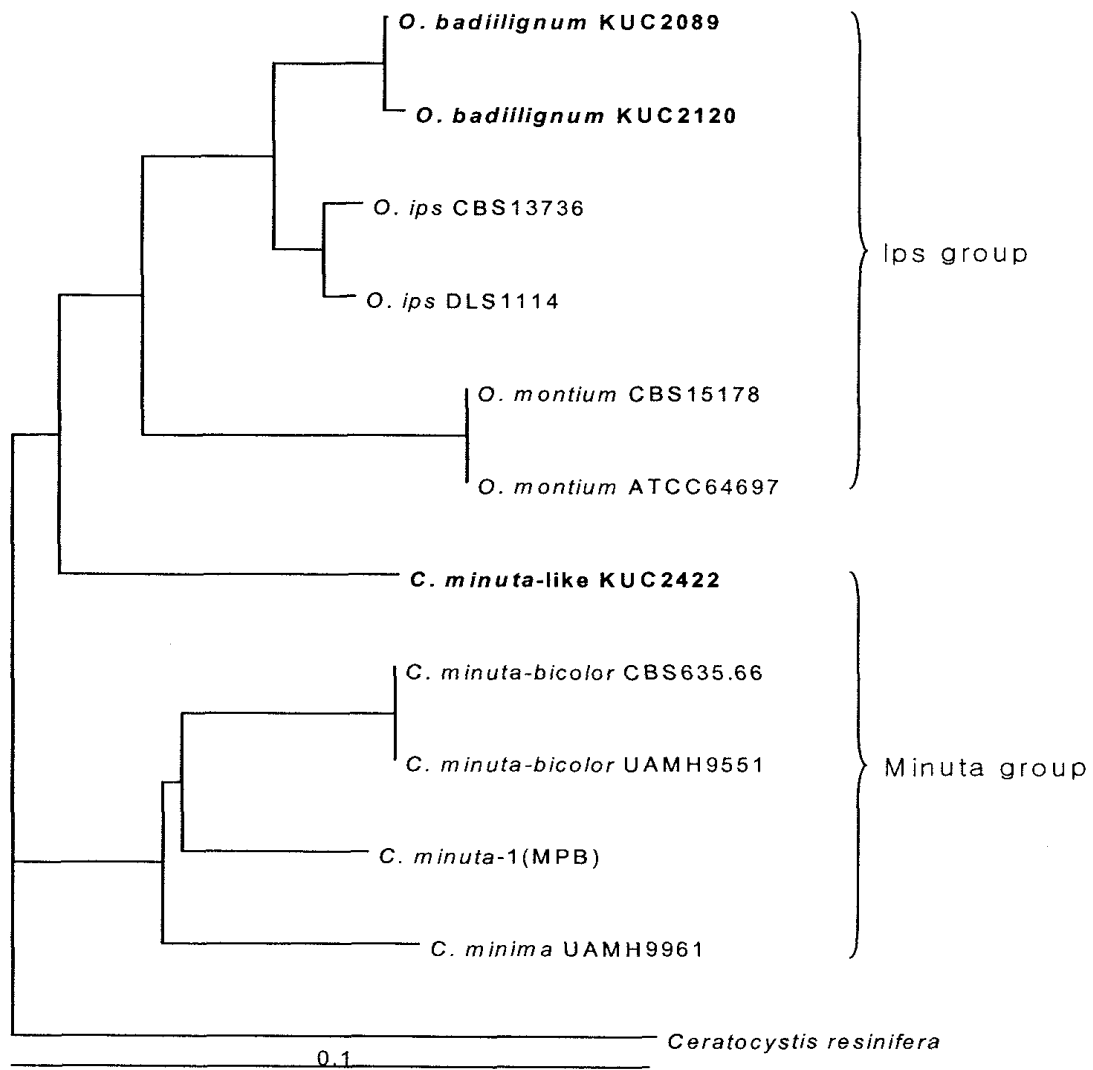


Figure 6. A phylogram based only on exon sequences in the partial β -tubulin genes of the *Ips* group and the *Minuta* group. Outgroup: *Ceratocystis resinifera*.

3) 형태학적, 교배실험, 분자생물학적 방법을 통해 동정된 변색원인균의 분리 빈도

가) 소나무로부터 분리된 변색원인균

소나무 원목으로부터 MEA 배지를 사용하여 총 383개의 균을 분리하여 16속 22종의 균을 획득하였다(Table 3). 표면오염균은 *Trichoderma* 속이 47.9%로 가장 높은 분리빈도를 보였으며, 다음으로 *Penicillium* 속 8.1%, 그리고 *Aspergillus fumigatus*, *Gliocladium roseum*, *G. viride* 등이 소수 분리되었다. *Trichoderma* 속은 총 5종이 분리되었는데, 그 중에서 *Trichoderma pseudokoningii*(15.9%), *T. longibrachiatum*(14.9%)이 높은 분리빈도를 보였다. Black yeast로 분류되는 균들은 *Rhinoctadiella atrovirens*(13.3%), *Aureobasidium pullulans*(2.9%), *Phialophora bubakii*(2.1%)로 *R. atrovirens*가 현저하게 높은 분리빈도를 보였다. Dark mold는 2.3%의 비교적 낮은 분리빈도를 보였는데 *Alternaria alternata*(1.0%), *Paecilomyces variotii*(1.0%), *Cladosporium resine*(0.3%)가 분리되었다. 또한 *Acremonium* 속(3.9%), *Leptographium* sp.(1.3%), *Ophiostoma badiilignum*(0.8%), *O. piliferum*(0.5%), *Pesotum fragrans*(0.3%) 등의 Ophiostomatoid 균들이 MEA배지에서 분리되었다. SCMEA 배지를 분리배지로 사용하여 총 219개의 균을 분리하여 17속 25종의 균을 획득하였다(Table 3). Ophiostomatoid 균은 총 4종(분리빈도 14.6%)을 획득하였는데, 분리빈도가 *Leptographium* sp.(4.6%), *Ophiostoma badiilignum*(4.6%), *Acremonium* 속(1.8%), *Ophiostoma piceae*(1.8%), *Ophiostoma piliferum*(1.8%) 순으로 나타났다. *O. piceae* complex에 속하는 *Pesotum fragrans*가 SCMEA배지에서는 분리되지 않았으나 MEA배지에서 0.3% 분리되었다.

Table 3. Fungi isolated from *Pinus densiflora* logs using regular malt extract agar(MEA) and streptomycin/cycloheximide amended malt extract agar (SCMEA).

M E A		S C M E A	
Fungus	Frequency of isolates* ¹	Fungus	Frequency of isolates* ²
	(%)		(%)
<i>Trichoderma pseudokoningii</i> (M) ^{*3}	15.9	<i>Trichoderma longibrachiatum</i> (M)	24.2
<i>Trichoderma longibrachiatum</i> (M)	14.9	<i>Trichoderma viride</i> (M)	11.0
<i>Rhinoctadiella atrovirens</i> (B)	13.3	<i>Penicillium</i> spp. (M)	10.0
<i>Penicillium</i> spp. (M)	8.1	<i>Alternaria alternata</i> (D)	7.8
unidentified <i>Trichoderma</i> sp. (M)	7.8	<i>Rhinoctadiella atrovirens</i> (B)	5.9
<i>Trichoderma viride</i> (M)	4.4	<i>Leptographium</i> sp. (O)	4.6
<i>Trichoderma harzianum</i> (M)	4.2	<i>Ophiostoma badiilignum</i> (O)	4.6
<i>Acremonium</i> spp. (O)	3.9	<i>Trichoderma harzianum</i> (M)	4.1
<i>Aureobasidium pullulans</i> (B)	2.9	<i>Trichoderma aureoviride</i> (M)	2.3
<i>Phialophora bubakii</i> (B)	2.1	<i>Acremonium</i> spp. (O)	1.8
<i>Leptographium</i> sp. (O)	1.3	<i>Cladosporium cladosporioides</i> (D)	1.8
<i>Aspergillus fumigatus</i> (M)	1.0	<i>Ophiostoma piceae</i> (O)	1.8
<i>Paecilomyces variotii</i> (D)	1.0	<i>Ophiostoma piliferum</i> (O)	1.8
<i>Alternaria alternata</i> (D)	1.0	<i>Cladosporium resine</i>	1.4
<i>Ophiostoma badiilignum</i> (O)	0.8	<i>Phialophora bubakii</i> (B)	1.4
<i>Ophiostoma piliferum</i> (O)	0.5	<i>Aspergillus fumigatus</i> (M)	0.9
<i>Cladosporium resine</i> (D)	0.3	<i>Gliocladium roseum</i> (M)	0.9
<i>Gliocladium roseum</i> (M)	0.3	<i>Paecilomyces variotii</i> (D)	0.9
<i>Gliocladium viride</i> (M)	0.3	<i>Phialophora richardsiae</i> (B)	0.9
<i>Pesotum fragrans</i> (O)	0.3	<i>Bispora betulina</i> (B)	0.5
<i>Monocillium indicum</i> (U)	0.3	<i>Exophiala</i> sp.A (B)	0.5
<i>Trichoderma hamatum</i> (M)	0.3	<i>Verticillium albo-atrum</i> (M)	0.5
unidentified fungi (U)	13.6	<i>Monocillium indicum</i> (U)	0.5
Basidiomycetes (U)	1.0	<i>Trichoderma hamatum</i> (M)	0.5
<i>Mucor musedo</i> (U)	0.5	<i>Trichoderma pseudokoningii</i> (M)	0.5
		unidentified fungi (U)	7.8
		<i>Mucor musedo</i> (U)	1.4

*¹ Values represent percent frequency from 383 samples.

*² Values represent percent frequency from 219 samples.

*³ M, B, D, O, and U in parenthesis represent molds, black yeasts, dark molds, ophiostomatoid fungi, and fungi of unknown significance, respectively.

소나무 제재목으로부터 제재직후 MEA배지를 사용하여 총 85개의 균을 분리하여 11속 12종의 균을 획득하였다(Table 4). 가장 높은 분리빈도를 보인 표면오염균은 *Trichoderma* 속(23.6%)이었으며, 다음으로 *Penicillium* 속(22.4%)이 분리되었다. *Trichoderma* 속은 *T. longibrachiatum*(11.8%)와 *T. viride*(11.8%) 두 종이 분리되었다. Black yeast 균들은 *Aureobasidium pullulans*(2.4%), *Hormonema dematioides*(1.2%), *R. atrovirens*(1.2%)가 비교적 낮은 분리빈도를 보였다. 다소 높은 분리빈도를 보인 dark mold는 *Alternaria alternata*(10.6%), *Cladosporium* 속(8.4%), *Paecilomyces variotii*(2.4%), *Epicoccum purpurascens*(1.2%)가 분리되었다. SCMEA 배지를 사용하여 총 77개의 균을 분리하여 12속 14종의 균을 획득하였다(Table 4). Ophiostomatoid 균은 총 4종(분리빈도 10.4%)을 획득하였는데, 분리빈도가 *Acremonium* 속(5.2%), *Ophiostoma badiilignum* (3.9%), *Ophiostoma piceae*(1.3%) 순으로 나타났다.

소나무 제재목으로부터 제재 1개월 후 MEA배지를 사용하여 총 239개의 균을 분리하여 12속 15종의 균을 획득하였다(Table 5). 표면오염균은 *Trichoderma* 속(48.1%)이 아주 높은 분리빈도를 보였으며, 다음으로 *Penicillium* 속(23.8%), *Gliocladium viride*(8.8%) 순이었다. *Trichoderma* 속은 3종, *T. viride*(31.8%), *T. longibrachiatum*(12.8%), *T. harzianum*(4.2%)이 분리되었다. Black yeast에 속하는 *R. atrovirens*(2.9%)와 *Phialophora fastigiata*(0.4%)와 dark mold인 *A. alternata*(0.4%), *E. purpurascens*(0.4%)가 소수 분리되었다. 또한 Ophiostomatoid 균이 13.3%의 높은 분리빈도를 보였다. SCMEA 배지를 사용하여 총 173개의 균을 분리하여 6속 10종의 균을 획득하였다(Table 5). Ophiostomatoid 균은 총 3속 6종(분리빈도 56%)을 획득하였는데, 분리빈도가 *O. floccosum*(17.4%), *O. piceae*(12.7%), *Leptographium* sp.(10.3%), *O. piliferum*(9.8%), *O. badiilignum*(4.6%), *Acremonium kiliense*(1.2%) 순으로 나타났다.

Table 4. Fungi isolated from *Pinus densiflora* lumber(6 hours after sawing) using regular malt extract agar(MEA) and streptomycin/cycloheximide amended malt extract agar(SCMEA).

M E A		S C M E A	
Fungus	Frequency of isolates* ¹ (%)	Fungus	Frequency of isolates* ² (%)
<i>Trichoderma longibrachiatum</i> (M)	11.8	<i>Alternaria alternata</i> (D)	10.4
<i>Trichoderma viride</i> (M)	11.8	<i>Acremonium</i> sp. (O)	3.9
<i>Alternaria alternata</i> (D)	10.6	<i>Cladosporium resine</i> (D)	3.9
<i>Cladosporium resine</i> (D)	4.7	<i>Ophiostoma badiilignum</i> (O)	3.9
<i>Cladosporium cladosporioides</i> (D)	4.7	<i>Rhinoctadiella atrovirens</i> (B)	3.9
<i>Aureobasidium pullulans</i> (B)	2.4	<i>Trichoderma longibrachiatum</i> (M)	3.9
<i>Paecilomyces variotii</i> (D)	2.4	<i>Cytospora</i> sp. (B)	2.6
<i>Epicoccum purpurascens</i> (D)	1.2	<i>Trichothecium roseum</i> (D)	2.6
<i>Hormonema dematioides</i> (B)	1.2	<i>Acremonium kiliense</i> (O)	1.3
<i>Rhinoctadiella atrovirens</i> (B)	1.2	<i>Ophiostoma piceae</i> (O)	1.3
<i>Penicillium</i> spp. (M)	22.4	<i>Paecilomyces variotii</i> (D)	1.3
<i>Mucor musedo</i> (U)	8.2	<i>Phialophora</i> sp. (B)	1.3
yeast like	4.7	<i>Trichoderma viride</i> (M)	1.3
<i>Rhizopus nigricans</i> (U)	1.2	<i>Penicillium</i> spp. (M)	46.8
unidentified fungi (U)	10.6	<i>Mucor musedo</i> (U)	3.9
		yeast like	1.3
		unidentified fungi (U)	9.1

*¹ Values represent percent frequency from 85 samples.

*² Values represent percent frequency from 77 samples.

*³ M, B, D, O, and U in parenthesis represent molds, black yeasts, dark molds, ophiostomatoid fungi, and fungi of unknown significance, respectively.

Table 5. Fungi isolated from *Pinus densiflora* lumber(one month after sawing) using regular malt extract agar(MEA) and streptomycin/cycloheximide amended malt extract agar(SCMEA).

M E A		S C M E A	
Fungus	Frequency of isolates* ¹ (%)	Fungus	Frequency of isolates* ² (%)
<i>Trichoderma viride</i> (M)	31.8	<i>Trichoderma viride</i> (M)	27.7
<i>Trichoderma longibrachiatum</i> (M)	12.1	<i>Ophiostoma floccosum</i> (O)	17.4
<i>Gliocladium viride</i> (M)	8.8	<i>Ophiostoma piceae</i> (O)	12.7
<i>Ophiostoma floccosum</i> (O)	6.3	<i>Leptographium</i> sp. (O)	10.3
<i>Trichoderma harzianum</i> (M)	4.2	<i>Ophiostoma piliferum</i> (O)	9.8
<i>Ophiostoma piceae</i> (O)	4.2	<i>Ophiostoma badiilignum</i> (O)	4.6
<i>Rhinochadiella atrovirens</i> (B)	2.9	<i>Acremonium kiliense</i> (O)	1.2
<i>Fusarium</i> sp. (U)	0.8	<i>Trichoderma longibrachiatum</i> (M)	1.2
<i>Leptographium</i> sp. (O)	0.8	<i>Cladosporium resine</i> (D)	0.6
<i>Ophiostoma piliferum</i> (O)	1.6	<i>Trichoderma harzianum</i> (M)	0.6
<i>Acremonium kiliense</i> (O)	0.4	<i>Penicillium</i> spp. (M)	13.9
<i>Alternaria alternata</i> (D)	0.4		
<i>Epicoccum purpurascens</i> (D)	0.4		
<i>Phialophora fastigiata</i> (B)	0.4		
<i>Penicillium</i> spp. (M)	23.8		
unidentified fungi (U)	0.8		

*¹ Values represent percent frequency from 239 samples.

*² Values represent percent frequency from 173 samples.

*³ M, B, D, O, and U in parenthesis represent molds, black yeasts, dark molds, ophiostomatoid fungi, and fungi of unknown significance, respectively.

제재 직후와 제재 1개월 후 분리된 균을 서로 비교하였을 때, 1개월 후에 분리된 균의 총수가 MEA 및 SCMEA 분리배지 모두로부터 약 3배 정도 증가하였다. 특히, *Trichoderma* 속과 Ophiostomatoid 균들의 분리빈도가 노출 1달 사이에 급격히 증가하였다. *Trichoderma* 속은 다른 균에 대한 길항능력이 뛰어난 것으로 이미 알려져 있어 이 균의 분리빈도의 증가는 당연한 결과라 사료된다. 전체적으로 균종의 수는 거의 증가하지 않았으나 변재변색균인 Ophiostomatoid 균들이 제재직후에 비하여 높은 분리빈도를 보였으며, 또한 새로운 종들이 나타났다. 가장 변색능력이 뛰어나고 매개충들에 의해 목재 내에 옮기는 것으로 알려진 *Leptographium* 불완전세대의 균이 제재직 후에는 분리되지 않았으나 1개월 후에 다량 분리되었으며, 실제로 제재한 지 1개월된 제재목에 심각한 변색을 야기하였다. 제재직후에 Ophiostomatoid 균 중 갈색변색을 야기하는 *O. badiilignum*이 소수 분리되었는데, 잣나무의 변재변색 방제 전략 측면에서 이 균이 언제 목재 내에 감염된 것인지 조사할 필요가 있다. 하지만 현재까지 이 균이 매개충에 의해 옮긴다는 보고나 연구가 된 적이 없고, 또한 본 연구실에서 본 연구가 수행된 동일한 제재소에서 공기중의 포자를 포집하여 분류해 본 결과, *O. badiilignum*이 다량 분리되었다는 점(고려대학교 목재미생물 및 보존 실험실, 2000)과 벌채 후 재제할 때까지 3-4달 정도(제재에 사용된 원목은 1~3월 중에 벌채되어 5월에 제재하였음) 임지 및 집하장에 보관되어 있었다는 점을 감안할 때, *O. badiilignum*은 집하장에서 감염된 것으로 사료된다. 만약 *O. badiilignum*이 매개충에 의해 임지에서 감염된 것이라면 소나무의 변재변색에 대한 방제 전략을 다시 세워야 하겠지만 지금으로서는 소나무의 경우는 제재후 변재변색을 막을 수 있는 방법 즉, 제재시기 조절, 열기건조, 방미처리 등으로 신속히 대처한다면 충분히 무변색 제재목을 사용할 수 있을 것으로 사료된다. 특히 원목을 제재후 제재소에 그대로 오랫동안 방치한다면 본 연구결과에서 보여주듯이 심각한 변재변색의 결과를 초래할 것이다. 참고로 *O. piceae* complex group에 해당되는 균들은 목재 내에서 깊은 변재변색을 야기하지 않는 반면에 목재에 깊은 변재변색을 야기하는 주요 Ophiostomatoid 균은 *Ceratocystis* spp.과 *Leptographium* 불완전세대를 갖는 균으로 알려져 있다(Upadhyay, 1993).

소나무 원목과 제재목에서 분리된 균들은 우선 원목과 제재목으로부터 균의 채집 시기 다르고 별채되어 집하장에 저장된 기간이 다르기 때문에 정확하게 비교할 수 없으나, 제재 1개월 후 분리된 균과 큰 차이는 없었지만 원목에서 분리된 균들이 종의 다양성을 보여주었다. 이러한 원목에서의 종의 다양성은 앞서 설명하였듯이 분리에 이용된 소나무 원목(1~3월중에 별채되어 8월에 균 분리)이 별채되어 임지 또는 집하장에 장기간 저장되어 여러 가지 표면오염균과 변색능력이 뛰어난 *Leptographium* sp. 등의 균들이 성장하였기 때문으로 사료된다.

이상의 소나무 변색원인균 분리결과로부터 소나무는 제재시기를 조절하여 본 연구에서 개발될 적절한 방미제 등의 사용으로 확실하게 변재변색 예방이 가능할 것으로 사료된다. 단, 지금까지는 연구되지 않았으나 소나무로부터 분리된 Ophiostomatoid 균들이 임지 내에서 매개충에 의해 감염된다면 즉 제재 전에 이미 변재변색균에 감염되어 있기 때문에 목재내에도 깊게 침투를 할 수 있는 확산성 방미제의 사용이나 매개충의 접근을 차단하여 변색을 방제하는 방향으로 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

나) 잣나무로부터 분리된 변색원인균

잣나무 원목으로부터 MEA 배지를 사용하여 총 395개의 균을 분리하여 14속 21종의 균을 획득하였다(Table 6). 표면오염균은 소나무와 마찬가지로 *Trichoderma* 속의 분리빈도(38.4%)가 가장 높았고 다음으로 *Penicillium* 속(11.9%), *Aspergillus niger*(8.1%), *G. viride*(2.3%)가 분리되었다. *Trichoderma* 속은 총 5종이 분리되었는데, *T. longibrachiatum*(23.3%), *T. viride*(6.8%), *T. harzianum* (5.8%)이 높은 분리빈도를 보였다. Black yeast는 *A. pullulans*(2.0%), *Phialophora* sp.(0.5%), *Rhinochadiella cellaris*(0.5%), *Phialophora bubakii*(0.3%)가 분리되었으며, dark mold는 유일하게 비교적 낮은 빈도(1.8%)로 *P. variotii*가 분리되었다. MEA배지로부터 *O. badiilignum*(5.3%), *Acremonium* 속(4.8%), *O. floccosum*(4.3%), *Leptographium* sp.(3.0%), *O. quercus*(1.5%), *O. piceae*(0.5%) 등의 Ophiostomatoid 균들이 소나무 원목에서 분리된 균들보다도 더 높은 분리빈도로

분리되었다. SCMEA 배지를 이용하여 총 287개의 균을 분리하여 15속 21종의 균을 획득하였는데(Table 4), Ophiostomatoid 균이 총 3속 7종(분리빈도 33.3%) 분리되었다. 이들의 분리빈도를 살펴보면, *O. badiilignum* 22.3%, *Leptographium* sp. 4.2%, *O. quercus* 2.8%, *O. floccosum* 2.4%, *Acremonium* 속 1.0%, *O. piceae* 0.3%, *O. piliferum* 0.3% 순으로 나타났다.

잣나무 제재목으로부터 제재직후 MEA배지를 사용하여 총 151개의 균을 분리하여 14속 15종의 균을 획득하였다(Table 7). 표면오염균은 *Trichoderma* 속(23.1%)이 가장 분리빈도가 높았으며, 다음으로 *Penicillium* 속(19.9%)이 분리되었다. 그리고 *A. niger*(2.6%)와 *G. viride*(0.7%)가 소수 분리되었다. *Trichoderma* 속은 *T. viride*(18.5%)와 *T. longibrachiatum*(4.6%)이 분리되었다. Black yeast는 *Cytospora* sp.(11.9%)와 *A. pullulans*(0.7%)가, 그리고 dark mold는 *Paecilomyces* 속(4.0%)와 *Alternaria alternata*(2.6%)가 분리되었다. 소나무 제재목과는 달리 제재직후부터 *Leptographium* sp.(17.2%), *O. floccosum*(6.6%), *O. minuta*-like(3.3) 등이 높은 분리빈도를 보였다. SCMEA 배지를 사용하여 총 97개의 균을 분리하여 7속 8종의 균을 획득하였다(Table 4). Ophiostomatoid 균은 총 4종(분리빈도 59.8%)을 획득하였는데, 분리빈도가 *Leptographium* sp.(42.3%), *O. floccosum*(10.3%), *O. minuta*-like(6.2%), *O. piliferum*(1.0%) 순으로 나타났다.

잣나무 제재목으로부터 제재 1개월 후 MEA배지를 사용하여 총 194개의 균을 분리하여 12속 15종의 균을 획득하였다(Table 8). 표면오염균은 *Trichoderma* 속(50.0%)이 아주 높은 분리빈도를 보였으며, 다음으로 *Penicillium* 속(34.0%), *G. viride*(2.1%)이었다. *Trichoderma* 속은 *T. viride*(33.5%), *T. longibrachiatum* (11.9%), *T. harzianum*(4.6%) 순으로 분리되었다. Black yeast는 유일하게 *R. atrovirens*(0.5%)가, 그리고 dark mold는 *A. alternata*(0.5%), *C. cladosporioides*(0.5%), *Phoma betae*(0.5%)가 소수 분리되었다. MEA 분리배지로부터 3종의 Ophiostomatoid 균, *O. floccosum*(7.7%), *Leptographium* sp.(1.5%), *O. piliferum*(0.5%)이 분리되었다. SCMEA 배지를 분리배지로 사용하여 총 173개의 균을 분리하여 7속 8종의 균을 획득하였다(Table 7). Ophiostomatoid 균은 총

2속 2종(분리빈도 71.4%)을 획득하였는데, *O. floccosum*(36.2%)과 *Leptographium* sp.(35.2%)가 아주 높은 분리빈도를 보였다.

제재 직후와 1개월 후 분리된 균을 서로 비교하였을 때, 소나무에 비해 다소 적지만 1개월 후에 분리된 균의 총수가 MEA 및 SCMEA 배지에서 모두 증가됨을 알 수 있다. 특히, SCMEA 분리배지에서는 Ophiostomatoid 균 중 *O. floccosum*의 현저한 증가로 인하여 균의 총 수가 약 2배 정도 증가한 것으로 나타났다. *Trichoderma* 속은 소나무에서와 같이 분리된 균의 수가 두 분리배지에서 모두 급격히 증가하였다. Ophiostomatoid 균을 살펴보면, 전체적으로 총 분리된 균 수는 거의 비슷하였으나 제재직후 분리되었던 *O. minuta*-like가 제재 1개월 후에는 분리되지 않았다. 원래, *O. minuta*는 매개충에 의해 목재 내 감염되나 변재변색은 야기하지 않는 것으로 알려져 있는데(Olchowecki and Reid, 1974; Robinson, 1962) 흰색의 colony를 갖고 기중균사(aerial mycelium)가 거의 없는 특징 때문에 분리에 어려움이 있을뿐더러 *Trichoderma* 속 등의 길항작용으로 인해 제재 1개월 후에 분리되지 않았으리라 사료된다. MEA 배지에서 제재직후 비교적 높은 분리빈도를 보인 black yeast균 중 *Cytospora* sp.는 목재 변색을 야기하는 것으로 알려져있는데(김, 2001), *O. minuta*-like와 같은 이유 때문에 제재 1개월 후에 분리되지 않은 것으로 생각된다. 잣나무 제재목 분리균은 소나무 제재목 분리균과는 달리 Ophiostomatoid 균들이 제재직후부터 아주 높은 분리빈도로 나타났다. 이는 균분리된 시기가 소나무와 비슷한 시기에 실시되었고 제재에 사용된 원목의 벌채시기도 거의 동일한 점을 감안할 때, 김 등(2002)이 보고한 잣나무가 소나무에 비하여 변재변색의 정도가 심각하다는 보고와 일치하는 결과이다. 그리고 매개충에 의해 감염되는 것으로 보고된 *Leptographium* 불완전세대의 균과 *O. minuta*-like 등이 제재직후부터 대단히 높은 빈도를 보인다는 것은 잣나무가 임지에서부터 이미 매개충에 의해 이들 균들이 감염되었을지도 모른다는 것을 암시한다. 또한, 소나무에 비하여 잣나무의 물리적 및 화학조성분 특징상 제재소에서 짧은 저장기간 동안에 여러 매개충들의 주 공격대상이 되는 것으로 사료된다. 김 등(2002)의 소나무 및 잣나무 원목의 변색발생 시기에 관한 연구에서 잣나무의 경우 제재소에 노출 3달만에 이미 변색이 상당히 진행된 것을

확인하였으나 변색이 시작되는 시점이 연구되지 않아 이에 대한 연구가 앞으로 더 필요하며, 이러한 연구가 뒷받침될 때 제재시기 조절 등을 통한 변재변색 예방에 유용할 것으로 사료된다.

Table 6. Fungi isolated from *Pinus koraiensis* logs using regular malt extract agar (MEA) and streptomycin/cycloheximide amended malt extract agar (SCMEA).

M E A		S C M E A	
Fungus	Frequency of isolates* ¹ (%)	Fungus	Frequency of isolates* ² (%)
<i>Trichoderma longibrachiatum</i> (M)* ³	23.3	<i>Ophiostoma badiilignum</i> (O)	22.3
<i>Penicillium</i> spp. (M)	11.9	<i>Penicillium</i> spp. (M)	15.3
<i>Aspergillus niger</i> (M)	8.1	<i>Trichoderma longibrachiatum</i> (M)	8.7
<i>Trichoderma viride</i> (M)	6.8	<i>Trichoderma harzianum</i> (M)	5.2
<i>Trichoderma harzianum</i> (M)	5.8	<i>Aspergillus niger</i> (M)	4.2
<i>Ophiostoma badiilignum</i> (O)	5.3	<i>Leptographium</i> sp. (O)	4.2
<i>Acremonium</i> spp. (O)	4.8	<i>Trichoderma viride</i> (M)	3.8
<i>Ophiostoma floccosum</i> (O)	4.3	unidentified <i>Trichoderma</i> sp. (M)	2.8
<i>Leptographium</i> sp. (O)	3.0	<i>Ophiostoma quercus</i> (O)	2.8
<i>Gliocladium viride</i> (M)	2.3	<i>Paecilomyces variotii</i> (D)	2.4
<i>Aureobasidium pullulans</i> (B)	2.0	<i>Ophiostoma floccosum</i> (O)	2.4
unidentified <i>Trichoderma</i> sp. (M)	2.0	<i>Acremonium</i> spp. (O)	1.0
<i>Fusarium</i> spp. (U)	1.8	<i>Gliocladium viride</i> (M)	0.7
<i>Paecilomyces variotii</i> (D)	1.8	<i>Monocillium indicum</i> (U)	0.7
<i>Ophiostoma quercus</i> (O)	1.5	<i>Rhinoctadiella atrovirens</i> (B)	0.7
<i>Ophiostoma piceae</i> (O)	0.5	<i>Alternaria alternata</i> (D)	0.3
<i>Phialophora</i> sp. (B)	0.5	<i>Ophiostoma piceae</i> (O)	0.3
<i>Rhinoctadiella cellaris</i> (B)	0.5	<i>Cephalosporium</i> sp. (U)	0.3
<i>Trichoderma pseudokoningii</i> (M)	0.5	<i>Cladosporium cladosporoides</i> (D)	0.3
<i>Phialophora bubakii</i> (B)	0.3	<i>Geotrichum candidum</i> (U)	0.3
<i>Mucor</i> sp. (U)	7.3	<i>Ophiostoma piliferum</i> (O)	0.3
unidentified fungi (U)	3.8	unidentified fungi (U)	12.2
Basidiomycetes (U)	0.8	<i>Mucor musedo</i> (U)	8.0
<i>Rhizopus</i> sp. (U)	0.8	Basidiomycetes (U)	0.3

*¹ Values represent percent frequency from 395 samples.

*² Values represent percent frequency from 287 samples.

*³ M, B, D, O, and U in parenthesis represent molds, black yeasts, dark molds, ophiostomatoid fungi, and fungi of unknown significance, respectively.

Table 7. Fungi isolated from *Pinus koraiensis* lumber(6 hours after sawing) using regular malt extract agar(MEA) and streptomycin/cycloheximide amended malt extract agar(SCMEA).

M E A		S C M E A	
Fungus	Frequency of isolates* ¹ (%)	Fungus	Frequency of isolates* ² (%)
<i>Trichoderma viride</i> (M)	18.5	<i>Leptographium</i> sp. (O)	42.3
<i>Leptographium</i> sp. (O)	17.2	<i>Ophiostoma floccosum</i> (O)	10.3
<i>Cytospora</i> sp. (O)	11.9	<i>Trichoderma viride</i> (M)	7.2
<i>Ophiostoma floccosum</i> (O)	6.6	<i>Ceratocystiopsis minutum</i> like (O)	6.2
<i>Trichoderma longibrachiatum</i> (M)	4.6	<i>Aspergillus niger</i> (M)	2.1
<i>Paecilomyces variotii</i> (D)	3.3	<i>Cladosporium resine</i> (D)	1.0
<i>Ceratocystiopsis minuta</i> -like (O)	3.3	<i>Paecilomyces variotii</i> (D)	1.0
<i>Alternaria alternata</i> (D)	2.6	<i>Ophiotoma piliferum</i> (O)	1.0
<i>Aspergillus niger</i> (M)	2.6	<i>Penicillium</i> spp. (M)	25.8
<i>Cladosporium resine</i>	2.6	unidentified fungi (U)	3.1
<i>Acremonium</i> sp. (O)	0.7		
<i>Aureobasidium pullulans</i> (B)	0.7		
<i>Gliocladium viride</i> (M)	0.7		
<i>Paecilomyces</i> sp. (D)	0.7		
<i>Penicillium</i> spp. (M)	19.9		
<i>Mucor mucedo</i> (U)	0.7		
unidentified fungi (U)	3.3		

*¹ Values represent percent frequency from 151 samples.

*² Values represent percent frequency from 97 samples.

*³ M, B, D, O, and U in parenthesis represent molds, black yeasts, dark molds, ophiostomatoid fungi, and fungi of unknown significance, respectively.

Table 8. Fungi isolated from *Pinus koraiensis* lumber(one month after sawing) using regular malt extract agar(MEA) and streptomycin/cycloheximide amended malt extract agar(SCMEA).

M E A		S C M E A	
Fungus	Frequency of isolates* ¹	Fungus	Frequency of isolates* ²
	(%)		(%)
<i>Trichoderma viride</i> (M)	33.5	<i>Ophiostoma floccosum</i> (O)	36.2
<i>Trichoderma longibrachiatum</i> (M)	11.9	<i>Leptographium</i> sp. (O)	35.2
<i>Ophiostoma floccosum</i> (O)	7.7	<i>Trichoderma viride</i> (M)	11.5
<i>Trichoderma harzianum</i> (M)	4.6	<i>Trichoderma harzianum</i> (M)	2.6
<i>Gliocladium viride</i> (M)	2.1	<i>Trichoderma longibrachiatum</i> (M)	1.0
<i>Leptographium</i> sp. (O)	1.5	<i>Alternaria alternata</i> (D)	0.5
<i>Mucor musedo</i> (U)	1.0	<i>Monocillium indicum</i> (U)	0.5
<i>Alternaria alternata</i> (D)	0.5	<i>Penicillium</i> spp. (M)	11.5
<i>Cladosporium cladosporioides</i> (D)	0.5	<i>Mucor musedo</i> (U)	1.0
<i>Ophiostoma piliferum</i> (O)	0.5		
<i>Phoma betae</i> (D)	0.5		
<i>Rhinoctadiella atrovirens</i> (B)	0.5		
<i>Penicillium</i> spp. (M)	34.0		
unidentified fungi (U)	1.0		

*¹ Values represent percent frequency from 194 samples.

*² Values represent percent frequency from 191 samples.

*³ M, B, D, O, and U in parenthesis represent molds, black yeasts, dark molds, ophiostomatoid fungi, and fungi of unknown significance, respectively.

잣나무 원목과 제재목에서 분리된 균들은 소나무에서와 같이 균 분리시기와 별채 후 원목이 집하장에서 저장기간이 다르기 때문에 정확한 비교는 할 수 없지만, 원목 으로부터 분리된 균의 종의 수가 많았다. MEA 분리배지로부터는 원목과 제재목에서 모두 *Trichoderma* 속이 가장 높은 분리빈도를 보였으며, SCMEA 분리배지에서는 제재목에서보다 원목에서 좀 더 다양한 Ophiostomatoid 균들이 분리되었다. 특히, *O. badiilignum*, *O. quercus*, *O. piceae* 등은 원목에서만 분리되었는데, 이는 분리를 위해 사용된 원목(1~3월에 별채되어 8월에 균 분리)이 제재목(1~3월에 별채되어 5월에 균 분리)보다 집하장에서 저장기간이 길었기 때문이라 사료되며, 이 균들은 주요 변색원인균인 *Leptographium* sp.와 같이 매개충에 의해 옮겨진다는 보고가 없는 관계로 후기에 목재 내로 침투하는 균일 것으로 추측된다. *O. badiilignum*은 소나무에서는 제재직후 분리되어 매개충에 의해 혹시 감염되는 것인지 의심되는 균이었으나 잣나무 연구 결과에 의하면 오랫동안 저장시 나타나는 Ophiostomatoid 균으로 생각된다. 이와는 반대로 제재목에서만 분리된 *O. minuta*-like는 매개충에 의해 감염되거나 또는 별채초기 즉, 다른 균에 의해 저항을 덜 받을 때에 쉽게 분리될 수 있는 균으로 사료된다. *O. badiilignum*은 소나무에서는 분리빈도가 높지 않았고 또한 앞서 설명하였듯이 본 연구가 수행된 동일한 제재소에서 공기중의 균의 포자를 포집하여 분리하였을 때도 분류되었기 때문에 그다지 문제가 되는 않는 즉, 쉽게 방제될 수 있는 균으로 판단된다. 잣나무원목에서는 *O. badiilignum*이 *Leptographium* sp.보다 월등히 높은 빈도로 분리되었으나 제재목에서는 분리되지 않았고 반대로 *Leptographium* sp.가 아주 높은 분리빈도를 나타내었다. 이와 같은 잣나무 원목과 제재목에서 *O. badiilignum* 분리빈도 차이는 원목(여주)과 제재목(가평)의 분리된 장소가 다르기 때문에 발생할 수 있겠으나, 무엇보다도 Kim 등(2002)에 의해 조사된 *O. badiilignum*과 *Leptographium* sp.의 생육특성이 차이에서 찾아볼 수 있다(Figure 7). *Leptographium* sp.의 경우 최적 생육온도가 25℃이며 그 이상이 되면 급격히 생육이 저하되면서 35℃ 이상에서는 성장하지 못한 반면에 *O. badiilignum*은 최적 생육온도가 27.5℃이었으며 37℃ 이상에서도 성장하는 것으로 나타났다. 이상과 같은 두 균의 생육특성 때문에 한여름에 비하여 온도가 높지 않은 초여름(5월~6월)에 분

리된 잣나무 제재목에서는 *Leptographium* sp.가 많이 분리되었고, 한여름(8월)에 분리된 잣나무 원목에서는 *Leptographium* sp.는 거의 분리되지 않고 *O. badiiligum*이 아주 높은 분리빈도를 나타낸 것으로 사료된다. 참고로, 37°C 이상에서 성장할 수 있는 Ophiostomatoid 균은 현재까지 보고된 적이 없다.

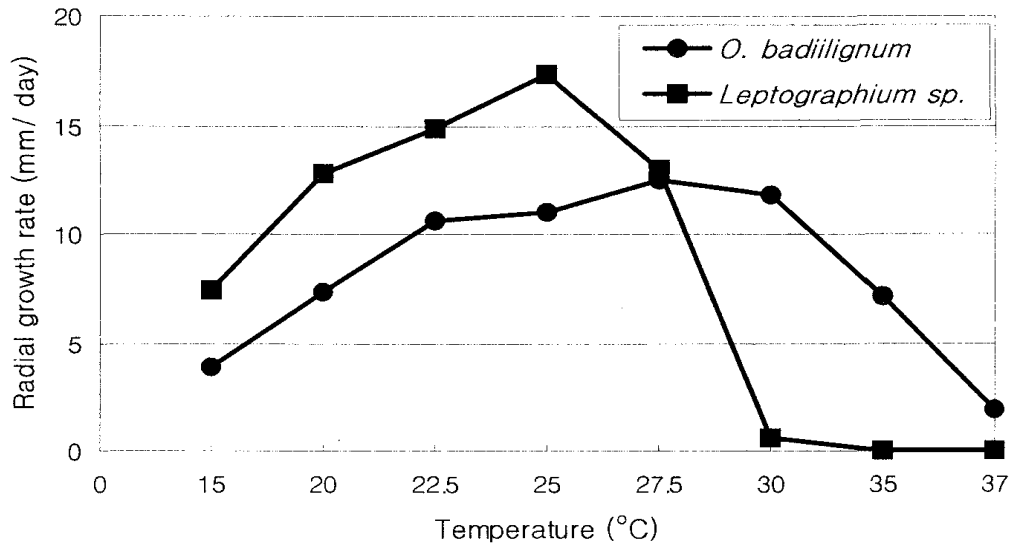


Figure 7. Differences in Growth rate between *Leptographium* sp. KUC2083 and *O. badiiligum* KUC2072 on 2% MEA.

이상의 잣나무 변색원인균의 분리결과, 잣나무는 좀 더 정확한 변색발생 시기를 조사하는 것만이 *Leptographium* sp. 등의 변재변색균에 의한 피해를 줄일 수 있을 것으로 판단되며, 높은 온도에도 잘 적응하는 *O. badiiligum*에 의한 변색을 예방하기 위해서는 벌채 후 집하장에서 거의 저장기간 없이 바로 제재하거나 신속히 적절한 방미제 처리를 실시하는 것만이 최선의 대책이라 사료된다. 소나무에서와 마찬가지로 잣나무에서 분리된 Ophiostomatoid 균들이 임지 내에서 매개충에 의해 미리 감염 되었을 수도 있으므로 이에 대한 보다 자세한 연구가 필요할 것이라 생각된다.

다) 소나무와 잣나무로부터 분리된 변색원인균의 비교

표면오염균의 경우, 소나무와 잣나무 원목 공히 *Trichoderma* 속 중 *T. longibrachiatum*, *T. pseudokoningii* 등이 가장 높은 빈도로 분리되었는데, 소수의 분리빈도를 보인 *T. hamatum*(0.3%)의 경우는 소나무에서만 분리되었다. 제재목에서는 두 수종 모두 *T. viride*가 가장 높은 분리빈도를 보였다. 참고로 Kim과 Kim(2000)의 보고에 의하면 라디에타소나무 원목으로부터는 *T. viride*가 가장 높은 빈도로 분리되었다. Black yeast에 속하는 균종 소나무 원목에서는 잣나무 원목에서 분리되지 않은 *R. atrovirens*가 13.3%의 높은 빈도로 분리된 반면에 잣나무 원목에서 분리된 *Phialophora* sp.와 *R. cellaris*는 소나무 원목에서는 분리조차 되지 않았다. 제재목에서는 *Hormonema dematioides*(1.2%)와 *Phialophora fastigiata*(0.4%)가 소나무 제재목에서만 분리되었고 비교적 높은 분리빈도를 보인 *Cytospora* sp.(11.9%)는 잣나무 제재목에서만 분리되었다. *Cytospora* sp. 는 라디에타소나무 원목에서도 black yeast 중 가장 높은 분리빈도를 보였으며 라디에타소나무를 변색시키는 것으로 조사된 바 있다(김, 2001). 목재에 강력한 변재변색을 야기하는 Ophiostomatoid fungi의 경우, 두 수종 모두 *Leptographium* sp., *O. badiilignum*, *O. piceae* complex가 주요 변재변색균으로 확인되었다. 특히, 잣나무 원목에서 *O. badiilignum*이 압도적으로 높은 분리빈도를 보인 반면에 잣나무 제재목에서는 *Leptographium* sp.가 높은 분리빈도를 보임으로써 두 균 모두 잣나무에서 주요 방제대상균이라 할 수 있다. 또한, 소나무에서도 비록 *O. badiilignum*과 *Leptographium* sp.의 분리빈도가 잣나무에서보다는 낮았지만 비교적 높은 분리빈도를 보임으로써 이들 균들을 주요 방제대상균이라 할 수 있다. 현재 국내에 가장 많이 수입되고 있는 라디에타소나무 원목으로부터 *Leptographium* 불완전세대의 균 3종, 즉 *L. procerum*, *O. huntii*, *O. synnemaradiata*를 분리한 적이 있는데, 소나무와 잣나무로부터는 오직 *Leptographium* sp.만 분리되는 것으로 보아 3종의 *Leptographium* 불완전 세대의 균들은 라디에타소나무의 원산지나 운송도중 미리 감염되어 도입된 것으로 볼 수 있다. 이러한 균들이 언제 소나무 및 잣나무에 전염되어 얼마나 심한 변색을

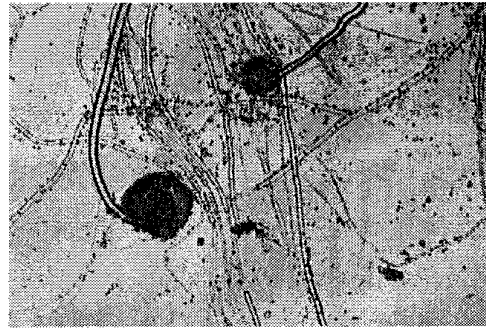
야기할지는 예측할 수 없으므로 이에 대한 대책마련도 시급한 실정이다. 목재에 깊은 변색을 야기하지 않는 Piceae complex group의 경우, *O. piceae*와 *O. floccosum*은 두 수종에서 모두 분리되었으나 *P. fragrans*는 소나무 원목에서만, 그리고 *O. quercus*는 잣나무 원목에서만 분리되었다. 소나무와 잣나무에서 분리된 Piceae complex group은 라디에타소나무 원목에서 분리되었던 *P. fragrans*를 제외하고는 모두 분리된 적이 있다(김, 2001). 분생자병속의 분생포자형성세포 침단까지 진한 갈색을 띠는 *O. setosum*은 Piceae complex group중 동정이 가장 쉬운 것으로 알려진 라디에타소나무에서만 분리되었으며, 이 균은 북미에서도 흔히 분리되는 균으로 알려져 있다(Uzunovic *et al.*, 2001). 실제로 목재 내 깊은 변색을 야기하는 Ophiostomatoid 균들 소나무에 비하여 잣나무 원목 및 제재목에서 월등하게 높은 분리빈도를 보였다. 심지어 제재직후 분리된 균에서조차 Ophiostomatoid 균들의 분리빈도가 매우 높아 잣나무 변재변색의 심각성을 알 수 있었다.

이상의 내용에서 알 수 있듯이 소나무와 잣나무간에 주요 변색원인균의 종류와 분리빈도에 있어서 상당한 차이가 있음을 알 수 있었다. 특히 목재 내 변재변색의 원인이 되는 Ophiostomatoid 분리빈도의 차이가 크게 나타났다. 이는 변색원인균의 지리적인 분포 차이 및 영양원 차이에 따른 균의 수종 선호도 차이에서 비롯되었다고 사료된다. 그리고 실제 매개충에 의해 감염되는 것으로 알려진 균들의 경우 이와 같은 매개충의 수종 선호도 또한 간과할 수 없을 것이다. 본 연구에서 얻은 이러한 결과와 방미제 효력이 방제 대상 수종과 변색원인균의 조합에 따라 차이가 있다는 그간의 연구 결과들(Miller and Morrell, 1989, 1990; Miller *et al.*, 1990; Tsunoda and Nishimoto, 1985; Kim *et al.*, 1999; Kim *et al.*, 2002)을 종합해 볼 때, 소나무와 잣나무에 대한 변색 방제전략이 상이하게 적용되어야 할 것으로 사료된다.

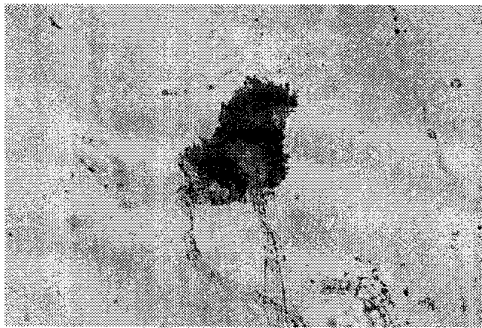
소나무 및 잣나무 원목 및 제재목에서 분리된 변색원인균의 현미경 사진을 molds, black yeasts, dark molds, ophiostomatoid fungi 별로 Figure 8, 9, 10, 11에 보여준다.



Aspergillus fumigatus (×200)



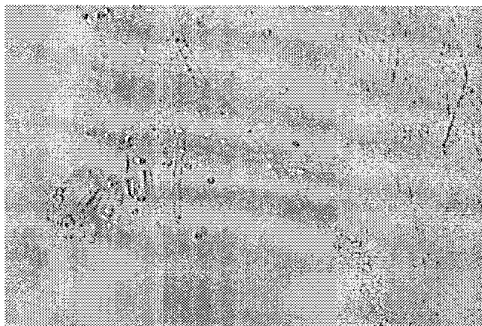
Aspergillus niger (×200)



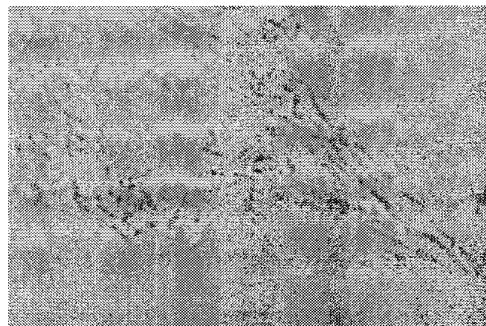
Gliocladium roseum (×200)



Gliocladium viride (×100)

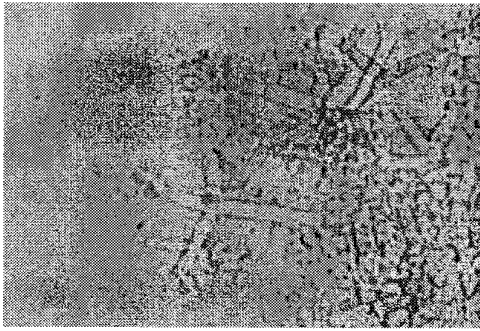


Penicillium sp. (×400)

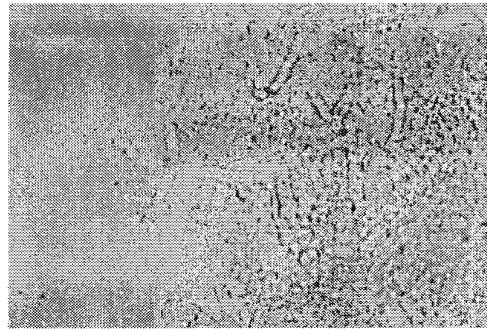


Trichoderma aureoviride (×400)

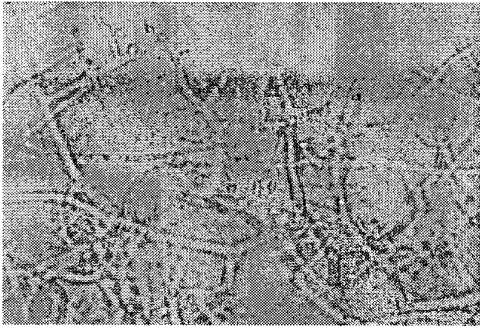
Figure 8. Photomicrographs of molds isolated from logs and lumber of Japanese red pine and Korean pine logs.



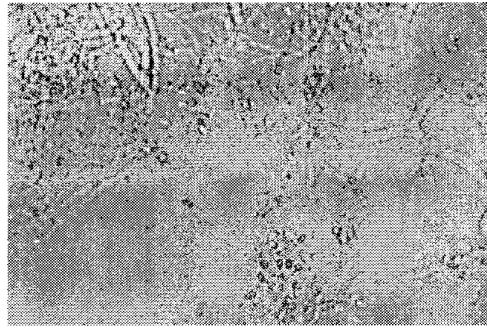
Trichoderma hamatum (×400)



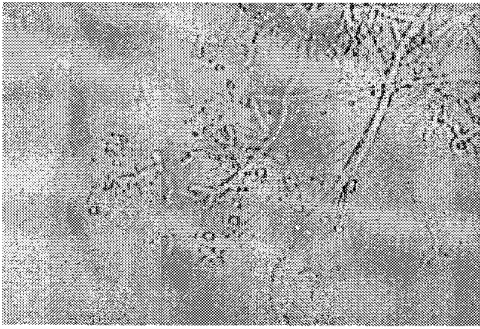
Trichoderma harzianum (×400)



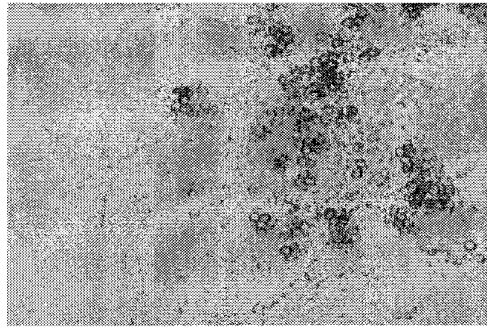
Trichoderma longibrachiatum (×400)



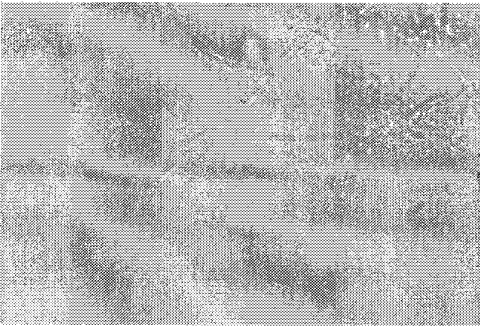
Trichoderma pseudokoningii (×400)



Trichoderma viride (×400)



Unidentified *Trichoderma* sp. (×400)

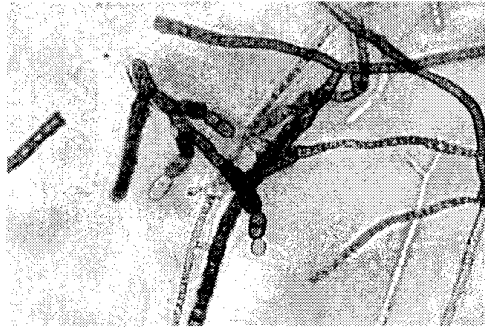


Verticillium albo-atrum (×400)

Figure 8. Continued.



Aureobasidium pullulans (×200)



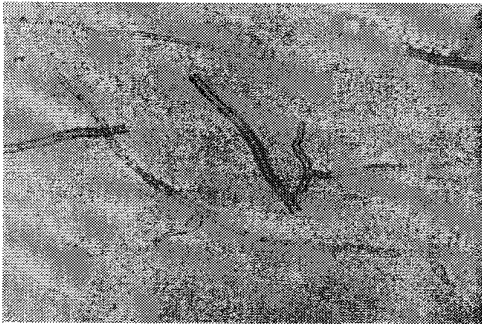
Bispora betulina (×400)



Cytospora sp. (×400)



Exophiala sp. (×400)

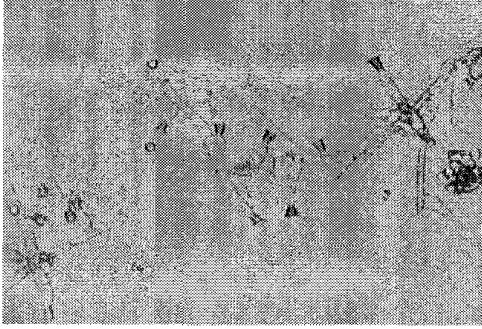


Phialophora bubakii (×400)

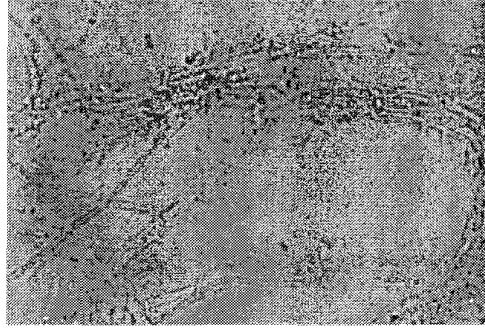


Phialophora fastigiata (×600)

Figure 9. Photomicrographs of black yeasts isolated from logs and lumber of Japanese red pine and Korean pine logs.



Phialophora richardsiae (×400)

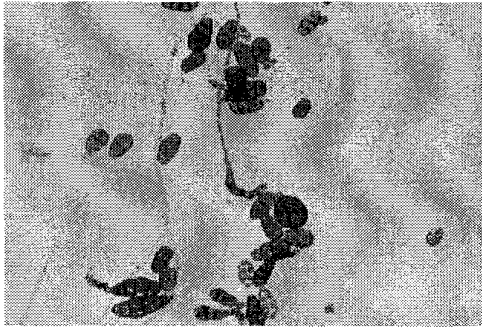


Phialophora sp. (×200)

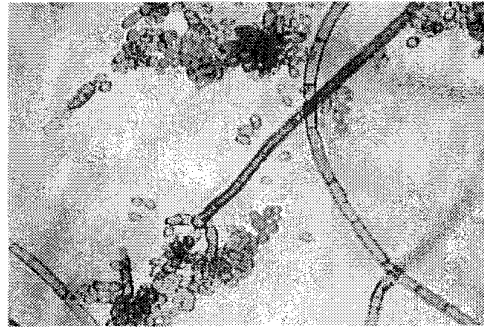


Rhinocladiella atrovirens (×600)

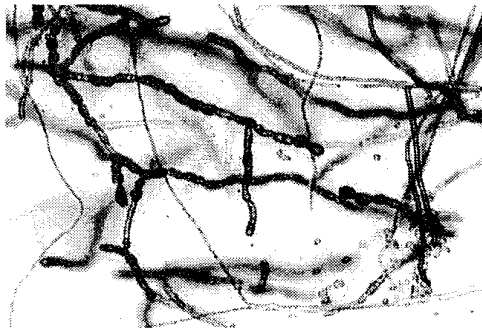
Figure 9. Continued.



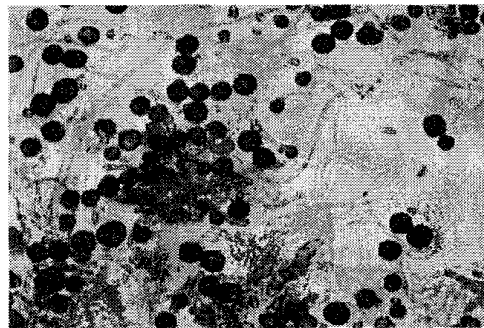
Alternaria alternata (×300)



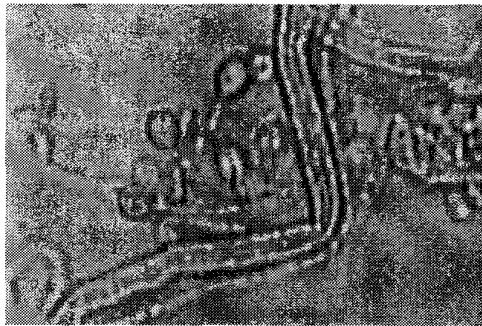
Cladosporium cladosporioides (×300)



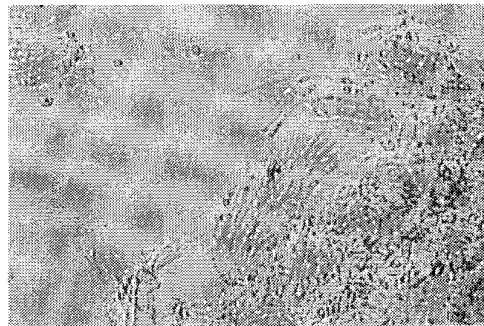
Cladosporium resine (×200)



Epicoccum purpurascens (×300)

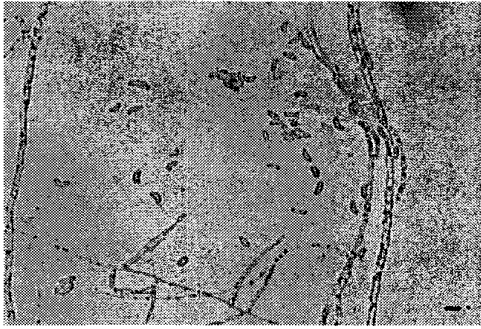


Paecilomyces sp. (×400)

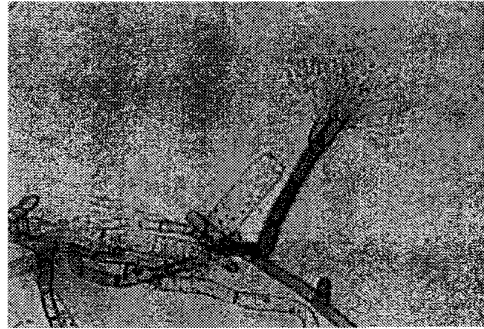


Paecilomyces variotii (×200)

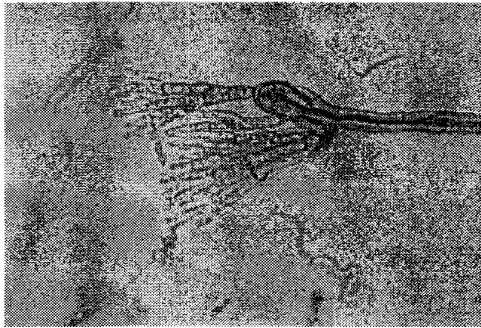
Figure 10. Photomicrographs of dark molds isolated from logs and lumber of Japanese red pine and Korean pine logs.



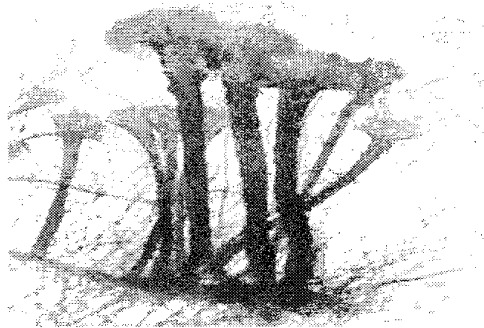
Acremonium sp. (×200)



Leptographium sp. (×400)



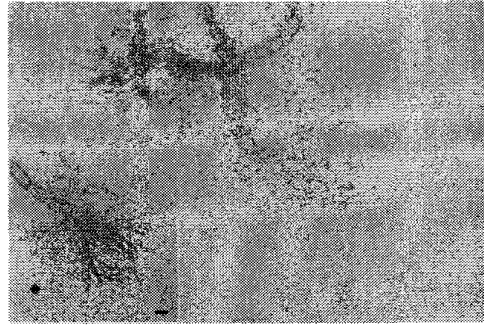
Ophiostoma badiilignum (×400)



Ophiostoma floccosum (×400)

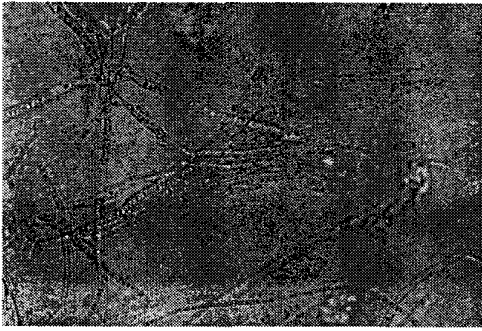


Ophiostoma huntii like (×400)

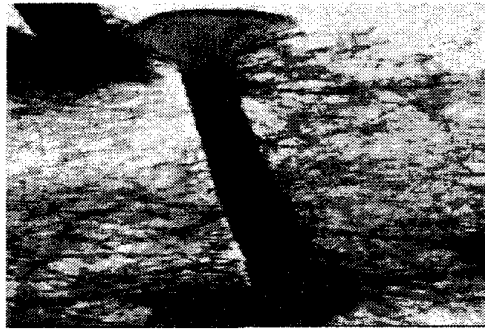


Ophiostoma sp. (×200)

Figure 11. Photomicrographs of ophiostomatoid fungi isolated from logs and lumber of Japanese red pine and Korean pine logs.



Ophiostoma minutum like (×200)



Ophiostoma piceae (×100)



Ophiostoma piliferum (×400)



Ophiostoma quercus (×400)

Figure 11. Continued.

2. 변색방제 기술 개발

가. 서론

소비자들이 변색된 목재의 구매를 기피하는 관계로 목재변색의 방제는 목재업계에서 볼 때 경제적으로 매우 중요한 사항이다. 목재의 건조를 천연건조에 의존하는 국내 실정을 고려할 때 변색원인균의 가해를 방제하기 위해서는 제재 직후 방미처리를 실시함이 필요하다. 세계 여러 나라에서는 이미 오래 전부터 이러한 방법을 사용하여 변색방제를 실시하고 있으나, 국내의 경우는 몇몇 방미처리 업체에서 수출용 목재에 대해 방미처리하는 것을 제외하고는 방미처리가 거의 전무한 실정이다.

최근 가구부재, 내장재 등 특수목 용도로의 목재 소비량 증가와 더불어 목재의 미적가치가 중요시되면서 국내에서도 생물학적 변색방제에 대한 필요성이 크게 대두되고 있으나 아직까지 국내에서의 방미처리는 극히 미미한 실정이다. 일단 대부분의 국내 제재소들이 영세할 뿐만 아니라 방미처리를 하고 싶어도 방미제에 대한 정보나 방미처리에 대한 자료가 거의 없고, 방미처리시 처리재의 가격상승으로 인한 판매부진이 우려되는 등 여러 가지 문제점들이 산재되어 있다.

상기한 문제점들을 해결하기 위해서는 시판 방미제의 방미효력 평가 및 방미제의 적정 처리농도 등에 관한 기초자료를 구축하고 방미처리재의 가격을 하락시킬 수 있는 제반 방안을 강구해야 한다. 우선 방미제의 효력이 변색원인균과 방제대상 수종의 조합에 따라 상이하기 때문에(Miller and Morrell, 1989, 1990; Miller *et al.*, 1990; Tsunoda and Nishimoto, 1985; Kim *et al.*, 1999) 방미효력 평가는 방제대상 수종으로부터 분리된 변색원인균을 대상으로 실시되어야 한다.

따라서 변색원인균의 가해를 예방할 수 있는 시판 방미제의 적정 처리농도를 변색 소나무 및 잣나무 원목과 제재목에서 분리된 주요 변색원인균을 공시균으로 사용한 실험실 실험을 통해 결정하고, 방미제의 실제 방미효력을 검증하기 위하여 변색원인균의 가해가 가장 활발한 여름철에 실대 크기의 판재를 이용한 야외 폭로시험을 경북 봉화산림조합 목재집하장(소나무)과 경기 가평산림조합 목재집하장(잣나무)에서 실시하였다.

나. 재료 및 방법

1) 변색 예민도 실험

가) 포자현탁액의 준비

변색된 소나무와 잣나무 제재목으로부터 분리된 대표적인 변재변색균과 표면오염균을 2% malt extract agar(MEA) 배지에 접종하여 petri dish 내에서 균사의 성장속도의 차이에 따라 약 1~2주간 배양하였다. 그 후 각 공시균들이 왕성하게 자라고 있는 petri dish에 멸균 증류수를 넣은 후 고무막대로 배지 표면을 가볍게 긁어줌에 의해 포자 및 균사 조각을 멸균수내로 유리시켜 petri dish에서 채취된 현탁액을 용기에 모아 접종용 포자 현탁액을 준비하였다. 소나무의 경우는 *Acremonium killiens*, *Alternaria alternata*, *Cladosporium cladosporioides*, *Cladosporium resine*, *Fusarium* sp., *Gliocladium viride*, *Leptographium floccosum*, *Leptographium* sp., *Monocillium indicum*, *Ophiostoma piliferum*, *Penicillium* spp., *Ophiostoma badiilignum*, *Phialophora fastigiata*, *Phoma betae*, *Rhinoctadiella atrovirens*, *Trichoderma* spp., 잣나무의 경우는 *Alternaria alternata*, *Cladosporium cladosporioides*, *Gliocladium viride*, *Leptographium* sp., *Monocillium indicum*, *Ophiostoma floccosum*, *Ophiostoma piliferum*, *Penicillium* spp., *Phoma betae*, *Rhinoctadiella atrovirens*, *Trichoderma* spp.가 각각 공시균으로 사용되었다.

나) 목재시편의 준비

무변색의 생재 소나무 및 잣나무 변재부 판재로부터 각각 5mm(두께)×10mm(폭)×50mm(길이) 크기의 시편을 필요량 준비하여 ethylene oxide gas로 멸균하였다.

다) 포자 현탁액의 접종 및 배양

바닥에 filter paper 5장씩 깔고 그 위에 U자형의 유리막대를 위치시킨 유리 petri dish에 일정량의 증류수를 첨가한 후 고압멸균기(autoclave)를 이용하여

121℃ 온도로 30분간 멸균한 뒤, 변색 예민도 실험용 배양용기로 사용하였다. 멸균된 소나무 및 잣나무 목재시편을 위의 가)항에서 준비된 포자 및 균사현탁액에 30초간 침지하여 시편 표면에 포자 및 균사의 착상을 도모한 뒤 준비된 유리 petri dish 내의 U자형 유리막대 위에 올려놓은 후, 유리 petri dish 의 수분손실을 막기 위하여 parafilm으로 밀봉하여 25℃에서 배양하였다(Figure 12).

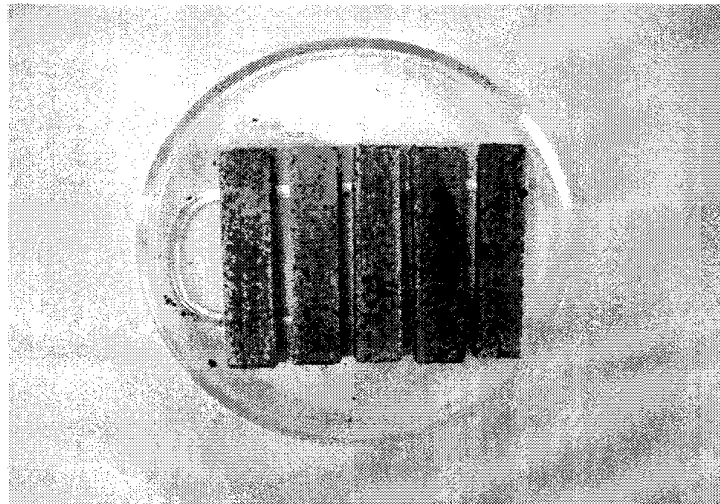


Figure 12. View of stain-susceptibility test on *Pinus densiflora* using *Cladosporium resiniae*.

라) 변색정도의 평가

시편 표면의 변색정도는 2, 4, 6주의 배양기간마다 목측에 의하여 평가하였는데, 시편의 상부 표면에 대한 변색 면적의 백분율로 계산하여 Table 9에서 보여주는 평가 기준을 적용하였다.

Table 9. Rating scale of stain used in this study.*¹

Rating	Degree of damage
0	no stain
10	minor stain or mold(<5% coverage)
20	stain increasing (10~15% coverage)
30	15~20% coverage
40	20~30% coverage
50	30~50% coverage
60	50~60% coverage
70	60~75% coverage
80	75~90% coverage
90	Heavy stain, all surfaces (90~95% stain coverage)
100	Severe stain, some decay maybe also be evident

*¹ Source : Miller and Morrell (1990)

2) 실험실 규모의 실험을 통한 사용 가능 방미제의 선정

가) 목재시편의 준비

무변색의 생재 소나무 및 잣나무 변재부 판재로부터 각각 7mm(두께)×20mm(폭)×70mm(길이) 크기의 시편을 필요량 준비하여 ethylene oxide gas로 멸균하였다.

나) 시편의 약제처리

준비된 각각의 소나무와 잣나무 시편을 준비된 방미제 수용액에 60초간 침지한 후 방미제 유효성분의 표면 부착을 위하여 접종용 포자 및 균사 현탁액을 분무하기까지 2분간 방치하였다. 방미처리는 Table 10에 제시된 총 6종류의 방미제에 대하여 6가지 농도별로 조제된 방미제 수용액으로 처리하였는데, 방미제와 처리 농도 조합별로 7개의 시편을 사용하였으며, 멸균된 증류수에 침지된 시편을 대조구로 사용되었다.

Table 10. Fungicides tested as anti-stain chemicals in Japanese red pine and Korean pine, and the concentrations used in laboratory tests.¹⁾

Fungicide	Chemical name	a.i.* ¹ (%)	Concentration used in lab test (% total a.i.)					
			1	2	3	4	5	6
A	Sodium ortho-phenylphenate tetrahydrate	32.60	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
B	Didecyl dimethyl ammonium chloride	46.25	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	4.00
	Propiconazole	4.90						
C	Ortho phenylphenate	10~20	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00
	Carbendazim (Benomyl)	2~10						
	Iodocarb	2~10						
D	Carbendazim (Benomyl)	≥10	0.08	0.13	0.25	0.50	0.75	1.00
	Copper-8-hydroxyquinolate	≥10						
E	Didecyl dimethyl ammonium chloride	64.34	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	2.00
	3-iodo-2-propynyl butyl carbamate	7.55						
F	3-iodo-propynyl-butyl carbamate	15.00	0.13	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25

*¹ a.i. = active ingredient

다) 균 접종 및 배양

바닥에 filter paper 5장씩을 깔고 그 위에 plastic mesh를 위치시켜 시편과 수분과의 직접 접촉을 방지한 뒤, 일정량의 증류수를 첨가한 aluminum fan 위에 방미처리 시편을 위치시키고 미리 준비된 포자 및 균사현탁액을 spray 용기에 넣은 후 분무하여 균을 접종하고 25℃에서 6주간 배양하였다. 각각의 시편들은 대조구인 증류수 처리구에 균사가 성장하여 표면을 완전히 덮을 때까지 1주일마다 재분무하였다(Figure 13).

1) 본 연구의 결과가 상업적으로 오용될 우려가 있기 때문에 본 보고서에서는 연구에 사용된 방미제의 상품명을 명시할 수 없음을 양해바랍니다. 만일 상업용을 제외한 연구 등의 목적으로 상품명에 필요한 분이 계시면 연락(02-3290-3014)을 주시면 연구책임자가 판단하여 개인적으로 알려드리겠습니다.

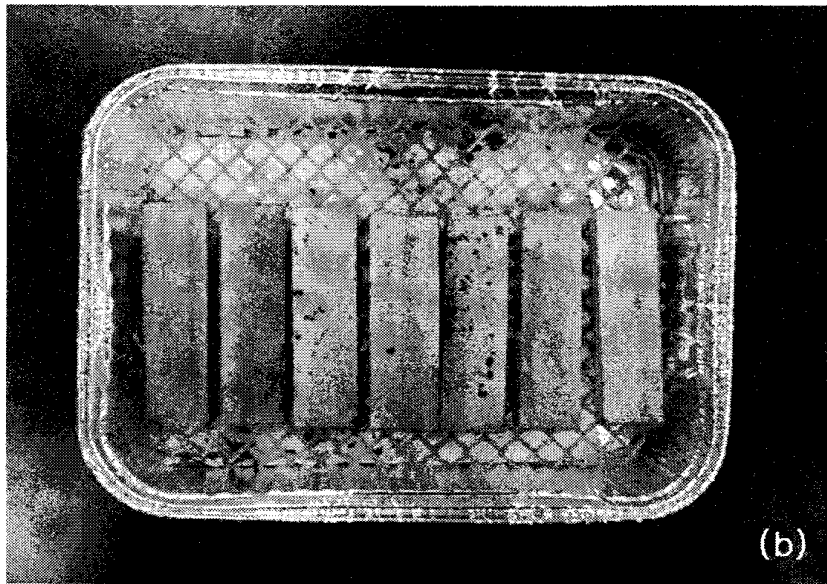
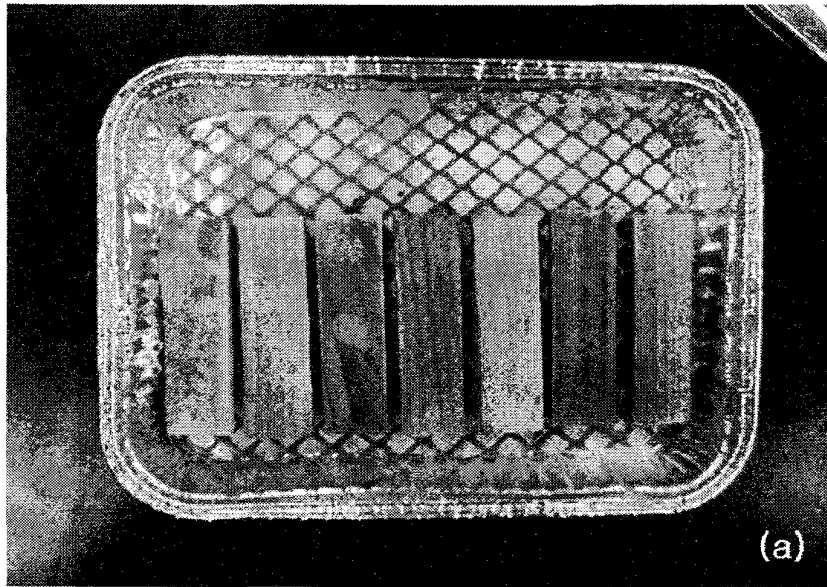


Figure 13. View of small-scale laboratory tests; (a) Japanese red pine control and (b) Korean pine control.

라) 변색정도의 평가

변색정도의 평가는 1)항의 변색예민도 실험에서 적용된 평가방법을 적용하였다.

3) 야외 폭로시험을 통한 방미제의 적정 처리농도 결정

가) 목재시편의 준비

경상북도 봉화군 산림조합 목재집하장에 집하된 무변색 소나무 원목과 경기도 가평군 산림조합 목재집하장에 집하된 무변색 잣나무 원목으로부터 2.5cm(두께)×8cm(폭)×90cm(길이)인 시편을 제재하여 옹이, 수지구, 육안으로 변색부위가 보이지 않는 100% 변재 혹은 적어도 넓은 한 재면이 변재부 100%인 시편을 골라 공시시편으로 선정하였다. 또한 야외 폭로시험을 변색원인균의 활동이 왕성한 여름철에 수행하기 위하여 선정된 공시시편은 시험 직전까지 비닐로 완전 밀봉한 후 저온저장고(0~1℃)에 보관하였다

나) 시편의 약제처리 및 야외폭로

방미처리는 실험실 규모의 시험을 통해 소나무 및 잣나무 변색방제용으로 사용이 가능하다고 판단된 방미제에 대하여 4개의 농도로 처리하였는데, 방미제와 처리농도 조합별로 20개의 시편을 사용하였다. 공시시편을 방미제 수용액에 3분간 침지한 후, 각 판재들은 폭으로 5개, 높이 4개의 층으로 block-stack 하였다. 단, 무처리 판재는 대조구로 사용되었다. 또한 block-stack된 pile의 맨 윗층에는 수분손실과 강우에 의한 약제의 씻겨짐(wash out)을 예방하기 위해 무처리 판재를 덮고 그 위에 다시 polyethylene vinyl로 덮어 두었다(Figure 14). 약제처리가 완료된 소나무 및 잣나무 판재는 각각 봉화군 및 가평군 산림조합 목재집하장 인근에 야외 폭로하였다. 본 야외폭로 시험은 2002년 6월 말에서 8월말까지 수행되었으며, 폭로기간동안 평균온도, 상대습도, 총강수량은 봉화지역 23.4℃, 72.3%, 835.5mm, 그리고 가평지역 23.1℃, 76.0%, 775mm으로 각각 조사되었다(기상청, 2002).

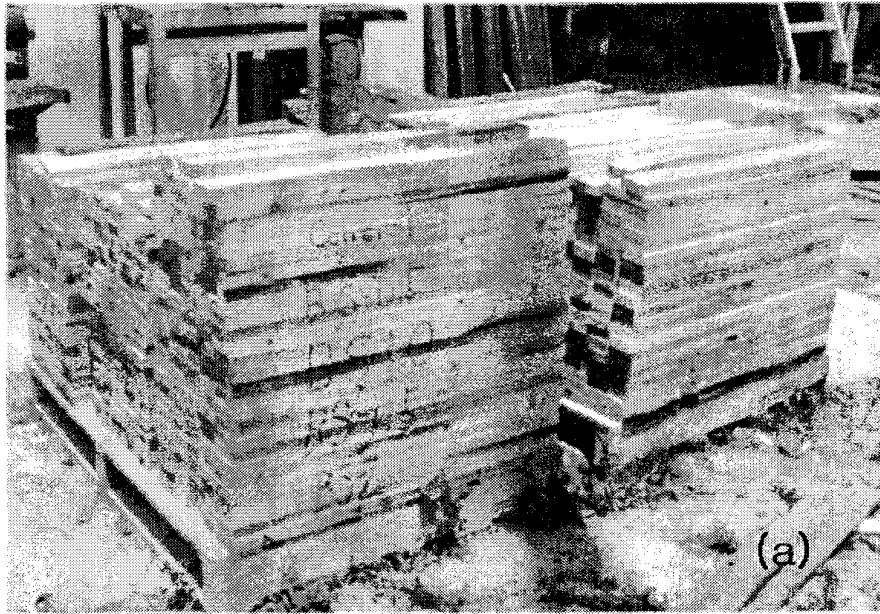


Figure 14. Field trial of fungicide; (a) Japanese red pine in Bongwha; and (b) Korean pine in Gapyoung.

다) 변색정도의 평가

변색정도의 평가는 1)항의 변색예민도 실험에서 적용된 평가방법과 동일한 방법을 적용하였다.

다. 결과 및 고찰

1) 변색 예민도 실험

사용된 공시균에 의한 소나무와 잣나무 변재의 변색정도를 Table 11에 제시하였다. 균에 의한 변색정도는 균의 생장의 성장속도에 따른 차이는 존재하나, 일반적으로 배양기간이 증가할수록 더욱 악화되었다. 소나무에 대해서는 *Alternaria alternata*, *Leptographium* sp., *Ophiostoma floccosum*, *Ophiostoma piliferum*, *Penicillium* spp, *Rhinoctadiella atrovirens*가 우세한 변색능력을 가진 것으로 나타났으며, 잣나무에 대해서는 *Alternaria alternata*, *Cladosporium cladosporioides*, *Leptographium* sp., *Ophiostoma floccosum*, *Ophiostoma piliferum*, *Penicillium* spp., *Phoma betae*가 우세한 변색능력을 보여 소나무 및 잣나무 각각에 대하여 상기 균류에 의한 변색이 주요함을 제시하고 있다. 특히, *Alternaria alternata*, *Leptographium* sp., *Ophiostoma floccosum*, *Ophiostoma piliferum*, *Penicillium* spp.의 가해능력은 소나무와 잣나무에 대하여 모두 배양 2주만에 변색정도가 95%를 상회할 정도로 우수하였으며, 4주 배양후에는 변색을 100%를 보여 이들이 가장 주요한 방제 대상균임을 알수 있다. 그러나 *Trichoderma* spp.는 소나무에 대하여는 배양 6주동안 60% 이상을 변색시키나 잣나무의 경우에는 동일 배양기간동안 10% 이하로 변색시켜 수종에 따른 변색을 차이를 보였는데, 이러한 차이는 균 종에 따른 수종 선호도 차이에 기인한다고 사료된다. *Penicillium* 속은 목재 시험편의 표면 전체에 대하여 유색포자를 형성한 반면에, *Trichoderma* 속은 표면 군데군데 분산되게 유색포자를 형성하였다. 소나무에서 *Acremonium killiens*와 잣나무에서 *Monocillium indicum*, *Rhinoctadiella atrovirens*는 전혀 변색을 야기하지 않았는데, 이는 목재 시험편에 균사의 착상이 완벽하게 이루어지지 않은 실험상의 오류로 판단된다. 위와 같은

결과들은 소나무 및 잣나무의 변재는 균에 의한 변색에 매우 민감하며, 제재 직 후 목재를 곧바로 열기건조를 실시하지 않는 경우에는 적절한 변색 방지용 방미 처리를 실시하여야 한다는 결론에 도달하게 된다.

Table 11. The degree of discoloration of untreated Japanese red pine and Korean pine sapwood exposed to pure cultures of sapstain and mold fungi isolated from each stained Japanese red pine and Korean pine lumber.

Fungus	Incubation period (weeks)					
	Japanese red pine			Korean pine		
	2	4	6	2	4	6
<i>Acremonium killiens</i> (O)* ¹	0.0	0.0	0.0	---	---	---
<i>Alternaria alternata</i> (D)	84.5* ²	100.0	100.0	96.3	100.0	100.0
<i>Cladosporium cladosporioides</i> (D)	---* ³	---	---	99.2	100.0	100.0
<i>Cladosporium resine</i> (D)	100.0	100.0	100.0	---	---	---
<i>Fusarium</i> sp. (U)	5.3	5.3	6.7	---	---	---
<i>Gliocladium viride</i> (M)	96.0	100.0	100.0	71.7	82.0	86.3
<i>Graphium putredinis</i> (O)	95.7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
<i>Leptographium</i> sp. (O)	96.3	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
<i>Monocillium indicum</i> (U)	---	---	---	0.0	0.0	0.0
<i>Ophiostoma badiilignum</i> (O)	97.0	100.0	100.0	---	---	---
<i>Ophiostoma piliferum</i> (O)	92.3	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
<i>Penicillium</i> spp. (M)	94.3	99.0	100.0	95.0	100.0	100.0
<i>Phialophora fastigiata</i> (B)	78.0	98.0	100.0	---	---	---
<i>Phoma betae</i> (D)	---	---	---	84.0	99.3	100.0
<i>Rhinoclatiella atrovirens</i> (B)	94.3	98.7	100.0	0.0	0.0	0.0
<i>Trichoderma</i> spp. (M)	34.7	49.3	62.5	5.0	9.0	9.3

*¹ M, B, D, O, and U represent molds, black yeasts, dark molds, ophiostomatoid fungi, and fungi of unknown significance, respectively.

*² The degree of discoloration is based on ratings from 0 (no stain) to 100 (completely stained); values are means of 15 replications per fungus

*³ Fungus is not applied.

2) 실험실 규모의 실험을 통한 사용 가능 방미제의 선정

Table 12에서는 본 실험에 사용된 6종의 방미제 종류 및 농도 조합에 따른 변색정도를 제시하였는데, 방미제의 종류에 관계없이 변색정도가 20 또는 그 이하인 처리농도를 잠정적으로 변색 방제에 유효한 적정 처리농도로 판정하였다. 6주간의 실험실 규모의 방미효력 실험 결과, 모든 방미제가 적어도 한 처리농도 이상에서는 변색원인균(변재변색균 및 표면오염균)의 방제에 효과적임을 알 수 있었다. 소나무의 경우, 방미제 D는 매우 낮은 처리농도(0.13%)에서도 방미효력이 탁월한 것으로 나타났으며 방미제 A와 B 역시 각각 2.0% 및 1.5% 이상의 농도에서도 우수한 방미효력을 발휘하였다. 나머지 방미제들도 처리농도 1.0~2.0% 수준에서 인정할 수 있는 방미효력을 보였다. 이상의 결과로부터 공시 방미제 6종 전부가 소나무 제재목의 변색방제용 방미제로 사용이 가능하다고 판단되었다. 잣나무의 경우, 방미제 B와 E가 최저 처리농도에서도 매우 효과적인 방미효력을 나타내었다. 나머지 방미제들도 균변색에 대하여 다양한 정도의 방미효력을 나타내었다. 방미제 C와 D는 약 1.0 % 또는 그 이상에서 균변색에 대해 어느정도 인정할 수 있는 방미효력을 보여주었다. 방미제 A와 F는 각각 0.75% 및 3.0% 이상의 농도에서 효과적인 방미효력을 나타내었다. 방미제 F는 라디에타소나무의 경우 변재변색균 및 표면오염균에 대하여 전혀 방미효력을 나타내지 못했는데, 이는 방미제의 방미효력이 방제대상 수종에 따라 상이함을 보여준다(Tsunoda and Nishimoto, 1985). 오 등(1999)은 방미제 F가 라디에타소나무의 변재에 대하여 우수한 방미효력을 보인다고 보고한 바 있는데, 이는 실험에 사용된 대상균종에 따라 방미제의 방미효력이 다양함을 알 수 있다. 참고적으로 오 등은 공시균으로서 일본 방부협회에 규정되어 있는 *Aspergillus niger*, *Aureobasidium pullulans*, *Gliocladium virens*, *Penicillium funiculosum*, *Rhizopus stolonifer*를 사용하였다.

제재 직후 열기건조가 바로 실시되지 못하는 경우, 비록 짧은 기간이라 할지라도, 특히 여름의 장마철 고온다습한 조건을 고려하면 일반적으로 방미처리가 요구된다. 노출기간 2주 및 4주에 대하여 소나무의 경우 방미제 A, B, C, D 등이 비교적 낮은 농도에서 효과적이었다. 방미제 C는 0.5% 농도에서 단기간의 방제에

효과적이었으나 노출 4주째에는 방미효력이 감소되었고, 방미제 D는 매우 낮은 0.13% 농도에서도 6주간의 방제에 매우 효과적임을 알 수 있다. 반면 방미제 F의 경우 가장 높은 처리농도에서도 노출 6주기간동안 약 50%에 가까운 변색율을 보여 실제 처리시 더 높은 농도의 적용이 필요하리라 사료된다. 잣나무의 경우, 방미제 D는 모든 농도에서 2주간 방제효과가 있었으나 부가적으로 노출을 2주간 더 연장시킬 경우 방미효력은 감소하였다. 방미제 A는 2주 및 4주의 노출기간에 대하여 각각 1.0% 및 3.0%이상의 농도에서 효과적인 방미효력을 발휘하였으며, 또한 방미제 C는 2주 및 4주의 노출기간에 대하여 각각 0.5% 및 0.75%이상의 농도에서 효과적인 방미효력을 발휘하였다.

Table 12. Ability of selected chemicals to inhibit fungal stain of Japanese red pine and Korean pine sapwood in small-scale laboratory evaluations.

Fungicide	Conc.	Incubation period (weeks)					
		Japanese red pine			Korean pine		
		2	4	6	2	4	6
	(% total a.i.)* ¹	(stain rating)* ²					
Control	0.00	89.6	97.9	100.0	100.0	100.0	100.0
A	0.50	3.6	24.3	52.9	22.9	57.1	75.0
	0.75	1.4	5.7	27.1	37.1	76.4	82.9
	1.00	0.7	15.0	32.1	15.7	76.4	80.0
	2.00	0.0	0.0	0.0	12.1	24.3	34.3
	3.00	0.0	0.0	0.7	0.7	5.0	6.4
	4.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B	1.00	12.1	39.3	66.4	0.7	7.1	18.6
	1.50	0.0	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0
	2.00	0.0	2.1	9.3	0.0	0.0	0.0
	2.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	4.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C	0.25	20.0	60.7	83.6	26.4	71.4	93.6
	0.50	8.6	30.7	47.1	7.1	40.7	52.1
	0.75	0.0	9.3	30.7	0.0	8.6	28.6
	1.00	0.7	10.7	31.4	0.0	0.0	1.4
	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

¹ a.i. = active ingredient.

² Based on discoloration rating of 0(no stain) to 100(completely discolored). Each value represents the average of 20 replicates.

Table 12. Continued.

Fungicide	Conc.	Incubation period (weeks)					
		Japanese red pine			Korean pine		
		2	4	6	2	4	6
		(% total a.i.)* ¹			(stain rating)* ²		
D	0.08	20.7	27.9	37.1	7.1	30.0	64.3
	0.13	0.0	2.1	7.9	6.4	32.9	73.6
	0.25	0.0	0.0	0.0	0.7	10.7	40.7
	0.50	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	10.0
	0.75	0.0	0.0	0.0	0.0	8.6	32.9
	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4
E	0.50	22.1	50.0	65.0	0.7	2.9	7.9
	0.75	5.7	27.1	40.0	0.0	2.1	7.1
	1.00	5.0	42.1	48.6	0.0	0.0	2.1
	1.25	2.1	20.0	27.1	0.0	1.4	12.1
	1.50	2.1	16.4	36.4	0.0	0.0	0.0
	2.00	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0
F	0.13	55.0	85.0	92.9	0.0	4.3	70.0
	0.25	73.6	90.7	94.3	0.0	1.4	21.4
	0.50	20.7	70.7	81.4	0.0	0.0	17.9
	0.75	4.3	18.6	26.4	0.0	0.0	0.0
	1.00	3.6	7.9	17.9	0.0	0.0	0.0
	1.25	6.4	20.0	49.3	0.0	0.0	0.0

¹ a.i. = active ingredient.

² Based on discoloration rating of 0(no stain) to 100(completely discolored)
Each value represents the average of 20 replicates.

3) 야외 폭로시험을 통한 방미제의 적정 처리농도 결정

야외폭로시험에 사용된 방미제의 방미효력을 Table 13과 14에 나타내었으며, 방미제의 종류에 관계없이 변색정도가 20 또는 그 이하인 처리농도를 잠정적으로 변색 방제에 유효한 적정 처리농도로 판정하였다. 8주 야외노출결과, 소나무와 잣나무 무처리 대조구의 변색율이 약 85% 및 90%를 보여, 야외폭로시험이 진행되는 8주동안 균의 생장은 왕성하였음을 알 수 있다. 야외폭로 시험이 수행된 8주동안 소나무의 경우, 방미제 C와 D는 적용된 모든 처리농도에서 우수한 방미효력을 보였다. 또한 방미제 F 역시 적용된 최저농도(0.75%)를 제외하고는 뛰어난 방미효력을 나타내었다. 그러나 방미제 A와 B는 최고 처리농도에서도 각각 45% 및 55% 이상의 심한 변색정도를 보였다. 2주간의 단기간 변색방제를 목적으로 할 경우, 방미제 A와 E는 모든 처리농도에서 우수한 방미효력을 보였으나, 4주 이상의 장기간 방제를 위해서는 적용된 최고 처리농도(2%)보다 높은 농도로 처리되어야 할 것으로 사료되었다.

잣나무의 경우, 방미제 C와 D는 방미제 D의 최저 처리농도를 제외하고는 전반적으로 우수한 방미효력을 보여주었다. 그러나 방미제 F는 0.75% 이상의 농도를 제외하고는 변색정도가 50% 이상의 심한 변색율을 보였다. 또한 방미제 E의 유효성분중의 하나인 didecyldimethyl ammonium chloride(DDAC)는 매우 우수한 살균제이기 때문에 방미효력이 우수하여야 함에도 불구하고 동일한 DDAC를 유효성분으로 함유한 방미제 F와 비교시 방미제 E의 방미효력이 우수하지 못한 점은 의문을 남긴다. 김(2001)에 의하면 방미제 E와 F의 경우, 라디에타소나무 변재부의 최대침투깊이가 10일간의 확산기간동안 각각 25mm와 4mm이었다. 따라서 감소된 방미제 E의 방미효력은 방미제 F와 비교시 낮은 표면 보유량과 3-iodo-2-propynyl butylcarbamate의 낮은 농도에서 기인한다고 사료된다. 방미제 D와 같은 방미제가 실험실 규모보다 야외폭로시험에서 방미효력이 더 우수한 이유는 실험실과 야외의 균변색 조건이 다르기 때문인데, 이로부터 방미제의 실제효력 평가는 반드시 야외폭로시험에 의해 결정되어야 함을 말해준다고 할 수 있다.

단기간(2주)의 방제를 목적으로 할 경우, 방미제 A는 폭로 2주동안 모든 농도에서 유효한 방미효력을 보였으나 장기간 방제시에는 더욱 높은 농도가 적용되어야 하며, 방미제 F는 적용된 처리농도가 0.75%인 경우 2주 및 4주의 폭로기간동안 우수한 방미효력을 나타내었다.

Table 13. Ability of selected fungicides to inhibit fungal discoloration of Japanese red pine sapwood lumber in field test evaluations.

Fungicide	Concentration (% total a.i.) ¹	Exposure period		
		2 weeks	4 weeks	8 weeks
Control	0.00	53.8(20.3)	64.3(18.2)	84.5(12.8)
A	0.50	18.8(12.0)	36.5(20.8)	54.0(19.2)
	1.00	10.3(6.8)	35.0(16.3)	45.3(18.6)
	1.50	7.8(6.2)	38.5(20.8)	48.8(24.1)
	2.00	6.3(5.1)	32.0(18.3)	46.8(21.48)
	0.75	47.3(17.0)	62.0(13.6)	70.0(14.1)
B	1.00	36.8(17.2)	58.5(16.2)	64.0(20.0)
	1.25	32.5(11.9)	48.6(17.8)	56.5(22.5)
	1.50	26.3(13.2)	46.5(17.9)	55.5(22.5)
	0.75	9.3(4.7)	12.0(8.8)	16.3(11.2)
C	1.00	8.3(3.7)	8.8(9.0)	11.0(8.1)
	1.25	5.5(5.0)	9.5(6.3)	13.3(6.1)
	1.50	4.4(4.1)	9.3(5.9)	12.3(6.6)
D	0.13	13.5(8.0)	12.3(9.4)	18.0(10.8)
	0.25	10.8(4.7)	10.5(4.3)	9.8(6.0)
	0.50	8.3(4.4)	10.5(4.6)	9.8(5.8)
	0.75	6.5(3.3)	8.3(4.9)	7.5(5.0)
	1.25	18.0(6.4)	32.5(14.5)	37.3(19.2)
E	1.50	13.5(7.8)	29.3(17.3)	32.8(21.9)
	1.75	12.5(8.7)	25.5(13.7)	27.8(15.4)
	2.00	7.3(5.3)	22.5(14.7)	27.3(18.5)
	0.75	15.8(10.0)	32.0(18.5)	53.0(16.6)
F	1.00	4.5(3.9)	6.3(5.6)	8.0(3.8)
	1.25	2.3(2.6)	3.5(2.9)	5.3(6.0)
	1.50	5.5(4.6)	6.0(5.0)	9.5(8.3)

¹ a.i. = active ingredient.

² Based on discoloration rating of 0(no stain) to 100(completely discolored). Each value represents the average of 20 replicates(values in parentheses represent one standard deviation).

Table 14. Ability of selected fungicides to inhibit fungal discoloration of Korean pine sapwood lumber in field test evaluations.

Fungicide	Concentration (% total a.i.) ¹	Exposure period		
		2 weeks	4 weeks	8 weeks
Control	0.00	46.5(25.2)	66.8(17.7)	89.5(7.4)
A	1.50	11.3(9.6)	44.5(21.8)	51.8(23.5)
	2.00	6.8(4.7)	37.0(16.5)	50.0(19.3)
	2.50	8.0(7.7)	45.8(20.9)	61.5(19.3)
	3.00	4.0(4.8)	32.5(21.8)	39.8(26.3)
	0.75	21.5(17.2)	39.5(23.3)	66.8(20.7)
B	1.00	22.8(13.2)	43.0(25.3)	62.8(27.4)
	1.25	27.0(13.4)	48.3(25.0)	62.5(24.2)
	1.50	16.3(6.5)	33.8(17.8)	44.3(21.7)
	0.75	5.3(3.8)	13.5(7.5)	13.0(6.2)
C	1.00	6.3(4.3)	11.8(7.1)	16.3(9.0)
	1.25	5.3(3.0)	11.5(5.9)	14.0(8.8)
	1.50	6.0(3.5)	10.0(5.6)	11.0(5.3)
D	0.25	6.5(4.3)	12.0(10.1)	22.0(16.3)
	0.50	5.8(6.1)	7.8(5.7)	15.0(15.2)
	0.75	2.5(3.0)	5.0(4.0)	7.3(8.0)
	1.00	3.5(3.7)	7.3(5.5)	8.5(6.3)
E	0.25	47.5(20.0)	57.3(19.1)	68.5(18.2)
	0.50	46.8(23.0)	66.3(17.8)	76.5(16.9)
	0.75	40.0(25.9)	65.0(24.2)	73.3(23.1)
	1.00	23.5(13.1)	49.8(23.5)	59.8(23.9)
F	0.25	30.3(12.0)	50.5(23.5)	70.3(16.1)
	0.50	11.0(8.2)	27.0(14.4)	42.0(24.1)
	0.75	4.8(4.1)	12.3(6.4)	19.8(11.6)
	1.00	2.3(2.6)	5.3(4.4)	8.0(8.5)

¹ a.i. = active ingredient.

² Based on discoloration rating of 0(no stain) to 100(completely discolored). Each value represents the average of 20 replicates(values in parentheses represent one standard deviation).

3. 변색제거 기술 개발

가. 서론

목재의 생물학적 변색은 목재 자체의 역학적 성질을 거의 영향하지 않으나 목재 고유의 미적 가치를 상실시켜 목재업계에 막대한 경제적 손실을 초래하기 때문에 제재 직후 신속한 열기건조를 실시하거나, 또는 신속한 건조가 불가피한 경우에는 방미처리를 실시함에 의해 예방되어야 한다(Zabel and Morrell, 1992). 그러나 국내의 현실을 보면, 고가의 특수 제재목이나 화장단판을 제외하고는 변색 예방을 위한 어떠한 조치도 취하지 않기 때문에 상당량의 목재가 변색되어 저부가 용도, 예를 들어 건축가설재, 토류판, 일회용 파렛트용 목재 등으로 싸게 판매하고 있는 실정이다. 따라서 불가피하게 발생한 균 변색을 제거하여 목재 고유의 색상을 최대한 회복시켜줌으로서 제재목의 상품가치를 제고할 수 있는 변색제거 기술의 개발 및 보급이 시급한 실정이다.

일반적으로 변색은 화학약품을 이용한 표백에 의해 제거가 가능한 것으로 알려져 이에 대한 연구들이 일부 수행되었으며(Bounous and Carter, 1983; Hulme, 1975; Lee *et al.*, 1995), 국내에는 외국에서 수행된 연구결과가 일부 소개되는 정도에 그치고 있다(공, 1992). 참고로 변색제거 기술 개발에 대한 외국의 연구가 예상외로 많지 않은 이유는 변색방제가 제대로 되기 때문에 변색제거에 대한 필요성이 그 만큼 적기 때문이라 사료된다. 변색의 색은 원인균의 종류에 따라 상이할 뿐만 아니라 표백에 의한 재색의 회복 정도가 변색 목재의 수종에 따라 상이하기 때문에 외국의 연구결과를 국내 사용 수종에 그대로 적용하는 것은 문제가 있다고 본다. 따라서 변색제거 기술의 개발도 국내에서 문제가 되는 변색원인균과 사용 수종에 적합한 기술이어야 할 것이다.

본 연구는 국산 침엽수종 균 변색에 매우 예민한 소나무와 잣나무 제재목의 균 변색 제거기술을 개발하기 위하여 수행되었다. 실제 자연 상태에서 변색된 제재목의 변색 부위를 표백·제거할 수 있는 표백제 과산화수소의 농도와 최대 표백 효과를 발휘할 수 있는 이들의 처리조건, 즉 표백온도와 표백시간을 구명하였다.

나. 재료 및 방법

1) 변색시편의 준비

자연상태에서 심하게 변색된 소나무와 잣나무 변재부 제재목으로부터 5mm(두께) × 50mm(폭) × 50mm(길이)인 시편을 준비한 후, 색차계(Color Techno System, Co. Model: JP7200F)를 이용하여 각 시편의 표백 전 색도값(CIE L*a*b*)을 측정하였다.

2) 최적 표백처리조건의 결정

표백제로는 과산화수소가 사용되었는데, 활성제로서 규산나트륨과 수산화나트륨이 중량기준으로 1%와 0.5%씩 과산화수소 수용액에 첨가되었다. 최적 표백조건을 결정하기 위하여 반응표면분석법(response surface methodology; RSM) 기법 중의 하나인 중심합성계획법(central composite design; CCD)이 사용되었다. 본 실험에서는 2^3 factorial CCD가 최적 표백조건을 결정하기 위하여 사용되었으며, 이 분석법에 따라 15가지의 서로 다른 표백 조건에서 표백실험이 수행되었다(Table 15).

2^3 factorial CCD는 각각의 독립변수들이 -1, 0, 1의 세가지 값을 가지도록 변환한 다음 가장 중앙에 위치한 실험조건(0, 0, 0)으로부터 균등한 거리를 가지도록 각각의 실험조건을 선정하는 방법이다. 실험조건을 그래프로 표현할 경우 각 실험조건들은 중앙값으로부터 $\sqrt{2}$ 만큼 떨어진 거리에 위치하게 되는데, 정확히 $\sqrt{2}$ 의 거리만큼 떨어진 조건을 선정하기에 무리가 있기 때문에 일반적으로 1.5의 값이 사용된다. 본 연구에서는 온도조건 20, 40, 60°C, 표백제농도 2, 4, 6%, 표백시간 1, 2, 3 시간이 각각 -1, 0, 1의 값을 가지도록 변환되었으며 ± 1.5 에 위치한 조건으로 온도 10, 70°C, 표백제 농도 1, 7%, 표백시간 0.5, 3.5시간이 선정되었다. 참고로 최대 ± 2 까지 사용이 되며, 이 범위를 넘어서 실험조건이 선정될 경우 2^3 factorial CCD의 기하학적 구조상 최적 반응식의 정확성에 문제가 발생할 수 있다.

Table 15. Central composite design for extracting processes of Cr, Cu, and As from CCA treated wood.

	Actual factor values			Coded variables		
	Conc.	Temp.	Time	Conc.	Temp.	Time
1	2	20	1	-1	-1	-1
2	2	20	3	-1	-1	+1
3	2	60	1	-1	+1	-1
4	2	60	3	-1	+1	+1
5	6	20	1	+1	-1	-1
6	6	20	3	+1	-1	+1
7	6	60	1	+1	+1	-1
8	6	60	3	+1	+1	+1
9	4	40	2	0	0	0
10	1	40	2	-1.5	0	0
11	7	40	2	+1.5	0	0
12	4	10	2	0	-1.5	0
13	4	70	2	0	+1.5	0
14	4	40	0.5	0	0	-1.5
15	4	40	3.5	0	0	+1.5

3) 변색제거 정도 판정

일반적으로 표백에 의한 변색제거 정도는 식(1)에 의해 계산되는 변색시편의 표백 후 백색도(whiteness: W)와 무변색 시편의 백색도를 비교함에 의해 판정한다. 그러나 표백에 의한 크로마틱 지수 a^* 와 b^* 의 변화가 일정하지 않은 관계로 표백에 의해 실제 변색이 제거된 경우에도 표백 후 백색도가 표백 전 백색도보다 낮은 경우가 나타나는 문제점이 발견되어 백색도를 이용한 변색제거 정도 판정은 불가능하였다. 또한 Lee 등(1995)이 사용한 식(2)에 의해 계산되는 백색도 역시 표백에 의한 크로마틱 지수인 b^* 의 변화가 일정하지 않은 관계로 백색도를 이용

한 변색제거 판정은 불가능하였다. 따라서 본 연구에서는 표백이 주로 목재의 명도를 영향하는 점에 착안하여 식(3)의 표백 전후 명도지수 L^* 의 차이(ΔL^*), 즉 표백에 의한 명도 개선정도에 의해 변색제거 정도를 판정하였다. 아래 공식은 백색도와 명도지수를 구하는 방법을 보여준다.

$$W = 100 - [(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

$$W = L^* - b^* \quad (2)$$

$$\Delta L^* = La^* - Lb^* \quad (3)$$

La^* : lightness measured after bleaching

Lb^* : lightness measured before bleaching

4) 자료분석

표백시간, 표백제농도, 표백온도에 따른 소나무와 잣나무 변색 제거에 미치는 영향을 분석하기 위하여 표백조건과 명도지수 차이(ΔL^*)간의 관계식을 도출하였다. 도출된 관계식으로부터 SAS/Graph software[®](SAS institute Inc., 1990)를 이용하여 response surface plot과 contour plot을 생성하였다.

다. 결과 및 고찰

규산나트륨과 수산화나트륨을 활성제로 첨가한 과산화수소를 사용하여 변색된 소나무와 잣나무의 변색제거 결과는 Table 16과 Table 17에서 볼 수 있다. 수종에 관계없이 표백시간과 반응온도가 증가함에 따라 명도지수는 개선되는 경향을 보였으며, 과산화수소 4% 용액을 사용할 때 명도지수의 개선정도가 가장 좋은 경향을 보였다.

표백조건(과산화수소 농도, 표백온도, 표백시간)이 변색된 소나무와 잣나무의 표백에 미치는 영향을 알아보기 위하여 표백 전후의 명도지수 차와 표백조건간의 관계식을 2^3 factorial CCD를 이용하여 도출하였다.

소나무: $y=8.16+0.68 x_1+4.31 x_2+3.76 x_3-1.91 x_1^2+1.61 x_2 x_3$
 $(R^2=0.94)$

잣나무: $y=6.46+0.51 x_1+3.95 x_2+3.30 x_3-0.80 x_1^2+1.97 x_2 x_3$
 $(R^2=0.94)$

where: y = change of lightness before/after bleaching, x_1 = coded concentration of hydrogen peroxide, x_2 = coded bleaching temperature, x_3 : coded bleaching time

Table 16. Change of lightness measured before/after bleaching of stained pine samples using hydrogen peroxide under the bleaching conditions set by 2^3 factorial CCD.

Conc. (%)	Temp. (°C)	Time (hrs)	Before bleaching			After bleaching			Change of lightness (ΔL)
			L*	a*	b*	L*	a*	b*	
2	20	1	63.40	0.48	10.04	61.64	0.49	11.62	-1.76
2	20	3	62.83	0.51	10.82	65.05	0.33	12.26	2.22
2	60	1	63.18	0.44	11.09	66.29	0.46	11.36	3.11
2	60	3	62.81	0.50	10.34	77.12	-1.10	17.92	14.31
6	20	1	64.05	0.52	10.97	63.23	0.47	12.83	0.82
6	20	3	63.11	0.37	10.83	66.01	0.54	11.66	2.90
6	60	1	63.24	0.52	11.25	68.19	0.40	14.24	4.95
6	60	3	64.02	0.48	10.49	78.33	-1.18	15.34	14.31
4	40	2	62.89	0.38	10.32	70.79	0.41	15.49	7.90
1	40	2	62.88	0.52	7.54	65.25	0.74	17.46	2.37
7	40	2	64.03	0.38	10.97	69.75	0.44	15.08	5.72
4	10	2	62.95	0.50	10.14	63.83	0.36	12.03	0.88
4	70	2	63.00	0.68	11.69	77.06	-0.65	18.88	14.06
4	40	0.5	64.01	0.60	10.69	64.15	0.72	11.60	0.14
4	40	3.5	62.77	0.54	10.94	75.39	-0.66	16.63	12.62

Table 17. Change of lightness measured before/after bleaching of stained Korean pine samples using hydrogen peroxide under the bleaching conditions set by 2^3 factorial CCD.

Conc. (%)	Temp. (°C)	Time (hrs)	Before bleaching			After bleaching			Change of lightness (ΔL)
			L*	a*	b*	L*	a*	b*	
2	20	1	66.24	0.73	12.22	67.70	0.61	12.21	1.46
2	20	3	63.70	0.76	10.88	67.26	0.60	12.83	3.56
2	60	1	65.53	0.60	12.50	68.28	-0.03	16.28	2.75
2	60	3	65.58	0.20	11.46	80.52	-1.84	15.32	14.94
6	20	1	66.15	0.75	12.55	67.65	0.49	11.38	1.50
6	20	3	65.48	0.60	11.70	69.18	0.65	13.32	3.70
6	60	1	66.77	0.76	11.89	73.22	-0.16	14.62	6.45
6	60	3	66.77	0.39	11.47	81.12	-1.66	14.01	14.35
4	40	2	63.57	0.71	11.59	69.73	0.86	14.16	6.16
1	40	2	64.51	0.89	12.55	68.33	0.38	16.00	3.82
7	40	2	65.97	0.68	11.21	71.87	0.30	15.98	5.90
4	10	2	66.66	0.77	12.74	63.87	0.59	11.39	-2.79
4	70	2	66.41	0.62	12.52	80.69	-1.18	16.32	14.28
4	40	0.5	65.24	1.10	12.86	66.92	0.66	11.14	1.68
4	40	3.5	63.68	1.11	11.80	76.60	-0.94	16.56	12.92

95% 신뢰수준에서 관계식이 도출되었으며, 표백제인 과산화수소 농도의 이차항 (x_1^2)에 의한 효과, 그리고 표백시간과 표백온도 사이($x_2 \cdot x_3$)에 상호작용이 있는 것으로 나타났다. 도출된 관계식의 상관계수(R^2)는 수종에 상관없이 0.94의 값을 보이기 때문에 도출된 관계식을 이용하여 표백조건에 따른 표백정도를 예측하는 것은 큰 문제가 없을 것으로 사료된다. 참고로 백색도 변화를 이용한 표백효과 판정은 식(1)과 (2)의 경우 각각 0.7과 0.5 정도로 나타나 식(3)의 명도지수 변화에 의한 판정 방법에 비하여 효과적이지 못함을 알 수 있었다. 이러한 결과는 명도지수가 표백에 의한 변색제거 정도를 판단하기 위한 가장 적절한 기준이라는

것을 보여준다. 계산의 편의를 위해 각각의 표백조건들이 ± 1.5 의 범위로 변환되어 있는 상기 공식을 실제의 실험조건으로 변환시키면 아래와 같다.

$$\text{소나무: } y = -10.54 + 4.16c + 0.055t + 0.54T - 0.48c^2 + 0.081tT \quad (R^2=0.94)$$

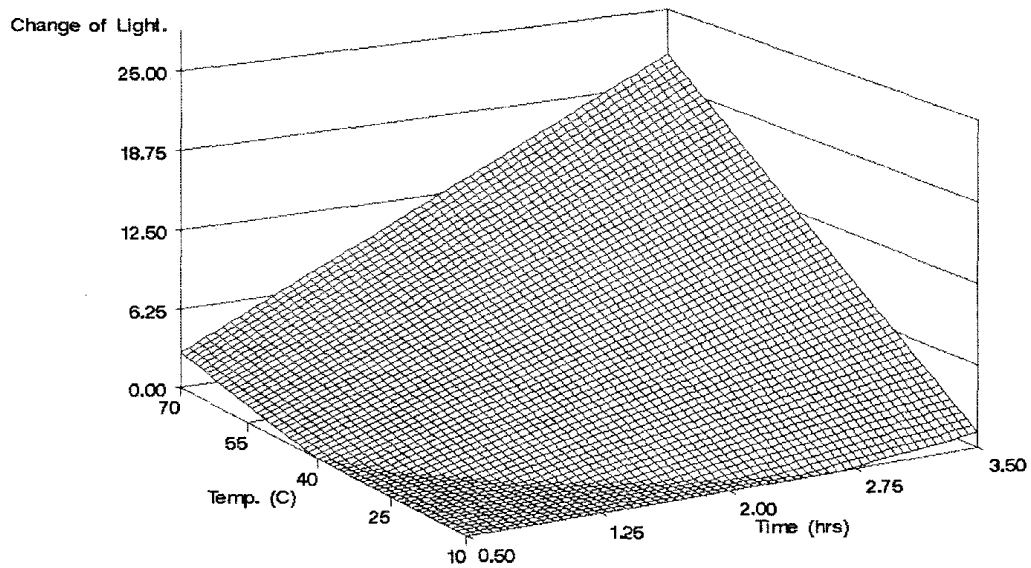
$$\text{잣나무: } y = -4.38 + 1.855c + 0.0005t - 0.64T - 0.2c^2 + 0.099tT \quad (R^2=0.94)$$

where : y = change of lightness before/after bleaching,
 c = coded concentration of hydrogen peroxide, t = coded
 bleaching temperature, T : coded bleaching time

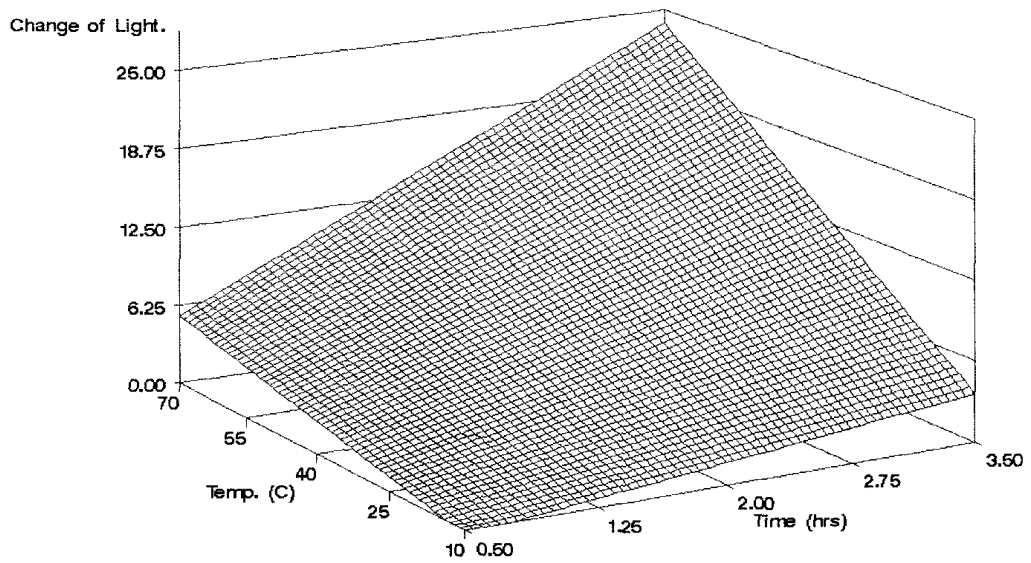
과산화수소의 농도를 일정하게 유지한 상태에서 표백조건(표백온도와 표백시간)과 표백전후의 명도지수 차이간의 관계는 Figure 15와 Figure 16에서 볼 수 있다. 수중에 관계없이 과산화수소 농도가 변색제거에 미치는 효과는 4%에서 가장 우수하였지만, 2%와 6%에서의 변색제거 정도와 비교시 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 계산된 공식으로부터 과산화수소 농도가 변색제거에 미치는 영향을 살펴보면 소나무와 잣나무의 경우 각각 일차항의 계수가 4.16, 1.855, 이차항의 계수가 -0.48, -0.2의 값을 보여 농도가 증가함에 따라 변색제거 효과는 과산화수소 농도 약 4~5%부터는 감소되어짐을 알 수 있다. 그러나 표백시간(T)과 표백온도(t)의 경우, 계수들이 전부 양수이기 때문에 시간과 온도가 증가함에 따라 표백효과, 즉 명도지수도 계속해서 증가하며 또한 시간과 온도의 상호작용($t \cdot T$)에 의한 효과가 존재하는 것으로 나타났다.

변색제거의 효과는 Figure 15와 Figure 16을 이차원 형태로 나타낸 등고선 그래프를 살펴볼 때 보다 명확해진다. Figure 17과 Figure 18은 과산화수소 농도를 각각 2, 4, 6%로 고정시켰을 때 표백시간과 표백온도의 효과를 나타내고 있는데, 시간과 온도가 증가함에 따라 명도지수는 계속 높아지는 것을 알 수 있다. 등고선 그래프는 수행된 실험의 최적 조건을 구하기 위하여 주로 사용된다. 예를 들어 원래의 재색이 명도지수 15의 값을 나타낸다고 할 때의 표백조건은 명도지수가 15임을 나타내는 등고선 상에서의 표백시간과 온도의 조합으로 구성될 수 있

으며, 또한 최적 표백조건은 온도를 상승시키는데 필요한 에너지의 효과를 감안할 때 가장 온도가 낮은 상태에서의 표백조건을 선택할 수 있을 것이다.

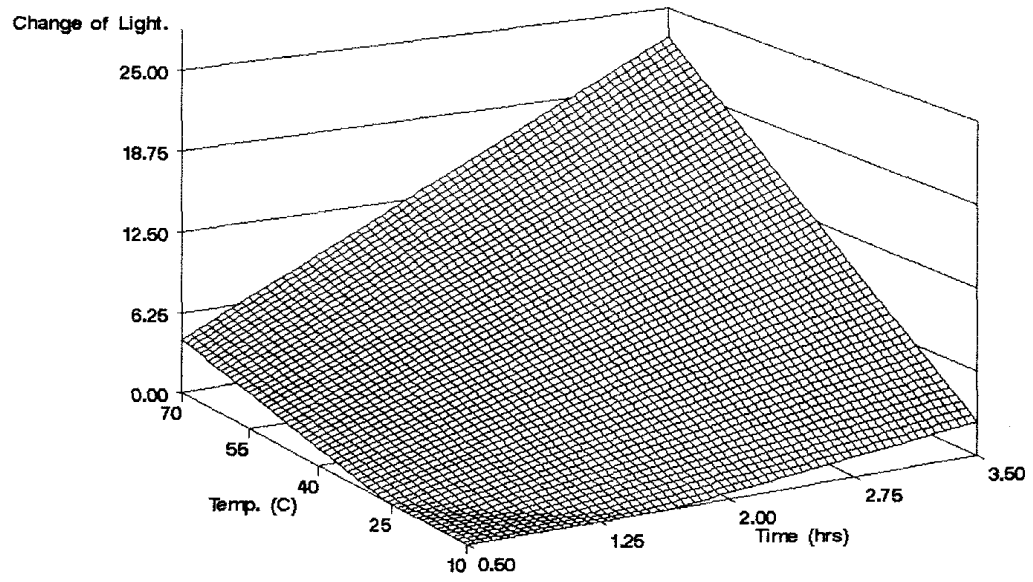


(A) 2%



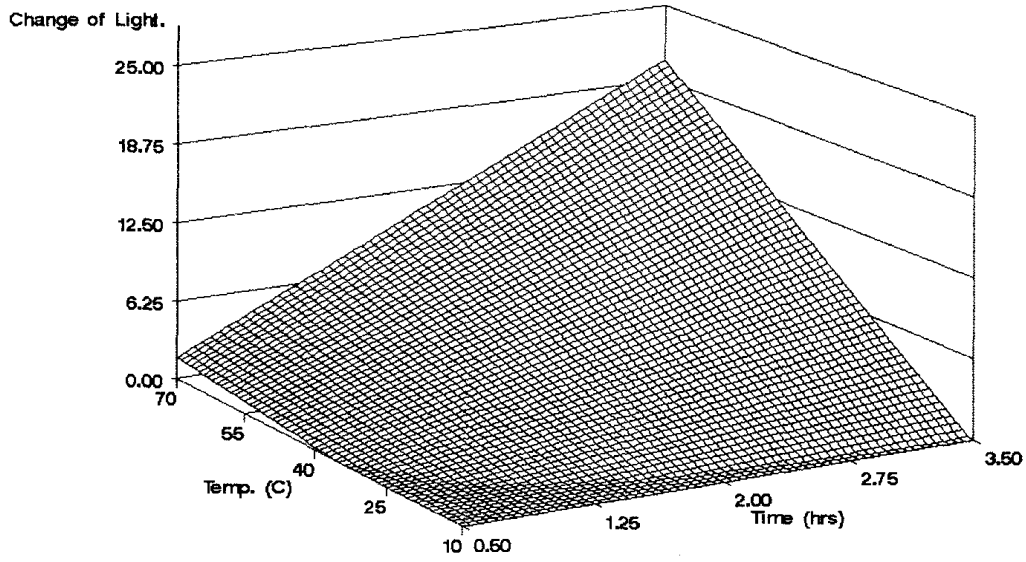
(B) 4%

Figure 15. 3D plot of change of lightness of the stained pine under various bleaching conditions.

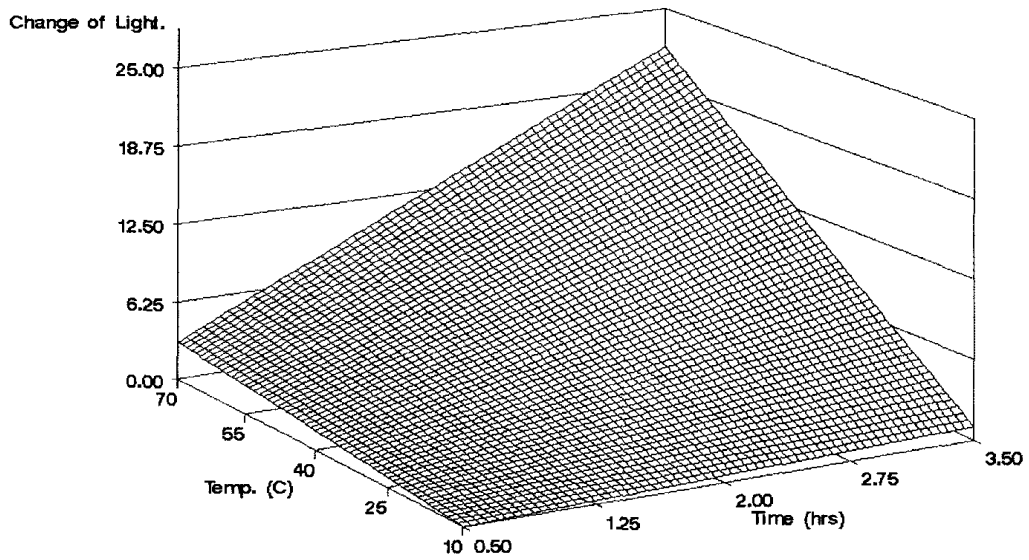


(C) 6%

Figure 15. Continued.

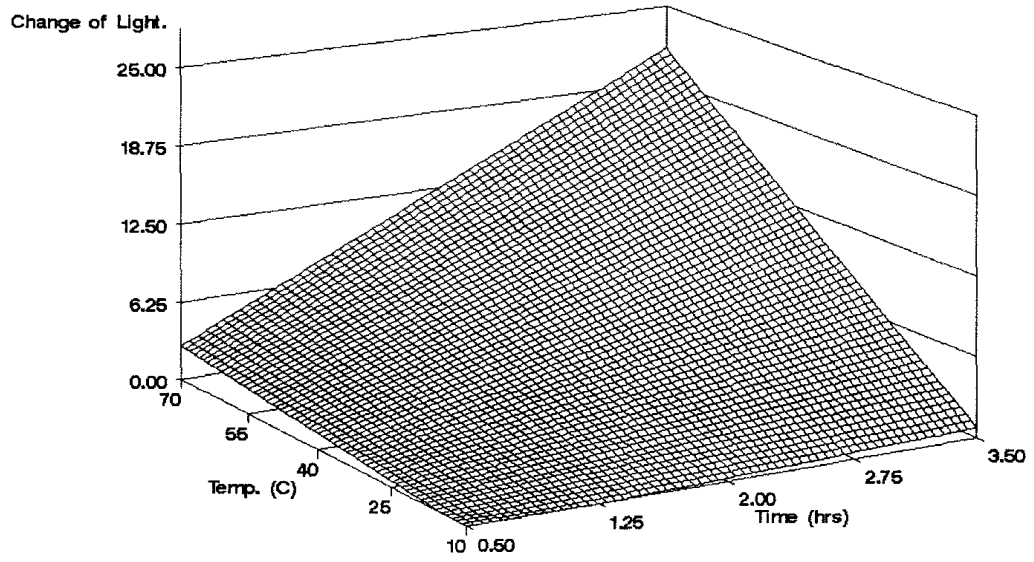


(A) 2%



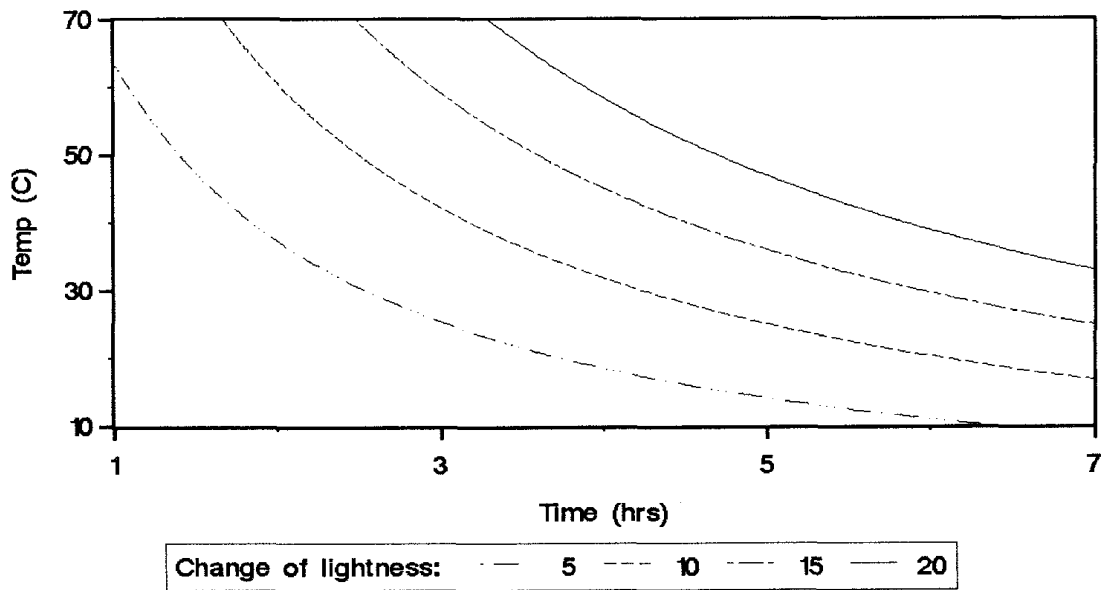
(B) 4%

Figure 16. 3D plot of change of lightness of the stained korean pine under various bleaching conditions.

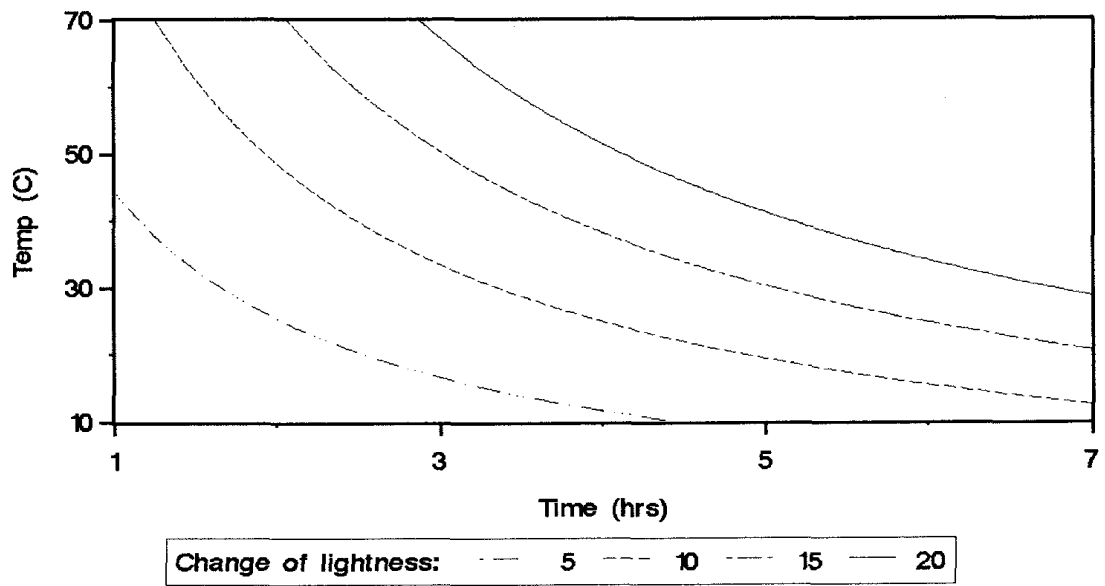


(C) 6%

Figure 16. Continued.

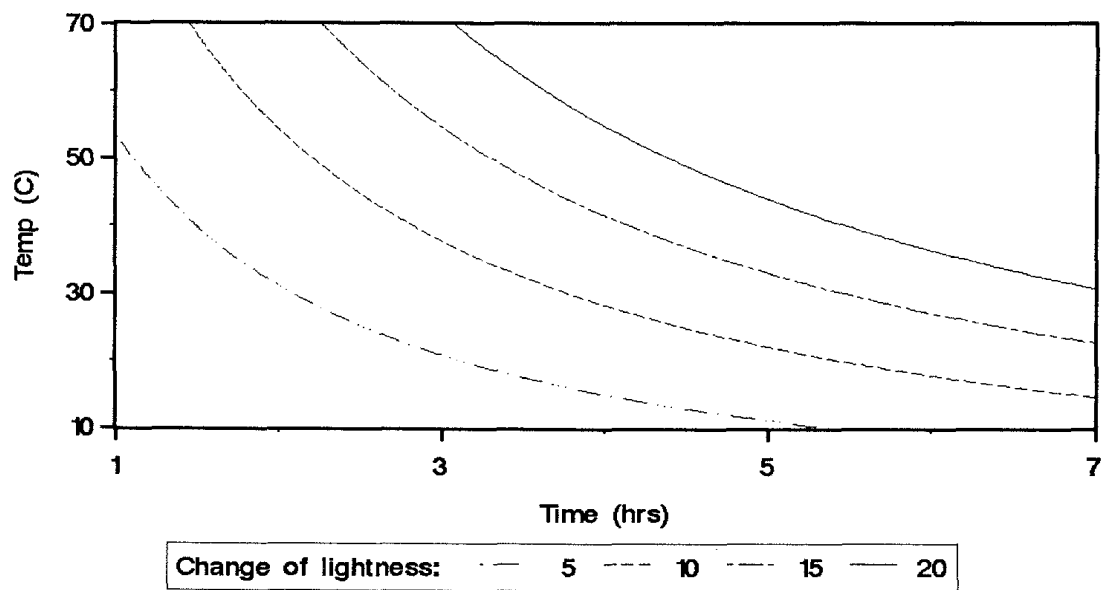


(A) 2%



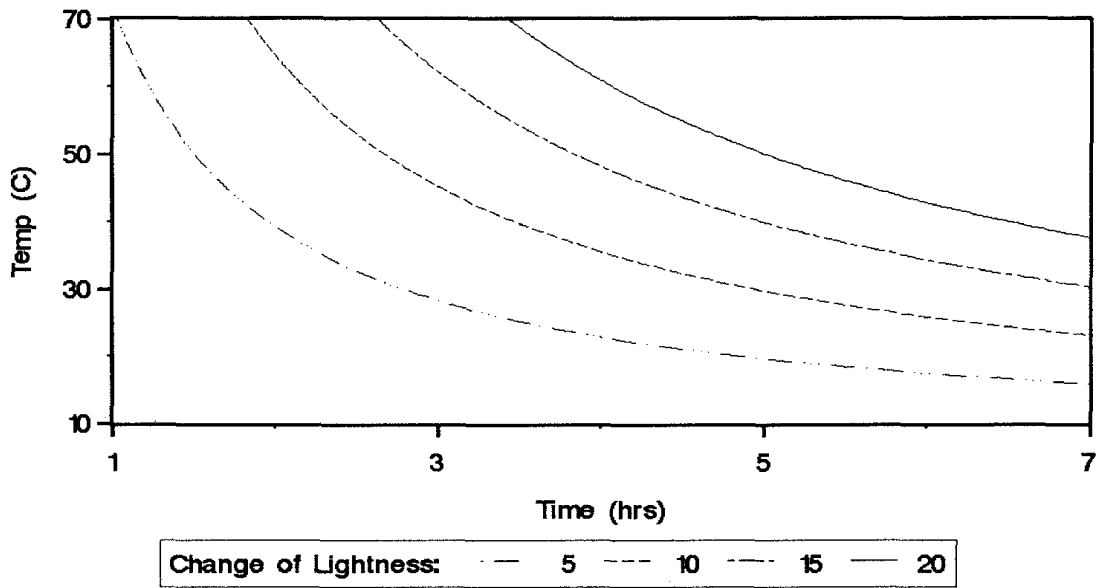
(B) 4%

Figure 17. Contour plot of change of lightness of the stained pine under various bleaching conditions.

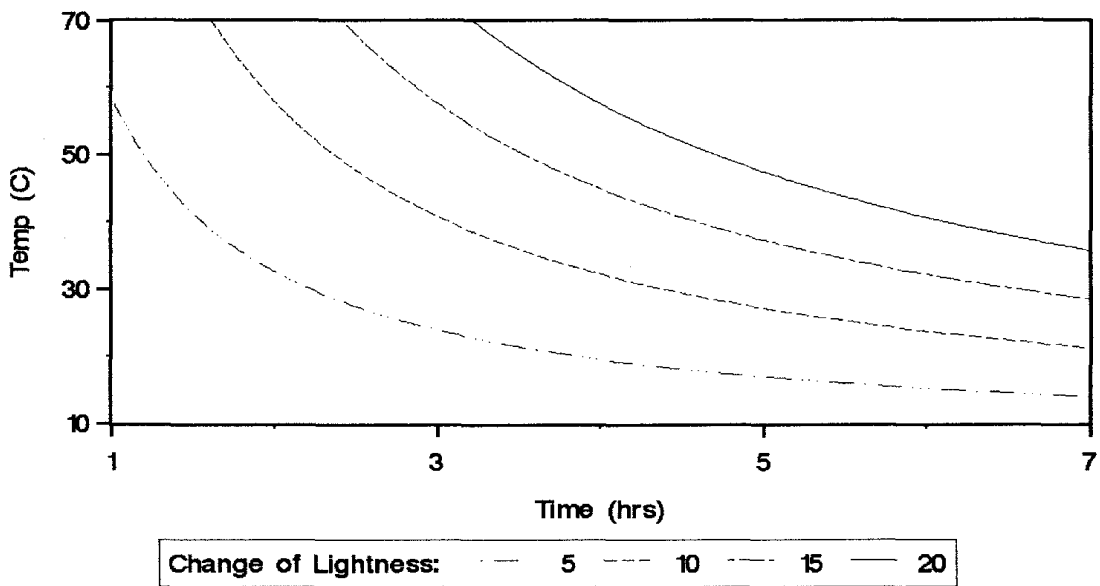


(C) 6%

Figure 17. Continued.

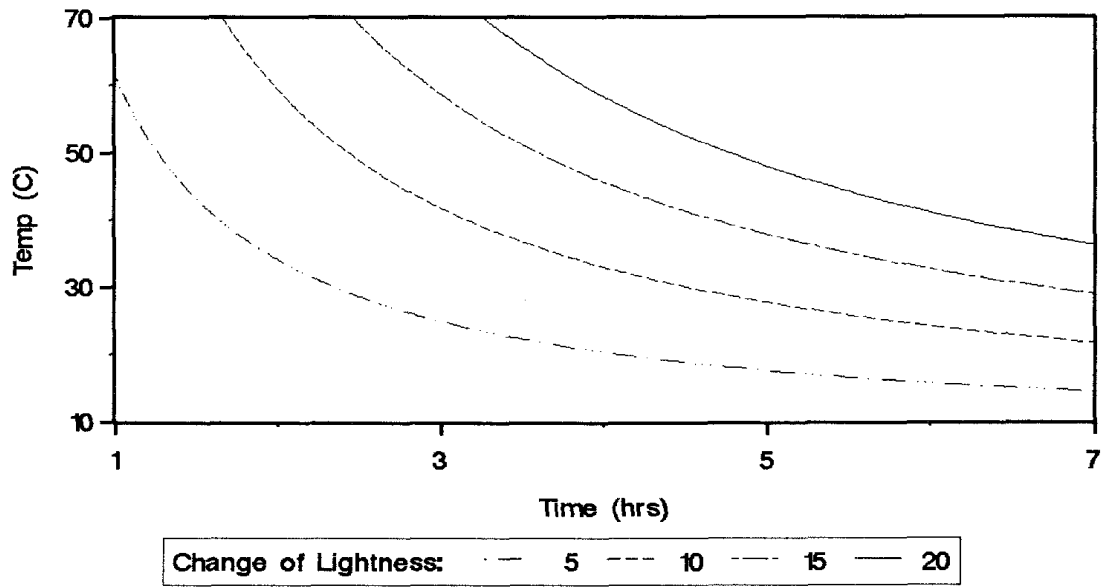


(A) 2%



(B) 4%

Figure 18. Contour plot of change of lightness of the stained Korean pine under various bleaching conditions.



(C) 6%

Figure 18. Continued.

제 3 절 조정시설재용 방부처리 원주가공재의 대형 할렬 최소화 기술 개발

1. 기계적 전처리에 의한 대형 할렬 최소화 기술 개발

가. 서론

방부처리 원주가공재의 사용중 할렬 발생 및 발생된 할렬의 확장을 억제하기 위하여 현재 국내에서는 기계적 전처리 방법인 배할법(kerfing)이 주로 사용된다. 배할법은 방부처리용 원주가공재의 건건조(initial drying) 전에 적용되는데, 이는 배할 부위를 통하여 건조응력을 발산·완화시킴으로써 표면할렬을 양 및 질적 측면에서 감소시키는 방법이다. 이러한 배할의 적용에 의해 표면할렬 발생을 최소화시킬 수는 있으나 처리재에 상처를 남길 뿐만 아니라 예상보다 효과가 그리 뛰어나지 않는 문제가 있다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 주로 사용되는 single kerfing 외에 할렬 최소화 효과가 우수하면서 배할 목재의 외관상 문제를 어느 정도 해결해줄 수 있는 double kerfing과 quadruple kerfing, 그리고 할렬 최소화 효과는 의문시되나 목재의 외관상 상처가 전혀 보이지 않는 center boring의 적용 가능성을 타진하였다.

나. 재료 및 방법

시중에서 구입한 소나무(*Pinus densiflora*), 잣나무(*Pinus koraiensis*), 낙엽송(*Larix kaempferi*) 원목으로부터 가공된 원주가공재(직경 15cm)로부터 길이 80cm의 시험편을 준비하여 횡단면 할렬과 이의 확장에 의한 end split를 최소화할 목적으로 epoxy 도료를 사용하여 end coating을 실시하였다. End coating이 끝난 시험편은 할렬 발생을 영향하리라 사료되는 생재중량, 평균변재율, 편심도(growth ring eccentricity)의 분포가 고르게 8개씩 5개 그룹으로 분리하여 각각을 대조구(control)를 비롯한 4개의 기계적 전처리구(single kerfing, double kerfing, quadruple kerfing, center boring)에 배치하였다(Figure 19). 원주가공 시험편의

편심도는 Evans 등(1997)이 제시한 다음 식에 의해 계산하였다.

$$\text{편심도} = \frac{\text{장반경연륜수} - \frac{\text{장반경연륜수} + \text{단반경연륜수}}{2}}{\text{장반경연륜수} + \text{단반경연륜수}} * 100$$

수종과 전처리 방법별로 8개 시험편에 기계적 전처리를 실시하였는데, kerfing 폭은 kerfing의 종류에 관계없이 2mm로 동일하고, kerfing의 깊이는 single, double, quadruple kerfing 별로 각각 6, 4, 2cm이었다. 그리고 center boring의 직경은 3cm로 하였다. 기계적 전처리를 한 후 야외에서 천연건조를 시험편의 함수율이 20% 선에 도달할 때까지 천연건조를 실시하였다. 기건함수율에 도달한 후, 폭이 1.0mm 이상인 대형 할렬을 대상으로 각 시험편에 발생한 할렬의 숫자와 크기를 측정하였다.

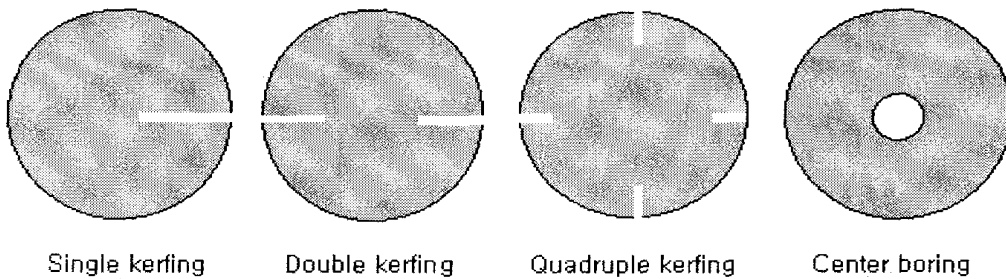


Figure 19. Various physical treatments used in this study.

전건조중 발생한 할렬의 숫자와 크기를 측정한 후, 시험편을 실제 방부처리 공장에서 chromated copper arsenate(CCA)로 가압처리하여 일정기간 양생후 야외에 폭로하였다. 12개월 폭로후 폭이 1.0mm 이상인 대형 할렬을 대상으로 각 시험편에 발생한 할렬의 숫자와 크기(할렬 길이, 할렬 최대 폭, 할렬 최대 깊이)를 측정하였다.

다. 결과 및 고찰

잣나무의 경우에는 전처리에 의한 할렬 발생의 양적 감소가 관찰되지 않았으나 소나무와 낙엽송에서는 double 및 quadruple kerfing 처리구에서 통계학적으로 유의성이 인정되는 할렬 숫자의 감소가 있었다(Figure 20). 잣나무의 경우는 소나무나 낙엽송과 달리 전처리구에서도 대조구에서와 마찬가지로 대량의 미세 할렬들이 발생되기 때문에 전처리에 의한 할렬 숫자 감소 효과가 없는 것으로 나타났는데, 이는 수종의 고유 특성에 기인한다고 사료된다. Double 및 quadruple kerfing은 single kerfing에 비해서는 할렬 숫자의 감소 측면에서 할렬 억제 효과가 우수하였으나 두 kerfing 방법 간에는 효과 차이가 없음을 알 수 있었다. Center boring은 예상과는 달리 double 및 quadruple kerfing과 비교할 때 할렬 숫자의 감소 효과가 없는 것으로 밝혀졌는데, 이는 center boring의 직경이 적은데 기인한다고 사료된다.

할렬의 평균 길이, 폭, 깊이는 Table 18에서 볼 수 있듯이 수종과 전처리 방법의 영향을 받음을 알 수 있었다. 그러나 예상과 달리 수종과 전처리 방법간의 상호작용은 존재하지 않았다. 할렬 길이는 double kerfing이 적용된 잣나무의 경우를 제외하고는 전처리의 영향을 전혀 받지 않았다. 할렬의 최대 폭과 깊이도 모든 수종에서 double 및 quadruple kerfing 처리구에서 통계학적으로 유의성이 인정되는 감소가 관찰되었다(Figure 20). Double 및 quadruple kerfing은 single kerfing에 비해서는 할렬 크기, 즉 최대 폭과 깊이의 감소 측면에서 할렬 억제 효과가 우수하였으나 두 kerfing 방법 간에는 효과 차이가 없음을 알 수 있었다. 발생한 할렬 숫자에서와 마찬가지로 center boring은 예상과는 달리 double 및 quadruple kerfing과 비교할 때 할렬 크기의 감소 효과가 없는 것으로 밝혀졌는데, 이는 center boring의 직경이 적은데 기인한다고 사료된다.

할렬 발생은 목재 조건중 원주가공재의 생재중량, 변재율, 편심도의 순으로 영향을 받음을 알 수 있었다.(Table 19).

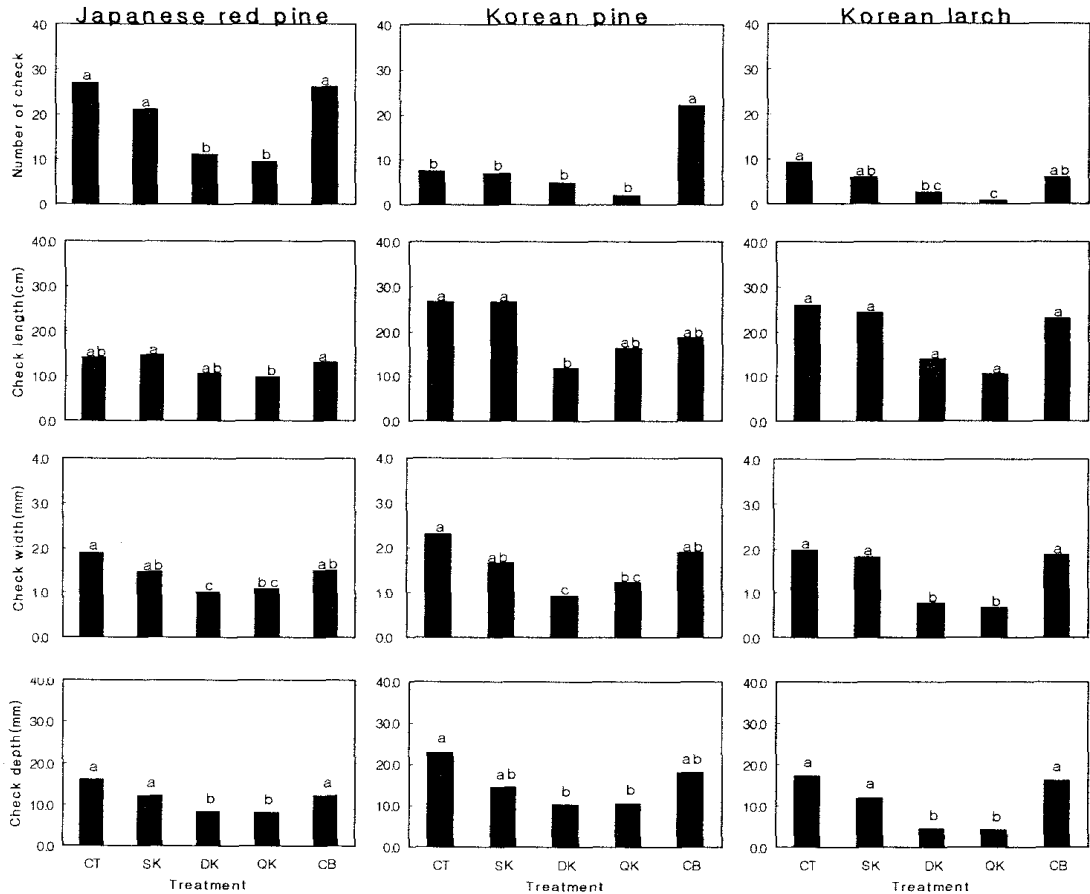


Figure 20. Effect of mechanical pretreatments on check development in round logs during air drying. Bars with same letter are not significantly different (Duncan's multiple range test, $\alpha = 0.05$). CT, SK, DK, QK, and CB represent control, single kerfing, double kerfing, quadruple kerfing, and center boring, respectively.

Table 18. Significant effects of wood species and physical treatments on check parameters.*¹

Experimental factor	Response variable		
	Check length	Check width	Check depth
Species (S)	*	***	***
Treatment (T)	*	***	***
Interaction (S×T)	ns	ns	ns

*¹ * = $p < 0.05$; *** = $p < 0.001$; ns = not significant($p > 0.05$)

Table 19. Correlation coefficient between the number of checks developed and wood variables.

Variables	R-squared
Green weight	0.67
Eccentricity	-0.39
% sapwood	0.64

12개월간 야외 폭로후, 방부처리 원주가공재에는 할렬의 숫자를 세고, 또한 할렬의 크기(길이, 폭, 깊이)를 측정할 수 없을 정도로 양적인 측면과 질적인 측면에서 엄청난 양의 할렬이 발생하여 할렬 측정을 포기하였다. 처리재는 무처리재보다 표면할렬 발생이 심한데, 이는 처리재 세포벽에 정착된 방부제 유효성분인 무기염이 처리재 내로 침투한 수분의 표면 이동(유동 및 확산)을 방해하면서 수분경사를 심하게 발생시키기 때문이라고 사료된다. MacKay(1973)는 크롬·구리·비소 화합물계 방부제인 CCA 처리재가 무처리재보다 표면할렬 발생에 민감하다고 보고하였으며, Bariska 등(1988)도 CCA 처리 목전주의 교체 원인이 부후 때문이 아니라 심각한 표면할렬, 특히 금속결합물(metal fastener) 주변에서 발생하는 할렬에 의한 강도감소 때문이라고 보고하였다.

2. 발수제 혼합처리에 의한 할렬 최소화 기술 개발

가. 서론

수용성 방부제로 처리후 재건조시와 현장 시설후 사용중에 발생하는 할렬의 최소화는 방부제에 발수제를 혼합 처리하는 방법에 의해서도 가능하다. 기계적 전처리 방법으로는 할렬 억제가 불가능한 관계로 침투성 도료인 발수제(water repellent)나 외장용 페인트 등의 도막형성 도료를 처리재 표면에 도장하는 표면도장법은 목재 내·외부로 수분 출입을 제한함에 의해 목재의 수축과 팽윤을 완화시켜 표면할렬 발생을 최소화하려는 시도가 있으나 이 방법도 도막 내구성이 시간의 경과와 함께 약해지는 관계로 효과가 그리 크지 않은 문제가 있다. 표면도장법의 문제점인 불량한 도막 내구성 문제를 해결하기 위하여 발수제를 처리재 내로 깊숙이 침투시키기 위한 방법으로 방부처리시 방부제에 발수제를 혼합 처리하는 방법을 생각해 볼 수 있다. 이 방법은 10여년 전부터 외국에서는 CCA 처리재, 특히 데크재(deck board)의 발수성능(water repellency)과 치수안정성 개선을 위해 사용되고 있는 방법이기도 하다. 발수제 혼합처리에 의해 CCA 처리재의 발수성능과 치수안정성이 상당히 향상됨은 물론(Fowlie *et al.*, 1990; Zahora, 1991; Zahora and Rector, 1990), 실제 야외 폭로시험에서도 표면할렬 발생의 감소 효과가 있음이 보고되고 있다(Evans *et al.*, 2000a; Warburton *et al.*, 1991; Zahora, 1991; Zahora, 1995).

나. 재료 및 방법

1) 발수제의 적정 혼합농도 결정

시편의 크기를 제외하고는 American Society for Testing and Materials (ASTM)의 표준규격 ASTM D4446-84(ASTM, 1996)에 의거한 침지·팽윤시험법을 이용하여 American Wood Preservers' Association (AWPA) 표준규격 AWPA E4-78(AWPA, 2001)에 제시된 야외용 발수성 방부처리 목재의 최소 발수효율 75% 이상이 되는 적정 혼합농도를 선정하였다.

가) 목재시편의 준비

ASTM 표준규격에 제시된 치수의 시편[6mm(수축방향)×38mm(방사방향)×254mm(접선방향)]은 현재 국내에서 별채되어 유통되는 소나무(*Pinus densiflora*) 원목으로부터 준비하기가 매우 어려운 관계로 7×60×20mm(수축방향×방사방향×접선방향) 크기의 소나무 변재부를 필요량 준비하였다. 준비된 시편은 35% 황산 수용액을 이용하여 25℃에서 항량까지 조습하였다(EMC=11%).

나) 처리용 발수제의 준비 및 시편 처리

각각 10배, 30배, 50배로 희석된 발수제(Ultrawood[®], New Zealand Fernz Timber Protection Ltd. 제품)를 용제로 제조된 2% CCA 수용액(이후 각각 2% CCA+WR 10d, 2% CCA+WR 30d, 2% CCA+WR 50d로 칭함), 각각 10배, 30배, 50배로 희석된 발수제(이후 각각 WR 10d, WR 30d, WR 50d로 칭함), 2% CCA(이하 2% CCA로 칭함) 수용액을 조제하여 미리 준비된 시편에 감압법을 이용하여 주입하였다. 처리가 끝난 시편은 실내에서 기건상태까지 건조한 후, 다시 35% 황산 수용액을 이용하여 25℃에서 항량까지 조습하였다(EMC=11%).

다) 침지·팽윤시험

0.01mm까지 측정할 수 있는 dial gauge를 부착한 swellometer(Figure 21)에 준비된 시편을 고정한 후, swellometer 자체를 증류수에 침지하여 처음 5분 동안은 매 1분 간격으로, 그 후로는 매 5분 간격으로 총 120분간 시편의 접선방향 팽윤량을 측정·기록하였다. 다음으로 팽윤량 측정에 사용되었던 시편을 12시간 동안 감압처리한 후, swellometer에서 팽윤량이 측정되었던 지점과 동일 지점에서 최대 팽윤량을 digital caliper를 이용하여 측정하였다.

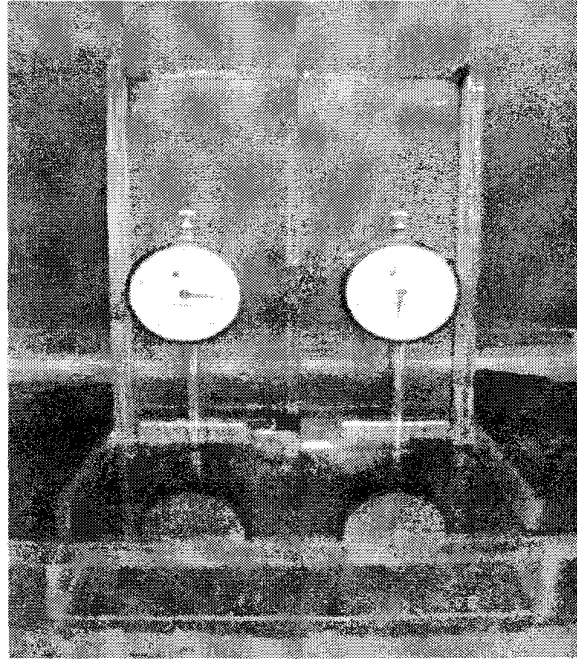


Figure 21. Laboratory swellometer.

처리별 각 시편의 발수효율은 다음 공식에 의거하여 산출하였다. 참고로 미국 방부협회 표준규격 AWP A E4-78(AWPA, 2001)에 제시된 발수성 방부처리 목재의 최소 발수효율은 75%이다.

$$\text{Water repellency efficiency} = \left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right) \times 100$$

S_1 : Swelling of untreated control after immersing for 30 minutes

S_2 : Swelling of treated specimen after immersing for 30 minutes

2) 발수제 혼합처리에 의한 표면할렬 억제효과 구명

발수효율이 75%보다 높게 나타난 CCA와 발수제 혼합용액(2% CCA+WR 10d, 2% CCA+WR 30d)이 가압 주입된 소나무 원주가공재를 야외에서 천연건조 시키는 동안 발생한 표면할렬을 측정하였다. 그리고 발수제 혼합처리에 의한 표면할렬 억제 효과가 실제 야외사용중인 처리 원주가공재에서 어느 시점까지 유지될

수 있는지를 파악하기 위하여 원주가공재가 현재 11개월째 폭로되고 있는데, 앞으로 매 6개월 간격으로 발생하는 표면할렬을 지속적으로 조사할 예정이다.

가) 목재시편의 준비

생재 상태의 소나무 원목을 지름 80mm로 원주가공하여 실내에서 함수율 15~20%선까지 기건한 후, 길이 80cm의 시편을 필요량 준비하였다. 시험편의 양 목구멍은 epoxy 도료로 1차 end-coating 후 silicone sealant로 2차 end-coating 하였다.

나) 방부처리

방부처리는 충세포법(full-cell process)으로 실시되었는데, 시험편을 주약관 내에 집어넣고 760mmHg 진공에서 15분간 전배기를 적용하였다. 전배기가 종료된 후, 2% CCA +WR 10d, 2% CCA+WR 30d 또는 2% CCA 수용액을 주약관 내로 유입시키고 14kg/cm²의 압력으로 refusal point까지 가압을 실시하였다. 가압 종료 후, 시험편을 주약관 밖으로 빼내어 10분간 방치하면서 잉여약제를 회수하였다.

다) 처리 원주가공재의 야외폭로와 표면할렬의 조사

처리 직후 원주가공재를 2개월간 직사광선 및 강우에 직접 노출되지 않도록 지붕 밑에서 함수율이 15~20%에 도달할 때까지 건조하고, 그 이후에는 지붕을 제거하여 야외폭로중인데, 현재 11개월이 경과하고 있는 상황이다. 2개월간의 재 건조 직후와 재 건조 기간을 포함하여 야외폭로 4, 6개월 경과 후 발생한 할렬중 폭이 0.5mm 이상인 할렬의 숫자와 크기(길이, 폭, 깊이)를 측정하였다.

3) 발수제 혼합처리가 처리재의 성질에 미치는 영향 평가

가) 방부효능 평가

방부효능 시험은 토양(soil) 대신에 질석(vermiculite)을 사용한 점과 공시균으로 갈색부후균인 *Gloeophyllum trabeum*(ASTM 공시 갈색부후균)과 *Tyromyces*

palustris(KS와 JIS 공시 갈색부후균)만 사용한 점을 제외하고는 미국 방부협회 표준규격 AWPA E10-01(AWPA, 2001)의 soil-block 시험법에 의거하여 실시하였다.

또한 CCA 단독처리(흡수율=약 130%)에 비하여 발수제 단독처리 또는 CCA와 발수제 혼합처리시 흡수율(흡수률=약 110%)이 낮아서 모든 처리는 약제 흡수율이 100%가 되도록 조절하였다. 발수제 또는 발수제가 첨가된 CCA의 흡수율이 낮은 이유는 발수제의 점도가 CCA의 점도보다 높기 때문이라 사료된다. Poiseuille의 법칙에 따르면 목재 내로 액체의 유동량은 액체의 점도에 반비례한다(Siau, 1995). 본 연구에서 사용된 CCA 수용액, 발수제 수용액, CCA와 발수제의 혼합 수용액에 대한 점도를 측정해 보았는데, 측정방법 및 그 결과는 Appendix I 에 보여준다.

나) 정착특성 평가

흡수율 20% 이하로 기건된 소나무 변재부 판재로부터 횡단면 치수가 25×25mm이고 길이가 100mm인 시편을 필요량 준비하였다. 시편의 방부처리는 충세포법으로 실시하였는데, 시험편을 주약관 내에 집어넣고 760mmHg 진공에서 30분간 전배기를 적용하였다. 전배기가 종료된 후, 2% CCA +WR 10d, 2% CCA+WR 30d, 2% CCA+WR 50d, 또는 2% CCA 수용액을 주약관 내로 유입시키고 14kg/cm²의 압력으로 refusal point까지 가압을 실시하였다. 가압 종료 후, 시편을 주약관 밖으로 빼내어 10분간 방치하면서 잉여약제를 회수하였다. 처리후, 방부처리 시편들을 aluminum foil로 싸서 21℃(상온양생)와 60℃(가속양생) 온도의 비건조 조건에서 양생시켰다.

Cooper와 Ung(1992)이 지적한 것처럼 CCA 유효성분중 하나인 6가크롬이 3가크롬으로 환원되기 전에 방부제의 다른 유효성분, 즉 구리와 비소화합물은 미리 목재 구성성분들과의 정착이 완료되기 때문에 본 연구에서는 처리 시편 내의 6가크롬 잔존량에 의해서 CCA 성분들의 정착정도를 평가하였다. 양생중 일정 시간 간격으로 시편 3개를 임의로 꺼내서 중앙부에서 한 변의 길이가 25mm인 입방체

를 채취하여 McNamara(1989)가 제시한 압출법에 의해 실험실용 소형 압착기를 이용하여 시편들을 횡단방향으로 두께의 절반까지 압착하여 세포벽에 미정착 상태로 남아있던 방부제 성분들을 세포내강에 남아있던 물과 함께 압출하여 이를 정착 평가용 시료로 사용하였다.

CCA 유효성분들의 처리 시편내 정착정도는 압출액 중에 3가크롬으로 환원되지 못한 6가크롬의 양을 diphenylcarbazine법(ASTM, 1996)에 의하여 측정하였다.

다) 용탈특성 평가

정착특성 평가용 시편중 일부를 60℃의 비건조조건에서 72시간 양생한 후 실내에서 시편들의 함수율이 15% 선이 될 때까지 기건시키면서 방부제 유효성분들의 시편 내 완벽 정착을 유도하였다. 이렇게 양생된 시편의 중간 부위에서 한 번의 길이가 25mm인 입방체를 준비하여 용탈특성 평가용 시편으로 사용하였다.

용탈시험은 미국 방부협회 표준규격 AWPA E11-97(AWPA, 2001)에 의거하여 실시하였고, 채집된 용탈수 내에 존재하는 CCA 유효성분의 양, 즉 용탈량은 기초 과학지원연구소 서울분소의 Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometer(ICP-AES)를 사용하여 측정하였다.

다. 결과 및 고찰

1) 발수제의 적정 혼합농도 결정

2% CCA+WR 10d 와 2% CCA+WR 30d 처리시편의 경우, 30분간의 팽윤시험 결과 측정된 발수효율이 미국방부협회 표준규격 AWPA E4-78 (AWPA, 2001)에 제시된 기준인 75%를 넘어 81% 수준이었으나 2% CCA+WR 50d 처리시편의 발수효율은 75%에 약간 못 미쳤다(Table 20). 따라서 필요한 발수효율 75% 이상을 달성하기 위한 발수제 혼합농도는 본 연구의 결과로부터는 정확하게 제안할 수는 없지만 50배 희석액 보다는 약간 높은 농도라고 판단된다. 참고로 현재 외국에서 사용되는 Ultrawood[®]의 상용 희석배수는 40~50배이다(Jin *et al.*, 1992; Zahora, 1995; Cui and Walcheski, 2000).

Table 20. Water repellency efficiency of treatments containing water repellent additives.

Treatment	water repellency efficiency(%)
WR 10d	79.29
WR 30d	78.77
WR 50d	69.12
2% CCA+WR 10d	81.22
2% CCA+WR 30d	81.03
2% CCA+WR 50d	73.68

참고로 야외용 목재의 발수효율을 달성하기 위한 발수제의 적정 혼합농도는 CCA 수용액의 농도와 처리대상 수종의 흡수성에 따라 차이가 나기 때문에 CCA 수용액의 농도와 수종의 조합별로 별도 선정하여야 할 것이다. Zahora(1992)는 CCA 수용액의 농도가 높을수록 발수효능이 우수하다고 하였는데, 이는 농도가 높을수록 처리재의 CCA 보유량이 많아지면서 수분의 목재내 침투를 방해하기 때문이라 사료된다. 또한 CCA 수용액의 농도가 동일하여도 처리대상 수종의 흡수성이 낮을수록 발수효능이 우수할 것이다. 따라서 CCA 수용액의 농도가 높을수록, 그리고 처리대상 수종의 흡수성이 낮을수록 미국 방부협회 표준규격 AWPA E4-78(AWPA, 2001)에 제시된 기준인 75%를 달성하기 위한 발수제의 적정 혼합농도는 낮아질 것이다. 따라서 현재 국내에서 사용되는 방부처리용 수종들을 대상으로 방부제의 종류와 처리농도를 달리하면서 발수효율 75% 이상을 달성하기 위한 발수제의 혼합농도를 구명하기 위한 후속 연구가 필요하다.

침지·팽윤시험시, 발수효능과 직접적으로 관련되는 CCA 단독처리구, CCA와 발수제 혼합처리구, 발수제 단독처리구의 침지시간의 경과에 따른 최대팽윤율(% maximum swelling) 변화를 Figure 22에 보여준다. CCA 단독처리는 목재에 제한적인 발수효능을 부여하였는데, 이러한 효능도 침지 초기 30분 정도까지만 지속되었다. Jin 등(1992)도 ammoniacal copper carbonate(AC)와 ammoniacal copper zinc arsenate(ACZA) 처리 목재는 발수제 단독처리 목재에 비하여 오히려 우수

한 발수효능을 발휘하나 chromated copper arsenate(CCA)나 ammoniacal copper quat(ACQ) 처리 목재의 발수효능은 무처리 목재에 비하여 그리 우수하지 못함을 보고한 바 있다. AC와 ACZA 처리목재의 발수효능이 우수한 이유는 AC와 ACZA의 유효성분중 하나인 cuprammonium hydroxide가 세포벽내 정착과정중에 목재의 친수성(hydrophilic nature)을 소수성(hydrophobic state)으로 변환시키기 때문이다.

처리간의 차이는 다소 존재하나 CCA와 발수제 혼합처리구와 발수제 단독처리구는 CCA 단독처리구보다 발수효능이 우수하였다. 그리고 CCA와 발수제 혼합처리구의 발수효능이 발수제 단독처리구보다 약간 높았는데, 이는 CCA 존재에 의한 발수효능의 상승효과(synergism)가 있음을 보여준다. 이러한 상승효과는 CCA 단독처리구에서 보이는 침지 초기의 발수효능이 발수제 단독처리구에 부가되기 때문이라 사료된다.

침지·팽윤시험법에 의한 발수효율의 평가와 더불어 CCA와 발수제 혼합처리목재와 발수제 단독처리 목재의 표면 발수효능 검증을 위해 이들의 표면 습윤성 시험(surface wettability test)를 별도로 실시하였다. 시험 결과, 침지·팽윤시험법에 의한 발수효율이 높은 처리구는 표면 습윤성이 낮았다. 표면 습윤성 시험에 사용한 접촉각 측정 방법 및 그 결과는 Appendix II에 보여준다.

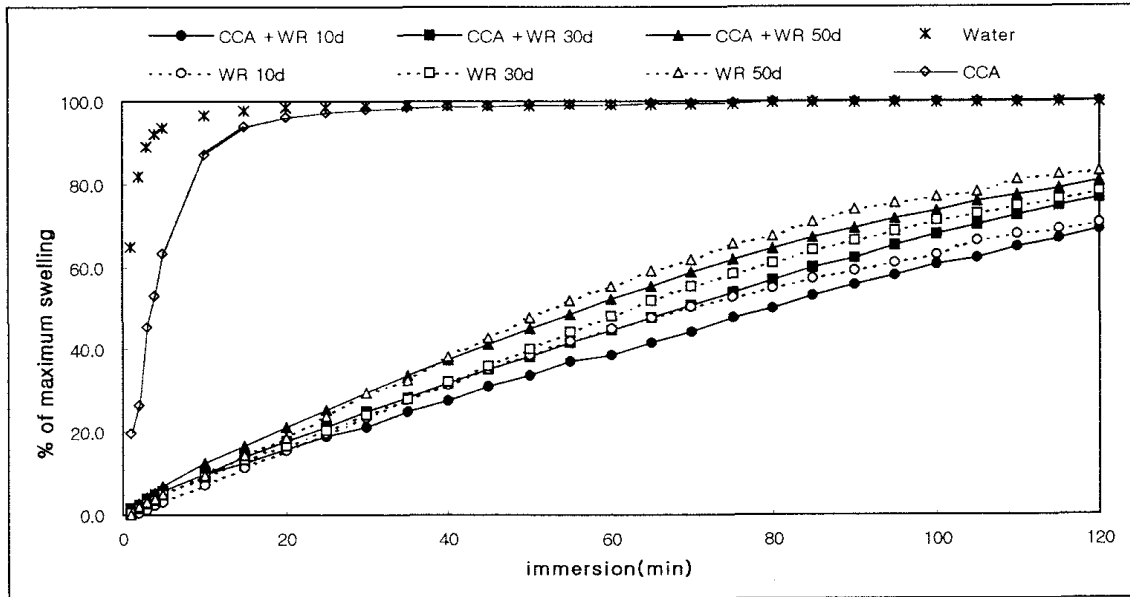


Figure 22. The influence of a water repellent additive on water repellency of CCA treated wood as determined by swelling performance of wafers during water immersion.

2) 발수제 혼합처리에 의한 표면할렬 억제효과 구명

본 연구의 결과는 처리후 2개월간의 재건조기간 및 그 이후 4개월간의 천연건조 기간 동안에 발생한 표면할렬을 대상으로 하였다. 그리고 발수제 혼합처리에 의한 표면할렬 억제 효과가 실제 야외사용중인 처리 원주가공재에서 어느 시점까지 유지될 수 있는지를 파악할 필요가 있는데, 이는 현재 야외에서 11개월째 폭로되고 있는 처리 원주가공재를 대상으로 매 6개월 간격으로 발생하는 표면할렬을 지속적으로 조사할 예정이다.

방부처리시 CCA 수용액에 적량의 발수제를 혼합처리함에 의해 방부처리 원주가공재에서 발생하는 표면할렬은 양과 질적인 측면에서 효과적으로 억제됨을 알 수 있었다. 발수제 혼합처리에 의해 발생하는 할렬숫자를 감소시킬 수 있었는데 (Figure 23), 2개월간의 재건조 기간의 경우 CCA와 혼합된 발수제가 10배 희석액일 경우 14개의 처리 원주가공재 중에 3개의 원주가공재에서만 할렬이 발생할 정도로 발수제 혼합에 의한 할렬 발생 억제효과가 뛰어났다. 그러나 발수제 30배

희석액과 혼합처리시에는 발생된 할렬의 숫자가 발수제가 첨가되지 않은 경우와 큰 차이가 없었다.

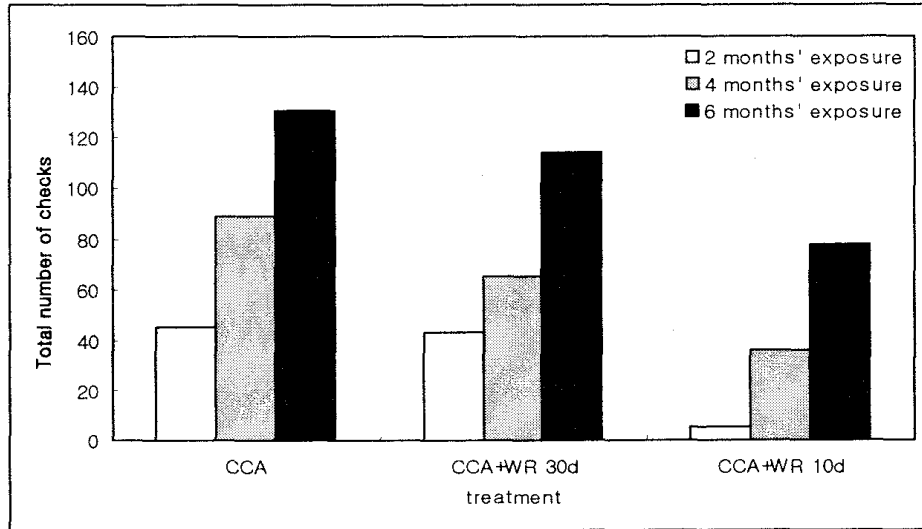


Figure 23. Total number of developed checks, greater than 0.5mm wide, in treated posts after 6 months exposure.

2개월간의 재건조 이후 실시된 2002년 11월에서 2월까지의 4개월간 야외폭로중에도 처리 원주가공재에서 할렬의 수와 크기는 증가하였으나, CCA 단독처리구와 비교시 발수제가 혼합처리된 원주가공재에서는 발수제 혼합에 의한 할렬억제 효과가 지속되었다. 다만, 야외폭로 기간이 증가할수록 처리간 발수제 혼합농도 차이에 따른 할렬 발생 억제효과가 점차 감소되어 발수제 혼합처리는 표면할렬 발생억제보다는 발생된 할렬의 크기 최소화에 더 큰 효과가 있는 것으로 사료된다. 이상과 같이 발수제 혼합처리에 의해 원주가공재 재면에 발생하는 할렬 자체를 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 발생된 할렬의 크기(길이, 폭, 깊이)도 크게 감소시킬 수 있었다(Figure 24). CCA와 발수제 혼합처리 시편에서 발생한 할렬은 CCA 단독처리 시편에 비하여 할렬 길이가 짧았으며, 폭은 좁았고, 깊이도 깊지 않았다. 이러한 할렬 크기의 차이는 통계적으로 그 유의성이 인정되었으며, 특히 혼합된 발수제의 희석배수가 10배일 때는 처리후 2개월간 실시된 재건조 기간동안 자세히 관찰하지 않을 경우에는 거의 눈에 띄지 않을 정도로 할렬의 크기가

극히 작았다.

또한, CCA 단독처리구와 비교시 발수제 혼합 처리구의 할렬 크기 최소화 효과가 지속되고 있으나, CCA와 발수제의 혼합처리 원주가공재에서 발생된 할렬의 크기(길이, 깊이, 폭)는 폭로 6개월의 경우, 발수제 희석농도와 관계없이 발수제 혼합처리구간에 통계적으로 유의성이 인정되지 않아서 발수제 혼합에 의한 억제 효과가 점차 감소되고 있음을 알 수 있었다(Table 21). 그러나 발수제 혼합에 따른 억제효과 감소는 야외폭로 1년이 되는 2003년 8월에 실시되는 할렬조사 결과에서 보다 명확히 판단할 수 있을 것이라 사료된다.

발수제 혼합에 의한 할렬발생 억제 원인은 처리재의 재건조와 재건조후 사용중인 상황을 구분하여 생각해 볼 수 있다. 처리재 재건조시는 처리재내 발수제의 존재에 의해 건조가 지연되면서 처리재 내부에 발생하는 수분경사가 완만해지기 때문에 재표면에서 발생·누적되는 건조응력이 크지 않아 할렬 발생이 근본적으로 억제된다. 그리고 기건함수율까지 재건조된 후에는 지속적인 젖음과 건조에 따른 재표면의 함수율 변화로 발생·누적되는 건조응력이 수종 자체의 횡인장강도를 초과할 때 할렬이 발생되고, 발생된 할렬은 시간의 경과와 함께 점차 악화된다. 발수제가 혼합된 경우에는 처리재내 수분 침투가 지연될 뿐만 아니라 일단 침투된 수분도 외부로 쉽게 빠져나오지 않기 때문에 처리재의 치수안정성이 증가되면서 발생·누적되는 건조응력이 크지 않기 때문에 할렬 발생이 근본적으로 억제된다.

이렇게 발수제 혼합처리에 의해 할렬 발생 자체를 억제할 수 있고, 발생된 할렬의 크기, 특히 할렬의 깊이를 최소화 할 수 있음은 방부처리 원주가공재의 외관적 문제를 해결할 수 있을 뿐만 아니라 난주입 수종의 경우에는 내부부후의 예방과도 깊은 관계가 있다. 따라서 국내 처리용 수종중 난주입 수종인 낙엽송과 북양가문비나무에 대한 후속 연구, 즉 이들 난주입 수종에서 방부제 침투깊이보다 발생되는 할렬의 깊이를 적게 할 수 있는 발수제의 혼합농도 선정에 대한 연구가 필요하다.

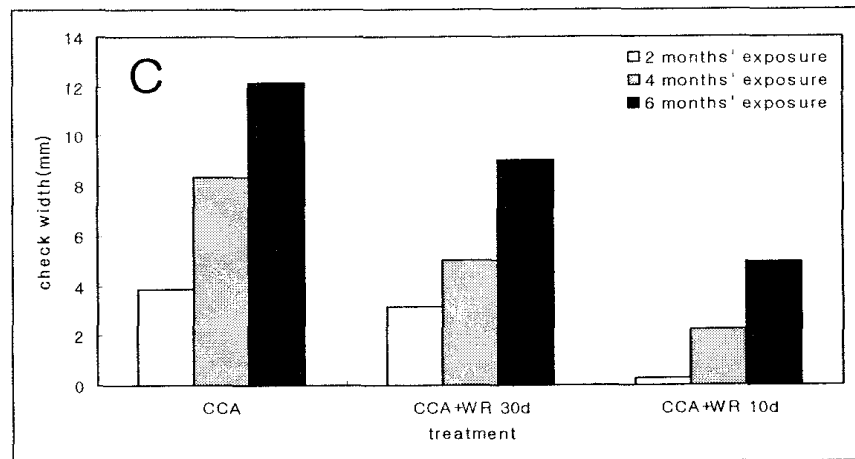
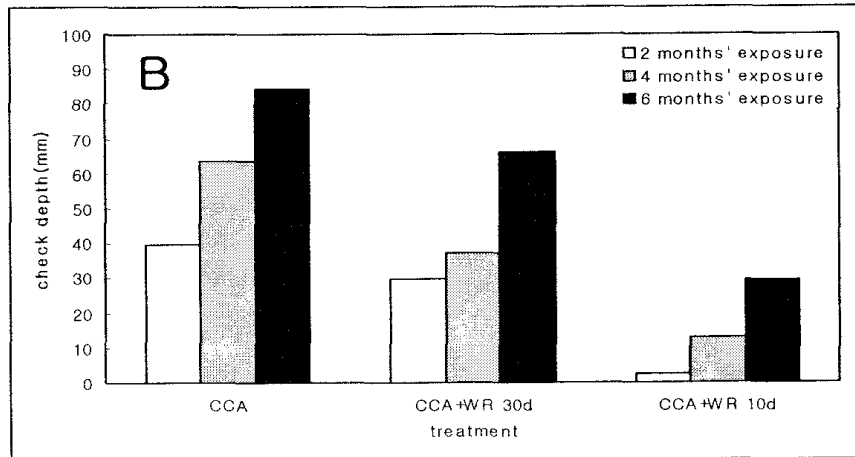
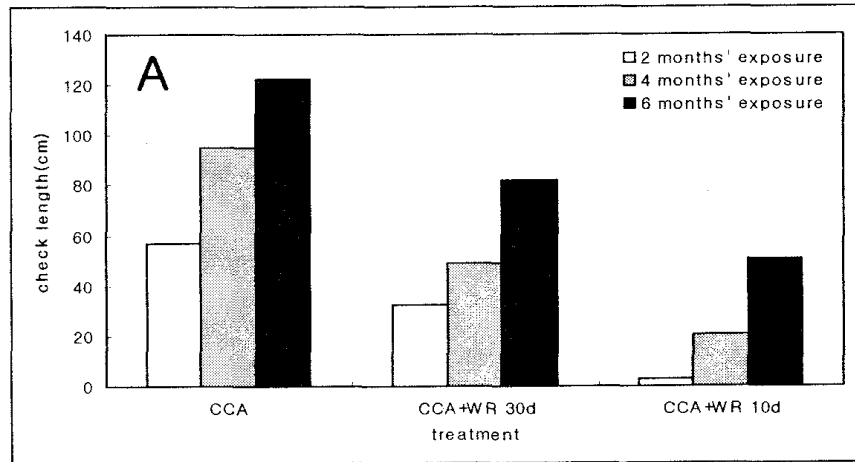


Figure 24. Average values for check length (A), check depth (B), check width (C), greater than 0.5mm wide, in 14 treated posts after 6 months exposure.

Table 21. The effect of CCA-water repellent treatments at each level of outdoor exposure period on check development as compared by a Duncan's multiple range test of mean values at $\alpha = 0.05$.

exposure (month)	check variables	treatment	
		CCA	CCA+WR 30d CCA+WR 10d
2	number	_____	
	length		
	depth		
	width		
4	number		
	length		
	depth		
	width		
6	number	_____	
	length		_____
	depth		_____
	width		_____

* Each bar represents mean values equivalent at a 95% level of significance.

Table 22. The effect of CCA-water repellent treatments at each level of treatments on check development as compared by a Duncan's multiple range test of mean values at $\alpha = 0.05$.

Treatment	check variables	exposure(month)		
		2	4	6
CCA	number	_____		
	length	_____		
	depth	_____		
	width	_____		
CCA+WR 30d	number	_____		
	length	_____		
	depth	_____		
	width	_____		
CCA+WR 10d	number	_____		
	length	_____		
	depth	_____		
	width	_____		

* Each bar represents mean values equivalent at a 95% level of significance.

3) 발수제 혼합처리가 처리재의 성질에 미치는 영향 평가

가) 방부효능 평가

대표적인 갈색부후균인 *Gloeophyllum trabeum*과 *Tyromyces palustris*를 이용한 방부효능 시험 결과, 발수제 혼합이 CCA 처리재의 방부효능을 저하시키지 않음을 알 수 있었다(Table 23). *Gloeophyllum trabeum*과 *Tyromyces palustris*를 접종한 무처리 대조구의 중량감소율이 각각 44.6%와 45.3%로 나타나 본 연구의 결과는 타당하다고 할 수 있다.

발수제 단독 처리시편에서도 공시균에 의한 부후가 굉장히 심하게 발생하였으나 중량감소율이 무처리 대조구보다는 낮았다. 이는 발수제 유효 성분중에 방부효능을 보유하는 성분이 있음을 의미하는데, 발수제 혼합농도가 증가할수록 중량감소율의 감소가 이를 간접적으로 뒷받침해준다. CCA와 발수제 혼합 처리구의 방부효능은 CCA에 의한 효능과 발수제에 의한 부가 효능의 합이기 때문에 실제로는 CCA 단독 처리구보다 방부효능이 더 높을 것으로 사료된다. 그러나 본 연구의 CCA 단독 처리구는 CCA 보유량(약 11.4kg/m³)이 상당히 높은 관계로 부후가 전혀 발생하지 않아 발수제 혼합에 따른 방부효능의 상승 효과를 파악할 수는 없었다. 앞으로 후속 연구를 통해 발수제 첨가에 의한 방부효능 상승효과를 정확하게 구명할 수 있다면 CCA와 발수제 혼합처리구에서는 CCA 농도를 어느 정도 낮추어도 CCA 단독 처리구와 동일한 방부효능을 발휘할 수 있다고 본다.

Table 23. Mean weight losses of treated samples with CCA, water repellent additive and mixed solution of CCA and water repellent additive after exposure to brown rot fungi for 12 weeks.

Treatment group	Weight losses* ¹ (%)			
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>		<i>Tyromyces palustris</i>	
	Leached	Unleached	Leached	Unleached
Untreated control		44.6		45.3
2% CCA	-* ²	-	-	-
WR 10d	24.4	23.1	24.0	23.0
WR 30d	34.9	28.9	39.7	37.5
WR 50d	42.1	31.4	41.1	39.4
2% CCA+WR 10d	-	-	-	-
2% CCA+WR 30d	-	-	-	-
2% CCA+WR 50d	-	-	-	-

*¹ Values are the mean of 10 blocks.

*² No weight losses were measured.

나) 정착특성 평가

Cooper 등(1993)이 지적한 것처럼 방부제 유효성분중 하나인 6가크롬이 3가크롬으로 환원되기 전에 방부제의 다른 유효성분(CCA의 경우 구리와 비소 화합물)들은 미리 목재 구성성분들과의 정착이 완료되기 때문에, 본 연구에서는 처리 시험편 내의 6가크롬 잔존량에 의해서 방부제 성분들의 정착정도를 평가하였다.

Figure 25는 CCA 단독 처리시험편 및 CCA와 발수제 혼합처리 시험편에서 양생기간과 6가크롬의 압출량간의 관계를 상온양생과 가속양생으로 구분하여 보여준다. 양생온도와 발수제 혼합 여부에 관계없이 양생이 진행되면서 3가크롬으로 환원에 의한 6가크롬 양의 감소 형태는 매우 유사하며, 양생기간(y)과 압출액 중 6가크롬의 양(x)간의 관계를 $y=ae^{-bx}$ (a, b>0)의 함수식으로 표시할 수 있었다.

Table 24는 Cooper와 Ung(1992)이 제시한 압출액 중에 존재하는 6가크롬의 함량이 15ppm 미만이 되는 시점을 기준으로 계산된 양생 소요기간을 보여준다. 발수제 혼합 여부 및 발수제 혼합농도에 관계없이 처리재의 양생에 소요되는 기간

이 20시간 전후(가속양생)에서 20일 전후(상온양생)로 발수제 혼합이 처리제에서 CCA 유효성분의 정착특성에 부정적 영향을 미치지 않는다고 결론지을 수 있다.

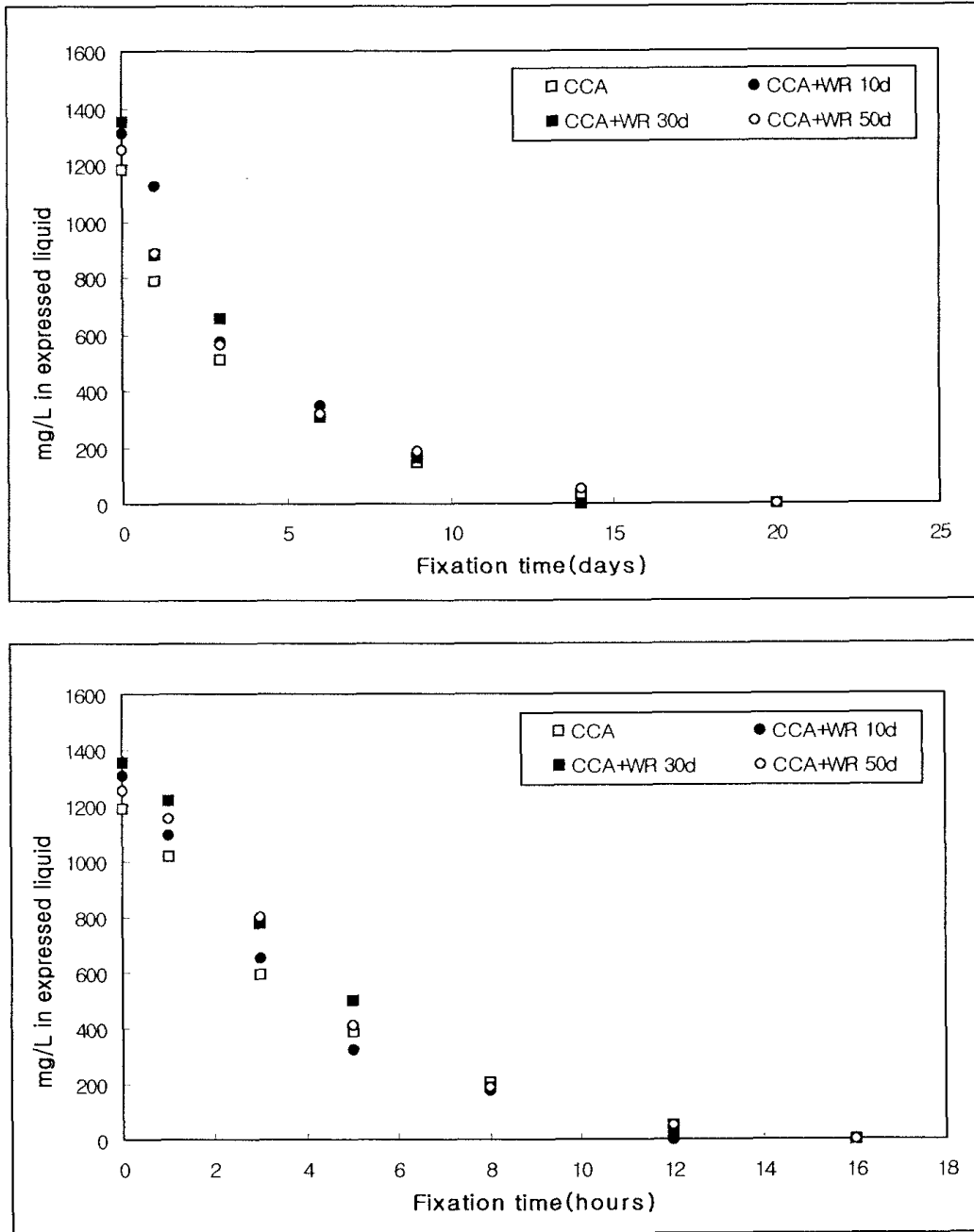


Figure 25. Relationship between fixation period and hexavalent chromium of expressate during nondrying fixation at 21°C (top) and 60°C (bottom).

Table 24. Time required for complete fixation evaluated using the method suggested by Cooper and Ung.

Treatment	Accelerated fixation at 60°C* ¹ (hours)	Moderate fixation at 21°C* ² (days)
CCA	22.60	19.42
CCA+WR 10d	19.81	20.00
CCA+WR 30d	21.60	19.28
CCA+WR 50d	21.34	20.91

다) 용탈특성 평가

Figure 26은 CCA 단독 처리시편과 CCA와 발수제 혼합처리 시편으로부터 총 14일간의 용탈시험 결과 방부제 유효성분인 크롬, 구리, 비소성분의 누적 용탈량을 보여주는데, 모든 처리구에서 CCA 유효성분들의 누적 용탈량은 비소>구리>크롬의 순이었다.

본 연구에서 발수제 혼합이 처리재로부터 CCA 유효성분의 용탈에 미치는 영향은 일정치 않았다. 그러나 CCA 단독 처리시편과 발수제의 혼합농도를 달리하는 CCA와 발수제의 혼합처리 시편간에는 통계학적으로 유의성이 인정되는 누적 용탈량 차이가 없어 발수제 혼합이 CCA 용탈에 미치는 영향은 없다고 볼 수 있다. CCA와 Ultrawood[®] 혼합 수용액으로 가압처리된 미국 남부소나무 데크재를 두달간 야외에 폭로하면서 강우에 의한 CCA 성분의 용탈을 조사한 Cui와 Walcheski(2000)의 연구에서는 발수제 혼합처리에 의해 처리재의 발수효능이 증가되면서 수분의 시편내 침투를 억제한 관계로 CCA 유효성분의 용탈량이 감소하였다고 볼 수 있다. 그러나 인위적으로 진공을 걸어 수분을 시편내로 완전하게 침투시킨 상태에서 용탈이 실시된 본 연구는 발수효능 증가에 의해 용탈억제 효과를 보고자한 것이 아니라 시편내의 발수제 성분이 CCA 용탈에 어떤 영향을 미치는지 알아보하고자 한 것이다.

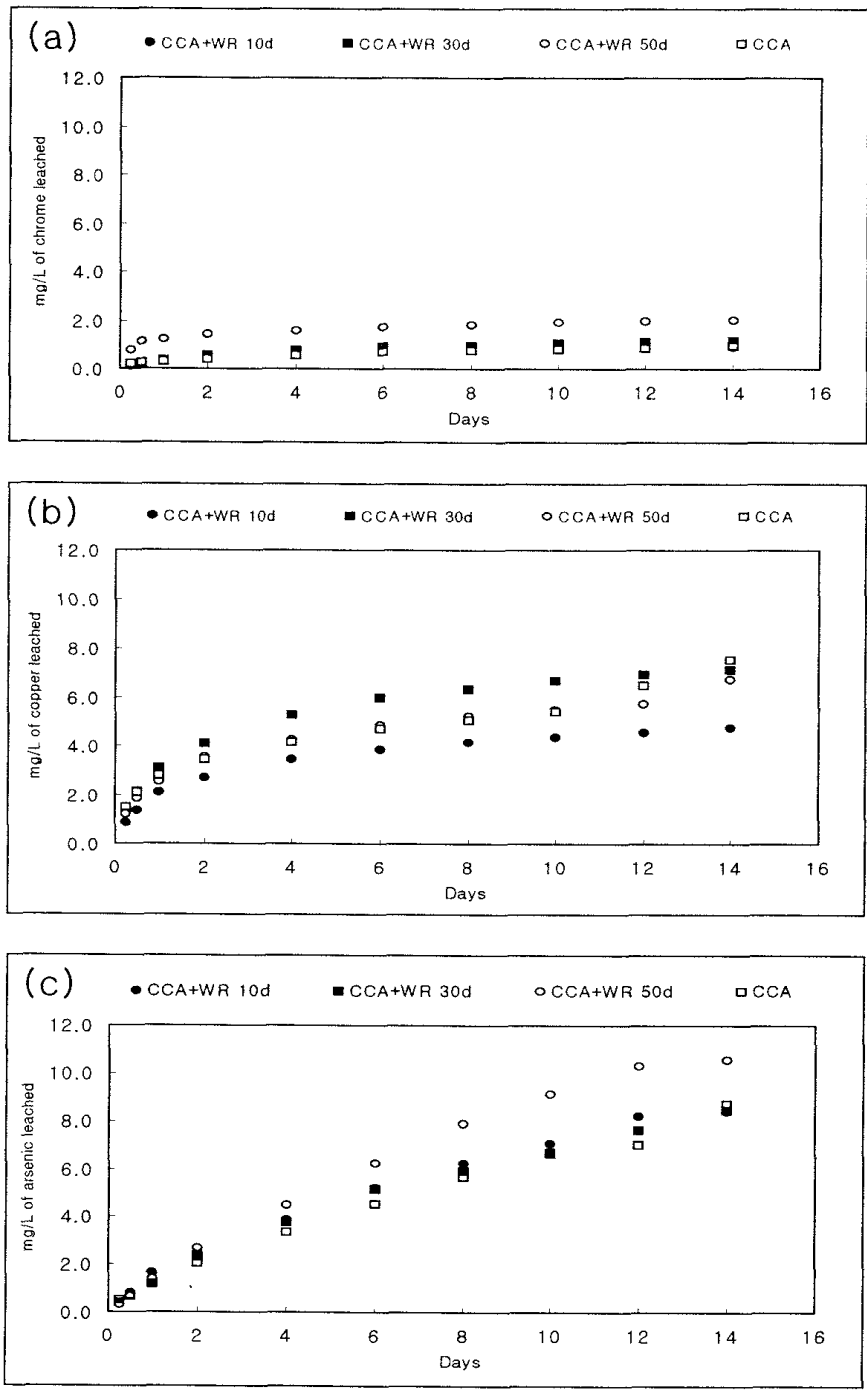


Figure 26. Cumulative leaching of CCA components from wood samples treated with CCA or CCA in combination with water repellent additives; ((a) : chromium, (b) : copper, (c) : arsenic)

Appendix I

CCA, 발수제, CCA와 발수제 혼합수용액의 점도측정

1. 측정 방법

일반적으로 점성계수가 낮은 시료의 점도를 측정하는데 사용되는 Ostwald형 모세관 점도계(Figure A-1)를 이용하여 CCA, 발수제, CCA와 발수제 혼합 수용액의 점도를 측정하였다. Ostwald형 모세관 점도계를 이용한 점도의 측정은 다음의 Hagen-Poiseuille의 식에 의하여 측정한다.

$$\eta = \frac{\pi r^4 t P}{8LV}$$

- η : viscosity
- r : radius of capillary
- p : pressure difference
- t : flow time of fluid
- L : length of capillary
- V : flow volume per unit time

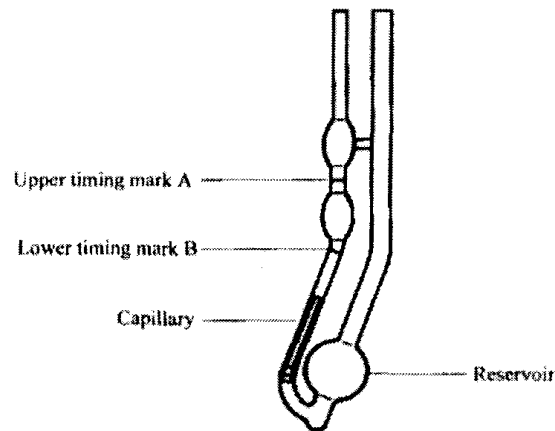


Figure A-1. Structure of capillary viscometer.

상기 식에 의해 절대점도(absolute viscosity)를 구하기 위해서는 모세관의 반경, 압력차, 용액의 밀도 등을 정확히 알아야 하기 때문에 본 연구에서는 일반적인 측정값으로 사용되는 상대점도를 구하였다.

시료인 CCA, 발수제, CCA와 발수제 혼합 수용액 10ml를 pipet으로 취하여 Ostwald형 모세관점도계(Cannon Fenske Rouing Viscometer, tube capillary No.50)의 저장소(reservoir)에 넣고 이들을 시작선(A) 위까지 빨아 올려 액면이 시작선(A)에서 종말선(B)까지 내려가는데 걸린 시간을 3번 반복하여 측정하였다. 이렇게 측정된 시간과 증류수가 시작선에서 종말선까지 내려가는데 소요된 시간을 비교하여 CCA, 발수제, CCA와 발수제 혼합수용액의 상대점도를 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$\eta_r = \frac{\eta}{\eta_0} = \frac{\rho t}{\rho_0 t_0}$$

- η_r : relative viscosity
- η : viscosity of solution
- η_0 : viscosity of solvent
- ρ : density of solution
- ρ_0 : density of solvent
- t : time(sec.) of solution
- t_0 : time(sec.) of solvent

CCA, 발수제, CCA와 발수제 혼합 수용액의 밀도는 비중병을 이용하여 측정하였다. 그리고 측정시 적용되는 압력차를 동일하게 하기 위하여 점도계의 기울기는 일정하게 유지하였으며, 매 측정 전 뭍은 황산과 알코올을 이용하여 관 내부를 항상 깨끗이 하였다.

2. 측정결과

증류수의 점도를 1로 간주하여 계산된 CCA, 발수제, CCA와 발수제 혼합 수용액의 상대점도를 Table A-1에 보여준다. CCA, 발수제, CCA와 발수제 혼합 수용액의 점도는 1보다 높았는데, 이는 이들이 포함하는 용질(CCA 유효성분, 발수제

의 고형분)의 영향 때문이다. 그리고 발수제와 CCA의 혼합 수용액의 경우 농도가 높을수록 용질의 양이 많아지기 때문에 상대점도 역시 증가하였다.

Table A-1. Relative viscosity of CCA, water repellent(WR), and mixed solution of CCA and water repellent(CCA+WR).

Test solution	Average flow time (sec.)	Density (g/cm ³)	Relative viscosity
Distilled water	263.67	1.000	1.000
CCA	270.67	1.010	1.036
WR 10d	306.00	0.994	1.154
WR 30d	274.33	0.996	1.036
WR 50d	265.00	0.997	1.001
CCA+WR 10d	317.00	1.008	1.212
CCA+WR 30d	283.67	1.009	1.086
CCA+WR 50d	270.67	1.010	1.036

Appendix II

표면 습윤성 시험

CCA, 발수제, CCA와 발수제 혼합 수용액으로 처리된 목재 표면의 습윤성 평가는 처리목재 표면에 증류수를 적하하였을 때 시간의 경과에 따른 접촉각(contact angle) 변화에 의해 측정하였다.

1. 접촉각

액체가 고체 표면에서 열역학적으로 평형을 이룰 때 이루는 각을 의미하는 접촉각(θ)은 고체표면의 습윤성(wettability)을 나타내는 척도이다. 접촉각은 대부분 뒤에 설명될 물방울 적하시험에 의하여 측정되는데, Figure A-2에서 보여주듯이 기준선(baseline)과 접선을 이루는 각인 접촉각(θ)는 다음의 식에 의하여 측정된다.

$$\text{Contact angle } (\theta) = 2 \tan^{-1}\left(\frac{h}{0.5d}\right)$$

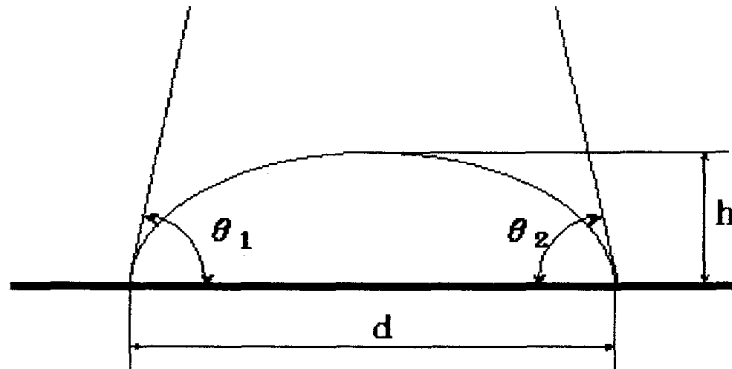


Figure A-2. Sessile drop parameters for computation of contact angle

접촉각이 클수록 재료의 습윤성이 소수성(hydrophobic)이며 표면에너지가 낮음을 의미한다. 반대로 낮은 접촉각은 재료의 습윤성이 친수성(hydrophilic)이며 표면에너지가 높음을 의미한다. 접촉각이 크다는 것은 재료 표면의 소수성이 강하여 재료의 발수효능이 우수함을 의미한다고 할 수 있다.

본 연구에서는 접촉각 측정방법 중 정접촉각(static contact angle) 방법이 사용되었다. 일반적으로 정접촉각은 주로 sessile drop 방법을 이용하여 측정되는데, 이 방법은 물체의 한쪽면만을 측정하고, 시편의 크기에 대체적으로 제한을 받지 않아 많이 이용되고 있다.

2. 측정 방법

1) 목재시편의 준비 및 처리

기건 소나무 변재부에서 치수가 3×25×50mm(접선×방사×수축방향)인 시편을 필요량 준비하여 접촉각 측정이 이루어질 시편 표면을 사포지를 이용하여 곱게 연마하였다.

2) 목재시편의 처리

준비된 시편은 2% CCA, WR 10d, WR 30d, WR 50d, 2% CCA+WR 10d, 2% CCA+WR 30d, 2% CCA+WR 50d로 감압법에 의해 처리되었다. 처리후 발수제의 단독 처리편은 바로 실내에 기건하였으며, CCA 및 CCA와 발수제의 혼합 수용액으로 처리된 시편은 60℃에서 24시간 양생 후 실내에서 기건하였다.

3) 확대영상법을 이용한 접촉각의 측정

무처리 목재 시편을 비롯한 처리 목재 시편의 표면에 10 μ l의 물을 떨어뜨린 후 총 측정시간 20초 동안 매 5초마다 접촉각 측정기(model SEO 330A)에 부착되어 있는 카메라를 이용하여 물방울 형태의 영상을 확대하여 computer image화 하였으며, software(image pro300)을 이용하여 접촉각을 측정하였다. 접촉각은 물방울의 좌우에서 측정되는 접촉각(θ_1)과 접촉각(θ_2)의 평균값을 내어 산출하였다

(Figure A-2).

3. 측정결과

물방울을 목재 표면에 떨어뜨린 직후부터 시간의 경과와 함께 발생하는 접촉각의 변화를 Figure A-3에 보여준다. 20초 경과후 측정된 접촉각을 보면 50배 희석된 발수제 처리시편의 접촉각이 CCA 단독 처리시편의 접촉각보다 낮은 것을 제외하고는 CCA와 발수제 혼합 수용액 처리시편 > 발수제 처리시편 > CCA 처리시편의 순으로 접촉각이 컸으며, 동일 처리시편 내에서는 발수제의 농도가 높을수록 접촉각이 컸다. 이러한 사실은 CCA와 발수제 혼합 수용액 처리시편 > 발수제 처리시편 > CCA 처리시편의 순으로, 그리고 동일 처리시편 내에서는 발수제의 농도가 높을수록 발수효율이 우수함을 증명해준다.

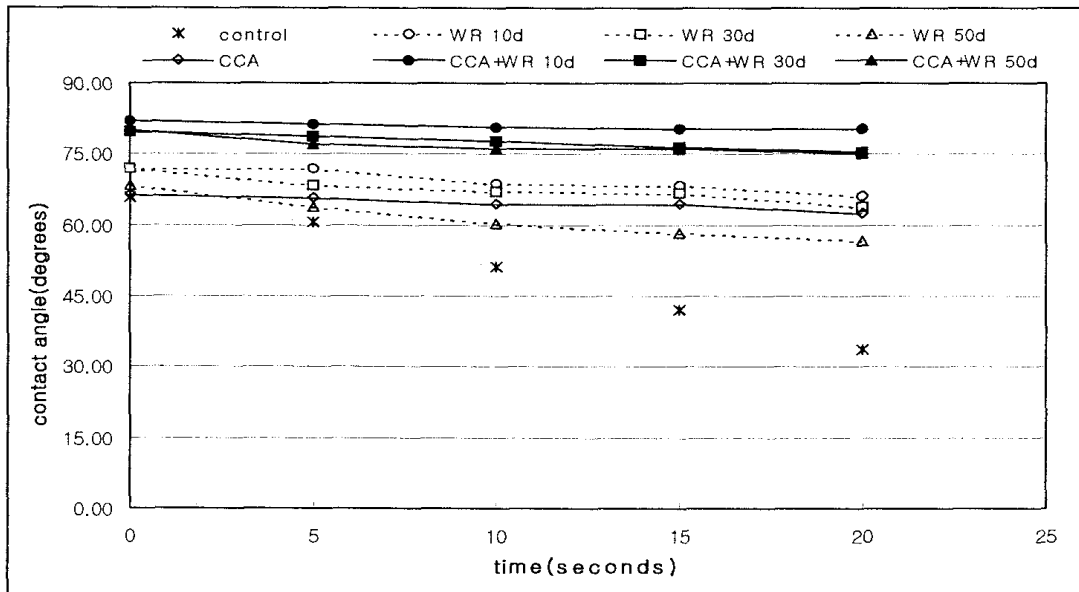


Figure A-3. Contact angle changes as a function of time on Japanese red pine along the grain direction

참고로 다음의 Figure A-4는 무처리와 처리시편 표면에서 시간의 경과와 함께 발생하는 물방울 형태의 변화를 보여준다.



Untreated Control



WR 10d treated wood



WR 30d treated wood



WR 50d treated wood

Figure A-4. Magnified graphic images of water drop during measurement of contact angle; 0 second (left), 25 second (right).



2% CCA treated wood



2% CCA+WR 10d treated wood



2% CCA+WR 30d treated wood



2% CCA+WR 50d treated wood

Figure A-4. Continued.

제 4 절 칼라 방부처리재 생산기술 개발

가. 서론

방부처리 원주가공재의 부가가치를 보다 향상시킬 수 있는 방법이 원래 수종의 재색과 거의 동일한 색을 보유하는 칼라 방부처리재를 생산하여 판매하는 것인데, 그 동안 이에 대한 연구가 전혀 이루어지지 않았으나 현 시점에서는 이에 대한 연구의 필요성이 매우 높다고 할 수 있다. 조경시설재용 원주가공재는 토양과 직접 접촉하거나 강우등 수분과 접촉하는 장소에 사용하기 때문에 반드시 방부처리를 실시하여야 한다. 원주가공재는 단순 방부처리 그 자체로도 내구성이 크게 증가되기 때문에 부가가치가 어느 정도 상승하지만, 방부처리재의 고부가화 방안으로 본 연구에서는 칼라 방부처리 원주가공재 생산기술을 개발하였다. 칼라 방부처리재(colored preservative-treated wood)는 처리재의 색상이 원래 수종의 색상과 유사한 처리재 또는 원하는 색상을 보유하는 처리재인데, 이의 생산은 적절한 안료나 염료를 방부제와 혼합·처리함에 의해 가능하리라 판단된다.

예비연구

1) 염료의 선정

염료는 종류에 따라 염색적성이 다르며 염료가 피염물에 고착되기 위한 염색조건도 다양하다. 사용방법에 의해 염료를 직접염료, 반응성염료, 산성염료, 건염염료, 황하염료, 분산염료, 염기성염료로 구분될 수 있는데 칼라 방부처리재 제조에 사용 가능한 염료로는 반응성 염료가 가장 적합한 것으로 판단되었다. 이는 반응성 염료가 다른 염료와는 달리 저온(상온)에서 고착될 수 있고, 또한 섬유와의 공유결합이 이루어지기 때문에 침투성, 균염성 및 일광 견뢰도가 우수한 장점을 가지고 있어서 칼라 방부처리재 제조에 사용될 염료의 조건을 대부분 충족하기 때문이다. 참고로 칼라 방부처리재 제조에 사용 가능한 염료의 특성을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 수용성으로 구리화합물계 목재 방부제인 CCA와 혼합이 용이해야 한다. 둘째, 방부처리시 발생될 수 있는 슬러지 문제를 최소화하는 온도 범위

내에서 목재를 염색시킬 수 있어야 한다. 셋째, 사용 및 환경 안전성 측면에서 볼 때 염료가 방부제 유효성분의 정착 및 용탈 특성과 기존의 부후저항성에 영향을 미치지 않아야 한다. 넷째, 칼라 방부처리재의 색상이 사용중에 퇴색되지 않도록 우수한 일광 견뢰도를 보유하여야 한다. 참고로 Table 25는 염료와 섬유의 염색 적성을 보여준다.

Table 25. Dyeing characteristics of various kinds of dyes according to the types of fibers.

구분	직접 염료	염기성 염료	산성 염료	분산 염료	반응성 염료	견염 염료	나프톨 염료	황화 염료	산화 염료	용제 염료
인견	○	×	×	×	◎	◎	○	○	○	×
마	○	×	×	×	○	○	○	○	○	×
견	○	◎	○	×	○	△	△	×	△	×
양모	△	◎		×	○	△	×	×	×	△
나일론	△	◎	○	○	○	△	×	×	×	×
초산 인견	×	×	△	◎	△	×	×	×	×	×
폴리에스테르	×	×	×	◎	△	△	×	×	×	×
아크릴섬유	×	◎◎	×	△	×	×	×	×	×	×
펄프지	○	○	○	×	○	△	△	×	×	◎

◎: 염색이 뛰어남 ○: 보통염색 △: 약하게 염색 ×: 염색 안됨

2) 염색방법의 선정

일반적으로 저온 염착형 반응성 염료를 이용한 염색시, 일상법(one phase method)과 이상법(two phase method)이 사용된다. 일상법은 염료에 알카리제, 요소, 환원방지제 등을 첨가하여 피염체를 염착한 후 건조에 의해 염료를 고착시킨 후 다시 후처리에 의해서 알카리제를 제거하는 방법이며, 이상법은 염료만을 사용하여 피염체를 염착시킨 후 고착제를 사용하여 피염체 내의 염료를 고착시키는 방법이다(Table 26).

Table 26. Comparison of one phase method with two phase method.

	일상법(one phase method)	이상법(two phase method)
색호 (color phase)	- 염료에 알카리제, 요소, 환원방지제를 첨가한다.	- 염료만 첨가하여 분리·염착 시킨다.
건조 (drying)	- 시간이 경과되면 색호가 가수분해되어 위험하므로 즉시 사용해야 한다.	- 시간이 경과하여도 아무 문제가 없다.
고착 (fixation)	- 스티밍에 의존한다.	- 알카리제를 사용하여 다양한 고착법을 응용할 수 있으며 에너지 소모가 적거나 없다.
후처리	- 소량의 알카리제를 제거하면 된다. - 고착처리후 섬유가 건조된 상태이므로 피염체가 단시간에 팽윤되지 않아 수세가 완전히 되기 힘들다.	- 일상법보다 많은 알카리제를 제거해야 된다. - 고착처리후 피염체가 습윤된 상태이므로 이미 호료가 팽윤되어 수세가 완전하다.

그러나 일상법의 경우 목재를 가압처리할 경우 건조·고착·후처리 과정의 적용을 단기간에 적용하기 힘들기 때문에 이상법에 의한 염색방법이 목재의 처리에 적합하다고 사료된다. 따라서 본 연구에서는 저온 고착형 반응성 염료인 procion 계통의 염료를 사용하였으며, 국산 소나무의 변재부에서 제조된 시편(5×5×0.5cm)을 만들어 실험실에서 제조된 칼라 방부제를 이상법으로 처리하였다. 칼라 방부제는 2% CCA용액을 만든 후 여기에 CCA 용액의 중량비를 기준으로 0.1%(w/w)의 procion 염료를 첨가하여 제조하였으며, 시편내 염료성분을 고착시키기 위하여 아래와 같은 두 가지 방법이 사용되었다.

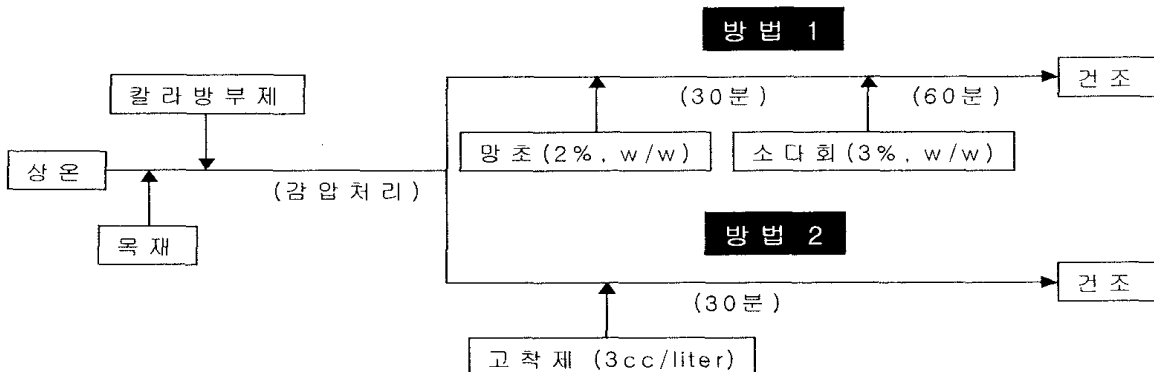


Figure 27. Processing protocol for colored preservative treatment.

용탈이 종료된 후 시편의 색상변화는 Figure 28에서 볼 수 있다. 용탈 전 시편의 색상은 처리 방법에 상관없이 선명하고 균일한 색상을 보여 주었으나 용탈 후의 색상은 처리방법에 따라 차이를 보여주고 있다. 용탈 후의 처리재 색상은 고착되지 않은 염료가 완전히 제거된 후의 시편 색상을 의미한다. 망초와 소다회를 사용한 방법 1의 경우, 고착제 만을 사용한 방법 2에 비하여 용탈 후 색상이 더 균일하게 남아있는 것을 관찰할 수 있다. 그러나 방법 1의 경우 가압처리를 하여 목재를 처리할 경우 가압 공정을 중지하고 망초와 소다회를 주약관 내부로 주입시켜야 하는 공정상의 문제점을 가지게 된다. 이러한 방법은 현실적으로 적용하기 어렵기 때문에 칼라 방부처리재 제조에는 목재를 가압처리한 후 고착제를 사용하여 목재 표면의 염료성분을 고착시키는 방법을 사용하는 것이 더 적절할 것으로 판단된다.

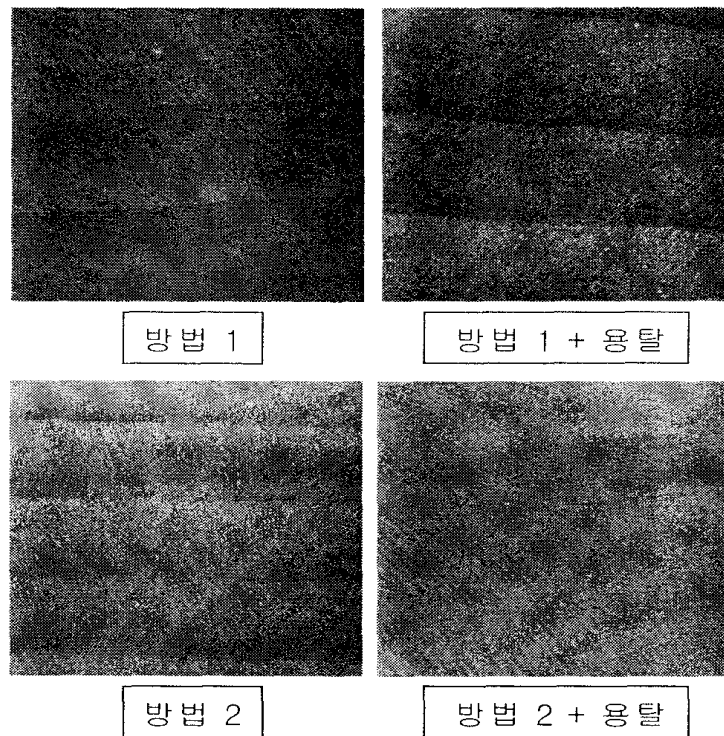


Figure 28. Color changes in colored CCA treated samples after leaching according to the fixation scheme of added dyes.

나. 재료 및 방법

1) 칼라 방부처리재 제조용 염료 선정

가) 목재시편의 준비

무변색의 생재 소나무 판재로부터 각각 5mm(두께)×25mm(폭)×25mm(길이) 크기의 시편을 필요량 준비하였다.

나) 염료의 선정 및 방부처리

방부처리재의 재색이 무처리 목재와 가장 유사하면서, 불쾌감을 주지 않을 것으로 사료된 M-3G, M-5B, ブロン M-G, づテック M-G의 4가지 염료를 이용하여 각각 0.1%, 0.3%, 0.5%의 염료가 첨가된 2% CCA 수용액을 조제하여 미리 준비된 시편에 감압법을 이용하여 주입하였다. 처리는 예비연구 결과에서 언급된 이상법(two phase method)을 이용하였으며, 동일한 농도의 칼라 방부제 처리에서도 고착제 처리 유무에 따라 재색이 상이할 것으로 사료되어 고착제 처리를 사용하지 않은 경우와 사용하였을 경우를 분리하여 처리하였다.

다) 방부처리 시험편의 양생 및 용탈

칼라 방부제로 처리된 시편들은 방부제 유효성분의 완벽한 정착을 유도하기 위하여 온도조건 60℃에서 48시간 동안 양생하였으며, 그 후 상온에서 1주일 동안 건조하였다. 건조된 처리 시편들은 증류수에 넣어 시편으로부터 더 이상 색이 빠져나오지 않을 때까지 용탈을 실시하였다. 또한 용탈 전후에의 시편의 색 변화를 색차계(Color Techno System, Co, Model: JP 7200F)를 이용하여 측정하였다.

2) 선정된 칼라 방부제로 처리된 시편의 야외폭로 시험

실험실 내에서 용탈에 의한 색 변화와 실제 강우 등의 기상조건과 직접 접촉시 야기되는 색변화가 상이할 가능성이 있다고 사료되어, 선정된(ブロン M-G) 염료를 CCA와 혼합하여 칼라 방부제를 제조한 후, 소나무 시편에 충세포법을 이용하여 가압 방부처리한 후 옥외에 노출하였다. 칼라 방부처리재는 현재 4개월째 옥

외에 폭로되고 있는데, 지속적으로 일정 기간마다 색의 변화를 조사할 예정이다.

가) 목재시편의 준비

실내에서 이미 기건된 소나무 판재로부터 횡단면의 크기가 2cm×7cm이며 길이가 15cm인 시편을 필요량 준비하였다.

나) 방부처리

2% CCA 수용액(이하 2% CCA로 칭함), 각각 0.1%, 0.3%, 0.5%(w/v)의 염료가 첨가된 2% CCA 수용액(이후 각각 2% CCA+D 0.1%, 2% CCA+D 0.3%, 2% CCA+D 0.5%로 칭함)을 조제하여 미리 준비된 시험편을 주약관에 집어넣고 760mmHg 진공에서 30분간 전배기를 적용하였다. 전배기가 종료된 후, 조제된 칼라 방부제를 주약관 내로 유입시키고 14kg/cm²의 압력으로 refusal point까지 가압을 실시하였다. 가압 종료 후, 시험편을 주약관 밖으로 빼내어 10분간 방치하면서 잉여약제를 회수하였다.

다) 처리재의 야외폭로와 표면재색 변화의 조사

처리재의 야외폭로는 Figure 29와 같이 수행되었는데 폭로시 약간 경사를 두어 처리시편의 표면이 동일하게 기상에 직접적으로 노출되게 하였다. 처리후 처리재의 표면 재색변화는 2개월마다 색차계(Color Techno System, Co, Model: JP 7200F)를 이용하여 각 시편의 색도값(CIE L*, a*, b*)을 측정하여 수치화하였다.

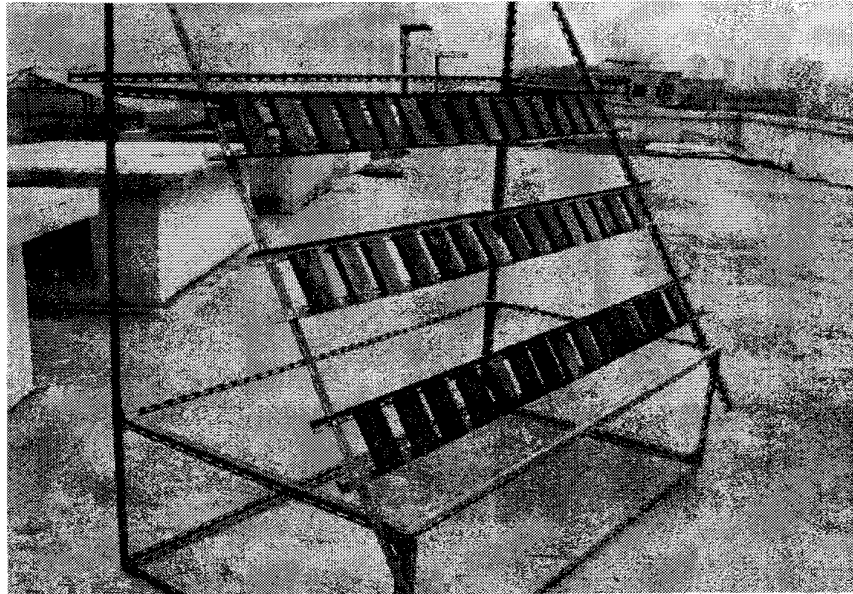


Figure 29. View of the colored CCA treated Japanese red pine samples exposed to the weather.

3) 칼라 방부제가 처리재의 성질에 미치는 영향 평가

가) 방부효능 평가

(1) 목재시편의 준비

실내에서 함수율 15~20% 기건된 소나무 변재부 판재로부터 AWPA soil-block test법에서 제시하고 있는 치수의 시편[(19mm(수축방향)×19mm(방사방향)×19mm(접선방향)]을 필요량 준비하였다.

(2) 처리용 방부제의 준비 및 시편 처리

1.5% CCA 수용액(이하 1.5% CCA로 칭함), 각각 0.1%, 0.3%, 0.5%의 염색약이 첨가된 1.5% CCA 수용액(이하 1.5% CCA+D 0.1%, 1.5% CCA+D 0.3%, 1.5% CCA+D 0.5%로 칭함), 각각 0.1%, 0.3%, 0.5%의 염색약이 첨가된 수용액(이하 D 0.1%, D 0.3%, D 0.5%로 칭함)을 조제하여 미리 준비된 시편에 감압법을 이용하여 주입하였다. 약제 주입후, 시편의 약제 흡수량을 조사하여 각 처리별로 일정

한 흡수량(175~183%)을 나타내는 시편을 선정하여 실내에서 기건상태까지 건조하였다.

(3) 방부효능 시험

방부효능 시험은 토양(soil) 대신에 질석(vermiculite)을 사용한 점과 공시균으로 갈색부후균인 *Tyromyces palustris*(KS와 JIS 공시 갈색부후균)만 사용한 점을 제외하고는 미국 방부협회 표준규격 AWPA E10-01(AWPA, 2001)의 soil-block 시험법에 의거하여 실시하였다.

나) 정착특성 평가

실내에서 함수율 15~20% 기건된 소나무 변재부 판재로부터 AWPA soil-block test법에서 제시하고 있는 치수의 시편[(19mm(수축방향)×19mm(방사방향)×19mm(접선방향)]을 필요량 준비하였다.

2% CCA, 2% CCA+D 0.1%, 2% CCA+D 0.3%와 2% CCA+D 0.5%의 수용액을 조제하여 미리 준비된 시편에 감압법을 이용하여 주입하였다. 약제 주입후, 시편의 약제흡수량을 조사하여, 각 처리별로 일정한 흡수량을 나타내는 시편을 선정하였다. 선정된 시편들을 aluminum foil로 싸서 21℃(상온양생)과 60℃(가속양생) 온도의 비건조 조건에서 양생시켰다.

양생중 일정 시간 간격으로 시편 2개를 임의로 꺼내서 McNamara(1989)가 제시한 압출법에 의해 실험실용 소형 압착기를 이용하여 시편들을 횡단방향으로 두께의 절반까지 압착하여 세포벽에 미정착 상태로 남아있던 방부제 성분들을 세포내강에 남아있던 물과 함께 압출하여 이를 정착평가용 시료로 사용하였다.

CCA 유효성분들의 처리 시편내 정착정도는 일반적으로 압출액 중에 3가크롬으로 환원되지 못한 6가크롬의 양을 diphenylcarbazide법(ASTM, 1996)에 의하여 측정하나, 본 실험에서는 이 방법의 적용이 곤란하였다. 이는 첨가된 염료가 6가크롬의 양에 따른 지시약의 색발현을 저해할 것으로 사료되어, 시료내의 CCA 유효성분의 양을 기초과학지원연구소 서울분소의 Inductively coupled

plasma-atomic emission spectrometer (ICP- AES)를 사용하여 측정하였다.

다) 용탈특성 평가

정착특성 평가용 시편중 일부를 60℃ 비건조조건에서 72시간 양생하여 CCA유효성분의 처리재내 완벽정착을 유도한 후 실내에서 시편들의 함수율이 15%선이 될 때까지 기건하였다.

용탈시험은 미국 방부협회 표준규격 E11-97(AWPA, 2001)에 의거하여 실시하였고, 채집된 용탈수 내에 존재하는 CCA 유효성분의 양, 즉 용탈량은 기초과학지원연구소 서울분소의 Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometer (ICP-AES)를 사용하여 측정하였다.

라) 보유량 평가

(1) 목재시험편의 준비

생재 상태의 소나무 원목을 지름 80mm로 원주가공하여 실내에서 함수율 15~20%선까지 기건한 후, 길이 30cm의 시편을 필요량 준비하였다. 시험편의 양 목구멍은 epoxy 도료로 1차 end-coating후 silicone sealant로 2차 end-coating하였다.

(2) 방부처리 및 보유량 분석

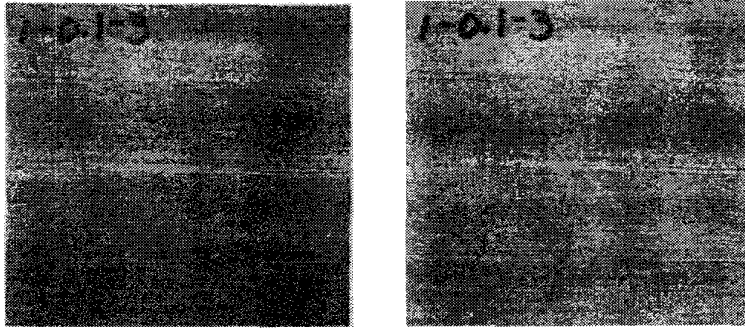
2% CCA, 2% CCA+D 0.1%, 2% CCA+D 0.3%와 2% CCA+D 0.5%의 수용액을 조제하여 미리 준비된 시편에 pilot 규모의 소형 가압주입장치를 이용하여 충세포법(full-cell process)을 이용하여 주입하였는데, 시험편을 주약관내에 집어넣고 760mmHg의 감압상태에서 전배기를 30분간 적용하였다. 전배기가 종료된 후, 약제를 주약관내로 유입시키고 14kg/cm²의 압력하에서 refusal point에 도달할 때까지 가압을 실시하였다. 처리후 후배기는 적용하지 않았으나, 주약관에서 처리된 시험편을 꺼내어 10분간 방치하여 잉여 약제의 'kickback'을 유도한 후, 시험편의 무게를 측정하고 기건하였다.

양생이 완료된 시험편을 실내에서 1달간 기건시킨 후, 시험편의 중앙부에서 용이 등의 결점을 피하여 두께 5mm의 박편을 채취하여 화학보유량 분석용으로 사용하였다. 약제의 화학보유량 분석용 시료를 채취한 박편의 표면으로부터 깊이 20mm까지 5mm 단위로 4개 지역과 표면으로부터 깊이 10mm 까지의 총 5개 지역으로 분리시켜 이들을 30mesh 크기로 마쇄하여 준비한 후, AWPA 표준규격 A7-97의 peroxide-nitric acid 법을 이용하여 분석용 시료액을 만든 후, 기초과학지원연구소 서울분소의 Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometer (ICP- AES)를 사용하여 측정하였다.

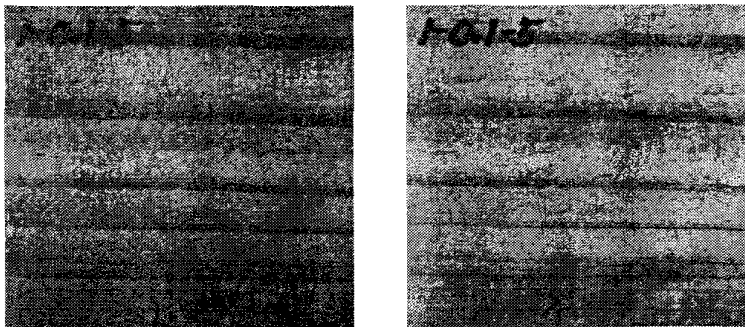
다. 결과 및 고찰

1) 칼라 방부처리제 제조용 염료 선정

선정된 염료, 염료 혼합농도, 방부처리후 고착제 처리 유무의 조합에 따른 처리 시편의 표면 재색은 다음의 Figure 30과 같다. 사용된 염료중 원래의 소나무 재색은 아니지만 일반적으로 나무의 재색으로서 신호도가 가장 높은 북미산 redwood 혹은 western red cedar의 재색과 비슷한 염료인 브론 M-G를 칼라방부제 제조용 염료로 선정하였으며, 용탈 후의 시편 재색은 고착제 처리를 실시한 경우에 더욱 우수하였다.

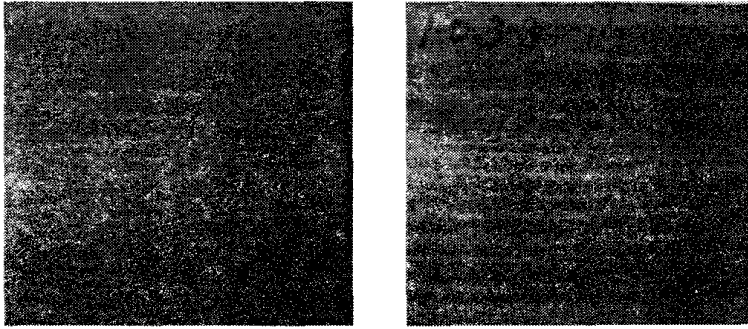


dye 종류		M-3G		
농 도		0.1 %		
고착제 사용		○		
색차계	처리전	L= 43.16	a= 24.96	b= 15.09
	처리후	L= 45.05	a= 25.64	b= 21.15

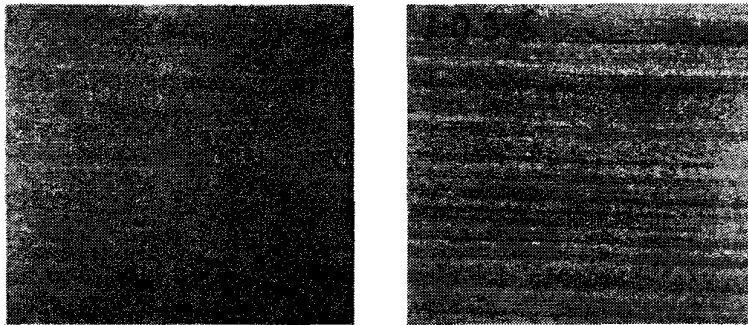


dye 종류		M-3G		
농 도		0.1 %		
고착제 사용		×		
색차계	처리전	L= 42.17	a= 27.05	b=13.48
	처리후	L= 55.41	a= 10.68	b=16.34

Figure 30. Changes in surface color of Japanese red pine samples treated with colored preservative; before leaching (left), after leaching (right)

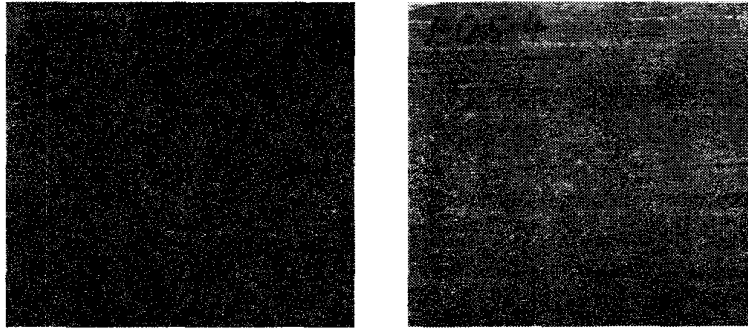


dye 종류		M-3G		
농 도		0.3 %		
고착제 사용		○		
색차계	처리전	L= 35.04	a= 27.84	b= 12.82
	처리후	L= 43.58	a= 26.17	b= 19.03

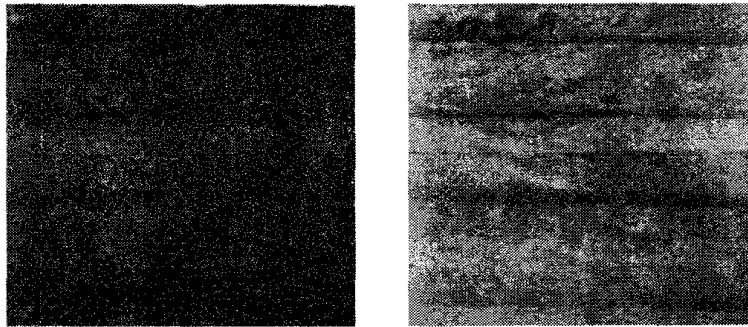


dye 종류		M-3G		
농 도		0.3 %		
고착제 사용		×		
색차계	처리전	L= 33.38	a= 28.27	b=11.39
	처리후	L= 48.86	a= 19.60	b=14.80

Figure 30. Continued.

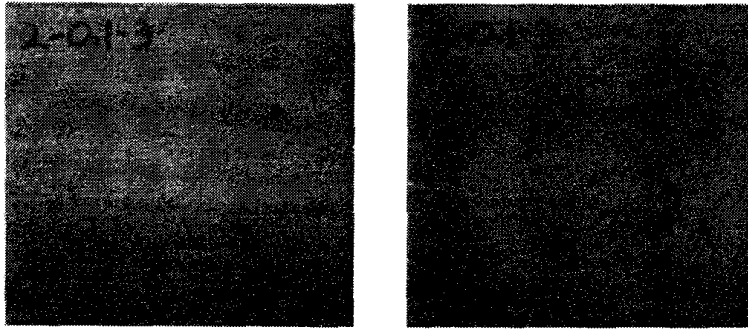


dye 종류		M-3G		
농 도		0.5 %		
고착제 사용		○		
색차계	처리전	L= 33.38	a= 28.27	b=11.39
	처리후	L= 48.86	a= 19.60	b=14.80

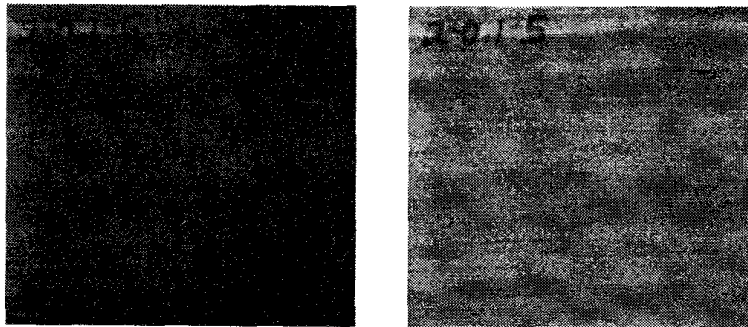


dye 종류		M-3G		
농 도		0.5 %		
고착제 사용		×		
색차계	처리전	L= 32.37	a= 28.85	b= 12.49
	처리후	L= 47.20	a= 21.09	b= 13.39

Figure 30. Continued.

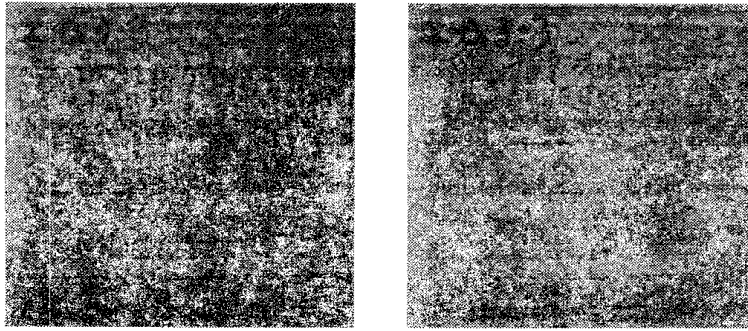


dye 종류		M-5B		
농 도		0.1 %		
고착제 사용		○		
색차계	처리전	L= 42.92	a= 34.16	b= 6.41
	처리후	L= 43.72	a= 34.31	b= 8.89

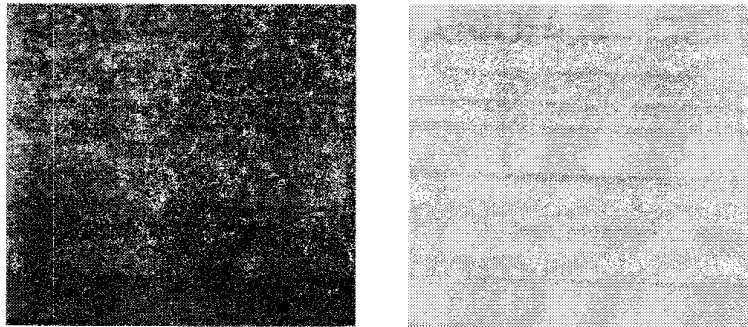


dye 종류		M-5B		
농 도		0.1 %		
고착제 사용		×		
색차계	처리전	L= 37.25	a= 27.08	b= 3.92
	처리후	L= 48.11	a= 17.93	b= 9.75

Figure 30. Continued.

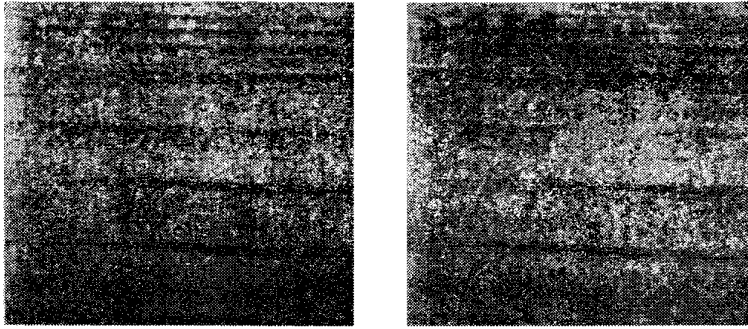


dye 종류		M-5B		
농 도		0.3 %		
고착제 사용		○		
색차계	처리전	L= 39.75	a= 35.59	b= 4.58
	처리후	L= 47.30	a= 30.83	b= 7.58

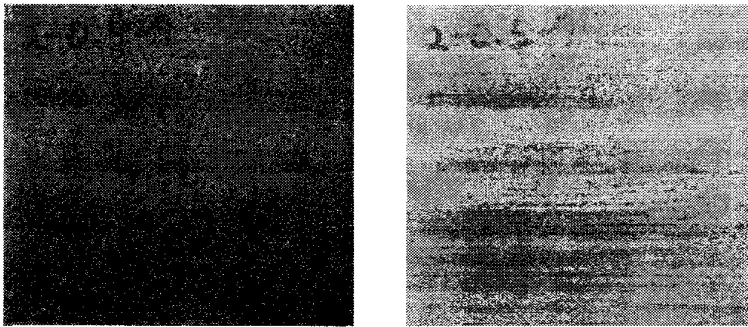


dye 종류		M-5B		
농 도		0.3 %		
고착제 사용		×		
색차계	처리전	L= 36.32	a= 35.49	b= 2.53
	처리후	L= 54.12	a= 20.61	b= 9.45

Figure 30. Continued.

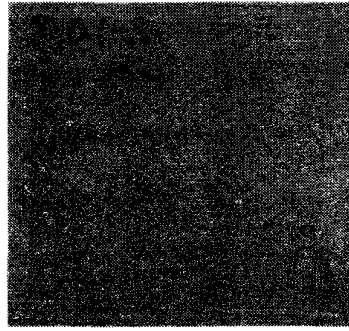
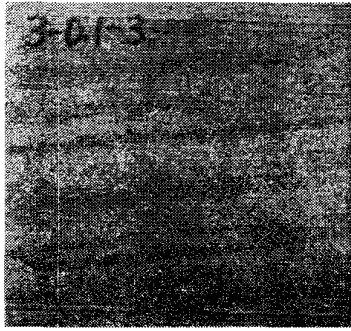


dye 종류		M-5B
농 도		0.5 %
고착제 사용		○
색차계	처리전	L= 41.85 a= 33.01 b= 3.92
	처리후	L= 47.11 a= 30.18 b= 7.25

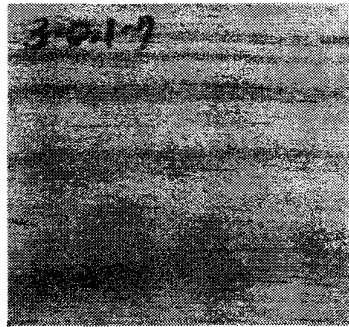
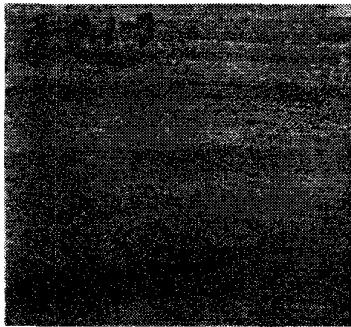


dye 종류		M-5B
농 도		0.5 %
고착제 사용		×
색차계	처리전	L= 35.03 a= 34.16 b= 3.14
	처리후	L= 48.16 a= 27.04 b= 7.55

Figure 30. Continued.

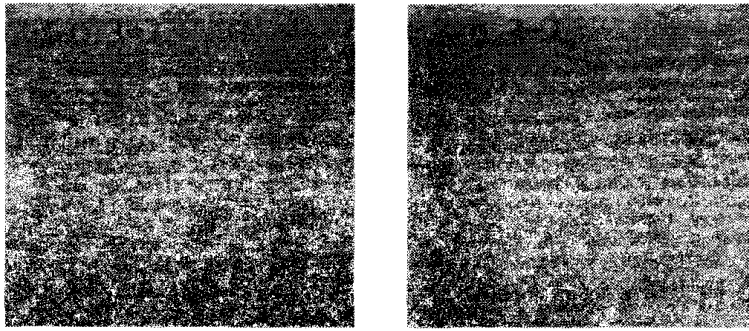


dye 종류		브론 M-G
농 도		0.1 %
고착제 사용		○
색차계	처리전	L= 46.32 a= 18.67 b= 18.75
	처리후	L= 51.00 a= 15.68 b= 22.96

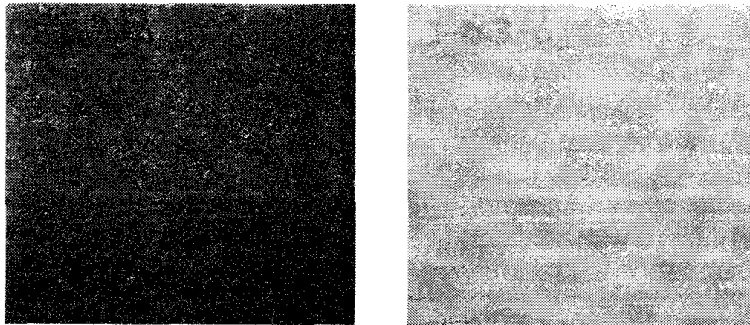


dye 종류		브론 M-G
농 도		0.1 %
고착제 사용		×
색차계	처리전	L= 43.62 a= 18.03 b= 21.44
	처리후	L= 53.42 a= 8.21 b= 20.53

Figure 30. Continued.

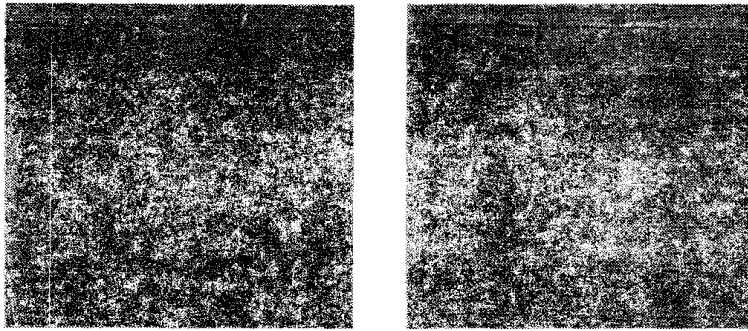


dye 종류		ブロン M-G		
농도		0.3 %		
고착제 사용		○		
색차계	처리전	L= 38.71	a= 22.80	b= 17.87
	처리후	L= 47.41	a= 16.57	b= 22.77

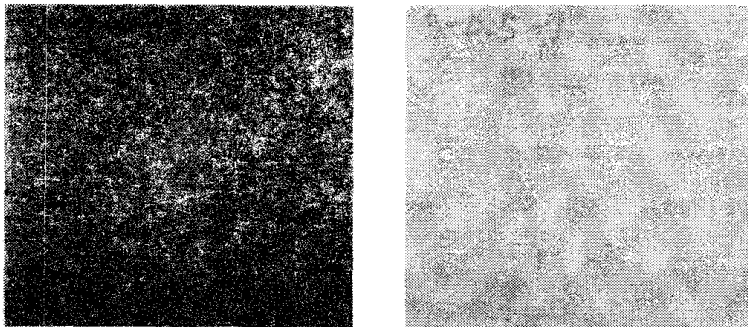


dye 종류		ブロン M-G		
농도		0.3 %		
고착제 사용		×		
색차계	처리전	L= 37.34	a= 24.96	b= 19.11
	처리후	L= 50.70	a= 12.48	b= 18.86

Figure 30. Continued.

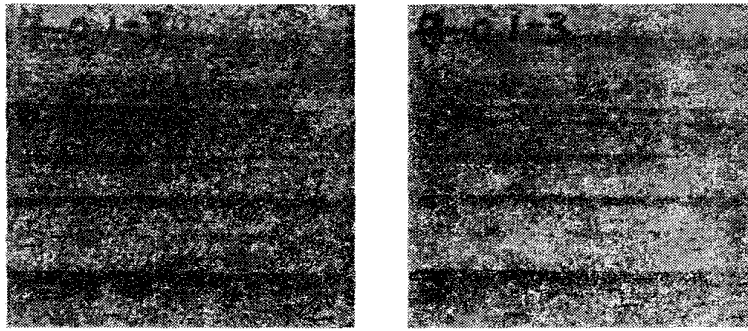


dye 종류		ブロン M-G		
농 도		0.5 %		
고착제 사용		○		
색차계	처리전	L= 35.52	a= 25.85	b= 17.42
	처리후	L= 44.95	a= 20.22	b= 22.00

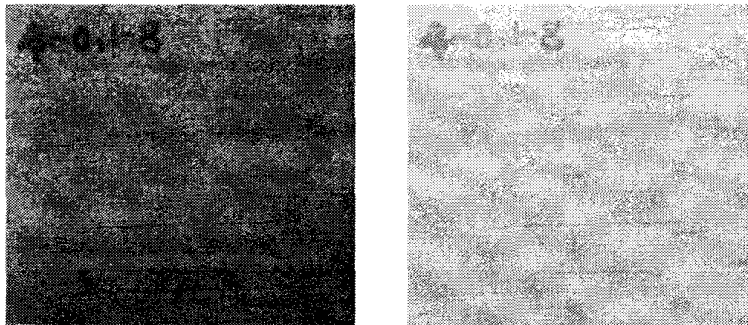


dye 종류		ブロン M-G		
농 도		0.5 %		
고착제 사용		×		
색차계	처리전	L= 38.19	a= 27.72	b= 18.89
	처리후	L= 53.47	a= 14.70	b= 19.05

Figure 30. Continued.

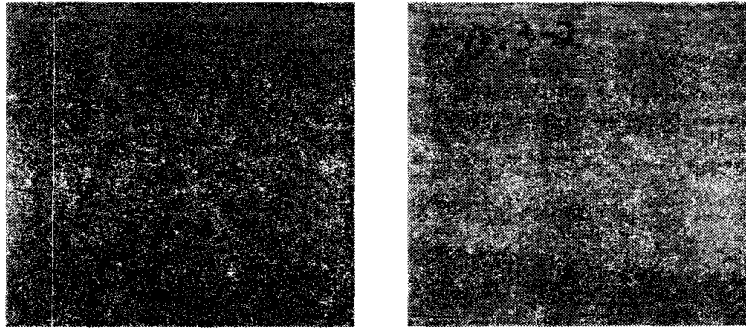


dye 종류		づテック M-G
농 도		0.1%
고착제 사용		○
색차계	처리전	L= 40.18 a= 14.77 b= 13.01
	처리후	L= 46.62 a= 11.37 b= 15.90

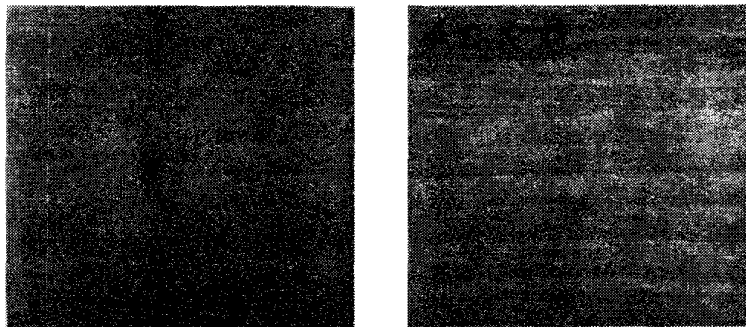


dye 종류		づテック M-G
농 도		0.1%
고착제 사용		×
색차계	처리전	L= 43.40 a= 15.68 b= 9.48
	처리후	L= 57.53 a= 7.92 b= 16.72

Figure 30. Continued.

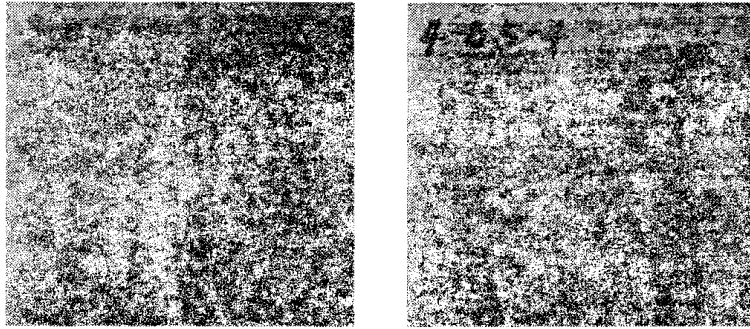


dye 종류		づテック M-G
농 도		0.3%
고착제 사용		○
색차계	처리전	L= 31.17 a= 23.84 b= 9.16
	처리후	L= 44.08 a= 17.79 b= 14.01

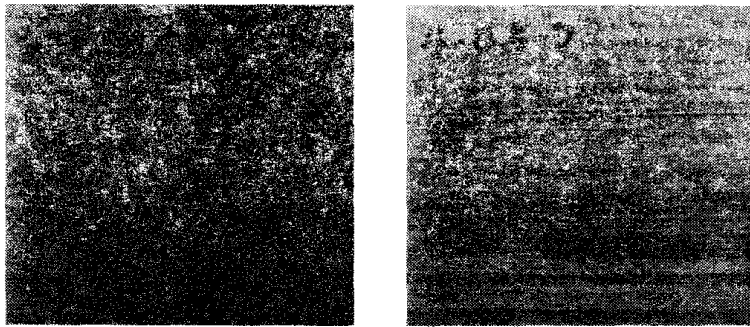


dye 종류		づテック M-G
농 도		0.3 %
고착제 사용		×
색차계	처리전	L= 32.46 a= 23.25 b= 8.64
	처리후	L= 49.03 a= 14.52 b= 13.11

Figure 30. Continued.



dye 종류		브텍 M-G		
농도		0.5 %		
고착제 사용		○		
색차계	처리전	L= 31.40	a= 21.47	b= 7.80
	처리후	L= 43.89	a= 19.22	b= 12.99



dye 종류		브텍 M-G		
농도		0.5 %		
고착제 사용		×		
색차계	처리전	L= 29.53	a= 22.41	b= 8.96
	처리후	L= 45.59	a= 16.50	b= 13.29

Figure 30. Continued.

시편으로부터 염료가 더 이상 용탈되지 않을 때까지는 대략 15일 정도가 소요되었는데, 이렇게 염료가 용탈되는 것은 처리 시편내 고착되지 않은 염료가 존재한다는 것을 의미한다. 일반적으로 섬유를 염색하는 경우 고착되지 않은 염료를 제거하는 세정과정을 거쳐 염색과정이 끝나게 된다. 그러나 목재의 경우 세정과정이 용이하지 않기 때문에 미정착된 염료성분은 목재내에 일정량 남게 되는 것으로 사료된다.

2) 선정된 칼라 방부제로 처리된 시편의 야외폭로 시험

본 연구의 결과는 처리후 4개월간 야외폭로중인 시험편의 표면재색 변화를 대상으로 하였다. 그리고 염료와 혼합된 칼라 방부제 처리가 실제 야외 사용될 경우, 직접적으로 기상에 노출되면서 야기되는 색의 변화를 파악할 필요가 있는데, 이는 현재 야외에서 4개월째 폭로되고 있는 처리 시험편을 대상으로 주기적으로 색 변화를 조사할 예정이다.

처리 직후와 4개월 폭로후 처리 시험편에는 재색 변화가 야기되었는데, 시험편의 색도를 측정된 결과, 붉은 색을 나타내는 크로마틱 지수 a^* 의 변화가 가장 심한 것을 알 수 있다. 칼라방부제 제조용 염료의 선정에 있어서 사용된 동일한 염료인 브론 M-G의 용탈실험의 경우, 14일 후의 크로마틱 지수 a^* 의 변화값보다 야외 폭로시 크로마틱 지수 a^* 의 변화값이 더욱 큰 것을 알 수 있다(Figure 31). 이는 실험실내에서 수행되는 용탈 실험은 비록 14일간 침지되어 있다고 할지라도, 야외폭로시 수반되는 기온의 일교차, 강수량 등의 기상인자의 변화에 따라 처리 시험편이 반복되는 젖음과 건조 등으로 더욱 심한 열화조건에 노출되었기 때문이라고 사료된다. 참고로 노출기간동안의 기상자료를 Table 27에 제시하였다. 또한, 노출 2개월째 지수 a^* 의 값이 크게 감소하였으나 노출 4개월째 색도계를 이용하여 측정된 결과 지수 a^* 의 값이 거의 안정이 되고있음을 알 수 있으나 노출 6개월째 되는 시기에 측정되는 지수 a^* 의 값으로 보다 정확한 판단을 내릴 수 있을 것으로 사료된다. 4개월간의 야외폭로 결과 염료의 농도가 0.1%와 0.3%의 경우, 색의 변화가 심하게 야기되어 기존 재색이 유지되지 않으나, 염료농도 0.5%로

처리된 시험편의 재색은 육안적으로 대부분 기존 재색을 거의 유지하고 있어 칼라방부제 처리시 염료의 농도가 적어도 0.5% 이상이 되어야함을 알 수 있다. Figure 32는 야외 폭로후 거의 6개월이 경과된 상태의 칼라 방부처리 시험편의 표면재색을 보여준다. 칼라방부제의 가장 큰 장점은 위의 결과를 토대로 염료를 0.5%이상의 농도를 첨가하여 칼라 방부제를 제조할 경우, 소비자가 원하는 색상을 다양하게 적용할 수가 있기 때문에 본 칼라 방부제의 개발시 형성되는 시장의 규모는 매우 거대하다고 사료된다.

Table 27. Weathering data during field trial.

	Exposure period			
	3	4	5	6
Temperature (°C)	6.5	13.2	19.6	21.5
Daily range (°C)	7.7	8.9	10.6	7.8
*Precipitation (mm)	26.8	139.6	106.0	156.0
Relative humidity (%)	58.0	59.6	56.7	68.7

* Precipitation value is a cumulative quantity of rainfall during a month.

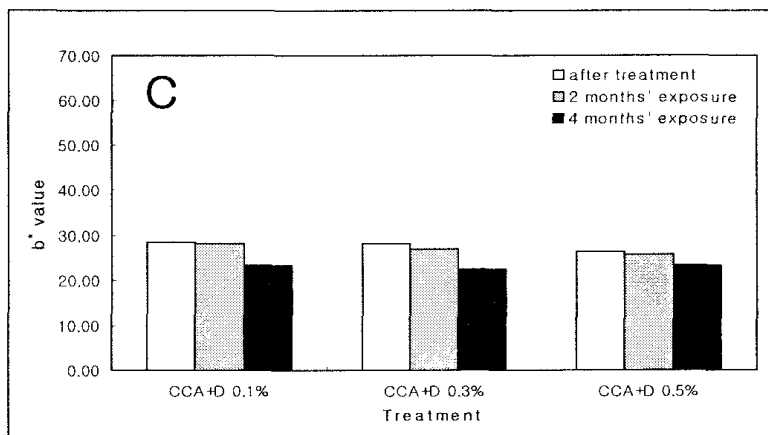
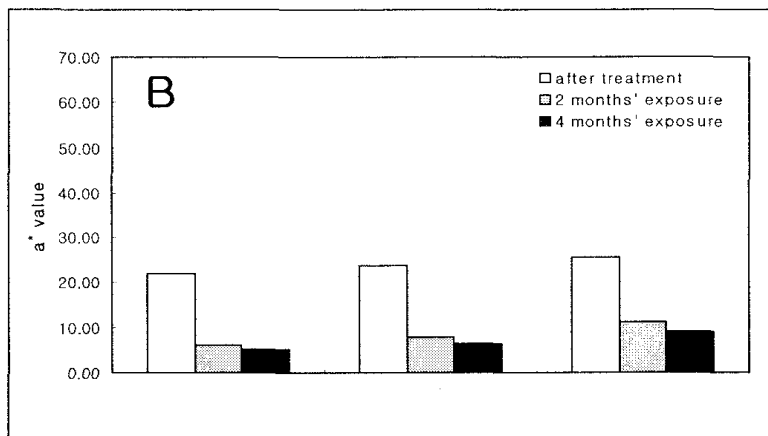
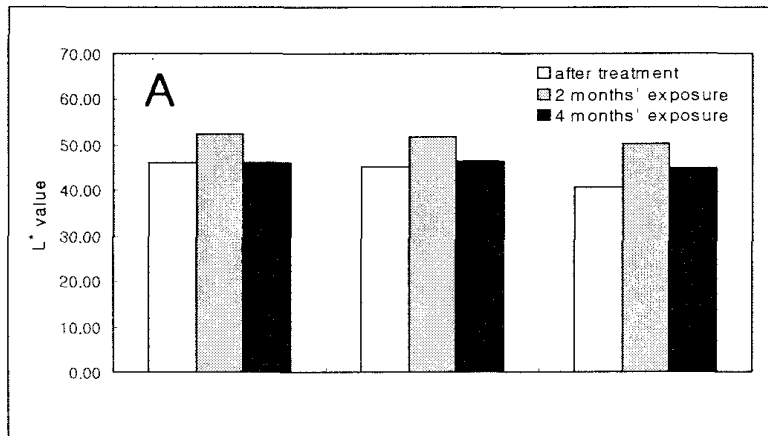


Figure 31. L*, a* and b* values during 4 months' exposure (A: L*, B: a*, C: b*).

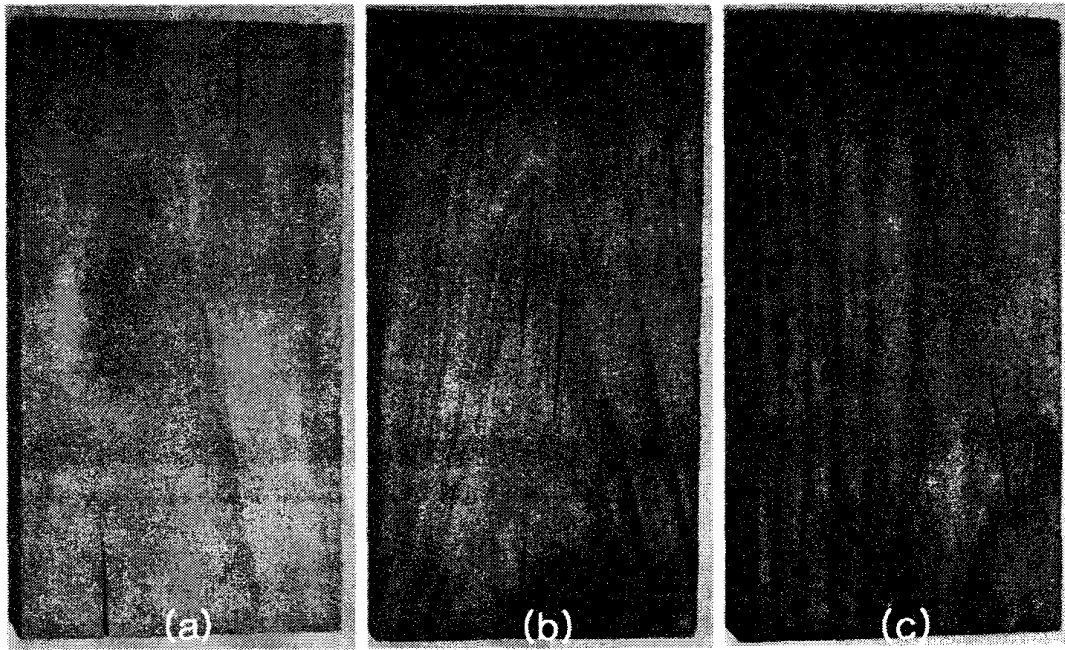


Figure 32. Surface color of colored preservative treated Japanese red pine test specimens after almost 6 month's exposure [(a): CCA+D 0.1%, (b): CCA+D 0.3%, (c): CCA+D 0.5%)]

3) 칼라 방부제가 처리재의 성질에 미치는 영향 평가

가) 방부효능 평가

대표적인 갈색부후균인 *Tyromyces palustris*를 이용한 방부효능 시험 결과, 염료의 혼합이 CCA 처리재의 방부효능을 저하시키지 않음을 알 수 있었다(Table 28). 또한 대조구에서의 평균 중량감소율이 43.94%로 나타나 공시균의 부후능력은 매우 우수하여 본 연구의 결과는 타당하다고 할 수 있다.

염료 단독 처리시편에서도 공시균에 의한 부후가 굉장히 심하게 발생하였으나 중량감소율이 무처리 대조구보다는 낮았으며, 이는 염료성분중에 방부효능을 보유하는 성분이 있음을 의미하는데, 염료 혼합농도가 증가할수록, 중량감소율의 감소가 이를 뒷받침해준다. CCA와 염료의 혼합 처리구의 방부효능은 CCA에 의한 효능과 염료에 의한 부가반응의 합이기 때문에 실제로는 CCA 단독 처리구보다 방부효능이 더 높을 것으로 사료된다. 그러나 본 연구의 CCA 단독 처리구는 CCA 보유량(약 13.6kg/m³)이 상당히 높은 관계로 부후가 전혀 발생하지 않아 염료 혼합에 따른 방부효능의 상승 효과를 파악할 수 없었다. 참고적으로, 발수제 혼합처리가 처리재의 성질에 미치는 영향 평가에서 수행된 방부효능 평가 시험에서는 2% CCA 수용액을 사용하였으나 발수제의 점도에 의해 야기되는 흡수율의 감소문제가 수반되어 시편들의 약제흡수율을 약 100%가 되도록 조절하였으나, 본 연구에서는 CCA의 농도를 1.5%로 낮추었음에도 불구하고 염료 첨가에 의한 흡수율 감소문제가 수반되지 않아 일반적으로 시편들의 흡수율이 180% 전후를 보여 CCA 보유량이 오히려 상승되었다. 따라서 앞으로 후속 연구를 통해 염료 첨가에 의한 방부효능 상승효과를 정확하게 구명할 수 있다면 칼라방부제 처리구에서는 CCA 농도를 어느 정도 낮추어도 CCA 단독 처리구와 동일한 방부효능을 발휘할 수 있다고 본다.

Table 28. Mean weight losses of treated samples with CCA, dye mixed solution of CCA and dye solution after exposure to brown rot fungi, *Tyromyces palustris* for 12 weeks.

Treatment group	Weight losses ^{*1} (%)	
	Average	Standard deviation
Untreated control	43.94	11.10
1.5% CCA	- ^{*2}	-
D 0.1%	36.16	2.67
D 0.3%	32.75	3.92
D 0.5%	26.65	11.37
1.5% CCA+D 0.1%	-	-
1.5% CCA+D 0.3%	-	-
1.5% CCA+D 0.5%	-	-

*1 Values are the mean of 10 blocks.

*2 No weight losses were measured.

나) 정착특성 평가

Cooper 등(1993)이 지적한 것처럼 방부제 유효성분중 하나인 6가크롬이 3가크롬으로 환원되기 이전에 CCA의 다른 유효성분인 구리와 비소 화합물들이 미리 목재 구성성분들과의 정착이 완료되기 때문에, 본 연구에서는 처리 시험편 내의 크롬 잔존량에 의하여 방부제 성분들의 정착정도를 평가하였다.

Figure 33은 CCA 단독 처리시험 및 칼라방부제 처리시험에서 양생기간과 크롬의 압출량간의 관계를 상온양생과 가속양생으로 구분하여 보여준다. 양생온도와 염료 혼합 및 염료농도에 관계없이 양생이 진행되면서 크롬 양의 감소형태는 CCA단독 처리구와 매우 유사하였다.

Table 29는 Cooper와 Ung(1992)이 제시한 압출액 중에 존재하는 크롬의 양이 15ppm 미만이 되는 시점을 기준으로 계산된 양생 소요기간을 보여준다. 염료 혼합 여부 및 농도에 관계없이 양생에 소요되는 기간이 가속양생과 상온양생에서 알수 있듯이 염료가 혼합된 칼라방부제의 CCA 유효성분의 정착특성에 부정적인 영향을 미치지 않는다고 결론지을 수 있다.

Table 29. Time required for complete fixation evaluated using the method suggested by Cooper and Ung.

Treatment	Accelerated fixation at 60°C* ¹ (hours)	Moderate fixation at 21°C* ² (days)
CCA	10.62	18.84
CCA+D 0.1%	9.63	14.02
CCA+D 0.3%	10.49	15.48
CCA+D 0.5%	10.00	15.99

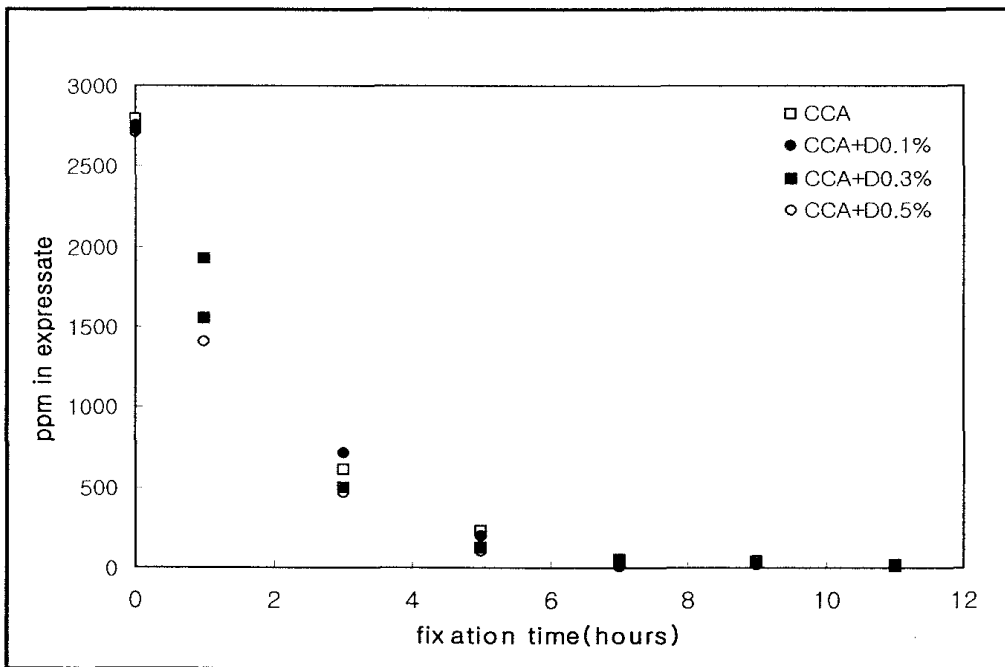
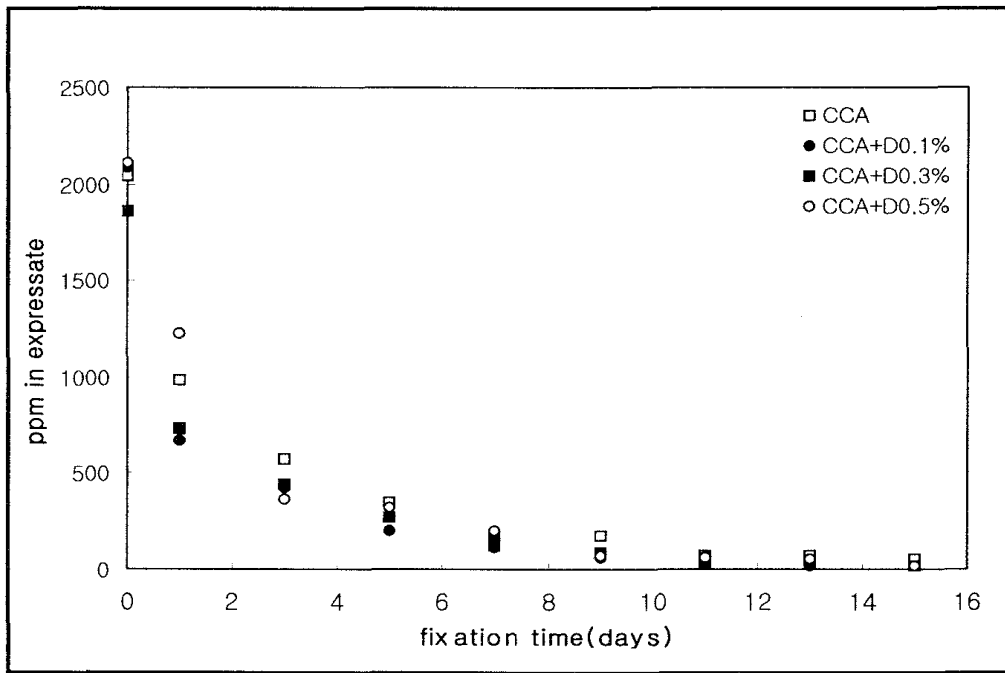


Figure 33. Relationship between fixation period and hexavalent chromium of expressate during nondrying fixation at 21°C (top) and 60°C (bottom).

다) 용탈특성 평가

CCA 단독 처리시편과 CCA와 염료가 혼합된 칼라방부제로 처리된 시편으로부터 총 14일간의 용탈시험 결과 방부제 유효성분인 크롬, 구리, 비소성분의 누적 용탈량을 Figure 34에 나타내었는데, 모든 처리구에서 CCA 유효성분들의 누적 용탈량은 비소>구리>크롬의 순이었다.

칼라방부제 제조시 사용된 염료의 혼합은 비소를 제외한 크롬과 구리등의 유효성분의 용탈량에 미치는 영향은 일정치 않았으나, CCA와 칼라방부제 처리 시편 간에는 통계학적으로 유의성이 인정되는 누적 용탈량 차이가 없어 염료의 혼합이 CCA 용탈에 미치는 영향은 없다고 볼 수 있다. 그러나 염료의 혼합이 비소성분의 용탈량을 증가시켰는데 이는 처리간 통계학적으로 유의성이 인정되었다(Table 30). 이는 인체 및 환경위해성과 관련되는 문제로 향후 좀더 추가 연구를 통해 염료 첨가시 비소 용탈량의 증가 원인을 구명하여 용탈을 최소화시킬 수 있는 방안을 제시해야할 필요성이 있다.

Table 30. The effect of addition of dyes on arsenic leaching as compared by a Duncan's multiple range test of mean values at $\alpha = 0.05$.

	CCA	CCA+D 0.1%	CCA+D 0.3%	CCA+D 0.5%
arsenic leaching		*		

* Each bar represents mean values equivalent at a 95% level of significance.

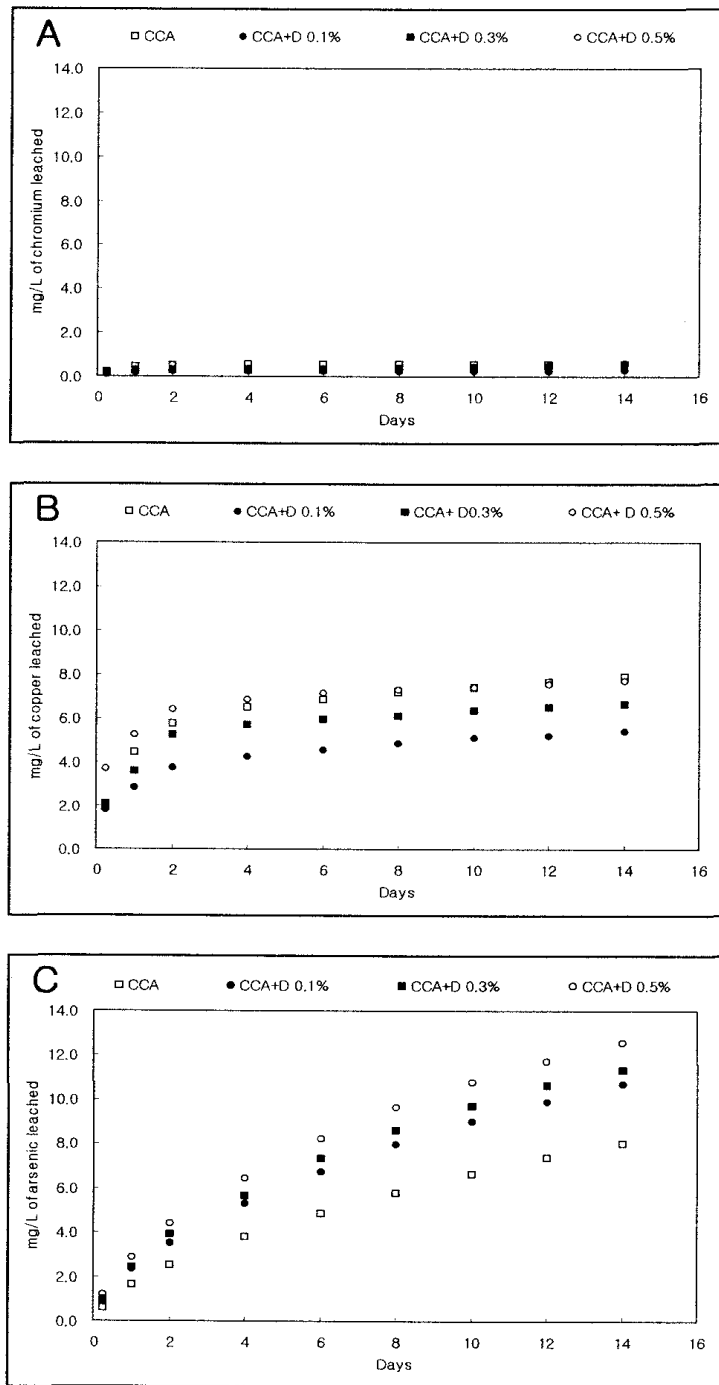


Figure 34. Cumulative leaching of CCA components from wood samples treated with CCA or CCA in combination with dye. (A: chromium, B: copper, C: arsenic)

라) 보유량 평가

표면으로부터 깊이 20mm까지 5mm 단위로 4개 지역과 표면으로부터 깊이 10mm까지의 총 5개 지역으로 분리되어 화학보유량 분석용 시료를 통하여 CCA 단독 처리구와 칼라방부제 처리구의 보유량 분석결과를 Table 31과 Figure 35에 제시하였다. 표면으로부터 방부제 침투깊이에 대한 CCA 유효성분에 대한 보유량 경사는 4개처리구에 유사하게 나타났으며, 또한 표면으로부터 1cm까지의 보유량 역시 차이가 없어 염료첨가에 의한 CCA 유효성분의 보유량에 미치는 영향은 없다고 할 수 있다.

Table 31. Chemical retention of each treatments from surface to 10mm inner zone.

Treatments	Chemical retention(kg/m ³)
CCA	13.06
CCA+D 0.1%	13.42
CCA+D 0.3%	13.56
CCA+D 0.5%	13.59

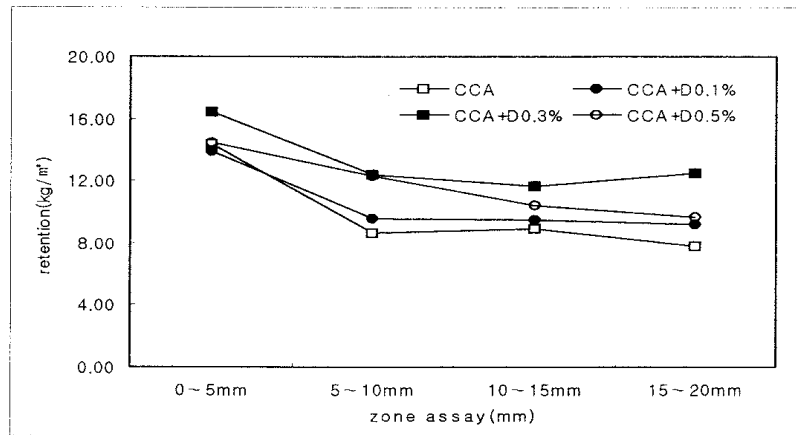


Figure 35. Comparison of chemical retention with treatments.

제 4 장 제재목 생산관리시스템 개발

제 1 절 서론

1. 연구배경 및 필요성

현재, 국산 제재목의 생산공정은 산지에서의 입목벌채 및 원목조재로부터 시작된다. 즉, 벌채 대상지의 입목은 벌채된 후, 일정한 길이로 조재되어 목재집하장이나 임산물 종합유통센터 등으로 운송된다. 임산물 종합유통센터에서는 운송된 원목을 일정한 기준에 따라 분류하여 건조·보관하게 된다.

저장된 원목은 제재일정에 따라 다양한 규격 및 형태의 제재목으로 생산된다. 그러나 제재에 대한 명확한 의사결정기준 없이, 주문 및 작업자별 숙련도에 따라 제재가 임의적으로 이루어지고 있어 제품품질 및 제재수율에 대한 문제가 지적되어 왔다.

제재목의 품질에 영향을 미치는 인자로는 강도와 함수율 등의 재료적인 측면과 표면상의 결함과 재색, 그리고 목리 등의 외관적 요소가 있다. 이중 외관적 결함에 근거한 등급화는 이루어지지 않고, 일반적으로 모든 제재목에 대해 동일한 등급을 적용해 왔다.

목재수요의 대부분을 수입에 의존하고 있는 상황에서 국산 목재시장을 활성화시키기 위해서는 국산재의 가격 및 품질경쟁력의 제고가 수반되어야 한다. 국산 제재목의 가격 및 품질경쟁력을 제고시킬 수 있는 방안으로 크게 생산비용절감과 고부가가치화에 의한 선호도제고를 들 수 있다.

생산비용절감은 제재목 생산에 수반되는 각종 공정의 체계화 및 자료관리의 전산화를 통해 각종 자료관리 및 의사결정의 효율성 제고를 통해 이루어 질 수 있다. 제재과정에서의 수율제고 또한 생산비 절감의 중요한 요소로 볼 수 있다.

현재 단일 등급으로의 판매보다는 생산 제재목을 등급화하여 차별화 된 가격 및 용도를 채택함으로써 국산 제재목의 선호도 및 판매량제고를 기대할 수 있을 것이다.

이에 본 연구는 제재목 생산과정에 수반되는 각종 자료관리 및 분석을 전산처리하는 다양한 시스템을 구축하고, 이를 이용하여 제재목 생산공정에 수반되는

다양한 의사결정을 효율적으로 수행할 수 있는 방안을 제시하고자 수행하였다. 이를 통해 궁극적으로는 제재수율제고 및 제재목 등급화에 의해 국산 제재목의 가격 및 품질 경쟁력을 제고시킬 수 있는 방안을 제시코자 하였다.

2. 연구 목표 및 내용

본 연구에서는 기존의 단순한 제재방법에서 벗어나 제재목 생산과정에서 제재수율과 관련된 공정을 전산시스템으로 구축함으로써 고수율의 제재목 생산체계를 마련하고자 하였다. 이를 위해 원목조재로부터, 제재, 제재목 등급구분 및 관리까지의 전 과정을 통합한 제재목생산관리시스템을 다양한 전산 및 화상처리기술을 적용하여 구축하고자 하였다

연차별 목표를 보면, 1차 년도에는 벌채목에 대한 간곡선을 이용하여 조재수율의 최대화를 달성할 수 있는 원목조재시스템(optimal log making system), 임산물종합유통센터로 운송된 원목의 자료를 전산관리하는 원목관리시스템(log inventory system)을 구축하고자 하였다. 2차 년도에는 주문 및 수요규격에 적합한 제재목을 생산하기 위하여 투입되어야 할 최적의 원목규격 및 등급을 자동으로 선별하는 원목선별시스템(log input system), 현재 원목재고로 생산할 수 있는 제재목의 잠재생산량을 추정하여 제재목 생산의 의사결정에 활용할 수 있는 제재단위시스템 (sawing unit system)을 구축하는 것을 목표로 삼았다. 3차 년도에는 생산된 제재목의 등급을 자동으로 결정하고, 전송된 제재목 자료를 전산관리하는 제재목 등급결정 및 관리시스템 (lumber grading and inventory system)을 구축하고자 하였다. 또한, 이상의 시스템을 통합적으로 관리하는 제재목생산관리시스템(lumber production process system)을 최종적인 목표로 삼았다.

제 2 절 원목 조재 및 관리시스템

원목의 벌채단계에서부터 발생하는 재적손실을 줄이기 위해 원목조재시스템(optimal log making system)구축 분야에서는 소나무, 잣나무, 낙엽송 등의 주요 수종에 대해 간곡선(stem taper curve)을 지역별로 유도하였으며, 이를 기초로 수율 최대화를 위한 조재길이 또는 주어진 제재규격에 가장 잘 부합하는 조재길이가 추정되도록 하였다

또한, 벌채된 후 임산물 유통센터로 운송된 원목에 대한 합리적인 관리를 위하여 원목재고자료의 입력, 검색, 수정 및 갱신, 출력 등이 가능한 원목관리시스템(log inventory system)을 개발하여 재고의 파악 및 관리에 효율성을 높일 수 있도록 하였다.

1. 연구수행방법

가. 원목조재시스템

제재목 생산관리시스템 분야의 원목조재시스템 부분에서는 주요 수종(소나무, 잣나무, 낙엽송)의 간곡선 유도를 위한 수간석해용 단판채취 및 측정 및 수간부위별 직경측정, 이를 이용한 간곡선식의 유도에 대한 연구를 수행하였다.

1) 연구방법 (간곡선식 유도)

본 연구에서는 power함수를 이용한 변수형 간곡선모델을 새로 개발하였다. 간곡선은 x축의 수간높이, y축의 직경 또는 반경으로 이루어지는 좌표점을 연결한 곡선을 의미한다. 이러한 간곡선은 수간부위에 따라 보통 그림 2와 같이 Neiloid형, 포물선형(Paraboloid), 포물선-원추형(Para-cone), 원추형(cone)으로 구분될 수 있다.

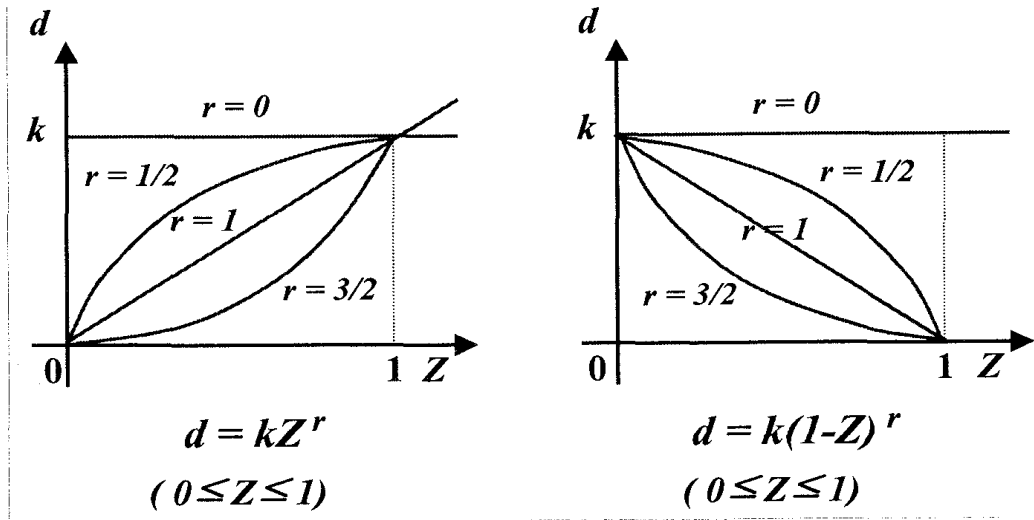


그림 1. Power식의 일반형태와 간곡선에의 적용성

이를 그림 1과 같이 간단한 Power함수로 나타낼 수 있다. 즉, 수간높이(h)를 수고(H)로 나눈 상대수간높이를 Z 라 할 때 홍고직경은 다음과 같은 power함수로 나타낼 수 있다.

$$d = k \cdot Z^r \quad (Z=h/H, h=\text{수간높이}, H=\text{수고}) \dots\dots\dots (1)$$

여기에서 k 는 상수를 나타내며, r 은 수간이 가늘어지는 정도를 나타내는 수간형태지수를 의미한다. 식 1을 수간곡선형태로 나타내기 위해서 다음과 같이 변형할 수 있다.

$$d = k \cdot (1 - Z)^r \dots\dots\dots (2)$$

여기에서 수간형태지수 r 은 수간의 형태에 따라 다양한 값을 가질 수 있다. 즉, r 값은 Neiloid형의 경우 1.5(3/2), 원추형의 경우 1(2/2), 포물선형의 경우 0.5(1/2), 그리고 원통형의 경우는 0(0/2)를 나타낸다. 따라서 이 r 값을 수간부위별로 나타내면 r 값을 상대수간높이

의 2차방정식으로 나타낼 수 있다 (그림 2).

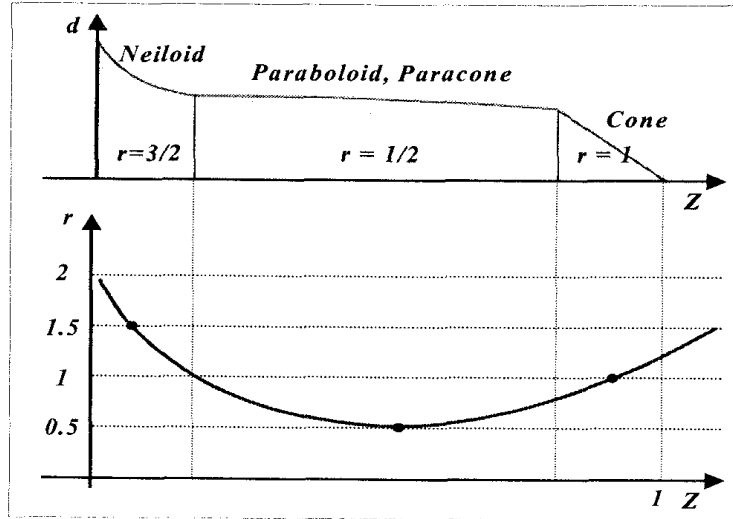


그림 2. 수간부위별 다양한 수간형태와 수간형태지수

$$r = r_1 Z^2 + r_2 Z + r_3 = r_1 (h/H)^2 + r_2 (h/H) + r_3 \dots\dots\dots (3)$$

또한, k는 y축, 즉 직경(d)축의 절편(Intercept)을 나타내며, 흉고직경(dbh)과 높은 상관성을 지니므로 다음과 같은 함수식으로 나타낼 수 있다.

$$k = k_1 dbh^{k_2} \dots\dots\dots (4)$$

식 3, 4를 식2에 대입하면 최종적으로 다음과 같은 간곡선 모델을 유도할 수 있다.

$$d = b_1 dbh^{b_2} \cdot \left(1 - \frac{h}{H}\right) \left\{ r_1 \left(\frac{h}{H}\right)^2 + r_2 \left(\frac{h}{H}\right) + r_3 \right\} \dots\dots\dots (5)$$

d : 상대높이에서의 반경, h : 수간부위별 높이, H : 수고

이를 약간 변형하면 역시 다음과 같은 간곡선 모델을 유도할 수 있다.

$$\text{모델-2 : } d = dbh \left[\frac{H-h}{H-1.2} \right] \left\{ r_1 \left(\frac{h}{H}\right)^2 + r_2 \left(\frac{h}{H}\right) + r_3 \right\} \dots\dots\dots (6)$$

이와 같이 유도된 간곡선모델에서는 간곡선형태를 결정하는 수간형태지수 r값이 수간부위별로 다양하게 유도됨으로써 수간부위에 따라 다양한 형태를 띠는 간곡선을 잘 표현할 수 있게 된다.

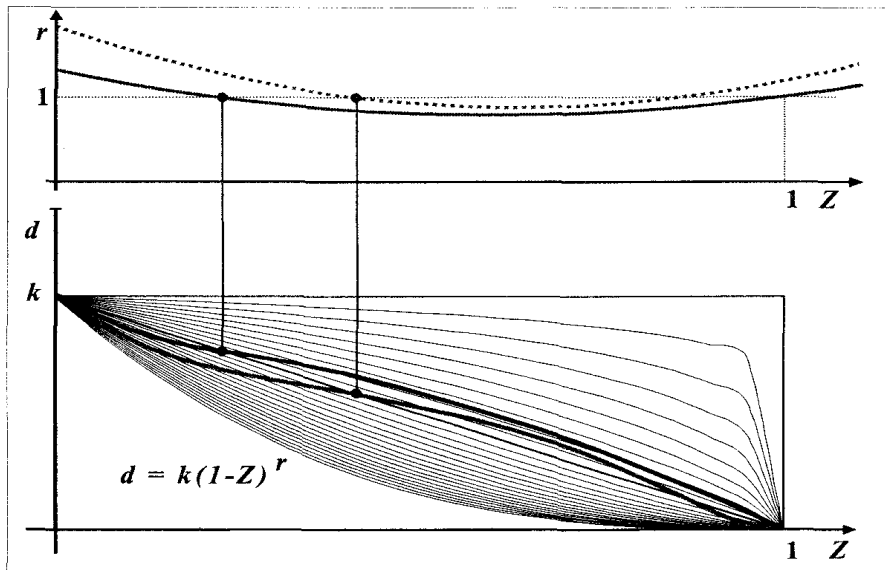


그림 3. 수간부위별 다양한 수간형태지수(r)와 그에 의한 수간곡선

2) 연구재료

간곡선식을 유도하기 위해 소나무, 잣나무, 낙엽송에 대해 수간석해용 단판을 채취하였으며, 채취된 단판은 연륜측정시스템(Johantyp II)을 이용하여 연륜폭을 1/100 mm 단위로 측정하였다. 단판측정자료로부터 수간석해용프로그램 SNASYS1.0을 이용하여 간곡선 유도용 자료를 추출하였다. 또한, 임목에 대해서는 수간부위별 직경을 측정하였으며 기존의 수간부위별 측정자료를 간곡선유도용 자료에 포함시켰다.

표 1. 간곡선식 유도를 위한 자료

지역		Data 수	DBH			Height		
			평균	최대	최소	평균	최고	최저
강원송	홍천	255	25.7	59.1	8.3	15.4	27.9	5.7
	평창	132	41.0	62.2	8.2	20.7	28.3	8.0
	정선	555	24.1	67.8	10.5	16.5	30.5	8.5
	명주	243	21.9	35.7	6.4	14.9	23.8	5.9
	양양	118	37.4	55.1	21.9	16.2	23.2	11.2
	인제	174	38.0	67.4	8.6	20.3	29.9	7.4
	울진	227	35.8	82.4	7.2	18.4	35.8	9.5
	영월	279	33.5	55.6	10.4	21.5	32.5	9.7
	영양	153	36.0	58.0	19.8	18.3	25.1	10.2
원주	120	18.7	37.0	8.0	13.1	21.1	6.7	
낙엽송	가평	93	29.3	42.3	22.9	19.9	25.0	14.2
	괴산	96	30.0	43.0	19.7	22.0	26.8	16.3
	양평	59	28.0	40.4	10.9	22.2	31.4	10.2
	영주	261	37.0	70.2	7.9	21.8	31.5	9.1
	춘천	112	31.9	48.8	9.1	22.1	31.4	5.7
	평창	111	26.0	41.6	6.5	18.6	24.0	8.8
	포천	456	16.6	33.8	6.6	17.1	29.4	6.8
	횡성	135	34.7	60.6	6.3	22.8	30.5	7.4
잣나무	가평	129	27.8	65.4	6.1	15.2	20.2	4.6
	봉화	111	35.5	55.0	6.0	17.4	24.9	4.1
	양주	100	16.3	26.1	9.8	12.8	17.6	8.0
	정선	29	16.8	23.3	10.8	11.2	16.0	6.9
	춘천	186	28.1	62.3	6.1	16.9	26.3	4.5
	평창	105	31.8	54.9	7.6	18.5	23.2	6.0
	포천	419	17.9	43.0	6.0	16.1	23.3	6.0
	홍천	120	44.3	63.1	27.4	24.6	29.4	19.6
중부송	가평	23	10.7	19.9	6.0	8.0	12.5	4.7
	광주	84	26.1	41.7	6.0	13.1	17.6	5.4
	괴산	44	25.1	46.3	6.3	13.6	18.4	6.0
	남양주	76	33.2	55.9	22.3	16.5	21.4	12.2
	사천	104	41.3	64.1	24.1	19.3	27.4	12.7
	양평	16	17.6	26.5	11.3	9.1	11.6	6.2
	여주	72	35.4	48.0	22.4	15.5	21.6	10.7
	천안	127	15.4	22.0	6.0	7.5	18.0	3.5
	태안	200	39.3	60.9	25.6	19.5	29.5	12.0
	포천	84	15.6	31.7	6.3	14.6	22.6	4.7

3) 연구결과 (간곡선식 계수추정 결과)

SAS의 NLIN 프로시저를 이용해 간곡선식의 계수를 수종별, 지역별로 추정하였다 (표 2,3,4,5). 추정식의 R^2 이 대부분 0.95이상으로 나타나 추정식의 통계적 신뢰성은 높은 것으로 판단되었다. 또한, 추정계수의 표준오차(계수의 아래에 표시)가 추정된 계수보다 월등히 낮아 t값이 높게되므로 추정계수가 0.0001의 유의수준에서 통계적 유의성을 갖는 것으로 판단되었다.

표 2. 간곡선식의 계수추정 결과 (강원도 소나무)

지역	b_1	b_2	r_1	r_2	r_3	R^2
홍천	1.63800	0.90773	2.77849	-3.76748	2.10293	0.9790
	0.0277	0.0047	0.1029	0.1279	0.0411	
평창	1.70481	0.89781	3.07332	-4.20869	2.24526	0.9801
	0.0549	0.0082	0.1077	0.1346	0.0435	
정선	1.38378	0.94986	2.01955	-2.80661	1.88018	0.9749
	0.0153	0.0031	0.0796	0.0986	0.0315	
명주	1.87030	0.87233	3.27352	-4.65328	2.43626	0.9712
	0.0491	0.0082	0.1049	0.1329	0.0435	
양양	1.64771	0.89926	1.59816	-2.29316	1.66000	0.9651
	0.0874	0.0143	0.1545	0.1975	0.0650	
인제	1.69463	0.89756	2.86706	-3.96843	2.20764	0.9817
	0.0367	0.0057	0.0880	0.1099	0.0355	
울진	1.45478	0.93226	2.20825	-3.00243	1.84046	0.9774
	0.0300	0.0053	0.0962	0.1211	0.0395	
영월	1.32090	0.93664	-0.89878	1.58833	0.57795	0.9858
	0.0229	0.0047	0.0996	0.1130	0.0330	
영양	1.66785	0.89331	1.73498	-2.44795	1.71207	0.9777
	0.0505	0.0082	0.1072	0.1367	0.0449	
원주	1.76185	0.88236	1.15861	-2.10557	1.90418	0.9561
	0.0729	0.0134	0.2314	0.2884	0.0917	

* 위의 수치:추정계수, 아래수치: 추정계수의 표준오차

표 3. 간곡선식의 계수추정결과 (중부지방소나무)

지역	b_1	b_2	r_1	r_2	r_3	R^2
가평	1.88241	0.85644	2.67443	-3.79829	2.09403	0.9598
	0.1523	0.0313	0.5242	0.6839	0.2290	
광주	1.89536	0.87464	2.94166	-4.31691	2.38292	0.9693
	0.1005	0.0156	0.1795	0.2292	0.0752	
괴산	1.66449	0.91536	2.87041	-4.11874	2.36122	0.9728
	0.0944	0.0162	0.2842	0.3539	0.1130	
남양주	1.89351	0.88610	4.12735	-5.77197	2.79241	0.9508
	0.1117	0.0165	0.2182	0.2751	0.0894	
사천	1.55991	0.92590	3.19791	-4.76754	2.52256	0.9666
	0.0658	0.0111	0.1333	0.1734	0.0578	
양평	2.22911	0.83644	3.12154	-4.36642	2.58324	0.9810
	0.2304	0.0347	0.5943	0.7074	0.2143	
여주	2.33143	0.82377	3.86997	-5.40579	2.67041	0.9520
	0.1936	0.0230	0.2280	0.2869	0.0932	
천안	2.14662	0.82738	2.14895	-3.15197	1.97457	0.9332
	0.1854	0.0309	0.3001	0.3839	0.1263	
태안	2.06616	0.84720	3.50582	-4.98948	2.39844	0.9645
	0.0773	0.0101	0.0882	0.1168	0.0398	
포천	1.62450	0.89664	2.63196	-3.85405	2.09955	0.9721
	0.0481	0.0100	0.1565	0.2068	0.0706	

* 위의 수치:추정계수, 아래수치: 추정계수의 표준오차

표 4. 간곡선식의 계수추정 결과 (낙엽송)

지역	b_1	b_2	r_1	r_2	r_3	R^2
가평	1.63443	0.89215	2.16381	-2.72898	1.60312	0.9751
	0.0828	0.0148	0.1324	0.1661	0.0535	
괴산	1.51508	0.91783	2.53653	-3.27902	1.80329	0.9721
	0.0641	0.0122	0.1362	0.1719	0.0557	
양평	2.17361	0.81139	1.85868	-2.77686	1.78590	0.9503
	0.1477	0.0199	0.2128	0.2753	0.0911	
영주	1.49537	0.92636	2.42202	-3.11190	1.84506	0.9806
	0.0297	0.0052	0.0858	0.1047	0.0327	
춘천	1.46569	0.92959	2.80961	-3.71583	1.99049	0.9804
	0.0424	0.0080	0.1142	0.1425	0.0456	
평창	1.48552	0.92000	2.29763	-2.78951	1.63992	0.9826
	0.0452	0.0089	0.1200	0.1472	0.0466	
포천	1.19646	0.97234	0.68816	-1.07864	1.14019	0.9715
	0.0162	0.0046	0.0599	0.0804	0.0278	
횡성	1.51449	0.91984	2.55322	-3.29622	1.82434	0.9819
	0.0426	0.0076	0.0981	0.1219	0.0390	

* 위의 수치:추정계수, 아래수치: 추정계수의 표준오차

표 5. 간곡선식의 계수추정 결과 (잣나무)

지역	b_1	b_2	r_1	r_2	r_3	R^2
가평	1.79517	0.86848	1.42469	-1.71871	1.30290	0.9657
	0.0570	0.0090	0.1599	0.2010	0.0651	
봉화	1.59017	0.90673	1.57975	-1.97004	1.42070	0.9775
	0.0600	0.0102	0.1287	0.1587	0.0504	
양주	1.35365	0.95585	2.56840	-3.39051	1.75765	0.9672
	0.0531	0.0135	0.1608	0.2119	0.0722	
정선	1.11880	1.01212	1.29590	-1.75500	1.26343	0.9791
	0.0821	0.0251	0.2401	0.3221	0.1112	
춘천	1.60697	0.90165	1.81612	-2.45030	1.60724	0.9786
	0.0335	0.0056	0.1107	0.1389	0.0447	
평창	1.52620	0.91151	1.09148	-1.42150	1.22537	0.9659
	0.0622	0.0113	0.1470	0.1859	0.0602	
포천	1.51003	0.90282	1.33641	-1.82293	1.31632	0.9555
	0.0277	0.0060	0.0828	0.1101	0.0378	
홍천	1.67926	0.88825	1.34569	-1.75051	1.30803	0.9683
	0.0794	0.0123	0.1179	0.1504	0.0491	

* 위의 수치:추정계수, 아래수치: 추정계수의 표준오차

이와 같이 지역 및 수종별 간곡선식이 마련됨으로써 입목에 대해 일정높이에서의 직경 및 일정직경에 대한 높이 추정이 가능하게 되었다. 즉, 원목의 조재단위 결정에 필요한 수간부위별 직경추정 및 직경별 수간높이의 추정이 가능한 것이다. 따라서 조재될 원목의 말구직경에 해당하는 수간높이 (조재가능길이)를 추정하여 이를 기초로 최적의 원목조재단위를 결정할 수 있다.

표 6은 직경 25cm 수고 15m인 강원도지방소나무에 대해 원목 말구직경이 6cm일 때 10cm 일 때의 수간 높이 (조재가능길이)를 지역별로 나타낸 것이다. 이와 같이 조재가능길이 간곡선식으로부터 추정되면, 이를 기초로 다양한 조재단위를 계산할 수 있게 된다.

표 6. 직경 25cm 수고 15m인 강원도지방 소나무의 경우의 원목말구직경별 조재가능길이

지역	직경6cm일 때의 조재가능길이**	직경10cm일 때의 조재가능길이
홍천	13.30	12.36
평창	13.40	15.56
정선	12.80	11.40
명주	13.70	13.00
양양	13.50	12.55
인제	13.40	12.48
울진	13.15	12.06
영월	11.35	9.70
영양	13.50	12.50
원주	13.45	12.33

** 말구직경6cm 의 수간높이 - 0.2 (0.2는 그루터기 높이)

표 7은 조재가능길이가 각각 10m, 8m, 6m 일 때의 가능한 조재단위의 조합 및 버려지는 잔여길이를 예시로 나타낸 것이다. 이와 같이 다양한 조재단위가 제시되면 생산원목의 용도, 생산목적 등을 고려하여 적절한 조재단위를 결정할 수 있다. 순수하게 수율제고 측면만 고려한다면 잔여길이가 가장 짧은 조재단위조합을 선택하면 된다.

표 7. 조재가능길이가 각각 10m, 8m, 6m 일 때의 가능한 조재단위

조재가능길이 (m)	조재단위			잔여길이 (m)
	12자 (3.61m)	9자 (2.71m)	6자 (1.81m)	
10	2	1		0.07
	1	2		0.97
		3	1	0.06
		2	2	0.96
		1	4	0.05
			5	0.95
8	2			0.78
	1	1		1.68
	1		2	0.77
		2	1	0.77
		1	2	1.67
			4	0.76
6	1		1	0.58
		2		0.58
		1	1	1.48
			3	0.57

이와 같이 산지에서 벌채작업이 이루어지기 전에 최적의 조재단위가 결정됨으로써 부적절한 조재단위의 적용으로 인한 조재수율의 감소를 미연에 방지할 수 있다.

나. 원목관리시스템

1) 원목관리DB의 특징

원목관리DB의 특성을 파악하기 위해 경기도 여주에 위치한 산림조합중앙회 산하 임산물 종합유통센터를 방문하여 원목관리, 제재공정, 생산품관리 등에 대한 업무흐름 및 작업공정

을 파악하였다. 이를 통해 원목관리DB구축에서 고려해야할 몇 가지 사항을 파악하였다.

가) 원목의 다양성 (종류, 형태, 상태)

우선, 원목의 종류, 형태, 상태 등이 매우 다양하다는데 원목관리DB의 필요성이 있다. 수종별 종류가 다양하고, 재장 및 직경별 크기와 휨정도가 다양하고, 할렬 및 변색정도가 다양하여 이를 충분히 반영할 수 있도록 DB가 설계되어야 한다. 이러한 다양한 인자를 반영한 DB구축 그 자체는 어려움이 없으나 이를 제재공정 및 제품관리공정과 연계시키기 위해서는 현재의 획일적인 생산공정을 바꾸어야 하는 어려움이 있다. 만약, 현재의 획일적인 생산공정을 유지하고자 한다면 DB간 연계(원목관리DB-생산공정DB-제품관리DB)에 있어 자료흐름의 병목현상 및 정보의 유실을 해결할 수 있는 방법이 강구되어야 한다.

나) 제품의 다양성 (종류, 형태)

임산물 종합유통센터의 생산방식은 규격품생산보다는 소비자의 주문에 의한 주문생산방식이 대부분(70-80%)인 것으로 파악되었다. 주문생산이 많다는 것은 그만큼 제품의 다양성이 높다는 것을 의미하며, 이는 규격품생산에 비해 자료의 흐름이 복잡함을 의미한다. 구축할 원목관리DB는 최종적으로 생산공정DB 및 제품관리DB와 연계되어야 하므로 자료 흐름의 복잡성을 해결할 수 있도록 DB가 구축되어야 한다.

다) 공정의 단순성

원목 및 제품의 다양성이 높는데 비해 제품생산공정은 매우 단순하다는 특징이 있다. 즉, 원목 및 제품의 다양성을 충분히 고려한 다양한 공정이 미비하다는 것이다. 이는 자료의 연계에 있어서 병목현상 및 자료의 유실을 초래한다는 것을 의미한다. 따라서, 현재의 제재공정을 바꾸지 않는한 DB간 연계(원목관리DB-생산공정DB-제품관리DB)에 있어 자료흐름의 병목현상 및 정보의 유실을 해결할 수 있는 방법이 강구되어야 한다.

라) 원목생산 및 구매시기의 집중성

원목생산시기가 가을 및 봄으로 집중되어 있고 원목의 구매 및 입고가 이 시기에 집중적으로 이루어지는 특징을 지니고 있다. 이는 원목구매 및 입고작업과 이에 연계된 자료입력이 일정한 시기에 집중됨을 의미한다. 따라서 원활한 입고작업을 위해 자료입력이 손쉽게 이루어지도록 DB가 구축되어야 한다.

마) 제품생산시기의 분산성

원목생산 및 구매시기가 일정한 기간에 집중되어 있는 반면, 주문생산에 의존하는 제품생산시기는 연중 분산되어 있다는 특징을 지니고 있다. 이는 야적장에서는 원목재고의 관리상 어려움을 유발시키고, 원목관리시스템 상에서는 DB의 안정성 문제를 야기시킨다. 따라서, 입력된 자료가 안전하게 관리될 수 있고, 자료의 흐름이 명확하도록 DB가 구축되어야 한다.

2) 원목관리시스템구축

가) 구축환경

원목관리 시스템을 이용하기 위해선 시스템 OS 인 Windows 가 설치되어야 하며 특히, 관리자 컴퓨터는 '서버'로서 운영되어야 하기 때문에 서버급 OS인 Windows NT가 설치되어 있어야 한다. 웹기반 관리를 위해선 Web Browser가 필수다. 그 중 ASP(Active Server Pages)의 장점을 살릴 수 있는 Internet Explorer 4.0 이상이 설치되어 있어야 한다.

나) 구축 언어 및 데이터베이스 시스템 설계

(1) 웹 기반 구축을 위한 ASP 프로그램의 선택

ASP(Active Server Pages)란 서버측 (Server-Side) 프로그래밍 기술로서 Visual Basic Script로 구성되어 있으며 HTML 코딩을 참조하고 있다. ASP는 MS 제품군 내에서 서버 구성시 탁월한 기능을 발휘할 수 있어 MS 환경에서 선호하고 있다. 본 연구에서는 이러한 ASP를 이용하여 원목관리 DB를 구축하였다.

(2) 원목관리 DB 설계

(가) DB 설계의 기본요건

- 원목에 대한 각각의 정보를 데이터베이스에 입력하여 저장가능케 해야한다.
- 각각의 정보를 일괄적으로 또는 선택하여 검색할 수 있어야 한다.
- 각각의 정보에 대해 삭제 및 수정이 가능케 해야 한다.
- 입력되는 정보 중 '판매자'에 관한 정보는 따로 데이터베이스를 두어 관리하도록 해야 한다.
- 입력과 검색, 수정등 일체 모든 웹상의 활동을 개개인에게 별도의 ID를 제공하여 통제 되도록 해야한다.

(나) 관리 시스템 설계시 고려되어지는 항목

- 수종 - 새로 입고되는 수종
- 직경구분 - 원구, 말구, 중앙직경에 대한 구분
- 직경 - 선택된 직경의 크기
- 길이 - 원목의 길이
- 휨, 할렬, 변색 정도 - 원목의 휨, 할렬, 변색 정도
- 생산지 정보 - 생산지의 위치 등
- 생산 시기 - 원목 생산 시기
- 생산자 정보 - 이름, 주소, 전화번호, 회사, 직위, 이메일등 생산자에 대한 정보
- 매입 단가 - 매입할 때의 본수 당 단가
- 수량 - 매입한 원목의 본수
- 총액 - 매입단가에 수량을 곱한 총 구매액

(다) 위에 대한 정보를 통해서 표 8 및 표 9와 같이 DB를 구성하였다.

표 8. 원목관리 DB구조

Wood 테이블 (개략적인 원목의 정보 저장)			
필드명	데이터형식	Null값 허용	비 고
board_id	정 수	X	프로그램 실행중 계속해서 읽혀질 정보
sujong	문 자	O	수종
size1	문 자	O	직경구분
size2	문 자	O	직경
length	문 자	O	길이
whim	문 자	O	휨정도
hal	문 자	O	할렬정도
byun	문 자	O	변색정도
dosi	문 자	O	시/도
gu	문 자	O	구/군
dong	문 자	O	동/면
etc	문 자	O	번지/리
yr	문 자	O	년도
mon	문 자	O	월
dt	문 자	O	일
p_name	문 자	O	생산자이름
store	문 자	O	적재장소
price	문 자	O	매입단가
num	문 자	O	수량

표 9. 생산자 DB 구조

Person 테이블 (생산자 정보 저장)			
필드명	데이터형식	Null값 허용	비 고
p_name	문 자	O	생산자이름
p_addr	문 자	O	생산자주소
p_mail	문 자	O	생산자이메일
p_phone	문 자	O	생산자전화번호
p_company	문 자	O	생산자회사
p_position	문 자	O	생산자지위
p_content	문 자	O	기타정보

2. 결과(시스템 운영)

가. 관리자 및 현장 작업자의 Login

- 각자에게 주어지는 ID와 패스워드로서의 접근이 가능케한다(그림 4)

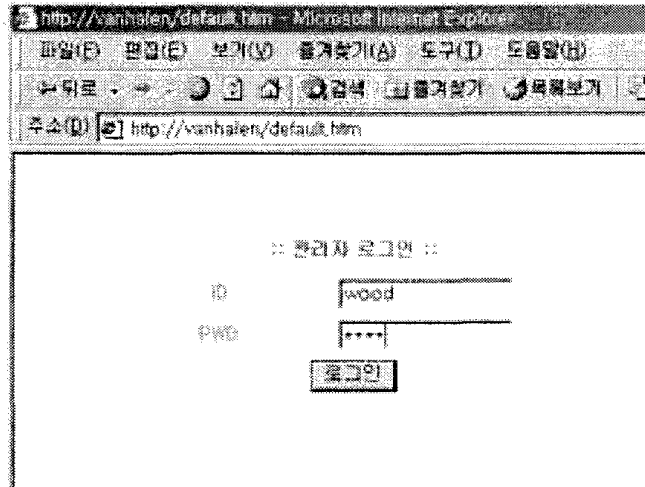


그림 4. Web Browser - Login 화면

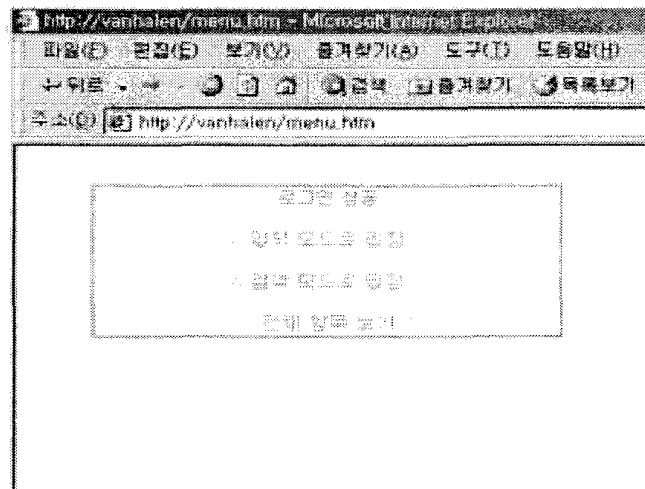


그림 5. Web Browser - Menu 화면

위의 경우와 같이 관리자의 경우 관리자 ID로 현장 책임자의 경우 현장 책임자의 ID로 접속케 한다. 로그인이 되고 나면 그림 5와 같은 창이 뜬다. '검색 모드'로 가려면 '검색 모드로 입장'을, 전체 데이터베이스를 보려면 '전체 항목 보기'를 클릭하여 이동하면 되며, 이곳에서 '입력 모드'로 가려면 '입력 모드로 입장'을 클릭하여 이동하면 된다.

나. 입력 (입력 모드)

입력 모드에서는 보이는 모든 항목을 다 입력해야 한다(그림 6). 그렇지 않을 경우 '어떤 항목이 빠졌습니다'라는 메시지가 뜨면서 정보를 저장시키지 않는다. '직경' 부분에서는 '원구, 말구, 중앙 직경'으로 할 것인지를 표시하고 그 직경 크기를 입력하며 휨, 할렬, 변색 정보에 대해서는 1, 2, 3 등급으로서 나누어 입력할 수 있으며, 생산자 정보는 성명을 입력한 후 밑부분의 '나머지 정보 입력(필수)' 부분을 입력하면 DB의 'Person' 테이블로 정보가 저장되어진다. 적재 장소 또한 A, B, C 구역으로 구분하여 저장할 수 있다. 매입단가는 '천원'으로 하였다.

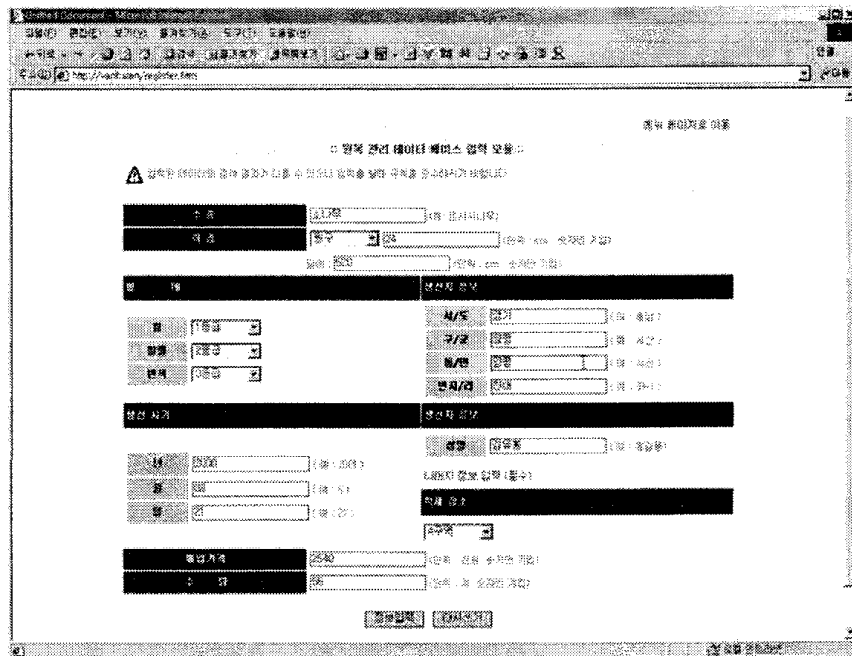


그림 6. Web Browser - 입력 모드 화면

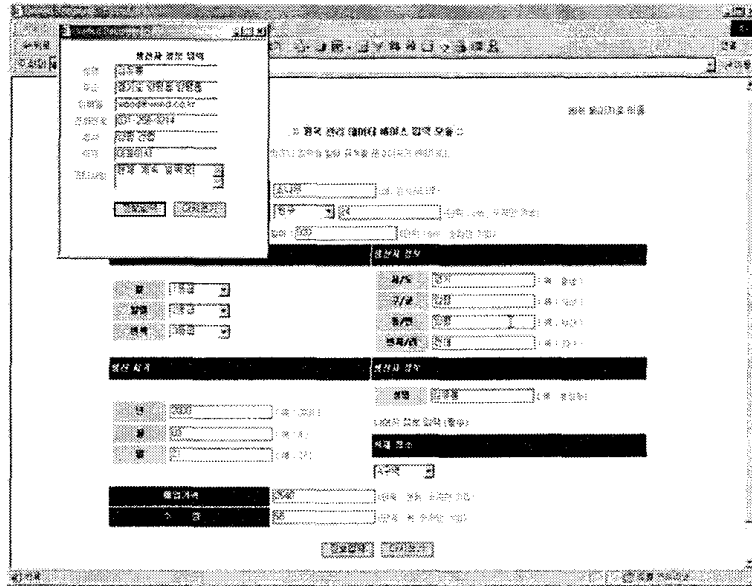


그림 7. Web Browser - 나머지 사용자 정보 입력 화면

앞서 설명하였듯이 사용자 정보 탭에서 사용자의 이름을 입력한 후에는 그림 7과 같이 '나머지 정보 입력' Link를 클릭하여서 나머지 정보를 입력해야 한다. 그림 7과 같이 입력한 후 '정보 입력' 버튼을 누르면 모든 사용자 정보가 데이터베이스에 저장된다.

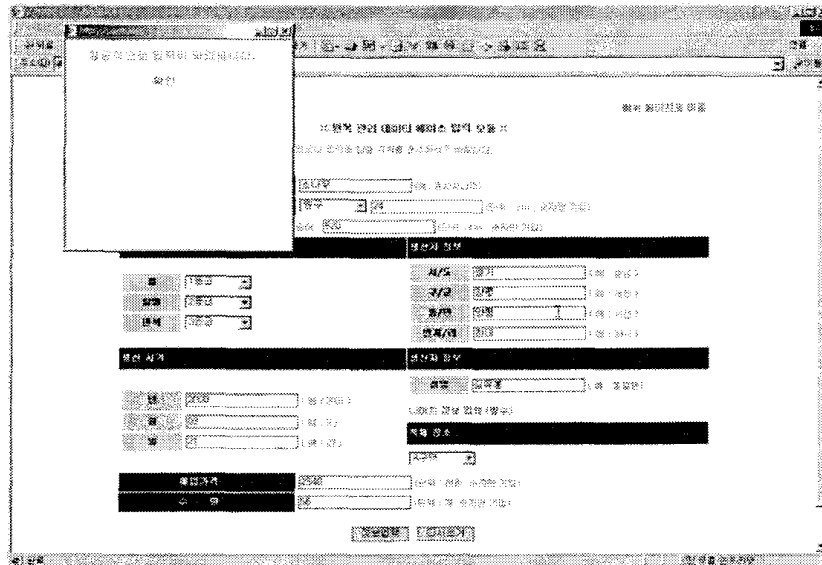


그림 8. Web Browser - 사용자 정보 입력 확인 화면

그림 8과 같은 그림이 나타나면 ‘확인’ 버튼을 누르고 아래 ‘입력 모드’의 ‘정보입력’버튼을 눌러 모든 정보를 데이터 베이스에 입력시킨다.

다. 검색(검색 모드)과 수정(수정 모드)

다시 ‘Menu’창으로 돌아가 ‘검색 모드로 입장’ 버튼을 눌러 이동한다. 그림 9와 같은 창이 뜨는데, 생산지 정보의 경우 ‘시/도’ 이후 ‘구/군’까지는 대부분의 생산지 정보가 같을 것으로 보아 생략하였고, 원목의 수량의 경우에도 그 값이 늘 수정되어 바뀔 수 있는 값이므로 검색의 의미가 없어 생략하였다. 하지만, 생산시기는 그 원목 정보의 고유값이므로 ‘날짜’까지 검색의 대상으로 하였다.

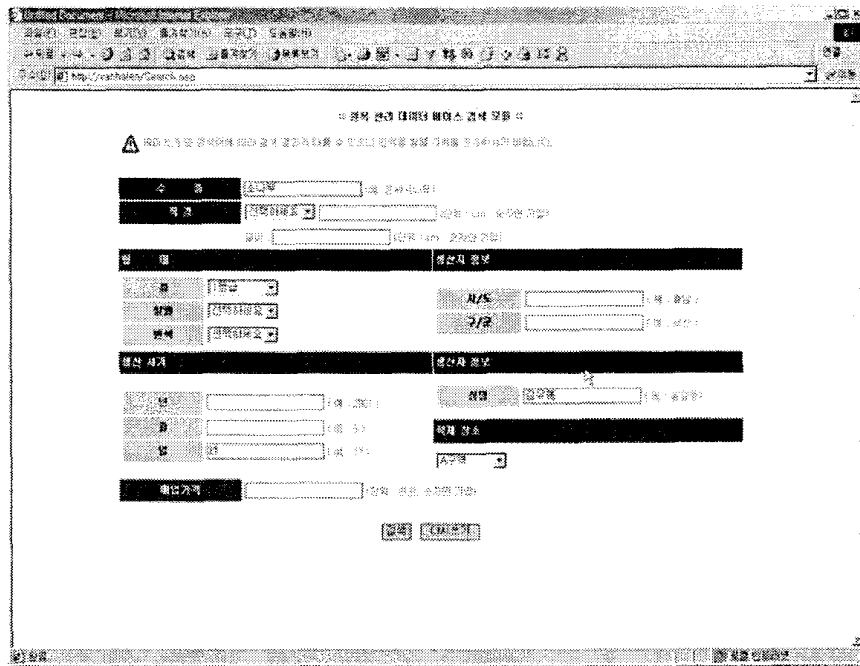


그림 9. Web Browser - 검색 모드 화면

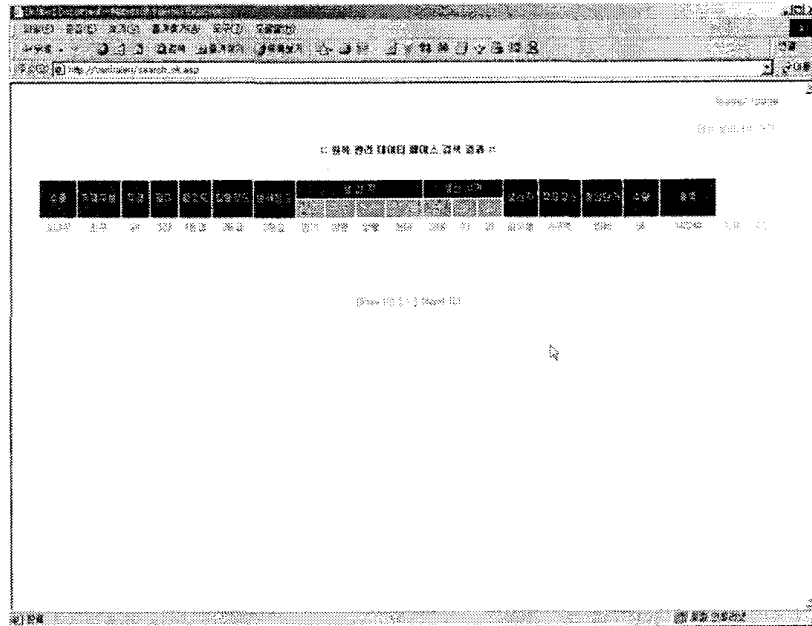


그림 10. Web Browser - 검색 결과 화면

기본적으로 이 '검색 모드'의 기능은 다른 웹 사이트의 '다중 검색'의 의미를 채택해야 했다. 한가지 값으로 그에 관계되는 것만을 찾을 수 없으며, 동시에 두 개 이상의 항목에 적용되는 정보를 필요로 할 수도 있기에 '다중 검색'으로서 한가지 항목만 선택해도 검색 결과가 출력되며, 두 개, 세 개, 전부다 선택하여 검색하여도 그 항목 수 만큼의 정보가 적용되는 값을 출력하게 된다(그림 10).

그렇다면 검색된 정보를 수정하고자 할 때는 바로 검색된 결과 페이지 항목 맨 끝에 자리 잡고 있는 '삭제', '수정' 버튼을 클릭하면 된다. '삭제' 버튼을 누르게 되면 그 항목 모두가 'Wood', 'Person' 테이블에서 사라지고 '수정' 버튼을 누르면 그림 10과 같은 창이 나타난다. '입력 모드'와 동일한 형태의 창으로 수정을 가능케 한다. 모두 다 수정한 후에는 맨 아래 있는 '수정' 버튼을 클릭하여 수정된 정보 값을 데이터베이스에 저장시키면 된다.

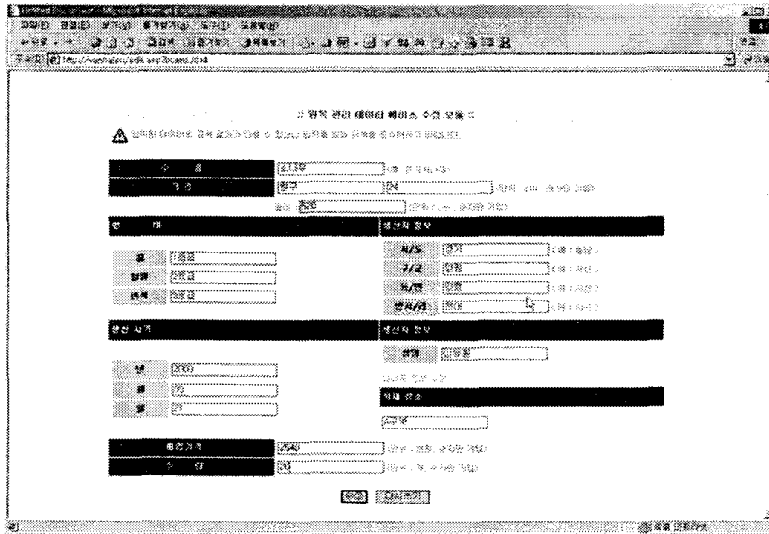


그림 11. Web Browser - 입력 정보 수정 화면

라. 전체 항목 보기

Menu 페이지에서 '전체 항목 보기' Link를 클릭하면 그 동안 입력되었던 값들이 다음과 같이 모두 제시 된다.

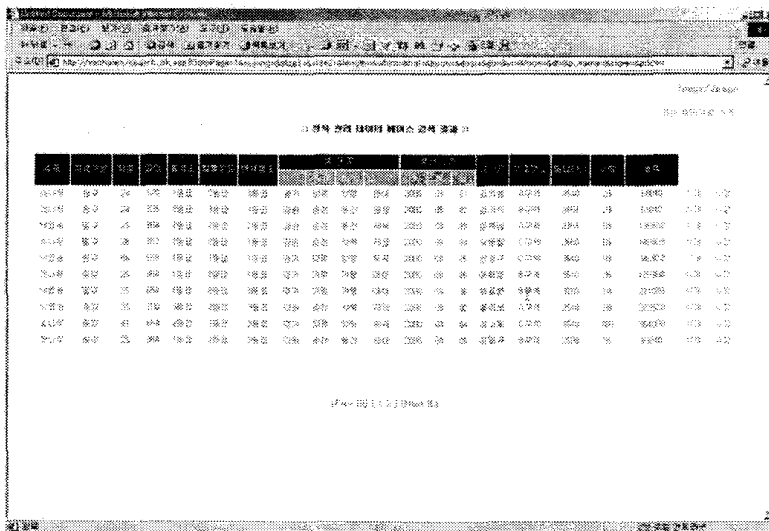


그림 12. Web Browser - 전체 항목 화면

마. 출력 (프린트)

위와 같이 동시에 10개의 항목이 제시되며 10개씩 한페이지로서 출력이 가능해 진다. 이는 사용자들이 보기 편하게 하기 위해서 설정해 놓은 것이다. 또한, A4 용지로 가로 프린트 하기 적당한 사이즈이기도 하다.

제 3 절 원목선별 및 제재단위시스템

원목선별시스템에서는 일정규격으로 주문 받은 제재목을 생산하는데 가장 적합한 원목을 선택할 수 있는 방법개발을 주목적으로 하였으며, 생산하고자 하는 제재목의 규격을 입력하면 수율을 최대로 할 수 있는 가장 적당한 규격의 원목을 선별할 수 있도록 하였다. 주문 받은 원목의 수종, 폭(W), 두께(T), 재장(L)을 원목선별시스템에 입력하면 높은 수율로 제재가능한 최적의 원목을 검색할 수 있다.

제재단위시스템에서는 일정규격의 원목으로 최대의 수율을 낼 수 있도록 최적의 제재단위를 결정할 수 있는 방법개발을 주목적으로 하였으며, 일정규격의 원목에 대해 초살도와 휨정도를 고려하여 가능한 여러 가지의 제재규격이 제시되도록 하였다. 원목의 원구직경, 말구직경, 재장을 입력하면 다양한 제재규격과 그에 따른 수율이 제시되어 최적의 제재방식을 선택할 수 있다.

시스템의 구축을 위해서는 원목관리 시스템과 원목선별 및 제재단위 시스템을 연결하는 것이 선행 되어야 한다. 이를 위해 우선적으로 웹상에서 이루어 졌던 원목 관리 시스템을 로컬로 이식하여 로컬상의 원목관리 시스템 구축이 필요하며, 원목관리시스템에서 생성된 원목관리 데이터베이스를 원목선별 및 제재단위 시스템에서 사용할 수 있도록 시스템을 구축하였다.

1. 연구수행방법

가. 원목관리시스템

1차 년도에 제작되었던 웹을 통한 원목관리시스템을 우선 로컬 시스템 상으로 이식하는 작업을 수행하였다.

1) 시스템 구축 환경

원목 관리 시스템은 MS사의 Windows를 기반으로 운용되게 하였으며, 소규모 데이터베이스에 적합한 MS Access를 이용하여 원목 데이터베이스를 관리하도록 설계하였다.

2) 구축 언어 및 데이터베이스시스템

가) 시스템 구축 언어 선택

시스템 구축언어는 Windows용 Application의 구축에 적합한 언어인 MS사의 Visual Basic을 사용하였으며, ADO(ActiveX Data Object)를 이용하여 데이터베이스에 접근하도록 하였다.

나) 데이터베이스 시스템

(1) DB의 기본내용

- 원목에 대한 각각의 정보를 데이터베이스에 입력하여 저장가능 하도록 하였다.
- 각각의 정보를 일괄적으로 또는 선택하여 검색할 수 있도록 하였다.
- 각각의 정보에 대해 삭제 및 수정이 가능케 하였다.
- DB의 내용은 DB관리용 프로그램을 이용하여 데이터를 추가, 삭제, 수정 가능 하도록 하였다.
- 원목조재시스템 및 제재단위시스템에서 DB에 접속하여 DB내의 내용을 검색하여 적합한 원목을 찾아서 사용할 수 있도록 연계되도록 하였다.

(2) 데이터베이스 시스템에 포함된 항목

- 생산 시기 - 원목 생산 시기
- 산지정보 - 생산지의 위치
- 입고일자 - 입고된 날자
- 수량 - 매입한 원목의 본수
- 수종 - 새로 입고되는 수종
- 재장 - 원목의 길이
- 직경구분 - 원구직경, 말구직경
- 휨, 활렬, 변색 정도 - 원목의 휨, 활렬, 변색 정도
- 적재장소 - 입고된 원목의 보관장소

· 판매자 - 원목의 생산자

나. 제재단위시스템 개발

1) 원목의 최적제재방법

가) 원주체인 경우

원목의 제재수율을 산정하는데 있어서 제재 패턴은 말구직경의 횡단면에 포함되는 제재 목의 두께와 폭에 의한 단면적을 이용하여 그 값이 최대로 되는 경우를 최적의 수율로 가정하기로 한다. 물론 수율을 분석함에 있어 직경, 재장, 초살도 뿐만 아니라 휨, 톱날의 두께, 죽데기에 의한 손실등의 여러 가지 요인이 존재하지만 분석의 용이성을 위해 다음과 같은 제재패턴을 기초로 한다. D 를 원목의 말구직경이라할 때 $0.1D - 0.135D - 0.43D - 0.135D - 0.1D$ 의 제재패턴을 최대가능재적생산(Maximum possible volume yield; Baltrusaitis 와 Pranckeviciene 2001)으로 한다(그림 13).

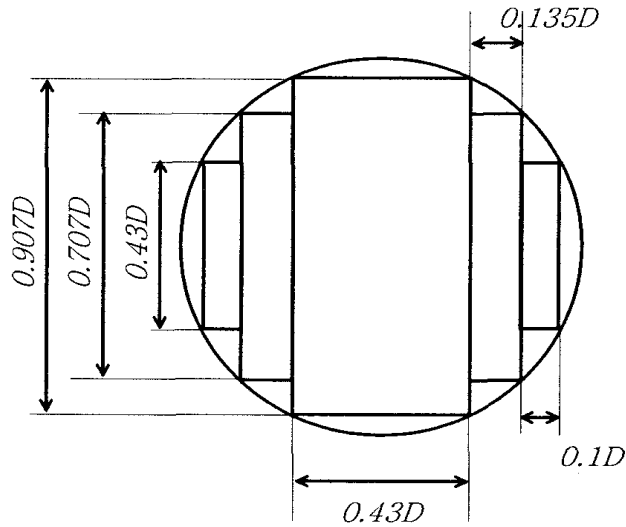


그림 13. 최대가능재적생산(Maximum possible volume yield) 제재패턴 1

말구직경 기준으로 가공된 원목이라면, 제재목의 재적의 수율은 다음과 같다.

$$Y = \frac{L \cdot \sum F}{V}$$

L: 재장, F: 각 제재목의 단면적, V: 원목재적

위의 최대가능재적생산(Maximum possible volume yield) 이론의 모식도를 그림 14와 같이 다시 그려 $\sum F$ 와 V 을 계산하여 수율을 산출한 결과는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \sum F &= (0.1D \times 0.43D) \times 4 + (0.707D)^2 \\ &= (0.2R \times 0.86R) \times 4 + (1.414R)^2 = 2.69R^2 \end{aligned}$$

$$\text{재장 } L \text{인 가공목의 재적} = 2.69R^2 \cdot L$$

만약, 초살도가 없는 원주체라면 원주재적(V)는 $\pi R^2 \cdot L$ 이 되고, 따라서 수율은 다음과 같이 85.7%가 된다. 이는 결국 말구직경단면적에서 최대로 제재할 수 있는 제재목 단면적의 비율을 의미한다.

$$Y = \frac{2.69R^2 \cdot L}{\pi R^2 \cdot L} = \frac{2.69R^2}{\pi R^2} = 0.8566$$

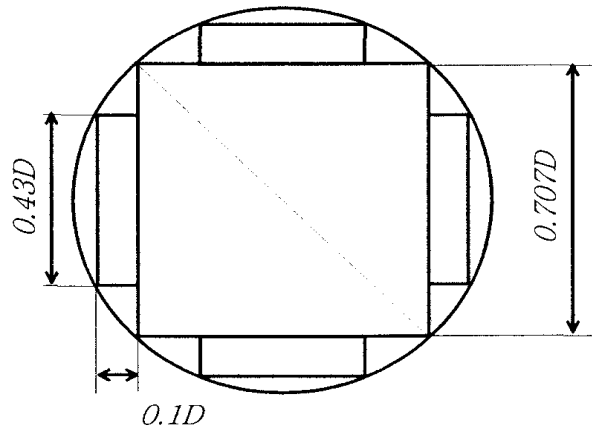


그림 14 .최대가능재적생산(Maximum possible volume yield) 제재패턴 2

나) 초살도가 있는 경우

원목의 제재에 있어 가장 큰 수율의 손실은 초살도에 의해 발생한다. 초살도에 의한 제재 목의 재적감소 및 수율감소를 살펴보면 그림 15와 같다.

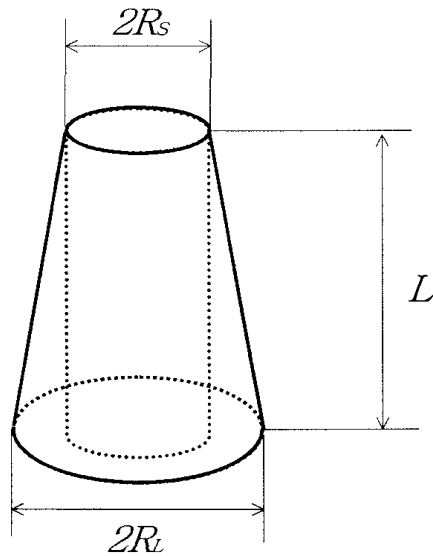


그림 15. 원목과 제재의 모식도

원구직경 $2R_L$, 말구직경 $2R_S$, 재장 L 인 원목의 재적은 중앙단면적을 원구와 말구 단면적의 평균으로 가정할 때 다음과 같이 계산된다.

$$\text{원목재적(변형 Newton식)} = \frac{L \cdot \pi}{3} (R_S^2 + R_L^2 + R_S \cdot R_L)$$

또한, 제재가능한 원주목은 말구직경을 기준으로 하므로 다음 같이 계산된다.

$$\text{제재원주목 재적} = L \cdot \pi \cdot R_S^2$$

이와 같이 원목과 제재목의 재적이 결정되면 초살도에 의한 수율은 다음과 같이 표현된다.

$$\text{제재수율} = \text{제재원주목 재적} / \text{원목재적}.$$

이상은 원주가공의 경우이고, 각재 또는 판재 경우는 가)항과 같이 말구직경을 기준으로 구해진 각재 및 판재의 제재재적을 원목재적에 대한 비율로 나타낸다.

다) 초살도와 휨이 있는 경우

지금까지는 통직의 원목만을 가정하여 가능한 제재방식을 보여주는 내용이었다. 제재를 위해 입고되는 원목의 경우 대부분은 통직성이 높은 원목이 구입하게 되지만, 휨정도가 심할 경우에는 이를 고려한 제재방법을 선택해야 한다. 본 연구에서는 그림 16과 같이 휨깊이와 말구직경을 기준으로 휨정도를 지수화 하였다.

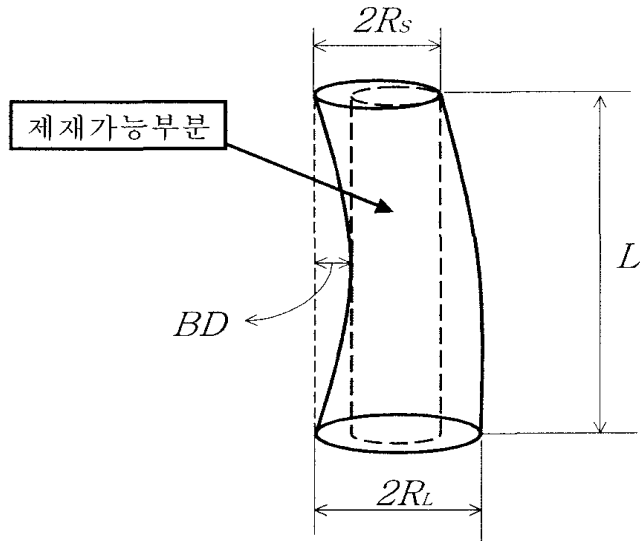


그림 16. 휨정도를 고려하는 제재모형

휨정도 인자(*Bending Index:BI*)는 말구직경에 대한 휨 깊이(*Bend depth:BD*)의 비율 ($BD/2R_s$)을 의미한다. *BI*가 0일 경우는 앞에서 다루었던 휨이 없는 원목을 말하며, *BI*가 1인 경우는 휨깊이가 말구직경과 같아 제재 할 수 없는 원목을 말한다. 따라서 *BD* 값에 따라 제재가능한 직경 및 그에 따른 제재목재적이 달라지게 된다. 원목마다 *BI*값을 저장해 놓으면 *BD*값은 $BI \cdot 2R_s$ 로 계산 가능하며, 이 *BD*값을 이용하여 제재가능 직경 및 제재재적을 산출할 수 있게 된다.

$$BI = \frac{BD}{2R_s} \quad \text{따라서} \quad BD = BI \cdot 2R_s$$

2) 제재방법의 결정

가) 이상적 제재규격

원목의 최적제재방식의 산정에 있어 원구직경, 말구직경, 재장을 입력하게 되면 위와 같은 계산을 거쳐 최대수율과 제재 가능한 제재목의 규격과 수량이 산출되도록 하였다. 예를 들어 원구직경: 30cm, 말구직경: 20cm, 재장 :10m, 따라서 원목재적 $0.4974m^3$ 인 원목을 제재

대상으로 한다면, 이론상으로 최적이 되는 제재목의 산출은 표 10과 같다.

표 10. 제재규격별 제재재적 및 수율

제재방법	생산되는 제재목(W(cm)×T(cm)×L(m))	수량	재적(m ³)	재적수율
10m	14.1×14.1×10	1	0.2724	55%
	14.1×2.0×10	4		
5m, 5m	17.6×17.6×5	1	0.3485	70%
	14.1×14.1×5	1		
	17.6×2.5×5	4		
	14.1×2.0×5	4		
3m,3m,4 m	19.0×19.0×3	1	0.3749	75%
	16.9×16.9×3	1		
	14.1×14.1×4	1		
	19.0×2.7×3	4		
	16.9×2.4×3	4		
	14.1×2.0×4	4		

*원목규격(원구직경: 30cm, 말구직경: 20cm, 재장: 10m)

나) 일반적으로 이용되는 제재규격

이상의 최대수율을 위한 최적규격은 실제로 주문을 받아서 제재하게 되는 제재목의 규격과는 전혀 관계없는 이상적인 규격의 제재방식이므로 현실성이 떨어지게 된다. 따라서, 실제로 제재하게되는 제재목의 규격에 맞춰 제재하게될 경우에는 수율이 더 낮아지게 마련이다. 따라서, 기본적인 방법은 위의 과정을 따르면서 좀더 현실적인 제재시물레이션이 필요하다.

실제로 주문되는 제재목의 규격은 주문에 따라 다르므로 정해진 규격이 없는 셈이지만, 여유분으로 제재되는 규격 또는 주로 제재되는 규격이 있으므로 이에 맞춰 제재 시물레이션을 수정하였다. 우리나라에서 주로 제재되는 규격은 표 11과 같다.

표 11. 제재목의 제재규격

구분	규격(치×치×자)	규격(cm×cm×m)	비고
각재	3.0×3.0×12	9.0×9.0×3.6	건설현장용
	2.7×2.7×12	8.0×8.0×3.6	건설현장용
	2.5×2.5×12	7.5×7.5×3.6	주문
	1.5×1.5×12	4.5×4.5×3.6	주문제작시 부득이한 제재
	1.5×1.0×12	4.5×3.0×3.6	
판재	3.6×0.6×12	10.8×1.8×3.6	
	4.0×1.0×12	12.0×3.0×3.6	

표 10의 시뮬레이션 내용을 표 11의 제재 규격에 맞추어 수정을 하면 표 12와 같은 결과가 얻어진다. 표에서 보는 바와 같이 하나의 원목에서도 절단된 원목마다 다양한 방법의 제재가 가능하게 된다.

표 12. 일반제재규격별 제재재적 및 수율

제재 방법	원목구분	제재 방법	생산가능한 제재목(cm×cm×m)	수량	재적(m ³)	재적수율
3.6m, 3.6m, 2.8m	D _L : 30.0cm D _S : 26.4cm L: 3.6m 재적: 0.2251m ³	1	9.0×9.0×3.6	4	0.1438	63%
			10.5×1.8×3.6	4		
		2	4.5×4.5×3.6	16	0.1438	63%
			10.5×1.8×3.6	4		
		3	4.5×3.0×2.7	24	0.1438	63%
			10.5×1.8×3.6	4		
	∴	∴	∴	∴	∴	
	D _L : 26.4cm D _S : 22.8cm L: 3.6m 재적: 0.1714m ³	1	8.0×8.0×3.6	4	0.1193	69%
			10.5×1.8×3.6	4		
		∴	∴	∴	∴	∴
		D _L : 26.4cm D _S : 22.8cm L: 3.6m 재적: 0.1008m ³	1	14.1×14.1×2.7	1	0.0536
	∴		∴	∴	∴	∴

* 원목규격(원구직경: 30cm, 말구직경: 20cm, 재장: 10m)

다) 휨을 고려하는 경우

표 13은 BI가 0, 즉 휨이 없는 원목과 BI가 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5일 경우에 재적수율에 대한 비교이다. 휨정도가 심해질수록 제재가능한 제재목의 규격이 작아지면서 제재수율이 급격히 떨어짐을 알 수 있다.

표 13. 휨이 있는 경우에서의 일반제재규격별 제재재적 및 수율

BI	제재가능 말구직경	생산되는 제재목 (W(cm)×T(cm)×L(m))	수량	재적(m ³)	재적수율
0	20cm	14.1×14.1×10	1	0.3116	63%
		14.1×2.0×10	4		
0.1	18cm	12.7×12.7×10	1	0.2216	45%
		8.2×1.8×10	4		
0.2	16cm	11.3×11.3×10	1	0.1751	35%
		7.3×1.6×10	4		
0.3	14cm	9.9×9.9×10	1	0.1340	27%
		6.4×1.4×10	4		
0.4	12cm	8.4×8.4×10	1	0.0985	20%
		5.5×1.2×10	4		
0.5	10cm	7.0×7.0×10	1	0.0684	14%
		4.6×1.0×10	4		

* 원목규격(원구직경: 30cm, 말구직경: 20cm, 재장: 10m)

다. 원목선별시스템 개발

일정 규격으로 주문받은 일정량의 제재목을 생산하는데 가장 적합한 원목을 선택하는 시스템의 개발을 목적으로 한다. 주문 받은 원목의 수종, 폭(W), 두께(T), 재장(L)을 이용하여 위의 제재단위 시스템에서 사용한 최대가능재적생산(Maximum possible volume yield)에 의해 제재 가능한 최적의 원목을 검색하는 것이 가능하도록 한다.

주문규격의 제재목을 포함하는 최대 사각형을 가정하여 그사각형이 원목의 말구직경 단면에 포함되는 경우를 최적의 원목으로 선별하도록 한다.

예를 들어 1.5치×1.5치×12자(4.5cm×4.5cm×3.6m) 규격으로 10개의 제재목이 필요하다 고 한다면, 첫째, 주문수량만큼의 제재목을 최적으로 생산 할 수 있는 적재방식을 선택해야 한다. 폭과 두께가 같은 각재의 경우 10개를 최적으로 생산할 수 있는 방법은 각각 4개, 4개, 1개, 1개를 생산할 수 있는 원목 4개를 찾아내는 방법이 있을 수도 있고, 9개, 1개를 생산할 수 있는 원목 2개를 찾아내는 방법도 있다. 이 외에도 제재할수 있는방법은 다양하게 있지만, 직경이 큰 원목의 경우는 더 큰 규격의 제재목 생산을 위해 직경이 작은 원목을 우선적으로 선택한다고 한다면, 전자의 방법이 후자보다는 바람직하다고 할 수 있다. 둘째, 적재방식의 선택으로 선별될 말구직경이 결정되면, 길이 3.6m이상, 또는 7.2m이상의 원목에서 재

장이 3.6m나 7.2m에 가장 가까운 원목을 선택하게 된다. 셋째, 제재방식과 재장이 선택되면 각각의 적재방식으로 제재가 가능한 원목을 DB내에서 검색하는 것이 가능하다.

2. 결과(시스템 운용)

가. 원목관리시스템

1차 년도에 웹 상에서 원목관리하던 것을 시스템 상으로 옮겨와 로컬 상에서 구현되도록 프로그램을 구축하였다. 기본적인 기능은 원목 데이터의 추가, 삭제, 수정 및 다양한 검색조건에 따른 검색 기능을 제공하며, 원목선별 및 제재단위 시스템에서 최적 수율을 위한 원목을 검색하고, 제재가능 수량을 파악하기 위한 기본 데이터 베이스의 입력 및 관리의 기반이 된다.

1) 시스템 운영

프로그램을 실행하면 우선 관리하고자하는 데이터베이스를 선택해야한다 (그림 17). 새 데이터베이스를 생성할 수 있고 여러 개로 나누어 관리하는 데이터베이스중 하나를 부를 수도 있다. 기본값은 마지막에 작업한 데이터베이스에 연결하도록 하였다.

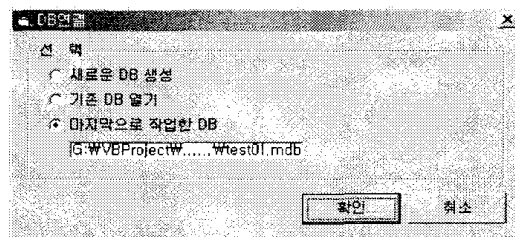


그림 17. 데이터베이스 선택화면

확인 버튼을 누르면 그림 18과 같은 초기화면이 나타난다. 프로그램 창은 원목DB를 관리하는 원목DB입력, 검색창, 전체보기 창으로 나누어진다.

가) 원목DB입력

The screenshot shows a software window titled '원목관리시스템' (Log Management System) with a menu bar containing '파일(F)', '편집(E)', '보기(V)', and '도움말(H)'. Below the menu is a toolbar with icons for file operations. The main area is titled '원목DB입력' (Log DB Input) and contains the following fields:

- 생산일자 (Production Date): 2002년 04월 31일
- 산지정보 (Origin Info): 시/도, 시/구/군, 읍/면/동
- 입고일자 (Arrival Date): 2002년 05월 31일
- 수종 (Species): 수량 (Quantity), 수말 (End)
- 재장 (Log): m, 말구직경 (Log Diameter), cm, 원구직경 (Original Diameter), cm
- 활발등급 (Activity Grade): 선택 (Select), 활동등급 (Activity Grade): 선택 (Select), 변색등급 (Color Grade): 선택 (Select)
- 적재장소 (Storage Location): 판매자 (Seller), 판매자정보입력 (Input Seller Info)
- 비고 (Remarks):

At the bottom of the form are buttons for '확인' (Confirm), '적용' (Apply), '초기화' (Reset), and '취소' (Cancel). The status bar at the bottom indicates '상태' (Normal), the date '5/31/2002', and the time '12:43 PM'.

그림 18. 초기화면(데이터 입력)

원목에 대한 정보를 입력하고 적용버튼을 누르면, 다시 한번 입고내역을 확인하는 질문이 나타나고 '예'를 선택하면 데이터베이스에 입력이 된다.

나) 검색

검색창에서는 원하는 조건으로 데이터베이스를 검색하여 해당되는 데이터의 내용을 표로 보여주게 된다. 예를 들어 원목DB에서 생산지가 강원도 데이터를 찾고자 한다면 산지정보 부분에 '강원'을 입력하면 결과가 아래의 표에 나타난다.

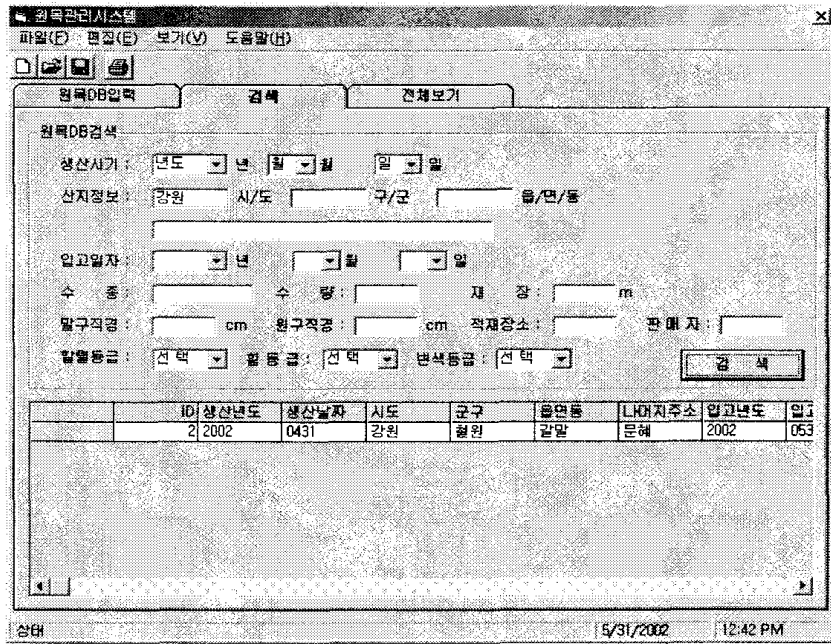


그림 19. 검색화면

다) 전체항목보기

전체항목보기에서는 보기 버튼을 누르면 전체 테이블의 내용이 보여진다(그림 20). 데이터베이스의 수정과 삭제는 이 부분에서 가능하다. 수정하거나 삭제하고자 하는 데이터를 선택한 뒤 수정버튼을 누르면 해당 데이터값을 바꿔 수정이 가능하고, 삭제 버튼을 누르면 선택한 데이터가 데이터 베이스에서 지워지게 된다.

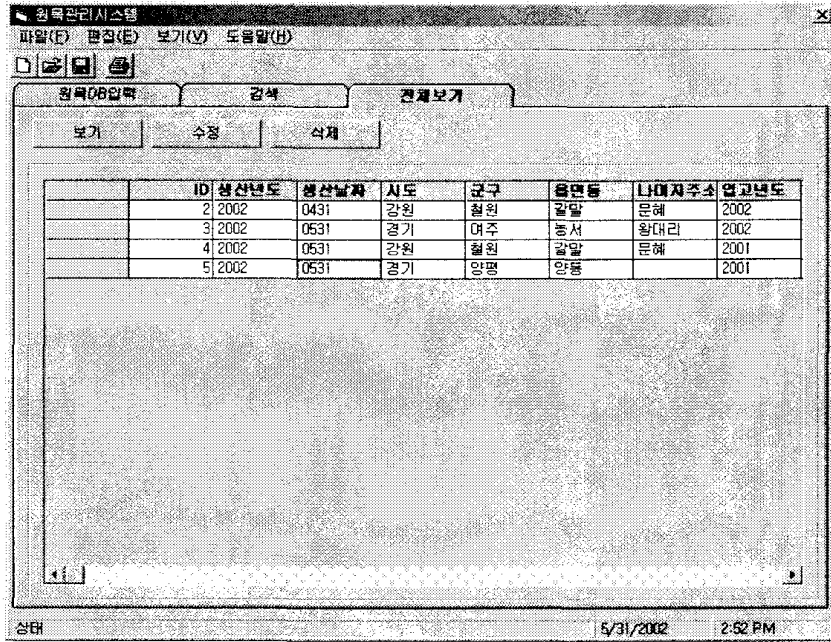


그림 20. 전체내용보기 및 수정

나. 제재단위 시스템

제재단위시스템에서는 일정규격의 원목에 대해 초살도와 휨정도를 고려하여 가능한 여러 가지의 제재규격이 제시되도록 하였다. 원목의 원구직경, 말구직경, 재장을 입력하면 다양한 제재규격과 그에 따른 수율이 제시되어 최적의 제재방식을 선택할 수 있다. 시스템에 원목의 규격을 입력하여 실행시키면 그림 21과 같이 다양한 제재규격의 그림과 그에 따른 수율이 테이블로 나타난다.

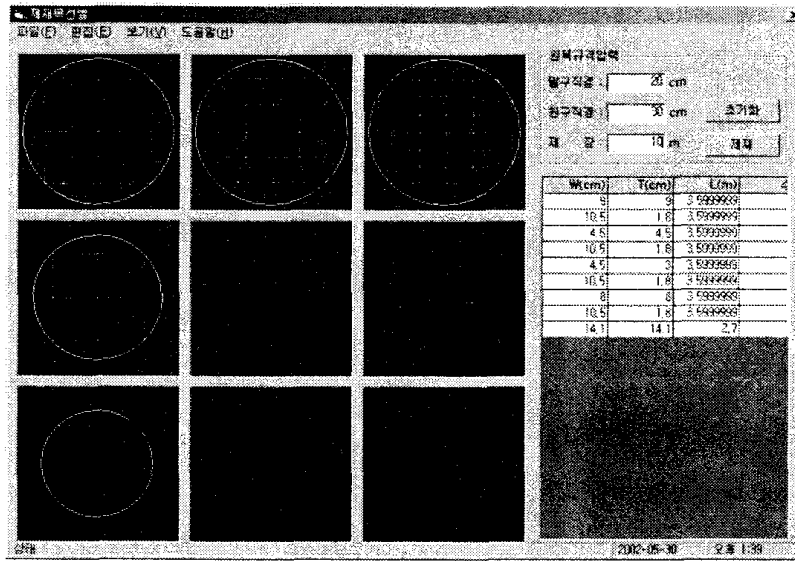


그림 21. 제재단위시스템에서의 제재 시뮬레이션 결과

제재하고자 하는 원목의 규격(말구직경, 원구직경, 재장)을 입력하고 제재 버튼을 누르면, 그림 21과 같이 제재가능 모형이 나타나고 오른쪽 표에는 각각의 제재모형에서 생산되는 각재, 혹은 판재의 규격과 수량, 그리고 입력된 원목의 재적에 대한 수율이 나타난다. 산출된 정보를 이용하면 해당원목을 어떻게 제재하는 것이 가장 효율적인지를 선택하는 것이 가능하다.

다. 원목선별 시스템

원하는 제재목의 수종과 규격을 입력받아 최적을 수율로 제재하는 것이 가능한 원목을 찾을 수 있도록 시스템을 구축하였다(그림 22).

시스템 창에서 각각의 필드에 원하는 조건을 입력하면 최적제재방식에 따른 원목의 말구 직경과 길이를 기준으로 하여 원목 데이터베이스내에서 최적제재가 가능한 원목을 검색하여 아래 표로 보여주게 된다. 검색된 결과에는 원목관리 시스템의 데이터베이스에 있는 원목에 대한 기본정보가 포함되어 있으므로 적재위치나 제재 가능한 수량 등을 파악하는 것이 가능하다.

제재목선별

파일(F) 편집(E) 보기(V) 도움말(H)

제재규격입력

수종 : 낙엽송 W(cm) : 9 cm
 T(cm) : 9 cm
 L(m) : 360 cm

초기화
 검색

원목번호	W(cm)	T(cm)	L(cm)	제재목 수량	적재장소
176	9	9	360	4	2
69	9	9	360	4	1
34	9	9	360	9	1
96	9	9	360	9	1
175	9	9	360	4	2
129	9	9	360	9	2
135	9	9	360	9	2
198	9	9	360	9	3
104	9	9	360	9	2
84	9	9	360	4	2
150	9	9	360	4	3

그림 22. 원목선별시스템

제 4 절 제재목 등급결정 및 관리시스템

제재목 등급결정시스템 연구부분에서는 제재목을 스캔하여 제재목의 화상자료를 생성하고 이를 근거로 제재목의 결함을 계량화하여 등급을 자동으로 결정할 수 있는 시스템을 구축하였다. 이를 위해 최근 다양한 산업분야에서 활용되고 있는 화상처리기술을 적용하였으며, 제재목 재면화상의 화소값 분석을 통해 웅이, 변색 등의 제재목 결함을 계량적으로 파악할 수 있는 방법을 개발하였다. 이와 같은 계량화된 결함정도를 근거로 제재목의 등급을 결정할 수 있도록 하였다.

이와 같이 결정된 등급과 수종, 규격 등이 제재목관리시스템으로 자동 전송 및 저장되어 제재목재고 관리가 전산으로 이루어 질 수 있도록 하였다.

1. 연구 수행 방법

가. 제재목 등급결정 시스템

제재후 컨베이어 벨트 위를 지나가는 제재목의 재면 상태를 카메라를 이용하여 스캔한 뒤 실시간으로 이미지 프로세싱을 통해 결점부위와 재면을 구분하여 결함 부위의 비율과 위치에 따라 제재목의 등급을 나누도록 하였다.

1) 시스템 구축환경

제재목 등급 결정 시스템은 MS사의 windows 기반으로 운용되게 하였으며, 재면의 이미지를 얻기 위해 CCD 카메라를 사용하게 된다. CCD카메라를 이용해서 스캔되는 이미지는 그래픽 보드를 이용하여 시스템 상으로 전달되며, 전달 받은 이미지를 분석하여 제재목의 등급을 판별할 수 있도록 구축되었다.

2) 구축 언어

스캔되는 이미지에서 결함부위를 검출하는 과정은 여러 번의 이미지 프로세싱을 통해 이루어지므로 시스템 리소스를 많이 사용하게 되고, 실시간으로 지나가는 제재목의 이미지를

분석하기 위해서는 빠른 처리속도가 필요하게 된다. 이런 이유로 시스템 구축을 위해 MS사의 Visual C++를 이용하였다. C언어는 메모리를 프로그램 상에서 관리할 수 있으며, 실행속도가 빠르므로 이미지 프로세싱을 통한 결함 부위 검출에 적합한 언어이다.

3) 시스템 구축내용

시스템 구성은 하드웨어적인 부분과 소프트웨어적인 부분으로 구분을 하였다. 첫째로 하드웨어적인 부분은 실제 제재목이 이동되는 컨베이어 벨트, 컨베이어 벨트를 지나가는 제재목을 촬영하는 카메라 그리고 카메라에서 스캔된 이미지를 전달받아 디지털 신호로 바꾸어 프로세싱이 가능하도록 하는 이미지 그래버 보드로 구성되어진다. 본 연구에서는 이상의 흐름에 따라 제재목의 단면을 촬영할 수 있도록 제재목 스캔시스템을 설계하였다. 둘째로 소프트웨어적인 부분은 전달받은 디지털 이미지에 대해 재면과 배경의 분리, 재면 내에서 용이부분과 재면의 분리, 용이의 위치와 크기의 측정 등의 처리를 통해 제재목의 등급을 결정하는 역할을 한다. 전체적인 시스템의 구성은 그림 23과 같다.

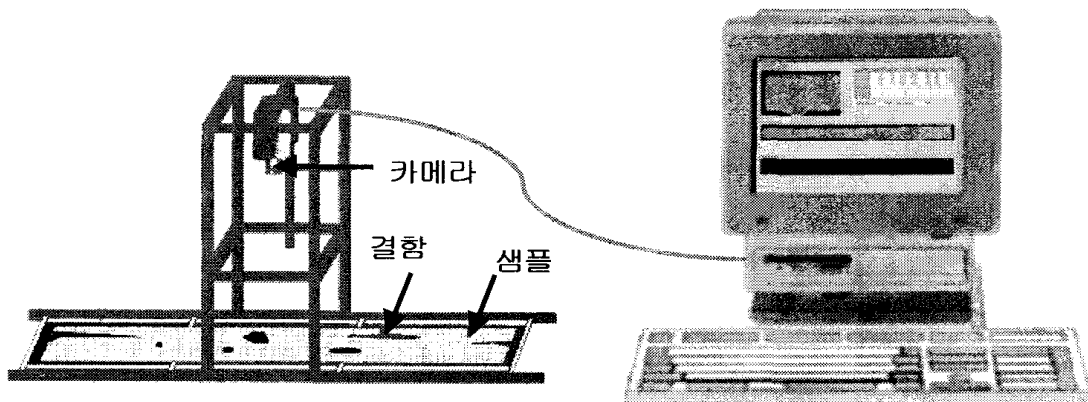


그림 23. 제재목 등급결정 시스템 구성

4) 제재목 스캔방법

그림 23과 같이 제작된 스캔시스템에 제재목을 올려놓고 위치를 이동시키며 제재목을 촬영하게 된다. 촬영이 됨과 동시에 촬영된 이미지는 컴퓨터로 전달되고, 이미지 그래버 보드를 통해 분석에 사용될 디지털 이미지로 전환된다.

5) 결함부위 검출 방법

스캔된 영상을 이용하여 재면상의 결함 부위를 검출하기 위해서는 여러 가지 영상 처리 알고리즘이 사용된다. 대표적으로 사용되는 것은 결함 부위와 일반 재면과의 화소값의 차이를 이용하여 결함 부위를 찾아내는 방법이다. 화소값의 차이를 이용하여 분리된 결함부위의 외곽선을 따라 결함 부위의 형태를 분석하여 결함의 위치, 크기 및 형태를 알아 내어 제재목의 등급을 판별하기 위한 기초자료로 사용하게 된다.

가) 배경과 제재목의 분리

제재목을 스캔하는 배경은 계조값이 낮은 배경을 사용하게 되는데, 실제 제재목 이송장치에 사용된 배경은 계조값이 40 미만인 어두운 배경을 사용하게 되므로 우선 이 값을 이용하여 이미지 내에서 배경과 제재목을 분류하게 된다.

제재목과 배경을 분리하는 과정은 다음순서로 이루어진다. 우선 배경화면의 계조값을 이용하여 배경과 재면을 분리해 낸다. 검은색으로 표현된 배경과 흰색으로 표현된 재면의 경계를 구분해 낸 뒤 이 경계의 내부만을 결함부위를 찾는 범위로 이용하게 된다.

배경과 제재목을 구분하고 난 뒤 제재목 내에서 결함부위와 재면과의 구분을 위한 프로세스를 수행하게 된다. 이런식으로 배경과 제재목을 분리하고 제재목내의 결함부위를 검출한 이미지에서 외곽선 만을 추출하여 결함 부위의 크기 및 위치산정을 기본 자료로 사용하게 된다.

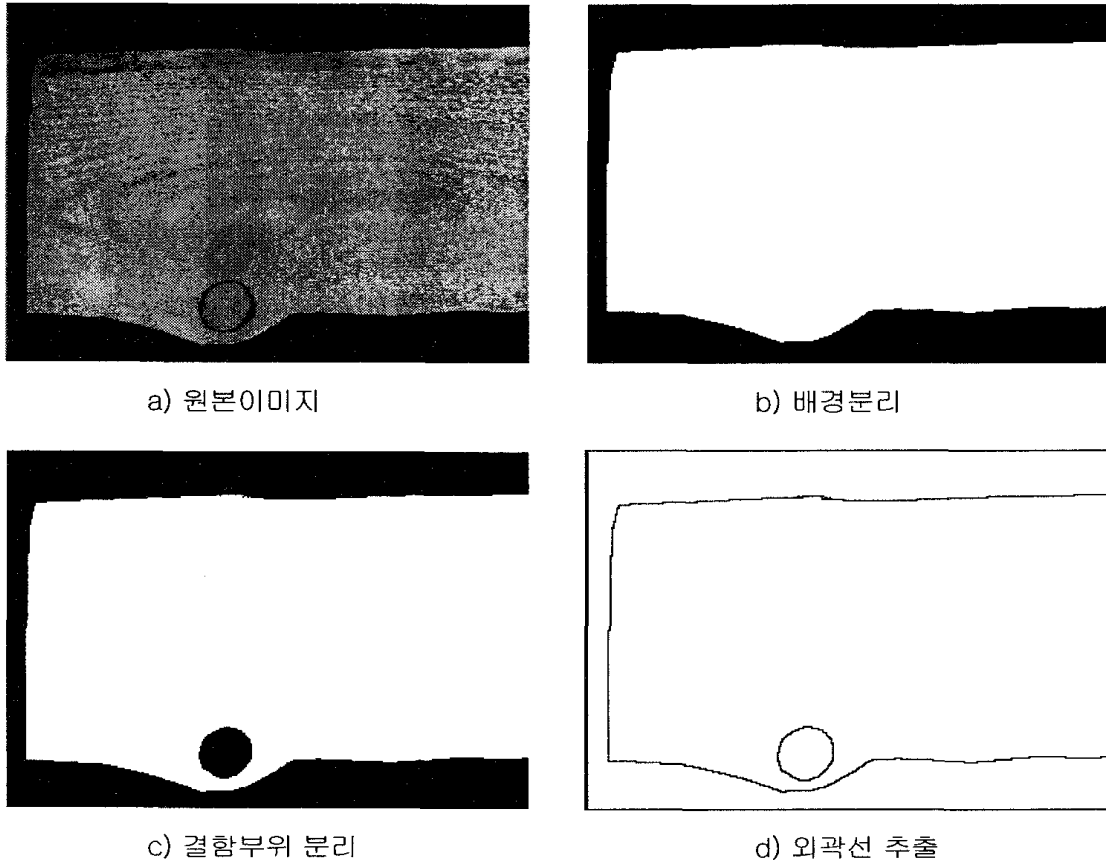


그림 24. 배경과 결함부위 검출과정

나) 결함검출을 위한 경계값 선정

배경과 제재목의 구분의 경우는 배경을 제재목 보다 어둡게 일정한 값으로 처리를 하였으므로 단일 값을 적용하여도 구분이 가능하다. 하지만, 제재목내의 결함 부위의 검출을 위한 경계값은 입력되는 제재목의 수종, 조명의 밝기, 카메라의 노출도에 따라 이미지의 화소값에 차이가 생기므로 경험적으로 경계값을 판단하는 것 보다 시스템 내에서 스스로 경계값을 추출하는 것이 주위의 영향을 받더라도 현장에서 발생하는 경계값의 변화에 대하여 안정적으로 처리를 할 수 있다.

목재표면상에 존재하는 픽셀값의 경향을 분석하여 경계값을 결정하는 방법에는 여러 가지가 있다.

히스토그램법은 이미지 프로세싱작업에서 손쉽게 화상을 파악할수 있는 자료로 각 결함들의 분포를 파악할 수 있으며, 결함의 인식을 위한 한가지 방법으로 사용이 가능하다.

그림 25는 비교적 용이가 큰 제재목에 대한 히스토그램으로 히스토그램상에서 용이의 픽셀값의 분포를 비교적 쉽게 알 수 있다. 그러나 크기가 작은 용이를 갖는 수종은 히스토그램상에서 용이가 분포하는 구간의 분포량이 적어 용이의 검출이 힘들고 다른 결함과 중첩되어 분포할 경우 결함의 추출이 어려워진다는 단점이 있다.

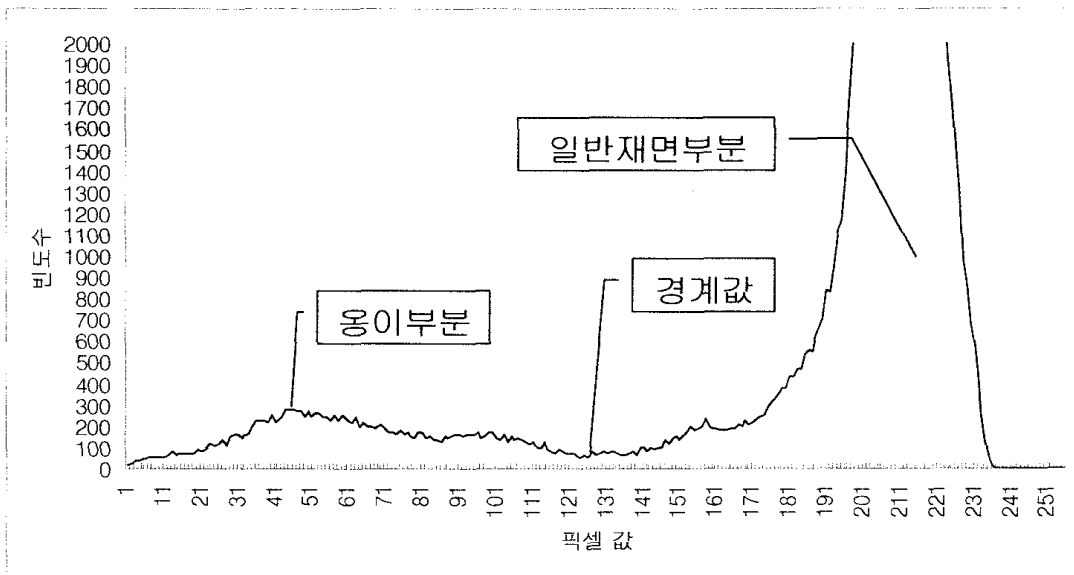


그림 25. 제재목 샘플의 히스토그램

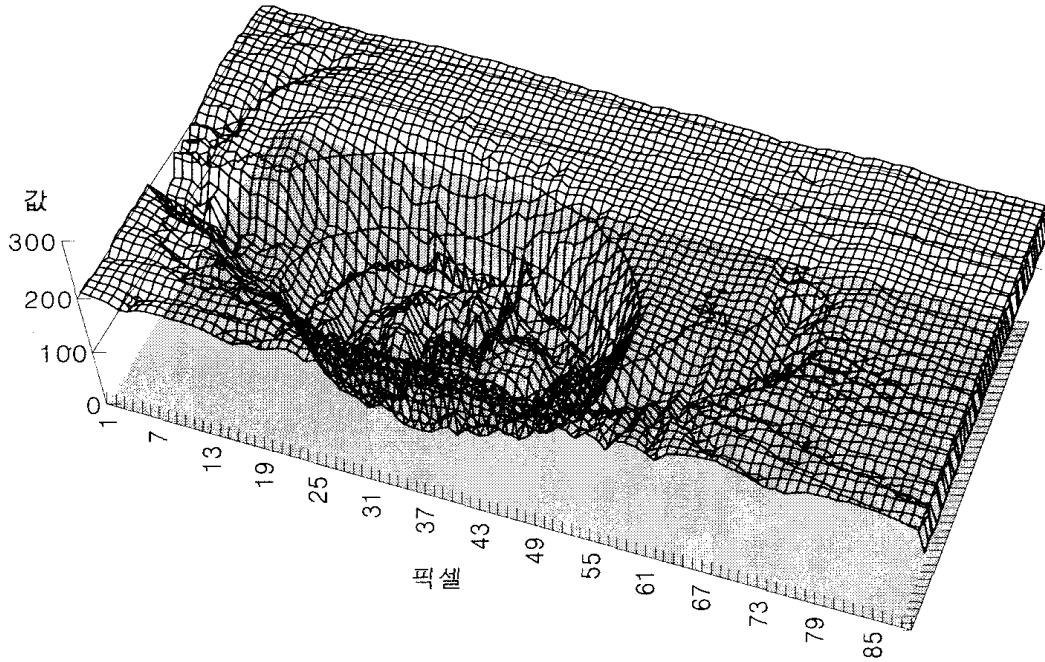


그림 26. 제재목 샘플의 3차원 히스토그램

그림 26은 이미지 프로세싱의 샘플로 사용한 시편의 각 픽셀값의 분포를 3차원으로 나타낸 것으로 옹이와 일반 재면과의 분포상태를 눈으로 확연히 구분 할 수 있다. 경계값 검출을 위한 알고리즘에서 위의 히스토그램 분포를 사용하게 된다.

히스토그램만을 이용한 경계값 추출의 경우 옹이의 크기가 작아 분포량이 적은 경우 또는 일반 재면과 옹이의 색 차이가 크지 않은 경우는 경계가 모호해지므로 경계값의 결정을 위한 알고리즘이 필요하게 된다. 경계값의 결정하기 위해서 이미지 내의 배경부분을 제외한 제재목에 해당하는 부분에서 최저 대표값을 갖는 하나의 라인상의 픽셀값을 추출하여 그 라인의 화소값의 배열에서 값의 변화를 이용하여 특정 조건을 만족하는 부분의 픽셀 값을 경계값으로 결정하는 방법을 사용하게 된다.

경계값 추출의 과정은 다음과 같다.

- ① 원래의 이미지에서 최저 대표값을 갖는 지점을 검색한다.
- ② 검색된 지점을 기준으로하여 x축상의 화소값의 분포를 얻어낸다. 그림 27은 화소값의 분포를 그래프로 나타낸 것이다.

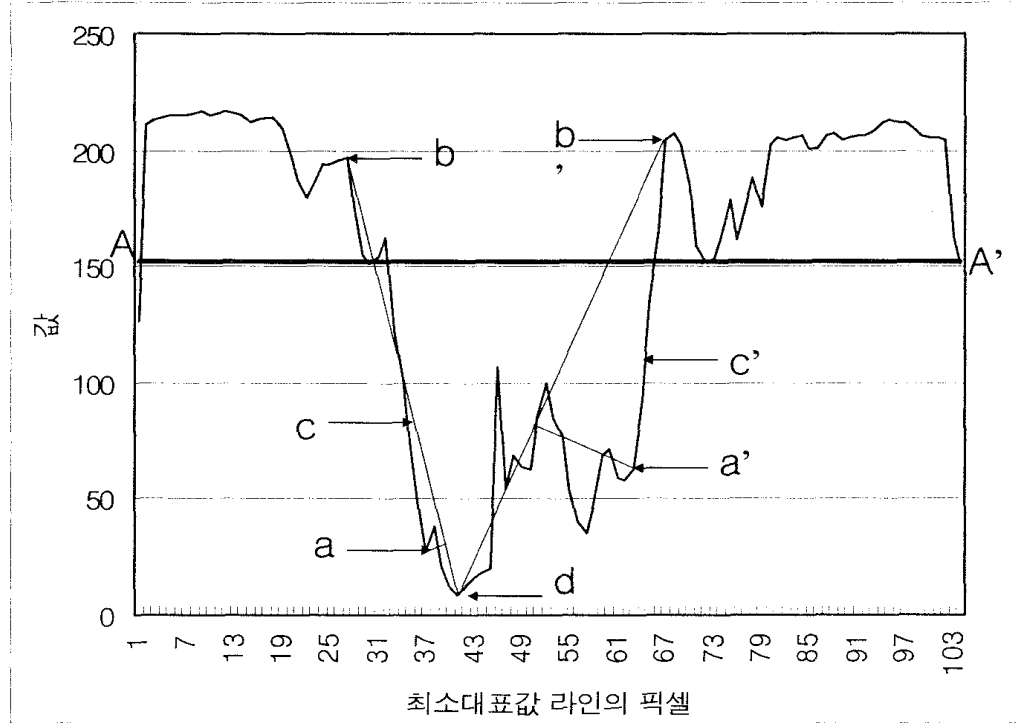


그림 27. 최저대표값 지점의 화소분포

- ③ 해당 x축에 존재하는 픽셀값의 평균값을 구한 뒤 평균값에 해당하는 라인 AA'을 작성한다.
- ④ 직선 AA'과 픽셀값 분포선의 교차점을 상부로 추적하여 픽셀값의 증가폭이 둔해지거나 값의 감소를 시작하는 점 b와 b'를 구한다.
- ⑤ 최저점 d와 b, d와 b'을 잇는 직선을 작성한뒤 픽셀값 분포선과 직선거리가 가장 먼 점 a와 a'을 구한다.(a와 a'은 픽셀값의 증가폭이 커지는 부분으로 a와 b또는 a'과 b'사이에서 c또는 c'에서 경계값이 존재하게 된다.)

- ⑥ 실험적으로 경계값의 분포를 측정해보면 직선 ab또는 a'b'의 3분의 1에 해당하는 부분이 경계값임을 확인할 수 있으며, 이는 히스토그램 상에서도 120 정도에서 경계값이 존재하는 것으로도 확인이 가능하다.
- ⑦ 점 c와 c'중에서 평균값에 가까운 c'을 경계값으로 선정한다.

다) 제재목형상과 표면결함 인식

카메라로부터 얻어진 이미지에 경계값을 적용하여 결함을 검출하기 전에 결함으로 인식할 필요가 없는 작은 노이즈의 제거를 위해 가우시안 필터링을 이용하여 이미지에 흐림효과를 추가하여준 뒤 경계값을 적용하여 결함 부위와 재면을 분리해 내도록한다. 경계값을 기준으로 하여 경계값보다 작은 결함부위는 일률적으로 픽셀값을 0으로 하여 검은색으로 표현하였으며, 경계값보다 큰 재면은 255값을 주어 흰색으로 표현을 하여 이미지를 변환하면 배경과 결함 부위는 검은색으로 표현되고 재면은 흰색으로 표현된 이미지를 얻을 수 있다.

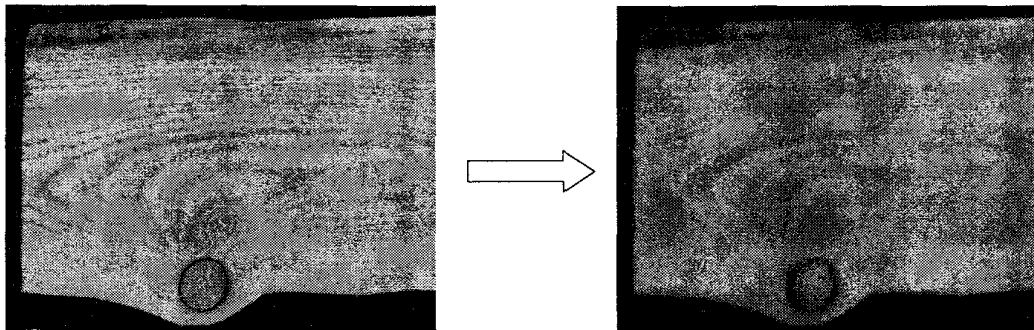


그림 28. 가우시안 필터링을 이용한 흐림

라) 용이의 외곽선 검출

용이와 재면 부분을 2진 이미지로 변환한 뒤에 용이에 대한 외곽선을 검출하기 위해 외곽선 검출에 알고리즘을 사용하게 된다. 기본적인 외곽선 검출은 미분 연산자에 의해 밝기값의 변화를 이용하여 밝기가 급격히 변하는 곳을 찾아내는 방법을 사용하게 된다.

하지만 이미지 프로세싱에 있어서는 직접적인 미분식의 계산보다는 미분효과를 지닌 일정크기의 마스크를 적용하여 계산을 하는 것이 더욱 빠르게 결과를 얻어 낼 수 있다.

기본적인 윤곽선 검출 마스크로는 Sobel, Prewitt, Roberts, Laplacian, Caney 등의 마스크가 있다. 각각의 마스크에 의한 윤곽선 검출효과를 비교하여 용이 외곽선 검출에 가장 적합한 마스크를 선택하였다.

각 마스크의 특징과 마스크에 의해 추출된 윤곽선은 다음과 같다.

(1) Sobel 마스크

윤곽선 검출의 가장 대표적인 미분연산자로서 x축과 y축으로 각각 한번씩 미분을 하게 되어 있으며 기울기의 크기는 $G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$ (G_x^2 는 x축 편미분, G_y^2 는 y축 편미분 결과)로 나타내어진다. 프로그램상에서는 간결성을 위하여 기울기의 크기를 $G = |G_x| + |G_y|$ 로 사용하였다. Sobel 마스크의 3×3행렬형태는 그림 29와 같다.

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

그림 29. Sobel 마스크

Sobel 마스크는 연산속도가 비교적 느리며 잡음부분도 윤곽선으로 인식할 만큼 밝기 정도에 매우 민감한 정도를 보이는 특성이 있다.

(2) Prewitt 마스크

Sobel 필터의 결과와 거의 같은 결과값을 나타내지만 응답시간이 약간 빠르며 마스크의 형태는 비슷하나 밝기의 경계에 대한 비중을 약간 다르게 주어 윤곽선이 덜 부각되어 나타난다. 나머지 특성은 Sobel 마스크와 거의 비슷하다. 그림 30은 Prewitt 마스크의 3×3행렬 형태를 나타낸다.

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

1	1	1
0	0	0
-1	-1	-1

그림 30. Prewitt 마스크

(3) Roberts 마스크

Roberts필터는 기본이 되는 마스크 중의 하나로 매우 빠른 계산 속도를 나타내며, 잡음에 매우 민감하게 반응을 하게 된다. 매우 분명한 외곽만을 검출하게 되는 특징이 있어, 2진영 상에서의 윤곽선 검출에 효과 적으로 사용될수 있다. 그림 31은 Roberts마스크의 3×3행렬 형태를 나타낸다.

0	0	-1
0	1	0
0	0	0

-1	0	0
0	1	0
0	0	0

그림 31. Roberts 마스크

(4) Laplacian 마스크

앞의 세 가지 윤곽선 검출방법이 너무 많은 윤곽선을 검출하는 단점이 있는 반면 2차 미분값을 이용한 Laplacian 마스크를 이용한 윤곽선 검출은 국지적으로 최대한 점만을 윤곽선으로 인정하는 특징을 지닌다. 윤곽선의 검출에 있어 윤곽선의 중심에 존재하는 윤곽선만을 표시해야하는데 Laplacian연산자는 이러한 특징을 잘 보여주고 있다. 하나의 마스크를 이용하여 윤곽선을 검출하므로 연산속도가 매우 빠르며, 다른 연산자와 비교하여 날카로운

윤곽선을 검출해내는 특성을 지닌다. 그림 32는 Laplacian 마스크의 3×3행렬 형태를 나타낸다.

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

그림 32. Laplacian 마스크

(5) Caney 마스크

Caney 마스크를 이용한 윤곽선 검출은 다른 윤곽선 검출 마스크를 응용한 방법으로 볼 수 있다. 다른 연산자들이 잡음에 매우 민감하여 작은 잡음에 있어서도 윤곽선을 검출하는 경우가 많다. 잡음에 민감하지 않는 검출방법이 Caney 마스크를 사용하는 것으로 먼저 Gaussian 마스크를 이용하여 잡음을 제거한 후 앞의 윤곽선 검출 마스크를 사용하는 것이다. 즉, 두 번의 과정을 거치면서 첫 번째 과정에서는 잡음을 제거하고, 두 번째 과정에서는 윤곽선을 검출해 내는 것이다. 잡음이 제거되므로 강한 윤곽선만을 추출하는 것이 가능하며 여러 마스크들 중에서 적합한 것을 활용할 수 있다는 장점이 있다.

마) 외곽선을 이용한 용이의 형태 및 크기 파악

외곽선 검출까지의 과정을 거치면 제재목과 배경의 경계선과 제재목내의 결함부위와 일반 재면과의 경계선만을 지닌 이미지를 얻을 수가 있다. 이제 검출된 외곽선의 좌표를 추출하여 제재목의 형태와 단면적을 파악할 수 있으며, 결함부위의 위치, 크기 형태를 파악해야 한다.

외곽선을 트레이싱하여 좌표를 산출하는 방법은 3×3 마스크를 사용하여 외곽선의 진행 방향을 따라 마스크를 이동하여 이동하며 마스크의 중심점으로서 외곽선의 좌표를 계속 저장하게 된다.

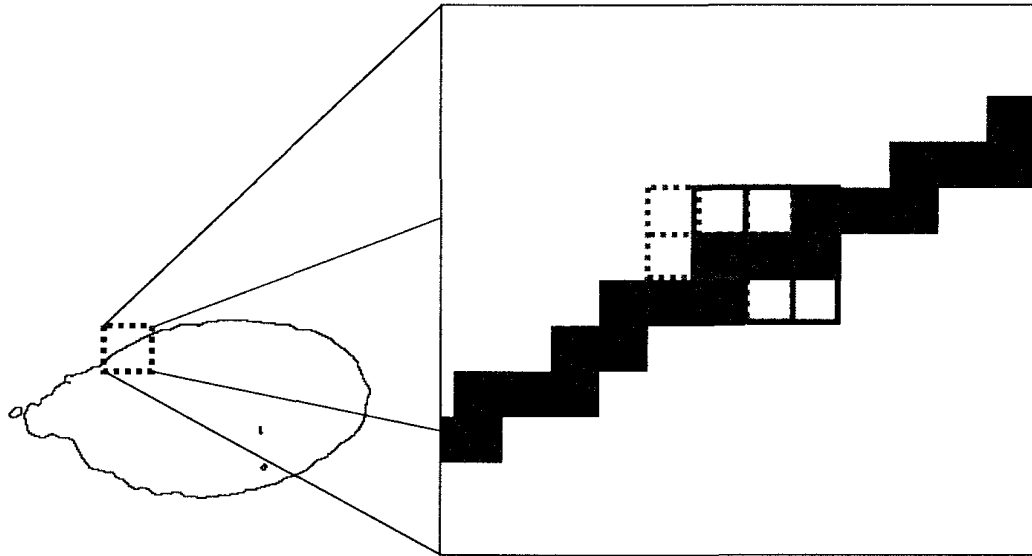


그림 33. 외곽선 검출시 트레이싱 알고리즘

저장된 외곽선의 좌표를 이용하여 최외곽 사각형의 좌표를 구하고 이를 이용하여 용이의 크기와 위치를 산출하게 된다.

우선 용이의 형태를 나타내는 방법으로는 용이를 둘러싸고 있는 최소 면적의 사각형을 이용하여 용이의 형태에 대한 특징을 정의 하였고, 면적에 있어서는 용이 자체의 면적과 용이를 둘러싼 최소사각형의 면적을 이용하여 나타내었으며, 용이의 위치를 나타내기 위해서는 용이의 중심점의 좌표를 전체 제재목 좌표상에의 위치로 표현 하였다.

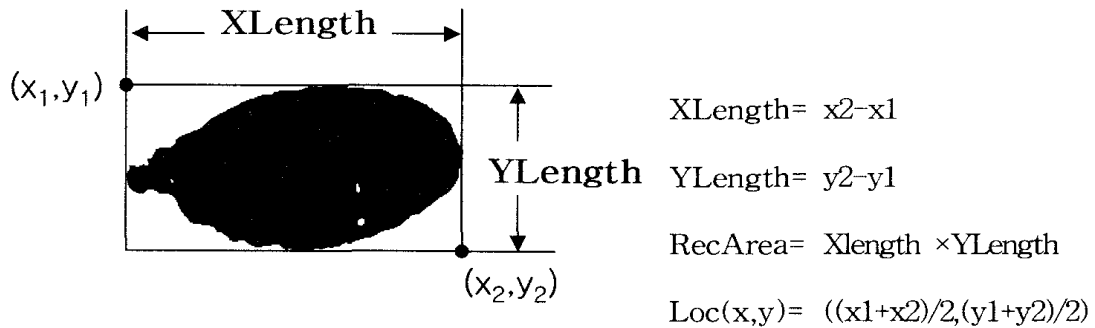


그림 34. 결합부위에 대한 기본정보

바) 등급 결정을 위한 기준 마련

구조용으로 사용되는 침엽수에 대한 기준은 한국산업규격(KS)에 침엽수 구조용재에 대한 규격(KS F 3020)이 명시되어 있다. 한국산업규격에서의 각 등급에 품질 기준에서 용이에 대한 등급별 품질 기준은 다음과 같다.

표 15. 침엽수 구조재 등급(KS F 3020 침엽수 구조용재, 한국표준협회)

종류	결점구분		1등급	2등급	3등급	
1종 구조재(규격재)	용이지름비	용이	20%이하	40%이하	60%이하	
		모인 용이	위 기준의 1.5배 이하일 것			
2종 구조재(보재)	용이지름비	좁은 재면	20%이하	40%이하	60%이하	
		넓은재면	가장자리	20%이하	30%이하	40%이하
			중앙부	30%이하	50%이하	70%이하
		모인 용이	위 기준의 1.5배 이하일 것			
3종 구조재(기둥재)	용이지름비	용이	30%이하	40%이하	60%이하	
		모인 용이	위 기준의 1.5배 이하일 것			

침엽수 구조용재에 있어서 결점의 측정 방법은 다음과 같다.

표 16. 결함부위 측정방법(KS F 3020 침엽수 구조용재, 한국표준협회)

항목		측정방법
용 이	지름	<ol style="list-style-type: none"> 1. 용이의 지름은 용이가 있는 재면에서 부재의 길이 방향에 평행하게 용이의 양 끝에 그은 접선 사이의 거리로 한다. 2. 위의 방법으로 측정한 용이의 지름이 그 용이의 짧은 지름의 2.5배 이상인 경우에는 측정값의 1/2를 지름으로 한다. 3. 인접한 2개 또는 3개의 재면에 연속하여 걸쳐 있는 용이는 용이의 횡단면을 대상으로 지름을 측정한다.
	위치	용이의 중심이 있는 위치에서 지름을 측정한다.
	지름비	<ol style="list-style-type: none"> 1. 지름비는 용이가 있는 재면에서 부재의 나비에 대한 용이 지름의 백분율로 한다. 2. 부재의 4면에 존재하는 용이들에 대한 지름비 중에서 최대값을 그 부재에 대한 지름비로 한다.
	모인 용이	모인 용이의 지름비는 부재의 길이중 15cm 이내에 집중되어 있는 용이들의 지름의 합계를 그 부재의 나비로 나눈 백분율로 한다.

본 연구의 제재목등급결정 시스템 상에서 산출되어진 등급관련 다양한 표 16과 같은 결함부위 측정방법에 적용할 수 있다. 예를 들어 용이를 둘러싼 최외곽 사각형의 나비방향의 길이(YLength)를 용이의 중심이 위치한 지점에서의 제재목의 나비로 나누어 용이 지름비를 산출하는 것이 가능하다.

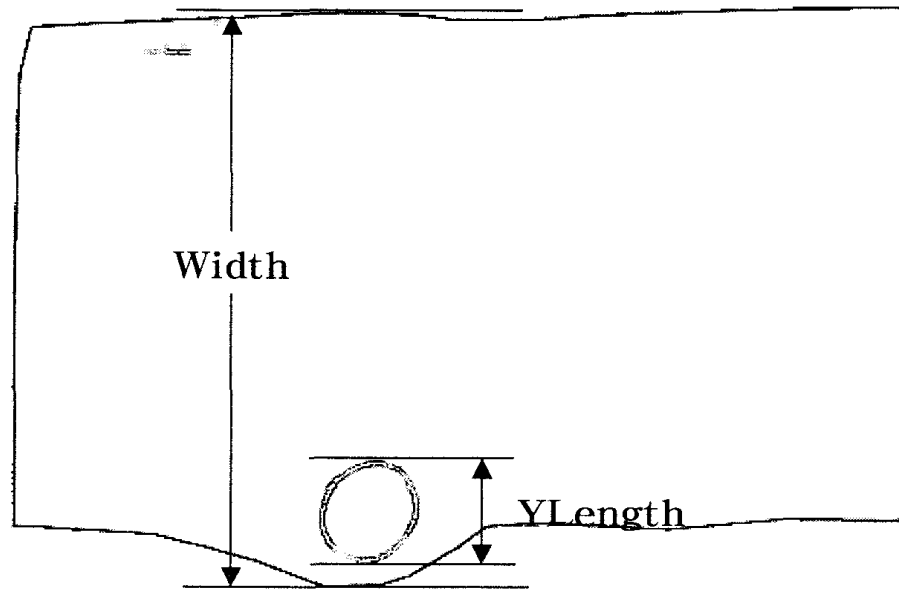


그림 35. . 용이지름비 산출방법

$$\text{용이지름비} = \frac{YLength}{Width} \times 100$$

한국산업규격에서는 너비에 대한 용이지름의 비율 즉, 용이의 크기만이 등급판정의 요인으로 작용하지만, 실제적으로 용이가 제재목의 물리적 특성에 영향을 미치는 부분은 용이의 크기뿐만 아니라 용이의 위치에도 많은 영향을 받는다. 같은 지름비율을 갖는 용이라도 제재목의 중심부에 있는 경우와 제재목의 끝부분에 있는 경우, 제재목의 물리적 성질은 확연히 차이가 날 것이다. 이에 용이의 위치에 따른 지수를 산출하여 용이의 크기만이 아니라 위치에 대한 정보 또한 등급판정의 기준자료로서 활용하도록 하였다.

위치에 대한 기준을 제공하기 위해서 용이의 위치에 대한 가중치를 두어 가중지름비율을 산출할 수 있도록 하였다. 가중지름비율은 용이의 지름과 제재목의 너비로부터 산출된 용이지름비율에 용이의 위치에 따라 부여된 가중치를 곱하여 해당 용이의 지름비율을 새로이 산출하는 방법을 사용하였다.

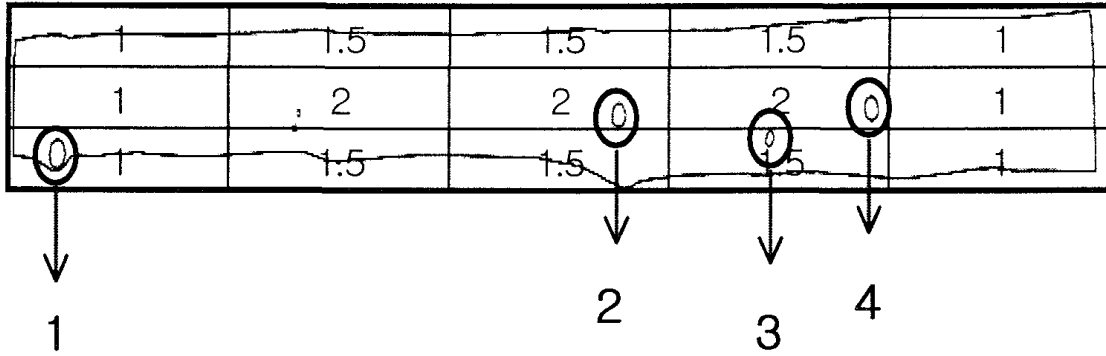


그림 36. 결함부위의 위치에 따른 가중치

그림 36을 보면 4개의 용이가 존재하는데 각각의 지름비율과 가중치기준에 따라 산출된 가중지름비율은 표 17과 같다.

표 17. 지름비율과 가중지름비율의 비교

번호	지름비율	가중지름비율
1	0.227	0.227
2	0.186	0.372
3	0.109	0.164
4	0.171	0.342

예로 사용된 제재목의 가중지름비율을 KS규격에 적용해보면 가중지름비율이 40%이하 값으로 2등급에 해당하는 것을 확인 할 수 있다.

실제적인 사용을 위해서는 용이 위치와 물리적 특성에 대한 연구를 기준으로 하여 가중치 산정을 좀더 세분화하고, 가중치에 의해 산출된 가중지름비율에 맞는 새로운 등급 기준이 필요하다. 그러나 본 연구에서는 가중지름의 산출을 통해 새로운 등급결정 기준으로 적용이 가능함을 밝히는 것까지를 연구 범위로 하였다.

6) 변색여부 및 정도 검사

변색부분이 있는지의 여부를 검사하기 위해서 제재목내 픽셀 값의 분포정도를 파악하였다. 변색부분이 있다는 것은 일반 재면이나 용이 부분과는 다른 값을 지닌 픽셀이 존재하는 것이므로 변색이 발생한 제재목의 경우 픽셀 값의 분포가 변색이 없는 제재목과는 다를 것이며, 보통 변색 부위는 일반 재면보다 어두운 색을 띠게 되므로 히스토그램상에서 낮은 값을 갖는 픽셀이 많을 것이다. 변색이 발생한 제재목 샘플과 변색이 발생하지 않은 제재목 샘플의 통계치를 이용하여 비교하여 보았다.

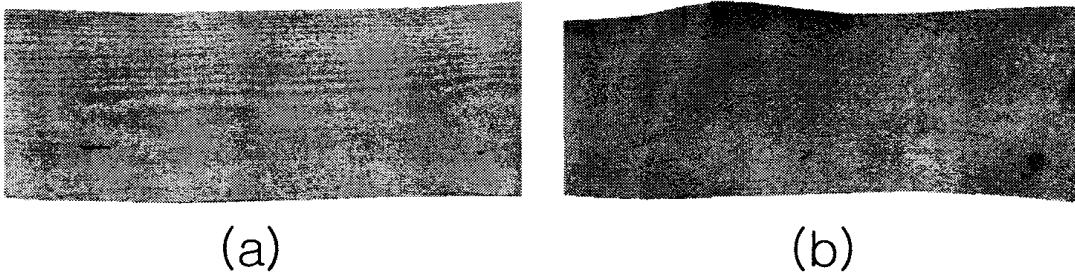


그림 37. 변색 여부 파악을 위한 샘플

(a) 변색이 발생되지 않은 샘플 (b) 변색이 발생한 샘플

위의 두 가지 샘플에 대한 픽셀값의 통계를 표 17에 나타내었다.

표 17. 변색이 없는 샘플과 변색이 있는 샘플의 픽셀값 비교

구분	변색이 없는 샘플				변색이 있는 샘플			
	명도	R(red)	G(green)	B(blue)	명도	R(red)	G(green)	B(blue)
평균	143.70	160.15	141.04	123.53	141.69	161.36	138.78	103.31
표준편차	34.39	30.42	35.47	40.07	39.76	35.42	40.87	51.20

표 17의 명도값을 보면 전체적으로 변색이 포함된 샘플의 경우는 어두운 색을 띠는 변색 부위의 영향으로 픽셀값의 평균이 낮은 것을 알 수 있다. 또한, 변색으로 인해 재면의 색상이 다양하게 되고, 이로 인해 픽셀값의 다양성이 높아지므로 픽셀값의 표준편차가 전반적으로 높은 것을 확인할 수 있다. 하지만 제재목의 경우 수중이나 제재 후 경과 시간등의 차이에 의해 재면 색상에 많은 차이가 있으므로 단순히 픽셀값의 평균이 낮고 표준편차가 크다는 것만으로는 변색이 되었다고 단정할 수는 없다고 판단된다. 더욱이 비교적 크기가 큰 용이를 포함하고 있다면 용이의 영향으로 평균과 표준편차에 많은 변이가 생기므로 이 방법을 적용하여 변색여부를 파악하기에는 무리가 있다.

밝기만으로 변색여부를 파악하기는 어려우므로 변색에 의해 가장 많은 차이를 나타내는 B채널을 이용하여 변색가능성이 있음을 알려주는 것은 가능하다. 표 19를 보면 B채널에서 평균 및 표준편차의 차이가 가장 많이 남을 알 수 있다. 또한 B채널의 경우는 용이의 영향을 덜 받으므로 B채널의 평균과 표준편차를 이용하여 기준값 이하일 경우 변색가능성이 있다는 것을 알려줄 수 있도록 하였다.

2. 결과(시스템 운용)

이상과 같이 설명한 여러 이미지 프로세싱 기법을 적용하여 용이에 대한 기본 정보를 이용하여 제재목의 등급판정을 위한 기준을 제시하기 위한 프로그램을 제작하였으며, 이 프로그램을 이용하여 카메라를 통해 입력되는 제재목 이미지를 분석하여 제재목의 등급을 판정하는 것이 가능하다.

제재목 등급판별 시스템의 화면은 그림 38과 같다.

DefectNo	Xlength	Ylength	LocX	LocY	RecArea	Area	Ratio
1	15	15	44.5	74.5	225	184	0.227
2	14	13	546	51.5	182	145	0.186
3	8	8	681	63	64	56	0.109
4	13	13	772.5	48.5	169	140	0.171

Area of Image:	86680	Area of Wood:	70833
Mean of blue	92.05	std.dev of blue	44.28

그림 39. 분석결과 테이블

XLength와 YLength는 검출된 용이의 크기를 나타내며, LocX, LocY는 용이의 중심이 위치한 이미지 상의 좌표를 나타낸다. RecArea는 용이를 둘러싼 최외곽 사각형의 면적을 나타내며, Area는 용이 자체만의 면적을 나타낸다. Ratio는 KS의 침엽수 구조재 등급판정의 기준에서 나타난 용이의 지름비를 나타낸다.

Area of Image는 배경을 포함한 스캔된 영상전체의 면적을 나타내며, Area of wood는 배경 부분을 제외한 재면에 해당하는 부분만의 면적을 나타낸다.

크기 및 면적의 단위는 이미지에서의 최소단위인 픽셀을 사용하였으며, 차후 시스템이 고정화되어 사용될 경우 픽셀과 실제길이와의 비율을 통해 해상도를 확인하는 것이 가능하므로 원하는 단위로 변환하는 것이 가능하다.

그림 40은 실제로 프로그램이 실행되는 화면으로 현재 스캔이 마무리 된 이미지를 a부분에서 확인 할 수 있으며, c부분에서는 스캔이 완료된 이미지가 보여진다. 분석이 완료된 결과가 c에서 보여지며, 분석결과 용이에 대한 정보는 b의 표에서 확인 할 수 있다.

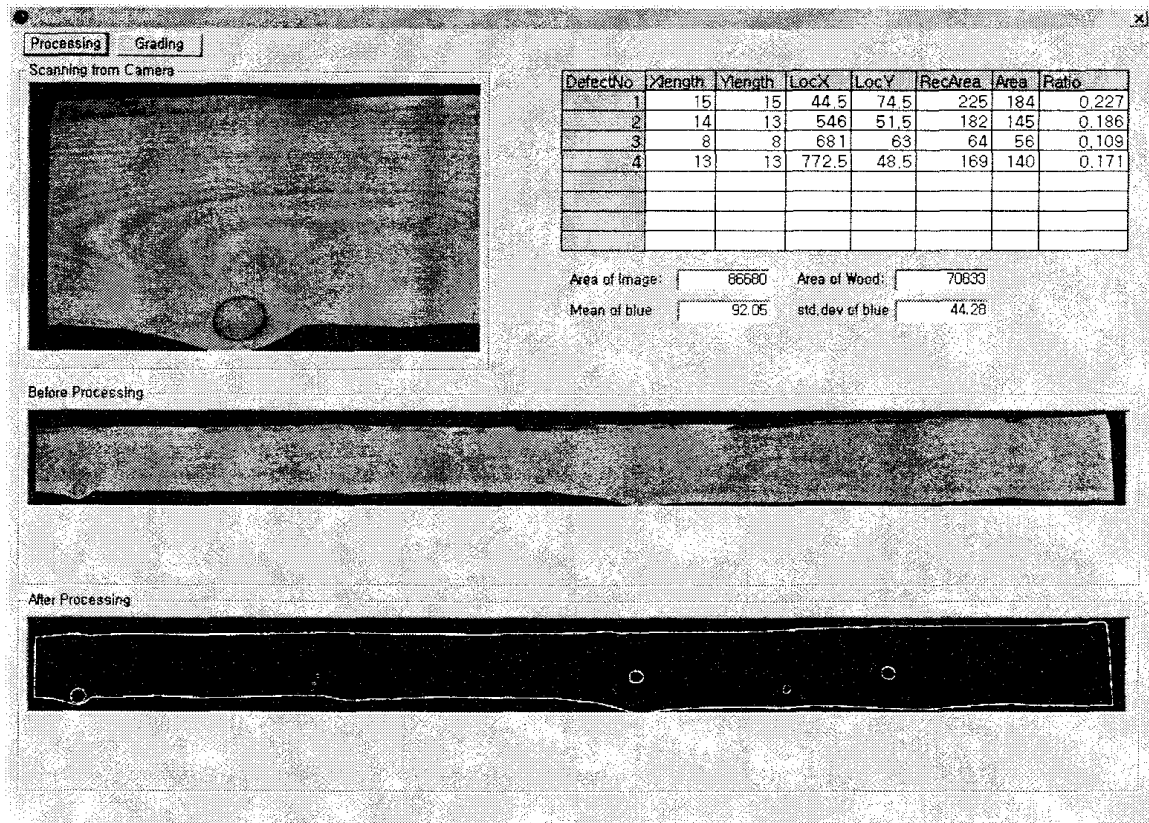


그림 40. 제재목 등급판별 시스템 실행화면

제 5 절 통합 제재목 생산관리시스템

이상의 시스템들을 하부모듈로 통합하는 제재목생산관리시스템을 최종적으로 구축하였다. 각 하부시스템은 통합시스템 하에서 상호 연계되어 운영되지만 별도의 창(Windows)으로 관리되도록 하였다. 또한, 사용자의 편의를 위해 그래픽지원의 사용자위주환경(Graphic User Interface)으로 시스템을 구축하여 PC Windows 환경에서 운영되도록 하였다.

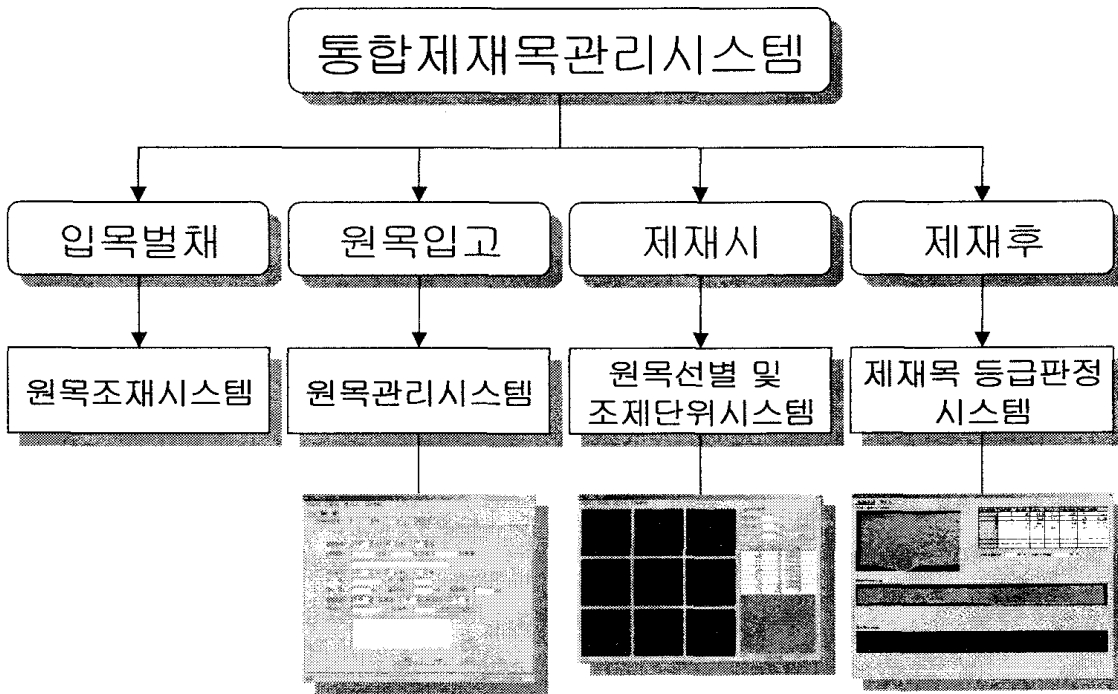


그림 41. 통합 제재목 생산관리시스템

제 5 장 개발 기술의 경제성 분석

제 1 절 변색방제 및 변색제거 기술

1. 연구의 필요성

최근 가구부재와 내장재 용도로 제재목 소비량의 증가와 더불어 제재목의 미적 가치가 중요시되면서 변색예방에 대한 관심이 국내에서도 크게 고조되고 있다. 제재목의 품질은 건조 중 발생하는 건조결함의 정도와 생물학적 변색여부에 따라 결정된다. 제재목의 경우 건조기술의 발달로 건조결함에 대한 문제는 별로 없으나 변색에 의한 품질저하는 매우 심각한 정도이다. 따라서 제재목의 고품질화를 위해서는 이러한 변색은 반드시 예방되어야 하고, 또한 불가피한 사정 때문에 변색이 발생한 경우 변색을 제거하여 목재의 아름다운 자연 재색을 복원시킬 수 있는 변색제거 기술의 개발이 시급한 실정이다. 그러나 변색방제 및 변색 제거 기술을 업체가 도입하기 위해서는 도입에 대한 경제적 타당성이 먼저 검증되어야 한다.

2. 설문조사 필요성 및 조사내용

경제적 타당성 검증을 위해서는 목재의 변색이 목재 가격에 미치는 영향, 변색이 목재 판매에 미치는 영향, 목재의 변색이 발생하는 경우 이를 방지하기 위한 기업의 사전적 및 사후적 노력, 만약 기업이 변색을 방지하기 위해 노력한다면 변색방지를 위해 소요되는 비용에 대한 자료가 필요하다. 그러나 현재 국내에서는 목재 변색 및 방미처리와 관련된 어떤 자료도 조사되어 있지 않은 상태이다. 특별히, 변색목재의 가격하락 폭에 대한 조사가 전무한 상태이며, 목재 변색이 기업경영에 미치는 영향에 대해서도 조사된 바가 없다.

자료의 부재로 인하여 본 연구에서는 목재 변색이 가격에 미치는 영향, 목재 변색을 방지하기 위한 사전적 및 사후적 노력 여부, 변색 목재의 용도 등을 포함한 여러 가지 항목의 조사를 위하여 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 국산 목재를 취급하는 시군 단위의 산림조합, 목재 집하장 및 변색예민도가 국산 소나무 및 잣나무와 유사한 라디에타소나무를 취급하는 제재소를 대상으로 하여 2003년 6월초에서 6월말까지 우편과 직접방문을 통해 이루어졌는데, 총 설문지는 51부였으며 그 중 18부가 회수되었다.

3. 설문조사 분석

설문에 답한 18개의 회사 중 시장에서의 변색목재의 가격하락 정도에 대한 질문에 가격하락 정도가 30% 정도로 나타나는 회사가 7개로 가장 많은 것으로 조사되었다. 5개회사의 경우는 변색에 대한 가격 하락이 전혀 발생하지 않은 것으로 조사되었으며²⁾, 10%의 가격 하락, 20%의 가격하락 및 50%의 가격하락이 발생한다고 대답한 곳은 각각 3개회사, 2개회사 및 1개회사로 나타났다. 시장에서의 목재의 가격하락이 전혀 발생하지 않는다고 답한 5개의 회사를 제외하면, 목재에 변색이 발생하는 경우 시장에서의 목재 가격은 평균 25.4% 하락하는 것으로 나타났다. 변색목재에 대한 구매자의 반응에 대한 질문에 대답한 18개회사 중 13개회사의 경우, 구매자가 변색된 목재 구입을 기피한다고 대답하였다. 나머지 5개회사의 경우 구매자가 변색여부와 상관없이 구매한다고 대답하였는데, 이는 변색목재의 가격하락이 발생하지 않는다고 대답한 회사와 일치하는 것으로 나타났다.³⁾

2) 목재에 변색이 발생하였다는 것은 목재의 품질이 저하되는 것을 의미한다. 결국 구매자의 입장에서 변색된 목재를 제값을 주고 구입하지 않게 된다. 이런 이유로 인해 설문에 답한 회사 중 변색목재의 가격하락이 없다는 대답은 신빙성이 떨어지는 것으로 간주하여 분석대상에서 제외하였다.

3) 그러나 변색목재의 가격하락이 발생하지 않는다고 대답한 회사에서 공통적으로 변색목재를 타용도(저급용도)로 싸게 판매한다고 대답하였다. 이는 가격하락이 발생하지 않는다는 것과 모순됨을 알 수 있다. 이것은 설문 응답자가 질문에 대해 정확하게 응답하지 않았거나 설문내용을 정확하게 파악하지 못해 발생한 문제로 보인다.

변색목재의 처리에 대한 설문에서 설문에 참여한 대상 기업들의 대부분이 건설 가설재, 가로수 보호목, 또는 톱밥재료용 등의 저급용으로 판매한다고 대답하였다. 이는 목재에 변색이 발생하게 되는 경우 목재의 상품 가치가 크게 떨어져 구매력이 떨어지게 되기 때문에 발생하는 현상인 것으로 분석되어진다. 즉, 목재에 변색이 발생하는 경우 기업은 이윤보전을 위해서 정상적인 가격에 판매하기 어려운 변색목재를 무변색 목재보다 10~50%(평균 25.4%) 정도 낮은 가격에 저급용으로 판매함으로써, 판매하지 못하는 경우 입게 되는 기업의 손실을 어느 정도 보전하고 있다고 보아야 할 것이다.

위에서 살펴본 바와 같이, 목재에 변색이 발생하는 경우 목재의 품질 저하에 따른 목재가격의 하락은 기업의 경제적 손실을 가져오는 매우 중요한 요소로 작용하게 된다. 따라서 변색에 의한 목재의 가격하락을 방지하기 위한 노력이 필요하다. 목재 변색의 발생과 관련하여 사전적 조치로서 방미처리를 하여 목재에 변색이 발생하지 않도록 하는 방법과 사후적으로 표백제를 사용하여 목재의 변색을 제거하는 방법이 존재한다. 여기서는 목재의 변색이 발생하는 경우 사전적 처리 방법과 사후적 처리방법의 사용에 드는 비용과 목재에 변색이 발생하여 목재가격의 하락정도를 비교하여, 목재 변색을 막기 위한 사전적 처리방법과 사후적 처리방법을 비교·분석해 보고자 한다.

4. 목재변색에 대한 사전적 처리방법; 변색방제

방미제의 적정 처리농도 결정을 위한 야외폭로시험 결과, 사용된 방미제 (fungicide A, B, C, D, E, F) 6종 중 3종(fungicide C, D, F)만이 방미효력을 발휘하였는데, 소나무와 잣나무 별로 변색방제 요구기간별 변색방제에 필요한 방미제 수용액의 최소 농도(%)는 표 1과 같다.

표 1. 변색방제 요구기간별 변색방제에 필요한 방미제 수용액의 최소 농도

수종	방미제	변색방제 요구기간		
		2주	4주	8주
잣나무	Fungicide C	0.75	0.75	0.75
	Fungicide D	0.25	0.25	0.50
	Fungicide F	0.50	0.75	0.75
소나무	Fungicide C	0.75	0.75	0.75
	Fungicide D	0.13	0.13	0.13
	Fungicide F	0.75	1.00	1.00

표 1은 변색방제 요구기간별 변색방제에 필요한 방미제 수용액의 최소 농도를 보여주는데, Fungicide C를 사용한 변색방제의 경우 잣나무와 소나무 공히 최소 0.75%의 농도가 사용되어야 하는 것으로 나타났다. Fungicide D의 경우 최소 4주간의 변색 예방을 위해서는 잣나무의 경우 0.25%, 소나무의 경우 0.13%의 농도를 요구하는 것으로 나타났다. 이에 비해 fungicide F는 잣나무의 경우 최소 2주간의 변색 예방을 위해서는 0.5%의 농도가 필요하며, 8주의 경우는 0.75%의 농도가 필요하였다. 반면에 소나무의 경우에는 0.75%의 농도로 2주간 변색 예방이 가능하나 8주의 방제를 위해서는 1%의 농도가 요구되는 것으로 나타났다.

사전 가격조사 결과, 변색방제에 효과가 있는 것으로 나타난 방미제의 가격이 fungicide C, D, F 별로 각각 42,840원, 49,140원, 25,000원으로 조사되었다.⁴⁾

4) Fungicide C와 D의 가격은 본선인도가격(FOB)의 자료만 구할 수 있었다. 통상 소비자 가격은 제품의 구입량과 운임 등의 차이에 의하여 다르긴 하지만 본선인도가격보다 높게 나타난다. 여기서는 소비자 가격이 본선인도가격보다 3.5배 큰 것으로 가정하여 결과를 산정하였다. 단, 환율은 계산상의 편의를 위해서 달러당 1,200원으로 하였다. 따라서 소비자 가격의 변화에 의하여 분석의 결과가 달라질 가능성을 많이 내포한다고 할 수 있다.

표 2. 변색방제에 필요한 최소 농도의 방미제 수용액이 리터당 가격(원)

수종	방미제	변색방제 요구기간		
		2주	4주	8주
잣나무	Fungicide C	653	653	653
	Fungicide D	856	856	1,712
	Fungicide F	833	1,250	1,250
소나무	Fungicide C	653	653	653
	Fungicide D	449	449	449
	Fungicide F	1,250	1,667	1,667

표 2는 변색방제에 필요한 최소 농도 방미제 수용액의 리터당 가격을 보여주고 있다. Fungicide C를 사용한 방미처리의 경우, 8주 방제까지 잣나무와 소나무 모두 리터당 653원의 방미제 비용이 드는 것으로 나타났다. Fungicide D는 4주까지는 잣나무의 경우 리터당 856원의 비용이, 소나무의 경우 리터당 449원이 드는 것으로 나타났다. Fungicide D 경우, 8주까지 변색 방제를 위해서는 소나무의 경우는 추가 비용이 들지 않으나 잣나무의 경우 추가적으로 리터당 856원의 비용이 더 소요됨을 알 수 있다. Fungicide F의 경우 2주 동안의 변색방제를 위해서는 잣나무의 경우 리터당 833원의 비용이 소요되나 소나무의 경우 리터당 1,250원의 비용이 드는 것으로 나타났다. 또한 8주 동안의 변색방지를 위해서는 잣나무 및 소나무의 경우 각각 리터당 1,250원과 1,667원의 비용이 드는 것으로 나타났다.

표 3. 변색방제 요구기간에 따른 목재 1사이 당 방미처리 가격(원)

수종	방미제	변색방제 요구기간		
		2주	4주	8주
잣나무	Fungicide C	45.70	45.70	45.70
	Fungicide D	59.90	59.90	119.80
	Fungicide F	58.29	87.47	87.47
소나무	Fungicide C	52.24	52.24	52.24
	Fungicide D	35.92	35.92	35.92
	Fungicide F	100.00	133.36	133.36

방미처리의 실효성을 분석하기 위해서는 변색방제 요구기간에 따른 목재 1사이 당 방미처리 가격을 알아야 한다. 표 3은 변색방제 요구기간에 따른 목재 1사이 당 방미처리 가격을 나타낸 표이다.⁵⁾ 동일 농도로 최소 8주까지 변색 예방효과를 보이는 fungicide C의 경우는 잣나무의 경우 변색방제 요구기간에 따른 목재 1사이당 방미처리 비용 45.70원이었으나 소나무의 경우 52.24원의 비용이 드는 것으로 나타났다. Fungicide D는 4주까지는 잣나무의 경우 변색방제 요구기간에 따른 목재 1사이당 방미처리 비용 59.90원이나 소나무의 경우 35.92원의 비용이 드는 것으로 나타났다. Fungicide D의 경우 8주까지 변색 방제를 위해서는 소나무의 경우는 추가 비용이 들지 않으나 잣나무의 경우 추가적으로 변색방제 요구기간에 따른 목재 1사이당 방미처리 비용 29.80원이 더 소요됨을 알 수 있다. Fungicide F의 경우 2주 동안의 변색방제를 위해서는 목재 1사이당 방미처리 비용이 잣나무의 경우 58.29원, 소나무의 경우 100원의 비용이 드는 것으로 나타났다. 또한 8주 동안의 변색방지를 위해서는 목재 1사이 당 방미처리 비용이 잣나무 및 소나무의 경우 각각 87.47원과 133.60원의 비용이 드는 것으로 나타났다.

5) 정확한 변색방제 비용의 산정을 위해서는 변색방제 요구기간에 따른 리터당 방미제 가격을 목재 1사이로 나눈 값으로 표현해야 한다.

5. 목재변색에 대한 사후적 처리방법: 변색제거

목재변색을 제거하기 위한 최적 표백조건은 변색목재를 60℃로 가온된 표백약제(6% H₂O₂ + 0.5% NaOH + 1% Na₂SiO₃)에 3시간 침지처리 하는 것인데, 사용되는 표백약제의 liter당 가격은 536.6원이었다.⁶⁾ 변색목재의 표백시 처리 시편내로 흡수되는 사이당 표백약제의 양이 소나무는 0.177 liter, 잣나무는 0.152 liter이었는데, 이는 1 liter의 표백약제로 처리 가능한 소나무와 잣나무 채적은 각각 5.65(=1/0.177)사이와 6.58(=1/0.152)사이임을 의미한다. 따라서, 사이당 표백제거에 필요한 비용은 소나무와 잣나무 별로 각각 약 95원(536.6/5.65=94.97)과 약 82원(=536.6/6.58=81.55)인 것으로 조사되었다.

6. 경제성 분석

목재에 변색이 발생하는 경우, 기업은 목재를 정상 가격에 시장에 판매할 수 없기 때문에 시장가격보다 낮은 가격으로 시장에서 판매하여야 한다. 월간 산림 2003년 6월호에 따르면 동년 5월의 국산 소나무 및 잣나무 제재목 가격이 각각 1,051.7원/사이와 842.4원/사이이다. 표 4는 목재에 변색이 발생하였을 경우 가격 하락 정도를 나타낸 표인데, 표 4에서 알 수 있듯이 기업은 생산비나 인건비 등의 비용과 다른 기반여건이 변화하지 않음에도 불구하고, 단지 제품의 품질의 저하에 따라 상당히 많은 비용을 지불해야 하는 것을 알 수 있다. 즉 기업이 목재를 시장가격보다 낮은 가격에 공급을 할 수밖에 없기 때문에 기업의 이윤은 매우 큰 폭으로 낮아 질 수밖에 없다. 설문조사대상 기업이 밝힌 변색에 의한 제재목 시장에서의 평균적인 가격의 예상 하락 폭이 25.4%인 것을 이용하여 제재목 시장 가격의 하락 정도를 계산하면, 평균적으로 사이당 소나무의 경우 판매가격이

6) 30% H₂O₂의 가격이 리터당 2,500원/liter, NaOH의 가격이 1,720원/kg, Na₂SiO₃의 가격이 2,800원/liter이다. 따라서 최적 농도의 표백약제인 농도 6%인 H₂O₂(0.5% NaOH, 1% Na₂SiO₃ 포함) 수용액의 가격을 산출하면, 6% H₂O₂ + NaOH 5gram(for 0.5% NaOH) + Na₂SiO₃ 10gram(for 1% Na₂SiO₃) = (2,500/5)원(6% H₂O₂) + (1,720 × 5)/1,000원(0.5% NaOH) + (2,800 × 10)/1,000원(1% Na₂SiO₃) = 500 + 8.6 + 28 = 536.6원/liter이 된다.

267.13원, 잣나무의 경우 213.97원 하락한다. 이를 통해서 알 수 있는 것은 결국 변색에 의해 목재의 가격의 하락 폭이 상당하기 때문에 기업의 경우 목재의 변색을 예방하기 위한 노력과 변색이 발생하였을 경우 표백을 할 유인이 존재한다는 것이다.

표 4. 변색에 의한 소나무 및 잣나무의 가격하락 정도

	소나무(1051.7 원/사이)	잣나무(842.4원/사이)
10%	105.17(원/사이)	84.24(원/사이)
20%	210.34(원/사이)	168.48(원/사이)
30%	315.51(원/사이)	252.72(원/사이)
40%	420.28(원/사이)	336.96(원/사이)
50%	528.85(원/사이)	421.20(원/사이)
25.4%	267.13(원/사이)	213.97(원/사이)

사전적으로 목재의 변색을 방지하기 위하여 방미처리를 하게 되는 경우 표 3에서 보여주는 바와 같이 잣나무의 경우 fungicide C를 사용하게 되면 8주까지 45.70원/사이, fungicide D를 사용하면 4주까지는 59.90원/사이, 8주까지는 119.80원/사이의 비용이 들게 된다.⁷⁾ 또한 fungicide F를 사용하는 경우도 2주까지는 58.29원/사이, 8주의 경우에는 87.47원/사이의 비용이 드는 것으로 나타났다. 소나무의 경우 fungicide C를 사용하게 되면, 8주까지는 52.24원/사이, fungicide D를

7) 단, 여기서는 변색방제 비용의 경우 방미처리에 필요한 방미제 비용만을 사용하였다. 그 이유는 방미처리 작업은 단순 침지작업이기 때문에 침지 tank 제작에 필요한 초기 고정비용을 제외하고는 시설비가 거의 들지 않으며, 침지작업 또한 단순노동이기 때문에 노동비가 거의 들지 않기 때문이다. 따라서 초기 고정비용인 침지 tank 설치비가 크지 않고 침지작업의 경우 기존인력을 사용함으로써 수행할 수 있으므로 노동비의 상승 요소가 없다고 가정하여 비용부분에서 제외하였다.

사용하면 8주까지는 39.92원/사이의 비용이 든다. 또한 fungicide F를 사용하는 경우도 2주까지는 100원/사이, 8주의 경우에는 133.36원/사이의 비용이 드는 것으로 나타났다. 다시 말하면 변색방제가 요구되는 기간별로 각 방미제의 사용에 의한 평균 비용은 소나무의 경우 2주까지는 62.72원/사이, 8주까지는 73.84원/사이, 잣나무의 경우 2주까지는 54.63원/사이, 4주까지는 63.47원/사이, 8주까지는 84.32원/사이이다. 이러한 방미처리 비용은 소나무 변색목재의 경우 가격하락이 10%인 경우와 비슷한 수치이며, 잣나무 변색목재 또한 시장에서의 판매가격이 10% 하락하였을 경우와 비슷한 수치이다. 즉 목재를 판매하는 회사의 경우 방미처리를 통해 변색을 예방하는 경우, 시장에서의 판매가격이 10% 이상 하락하는 경우 변색방제를 위해 방미제를 사용한 유인이 충분하다는 것을 보여주는 것이라고 할 수 있다. 이때 만약 설문에서와 같이 변색이 발생하는 경우 기업이 예상하는 시장에서의 소나무 및 잣나무의 가격 하락의 평균치인 267.13원/사이와 213.97원/사이라면, 기업은 방미제를 사용하여 변색을 방제함으로써 변색발생으로 인해 잃을 수 있는 약 150~200원/사이의 추가적인 이득을 얻을 수 있게 된다. 따라서 기업으로서는 방미처리에 대한 유인이 존재한다고 볼 수 있다.

또한 목재 변색에 대한 사후적인 대처 방법인 표백처리를 사용하게 되면, 소나무와 소나무의 사이당 표백비용은 각각 약 95원($536.6/5.65=94.97$)과 약 82원($536.6/6.58=81.55$)으로 이것은 시장에서의 소나무의 경우 가격하락이 10%인 경우보다 낮은 수치이며, 잣나무 또한 시장에서의 판매가격이 10% 하락하였을 경우와는 비슷한 수치이다. 또한 이는 변색이 발생한 목재를 표백처리함으로써 시장에서의 가격이 30% 하락하는 경우 변색에 의해 발생으로 인해 잃을 수 있는 약 200~250(원/사이)의 추가적인 이윤을 얻을 수 있게 된다. 따라서 기업으로서는 표백처리에 대한 유인이 존재한다고 볼 수 있다. 그러나 실제로 표백처리된 목재가 변색이 전혀 발생하지 않았던 무변색 목재와 시장에서 동일한 가격을 받을 수 없을 것이다. 그럼에도 불구하고 개발된 표백기술은 변색되기 전의 목재와 거의 동일한 품질의 목재를 만들 수 있기 때문에, 표백을 통한 시장에서의 가격하락 폭은 그리 크지 않을 것으로 보인다. 따라서 기업의 경우 변색목재를 표백처

리 하여 얻을 수 있는 추가적인 편익이 표백에 드는 비용⁸⁾보다 크게 나타난다면, 변색 목재의 표백은 유인을 가지며 또한 경제적으로도 추가적인 이익을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

8) 단, 여기서는 표백처리 비용의 경우 표백처리에 필요한 약제비용만을 고려하였다. 표백 처리의 경우 방미처리와 달리 추가적으로 표백처리후 목재 표면의 중화를 위해 뿌리는 초산 수용액의 가격이 첨가된다. 또한 침지 tank와 tank의 heating 시설에 대한 초기 자본투자비, heating을 위한 에너지 비용이 포함되어야 한다.

제 2 절 할렬 최소화 기술

1. 연구의 필요성

방부처리용 원주가공재의 건조 또는 방부처리 원주가공재의 사용중 발생하는 대형 표면할렬은 이들의 품질을 크게 저하시켜 상품가치를 크게 떨어뜨리게 된다. 따라서 사용중인 목재의 표면에서 발생하는 할렬을 완전히 예방할 수는 없어도 할렬 발생을 양적(발생되는 할렬의 숫자) 및 질적(발생된 할렬의 길이, 폭, 깊이) 측면에서 최대한 억제하여야 목재의 상품 가치를 높일 수 있다. 방부처리 원주가공재의 할렬을 최소화하기 위한 방법으로는 크게 세 가지 방법을 들 수 있다. 첫째는 원주가공재에 배할(kerfing) 등의 기계적 전처리를 실시하여 건조한 후 방부처리를 실시하는 방법이고, 둘째는 방부처리후 처리재 표면에 침투성 도료인 발수제(water repellent)나 외장용 페인트 등의 도막형성 도료를 도장하는 표면 도장법이고, 셋째는 원주가공재의 방부처리시 방부제에 발수제를 혼합 처리하는 방법이다. 이처럼 목재의 고품질화를 통한 목재 가격의 보존과 기업의 영업 이익을 확보하기 위해서 목재에 발생하는 대형 할렬의 최소화 방법 개발이 필요하나, 우선적으로 개발된 할렬 최소화 기술을 기업이 도입하기 위해서는 대형 할렬 최소화 방법의 도입에 대한 경제적 타당성이 먼저 검증되어야 한다.

2. 설문문의 필요성 및 조사내용

경제적 타당성 검증을 위해서는 할렬 최소화가 목재의 가격에 미치는 영향, 할렬 발생을 최소화하기 위하여 기업에서 행하는 조치, 할렬 최소화를 위한 비용에 대한 자료가 필요하다. 그러나 현재 국내에서는 할렬 최소화가 목재의 가격에 미치는 영향 등에 대한 어떤 자료도 조사되어 있지 않은 상태이다. 또한 할렬 발생이 목재 가격 및 기업경영에 미치는 영향에 대해서도 이루어진 연구가 없는 상태이다. 자료의 부재로 인하여 본 연구에서는 할렬이 목재의 가격에 미치는 영향과 목재의 할렬을 방지하기 위한 예방조치가 무엇인가 등을 포함한 여러 가지 항목의 조사를 위하여 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 CCA를 사용하는 가압 방

부처리공장 및 CCA처리 원주가공재를 소재로 사용하는 조경시설업체를 대상으로 이루어졌다. 조사 기간은 2003년 6월 초부터 6월말까지 우편과 직접방문을 통하여 이루어졌다.

3. 설문조사 분석

표면할렬을 최소화하기 위해 조치를 취하는지 여부에 대해 설문에 응한 9개 회사 중 배할법만 사용한다고 답한 회사가 2개 회사였고, 표면도장법만 사용한다고 답한 회사가 2개 회사였으며, 배할법과 표면도장법을 동시에 사용한다고 답한 회사가 3개 회사였다. 즉, 설문에 응한 9개 회사 중 7개 회사가 할렬 최소화를 위해서 기계적 전처리 방법인 배할법과 표면도장법을 사용하여 할렬 최소화 조치를 취하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 할렬 최소화 조치를 취하고 있는 회사 중 1개 회사를 제외하고는 배할법이나 표면도장법이 그다지 효과적이지 못하거나 전혀 효과적이지 않다고 대답하였다. 이는 위의 할렬 최소화 조치가 적절하지 않음을 반증해 보여주는 것이라고 할 수 있다. 그러면 할렬 발생을 최소화하기 위하여 위의 2가지 방법이 아닌 가압 처리용 발수제를 방부제인 CCA에 혼합처리하는 방법을 사용하여 할렬 발생을 최소화한다면 저할렬 목재의 가격을 시장에서 어느 정도 높게 받을 수 있는가에 대한 질문에 원 목재 가격에 비해 1개 회사가 5% 정도, 5개 회사가 10% 정도 높은 가격을 받을 수 있을 것이라고 응답하였다. 또한 20%와 30% 비싸게 받을 수 있을 것이라고 대답한 회사도 각각 1개 회사가 존재하였다. 이상으로부터 할렬을 최소화하기 위하여 추가적으로 발수제를 혼합처리하는 경우, 기업이 예상하는 저할렬 목재의 가격은 평균 11.7% 정도 상승하는 것으로 나타났다.

위에서 살펴본 바와 같이, 목재에 할렬 발생 최소화는 목재의 품질을 향상시켜 시장에서의 목재가격의 상승을 가져올 수 있는 하나의 방법이다. 이는 단순히 예방차원의 노력을 기울임으로써 기업이 추가적으로 상당한 크기의 경제적 이익을 얻을 수 있는 중요한 요소로 작용할 수 있다. 따라서 목재 품질의 향상을 통한 추가적인 이윤을 얻기 위해서는 목재에 발생할 수 있는 할렬을 최소화하기 위한

노력이 필요하다.

여기서는 목재의 할렬 최소화 방안으로 기존 방법이 아닌 방부제인 CCA에 가압 처리용 발수제를 혼합처리하는 방법에 대해 처리비용과 할렬 최소화 조치 후의 목재 가격 상승정도를 비교하여 방부제인 CCA를 가압 처리용 발수제에 혼합처리하는 방법을 비교·분석해 보고자 한다

4. 목재의 할렬 최소화에 대한 처리 방법: 발수제와 방부제 혼합처리

소나무 원주가공재를 CCA와 발수제인 Ultrawood의 혼합 수용액으로 처리하여 약외에 6개월 이상 폭로한 결과, 발수제와 방부제의 혼합 비율이 30:1 이하인 경우에 할렬 발생을 최소화 할 수 있는 것으로 나타났다.

30:1 비율의 발수제 및 방부제 CCA로 처리한 경우, 소나무 원주가공재의 평균 흡수량이 $623\text{kg}/\text{m}^3$ 이기 때문에 1m^3 목재 처리시 $20.8\text{kg}(623/30)$ 의 발수제가 필요하다. 따라서 1m^3 목재 처리시 소요되는 발수제 비용은 $20.8\text{kg} \times 4,000\text{원}/\text{kg} = 83,200\text{원}$ 인 것으로 나타났다. 이를 사이당 요구되는 발수제 비용으로 환산하면 약 270원이 된다. 여기서 발수제와 같이 사용되는 방부제 CCA의 사이당 처리비용이 150원이기 때문에 할렬 최소화에 필요한 총 처리비용은 목재 1사이 당 420원이 된다. 9)

5. 경제성 분석

목재 표면에 할렬이 발생하는 경우, 기업은 목재를 정상 가격에 시장에 판매할 수 없기 때문에 시장가격보다 낮은 가격으로 시장에서 판매해야 하여야 한다. 반면, 할렬 최소화 처리를 한 목재는 시장에서 할렬이 발생한 목재보다 더 높은 가격을 받고 판매할 수 있다. 앞에 본 바와 같이 2003년 5월의 국산 소나무 제재목 가격이 각각 1,051.7원/사이이다. 기업은 할렬 최소화 처리에 따르는 최소한의 생

9) 발수제인 Ultrawood의 가격은 4,000원/kg(수입 예정회사의 국내 예상 판매 가격), 방부제 CCA의 가격은 2,500원/kg으로 계산하였다.

산비나 인건비 등의 비용만 부담한다면 다른 조건이 변화하지 않음에도 불구하고, 제품의 품질의 상승에 따른 추가이윤을 기대할 수 있다. 즉 기업의 경우 할렬 최소화 처리를 할 때 추가적으로 드는 비용과 상품의 품질 향상으로 인해 얻게 되는 추가적인 이윤을 비교하여 추가적인 이윤이 크기가 비용보다 크게 되면 할렬 최소화 처리를 할 유인이 발생한다고 할 수 있다.

할렬 최소화 조치를 취함으로써 시장에서의 추가적인 목재가격의 평균 상승률은 앞선 설문 조사를 참고하면 11.7%이다. 이것을 이용하여 제재목의 예상가격 상승분을 구해보면 국산 소나무의 경우 123(원/사이) 상승하는 것으로 나타났다. 그런데 실험을 통하여 산정된 할렬 최소화를 위한 비용은 목재 1사이당 420원(발수제 가격; 270원/사이, 방부제 처리비용: 150원/사이)이 된다. 이는 기업이 밝힌 할렬 최소화 조치를 통해 얻을 수 있는 시장에서의 추가적인 목재가격의 평균 상승 분인 123(원/사이)보다 할렬 예방을 위해 사용되는 발수제 혼합에 드는 비용이 높아서 발수제 혼합에 의한 할렬 최소화는 경제적이라고 보기 힘들다. 그러나, 본 연구에서 사용한 소나무 원주가공재는 100% 변재로 구성되어 있는데 반하여 실제 처리에 사용되는 원주가공재는 100% 변재로 구성되는 예는 찾아보기 힘들다. 따라서 처리용 원주가공재의 변재율에 의해서 경제성 여부가 판별되어야 할 것이다.

방부처리시 방부제(본 연구에서는 혼합된 발수제 포함)는 변재에만 흡수되기 때문에 변재율과 흡수량간의 관계는 정비례한다. 따라서, 100% 변재로만 구성된 원주가공재의 흡수량이 623kg/m^3 이라고 했을 때, 각각 변재율 75%인 원주가공재 흡수량은 $623 \times 0.75 = 467.25\text{kg/m}^3$, 변재율 50%인 원주가공재 흡수량은 $623 \times 0.50 = 311.5\text{kg/m}^3$, 변재율 25%인 원주가공재 흡수량은 $623 \times 0.25 = 155.75\text{kg/m}^3$ 인 것을 예측할 수 있다.

표 5. 소나무 원주가공재의 변재율의 변화에 대한 1사이 목재 처리시 소요되는 발수제 비용

변재율	흡수량 (kg/m ³)	1m ³ 목재 처리시 발수제 필요량(kg)	1m ³ 목재 처리시 필요한 발수제 가격(원)	1 사이(材) 목재 처리시 필요한 발수제 가격(원)
100%	623 (측정)	20.8 (=623/30)	83,200 (=20.8 × 4,000)	약 270원 (=83,200 × 0.00324)
75%	467.25 (예측)	15.6 (=467.25/30)	62,400 (=15.6 × 4,000)	약 202원 (=62,400 × 0.00324)
50%	311.5 (예측)	10.4 (=311.5/30)	41,600 (=10.4 × 4,000)	약 135원 (=41,600 × 0.00324)
25%	155.75 (예측)	5.2 (=155.75/30)	20,800 (=5.2 × 4,000)	약 67원 (=20,800 × 0.00324)

표 5는 소나무 원주가공재의 변재율의 변화에 대한 사이당 처리시 소요되는 발수제의 비용을 정리한 것이다. 표 5와 할렬 최소화에 의해 기업이 시장에서 추가적으로 얻게 되는 목재가격의 평균 상승분을 비교하게 되면, 원주가공재의 변재율이 25%이면, 표 5에서 예측한 바와 같이 1 사이당 발수제 소요 가격이 약 67원이 되면서 총 비용이 117원/사이가 되어 할렬 최소화에 의해 기업이 시장에서의 추가적으로 얻게 되는 목재가격의 평균 상승 분인 123원/사이가 되어 변재율 25% 미만인 원주가공재에 발수제와 방부제 CCA를 혼합 처리하여 할렬 최소화를 위한 예방 조치는 경제적인 것으로 보인다.

현재 국내시장의 경우 할렬 최소화를 위한 발수제 수입이 거의 이루어지고 있지 않는 상태이다. 그리고 현재는 한 두개의 회사에서만 독점적으로 방부제 CCA의 수입을 하고 있는 실정이다. 독점의 경우 기업의 이윤 극대화를 위하여 판매가격은 높게하고 판매량은 적게 공급한다. 그러나 만약 시장 수요의 증가에 의하여 발수제 및 방부제를 수입하여 판매하는 회사가 많아지게 되면 시장은 독점의 형태에서 완전경쟁의 형태로 변화되면서 시장가격은 현재보다 낮게 그리고 판매량은 현재보다 많아지게 될 것이다. 결국 시장가격의 저하와 판매량의 증가는 표 면할렬 최소화의 유인을 제공할 것이고, 보다 많은 기업이 할렬 최소화 처리에 참여하게 되고, 시장에서의 목재의 품질도 보다 높아질 것이다.

제 3 절 칼라 방부처리재 생산 기술

1. 연구의 필요성

원래 수종의 재색과 거의 동일한 색을 보유하거나 소비자가 원하는 재색을 보유하는 칼라 방부처리재의 생산 기술은 외국에서 일부 시도하다 실패한 기술인 관계로 개발된 기술을 기업이 도입하기 위해서는 경제성 분석은 매우 중요하다고 할 수 있다.

2. 설문 의 필요성 및 조사내용

칼라 방부처리재는 현재 전세계적으로 상품화되어 시장에 나온 제품이 없기 때문에 칼라 방부처리재 생산 기술에 대한 경제적 타당성을 분석하기 위한 제반 기초적 자료가 필요하다. 본 연구에서는 칼라 방부처리재의 시장성과 단순 방부처리재에 비한 가격 상승 폭 등을 포함한 여러 가지 항목의 조사를 위하여 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 CCA를 사용하는 가압 방부처리공장 및 CCA처리 원주가공재를 소재로 사용하는 조경시설업체를 대상으로 이루어졌다. 조사 기간은 2003년 6월 초부터 6월말까지 우편과 직접방문을 통하여 이루어졌다.

3. 설문조사 분석

조사에 응한 9개의 회사 중 5개의 회사에서 구매자가 CCA 처리재의 재색 때문에 CCA 처리재 구입을 기피한다고 대답했다. 이는 구매자가 구입하고자 하는 목재의 색은 redwood나 미국 적삼목의 재색 또는 원래 처리용 목재의 재색인데, CCA처리에 의해 목재의 원 재색이 변화되면서 구매자의 구매에 영향을 미치기 때문인 것으로 분석된다. 구매자의 구매력에 영향을 주는 CCA 처리재의 재색을 칼라 방부제를 대신 사용하여 원하는 재색의 CCA 처리재를 생산하는 것에 대하여 대부분의 회사가 시장성이 있다고 응답하였으며, 만일 기술이 개발된다면 칼

라 방부제를 처리에 사용할 의사가 있음을 보였다. 또한 칼라 방부제를 사용하였을 경우 처리목재의 가격을 시장에서 어느 정도 높게 받겠는가에 대한 질문에 대해서는 원목재 가격에 비해 5개회사가 10% 정도 높게 가격을 받을 수 있다고 응답하였으며, 각각 20%, 30%, 50% 더 비싸게 받을 수 있다고 대답한 회사가 1개 회사씩 존재하였다. 이로부터 칼라 방부처리재의 가격은 단순 CCA 처리재 가격보다 평균 18.8 % 정도 상승하는 것으로 나타났다.

4. 칼라 방부처리재 생산

소나무 원주가공재를 CCA와 염료의 혼합 수용액으로 처리하여 야외에 4개월 이상 폭로한 결과, 염료의 혼합농도가 0.5% 이상인 경우에 기상열화 저항성이 우수한 칼라 방부처리재 생산이 가능한 것으로 나타났다.

0.5%의 염료가 혼합된 CCA로 처리된 소나무 원주가공재의 평균 흡수량이 653kg/m^3 이기 때문에 1m^3 목재 처리에 방부제인 CCA와 염료 혼합 수용액 653 liter가 필요하다. 653 liter에는 포함된 염료는 $3,265\text{ gram}(653,000 \times 0.005)$ 이므로 1m^3 처리에 소요되는 염료의 양은 3,265 gram이 된다. 따라서 1m^3 처리에 소요되는 염료의 가격은 $\text{¥}2,800/100\text{g} \times 32.65 = \text{¥}91,420$ 이 된다. 이를 1사이 목재 처리에 소요되는 염료 비용으로 환산하면 $\text{¥}91,429/308.6\text{사이} = \text{¥}296$ 이 되는데, 원화로는 약 2,960원/사이가 된다. 또한, 목재 1사이당 CCA 처리비가 150원인 관계로 칼라 방부처리재 사이당 생산 가격은 3,110원($150+2,960$)이 된다. 이는 CCA 처리비용과 비교했을 때 매우 높은 수치이다.

5. 경제성 분석

칼라 방부제를 사용하여 목재를 처리함으로써 얻게되는 추가적인 목재가격의 평균 상승률은 앞선 설문조사를 인용하면 18.8%로 나타났다. 이를 사용하여 목재의 예상가격 상승분을 구해보면 국산 소나무의 경우 198(원/사이) 상승하는 것으로 나타났다. 그런데 칼라 방부제를 사용하는 경우 비용은 염료의 가격이 목재 1사이당 2,960원이고, 또한 방부처리 비용이 목재 1 사이당 150원이므로 총 비용은

목재 1 사이당 3,110원이 된다. 이는 설문조사를 통해 회사들이 칼라 방부제를 사용함으로써 얻을 수 있는 추가적인 목재가격의 평균 상승분인 198원/사이보다 높게 나타남을 알 수 있다. 따라서 칼라 방부제를 사용하여 방부처리를 실시하는 것은 경제성이 있다고 보기 힘들다. 그러나, 본 연구는 앞서 밝혔듯이 사용된 소나무 원주가공재는 100% 변재로 구성되어 있다. 그러나 실제 처리에 사용되는 원주가공재는 100% 변재가 아니다. 따라서 처리용 원주가공재의 변재율에 의해서 경제성 여부가 변화될 가능성을 가진다.

방부처리시 방부제(본 연구에서는 혼합된 염료 포함)는 변재에만 흡수되기 때문에 변재율과 흡수량간의 관계는 정비례한다. 따라서, 100% 변재로만 구성된 원주가공재의 흡수량이 $653\text{kg}/\text{m}^3$ 이라고 했을 때, 변재율 75%인 원주가공재의 흡수량 $489.75\text{kg}/\text{m}^3$ 이고, 변재율 50%인 원주가공재의 흡수량 $326.5\text{kg}/\text{m}^3$ 이며, 변재율 25%인 원주가공재의 흡수량 $163.25\text{kg}/\text{m}^3$ 인 것을 예측할 수 있다.

표 6. 소나무 원주가공재의 변재율 변화에 대한 1사이 목재 처리시 소요되는 염료의 비용

변재율	흡수량(kg/m^3)	1 m^3 목재 처리시 염료 필요량(g)	1 m^3 목재 처리시 필요한 염료 가격(원)	1 사이(材) 목재 처리시 필요한 염료 가격(원)
100%	653.00(측정)	3,265	914,200	약 2,960원
75%	489.75(예측)	2,449	685,720	약 2,222원
50%	326.50(예측)	1,632.5	457,100	약 1,481원
25%	163.25(예측)	816.25	228,550	약 740원

표 6은 소나무 원주가공재의 변재율의 변화에 대한 목재 1 사이 처리시 소요되는 염료의 비용을 정리해 놓은 것이다. 표 6과 칼라 방부제 사용에 의해 기업이 시장에서의 추가적으로 얻게 되는 목재가격의 평균 상승분을 비교하게 되면, 원주가공재의 변재율이 25%이라고 해도, 상기 표에서 예측한 바와 같이 1 사이당 염료 가격이 약 740원이 되면서 총 비용이 890원/사이가 되어 칼라 방부제 사용

에 의해 기업이 시장에서의 추가적으로 얻게 되는 목재가격의 평균 상승분인 198 원/사이보다 높게 나타났다. 따라서 칼라 방부제를 사용하는 경우 변재율이 25% 미만인 원주가공재도 칼라 방부제 처리를 하여 판매하는 것은 경제적이라고 보기 힘들다. 따라서 기업의 이윤을 보전하면서 칼라 방부처리재를 생산 판매하기 위해서는 현재보다 저렴한 염료를 찾아야 할 것이다. 또한 염료의 혼합농도를 줄일 수 있는 처리방법을 연구하여 칼라 방부처리에 소요되는 생산단가를 낮추는 방법을 찾아야 한다.

제 4 절 제재목 생산관리 시스템 개발

1. 제재시 원목 선별에 따른 수율 비교 및 경제성 분석

목재 수요의 대부분을 수입에 의존하고 있는 상황에서 국내 목재시장을 활성화시키기 위해서는 국산재의 가격 경쟁력의 제고가 수반되어야 한다. 국산 제재목의 가격 경쟁력을 제고시킬 수 있는 방안으로는 크게 생산비용 절감에 의한 선택도 제고를 들 수 있다. 생산비용 절감은 제재목 생산에 수반되는 여러 공정의 체계화 및 자료관리의 전산화를 통해 각종 자료관리 및 의사결정 과정의 효율성을 제고함으로써 이루어진다. 이것은 단계적으로 원목 자료를 전산관리하는 원목관리시스템을 구축하여 데이터를 축적하고, 축적된 데이터를 기반으로 원목규격 및 등급을 자동으로 선별하는 원목선별시스템을 구축함으로써 가능해질 수 있다. 또한 제재목 생산 의사결정에 활용할 수 있는 제재단위시스템을 개발함으로써 제재수율을 제고할 수 있고, 제재목에 등급을 부여함으로써 기업의 이윤 극대화에 기여할 수 있다. 다시 말하면, 원목의 선택에서부터 제재목의 등급결정과 관련된 일련의 과정을 전산관리함으로써 제재 과정을 보다 효율적으로 관리하고, 제재목을 생산하는 기업은 필요한 목재의 크기와 형태를 가진 원목을 적절하게 선정하여 제재함으로써 수율을 최적화할 수 있게 된다. 또한 이러한 과정을 거침으로써 불필요한 부분의 최소화를 통하여 생산비의 절감을 가져올 수 있다.

원목 선택에 있어서 임의선택방법 또는 원목선별시스템을 사용하는 경우 어떤 방법이 더 효율적인가를 살펴보고, 후자를 사용하는 것이 경제적으로 어떤 이익을 가져오는가를 살펴보았다. 분석을 위하여 개발된 원목생성프로그램을 사용하여 임의의 데이터 풀을 상정하고, 그것을 기반으로 상기 두 방법에 대한 표본을 추출하여 이용하였다. 임의선택 경우는 말구직경이 30~70cm이고, 원구직경이 40~95cm인 경우를 가정하여 표본을 추출하였고, 원목선별시스템 경우는 말구 및 원구직경이 각각 25~40cm 와 30~50cm인 경우를 가정하여 표본을 추출하였다.

표 1과 표2는 임의선택방법과 원목선별시스템을 이용하여 추출한 원목을 사용하여 제재목을 생산했을 때의 원목의 재적과 수율을 계산한 표이다.

표 1. 임의선택방법을 이용한 각재 생산

구분	원목크기(m)			초살도	재적		제재목(0.09*0.09*1.8)				
	말구	원구	재장		변형	말구	개수	재적	수율(%)		
	직경	직경							뉴턴식	직경자승	변형
1	0.31	0.41	2.10	0.76	0.214	0.202	6.000	0.087	41	43	
2	0.46	0.52	1.90	0.88	0.361	0.402	9.000	0.131	36	33	
3	0.65	0.77	2.40	0.84	0.957	1.014	25.000	0.365	38	36	
4	0.62	0.69	2.30	0.90	0.774	0.884	16.000	0.233	30	26	
5	0.45	0.47	1.90	0.96	0.315	0.385	9.000	0.131	42	34	
6	0.69	0.85	2.20	0.81	1.030	1.047	25.000	0.365	35	35	
7	0.65	0.82	1.90	0.79	0.813	0.803	25.000	0.365	45	45	
8	0.32	0.41	1.80	0.78	0.189	0.184	4.000	0.058	31	32	
9	0.68	0.92	1.80	0.74	0.910	0.832	25.000	0.365	40	44	
10	0.44	0.52	2.00	0.85	0.361	0.387	9.000	0.131	36	34	
11	0.51	0.67	2.30	0.76	0.634	0.598	16.000	0.233	37	39	
12	0.61	0.70	2.00	0.87	0.676	0.744	16.000	0.233	35	31	
13	0.32	0.40	1.90	0.80	0.194	0.195	4.000	0.058	30	30	
14	0.54	0.56	2.10	0.96	0.501	0.612	16.000	0.233	47	38	
15	0.49	0.58	1.90	0.84	0.431	0.456	9.000	0.131	30	29	
16	0.42	0.56	2.00	0.75	0.380	0.353	9.000	0.131	35	37	
17	0.55	0.61	1.80	0.90	0.477	0.545	16.000	0.233	49	43	
18	0.56	0.61	2.10	0.92	0.563	0.659	16.000	0.233	41	35	
19	0.40	0.45	1.90	0.88	0.273	0.304	9.000	0.131	48	43	
20	0.41	0.44	2.40	0.93	0.341	0.403	9.000	0.131	38	33	
21	0.64	0.86	2.20	0.74	0.985	0.901	25.000	0.365	37	40	
22	0.63	0.67	2.30	0.94	0.763	0.913	25.000	0.365	48	40	
23	0.54	0.71	2.40	0.76	0.741	0.700	16.000	0.233	31	33	
24	0.70	0.71	2.00	0.98	0.785	0.980	25.000	0.365	46	37	
25	0.67	0.94	2.10	0.71	1.083	0.943	25.000	0.365	34	39	
26	0.39	0.55	1.80	0.71	0.315	0.274	9.000	0.131	42	48	
27	0.58	0.62	2.20	0.93	0.626	0.740	16.000	0.233	37	32	
28	0.70	0.86	2.00	0.81	0.964	0.980	25.000	0.365	38	37	
29	0.40	0.48	2.30	0.83	0.352	0.368	9.000	0.131	37	36	
30	0.51	0.70	1.80	0.73	0.520	0.468	16.000	0.233	45	50	
계					17.526	18.526		6.765	39	37	

표 2. 원목선별시스템을 사용한 각재 생산

구분	원목크기(m)			초살도	재적		제재목(0.09*0.09*1.8)			
	말구	원구	재장		변형 뉴턴식	말구 직경자승	개수	재적	수율(%)	
	직경	직경							변형뉴턴식	말구직경자승법
1	0.28	0.32	2.00	0.88	0.141	0.157	4.000	0.058	41	37
2	0.27	0.31	2.00	0.87	0.132	0.146	4.000	0.058	44	40
3	0.27	0.32	1.90	0.85	0.129	0.139	4.000	0.058	45	42
4	0.27	0.31	2.00	0.86	0.134	0.146	4.000	0.058	43	40
5	0.26	0.31	2.00	0.84	0.128	0.135	4.000	0.058	46	43
6	0.27	0.34	1.80	0.80	0.131	0.131	4.000	0.058	45	44
7	0.28	0.34	2.00	0.83	0.150	0.157	4.000	0.058	39	37
8	0.28	0.29	2.00	0.95	0.130	0.157	4.000	0.058	45	37
9	0.28	0.35	1.80	0.80	0.141	0.141	4.000	0.058	41	41
10	0.26	0.30	1.90	0.86	0.118	0.128	4.000	0.058	49	45
11	0.27	0.32	1.80	0.85	0.122	0.131	4.000	0.058	48	44
12	0.28	0.32	2.00	0.87	0.142	0.157	4.000	0.058	41	37
13	0.27	0.33	2.00	0.82	0.141	0.146	4.000	0.058	41	40
14	0.28	0.32	1.80	0.87	0.128	0.141	4.000	0.058	46	41
15	0.27	0.32	1.90	0.84	0.131	0.139	4.000	0.058	45	42
16	0.40	0.44	1.80	0.90	0.252	0.288	9.000	0.131	52	46
17	0.40	0.45	1.80	0.88	0.258	0.288	9.000	0.131	51	46
18	0.41	0.50	2.00	0.82	0.326	0.336	9.000	0.131	40	39
19	0.40	0.42	1.80	0.95	0.238	0.288	9.000	0.131	55	46
20	0.41	0.46	1.80	0.90	0.265	0.303	9.000	0.131	50	43
21	0.39	0.44	1.80	0.88	0.246	0.274	9.000	0.131	53	48
22	0.39	0.45	1.90	0.86	0.266	0.289	9.000	0.131	49	45
23	0.41	0.51	1.80	0.81	0.298	0.303	9.000	0.131	44	43
24	0.39	0.42	2.00	0.92	0.260	0.304	9.000	0.131	50	43
25	0.40	0.46	2.00	0.87	0.291	0.320	9.000	0.131	45	41
26	0.42	0.46	1.90	0.92	0.287	0.335	9.000	0.131	46	39
27	0.40	0.45	1.80	0.89	0.255	0.288	9.000	0.131	51	46
28	0.42	0.45	1.80	0.93	0.268	0.318	9.000	0.131	49	41
29	0.40	0.50	1.80	0.80	0.287	0.288	9.000	0.131	46	46
30	0.40	0.48	1.90	0.83	0.291	0.304	9.000	0.131	45	43
계					6.086	6.675		2.843	47	43

임의선택방식과 시스템선별방식을 이용할 경우, 생산되는 제재목의 수율을 정리하면 표 3과 같다. 변형뉴턴식의 경우 임의선택방법의 평균 수율은 39%, 원목선별시스템을 사용하는 경우의 평균 수율은 47%로 나타났다. 또한, 말구직경자승법의 경우 임의선택방법의 평균 수율은 37%, 원목선별시스템을 사용하는 경우의 평균 수율은 43%로 나타났다. 결국 변형뉴턴식의 경우 임의선택방식과 시스템선별방식간의 수율 차이는 8%이고, 말구직경자승법의 경우에는 그 차이가 6%가 된다. 평균 수율에 차이가 존재하는가를 알아보기 위하여 두 평균간의 크기를 비교하는 쌍체비교¹⁰⁾를 실시하였다. 그 결과, 표 4에서 보는 바와 같이 원목선별시스템을 사용하는 것이 우월한 것으로 나타났다.

변형뉴턴식에서 임의선별과 시스템선별의 쌍체비교를 실시한 분석결과에 따르면, t통계량이 -6.881359이고 p-value가 1.467E-07로 유의수준 0.05보다 작은 것으로 나타났다. 따라서 귀무가설이 기각된다. 말구직경자승법의 쌍체비교 분석결과, 또한 t통계량이 -4.52528이고 p-value가 9.47E-05로 유의수준 0.05보다 작게 나타나서 귀무가설이 기각된다. 따라서, 평균의 크기가 더 높은 시스템선별방식의 수율이 더 높다고 할 수 있다. 결국 이것은 원목을 선택함에 있어 수율을 구하는 어떤 방식을 사용하든지 간에 임의선별방식보다 시스템선별방식의 평균 수율이 높다는 것을 의미한다. 그러므로, 원목의 선택과정에서부터 일괄적인 시스템을 도입하여 데이터를 축적하여 활용하면 생산자의 경우 생산에 보다 적합한 원목을 공급받을 수 있어 효율성을 극대화 할 수 있게 되고 이것은 합리적인 행동을 하는 기업의 이윤이 극대화 될 수 있음을 말해 준다.

10) 두 독립 모 평균을 비교하기 위한 실험은 두 집단의 실험단위들이 동질적이 되도록 하여 순수한 처리효과의 차이가 다른 값의 차이로 나타나야 한다. 그러나 실험단위들이 서로 동질적인 조건을 만족시킬 수 있는 경우가 종종 있다. 이렇게 되면 실험에서 도출할 수 없는 요인으로 인해 순수한 실제 처리 효과의 차이를 알기 어렵다.

표 3. 임의선택방식과 시스템선별방식간의 수율 비교

방법	수율(%)	
	변형뉴턴식	말구직경자승법
임의선별	39	37
원목선별시스템선별	47	43

표 4. 수율 평균에 대한 변형 뉴턴식과 말구지경자승법의 쌍체비교 결과

	임의선별	시스템선별	통계량	값
변형 뉴턴식	평균	0.3866214	피어슨 상관 계수	0.275291
	분산	0.0032031	t 통계량	-6.881359
	관측수	30	P(T≤t) 양측검정	1.467E-07
말구직경 자승법	평균	0.37066	피어슨 상관 계수	0.060671
	분산	0.003252	t 통계량	-4.52528
	관측수	30	P(T≤t) 양측검정	9.47E-05

2. 제재목의 등급화에 따른 수익성 분석

등급화란 제품의 품질을 나타낼 수 있는 객관적인 기준에 따라 제품을 평가하여 등급별로 규격화, 상품화함으로써 제품의 유통 투명성을 확보하기 위한 것을 말하는데, 목재의 경우 용이, 표면할렬, 변색유무, 강도 등이 규격화의 기준이 될 수 있다.

등급화는 목재 생산과 관련된 산업뿐만 아니라 제품이 상이한 품질을 가지는 산업의 경우 전반적으로 매우 중요한 의미를 가진다. 우선 생산단계에서는 제품을 생산하는 기업의 제품관리 개선 및 품질향상을 촉진할 수 있고, 등급판정 결과는 기업의 제품생산에 필요한 지표로 활용이 가능해진다. 또한 유통의 중간 단계인 도매단계에서는 제품에 대한 객관적인 지표를 제공함으로써 제품의 유통거래질서 확립을 가능하게 하며, 등급판정을 받은 제품의 공정한 가격형성도 가능하게 한다. 소매단계에서는 표준화된 객관적 지표를 제공함으로써 유통업자와 소비자간의 믿을 수 있는 거래기회를 제공하게 되고, 등급판정 결과에 따라 소비자

에게 판매하기 때문에 소비자가 상품에 대한 정확한 지식을 가지고 있지 않더라도 구매를 보다 편리하게 할 수 있다. 그리고 등급판정 결과에 따라 제품의 가격을 책정함으로써 더 높은 품질을 요구하는 소비자에게는 보다 좋은 품질의 상품을 공급할 수 있고, 저가의 상품을 원하는 소비자에게는 그에 상응하는 가격에 제품을 공급할 수 있게 된다.

제재목의 품질이 서로 차이가 있음에도 불구하고 제재목이 동일한 가격에 거래되는 것은 생산자와 소비자 모두의 후생을 감소시키게 될 것이다. 왜냐하면, 합리적인 의사결정을 추구하는 기업의 경우 이윤 극대화의 기회를 상실하게 되고, 소비자의 경우 효용 극대화를 할 수 없기 때문이다. 제품의 품질에 차이가 있는 경우, 등급화를 하여 소비자 후생 및 생산자의 이윤을 증가시킬 수 있음에도 불구하고, 현재 우리나라에서는 제재목의 경우 등급화가 거의 이루어지고 있지 않고, 모든 제재목이 동일한 가격에 판매되고 있는 실정이다.

여기서는 제재목 등급화에 의해 기업이 얻는 경제적 효과를 분석하기 위하여 임의로 3개 등급을 설정하고, 각 등급에 서로 다른 가격을 부여하여 분석하는 방법을 사용하였다.¹¹⁾ 제재목 등급 부여는 30개의 제재목을 선택하여 등급을 결정하는 경우를 상정하였다. 선택된 제재목에 1등급, 2등급, 3등급을 부여하고 각각의 개수를 구하였다. 이와 같은 시행을 30회 반복한 결과를 가지고 각 등급이 나올 평균적인 개수와 확률을 구하였다. 그 결과 30개의 제재목중 1등급은 평균적으로 10.17개, 2등급은 10.9개, 3등급은 8.93개가 나오는 것으로 나타났다. 이를 각 등급이 나올 확률로 계산을 하면 1등급, 2등급, 3등급 나올 확률은 각각 33.8%, 39.3%, 29.7%가 된다.

11) 목재의 등급화는 다음과 같은 과정을 통해서 이루어진다. 제재목 등급 결정 및 관리시스템을 사용하여 제재된 목재를 컨베이어 벨트를 이용하여 표면을 화상캠으로 스캔한 후 표면의 상태를 등급화 기준인 용이, 변색여부, 할렬 여부 등을 사용하여 등급을 판정한 후에 컴퓨터 데이터베이스로 저장하는 방식을 사용한다.

표 5는 목재를 3등급으로 분류하였을 때, A, B, C, D의 상이한 가격체계를 설정하여 등급별로 가격을 서로 다르게 부여한 것이다. 또한, 서로 다른 가격체계를 이용하여 기업이 얻을 수 있는 총판매액을 계산하면 표 6과 같다.

표 5. 제재목의 등급에 따른 가격

(단위:원)

	등급화에 따른 가격 체계			
	A	B	C	D
1등급	200,000	250,000	250,000	250,000
2등급	200,000	200,000	250,000	200,000
3등급	200,000	170,000	150,000	130,000

표 6. 등급화에 따른 판매액

(단위:원)

	판 매 액			
	A	B	C	D
1등급	2,034,000	2,542,500	2,542,500	2,542,500
2등급	2,180,000	2,180,000	2,180,000	2,180,000
3등급	1,786,000	1,518,100	1,139,500	1,160,900
총판매액	6,000,000	6,240,600	6,062,000	5,883,400
등급화에 따른 기업의 이익	0	240,600	62,000	-116,600

등급화가 이루어지지 않은 가격체제 A의 경우는 기업이 제재목 품질과 상관없이 동일한 가격 20만원을 받는 경우를 상정한 것이다. 이 경우 기업의 총판매액은 6,000,000원이 된다. 그러나 등급화가 이루어져 기업이 등급에 따라 B와 같은 가격을 받게 되면, 제재목은 각각의 등급에 따라 1등급의 경우 250,000원에 판매할 수 있고, 2등급은 200,000원에, 3등급의 경우 170,000원에 판매를 할 수 있게

된다. 이 경우 얻게 되는 기업의 판매액은 총 6,240,600원으로 나타난다. 따라서 등급화가 이루어져 제재목을 판매하게 되면, 등급에 관계없이 모두 200,000원을 받는 A의 경우와 비교하여 기업은 등급화의 결과로 인해 240,600원의 추가이익을 얻을 수 있다. 같은 이치로 등급화가 이루어져 기업이 등급에 따라 가격체계 C와 같은 가격을 받게 되면, 기업은 등급화가 이루어지지 않은 경우보다 62,000원의 추가 이익을 얻을 수 있다. 그러나 가격체제가 D와 같이 되는 경우 총 판매액이 오히려 116,600원 감소하게 된다.

위의 결과를 통해 알 수 있는 것은 기업은 등급화를 통해 다양한 가격의 책정을 통하여 기업 이윤을 극대화하는 행동을 취할 수 있다는 것이다. 만약 등급화가 이루어지지 않게 되면 기업은 제재목의 품질과 상관없이 항상 일정한 수입을 얻을 수 있게 된다. 그러나 등급화가 되어 기업이 제재목 등급에 따라 상이한 가격을 받을 수 있게 되면, 위의 가격체계 B나 C의 경우처럼 등급화를 통하여 기업은 추가적인 판매수익을 얻을 수 있다. 물론 매우 특수한 경우이지만 가격체계 D인 경우와 같이 기업의 판매수익이 오히려 감소하는 결과를 초래할 수도 있다.

일반적으로 기업은 등급화를 통해서 고품질 제품에는 높은 가격을 책정하고, 저품질 제품에는 낮은 가격을 책정함으로써 기업의 이윤을 극대화하는 행위를 할 수 있다. 따라서, 기업의 입장에서 등급화를 하는 것이 기업의 이윤 극대화를 위해 더 긍정적이라고 할 수 있다.

한편 등급화의 시행은 소비자의 입장에서 등급화를 통해 상품에 대한 보다 많은 정보를 얻을 수 있고, 자신이 원하는 수준의 제품을 살 수 있게 된다. 저품질 제품을 사는 경우는 보다 싸게 살 수 있게 되며, 고품질 제품을 구입하는 경우는 등급화 기준에 의해서 제품을 구입함으로써 효용 증가가 발생할 수 있게 된다.

목재의 변색 방제 및 제거 기술 개발에 관한 설문

현재 저희 연구실에서는 농림부 농림기술센터의 연구비 지원(연구제목: 국산 침엽수를 이용한 고품질·고수율 제재목 및 원주가공재 생산기술 개발)으로 “목재의 생물학적 변색 방제 및 제거기술 개발”에 관한 연구를 수행하고 있습니다.

불완전균류와 자낭균류에 의한 변색은 목재 고유의 미적 가치를 상실시킴으로서 목재의 상품가치를 크게 하락시켜 결과적으로 목재업계에 막대한 경제적 손실을 초래하기 때문에 반드시 방제되어야 합니다. 최상의 변색방제법은 제재 또는 가공 직후 열기건조를 실시하여 제재목 또는 원주가공재의 함수율을 신속하게 섬유포화점 미만으로 떨어뜨리는 것입니다. 그러나 대부분 목재의 건조를 천연건조에 의존하는 국내의 현실을 감안할 때, 건조중 목재의 함수율이 섬유포화점 미만으로 떨어지기 전까지는 방미제(anti-stain chemicals) 처리에 의해 변색균의 가해를 예방해주어야 합니다. 참고로 저의 연구실에서는 여러 종류의 외국산 방미제와 1종의 국산 방미제를 대상으로 라디에타소나무(뉴송), 국산 소나무, 국산 잣나무의 변색 방제를 위한 적정 처리농도를 실험실 규모의 실험을 통해서가 아니라 실제 야외실험을 통해 결정하였습니다.

앞서 언급한 바와 같이 근본적으로는 변색이 발생되지 않도록 미리 적절한 예방조치를 취하여야 하나 불가피하게 발생한 변색도 적절한 표백제를 사용한 표백처리에 의해서 제거할 수 있습니다. 변색목재의 표백은 전적으로 염소계 표백제를 이용하고 있으나 최근 저의 연구실에서 염소계 표백제보다 친환경적인 과산화수소를 이용한 표백방법을 개발하였습니다. 그러나 단순 표백에 의해서는 변색제거와 동시에 목재 자체도 표백되면서 목재 고유의 재색도 상실하기 때문에 앞으로 변색을 제거하면서도 목재의 원래 재색을 가능한 유지시킬 수 있는 처리조건에 대한 연구도 시급하다고 판단됩니다.

본 연구를 수행하면서 앞으로 개발될 조경시설재용 CCA 처리 원주가공재의 할렬 최소화 기술 및 칼라 방부처리재의 경제성 분석을 위해 귀하의 고견을 듣고자 하오니 번거우시더라도 잠시 시간을 내주실 것을 부탁드립니다. 귀하의 의견과 답변은 상기의 목적을 위한 통계처리에만 사용될 것임을 약속드립니다.

고려대학교 생명환경과학대학 환경생태공학부
목재미생물 및 목재보존 연구실
교수 김규혁

고려대학교 생명환경과학대학 식품자원경제학과
교수 김진성

해당 항목에 체크(✓)하여 주시기 바랍니다.

기초 설문

1. 기사에서는 다음중 어떤 수종의 제재목(원주가공재)을 생산하십니까?
(해당되는 수종은 전부 답해주십시오)
 더글라스퍼(Douglas-fir) 미국 솔송나무(hemlock)
 뉴송 또는 칠레송 북양가문비나무(쏘송)
 국산 소나무 국산 잣나무
 기타(수종명을 적어주십시오: _____)
2. 변색되지 않은 제재목(원주가공재)과 비교할 때, 변색 제재목(원주가공재)의 판매 가격은 어느 정도 떨어지는지 말씀해주십시오.
 0% 10% 20% 30% 50% 기타 (____%)
3. 변색 제재목(원주가공재)에 대한 수요자의 반응은 어떤지 말씀해주십시오
 구매 기피 상관하지 않음
4. 수요자가 변색 제재목(원주가공재)의 구매를 기피할 경우, 변색 제재목(원주가공재)을 어떻게 처리하시는지 말씀해주십시오
 약품을 이용한 변색제거후 판매
 원래 용도가 아닌 타 용도로 싸게 판매
 폐기 처분
5. 만일 원래 용도가 아닌 타 용도로 싸게 판매하는 경우, 타 용도가 무엇인지에 대하여 해당 수종별로 말씀해주십시오.

수종	타 용도

해당 항목에 체크(✓)하여 주시기 바랍니다.

변색방제 관련 설문

1. 변색방제를 위해 어떤 조치를 취하고 계신지 말씀해주십시오.

- 방미처리(약품처리) 실시 제재(가공) 즉시 열기건조 실시
 어떠한 조치도 취하지 않음 기타

2. 방미처리를 실시하는 경우는 다음 질문에 대하여 말씀해주십시오.

(실시하지 않는 경우에는 3항의 질문으로 가서 말씀해주십시오)

(1) 어떤 방미제를 사용하는지 말씀해주십시오

(2) 현재 귀사의 방미처리 비용에 대하여 말씀해주십시오.

_____ 원/사이(材) 또는 _____ 원/m³

(3) 방미처리 비용이 어느 정도이면 귀사뿐만 아니라 업계에서 받아들일 수 있다고 생각하십니까?

_____ 원/사이(材) 또는 _____ 원/m³

(4) 현재 사용하고 계신 방미제의 가격이 적정하다고 판단하시는지 말씀해주십시오.

- 비싸다 적정하다 비싸지 않다

(5) 방미효과, 즉 변색의 방제효과에 대하여 말씀해주십시오.

- 효과가 우수하다 그저 그렇다 별로 효과가 없다

※ 만일 효과가 없다거나 효과가 그저 그렇다고 답하신 경우, 그 이유가 무엇이라고 생각하시는지 말씀해주시요.

- 적절한 방미제가 아님 처리방법의 잘못 기타

(6) 현재 방미처리시 문제점이 있다면 어떤 것인지 말씀해주시요.

3. 방미처리를 실시하지 않는 경우는 다음 질문에 대하여 말씀해주시요.

(1) 방미처리를 실시하지 않는 이유에 대하여 말씀해주시요.

- 방미처리의 필요를 별로 느끼지 않기 때문
 방미제 가격과 관련된 생산비 증가 문제 때문
 제재직후 열기건조를 하기 때문
 어떤 방미제를 선정하고, 어떻게 처리하여야 할지를 모르기 때문
 기타

(2) 앞으로 방미처리를 할 계획을 갖고 계신지 말씀해주시요

- 계획 있음 계획 없음 모르겠음

(3) 앞으로 방미처리 실시 계획 여부에 관계없이 변색방제를 위한 방미처리를 실시하게 되면 필연적으로 제재목(원주가공재)의 가격 상승이 수반될 터인데, 방미처리 비용이 어느 정도이면 업계에서 받아들일 수 있다고 생각하십니까?

_____ 원/사이(材) 또는 _____ 원/m³

변색제거 관련 설문

1. 화학약품을 이용한 변색제거를 하고 계신 경우, 다음 질문에 대하여 대답해 주십시오.

(실시하지 않는 경우에는 2항의 질문으로 가서 말씀해주십시오)

(1) 어떤 약품을 사용하는지 말씀해주십시오

(2) 현재 귀사의 변색제거 비용에 대하여 말씀해주십시오.

_____ 원/사이(材) 또는 _____ 원/m³

(3) 변색제거 비용이 어느 정도이면 귀사뿐만 아니라 업계에서 받아들일 수 있다고 생각하십니까?

_____ 원/사이(材) 또는 _____ 원/m³

(4) 사용하는 약품의 가격이 적정하다고 판단하시는지 말씀해주십시오.

비싸다 적정하다 비싸지 않다

(5) 변색 제거효과에 대하여 말씀해주십시오.

효과가 우수하다 그저 그렇다 별로 효과가 없다

(6) 현재 변색제거를 위한 약품처리시 문제점이 있다면 어떤 것인지 말씀해주십시오.

2. 변색제거 처리를 실시하지 않는 경우는 다음 질문에 대하여 말씀해주시오.

(1) 변색제거 처리를 실시하지 않는 이유에 대하여 말씀해주시오.

- 본사의 제재목(원주가공재)에는 변색이 발생하지 않기 때문에
- 처리의 필요를 별로 느끼지 않기 때문
- 처리용 약품의 가격과 관련된 생산비 증가 문제 때문
- 어떤 약품을 선정하고, 어떻게 처리하여야 할지를 모르기 때문
- 기타

(2) 앞으로 변색제거 처리를 할 계획을 갖고 계신지 말씀해주시오

- 계획 있음
- 계획 없음
- 모르겠음

(3) 앞으로 변색제거처리 실시 계획 여부에 관계없이 변색제거를 위한 처리를 실시하게 되면 필연적으로 제재목(원주가공재)의 가격 상승이 수반될 터인데, 처리 비용이 어느 정도면 업계에서 받아들일 수 있다고 생각하십니까?

_____ 원/사이(材) 또는 _____ 원/m³

CCA 처리 원주가공재의 할렬 최소화 기술 개발 및
칼라 방부처리재 생산에 관한 설문

현재 저희 연구실에서는 농림부 농림기술센터의 연구비 지원(연구제목: 국산 칩엽수를 이용한 고품질·고수율 제재목 및 원주가공재 생산기술 개발)으로 “조경시설재용 CCA 처리 원주가공재의 할렬 최소화 기술 개발 및 칼라 방부처리재 생산”에 관한 연구를 수행하고 있습니다.

현장 시설후 사용중인 CCA 처리 원주가공재에서 할렬의 발생은 목재의 특성상 어쩔 수 없는 일이지만 할렬에 따른 외관상 문제로 사람들로 하여금 목재의 사용을 기피하게 하는 주 원인이 되고 있습니다. 또한 할렬이 악화되면서 할렬 깊이가 CCA 침투 부위를 통과하여 내부의 미처리 부위까지 연장될 경우에는 내부부후가 발생되면서 방부처리재의 사용수명을 크게 단축시키는 문제를 초래하기도 합니다. 따라서 야외용 목재의 할렬은 외관상의 문제 뿐만 아니라 사용수명 측면에서도 예방 또는 최소화되어야 합니다.

CCA로 처리된 목재의 재색이 녹색인 관계로 일부 사람들이 CCA 방부처리재의 사용을 기피하는 경우도 종종 접하게 되는데, 만일 CCA 방부처리재의 재색을 원하는 색상으로 바꿀 수 있다면 이러한 문제는 해결할 수 있을 것입니다. CCA 방부처리재의 재색은 CCA 처리시 작업액에 염료를 일정량 혼합함에 의해 얼마든지 조절이 가능하다고 판단되며, 저희 연구실에서는 이렇게 처리된 방부처리재를 칼라 방부처리재라고 명칭할 예정입니다.

본 연구를 수행하면서 앞으로 개발될 조경시설재용 CCA 처리 원주가공재의 할렬 최소화 기술 및 칼라 방부처리재의 경제성 분석을 위해 귀하의 고견을 듣고자 하오니 번거우시더라도 잠시 시간을 내주실 것을 부탁드립니다. 귀하의 의견과 답변은 상기의 목적을 위한 통계처리에만 사용될 것임을 약속드립니다.

고려대학교 생명환경과학대학 환경생태공학부
목재미생물 및 목재보존 연구실
교수 김규혁

고려대학교 생명환경과학대학 식품자원경제학과
교수 김진성

해당 항목에 체크(V)하여 주시기 바랍니다.

조경시설재용 CCA 처리 원주가공재의 할렬 최소화 기술 개발

1. 현재 할렬 예방 또는 최소화를 위한 어떠한 조치를 취하고 계십니까?

예 아니오

2. 만일 할렬 예방 또는 최소화를 위한 조치를 취하고 계시다면 어떤 방법을 사용하고 계신지요?

배할(kerfing) 표면도장 기타

3. 표면도장 방법을 사용하는 경우, 어떤 종류의 도료(발수제 포함)를 사용하시는지 말씀해주십시오

4. 현재 귀하께서 현재 사용하고 계신 방법이 할렬을 예방 또는 최소화하기 위하여 효과적이라 생각하십니까?

효과적임 그다지 효과적이지 못함 효과적이 아님

5. 연구 결과에 의하면 CCA 처리시 가압처리용 발수제를 CCA와 혼합처리 함에 의해 배할법이나 표면도장법을 적용하는 것보다 할렬의 발생을 훨씬 최소화할 수 있습니다. 발수제를 CCA에 혼합 처리할 경우 처리재 가격이 어느 정도 상승할 터인데, 가격 상승 정도가 어느 정도까지면 시장에서 받아들일 수 있다고 생각하십니까?

10% 20% 30% 기타 (___%)

해당 항목에 체크(✓)하여 주시기 바랍니다.

칼라 방부처리제 관련 설문

1. 지금까지 CCA 방부처리제의 생산 또는 시공과 관련된 사업을 하시면서
소비자들이 CCA 처리제의 색상을 기피하는 경우를 경험하신 적이 계십니까?
 예 아니오

2. 칼라 방부제를 생산한다면 어떤 색상으로 생산하는게 좋다고 생각하십니까?
 redwood나 western red cedar(미국적삼목) 심재 색상
 처리용 목재의 원래 재색
 기타(색상을 말씀해주십시오: _____)

3. 원하는 색상의 칼라 방부처리제가 생산된다면 시장성이 있다고 보십니까?
 있다 없다

4. 칼라 방부처리제의 가격이 기존 CCA 처리제보다 어느 정도 상승할 터인데,
가격 상승 정도가 어느 정도면 시장에서 받아들일 수 있다고 생각하십니까?
 10% 20% 30% 기타 (___%)

제 6 장 인 용 문 헌

Alberta Forest Service, 1987. Evaluation and fitting of tree taper functions for Alberta. Department of Forestry, Lands and Wildlife, Alberta Forest Service, Publication No. 106.

American Society for Testing and Materials. 1996. Anti-swelling effectiveness of water-repellent formulations and differential swelling of untreated wood when exposed to liquid water environments. ASTM D4446-84. ASTM, Philadelphia, PA, U.S.A.

American Society for Testing and Materials. 1996. Standard test methods for chromium in water. ASTM D1687-86. ASTM, Philadelphia, PA, U.S.A.

American Wood-Preservers' Association. 2001. Standard method of testing wood preservatives by laboratory soil-block cultures. AWWA E10-01. AWWA, Grandbury, TX, U.S.A.

American Wood-Preservers' Association. 2001. Standard method of testing water repellency of pressure treated wood. AWWA E4-78, AWWA, Grandbury, TX, U.S.A.

Anderson, C. and Walter, F. 1995. Classification of compression wood using digital image analysis. Forest Product Journal 45(11/12):87~95.

Araman and Schmoldt. 1995. On tour... Primary Hardwood Processing, Products and Recycling Unit. Hardwood Research Bulletin. May: 2, 4.

Araman, Schmoldt, Cho, Zhu, Connors and Kline. 1992. Machine vision systems for processing hardwood lumber and logs. AI Applications. 6(2): 13-26.

Arx, J. A. Von. 1981. The genera of fungi sporulating in pure culture(3rd Eds.). J. Cramer, Vaduz. Germany. 424 p.

Avery, T.E., Burkhardt, H.E., 1994. Forest measurements, 4th Edition, McGraw-Hill

Ayliffe, M. A., P. N. Dodds, and G. J. Lawrence. 2001. Characterisation of a α -tubulin gene from *Melampsora lini* and comparison of fungal α -tubulin genes. Mycol. Res. 105: 818-826.

Baltrusaitis,A., Pranckeviciene, V., 2001. The influence of sawlog top end diameter, length and taper volume yield. Baltic Forestry Vol 7, No. 1 (12):67-71

Bariska, M., A. Pizzi, and W. E. Conradie. 1988. Structural weakening of CCA-treated timber. Holzforschung 42(5): 339-345.

Barnett, H. L. and B. B. Hunter. 1987. Illustrated genera of imperfect fungi. Macmillan Publishing Company. New York, NY, U.S.A. 218 p.

Belford, D. S. and J. Nicholson. 1969. Emulsion additives for CCA preservatives to control weathering. Proceedings of the American Wood-Preservers' Association. 65: 38-51.

Bissett, J. 1984. A revision of the genus *Trichoderma*. I. Section *Longibrachiatum* sect. nov. Can. J. Bot. 62: 924-931.

Bissett, J. 1991a. A revision of the genus *Trichoderma*. II. Infrageneric classification. Can. J. Bot. 69: 2357-2372.

Bissett, J. 1991b. A revision of the genus *Trichoderma*. III. Section *Pachybasium*. Can. J. Bot. 62: 2373-2417.

Bissett, J. 1991c. A revision of the genus *Trichoderma*. IV. Additional notes on Section *Longibrachiatum*. Can. J. Bot. 62: 2418-2420.

Brasier, C. M. 1981. Laboratory investigation of *Ceratocystis ulmi*. In Compendium of Elm Diseases (ed. R. J. Stipes and R. J. Campana). American Phytopathological Society Press: St Paul, MN. pp. 76-79.

Brink, C., Gadow, K.v., 1986. On the use of growth and decay functions for modelling stem profiles. EDV in Medizin und Biologie 17(1/2): 20-27

Butler, D. A., James, W. F. and Brunner, C. C., 1993, An adaptive image preprocessing algorithm for defect detection in Douglas-fir veneer. Forest Product Journal 43(5): 57~60.

Carmichael, J. W., W. B. Kendrick, I. L. Connors, and L. Sigler. 1980. Genera of Hyphomycetes. The University of Alberta Press, Edmonton. Canada. 386 p.

Cassens, D. L. and W. E. Eslyn. 1983. Field trials of chemicals to control sapstain and mold on yellow poplar and southern pine lumber. Forest Products Journal 33(10):52-56.

Cassens D.L., Gibson, H., Friday, J.S., 1993. Modeling lumber manufacturing processes using Monte Calo computer Simulation. Forest products journal. Vol. 43. No. 9: 41-48

Cho, Connors and Araman. 1990. A computer vision system for automated grading of rough hardwood lumber using a knowledge-based approach. In: Proceedings, 1990 IEEE International Conference on Systems. pp. 345-350.

Cole, G. T. and B. Kendrick. 1973. Taxonomic studies of *Phialophora*. Mycologia 65: 661-688.

Conners, Cho, and Araman. 1989a. Automated grading of rough hardwood lumber. In: Proceedings, 3rd International Conference on Scanning Technology in Sawmilling. PP. 1-15.

Conners, Cho, and Araman. 1989b. Lumber grading with a computer vision system. In: Proceedings, 17th Annual Hardwood Symposium, Hardwood Research Council. pp. 183-191.

Conners, Cho, Ng, Drayer, Tront, Araman and Brisbon. 1990. A machine vision system for automatically grading hardwood lumber. In: Proceedings, The First International Conference on Automated Lumber Processing Systems and Laser Machining of Wood. pp. 53-57.

Conner, R. W., Harlow, C. A., 1980, A Theoretical Comparison of Texture Algorithms. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, PAMI-2(3):204-222

Cooper, P. A. and Y. T. Ung. 1992. Accelerated fixation of CCA -treated poles. Forest Products Journal 42(9): 27-32.

Cooper, P. A., D. L. Alexander, and Y. T. Ung. 1993. What is chemical fixation? *In*: Chromium-containing waterborne wood preservatives: Fixation and environmental issues. Forest Products Society. Madison, WI, U.S.A. pp. 7-13.

Croan, S. C. 1997. Decolorization of wood sapstain. In: Methods in plant biochemistry and molecular biology. CRC Press, Boca Raton, FL, U.S.A.

Cserjesi, A. L. 1980. Field-testing fungicides on unseasoned lumber-Recommended procedure. Technical Rept. 16. Forintek Canada Corp. Vancouver, B.C. Canada.

Cserjesi, A. J. and Johson, E. L. 1982. Mold and sapstain control: Laboratory and field tests of 44 fungicidal solution. Forest Prod. J. 32(10): 59-68.

Cui, F. and P. Walcheski. 2000. The effect of water-repellent additives on the leaching of CCA from simulated southern yellow pine decks. The International Research Group on Wood Preservation. Document No. IRG/WP/00-50158. Stockholm, Sweden.

Drysdale, J. A. 1987. Commercially available anti-sapstain chemicals in New Zealand—an update. Doc. No. IRG/WR/3416. Inter. Res. Group on Wood Preservation, Stockholm, Sweden.

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

Eagon, R., J. Kronstad, and C. Breuil. 1997. Isolation of a gene from the melamin pathway of the sapstain fungi *Ophistoma piceae* using PCR. In: Biology and prevention of sapstain (Ed. J. J. Morrell). Forest Products Society, Madison, WI, U. S. A.

Edlund, M. L. 1987. Artificial drying of impregnated wood. International Research Group on Wood Preservation, Document No: IRG/WP/3488. Stockholm, Sweden.

Ellis, M. B. 1971. Dematiaceous hyphomycetes. Commonwealth Mycological Institute Kew, Surrey, U.K. 608 p.

Ellis, M. B. 1976. More Dematiaceous Hyphomycetes. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, U.K. 507 p.

Evans, P. D., R. W. Hill, and R. B. Cunningham. 1997. The ability of physical treatments to reduce checking in preservative-treated slash pine posts. Forest Products Journal 47(5): 51-55.

Evans, P. D., P. J. Beutel, C. Donnelly, and R. B. Cunningham. 2000a. Surface checking of CCA-treated radiata pine decking timber exposed to natural weathering. The International Research Group on Wood Preservation. Document No. IRG/WP/00-40165. Stockholm, Sweden.

Evans, P. D., R. Wingate-Hill, and S. Barry. 2000b. The effect of different kerfing and center-boring treatments on the checking of ACQ treated pine posts exposed to the weather. *Forest Products Journal* 50(2): 59-64.

Evans, P. D., R. Wingate-Hill, and S. C. Barry. 2000. The effect of different kerfing and center-boring treatments on the checking of ACQ treated pine posts exposed to the weather. *Forest Products Journal* 50(2): 59-64.

Figueiredo-Filho, A., Borders, B.E., Hitch, K.L., 1996. Taper equations for *Pinus taeda* plantations in Southern Brazil. *Forest Ecology and Management* 83: 39-46

Forrer, J. B., Butler, D. A., Funck, J. W. and Brunner, C. C., 1988, Image sweep-and-mark algorithms : Part1. Basic algorithms. *Forest Product Journal* 38(11/12):75~79.

Forslund, R.R., 1982. A geometrical tree volume model based on the location of center of gravity of the bole. *Can. J. For. Res.* 12: 215-221

Fowlie, D. A., A. F. Preston, and A. R. Zahora. 1990. Additives: An examples of their influence on the performance and properties of CCA-treated southern pine. *Proceedings of the American Wood- Preservers' Association.* 86: 11-21.

Freeman, M. H., A. D. Accampo, and T. L. Woods. 1997. Comparison of biocides under laboratory and field conditions. In: *Biology and prevention of sapstain*(Ed. J. J. Morrell). Forest Products Society, Madison, WI, U. S. A.

Gadow, K. v. and Hui, G.Y., 1998: *Modelling forest development.* Kluwer Academic Publishers: 213 p.

Gatchell, Wiedenbeck and Walker. 1992. A red oak data bank for computer simulations of secondary processing. *Forest Products Journal*. 43(6): 38-42.

Griffin, H. D. 1966. The genus *Ceratocystis* in Ontario. *Can. J. Bot.* 46: 689-718.

Hansen, E. and J. J. Morrell. 1997. Use of anti-stain chemical treatments by the western U. S. softwood lumber industry, 1994. *Forest Products Journal* 47(6):69-73.

Haralic, R. H. and Shapiro, L. G., 1992, Computer and robot vision. Anderson-Wesley publishing company : 303~307.

Harrington, T. C. 1981. Cycloheximide sensitivity as a taxonomic character in *Ceratocystis*. *Mycologia* 72: 1123-1129.

Harrington, T. C., D. McNew, J. Steimel, D. Hofstra, and R. Farrell. 2001. Phylogeny and taxonomy of the *Ophiostoma piceae* complex and the *Dutch elm* disease fungi. *Mycologia* 93: 111-136.

Hasegawa, M., H. Kishino, and T. Yano. 1985. Dating the human-ape split by a molecular clock of mitochondrial DNA. *J. Mol. Evol.* 22: 160-174.

Hawksworth, D. L., P. M. Kirk, B. C. Sutton, and D. N. Pegler. 1996. *Dictionary of the fungi*. International Mycological Institute. Surrey, U.K. 616 p.

Hayward, P. J., Rae, W. J. and Duff, J. 1984. Mixture of fungicides screened for the control of sapstain on *Pinus radiata*. Doc. No. IRG/WP/3307. Inter. Res. Group on Wood Preservation, Stockholm, Sweden.

Helsing, G. and R. D. Graham. 1976. Saw kerfs reduce checking and prevent internal decay in pressure-treated Douglas-fir poles. *Holzforschung* 30(6): 184-186.

Higgins, D. G., A. J. Bleasby, and R. Fuchs. 1991. CLUSTAL W: improved software for multiple sequence alignment. CABIOS 8:189-191.

Hui, G.Y.; Gadow, K. v., 1997: Entwicklung und Erprobung eines Einheitsschaftmodells fuer die Baumart *Cunninghamia lanceolata*. Forstwissenschaftliches Centralblatt 116: 315-321.

Husch, B., Miller, C.I., Beers, T.W., 1982. Forest Mensuration. John Wiley & Sons.

Hutchison, L. J. and J. Reid. 1988a. Taxonomy of some potential wood-staining fungi from New Zealand. 1. Ophiostomataceae. New Zealand J. Bot. 25: 63-81.

Hutchison, L. J. and J. Reid. 1988b. Taxonomy of some potential wood-staining fungi from New Zealand. 2. Pyrenomycetes, Coelomycetes and Hyphomycetes. New Zealand J. Bot. 25: 83-98.

Jacobs, K., K. A. Seifert, K. J. Harrison, and T. Kirisits. Identity and phylogenetic relationships of Ophiostomatoid fungi associated with invasive and native *Tetropium* spp. (*Coleoptera: Cerambycidae*) in Atlantic Canada. Can. J. Bot. (In press).

Japanese Wood Preserving Association. 1992. Methods for testing effectiveness of fungicides against sapstain and mold fungi. Standard No. 2.

Jin, L., D. M. Roberts, and A. F. Preston. 1992. Influence of water -borne preservatives on water repellency and the impact of addition of water repellent additives. The International Research Group on Wood Preservation. Document No. IRG/WP/3704-92. Stockholm, Sweden.

Kaarik, A. 1980. Fungi causing sap stain in wood. International Research Group on Wood Preservation, Document No. IRG/WP/199. Stockholm, Sweden.

Kendrick, W. B. 1961. The *Leptographium* complex. *Phialocephala* gen. nov. Can. J. Bot. 39: 1079-1085.

Kendrick, W. B. 1962. The *Leptographium* complex. *Verticicladiella* Hughes. Can. J. Bot. 40: 771-797.

Kendrick, W. B. 1963a. The *Leptographium* complex. *Penicillium repens* C. & E. Can. J. Bot. 41: 573-577.

Kendrick, W. B. 1963b. The *Leptographium* complex. Two new species of *Phialocephala*. Can. J. Bot. 41: 1015-1023.

Kendrick, W. B. 1964. The *Leptographium* complex. *Hantzschia* Auerawald. Can. J. Bot. 42: 1291-1295.

Kennedy, M. J. and T. L. Woods. 1996. Selective absorption of antisapstain actives from two aqueous suspensions and movement of actives into wood. Doc. No. IRG/WP/96-30103. Inter. Res. Group on Wood Preservation, Stockholm, Sweden.

Kim, C. W., 1989, Classification of surface defects on wood boards. Purdue University.

Kim, G.-H. and J. J. Morrell. 1998. Biological protection against fungal discoloration: spatial distribution of the bacterial bioprotectant and target fungi on ponderosa pine sapwood. *Material und Organismen* 32(1):17-27.

Kim, G.-H., S.-M. Kang, and J. J. Morrell. 1999. Laboratory evaluation of selected anti-stain chemicals for control of fungal staining on Ginkgo sapwood. *Forest Products Journal* 49(3):49-52.

Kim, G.-H., S.-M. Kang, and J. J. Morrell. 1999. Laboratory evaluation of selected anti-stain chemicals for control of fungal staining on Ginkgo sapwood. *Forest Products Journal* 49(3): 49-52.

Kim, J.-J. and G.-H. Kim. 2000. Mold and sapstain fungi associated with radiata pine logs imported from New Zealand. The International Research Group on Wood Preservation, Document No. IRG/WP 00-10346. Stockholm, Sweden. 8 p.

Kim, J.-J., J.-B. Ra, D.-S. Son, and G.-H. Kim. 2001. Fungi colonizing sapwood of Japanese red pine logs in storage. *Mycobiology* 29(4): 205-209.

Kim, J.-J., J.-B. Ra, H.-J. Kim, and G.-H. Kim. 2002. Sapstain of and mold control on radiata pine lumber: Laboratory and field tests of selected fungicides. *Mycobiology* 30(1): 37-40.

Kim, J.-J., S. H. Kim, S. Lee, and C. Breuil. 2003. Distinguishing *Ophiostoma ips* and *O. montium* two bark beetle-associated sapstain fungi. *FEMS Microbiol. Lett.* (in press).

Kim, J.-J., S. H. Kim, C. Breuil, and G.-H. Kim. 2002. Characterization of an *Ophiostoma* fungus causing deep brown stain in pines. Abstracts of the Annual Meeting of Mycological Society of America. Oregon, U.S.A. 93 p.

Kim, J.-J., S. H. Kim, C. Breuil, and G.-H. Kim. 2003. A new *Ophiostoma* species isolated from radiata pine logs. Abstracts of the Annual 2003 Meeting of MSA/BSA. Monterey, CA, U.S.A.

Kim, S. H., A. Uzunovic, and C. Breuil. 1999. Rapid detection of *Ophiostoma piceae* and *O. quercus* in stained wood using PCR. *Appl. Environ. Microbiol.* 65: 287-290.

Kline and Araman. 1990. Computer simulation of a hardwood processing plant. In: Proceedings, Process Control/Production Management of Wood Products: Technology for the 90's. pp. 41-50.

Kline, Conners and Araman. 1997. Scanning hardwood lumber for processing and grading -- What to do now and why. Proceedings, ScanPro - 7th International Conference on Scanning Technology & Process Optimization for the Wood Products Industry. pp. 49-59.

Kline, Conners and Araman. 1998. What's ahead in automated lumber grading. Proceedings, ScanPro - 8th International Conference on Scanning Technology & Process Optimization for the Wood Products Industry. 11 pp.

Kline, Wiedenbeck and Araman. 1992. Management of wood products manufacturing using simulation/animation. Forest Products Journal. 42(2): 45-52.

Klinkhachorn, Moody and Araman. 1995. Automated lumber processing system: grading the hardwood lumber?./ Proceedings, Twenty-Third Annual Hardwood Symposium. 77-83.

Korea Meteorological Administration. 2002. Monthly Meteorological Summary. Seoul, Korea.

Kozak, A., 1988. A variable-exponent taper equation. Can. J. For. Res. 18: 1363-1368

Kozak, A., Munro, D.D., Smith, J.H.G., 1969. Taper equations and their application in forest inventory. For. Chronicle, 45(4): 278-283

Kozak, A., Smith, J.H.G., 1993. Standards for evaluating taper estimating systems. For. Chronicle, 69(4): 438-444

Labeda, A., 1993. Practical implementations of the log positioning error during primary breakdown. 3rd International Conference on Sawing Technology, San Francisco, California: 31-44

Larson, P.R., 1963. Stem form development of forest trees. Forest Science Monograph 5.

Lee, B. G., A. Maristany, C. C. Brunner, and J. J. Morrell. 1995. Removing fungal stain from ponderosa pine by caustic bleaching. Forest Products Journal 45(3):56-60.

Lewis, D. A., G. R. Williams, and R. A. Eaton. 1985. The development of prophylactic chemicals for the treatment of green lumber. Record, Annual Convention of the British Wood Preservers' Association 1985:14-26.

Lin, Kline, Araman and Wiedenbeck. 1995. Design and evaluation of log-to-dimension manufacturing systems using system simulation. Forest Products Journal. 45(3): 37-44.

Mackay, J. F. G. 1973. Surface checking and drying behavior of *Pinus radiata* sapwood boards treated with CCA preservative. Forest Products Journal 23(9): 92-97.

MacNamara, W. S. 1989. CCA fixation experiments-Part 1. The International Research Group on Wood Preservation. Document No. IRG/WP/3504. Stockholm, Sweden.

Masuya H., M. J. wingfield, S. Kaneko, and Y. Yamaoka. 2000. *Leptographium pini-densiflorae* sp. nov. from Japanese red pine. Mycoscience 41: 425-430.

Max, T.A., Burkhart, H.E., 1976. Segmented polynomial regression applied to taper equations. For. Sci., 22(33): 283-289

McMillin, C. W., 1984, 1982, Application of automatic image analysis to wood science. wood science 14(3):97~105.

Mehlhorn, L., 1985, Quality control in the wood based board industry with digital image processing. Holz als Roh - und Werkstoff 43:403~407.

Mendoza, Meimban, Luppold and Araman. 1991. Combining simulation and optimization models for hardwood lumber production. In: Proceedings, Pacific Rim Forestry -- Bridging the World. pp. 356-361.

Miller, D. J. and J. J. Morrell. 1989. Controlling sapstain: Trials of product group I on selected western softwoods. Research Bulletin 65. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, OR, U.S.A. 12 p.

Miller, D. J. and J. J. Morrell. 1990. Controlling hardwood sapstain: Trials of stain-preventive products on red alder lumber. Research Bulletin 68. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, OR, U.S.A. 8 p.

Miller, D. J., J. J. Morrell, and M. Mitchoff. 1990. Controlling sapstain: Trials of product group II on selected western softwoods. Research Bulletin 66. Forest Research Lab., Oregon State University, Corvallis, OR, U.S.A. 10 p.

Morrell, J. J. and B. E. Dawson-Andoh. 1997. Biological control: Panacea or Boondoggle. In: Biology and prevention of sapstain (Ed. J. J. Morrell). Forest Products Society, Madison, WI, U. S. A.

Morrell, J. J., Freitag, C. M. and Silva, A. 1998. Protection of freshly cut radiata pine chips from fungal attack. Forest Prod. J. 48(2):57-59.

Morrell, J. J. 1990. Effect of kerfing on performance of Douglas-fir utility poles in the Pacific northwest. The International Research Group on Wood Preservation. Document No. IRG/WP/3604. Stockholm, Sweden.

Muhairwe, C.K., 1999. Taper equations for *Eucalyptus pilularis* and *Eucalyptus grandis* for the north coast in New South Wales, Australia. Forest Ecology and Management 113: 251-269

Newberry, J.D., Burkhart, H.E., 1986. Variable-form stem profile models for loblolly pine. Can. J. For. Res. 16: 109-114

Newnham, R.M., 1988. A variable-form taper function. For. Can. Petawawa Natl. For. Inst. Inf. Rep. PI-X-83.

Newnham, R.M., 1992. Variable-form taper functions for four Alberta tree species. Can. J. For. Res. 22: 210-223

Nobles, M. K. 1965. Identification of cultures of wood inhabiting hymenomycetes. Can. J. Bot. 43: 1097-1139.

Nunes, L. and D. Dickinson. 1997. European Collaborative field trials. In: Biology and prevention of sapstain (Ed. J. J. Morrell). Forest Products Society, Madison, WI, U. S. A.

Occena and Schmoltdt. 1995. GRASP - A prototype interactive GRAPHic Sawing Program. MU-IE Technical Report 019501. 17 pp.

Occena and Schmoltdt. 1997. Computer integrated hardwood processing. Proceedings, 1997 NSF Design and Manufacturing Grantees Conference. 117-118.

O'Donnell, K. L. 1979. Zygomycetes in culture. University of Georgia, Athenes, Georgia. U.S.A. 256 p.

O'Donnell, K. and E. Cigelnik. 1997. Two divergent intragenomic rDNA ITS2 types within a monophyletic lineage of the fungus *Fusarium* are nonorthologous. Mol. Phylogenet. Evol. 7: 103-116.

Oh, H.-M., Lee, D.-H., Kang, C.-H., Son, D.-W. and Song, K.-H. 1999. Efficacy tests of IPBC(3-iodo-2-propynylbutylcarbamate). Proceedings of the Korean Society of Wood Science and Technology (Fall meeting in 1999). Chungju, Korea. pp. 140-145.

Olchowecki, A. and J. Reid. 1974. Taxonomy of the genus *Ceratocystis* in Manitoba. Can. J. Bot. 52: 1675-1711.

- Philip, M.S., 1994. Measuring Trees and Forests. Cab International.
- Prodan, M., 1965. Holzmesslehre. J.D. Sauerlaender's Verlag Frankfurt am Main.
- Presnell, T. L. and Nicholas, D. D. 1990. Evaluation of combinations of low hazard biocides in controlling mold and stain fungi on southern pine. Forest Prod. J. 40(2): 57-61.
- Ramirez, C. 1982. Manual and atlas of the Penicillia. Elsevier Biomed. Press. New York, NY, U.S.A. 874 p.
- Raper, K. B. and D. I. Fennell. 1973. The genus *Aspergillus*. Robert E. Krieger Publishing company, Huntington, NY. U.S.A. 686 p.
- Riemer, T., Gadow, K. v. u. Sloboda, B., 1995: Ein Modell zur Beschreibung von Baumschaeften. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 166(7): 144-147.
- Rifai, M. J. 1969. A revision of the genus *Trichoderma*. Commonwealth Mycological Institute. Mycological Pap. No. 116: 1-56.
- Ritchkoff, A.-C., M. Ratto, and F. Thomassin. 1997. Influence of the nutritional elements on pigmentation and production of biomass of bluestain fungus *Aurebasidium pullulans*. In: Biology and prevention of sapstain (Ed. J. J. Morrell). Forest Products Society, Madison, WI, U. S. A.
- Robinson, R. C. 1962. Blue stain fungi in lodgepole pine (*Pinus contorta dougl.* Var. *latifolia engelm.*) infested by the mountain pine beetle (*Dendroctonus monticolae* Hopk.) Can. J. Bot. 40: 609-614.
- Ruddick, J. N. R. 1981a. The effect of kerfing on check formation in treated white spruce (*Picea glauca*) poles. The International Research Group on Wood Preservation. Document No. IRG/WP/3604. Stockholm, Sweden.

Ruddick, J. N. R. 1981b. Kerfing reduces checking in ACA-treated western white spruce poles. The International Research Group on Wood Preservation. Document No. IRG/WP/3167. Stockholm, Sweden.

SAS Institute Inc., 1991. SAS/STAT User's Guide 6.03. Cary, NC.

Scheffer, T.C. and R. M. Lindgren. 1940. Stains of sapwood and sapwood products and their control. Technical bulletin 714. USDA. Washington, D.C., U.S.A.

Schmoldt, Li and Araman. 1995. A CT-based simulator for hardwood log veneering. Proceedings, 2nd International Workshop/Seminar on Scanning Technology and Image Processing on Wood. 65-75.

Schmoldt. 1995. Neural network classifiers to grade parts based on surface defects with spatial dependencies. In: Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation 14A. pp. 795-802.

Schroeder, S., S. H. Kim, W. T. Cheung, K. Sterflinger, and C. Breuil. 2001. Photogenetic relationship of *Ophiostoma piliferum* to other sapstain fungi based on the nuclear rRNA gene. FEMS Microbiol. Lett. 195: 163-167.

Seifert, K. A. 1993. Sapstain of commercial lumber by species of *Ophiostoma* and *Ceratocystis*. In: Wingfield, M. J., K. A. Seifert, and J. F. Webber (eds.). *Ceratocystis* and *Ophiostoma* taxonomy, ecology and pathogenicity. The American Phytopathological Society. St. Paul, MN. pp. 141-151.

Seifert, K. A. and B. T. Grylls. 1992. A survey of the sapstaining fungi of Canada. Report of Forintek Canada Corp. Ottawa, Canada. 31 p.

Siau, J. F. 1995. Wood: Influence of moisture on physical properties. Department of Wood Science and Forest Products, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, U.S.A.

Steele, Wagner, Kumar and Araman. 1993. Influence of lumber volume maximization in sawing hardwood logs. In: Proceedings of the Forest Industries 21st Wood Technology Clinic Show. pp. 1-26.

Sutton, B. C. 1980. The Coelomycetes. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, U.K. 696 p.

Trincado, G.; Gadow, K. v., 1996: Zur Sortimentschaetzung stehender Laubbaeume. Centralblatt fuer das Gesamte Forstwesen 1: 27-38.

Tsunoda, K. and K. Nishimoto. 1985. Effect of timber species on the performance of anti-sapstain chemicals in controlling mold and sapstain fungi on wood. Holzforschung 39: 331-335.

Upadhyay, H. P. 1981. A monograph of *Ceratocystis* and *Ceratocystiopsis*. University of Georgia Press, Athens, GA. U.S.A. 176 p.

Upadhyay, H. P. 1993. Classification of the Ophiostomatoid fungi. In: Wingfield, M. J., K. A. Seifert, and J. F. Webber (eds.). *Ceratocystis* and *Ophiostoma* taxonomy, ecology and pathogenicity. The American Phytopathological Society. St. Paul, MN. pp. 7-14.

U. S. Forest Products Laboratory (USFPL), 1987. Wood Handbook: Wood as an engineering material. USDA Forest Service. Agriculture Handbook. 72. Washington, DC., U.S.A

Uzunovic, A., K. A. Seifert, S. H. Kim, and C. Breuil. 2000. *Ophiostoma setosum*, a common sapwood staining fungus from western North America, a new species of the *Ophiostoma piceae* complex. Mycol. Res. 104: 486-494.

Van Laar, A., Akca, A., 1997. Forest mensuration. Cuvillier Verlag Goettingen

Wada, H., 1991, The detection of knots appearing on a Douglas-fir laminar utilizing a one dimensional CCD sensor. Journal of Japan wood society 37(3):206~210.

Wakeling, R. and Maynard, P. 1997. Laboratory and field trials of novel antisapstain formulations. Doc. No. IRG/WP/97-30146. Inter. Res. Group on Wood Preservation, Stockholm, Sweden.

Wakeling, R. N., J. G. van der Waals, R. D. Narayan, J. B. Foster, B. E. Paterson, and P. N. Maynard. 1995. Fungus cellular and antisapstain field trial studies of six triazole fungicides. International Research Group on Wood Preservation. Document No. IRG/WP/95-30077. Stockholm, Sweden.

Wakeling, R., Eden, R., D., Chittenden, C., van der Walls, J., Carpenter, B., Dorset, I., Kuluz, R. and Wakeman, J. 1999. Sentry, a new antisapstain formulation for protecting logs and lumber, Part 2: protection of lumber. Doc. No. IRG/WP/99-30189. Inter. Res. Group on Wood Preservation, Stockholm, Sweden.

Wang, C. J. K. and R. A. Zabel. 1990. Identification manual for fungi from utility poles in the eastern United States Allen Press Inc. Lawrence, KS. U.S.A. 356 p.

Warburton, P., R. Fox, and J. A. Cornfield. 1991. Water repellent additive for CCA. The International Research Group on Wood Preservation. Document No. IRG/WP/3655. Stockholm, Sweden.

Webber, J. F., A. G. Mitchell, and F. Smith. 1986. Linkage of the genes determining mating type and fungicide tolerance in *Ophiostoma ulmi*. Plant Pathol. 35: 512-516.

Wingfield, M. J. 1993. *Leptographium* species as anamorphs of *Ophiostoma*: progress in establishing acceptable generic and species concepts. In: Wingfield, M. J., K. A. Seifert, and J. F. Webber (eds.). *Ceratocystis* and *Ophiostoma* taxonomy, ecology and pathogenicity. The American Phytopathological Society. St. Paul, MN. pp. 43-51.

Wiedenbeck and Araman. 1995. Using manufacturing simulators to evaluate important processing decisions in the furniture and cabinet industries. In: Proceedings, CIFAC '94, The Second International Symposium on Computers in Furniture and Cabinet Manufacturing. pp. 59-66.

Williams, G. R. and D. A. Lewis. 1991. The performance of alternative anti-sapstain compounds. In: The chemistry of wood preservation (Ed. R. Thompson). The Royal Society of Chemistry.

Zabel, R. A. and Morrell, J. J. 1992. Wood microbiology: Decay and its prevention. Academic Press, Inc., San Diego, CA, U.S.A. pp.476

Zahora, A. R. and C. M. Rector. 1990. Water repellent additives for pressure treatments. Proceedings of the Canadian Wood Preservation Association. 11: 22-41.

Zahora, A. R. 1991. Interactions in water-borne preservatives and emulsion additives that influence the water repellency of wood. The International Research Group on Wood Preservation. Document No. IRG/WP/2374. Stockholm, Sweden.

Zahora, A. R. 1992. A water repellent additive's influence on the field performance of southern yellow pine lumber. Proceedings of the American Wood-Preservers' Association. 88: 148-159.

Zahora, A. R. 1995. Comparative field performance of CCA and CCA- water repellent treated southern pine lumber. The International Research Group on Wood Preservation. Document No. IRG/WP/95-30089. Stockholm, Sweden.

Zink, P. and D. Fengel. 1988. Studies on the colouring matter of blue-stain fungi. Part 1. General characterization and the associated compounds. *Holzforschung* 42(4):217-221

Zink, P. and D. Fengel. 1989. Studies on the colouring matter of blue-stain fungi. Part 2. Electron microscopic observations of the hyphal walls. *Holzforschung* 43(6):371-374.

Zink, P. and D. Fengel. 1990. Studies on the colouring matter of blue-stain fungi. Part 3. Spectroscopic studies on fungal and synthetic melamins. *Holzforschung* 44(3):163-168.

고려대학교 목재미생물 및 보존실험실. 2000. 미발표자료.

공영토. 1992. 목재의 조색기술. *목재공학* 20(4): 85-102.

김갑덕, 1985, 산림측정학, 향문사

김규혁, 김재진, 라종범. 2002. 소나무와 잣나무 원목에서 변재변색 발생. *목재공학* 30(2): 128-133.

김병남, 1998, 화상처리에 의한 목재 표면결함 검출에 관한 연구. 전남대학교

김영숙. 1998. 국산 소나무재에 처리한 알킬암모늄계 화합물의 방균효력. *산림과학* 10: 107-116.

김재진. 2001. 라디에타소나무의 생물학적 변색 및 방제. 박사학위논문. 고려대학교.

김재진, 김규혁. 1999. 라디에타소나무 원목으로부터 변재변색균과 표면오염균의 분리 및 동정. '99 추계학술발표논문집. 한국목재공학회. 269-273.

이동흡, 강창호, 손동원. 1998. 유화성 방미제의 예비 방부제 적성 검증. '98 한국 목재공학회 추계학술발표논문집 pp. 275-280.

장동혁, Visual C++을 이용한 디지털 영상처리의 구현. 정보게이트.