

최 종
연구보고서

폐목질자원의 재활용기술 및 시스템 개발

Development of Recycling Technology and System of Wood Wastes

연구기관

주관연구기관 : 국립산림과학원

협동연구기관 : 진주산업대학교

경북대학교

경상대학교

위탁연구기관 : 충남대학교

참여기업 : 도림산업주식회사

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “폐목질자원의 재활용기술 및 시스템 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2006년 7월 14일

주관연구기관명 : 국립산림과학원
총괄연구책임자 : 박 종 영
세부연구책임자 : 서 진 석
세부연구책임자 : 박 상 범
세부연구책임자 : 박 병 대
연 구 원 : 강 은 창
연 구 원 : 한 태 형
협동연구기관명 : 진주산업대학교
협동연구책임자 : 노 정 관
협동연구기관명 : 경북대학교
협동연구책임자 : 이 종 윤
협동연구기관명 : 경상대학교
협동연구책임자 : 김 의 경
위탁연구기관명 : 충남대학교
위탁연구책임자 : 이 종 신
참 여 기 업 : 도림산업주식회사
참여기업 대표 : 도 정 락

요 약 문

I. 제 목

폐목질자원의 재활용기술 및 시스템 개발

(Development of Recycling Technology and System of Wood Wastes)

II. 연구개발의 목적 및 필요성

폐목재의 재자원화는 재생가능자원인 목재자원을 효율적으로 순환이용하면서 온실가스의 장기적 흡수저장기능을 확보하는 자원정책 및 환경정책적 차원에서 중요한 과제라고 할 수 있다. 우리나라에서는 연간 목재소비량의 약 40% 정도에 달하는 폐목재가 배출되고 있으며, 폐목재의 재활용률이 아직 매우 낮은 편이다. 폐목재(사업장폐목재, 건설폐목재, 생활폐목재)의 2/3가 재활용되지 못하고 있으며, 특히 생활폐목재는 거의 전량 소각 또는 매립되고 있는 실정이다. 따라서 목재자원의 90% 이상을 수입에 의존하는 우리나라 실정에서, 목질자원의 순환이용체계를 구축하여 자원재활용을 극대화하고, 환경부담을 최소화하는 동시에 국내 목재산업의 경쟁력을 강화해 나가야 할 것이다.

폐목재의 재자원화를 강화해 나가기 위해서는 관련 법령 및 제도의 정비, 제품의 생산·유통·이용·폐기 등 전과정에서 재자원화에 적합한 시스템의 구축, 그리고 효율적인 재활용기술 개발이 동시에 이루어져야만 할 것이다. 우리나라는 아직 폐목재의 순환이용에 관한 제도 및 시스템, 목재의 효율적인 재활용기술 등이 미흡한 실정으로서 적극적인 연구개발이 요청되는 상황이다.

이에 본 연구과제는 재활용률이 낮은 저급 폐목재의 산업원료화 촉진을 위한 제도 및 시스템을 개선하고, 국내 산업의 경쟁력 제고를 위한 산업현장지향의 폐목재 재활용기술을 개발하고자 하였다. 아울러 인체·환경친화형 접착기술 등의 원천기술을 개발, 적용하여, 목질자원의 순환이용시스템 구축에 기여해 나가고자 수행하였다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구과제의 목적을 달성하기 위하여, 다음과 같은 내용의 연구를 수행하였다.

1. 목질폐기물의 순환이용 시스템 개선
 - 폐목재의 배출·수집·재활용실태 조사 및 문제점 분석
 - 폐목재의 유형별 수집비용 분석
 - 폐목재 순환시스템 확립을 위한 제도개선 방안
 - 폐목재 재활용 촉진을 위한 폐기물처리 및 재활용 관련법령 정비 방안
2. 고성능 접착제의 합성·이용기술 개발
 - 요소수지접착제
 - 요소수지의 합성방법, 경화거동 및 화학적 특성 구명
 - 재생보드 적용 및 포름알데히드방출량 평가
 - 요소·멜라민수지접착제
 - 요소·멜라민수지의 합성방법, 경화거동 및 화학적 특성 구명
 - 재생보드 적용 및 포름알데히드방출량 평가
 - 요소·MDI수지혼용 접착제
 - 요소·MDI 혼용수지의 합성방법, 경화거동 및 화학적 특성 구명
 - 재생보드 적용 및 포름알데히드방출량 평가
3. 폐목질 재생보드 제조실연시험
 - 요소수지 및 요소수지용 포름알데히드 포집제 합성 및 공장적용시험
 - 요소·EMDI 혼용수지 제조 및 공장적용시험
4. 폐목질 재생보드의 제조기술 및 성능개선
 - 폐목질원료의 파쇄특성 조사 및 재생보드원료 적성 구명
 - 원료혼합 및 공정요인에 의한 재생보드의 물성 개선
 - 내화성 재생보드 제조
5. 폐침목의 재활용기술 개발
 - 폐침목의 재질 특성 및 크레오소트유 잔류량 조사
 - 폐침목의 크레오소트유 추출방법 구명
 - 폐침목 재활용 파티클보드 제조

- 폐침묵 재활용 신용도 개발
- 6. 難재활용 폐목질자원의 열분해 이용
 - 난재활용 폐목재 탄화물 제조 및 특성조사
 - 폐목재 재활용숯을 이용한 흡착성 복합보드 개발
 - 재활용숯 복합보드의 난연성 및 유해물질 흡착력 평가
- 7. 폐목질 성형제품(책상판)의 제조기술 개선
 - 제품성능에 미치는 재생원료 종류와 형상의 영향
 - 수지접착제의 합성·적용 및 제품성능 평가
 - 성형제품의 포름알데히드방출량 저감
 - 성형공정 개선 및 제조조건 최적화
 - 비포름알데히드계 수지에 의한 성형제품 제조
- 8. 폐지를 이용한 기능성 복합보드 개발
 - 폐지류의 해리 및 섬유특성 분석
 - 폐지를 이용한 기능성 복합재 제조
 - 폐지를 이용한 판상용 생분해성필름 제조
 - 폐지를 이용한 합성수지복합보드 제조
 - 폐지를 이용한 고치환도 셀룰로오스 아세테이트 제조

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 목질폐기물의 순환이용시스템 개선

현재 우리나라에서는 폐목재가 불법 또는 편법적으로 처리되는 경우가 많으며, 재활용이 가능한 폐목재가 소각 또는 매립되거나 저부가가치 용도로 이용되고 있는 실정이다. 또한 폐목재 재활용산업은 원료비용 부담의 구조를 가지고 있어 경쟁력이 낮은 편이다. 폐목재의 재활용률을 높이기 위해서는 신축건설현장에서 배출되는 건설폐목재는 반드시 분리, 수집하도록 법규를 개정하고, 재활용 가능한 폐목재의 소각처리를 금지해야만 할 것이다. 또한 폐목재의 배출신고 및 운송에 관한 규정을 현실화 할 필요가 있다. 한편 생활폐목재의 경우에는 재활용을 적극적으로 유도해 나가야만 하며, 이를 위해서는 생활폐목재의 중간처리 기반시설을 확충하고, 재활용업체가 적정한

처리비용을 징수토록 하는 비용부담 구조의 개선이 필요하다. 아울러 폐목재 재활용 제품의 우선구매제도를 강화할 필요가 있으며, 이를 원활히 추진하기 위해서는 『폐목재 재활용촉진에 관한 법률』을 제정할 필요가 있다고 생각된다.

2. 고성능 접착제의 합성·이용기술 개발

본 연구에서는 폐목재를 원료로 하는 파티클보드의 포름알데히드방출량을 저감시킬 수 있는 접착제의 합성·이용기술을 개발하고자 하였다. 요소수지를 사용할 때, 파티클보드의 포름알데히드방출량을 저감시키기 위한 기본적인 방법은 요소수지의 포름알데히드/요소 (F/U) 몰비를 낮추는 것이다. 본 연구에서는 F/U 몰비 1.0에서 합성한 요소수지를 이용한 파티클보드의 포름알데히드방출량을 약 0.5mg/l 까지 저감시킬 수 있었다. 또한 요소수지접착제용 포름알데히드 포집제인 요소·포름알데히드 프리폴리머(UFP: urea-formaldehyde prepolymer)를 자체 개발하여 특허출원(출원번호 : 10-2006-0062545)을 하였으며, 파티클보드의 포름알데히드방출량을 저감하는 동시에 생산비용을 절감할 수 있는 기술을 확보하였다. 요소·멜라민수지의 경우에는 요소·포름알데히드 반응 뒤에 멜라민을 후첨가하는 방법에 의해 F/(U+M) 몰비를 1.0, 멜라민함량을 5%로 하였을 때 포름알데히드방출량을 가장 낮출 수 있었다. 한편 요소·EMDI 혼용수지를 이용하여 파티클보드의 포름알데히드방출량을 저감하기 위해서는, polyol 분자량 1000인 PMDI prepolymer를 제조하고, 이를 에멀전화한 EMDI를 요소수지에 5% 혼용하여 파티클보드를 제조하였을 때 가장 좋은 결과를 얻었다. 요소·EMDI 혼용수지의 함지율은 6%가 가장 적합하였다. 이와 같은 연구결과를 실제로 파티클보드 공장에서의 실연생산시험에 적용하였으며, 제조한 파티클보드의 포름알데히드방출량과 물성을 측정하고, 현장적용성을 평가하였다.

3. 폐목질 재생보드 제조실연시험

실험실에서의 접착제 합성 및 파티클보드 제조 실험결과를 바탕으로, 실제 파티클보드공장에서 적용시험을 실시하였다. 이 시험에서는 저몰비 요소수지, 포름알데히드 포집제로 사용한 요소·포름알데히드 prepolymer(UFP: urea-formaldehyde prepolymer), 및 요소·EMDI 혼용 수지를 사용하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

저몰비 요소수지를 공장규모의 설비로 합성하여 파티클보드를 실연제조한 결과, 포름알데히드방출량 기준의 E₁ 등급을 만족시키는 결과를 얻었으며, 대비실험으로서 동

일 수지로 실험실에서 제조한 파티클보드의 포름알데히드방출량은 E₀ 등급에 근접하는 결과를 얻었다. 또한 자체 개발한 포름알데히드 포집제(UFP)를 요소수지에 첨가하여 파티클보드를 제조하였을 때, 기존 공장에서 사용하고 있는 수지보다 파티클보드의 포름알데히드방출량을 대폭 저감시킬 수 있었다. 이와 같이 UFP를 첨가할 경우에는 제품물성을 유지하면서 포름알데히드방출량 저감시키는 동시에 생산원가의 절감이 가능한 것으로 판단되었다. 한편 요소·EMDI 혼용수지를 이용하여 파티클보드 제조시험을 실시한 결과, 모두 E₁ 등급을 만족하는 결과를 얻었으며, 요소수지에 대하여 EMDI를 5%만 혼용하여도 포름알데히드방출량의 저감효과가 있었다.

4. 폐목질 재생보드의 제조기술 및 성능개선

생활폐목재 등 저급 폐목재를 파티클보드의 원료로서 확대해 나가기 위하여, 적정 원료이용방법에 대한 실험을 실시하였다. 우선 폐목질 종류별 파티클 입도분포에 따른 원료적합성을 검토하였다. 또한 폐목질원료의 종류 및 혼합이용비율에 따른 보드물성을 조사한 결과, 제재, 합판 등 양질의 폐목재에 대한 생활폐목재의 적정 혼용수준이 30% 정도임을 파악하였다. 아울러 폐목질 재활용 파티클보드의 성형·열압공정 등 적정 제조조건을 구명하였다. 한편 사용후 폐기된 파티클보드를 파쇄하여 얻어진 재생파티클은 압축고화되어 재생 파티클보드 물성의 저하요인이 된다. 따라서 재생파티클을 60℃에서 1시간 정도 수침처리하여 팽윤시키면서 내화처리(제2인산암모늄과 붕산·붕소 혼합약제)를 병용하여 난연 3급을 충족시키는 내화성보드를 제조하였다.

5. 폐침목의 재활용기술 개발

폐침목의 효율적인 재활용방법을 개발하기 위하여, 폐침목의 재질특성 및 크레오소트유의 잔류량을 분석하고, 크레오소트유의 적정 제거방법을 구명하였다. 폐침목의 조직 및 재질특성을 조사한 결과, 폐침목 내부는 거의 대부분 건전한 상태를 유지하고 있다. 또한 침목은 장기간 외기에 노출되기 때문에 폐침목의 크레오소트유 침투깊이 및 잔류량은 매우 적었다. 또한 폐침목을 파쇄하여 알콜·벤젠 용제나 염소계 표백제로 처리하면 크레오소트유를 효율적으로 제거할 수 있으며, 폐침목을 이용한 파티클보드를 제조하였다. 그러나 폐침목을 파티클보드의 원료로 재활용하기에는 냄새, 외관 등의 문제점이 있다. 따라서 폐침목을 보다 친환경적으로 그리고 고부가가치로 이용할 수 있는 용도로서 폐침목을 활용한 조립식 보도블럭을 개발하였다. 이는 기존의

목재보드블럭보다 약 35% 가격을 낮출 수 있으므로 실용화 가능성이 높을 것으로 기대된다. 그러나 폐침목 재활용 보드블럭 생산기술이 상용화되기 위해서는 폐침목의 재활용을 제한하고 있는 폐기물관리법규를 현실적으로 개정할 필요성이 있다.

6. 難재활용 폐목질자원의 열분해 이용

생활폐목재 중에서도 파티클보드와 같은 원료 이용이 곤란한 저급 목질폐기물은 소각처리하지 않고 열분해처리에 의한 탄화물로서 재활용하는 것이 바람직하다고 생각한다. 이에 難재활용 폐목질을 열분해처리한 재활용숯을 제조하고, 이를 유해물질 흡착성 건축자재로 이용할 수 있는 신제품으로서 불연성이면서 흡착성이 뛰어난 재활용숯 복합보드 제조기술을 개발하였다. 이 기술에 의해 생활폐목재의 소각처리비용을 절감할 수 있을 뿐 아니라 숯의 고유한 흡착력을 이용한 고부가가치의 유해물질 흡착성 건축자재의 대량생산이 가능할 것으로 생각된다. 이 기술은 특허출원과 산업화를 추진 중에 있다. 또한 본 연구과정에서 폐목질 탄화물의 고품질화를 위한 적정 탄화온도를 설정하고, 발생 연기를 완전 연소할 수 있는 탄화장치의 개선방법 등을 착안하였다.

7. 폐목질 성형제품의 제조기술 개선

폐목질자원을 재활용한 학생용 책상판은 종래 수입합판으로 제조되어 온 책상판을 대체하기 위하여 개발되었다. 이에 폐목질 성형제품의 품질 및 생산성을 향상시키기 위한 연구를 수행하였으며, 폐목질 재활용 책상판의 개발, 생산업체인 도림산업(주)이 참여하였다.

재생 파티클원료의 종류별로 책상판의 성능을 비교한 결과, 목재, 합판, 파티클보드의 순이었으며, 파티클보드 재생원료의 혼합비율의 한계는 약 70% 범위였다. 성형제품용 접착제로서 요소·멜라민 수지(UMF)가 가장 적합하였으며, 포름알데히드방출량을 고려할 때 수지조성의 몰비[F/(U+M)]는 1.35 이하가 바람직하였다. 또한 포름알데히드방출량의 저감방법으로서는 포집제로서 요소처리가 효과적이었다. 책상판의 성형공정 개선에 관하여 검토한 결과, 약 20초 정도의 열압시간 단축이 가능하였다. 또한 성형제품의 새로운 접착제로서 이소시아네이트수지를 적용한 결과, 포름알데히드방출량을 최우수등급의 수준인 0.35mg/L까지 낮출 수 있었으며, 함수율 8%의 고풍수율에서도 제품제조가 가능하여, 사용원료의 범위를 확대시킬 수 있을 것으로 확인되었다.

그러나 이와 같은 폐기 목질재료를 재활용한 책상판의 수요확대를 위해서는 보다 근본적인 환경제품 우선구매제도의 정착이 필요하다고 할 수 있다.

8. 폐지를 이용한 기능성 복합보드 개발

본 연구과제에서는 목질계 생활폐기물 중에서도 아직 완전한 재활용이 어려운 폐지류의 고부가가치 이용을 위하여, 폐지의 화학적 변환가공 기술 및 다양한 폐지 복합재 제조기술 개발이 이루어졌다. 본 연구과제 중에서 가장 중요한 성과는 폐지를 이용한 고치환도 셀룰로오스 아세테이트 제조와 폐지를 이용한 기능성 고분자 복합소재 제조기술 개발이라고 할 수 있다.

셀룰로오스 아세테이트는 폐지섬유 중에 잔존하는 수산기를 아세틸화 반응시켜 제조하였으며, 치환도는 상업용으로 생산되는 셀룰로오스 아세테이트 보다 높은 약 2.47로 나타났다. 셀룰로오스 아세테이트의 열분석 결과, 열용융온도(Tg)가 상업용보다 40℃ 정도 낮으므로 고분자와의 합성에도 유리할 것으로 판단되며, 사진용 필름이나 인조섬유와 같은 고부가가치 수요개발이 가능할 것으로 기대된다.

한편 폐지·고분자수지 복합보드 제조에 있어서, 폐지의 적정 혼합비율은 20% 정도이며, 복합 펠릿의 열적변화는 기존의 상용고분자보다 작기 때문에 실용화 가능성이 높을 것으로 사료된다. 폐지·고분자수지 복합보드의 시제품을 제조하여 물성을 평가하고 경제성을 분석하였다.

Summary

I . Title of the Project

Development of Recycling Technology and System of Wood Wastes

II . Objectives and Background of the Project

Recycling of wood wastes is important in terms of resources and environment policies for an effective utilization of wood resources and of securing long term carbon storage role. Wood wastes which is about 40% of wood consumption are being generated in Korea, and the percentage of recycling of wood wastes is very low. About two third of wood wastes including industrial wood wastes, construction wood wastes and urban wood wastes are not recycled, and in particular, almost urban wastes are being burned or land filled. Therefore, there should be an establishment of recycling system of wood resources, maximization of resources recycling, and minimizing environmental stress as well as strengthening of wood industry competitiveness in taking the fact of importing more than 90% of wood resources from outside into consideration.

In order to strengthening of resources recycling, streamlining of related laws and regulations on recycling, an establishment of a proper system of resources recycling for a whole life cycle of product such as production, marketing, utilization and disposal, and the development of effective recycling technologies has to be done at the same time. Since national institution, recycling systems of wood wastes, and technologies of effective recycling are limited, proactive activity on research and development is urgently required.

Therefore, this study was conducted to improve institutions and systems on low grade and limitedly recycled wood wastes for industrial raw materials, and to develop industry oriented technologies of recycling wood waste to elevate national

competitiveness of wood industry. In addition, this study attempted to develop core technologies such as environmentally friendly adhesive technology, contributing in founding recycling system of wood resources.

III. Contents and Scope of the Project

In order to achieve objectives of this study, the following work has been done.

1. Improvement of recycling system of wood waste resources
 - Investigation on disposal, collection, and recycling status of wood wastes and analysis of related issues.
 - Analysis of collection cost depending on types of wood wastes.
 - Proposal of improving organization for the establishment of wood wastes recycling
 - Streamlining of related legislations on wastes disposal and recycling for promoting recycling of wood wastes

2. Development of synthesis and utilization of high performance adhesives
 - Urea-formaldehyde resin adhesives
 - Synthesis method, curing behavior, and chemical characterization urea-formaldehyde resin
 - Preparation of particleboard and evaluation of its formaldehyde emission
 - Urea-melamine-formaldehyde resin adhesives
 - Synthesis method, curing behavior, and chemical characterization of urea-melamine-formaldehyde resin
 - Preparation of particleboard and evaluation of its formaldehyde emission
 - Urea-formaldehyde/MDI resin adhesives
 - Synthesis method, curing behavior, and chemical characterization of urea-formaldehyde/MDI resin

- Preparation of particleboard and evaluation of its formaldehyde emission
3. On-line test of manufacturing particleboard using recycled wood wastes
 - On-line test of manufacturing particleboard using urea-formaldehyde resin and formaldehyde scavenger
 - On-line test of manufacturing particleboard using urea-formaldehyde/MDI resin
 4. Manufacturing technology of particleboard using recycled wood wastes and improvement of properties
 - Investigation on breakdown characteristics of recycled raw wood wastes and their optimization
 - Improvement of particleboard properties via raw materials mixing
 - Manufacturing fire retardant particleboard using recycled wood wastes
 5. Development of recycling technologies of disposed wood tie
 - Investigation on disposed wood ties and residual content of creosote
 - Investigation of extraction method of creosote out of disposed wood ties
 - Manufacturing of particleboard using recycled wood ties
 - Development of reliable recycling wood ties.
 6. Carbonization of wood wastes difficult to recycle
 - Preparation of carbonization products and its characterization of difficult recycling wood wastes
 - Development of adsorptive composite panel using charcoal of recycled wood wastes
 - Evaluation of incombustibility and adsorption of toxic components of charcoal of recycled wood wastes
 7. Improvement of manufacturing technology of molded products
 - Influence of recycled raw material types and shapes on desk table performance

- Synthesis and application of resin adhesives and evaluation of desk table properties
 - Reduction of formaldehyde emission of desk table
 - Optimization of manufacturing conditions for desk table
 - Manufacturing desk table using non-formaldehyde resin
8. Development of functional composite paperboard using recycled waste papers
- Defiberation of recycled paper and analysis of fiber characteristics
 - Manufacturing of functional composite board using recycled waste paper
 - Manufacturing of biodegradable film for panel using recycled waste paper
 - Manufacturing of thermoplastic composite board using recycled waste paper
 - Manufacturing of highly substituted cellulose acetate using recycled waste paper

IV. Research and Application of The Project

1. Improvement of recycling system of wood waste resources

Wood wastes are being frequently disposed of illegal ways of burning or land filled without recycling and adding value. Recycling industry of wood wastes has low competitiveness due to cheap raw material cost. In order to increase recycling rate of wood wastes, legitimations have to be revised so that wood wastes coming out of new construction sites should be separated and collected, and burning should be abandoned.

In addition, there is a need to revise regulations about report and transportation of wood wastes, which has to be compatible with reality. Basic recycling facilities for urban wood wastes should be expanded, and it is necessary for recycling industry to impose recycling cost, which will improve financial circumstance. Furthermore, it is needed to strengthen purchase priority of products made of recycled wood wastes. It is necessary to legislate a law of 'Improvement of recycling of wood wastes' in order for these needs to be satisfied.

2. Development of synthesis and utilization of high performance adhesives

This study was conducted to abate formaldehyde emission of particleboard through resin adhesive technologies of synthesis and its application. For urea-formaldehyde (UF) resin, one of the most important ways of reducing formaldehyde emission is to lower formaldehyde/urea (F/U) mole ratio. In this study, UF resin with a F/U mole ratio of 1.0 was synthesized for particleboard, and its formaldehyde emission was reduced to 0.5mg/ℓ. Urea-formaldehyde prepolymer (UFP) was developed for UF resin adhesives, which could reduce formaldehyde emission of particleboard as well as reduce resin cost at the same time, and submitted for patent (Pending number : 10-2006-0062545). For urea-melamine-formaldehyde (UMF) resin, lowest formaldehyde emission was found at the post addition of 5% melamine, and a F/U mole ratio of 1.0. To further reduce formaldehyde emission, UF-EMDI (emulsified MDI) resin was prepared and applied for particleboard. A polyol with a molecular weight of 1000 was best for the preparation of pMDI prepolymer which was emulsified to prepare EMDI. 5% of EMDI in UF resin was best in lowering formaldehyde emission of particleboard. UF-EMDI resin. An optimum resin content of UF-EMDI resin was 6% for particleboard. All these results were applied for on-line particleboard production in a mill and its reliability was evaluated.

3. On-line test of manufacturing particleboard using recycled wood wastes.

On-line production of particleboard was tested on the basis of experimental results in laboratory. Three different adhesive systems including UF resin with low F/U mole ratio, UFP, and UF-EMDI resins were applied, and the results were summarized as followings:

UF resin with low F/U mole ratio was synthesized in a real size reactor (5 tons), and applied for the on-line production of particleboard whose formaldehyde

emission satisfied E₁ grade requirement. The same resin in the laboratory satisfied E₀ grade requirement. The use of UFP resulted in a drastic reduction of formaldehyde emission when compared to those of commercial resin. The addition of UFP was able to abate formaldehyde emission and reduce resin cost, maintaining particleboard's properties. And formaldehyde emission of E₁ grade was obtained using UF-EMDI resin, and 5% EMDI in UF resin was effective lowering formaldehyde emission of particleboard.

4. Manufacturing technology of particleboard using recycled wood wastes and improvement of properties

In order to extend the use of low grade wood wastes like urban wood wastes as a raw material, proper methods of exploiting these wastes were investigated. Suitability of different types of wood wastes was evaluated for particle size distribution. The results on types and mixing ratio of wood wastes showed that about 30% of urban wood wastes was an optimum mixing percentage to relatively sound recycled wood wastes such as lumber, plywood, pallet etc. In addition, an optimum conditions for mat forming and hot-pressing processes were determined. Particleboard after end-use was hammer milled, and used as raw material for particleboard. But, these particles degraded particleboard properties because particles were resinated and densified. Therefore, these recycled particles were soaked in water for 1 hour at 60°C to impregnate fire retardants such as ammonium phosphate and mixture of borax and boron, which satisfied the requirement of fire resistance Grade 3 of fire resistant particleboard.

5. Development of recycling technologies of disposed wood tie

In order to develop effective recycling technologies of disposed wood ties, wood properties, residual creosote analysis, and proper method of removing creosote out of wood ties were investigated. Wood properties and anatomical characterization of wood tie showed that the internal area of creosote treated-wood tie was almost intact. The depth of penetration and residual amount of creosote was relatively

small even though the wood ties were exposed to exterior condition. Creosote was effectively removed by treating hammer milled particles of wood ties with alcohol, benzene, or chlorine-based bleaching agent, and was able to manufacture particleboard. But, there were some problems in recycling creosote-treated wood ties such as odor, texture, and appearance. Thus, assembled sidewalk blocks were developed using creosote-treated wood ties, which paved ways of adding values. It was expected that this sidewalk block could be put into practice since it could down the cost about 35%. But, in order for this sidewalk block to be commercialized, there is a need to revise the law of 'Regulations of Waste Materials Management' by taking reality into consideration.

6. Carbonization of wood wastes difficult to recycle

Carbonization of low grade wood waste materials difficult to recycle is desirable for the production of charcoal. Charcoal was produced through the carbonization of wood wastes difficult to recycle, and was developed as charcoal composite board of incombustible and adsorptive of toxic material. This technology could not only reduce the disposal cost of urban wood wastes, but also add values to building products of absorbing toxic material. This technology is in processing of submitting patent and putting practice in reality. This study investigated optimum temperature of carbonization and development of carbonization facilities for complete removal of smoke.

7. Improvement of manufacturing technology of molded products

Desk table for students was developed using recycled wood wastes to replace existed desk table imported. This study was conducted to improve quality and productivity of molded product, i.e. desk table for students in cooperation with Dorim Industry Limited, which was a producer of desk table using recycled wood wastes.

The performance of recycled wood particles from different types of wood wastes was good in the order of lumber, plywood, or particleboard, and maximum mixing

percentage of recycled wood particles from particleboard was about 70%.

Urea-melamine-formaldehyde (UMF) resin was best for bonding of molded products, and an optimum mole ratio of F/(U+M) was below 1.35 in terms of formaldehyde emission. Urea solution was an effective method of lowering formaldehyde emission of desk table. Shortening of about 20 seconds for hot-pressing process was possible. The use of pMDI resin resulted in the reduction of formaldehyde emission to $0.35\text{mg}/\ell$, and it was possible to make particleboard at 8% moisture content, which could made it possible to expand the use of pMDI resin. However, the extension of molded products using recycled wood wastes requires to give purchase priority for environmentally friendly products.

8. Development of functional composite paperboard using recycled waste papers

This study made an effort of developing chemical modification and paperboard manufacturing technologies of waste paper difficult to recycle in order to add values to waste paper out of urban lignocellulosic materials. Important achievements of this project were the production of highly substituted cellulose acetate and the development of functional composite paperboard.

Cellulose acetate was prepared through acetylation of hydroxyl groups present in waste paper, and the degree of substitution was about 2.47, which was slightly greater than that of commercial cellulose acetate. Thermal analysis of cellulose acetate prepared showed a melting temperature which was about 40°C lower than that of commercial one, indicating that this acetate had advantage of co-polymerization with polymer and was expected to create demands.

And an optimum loading percentage of waste paper was about 20% for the preparation of paper-thermoplastic composite board, and this composite board had better thermal resistance than those of commercial polymers. Properties of waste paper-thermoplastic composite were evaluated as well as cost analysis for their production.

CONTENTS

SUMMARY

1. Outline of The Research Project

2. Status of Technology in Domestic and Abroad

3. Results of The Research

3.1. Improvement of recycling system of wood waste resources

3.2. Development of synthesis and utilization of high performance adhesives

3.3. On-line test of manufacturing particleboard using recycled wood wastes

3.4. Manufacturing technology of particleboard using recycled wood wastes and improvement of properties

3.5. Development of recycling technologies of disposed wood tie

3.6. Carbonization of wood wastes difficult to recycle

3.7. Improvement of manufacturing technology of molded products

3.8. Development of functional composite paperboard using recycled waste papers

4. Contribution to Related Industry

5. Application

6. Technical Information from Abroad during the Research

7. References

목 차

요약문	1
Summary	8
제 1 장 연구개발과제의 개요	20
제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성	20
제 2 절 연구개발의 범위	21
제 2 장 국내외 기술개발 현황	26
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	31
제 1 절 목질폐기물의 순환이용 시스템 개선	31
1. 서 설	31
2. 폐목재의 발생실태	36
3. 폐목재의 재활용실태	42
4. 폐목재의 발생·처리과정 및 재활용상의 문제점	51
5. 외국의 폐목재 재활용 사례	55
6. 폐목재 순환이용시스템 확립을 위한 제도개선 방안	66
제 2 절 고성능 접착제의 합성·이용기술 개발	79
1. 서 설	79
2. 요소수지의 합성방법, 경화거동 및 화학적 구조 구명	81
3. 요소수지 접착제용 포름알데히드 포집제 영향	101
4. 요소·멜라민수지의 합성방법, 경화거동 및 화학적 구조 구명	116
5. 요소·EMDI 혼용수지의 제조 및 경화거동	134

제 3 절 폐목질 재생보드 제조실연시험	160
1. 서 설	160
2. 요소수지 접착제 합성 실연 및 파티클보드 제조실연	161
3. 요소·멜라민수지와 요소·EMDI 혼용 수지를 이용한 파티클보드 제조실연	170
제 4 절 폐목질 재생보드의 제조기술 및 성능개선	179
1. 서 설	179
2. 폐목질의 파티클보드원료 사용실태 및 제조공정 조사	180
3. 폐목질원료의 파쇄시험 및 파쇄특성	186
4. 폐목질원료 종류 및 혼합비율에 따른 재생보드의 물성	190
5. 공정요인별 재생보드의 물성	207
6. 폐목질원료의 전처리에 따른 파쇄특성	209
7. 내화성 재생보드 제조 특성	213
제 5 절 폐침목의 재활용기술 개발	222
1. 서 설	222
2. 폐침목의 재질 및 크레오소트유의 잔류 특성 조사	224
3. 폐침목으로부터 크레오소트유 추출 기술 개발	233
4. 폐침목으로 제조한 파티클보드의 방부성능	243
5. 크레오소트유 무취보드 제조를 위한 폐침목 적정 혼합비 구명	247
6. 폐침목으로부터 크레오소트유의 용탈성 조사	250
7. 폐침목을 이용한 데크블럭 제작	253
제 6 절 난재활용 폐목질자원의 열분해 이용	258
1. 서 설	258
2. 폐목재 탄화물의 제조와 특성	259
3. 폐목재의 열분해성 조사	272
4. 재활용숯 복합보드의 제조	277

제 7 절 폐목질 성형제품 제조기술 개선	286
1. 서 설	286
2. 폐목질 재료에 의한 학생용 책상판 성형의 현황 및 문제점	288
3. 책상판의 성능에 미치는 재생원료의 종류와 형상의 영향	296
4. 책상판 제조용 수지 접착제의 합성과 성능	308
5. 책상판의 포름알데히드방출량 감소	319
6. 책상판의 성형공정 개선	326
7. 책상판 제조조건 최적화와 불량률의 감소	335
8. 비포름알데히드계 수지에 의한 책상판의 제조기술 개발	341
9. 시제품 제작	358
제 8 절 폐지를 이용한 기능성 복합보드 개발	360
1. 서 설	360
2. 폐지의 해리처리기술 개발	362
3. 폐지를 이용한 고치환도 아세테이트 및 생분해성 필름 제조	374
4. 폐지를 이용한 기능성 보드 제조	385
5. 완충용 폐지보드 제조기술 개발	391
6. 폐지를 이용한 고분자 복합소재 개발 및 현장 적용성 검토	397
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	414
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	420
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	423
제 1 절 일본의 목질폐기물 재자원화대책 추진상황	423
제 2 절 이태리의 목질폐기물 재자원화 현황	432
제 3 절 목질재료용 접착제의 최근 동향	439
제 7 장 참고문헌	441

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성

폐기물의 재자원화는 21C의 지속가능한 자원순환형 사회 구축에 있어서 중요한 국가적 과제 중의 하나이다. 이 가운데 폐목재의 재자원화는 재생가능자원인 목재자원을 효율적으로 순환이용하면서 온실가스의 장기적 흡수저장기능을 확보하는 자원정책 및 환경정책적 차원에서 중요한 과제라고 할 수 있다.

우리나라에서는 연간 목재소비량의 약 40% 정도에 달하는 폐목재가 배출되고 있으며, 이 가운데 목재산업 폐재를 제외하면 재활용률이 아직 매우 낮은 편이다. 통계적으로 파악되는 폐목재(사업장폐목재, 건설폐목재, 생활폐목재)의 2/3가 재활용되지 못하고 있으며, 특히 생활폐목재는 거의 전량 소각 또는 매립 처리되고 있는 실정이다.

따라서 목재자원의 90% 이상을 수입에 의존해야만 하는 우리나라의 실정에서, 목질자원의 순환이용체계를 구축하여 자원재활용을 극대화하고, 환경부담을 최소화하는 동시에 국내 목재산업의 경쟁력을 강화해 나가야 할 것이다. 이와 같은 목질폐기물의 재자원화를 강화해 나가기 위해서는 첫째, 관련 법령 및 제도가 정비되어야 하며, 둘째, 제품의 생산·유통·이용·폐기 등 전과정에서 재자원화에 적합한 시스템 구축이 필요하며, 셋째, 효율적인 재활용기술 개발이 동시에 이루어져야만 할 것이다. 우리나라는 아직 폐목재의 순환이용에 관한 제도 및 시스템, 폐목재의 효율적 재활용을 위한 연구개발 및 산업화가 매우 미흡한 실정으로서 적극적인 제도정비 및 연구개발이 요청되는 상황이다.

이에 본 연구과제는 재활용률이 낮은 폐목재의 산업원료화 촉진을 위한 제도 및 시스템을 개선하고, 국내 산업의 경쟁력 제고를 위한 산업현장지향의 폐목재 재활용기술을 개발하고, 저급 폐목재의 적정처리 및 재생이용기술과 인체·환경친화형 접착기술 등의 원천기술을 개발하여, 목질자원의 순환이용시스템 구축에 기여해 나가고자 수행하였다.

제 2 절 연구개발의 범위

1. 목질폐기물의 순환이용 시스템 개선

본 과제의 연구목적 달성을 위해 목질폐기물의 배출·수집·재활용 실태를 조사하고, 목질폐기물의 순환시스템의 적정화를 위한 방안을 강구하였으며, 목질폐기물 재활용 촉진방안을 모색하여 목질폐기물의 순환이용 시스템의 확립을 위한 대안을 제시하였다. 본 연구에서 취급하는 목질폐기물은 건설현장에서 발생하는 건설폐목재, 생활폐가구의 폐기과정에서 발생하는 생활폐목재, 그리고 일반 제조사업장에서 발생하는 포장재나 팔레트 등의 폐목재인 물류폐목재를 주된 연구대상으로 삼았다. 연구의 추진에 있어서는 목질폐기물의 배출자, 중간처리업자, 그리고 재활용 이용자를 대상으로 실태조사를 수행하였으며, 일본 및 이태리의 폐목재 재활용실태에 관한 문헌조사 및 현장실태조사도 병행하였다. 본 연구개발의 범위는 다음과 같다.

- 목질폐기물의 배출·수집·재활용 실태조사
 - 폐목재의 유형별 발생 및 재활용 실태
 - 폐목재의 분리수거상의 문제점 분석
 - 폐목재 재활용상의 문제점 분석
- 목질폐기물 순환시스템의 적정화
 - 폐목재의 유형별 수집비용 분석
 - 폐목재의 순환시스템의 내용 및 조건 구명
 - 폐목재 순환시스템의 외국사례 조사
 - 순환시스템 확립을 위한 제도개선방안 강구
- 목질폐기물 재활용 촉진방안
 - 폐기물처리 및 재활용 관련법령 정비
 - 합리적 정부지원 방안 강구

2. 고성능 접착제의 합성·이용기술 개발

본 과제의 연구목적 달성을 위해 연구개발 범위는 요소수지, 요소·멜라민수지, 요소·EMDI 혼용수지의 특성구명으로 하였다. 요소수지 특성구명을 위해서는 합성조건인 가장 큰 요인인 F/U 몰비가 요소수지의 열경화거동과 화학적 구조에 미치는 영

향을 조사하고 각 F/U 몰비에 따른 요소수지를 이용해 파티클보드를 제조하고 그 물성에 미치는 영향을 평가하고자 하였다. 아울러 요소수지 접착제를 사용한 파티클보드의 포름알데히드방출량을 저감하고자 요소수지 접착제용 포름알데히드 포집제인 UFP를 합성하여 요소수용액과의 그 영향을 비교 평가하였다.

요소수지의 방출량을 더욱 저감하고자 소량의 멜라민을 첨가한 시험에서는 멜라민 합성방법, F/U 몰비 및 멜라민함량의 최적 조건을 구명하고자 이들 요인에 따른 요소·멜라민 수지 접착제의 경화거동, 화학적 구조 및 파티클보드의 물성을 평가 하였다. 아울러 요소·멜라민 수지용 포집제인 요소·멜라민·포름알데히드 프리폴리머를 합성하여 파티클보드에 적용하여 그 효과를 평가하였다.

마지막으로 아미노수지계인 요소수지와 PMDI 혼용수지를 이용해 파티클보드의 포름알데히드방출량을 저감하고자 요소·EMDI 혼용수지의 제조조건, 열경화거동 및 파티클보드의 포름알데히드방출량 및 물성을 평가하였다. 본 연구개발의 범위는 다음과 같다.

- 요소수지접착제
 - 요소수지의 합성방법 구명
 - 요소수지의 경화거동 및 화학적 특성 구명
 - 재생보드 적용 및 포름알데히드방출량 평가
- 요소·멜라민수지접착제
 - 요소·멜라민수지의 합성방법 구명
 - 요소·멜라민수지의 경화거동 및 화학적 특성 구명
 - 재생보드 적용 및 포름알데히드방출량 평가
- 요소·MDI수지혼용 접착제
 - 요소·MDI수지의 합성 및 제조방법 구명
 - 요소·MDI수지의 경화거동 및 화학적 특성 구명
 - 재생보드 적용 및 포름알데히드방출량 평가

3. 폐목질 재생보드 제조실연시험

본 연구는 제2세부과제(고성능 접착제의 합성·이용기술 개발)의 연구결과를 바탕으로 현장실연시험이 가능한 부분을 선정하여 실시하였다. 따라서 본 세부과제에서는 요소수지, 요소수지용 포름알데히드 포집제, 요소·EMDI 혼용수지를 현장 실연시험

에 적용하여 파티클보드의 포름알데히드방출량을 저감하고 그 물성을 평가하는 현장 적용성을 평가하는 것을 연구범위로 정하였다.

4. 폐목질 재생보드의 제조기술 및 성능개선

본 과제는 향후 재활용률을 증대시켜야 할 저급 폐목재를 보드원료로 활용하기 위한 기초기술을 확보하는 것을 목표로 하여 수행되었다. 따라서 양질의 폐목재(제재, 합판)에 대하여 저급 폐목재(폐가구 등)의 사용비율을 높이고자 적절한 혼합수준을 구명하였으며, 폐가구의 구성소재인 파티클보드를 보드원료로 적극 활용하기 위해 전처리(증기가열처리, 수침가열처리)에 의한 팽윤처리 효과를 구명하는 데 초점을 맞추었다. 또한 공정요인(접착·성형·열압)이 보드물성에 미치는 효과를 검증하여 적정 조건을 제시하고자 하였다. 아울러 수침가열에 의하여 압축고화된 재생파티클을 팽윤시킴과 동시에 목질원료에 내화약제를 주입하여, 혼용 구성함으로써 내화성을 갖는 파티클보드를 제조하고자 하였다. 본 과제에서 수행한 연구개발 범위는 다음과 같다.

- 폐목질원료의 파쇄특성 조사 및 재생보드원료 적성 구명
 - 폐목질원료의 파쇄특성 및 입도분포·형상 조사
 - 폐목질원료 종류, 혼용방법별 재생보드 제조 및 물성 평가
- 원료 및 공정요인에 의한 재생보드의 물성 개선
 - 저급폐목재의 전처리에 의한 팽윤처리효과 구명
 - 적정 접착·성형·열압 조건 구명
- 복합처리에 의한 재생보드의 내화성 부여
 - 적정 내화처리방법 구명
 - 내화성 보드 제조

5. 폐침목의 재활용기술 개발

폐침목의 효율적인 재활용을 위해서는 지속적으로 공급이 가능해야 하여 재질 변화, 크레오소트유의 잔류상태 등을 조사해야 한다. 따라서 폐침목의 발생실태, 재질 특성, 재중의 크레오소트유의 침윤도 및 잔류량 등을 조사하였다. 또한 폐침목에는 유해성 화학물질로 분류되고 있는 크레오소트유가 잔류되어 있기 때문에 인체 접촉 시 피부염을 일으키거나 토양 및 수질 오염의 원인이 될 수 있다. 따라서 재활용에 문제가 되는 크레오소트유의 효과적인 추출방법을 검토하였다. 폐침목 재활용의 최적 실

용화 방법을 도출하기 위하여 폐침묵으로 파티클보드를 제조하여 성능을 조사하였다. 또한 크레오소트유의 방부성능을 살리기 위해 크레오소트유를 제거하지 않은 폐침묵 파티클로 보드를 제조하여 기계적 성질과 함께 목재부후균에 대한 방부효력을 조사하여 폐침묵을 이용한 방부 파티클보드 제조 가능성을 조사하였다. 폐침묵 중의 크레오소트유의 잔류상태를 조사하고 최근 개발되어 야외 및 실내에 시공되고 있는 테크블럭용으로의 용도개발에 대해서 검토하였다.

6. 難재활용 폐목질자원의 열분해 이용

우리나라에서의 폐목재 발생량은 연간 목재소비량의 약 40% 정도에 달하며, 이 가운데 목재가공산업의 폐목재를 제외하면 아직 재활용율이 매우 낮으며, 특히 생활폐목재는 거의 대부분 소각 또는 매립 처분되고 있는 실정이다. 그러나 책상, 가구와 같은 생활폐목재는 종이, 플라스틱 등 다른 생활폐기물에 비해 발열량이 높아 소각장에서도 회피하고 있는 현실이다. 공장에서 제조된 중밀도섬유판(MDF)이나 파티클보드는 실제 가구, 싱크, 책상 등 생활용품으로 이용시 대부분이 수지 함침지에 의해 다시 피복되므로 재활용이 어렵고, 콘크리트 거푸집용으로 사용되는 합판은 페놀수지가 함침된 테고필름에 의해 피복되어 있어 또한 재활용하기 어렵다. 더욱이 폐침묵은 크레오소트유의 용탈에 의한 환경오염 문제로 재활용이 곤란하다.

본 연구에서는 재활용이 곤란한 이들 4종의 폐목재를 활용하여 열분해 방법에 의해 탄화물과 목초액을 제조하여, 이들 물질의 토양개량제로서의 이용 가능성을 검토하였다. 그리고 재활용숯을 이용하여 포름알데히드 등 유해물질을 흡착하는 새로운 건축자재로 재활용하는 방안을 모색하였다. 본 연구개발의 범위는 다음과 같다.

- 난재활용 폐목재의 탄화물 제조와 특성
 - 탄화온도별 탄화수율조사
 - 재활용숯의 품질평가와 이용방안
 - 목초액의 품질평가와 이용방안
- 폐목질 재활용숯을 이용한 흡착성 복합보드 제조
 - 재활용숯을 이용한 복합보드 제조기술
 - 재활용숯 복합보드의 난연성 및 유해물질 흡착력
- 폐목재의 재활용숯 이용제품의 경제성 분석 및 산업화

7. 폐목질 성형제품의 제조기술 개선

본 협동과제에서는 참여기업과 공동으로 목질성형품의 제조에 있어서 가장 문제가 되고 있는 생산성 향상과 제품불량의 최소화라는 목적을 달성하기 위해 폐목질 성형제품의 제조기술을 개선하고자 하였다. 주요 연구내용으로는 먼저 생산성 및 품질저하 요인분석을 통하여 연구결과를 도출하였다. 주요 연구내용 및 범위는 다음과 같다.

- 제품성능에 미치는 재생원료의 종류와 형상의 영향
- 수지접착제의 합성, 적용 및 책상판 성능평가
- 책상판의 포름알데히드방출량 감소
- 책상판의 성형공정 개선 및 제조조건 최적화
- 비포름알데히드계 수지에 의한 책상판의 제조기술 개발

8. 폐지를 이용한 기능성 복합보드 개발

본 연구과제에서는 목질계 생활폐기물 중에서도 폐지를 재활용하여 자원화하기 위한 연구로서, 아직 완전한 재활용이 어려운 폐지류 자원의 구체적인 활용방안을 제시하고자 '폐지를 이용한 기능성 복합보드 제조 기술'에 대한 연구를 다음과 같이 구분하여 수행하였다.

- 폐지류의 해리 및 섬유특성 분석
- 폐지를 이용한 기능성 복합재 제조
- 폐지를 이용한 판상용 생분해성필름 제조
- 폐지를 이용한 합성수지복합보드 제조
- 폐지를 이용한 고치환도 셀룰로오스 아세테이트 제조

제 2 장 국내외 기술개발 현황

1. 목질폐기물의 순환이용 시스템 개선

국립산림과학원의 조사결과에 의하면, 우리나라에서 발생한 폐목재는 약 1,100만m³로서 우리나라 연간 총목재사용량의 40%에 달하는 것으로 나타나 폐목재의 활용이 우리나라의 경제 산업에 미치는 영향은 매우 크다고 할 수 있다. 그러나 폐목재의 중간처리업체가 아직 미미하고 각종 제도상의 문제점으로 인하여 보다 적극적인 활용을 위한 제도적 장치의 보완이 필요한 실정이다.

일본의 대표적인 폐목재 재활용업체인 도쿄보드공업(주)과 한국의 대표적인 폐목재 재활용업체인 (주)동화기업의 폐목재 재활용실태를 비교해 보면, 우리나라는 법규 및 순환시스템상의 미비로 인하여 다량의 폐목재가 건설현장에서 다른 폐기물과 혼합된 상태로 배출되고 있다. 또한 일본은 폐목재 배출자가 재활용업체에 처리비를 지불하고 있는데 비하여 우리나라는 폐목재 재활용업체가 많은 비용부담을 안고 있으며, 원자재의 공급도 불안정하여 폐목재재활용업체의 존립여건이 취약함을 알 수 있다.

또한 이태리의 파티클보드 산업의 경우에도 양질의 폐목재를 확보할 수 없는 자원 사정으로 인하여, 원재료의 대부분을 저급 생활폐목재로 사용하고 있다. 생활폐목재는 그 특성상 각종 이물질 제거하기 위한 기술이 확립되어 있지 않으면 파티클보드용 원자재로 사용하기가 매우 어렵다. 이태리는 저급 생활폐목재의 선별 및 이물질 분리 공정이 매우 우수한 기술수준이 확립되어 있다는 점에서 시사하는 바가 크다. 우리나라가 앞으로 생활폐목재를 단순히 소각하여 열을 이용하는 저급의 재활용수준에서 벗어나기 위해서는 이태리와 같이 고도의 기술과 장비를 갖추기 위한 노력이 필요하다. 아울러 외국의 사례에서 볼 수 있는 바와 같이, 우리나라의 현실 여건에 부합한 폐목재의 순환이용시스템을 조속히 확립할 필요가 있다.

2. 고성능 접착제의 합성·이용기술 개발

각국의 목질보드용 아미노계 접착제에 대한 연구는 대부분 포름알데히드방출량을 저감에 대한 것으로 각 나라별로 강화되는 포름알데히드방출량 규제에 대응하기 위해 노력의 일환으로 수행되고 있다. 최근 일본의 경우 포름알데히드방출량 등급 중 E₂ 등급(5.0mg/ℓ 이하)을 규제에서 제외시키고 super E₀라고 불리는 F☆☆☆☆ 등급(0.3mg/

l 이하)을 신설하여 관리하고 있다. 따라서 목질보드 특히 파티클보드의 포름알데히드 방출량을 저감시키기 위한 노력이 어느 때보다 강화되고 있다.

한편 국내에서는 환경부 주도로 소위 '실내공기질관리법'이 시행되어 목질보드 제품을 포함한 건축내장재에 대한 규제가 가해지고 있다. 따라서 국내의 목질보드제조 업계에서는 이에 대한 적절한 대응책을 강구해야 할 형편에 있다. 이 대응책은 아미노계 수지 특히 요소수지 접착제에 대한 연구가 선행되어야 하며 이를 위해서 본 과제에서는 요소수지의 합성방법 중 F/U 몰비가 요소수지의 열경화거동에 미치는 영향과 그 화학적 구조 구명을 시도하였다. 아울러 요소수지 접착제용 포름알데히드 포집제인 요소-포름알데히드 프리폴리머(UFP: urea-formaldehyde prepolymer)를 자체 합성 개발하여 특허를 출원하였으며 이는 향후 포름알데히드 방출량 저감과 생산비용 절감이라는 측면에서 이용이 촉망된다.

또 요소·멜라민수지 접착제의 합성방법, F/U 몰비 및 멜라민함량 등에 대한 기초적인 연구결과들은 향후 요소·멜라민수지 접착제의 연구에 기본 틀이 될 것으로 전망된다. 특히 소량, 즉 5%이하의 멜라민 함량으로 파티클보드의 포름알데히드 방출량 저감하는 방법은 합리적인 접근방법이라 할 수 있다.

아미노계 수지 접착제의 문제점을 극복하기 위한 요소·EMDI혼용수지에 대한 연구 결과는 향후 요소·EMDI혼용수지에 대한 기초 자료로 활용될 것이며 좀더 나아가 EMDI 수지에 대한 연구를 촉진 시킬 것으로 전망된다. 특히 요소·EMDI혼용수지에서 5% 정도의 EMDI와 6%의 함지올로 파티클보드의 포름알데히드 방출량의 저감효과를 나타낸 것은 앞으로의 연구에 많은 시사점을 던져 주고 있다.

3. 폐목질 재생보드 제조실연시험

국내 시장에 특별한 규제가 없어 파티클보드의 포름알데히드 방출량은 선진국 수준에 비해 너무나 큰 경우가 대부분이다. 이러한 현상은 국내의 파티클보드제조 공장에 사용한 접착제의 품질과 그 적용기술의 한계에 기인한다. 선진 외국의 목질보드 및 목재용접착제 회사들은 포름알데히드 방출량을 저감하기 위해 자체적으로 요소수지에 대한 많은 기술적 경험을 축적하여 점차 엄격해지는 환경규제에 대응하고 있다.

포름알데히드 방출량을 가장 엄격히 규제하는 독일 등 유럽국가들은 요소수지와 요소·멜라민수지 접착제의 사용에서 발생하는 포름알데히드 방출 문제를 해결한 것으로 알려져 있다. 일본에서는 주거용 자재로서 요소수지와 요소·멜라민수지 접착제 사용으로 인한

포름알데히드방출량을 최소화시키는 노력을 기울이고 있다.

본 현장실연시험에서 수행한 저 물비 요소수지 현장 적용은 국내 파티클보드업계에서 최초로 시도된 것으로 E1등급의 파티클보드제조 성과는 향후 포름알데히드방출량 저감 기술에 대한 기초적 기술축적을 한 것으로 평가 될 수 있다. 아울러 포름알데히드 포집제(UFP)의 적용은 포름알데히드방출량 저감뿐만 아니라 생산비용 절감이 가능하였으며, 현재 특허출원(출원번호 : 10-2006-0062545) 중이므로 향후 기술이전이 가능할 것으로 판단 된다.

4. 폐목질 재생보드의 제조기술 및 성능개선

세계적으로 폐목질원료의 재자원화 확대는 중요한 과제가 되고 있으며, 우리나라와 같이 수입목재 의존도가 높은 상황에서는 저급 목질폐기물의 보드원료 활용도를 높여 가야만 할 것이다. 국내에서는 아직 폐가구류 등 저급 폐목재의 보드원료화 연구는 초기단계이다. 일본에서는 '목질폐기물재자원화 기술개발사업'을 1990년대부터 적극 추진해 왔으며, 도쿄보드(주)와 같은 파티클보드 제조업체에서는 자체적인 기술개발을 통하여 건식공정에 의한 폐목재 리사이클 기술을 구축하고 있다. 일본삼립총합연구소에서는 표면가공 파티클보드 등을 재생한 2차 리사이클보드를 제조하여 성능을 평가하고, 건전 파티클과의 혼용 및 성능개선 연구와 함께 폐목질 파티클에 포함된 금속 제거장치 개발에 대한 연구를 수행하였다.

한편, 이태리의 Pal社에서는 저급 생활폐목재의 리사이클을 위하여 이물질 분리·파쇄·선별·분류 등 기계설비를 개발, 보급해 왔으며, 우리나라의 파티클보드공장에서도 이태리의 리사이클설비를 도입하여 생활폐목재의 원료이용을 확대해 나가고 있다.

5. 폐침목의 재활용기술 개발

국내·외적으로 지금까지 폐침목 재활용을 위한 연구는 전혀 수행된 바 없으며 폐침목 중의 크레오소트유의 잔류상태에 대해서도 조사된 바 없다. 본 연구를 통하여 폐침목의 재질 및 크레오소트유의 잔류특성이 밝혀진다면 매년 많은 양이 지속적으로 발생하는 폐침목의 새로운 고부가가치의 재활용 방법이 개발될 것으로 예상된다.

6. 難재활용 폐목질자원의 열분해 이용

국내에서의 폐목재를 이용한 열분해에 관한 연구를 살펴보면, 박 등은 90년대 초 죽세가공의 폐죽을 이용한 대나무숯을 제조하여 실내 장식품이나 고급연료로 재활용하는 기술을 개발하여, 산업화에 성공하였다. 김 등은 미이용 목질폐잔재로서 간벌재의 탄화와 탄화물의 특성, 목질재료의 탄화와 탄화물의 특성, 목질폐잔재 탄화물의 수질정화 효과 및 목질재료 탄화물의 흡착 특성에 관한 일련의 연구를 수행하였다. 최 등은 폐목재와 숯을 활용하여 보드를 제조하고 신용도를 개척하였다. 이와 같이 폐목재를 원료로서의 이용법 외에도 버려진 자원을 열분해하여 탄화물로 이용하려는 연구가 점차 활발히 추진되어 가고 있는 실정이지만, 아직 산업화에는 미치지 못하고 있는 실정이다.

한편, 일본에서는 90년대 초부터 국가프로젝트로서 유기성 폐기물의 탄화처리와 유효이용에 관한 광범위한 연구를 수행하였다. 각종 폐기물로부터 흡착용 탄화물·활성탄의 제조방법과 유효이용, 폐목재로부터 활성탄의 제조와 용도개발, 목질계 탄화물의 탄화처리와 용도개발 등 기초와 응용에 이르기까지 광범위한 연구를 수행하였다. 산업화를 위한 폐기물 탄화처리 시스템 개발에 이어 고유가 시대를 대비하여 폐기물을 이용한 탄화연료의 제조와 장치 개발 등 폐기물의 열분해 탄화이용 기술은 실용화한 가운데 있다고 할 수 있다. 또한, 폐목재의 탄화 이용시 우려되는 환경오염물질에 대한 안전대책을 확보하여 도심에서도 탄화시설을 확대해 가고 있다.

7. 폐목질 성형제품의 제조기술 개선

현재 국내·외에서 폐기 목질재료를 이용하여 학생용 책상판을 개발한 사례는 거의 없다. 국내의 한 기업에서 섬유판으로 제조된 폐전자기판을 다시 적층 가공하여 제조한 책상판을 일부 보급하고 있으나, 대부분의 학생용 책상판에는 수입 남양재합판이 주로 사용되어 왔으며, 이로 인해 국내 산업의 경쟁력이 약화되고, 목재이용의 친환경성이 떨어지고 있다.

현재의 국내 초·중·고 및 대학생은 약 1,000만 명으로 사실 학원이나 특수학교 등을 포함하면 약 1,500만조 이상의 책상판이 사용되고 있을 것으로 추정된다. 이들 중 매년 약 10%에 해당되는 150만조 정도의 책상판이 교체되는 것으로 추정되어 매년 막대한 양의 책상판용 합판을 수입하게 되고 많은 외화를 지불해야만 한다.

본 연구의 대상재료인 성형책상판은 100% 국내의 폐기 목질재료를 이용하여 제조

되고 있을 뿐만 아니라 인체에 적합하도록 설계되어 있으며, 표면에는 내마모성이 강한 LPL(저압 열경화성수지 함침시트)를 오버레이가공하여 표면이 쉽게 손상되지 않는 제품이다. 특히 열경화성수지를 함침시킨 LPL을 곡면부분에 원스톱 시스템으로 성형 마감하는 기술은 세계적으로도 뛰어난 기술이다.

이와 같은 폐목질 재활용산업의 활성화를 위해서는 해결해야 할 과제가 있다. 첫째, 폐기 목질재료의 원활한 분리·수집, 둘째, 해체 및 분리에 의한 적정 원료화, 그리고 재활용제품의 제조기술 개선 등이다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 보다 적극적인 제도적 지원이 필요하며, 아울러 제조공정기술의 개선과 에너지 절감기술의 개발이 요구된다.

책상판의 성능과 생산성에 원료인 폐목질 파티클 못지않게 중요한 인자가 접착제이다. 책상판의 제조 초기에는 요소수지접착제가 사용되었으나, 내수성능과 포름알데히드방출량 등의 문제로 인해 현재는 요소·멜라민수지로 대체되었다. 또한 최근에는 포름알데히드방출량에 대한 기준이 한층 강화되었다. 따라서 책상판의 제조시 제품생산성 및 품질안정성에 적합한 접착제 제조기술이 개발되면 책상판뿐만 아니라, 다양한 가구재료 제조분야에 응용이 가능하여 경제적 가치가 매우 크다고 할 수 있다.

8. 폐지를 이용한 기능성 복합보드 개발

현재 국내에서 폐지를 이용한 복합소재 개발에 관한 구체적인 연구사례는 극히 부족하며, 조폐공사가 폐지와 합성 고분자를 혼합하여 보드 및 단열재로서의 사용을 시도하였지만 상업화되지는 못한 사례가 있다. 국외의 경우에는 미국에서 폐지의 셀룰로오스의 완충성과 복원력 등의 성질을 이용하여 자동차 내장재의 사용이 시도되었으며, 더 나아가 건축용 프레임, 가전제품, 사무용기, 공산품의 응용이 시도되었지만 성형가공기술과 고분자합성기술등은 아직도 미흡한 현실이다. 또한, 일본의 경우 지류·합성수지체(PASCO)를 개발하여 폐지섬유와 합성수지의 복합소재에 대한 가능성을 크게 하였고, 산업화도 추진 중에 있다. 그러나 아직 가공작업의 적성과 설비시스템의 자동화 및 성형기술 기술 등을 위한 많은 선결과제가 남아 있는 것으로 알려져 있다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 목질폐기물의 순환이용 시스템 개선

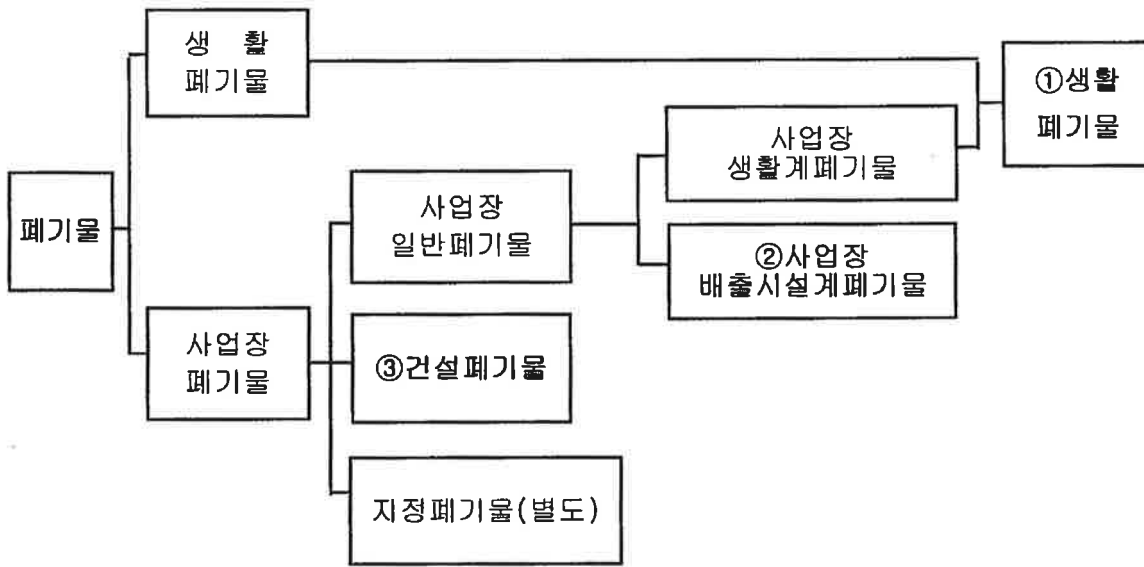
1. 서 설

가. 폐기물의 발생원별 처리현황

전국적으로 발생하는 폐기물은 생활폐기물과 사업장폐기물로 대별할 수 있고, 사업장폐기물은 다시 사업장일반폐기물, 건설폐기물 그리고 지정폐기물로 세분할 수 있다 <그림 1-1>.

지정폐기물은 별도의 통계로 작성되고 있으므로 지정폐기물을 제외한 나머지 폐기물에 대한 통계를 살펴보면 2004년도 현재 하루 약 30만 톤이 발생하고 있으며, 발생량의 크기로 보면 건설폐기물, 사업장폐기물, 생활폐기물의 순으로 발생되고 있다. 처리내역을 보면 재활용실적은 건설폐기물의 경우 약 91%에 달하며, 생활폐기물은 약 49%에 불과한 것으로 나타나고 있다. 이 가운데 목재류에 대해서 살펴보면 발생량의 약 2%인 6,519톤이 매일 발생하고 있는 것으로 나타나고 있으며 건설폐기물이 가장 많고 그 다음이 생활폐기물이다. 발생한 폐목재는 전체적으로 41.8%가 소각처리되고 있으며, 재활용은 35.1%로 나타나고 있다. 재활용되는 것은 주로 건설폐목재와 사업장폐목재이며, 생활폐목재는 극히 적은 양만이 재활용되고 있다.

2004년 현재 환경부 통계에 의하면 매일 배출되는 생활폐기물 가운데 음식물·채소류, 종이류 다음으로 세 번째로 많은 하루 발생량의 4.8%가 폐목재임을 감안해 볼 때 생활폐목재의 재활용 우선정책은 당연하다고 볼 수 있다. 또한 건설폐기물의 경우에도 불연성 건설폐기물 가운데 폐벽돌이나 폐토사의 1/2~1/3 수준으로 재활용 의무대상 건설폐기물에 비해 결코 적지 않은 양이 배출되고 있을 뿐만 아니라 가연성 건설폐기물 가운데는 가장 많은 양을 배출하고 있는 것으로 조사 보고하고 있다. 폐골재 등은 재활용정책이 활발함에도 불구하고 목재자급률이 10% 이내에 불과한 우리나라가 폐목재의 재활용대책이 매우 미약하다는 것은 큰 문제가 아닐 수 없다.



<그림 1-1> 폐기물관리법(제2조) 및 폐기물통계(①, ②, ③)에서의 폐기물 분류체계

<표 1-1> 폐목재의 종류별 발생량 및 처리현황 (2004년) (단위 : 톤/일)

구분	계	생활폐목재			사업장 폐목재	건설 폐목재
		소계	생활 폐기물	사업장 생활계 폐기물		
발생량	6,519.1 (100%)	2421.0	2119.2	301.8	850.4	3247.7
매립	1,503.5 (23.1%)	1,204.5	1,053.3	151.2	13.8	285.2
소각	2,724.5 (41.8%)	1,150.5	1,040.6	109.9	385.2	1,188.8
재활용	2,291.1 (35.1%)	66.0 (2.7%)	25.3 (1.2%)	40.7 (13.5)	451.4 (53.1)	1,173.7 (54.6%)

* 자료 : 환경부 국립환경과학원(2005).

* 제재폐재 등 목재가공산업의 폐목재는 포함되지 않음.

<표 1-2> 생활폐기물의 전국 발생현황(2004)

구 분		발생량(톤/일)	비율(%)
가연성	음식물·채소류	11,464	22.9
	종이류	5,735	11.5
	나무류	2,421	4.8
	기 타	9,819	19.6
	소 계	29,439	58.9
불연성	연탄재	574	1.1
	금속·초자류	845	1.7
	기 타	4,284	8.6
	소 계	5,703	11.4
재활용품		14,865	29.7
총 계		50,007	100.0

* 자료 : 2004 전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 2005)

<표 1-3> 건설폐기물의 전국 발생현황(2004)

구 분		발생량(톤/일)	비율(%)	
가연성	종이류	478	0.3	
	나무류	3,248	2.2	
	폐합성수지류	1,687	1.1	
	기 타	1,608	1.1	
	소 계	7,021	4.7	
불연성	건 설 폐기물	폐 토 사	9,538	6.4
		콘크리트	95,806	64.5
		아스팔트	20,162	13.6
		폐 벽 돌	6,782	4.6
	소 계	132,288	89.1	
	금속류	1,025	0.7	
	유리류	313	0.2	
	기 타	7,842	5.3	
	소 계	141,468	95.3	
	총 계		148,489	100.0

* 자료 : 2004 전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 2005)

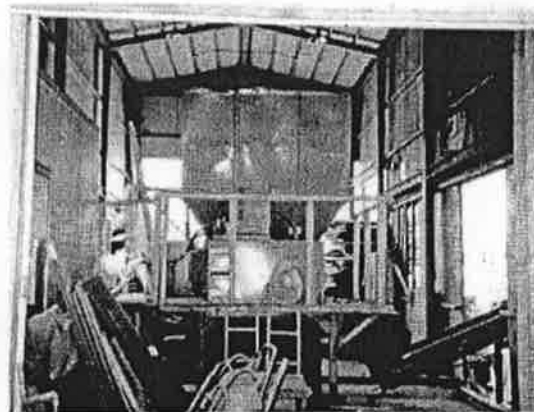
나. 연구대상 폐목재의 유형 및 연구목적

국립산림과학원의 2000년도 연구결과에서 구분한 5가지 유형 가운데 임지폐잔재는 주로 숲가꾸기의 산물로 발생하는 임목으로서 원목의 형태로 이용할 수 있음에도 불구하고 수집비용의 과다로 인하여 60.5%만이 활용되고 있는 것으로 나타나고 있다. 따라서 수집비용을 낮출 수 있는 방안, 예컨대 임도개설 및 임업기계장비의 보급 등의 별도의 방안이 수립된다면 활용률이 높아질 것으로 기대되므로 본 연구의 관심인 폐목재의 재활용과는 거리가 있다고 볼 수 있다. 산업가공폐목재는 제재소나 합판공장 등 주로 목재를 이용하여 제품을 만드는 과정에서 발생하는 부산물로서 전량 활용되고 있기 때문에 폐목재의 재활용이라는 관점에서 보면 연구의 관심대상이 아니다. 따라서 본 연구의 관심은 건설현장에서 발생하는 건설폐목재, 생활폐가구의 폐기과정에서 발생하는 생활폐목재, 그리고 일반 제조사업장에서 발생하는 포장재나 팔레트 등의 폐목재인 물류폐목재가 주된 연구대상이라 할 수 있다.

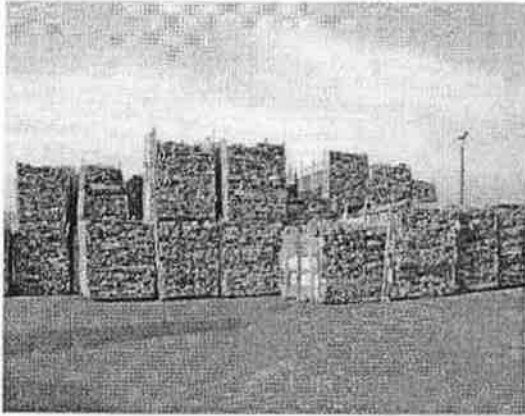
따라서 본 연구는 건설폐목재, 물류폐목재, 생활폐목재의 발생 실태 및 처리실태를 정확히 파악하고 재활용을 높이기 위해서 해결하여야 할 문제점을 제시하며 그에 따른 대안을 제시함으로써 목재자급률이 10% 미만에 불과한 우리나라에서 폐목재의 순환이용시스템을 갖추기 위한 방안을 확립하는 데 연구의 목적이 있다.



<그림 1-2> 수집된 생활폐목재



<그림 1-3> 생활폐목재 파쇄설비
(동대문구청)



<그림 1-4> 수집된 건설폐목재(PB공장)



<그림 1-5> 건설폐목재(재활용업체)

다. 연구방법

폐목재의 발생 및 재활용실태를 파악하기 위하여 폐목재의 발생 및 중간처리과정 그리고 재활용업체를 방문하여 심층면접조사를 실시하여 그 실태를 파악하였다. 폐목재의 주된 재활용 용도는 파티클보드 원료이므로 국내 파티클보드 제조회사 4개 업체에 대한 실태조사를 실시하였다. 원료의 수급실태에 대한 통계자료를 각 업체로부터 입수하였으며, 각 제조업체가 거래하고 있는 중간수집운반상의 현황을 파악하고 이들을 대상으로 개별 심층면접조사를 실시하였다. 이러한 연구과정을 통하여 파티클보드용 폐목재에 대한 실태파악이 가능하게 되었다.

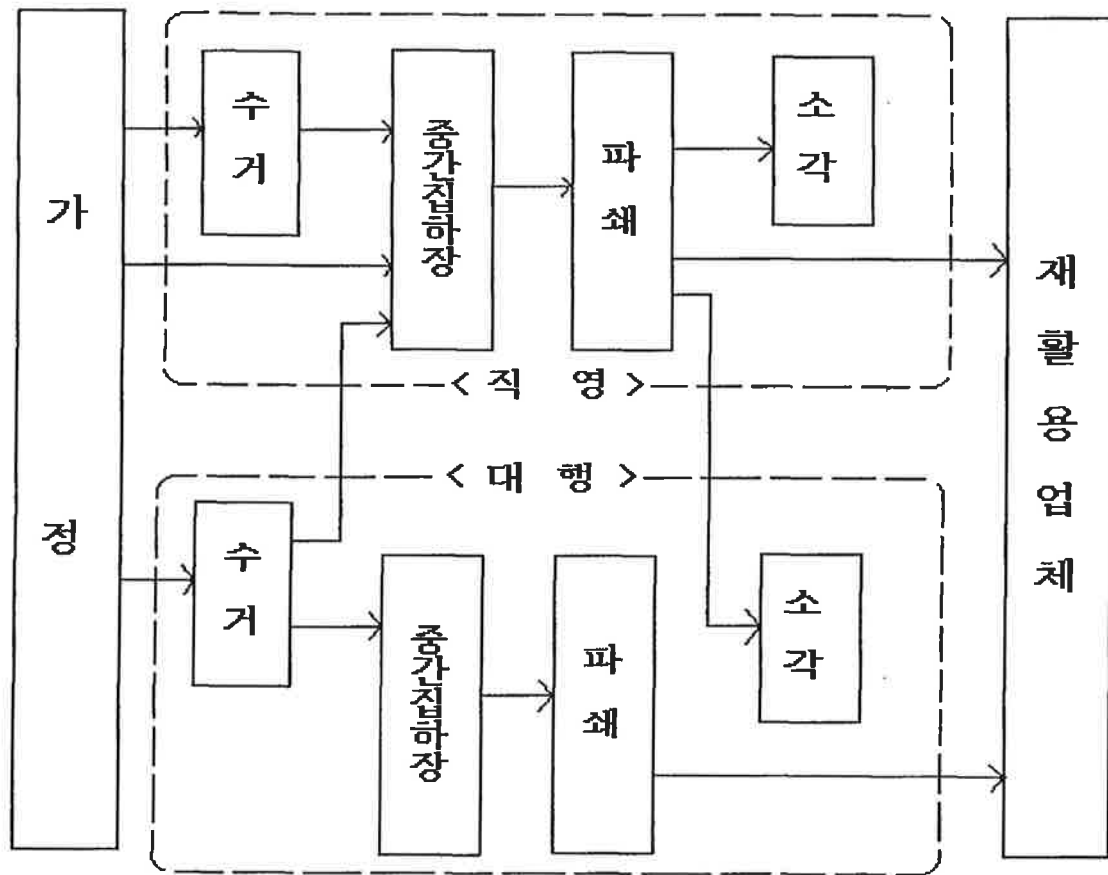
또한 생활폐목재의 실태를 파악하기 위하여 서울시청의 협조를 얻어서 각 구청에서 실시하고 있는 처리과정상의 특징에 대한 전수조사를 실시하였다. 25개 지자체구의 조사에 있어서는 미리 사전에 준비된 조사표에 기입하여 회수하는 방식을 취하였으며, 조사표는 수집·운반·처리 일반현황, 처리업체 현황, 대형생활폐기물 회수·처리 현황, 수집·운반·처리 수수료 수입현황, 발생원별 대형폐기물 처리량 및 처리비현황, 대형폐기물 처리효율도 등에 관한 설문사항으로 구성되어 있다. 회수된 설문지를 분석하여 폐목재의 발생 및 처리상의 특징을 파악하였으며, 심층 검토가 필요한 항목에 대해서는 구청에 대한 추가 면접조사와 현장 실태조사도 아울러 병행하였다.

또한 외국의 폐목재 활용실태를 파악하기 위하여 문헌조사를 실시하였으며, 본 과제의 총괄책임자를 중심으로 한 외국의 현장 실태조사 결과에 대한 내용도 참고하여 외국의 폐목재 재활용 실태에 대한 특징을 파악하고자 하였다.

2. 폐목재의 발생실태

가. 생활폐목재

생활폐목재는 대부분 가정에서 쓰고 버리게 되는 폐가구의 형태로 발생하게 된다. 가정에서 배출되는 생활폐가구는 구청이나 지자체의 청소수거차량에 의하여 관할 행정관내의 처리시설로 옮겨지거나 아니면 중간위탁처리업자에게 비용을 지불하여 수집하게 한 다음 중간처리시설이나 최종 처리시설로 운반 처리하게 된다.



<그림 1-6> 생활폐목재의 수집·처리과정

<표 1-4> 서울시 폐가구 회수·처리현황(2005)

단위 : (개, %)

품 목	수리후 재이용	소각이용 (열병합발전등)	단순소각처리	총 계
옷장, 서랍장	7,448 (3.8)	146,247 (75.4)	40,342 (20.8)	194,037 (19.7)
소파	3,598 (3.6)	41,577 (41.8)	54,280 (54.6)	99,455 (10.1)
책상	5,700 (5.1)	76,859 (69.1)	28,745 (25.8)	111,304 (11.3)
의자	4,282 (3.6)	71,712 (59.8)	43,908 (36.6)	119,902 (12.2)
캐비닛	702 (14.6)	3,225 (66.9)	892 (18.5)	4,819 (0.5)
신발장	1,418 (5.2)	19,463 (71.5)	6,343 (23.3)	27,224 (2.8)
싱크대	945 (3.2)	18,568 (63.2)	9,854 (33.6)	29,367 (3.0)
기타가구	12,188 (3.0)	266,796 (66.6)	121,728 (30.4)	400,712 (40.6)
서울시 전체	36,281 (3.7)	644,447 (65.3)	306,092 (31.0)	986,820 (100)

*주1) 서대문구청 자료는 집계에서 누락되었음.

2) 마포, 용산, 중구, 양천, 강남, 노원구청의 소각자료는 단순 소각이 아닌 재활용으로 간주하였음.

서울시 전체로 폐가구의 배출실태를 살펴보면 2005년도에 약 987천 개가 발생하였으며, 옷장·서랍장, 의자, 책상, 소파 등의 순으로 많이 배출되고 있다. 지자체구에는 재활용센터가 있어서 간단한 수리를 한 후 재이용하는 활용이 있는데, 이러한 방법으로 이용되는 것이 전체의 약 3.7%를 차지하고 있으며 품목별로는 캐비닛, 신발장, 책상 등이 많이 재사용되고 있다. 단순 소각 처리되는 비율은 개수기준으로 약 31%를

차지하고 있으며, 나머지 65.3%는 열병합발전용 연료 또는 파티클보드용 원료 등으로 처리되고 있는 것으로 나타나고 있다.

서울시의 사례를 보면 생활폐목재의 배출 신고방법은 25개 지자체 가운데 주민이 직접 동사무소를 방문하여 신고하는 경우가 절반 정도인 13개 자치구에 달하며, 기타 인터넷, 전화 등의 방법도 채택하고 있는 것으로 조사되었다. 특히 최근에는 인터넷 신고시스템이 구축되면서 인터넷 신고 비중이 높아지고 있는 추세를 보이고 있다.

생활폐목재의 수집과 운반은 서울시의 경우는 대부분이 구청에서 직접 수거하고 있으며, 일부지역은 직영으로 하면서 다른 일부지역에서는 위탁대행도 병행하는 경우가 있는가 하면 전부 대행을 시키는 지자체수도 5개에 달하고 있다. 최근에는 환경미화원의 감소에 따라서 위탁대행이 증가하고 있는 추세이다. 위탁대행의 경우는 수집·운반·처리수수료 징수액을 전부 위탁대행업체에 지불하여 처리하는 경우와 적절한 금액을 별도로 산정하여 지불하는 방법 등을 채택하여 운영하고 있다.

<표 1-5> 서울시의 생활폐목재 배출 신고 방법(2005)

구 분	인터넷 또는 방문	전화	방문신고	전화 또는 스티커
자치구수	6	5	13	1
자치구명	종로, 성북, 마포, 서대문, 강서, 양천	중구, 서초, 강남, 송파, 강동	나머지	금천

<표 1-6> 서울시의 생활폐목재 수집·운반방법(2005)

구 분	전부직영	일부직영, 일부대행	전부대행
자치구 수	17	3	5

생활폐목재가 중간처리시설에 옮겨지게 되면 주로 폐가구라는 특성 때문에 쇠붙이, 유리, 플라스틱의 부착물을 선별 분리하는 작업이 뒤따르게 되는데 이러한 작업은 서울시의 경우를 보면 주로 위탁대행으로 처리하고 있음을 알 수 있다. 선별을 마치고 나면 처리를 하기 위하여 적절한 크기로 파쇄하게 되는데 이러한 처리과정은 주로 대부분의 지자체에서 보유하고 있는 생활폐기물 적환장에서 이루어진다. 적환장 내에

파쇄기가 설치되어 있는 경우는 서울시의 경우 17개 자치구에 달하나 그 가운데 가동하지 않는 곳도 6개 자치구에 달하는 것으로 나타나고 있다.

<표 1-7> 서울시 생활폐목재의 선별방법(2005)

구 분	전부직영	일부직영, 일부위탁	전부위탁
자치구 수	6	1	18

<표 1-8> 서울시의 생활폐목재 적환장 및 파쇄기 설치 유무(2005)

구 분	적환장		파쇄기		
	있음	없음	설치		미설치
			가동	미가동	
자치구 수	22	3	11	6	8

<표 1-9> 서울시의 생활대형폐기물 수집·운반·처리수수료 징수실적(2005)

구분	계	가진	가구	기타
건수(천건)	1,425	240	913	272
금액(백만원)	8,059	1,144	5,369	1,546
평균단가(원/건)	5,657	4,762	5,879	5,699

서울시의 생활대형폐기물의 수집·운반·처리수수료 징수실적을 보면 징수액 약 81억원 가운데 약 67%에 해당하는 약 54억원이 폐가구에 대하여 징수하고 있어, 폐가구가 대형폐기물의 주요 취급대상임을 알 수 있다. 또한 건당 징수액도 폐가구가 가장 높다.

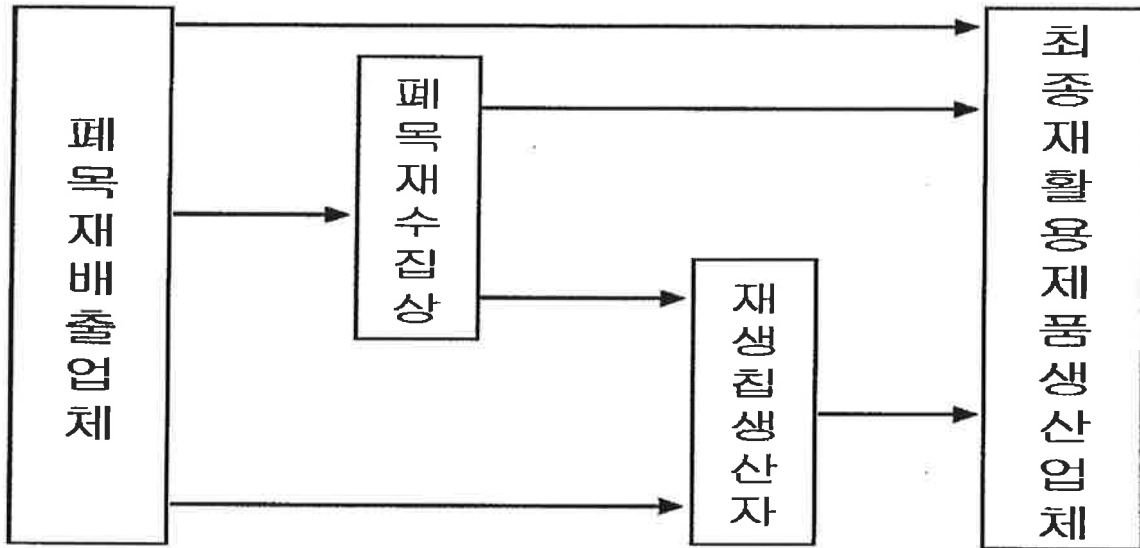
나. 건설폐목재 및 사업장폐목재

건설폐목재의 경우는 약 90%가 아파트 건설현장에서 발생하며, 나머지 10% 정도는 공장이나 학교의 철거 과정에서 발생하고 있다. 소규모 건설현장의 경우, 예컨대 폐목재 수집차량이 한 차 분량의 폐목재를 수집할 수 없을 정도의 양이 발생하는 경우는 대부분이 현장이나 인근의 일반가정이나 농업용 난방 등으로 자체 처리되고 있다. 대형 건설현장의 경우도 지하공사의 양에 따라서 폐목재의 발생이 많아지게 되는데 지하공사도 최근에는 목재를 안 쓰는 공법이 도입되어 목재사용량이 현격히 줄어들고 있다. 계절별로는 겨울철공사와 여름철 공사에 따라서 폐목재의 처리실태가 달라지는데, 여름철의 경우는 현장에서 소각 처리됨이 없이 전량 재활용되는데 비하여 겨울철에는 폐목재 발생량의 30% 가까이가 현장에서 난방으로 소각 처리되고 있다. 정확한 통계에 의거하고 있지 않지만 건설폐목재의 구입 활용업체의 이야기를 종합 정리해보면 건설폐목재 발생량의 약 30% 정도가 현장에서 수거 활용되지 않고 소각 등의 형태로 처리되고 있는 것으로 판단되며, 나머지 70% 정도가 재활용되고 있는 것으로 보인다. 발생량도 1990년대 말에 비하여 절반 수준에 불과한 것으로 보여 2004년의 경우 대략 150만^m의 건설폐목재가 발생하였는데, 그 중의 30%는 현장에서 처리되고 나머지 100만^m 정도가 파티클보드를 비롯한 여러 형태로 재활용된 것으로 추산된다.

사업장에서 발생하는 폐목재는 주로 전선드럼, 팔레트, 포장재 등 물류과정에서 발생하는 폐목재에 해당된다. 사업장 폐목재는 70% 가까이가 팔레트이며, 전선드럼이 20%, 포장재가 10% 정도 차지하고 있는 것으로 추산된다. 폐목재의 질을 보면 포장재가 가장 좋고, 그 다음이 전선드럼으로 나타나고 있다. 전선드럼은 한 번 사용하고 버리는 것이 아니고 몇 회에 걸쳐서 사용하고 있으며, 최근에는 목재 대신 금속류를 사용하는 경우도 있다.

건설이나 사업장에서 발생하는 폐목재는 폐목재를 전문으로 수집하는 수집상이 수집하여 파티클보드 등 최종제품 생산업체에 납품하거나 재생칩을 만드는 업자에게 납품하는 경우로 나뉘어 진다. 재생칩 생산업체는 현재 30개 업체가 영업하고 있으며, 이들 업체는 자체 보유차량을 이용하여 폐목재를 수집 활용하는 경우가 있고 일반 폐목재수집상에게서 구입하는 경우, 그리고 배출업자가 재생칩 공장에 갖다 주는 경우로 구분할 수 있는데, 자체차량을 이용하여 직접 수집하는 경우가 60~70%에 달하고, 배출업자가 갖다 주는 경우는 5~10% 정도에 불과하다고 한다. 이러한 양은 사업장에

서 발생하는 물류폐목재와 건설폐목재의 경우가 차이를 보이고 있는데 사업장의 경우는 배출자가 갖다 주는 비율이 훨씬 높아지게 된다.



<그림 1-7> 건설·사업장 폐목재 수집·처리과정

보드업체에 배출자가 갖다 주는 경우는 원칙적으로 수집비용을 지불하지 않고 무상으로 반입되게 되며, 수집상이 폐목재를 가져다주는 경우는 2004년의 경우는 건설폐목재는 톤당 20,000원 정도, 사업장에서 발생하는 물류폐목재는 톤당 23,000원 정도를 지불하고 유상으로 구입하고 있는 것으로 나타나고 있다. 폐목재 수집상들은 건설현장이나 사업장에 처리비용을 지불하고 수거하고 있는 것으로 나타나고 있는데, 수거차량에 따라서 30,000원/5톤~50,000원/8톤~80,000원/11톤을 지불하게 되면 배출자에 톤당 8,000~10,000원을 지불하게 되고 재생칩공장까지의 운송비용을 추가하면 총 15,000원~20,000원의 비용이 발생하게 된다. 결과적으로 20,000원에 재생칩공장에 납품하게 되면 이윤이 발생하지 않는 어려운 상황에 처하게 된다. 이러한 현상은 최근 들어 건설현장의 폐목재 발생량이 현격히 줄어들고 있고, 재활용 숯, 사우나 연료, 유기질비료 등 다양한 용도와 의 경합과정에서 발생하는 경제적 어려움이라 하겠다. 2005년 9월부터는 보드업체에서 폐목재 유상구입비를 톤당 10,000원으로 낮추게 되었는데, 이러한 것은 건설폐목재 배출 시에 폐목재 나타나고 있다. 가장 바람직한 것은 폐목재 배출자가 중간 처리업자에게 비용을 수집상들이 별도의 폐목재 구입비를 지불하지 않고 수거하는 것과 관련이 있는 것으로 지불하고 처리를 위탁하여 중간처리업자나 재활

용업체 모두에게 도움이 될 수 있는 쪽으로의 개혁이 바람직 할 것으로 판단된다.

<표 1-10> 폐목재 수집상의 유통마진 분석(2004)

구 분	건설폐목재	물류폐목재
유상구입비	9,000 원/톤 (8,000~10,000 원/톤)	9,000 원/톤 (8,000~10,000 원/톤)
운반비용	8,500 원/톤 (7,000~10,000 원/톤)	8,500 원/톤 (7,000~10,000 원/톤)
보드업체 납품가	20,000 원/톤	23,000 원/톤
유통마진	2,500 원/톤 (0~5,000 원/톤)	5,500 원/톤 (3,000~8,000 원/톤)

3. 폐목재의 재활용실태

가. 생활폐목재

생활폐목재는 단순히 소각 처리되거나 열병합발전 등의 형태로 소각 이용되거나 PB용 원료로 재활용되는 세 가지 방법으로 처리되고 있다. 생활폐목재는 소각이 가능하기 때문에 법에 의거하여 재활용하지 않는 경우 소각 처리하여야 하는데, 일반 민간 소각업체에게 처리하는 경우는 그냥 소각 처리하는 것이 대부분이며, 일부는 파쇄하여 착화탄이나 유기질비료의 원료용 등으로 재활용하는 경우가 있다.

재활용되는 경우는 열병합발전이나 재활용품 원자재로 사용되는 경우가 있는데, 대부분은 열병합발전 연료용으로 사용되는 것으로 보는 것이 현재의 수준에서는 타당하다. 그러나 앞으로는 우리나라의 폐목재가 부족하다는 점을 감안해 보면 생활폐목재도 파티클보드의 원료로 사용될 가능성은 열려있다고 판단된다. 열병합발전의 경우 서울시는 자원회수시설이 강남, 노원, 마포 양천자원회수시설 등 4곳이 있어서 관내 지역의 폐목재를 소각 처리하여 전기를 생산하고 있는데, 마포자원회수시설의 경우는 마포구, 용산구, 중구 등 3개 자치구의 폐목재 처리를 담당하고 있다.

서울시의 경우 생활대형폐기물은 물량으로 보면 전체의 51.7%가 폐가구로부터 발

생하는 폐목재인데, 이러한 폐목재는 단순 소각보다는 소각 이용이 단순 소각의 약 3 배에 달하며, 파티클보드용 원자재로도 약 7,900톤을 사용하여 재활용률이 14.8%에 달하는 것으로 나타나고 있다.

참고로 생활폐목재의 전국 발생량을 서울시의 데이터를 근거로 추정해 볼 수 있는데, 2004년의 하루 생활폐목재 발생량을 기준으로 환경부의 폐기물 발생 통계를 보면 서울시가 하루 439.8톤을 배출하고 있는 것으로 통계가 잡히기 때문에 연간으로 환산하면 약 16만톤이 배출되는 것으로 추산할 수 있다. 그러나 본 조사에서 서울시의 각 구청별 전수조사 결과에 근거하면 약 54천톤이 발생하는 것으로 조사되었기 때문에 환경부의 통계보다는 과소치를 나타나고 있다.

<표 1-11> 서울시 대형생활폐기물 발생 및 처리실적(2005)

구 분	계	폐목재				폐합성수지 및 기타		
		소계	소 각	재활용		소계	소 각	재활용
				열병합발전 및 기타	파티클 보드			
수량(톤)	103,554.0	53,515.1	11,785.6	33,829.5	7,900	50,038.9	50,038.9	-
비율(%)	100.0	51.7	11.4	32.7	7.6	48.3	48.3	-

대형생활폐기물의 처리비용 단가를 분석해 보면 소각 처리하는 것보다는 재활용하는 것이 처리단가가 낮은 것을 알 수 있으며, 소각처리의 경우도 폐합성수지보다는 훨씬 저렴함을 알 수 있다. 폐목재의 경우 처리단가가 재활용하는 경우가 소각 처리하는 경우에 비하여 약 79.9% 수준으로 저렴하게 처리할 수 있음을 서울시의 경우를 통하여 확인할 수 있다.

서울이나 인천 등 수도권은 동화기업(주)이나 이견산업(주)의 열병합발전용 연료로 납품되는 경우가 있는데 서울시청의 경우는 대략 절반 정도의 구청이 자체 파쇄시설을 이용하여 폐가구를 파쇄한 다음 처리비용을 지불하고 동화기업이나 이견산업에 폐기하고 있다. 폐기처리비용은 2005년에 들어와 11톤 트럭의 경우는 143,000원을 5톤 암롤박스의 경우는 80,000원을 지불하고 있다. 또한 수도권을 제외한 다른 지역의 경우는 가령 울산의 경우도 생활폐목재는 전량 자체 소각처리시설을 통하여 처

리되고 있는 것으로 나타나고 있다. 우리나라 전체로 추산하면 생활폐목재의 대부분이 재활용되지 못하고 단순 소각 처리되고 있거나 방치되고 있는 것으로 보인다. 구청에 따라서는 폐목재의 경우 소각업체에 단순소각의 형태로 처리하는 곳도 있는데 이럴 경우 소각처리비용은 폐합성수지의 소각처리비용과 동일한 금액을 지불하여 처리하게 된다. 만약 단순 소각처리하는 경우와 보드업체에 공급하는 경우를 비교하여 보면 대략 단순 소각처리하는 경우의 처리비용의 약 20% 수준에서 처리할 수 있음을 알 수 있다. 보드업계에서 생활폐목재를 원재료로 사용할 수 있게 된다면 처리비용면이나 국가경제의 부가가치제고 측면에서 갖게 되는 의미는 더욱 커지게 된다.

최근 들어 나타난 변화로는 생활폐목재를 성형팔레트 제품의 원료로 사용하거나 재활용숯으로 제조하여 건축자재로의 이용하거나 파티클보드 제조용 원료로 일부 사용하고 있다. 건축폐목재의 발생량이 현격히 줄어들고 있는 상황에서 생활폐목재의 이용에 대한 관심이 증가하고 있다.

서울시의 폐가구 수집·운반·처리 수수료 징수액을 폐목재처리비용과 관련시켜 분석해 보면 지자체구의 처리물량에 따라서 변화폭이 큰 것으로 나타나고 있는데, 서울시 전체로는 수수료징수액의 약 41%가 처리비용으로 사용되는 것으로 나타나고 있다. 폐목재 처리비는 돈을 지출한 금액을 나타낸 것으로서 폐목재 적환장에서 처리과정에서 발생하는 인건비나 기타 고정지출비용은 포함되어 있지 않은 금액이다. 폐목재의 재활용을 높이기 위해서는 폐목재를 보드업계에 납품 처리할 경우 처리수수료를 보드업계가 수입 외국산과의 경쟁에서 경쟁력을 가질 수 있을 정도로 맞출 수 있어야 하는데, 이럴 경우 폐목재 처리 수수료의 인상이 쉽지 않다는 점을 고려 할 경우 실제 지자체구에서 발생하는 중간처리비용을 낮출 수 있는 대안이 필요하게 된다. 이런 것은 폐목재 적환장에서 파쇄 등의 처리과정을 통하여 실제 발생하는 지출비용을 낮추는 것도 좋은 대안이 될 수 있을 것이다.

<표 1-12> 서울시의 자치구별 폐목재 처리실적(2005)

구 분	계	단순소각	소각이용 (열병합발전등)	파티클보드 원료용	파티클보드 원료이용률(%)
전체	53,515.1	11,785.6	33,829.5	7,900.0	14.8
종로구	994.6	-	626.9	367.7	37.0
중구	235.4	-	61.4	174.0	73.9
용산구	1,528.0	1,528.0	-	-	0
성동구	1,588.3	258.3	1,330.0	-	0
광진구	2,308.0	-	2,308.0	-	0
동대문구	2,255.0	-	1,699.3	555.7	24.6
중랑구	1,316.0	1,316.0	-	-	0.0
성북구	1,973.3	1,009.3	251.3	712.7	36.1
강북구	1,625.2	-	1,024.4	600.8	37.0
도봉구	2,744.0	-	2,744.0	-	0
노원구	3,098.0	-	3,098.0	-	0
은평구	1,951.0	-	1,229.8	721.2	37.0
서대문구	1,635.0	-	426.2	1,208.8	73.9
마포구	1,807.4	-	1,807.4	-	0
양천구	4,313.0	-	4,313.0	-	0
강서구	3,147.9	3,147.9	-	-	0
구로구	2,911.6	2,911.6	-	-	0
금천구	1,059.1	-	1,059.1	-	0
영등포구	1,975.0	-	1,244.9	730.1	37.0
동작구	1,820.0	-	474.5	1,345.5	73.9
관악구	3,711.8	642.6	2,312.8	756.4	20.4
서초구	960.0	-	960.0	-	0
강남구	3,034.0	-	3,034.0	-	0
송파구	983.7	-	256.5	727.2	73.9
강동구	4,540.0	2,500.0	2,040.0	-	0

<표 1-13> 서울시의 대형생활폐기물 처리비용 단가(2005)

구 분	계	소 각		재활용
		폐목재	폐합성수지	폐목재
처리량(톤)	103,554.0	11,785.6	50,038.9	41,729.5
처리비용(백만원)	11,129.6	718.9	8,992.1	1,418.6
단가(천원/톤)	107.5	61.0	179.7	34.0

<표 1-14> 생활폐목재의 처리비 비교 분석 (2005)

구 분	처리비용	비 고
민간업체 단순소각 처리비(A)	188,413 원/톤	중랑구의 사례이며, 서울시의 경우 가장 적은 처리단가는 148천원/톤이며, 가장 많은 곳은 221천원/톤임
PB업계에 납품 처리비(B)	33,995 원/톤	서울시 전체의 단순소각 이외의 활용처리비 평균단가임. 보드업계에 톤당 13,000~16,000원을 지불하고 처리하며, 운반비와 파쇄인건비 등을 감안하면 좀 더 증가하겠지만, 큰 차이는 없을 것으로 판단됨.
B/A (%)	18.0	

<표 1-15> 서울시의 수집·운반·처리수수료와 처리비와의 관계(2005) (천원, %)

지자체구	폐가구 수집·운반·처리 수수료 (A)	폐목재처리비 (B)	B/A (%)
전체	4,752,767	1,937,164	40.8
종로구	131,877	87,893	66.6
중구	105,075	29,657	28.2
용산구	128,244	51,132	39.9
성동구	200,766	76,460	38.1
광진구	317,725	177,719	55.9
동대문구	98,869	49,918	50.5
중랑구	254,444	41,239	16.2
성북구	331,163	220,801	66.7
강북구	162,262	23,958	14.8
도봉구	183,357	31,504	17.2
노원구	145,461	154,900	106.5
은평구	342,998	38,687	11.3
양천구	350,545	70,388	20.1
강서구	362,662	51,029	14.1
금천구	122,718	22,440	18.3
영등포구	183,117	40,458	22.1
동작구	155,729	30,668	19.7
관악구	295,977	178,103	60.2
서초구	125,727	73,920	58.8
강남구	308,033	49,515	16.1
송파구	109,273	17,688	16.2
강동구	336,745	419,087	124.5

나. 건설폐목재 및 사업장폐목재

2004년도를 기준으로 한 파티클보드용 원자재의 사용실적을 보면 총 814,910톤이 사용된 것으로 추정되며, 이 가운데 재생칩이 39.3%로 가장 높은 비중을 차지하며 그 다음으로 폐목재가 사용된 것으로 나타나고 있다. 제재부산물이나 합판부산물도 상당량이 사용되며 업체에 따라서는 톱밥이나 원목을 사용하는 것도 있다. 이렇게 원자재의 구성내역이 다양한 것은 업체에 따라서 파티클보드의 품질을 차별화하기 위한 노력의 결과로 보인다. 2005년도에는 (주)한솔홈데코의 파티클보드 제조공장이 동화기업(주)으로 인수 합병되어 우리나라의 파티클보드업계는 2개 기업으로 분할 점유되게 되었다. 2005년부터는 폐목재의 원료조달 상의 애로로 인하여 생활폐가구에서 나온 폐목재를 원료로 사용하기 시작하였는데, 2005년 전체 원료 조달량의 1.3%를 생활폐목재가 차지하였고, 이 양은 2006년도에 들어와 더욱 증가하여 상반기까지의 실적으로 원료 조달량의 6.8%까지 증가하게 되었다.

<표 1-16> 파티클보드용 원자재 사용실적(2004년도)

(단위 : 톤)

업체명	제재 부산물	합판 부산물	폐목재	재생칩	톱밥	원목	계		
							톤	%	
대성	25,593	7,286	67,100	50,400	13,055	-	163,434	20.1	
동화	-	-	188,650	-	5,500	-	194,150	23.8	
성창	72,100	50,800	-	94,700	-	-	217,600	26.7	
한솔	23,973	-	-	175,000	11,986	28,767	239,726	29.4	
계	톤	121,666	58,086	255,750	320,100	30,541	28,767	814,910	100.0
	%	14.9	7.1	31.4	39.3	3.7	3.5	100.0	-

<표 1-17> 파티클보드업계의 원자재 사용실적(2005년도)

(단위 : 톤)

업체명	재 부산물	재 부산물	합 판 부산물	폐목재 (건설·사업장)	폐목재 (폐가구)	재생칩	톱밥	원목	계	
									톤	%
대 성	9,450	-	-	56,390	-	136,600	14,460	-	216,900	36.3
동화 (인천)	-	-	-	99,420	7,900	1,410	420	-	109,150	18.2
동화 (아산)	7,390	-	-	1,600	-	42,800	-	3,580	55,370	9.3
성 창	58,934	44,519	-	-	-	113,336	-	-	216,789	36.2
계	75,774	44,519	157,410	7,900	294,146	14,880	3,580	598,209	100.0	
	12.7	7.4	26.3	1.3	49.2	2.5	0.6	100.0		

주) 동화기업(주) 아산공장은 2005년 9월부터 동화기업(주)에 인수되었기 때문에 9월 이후의 실적만 집계되었음.

<표 1-18> 파티클보드업계의 원자재 사용실적(2006년도 상반기실적)

(단위 : 톤)

업체명	재 부산물	재 부산물	합 판 부산물	폐목재 (건설·사업장)	폐목재 (폐가구)	재생칩	톱밥	원목	재선충 피해목	계	
										톤	%
대 성	6,720	-	-	7,260	-	98,049	6,948	-	-	118,977	41.0
동화 (인천)	407	-	-	51,600	13,460	5,160	17	-	-	70,644	24.3
동화 (아산)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.0
성 창	23,571	21,265	-	-	6,206	46,947	-	-	2,645	100,634	34.7
계	30,698	21,265	58,860	19,666	150,156	6,965	0	2,645	290,255	100	
	10.6	7.3	20.3	6.8	51.7	2.4	0.0	0.9	100		

주) 동화기업(주) 아산공장은 화재로 인하여 현재 가동이 중지되어 있음.

<표 1-19> 폐목재 및 재생칩의 권역별 수급물량(2004)

(단위 : 톤)

업체명	수도권 (서울/경기/인천)	중부권 (충청/강원)	남부권 (경상/전라)	계		
				톤	%	
대 성	100,221	5,184	12,096	117,500	20.4	
동 화	175,450	12,650	550	188,650	32.8	
성 창	-	-	94,700	94,700	16.4	
한 솔	65,795	47,481	61,725	175,000	30.4	
계	톤	341,465	65,314	169,070	575,850	100.0
	%	59.3	11.3	29.4	100.0	-

폐목재 및 재생칩의 권역별 수급물량을 보면 수도권이 비중이 높아서 59.3%를 차지하며 그 다음이 남부권으로 나타나고 있다. 이러한 것은 폐목재 재활용업체인 파티클보드공장의 위치하고 밀접한 관련을 갖고 있다.

파티클보드제조용 폐목재 및 재생칩의 발생원을 조사해 보면 건설현장에서 발생하는 것이 약 77.8%를 차지하고 있으며, 사업장에서 물류폐목재의 형태로 발생하는 것이 약 22.2%를 차지하고 있다. 파티클보드제조업체별로는 건설폐목재와 사업장폐목재의 조달 구성비가 차이를 보이고 있는 것으로 나타나고 있다.

<표 1-20> 파티클보드제조용 폐목재 및 재생칩의 발생원 추정(2004)

(단위 : 톤)

업체명	건설폐목재	사업장폐목재	계		
			톤	%	
대 성	108,100	9,400	117,500	20.4	
동 화	173,558	15,092	188,650	32.8	
성 창	61,555	33,145	94,700	16.4	
한 솔	105,000	70,000	175,000	30.4	
계	톤	448,213	127,637	575,850	100.0
	%	77.8	22.2	100.0	-

<표 1-21> 건설폐목재의 처리 실적 추정(2004)

용도	현장소각	재활용					계	계
		파티클보 드용	착화탄	톱밥	연료	기타		
수량(톤)	274,416	448,213	64,030	32,015	51,224	44,821	640,304	914,720
%	30.0	49.0	7.0	3.5	5.6	4.9	70.0	100.0

개략적인 추정으로 살펴보면 건설폐목재의 약 30%는 건설현장에서 재활용되지 않고 소각 처리되거나 다른 형태로 이용되어 폐기되고 있으며, 나머지 70%도 재활용되는 부분에 대하여 살펴보면 파티클보드용으로 약 70%가 사용되고, 그 다음으로 착화탄, 연료, 톱밥 등의 형태로 이용되고 있는 것으로 나타나고 있다. 연료로 사용되는 것은 열병합발전소의 연료로 사용되거나 찌질방 등의 장작용으로 사용되는 형태가 주된 형태인데, 이러한 연료용의 비중이 앞으로 더욱 높아질 것으로 예상된다. 그만큼 파티클보드용 원료로 사용되는 것과의 경쟁이 더욱 심화될 것으로 예상된다.

4. 폐목재의 발생·처리과정 및 재활용상의 문제점

가. 폐목재의 발생·처리과정상의 문제점

기술적 측면의 문제점을 살펴보면 물류폐목재나 건설폐목재의 경우 분리수거함으로써 해결이 가능하거나 아니면 수작업으로 비목재 부품을 제거하는 것이 가능하나 이는 별도의 인건비가 소요된다는 문제점이 있다. 생활폐목재의 경우는 분리수거를 잘 한다고 하더라도 생활폐가구의 유형이 워낙 다양하기 때문에 재활용을 위하여 파쇄한 폐목재에 이물질이 혼입되는 것을 완전히 근절시키기란 불가능 할 것으로 보인다.

제도적인 측면에서 살펴보면 폐목재는 반드시 허가받은 수집운반업체 또는 재활용업체의 등록된 차량으로만 운송하도록 되어 있으며, 특히 생활폐목재의 경우 가구류의 대형폐기물만을 수집 운반하는 경우에도 압축차량이나 밀폐식 운반차량과 같이 생활폐기물 수집운반 기준으로 확보해야 하는 모순이 발생하고 있다. 건설폐목재의 운송 시에는 정식인계서 또는 간이인계서를 작성하여 관할관공서에 신고하도록 되어 있

다. 또한 건설폐기물의 인허가 과정이 공식적으로 23일이 소요되는 것으로 나타나고 있다. 건설폐기물처리계획서를 신청하면 접수로부터 3일간이 소요되고 그에 따라 신고필증을 수령하며, 다시 건설폐기물 처리시설 설치 승인을 받는데 10일이 소요되며, 다시 사용개시신고를 하는데 10일이 소요되기 때문에 총 23일이 소요된다고 볼 수 있으며, 실제로 우편으로 수령하게 되면 거의 한 달이 소요되는 것으로 나타나고 있다.

이러한 과정에서 배출업자는 신속히 폐기 처리가 되지 않는 것에 대한 불만을 갖게 되고 결과적으로 적은 물량의 폐목재를 수집 활용하는 것에 대한 기피현상이 발생하게 되는 문제점을 야기하고 있다.

경제적 측면의 문제점으로는 무엇보다도 폐목재 중간수집상이나 재활용업체가 폐목재를 수거하는 과정에서 배출자에게 오히려 유상구입비와 같은 사례비를 지불하고 운송비도 부담함으로써 경제적인 채산을 맞추기 힘들다는 것이 가장 심각한 문제점이라 할 수 있다. 이러한 현상이 발생하게 된 데는 다른 용도로 사용하는 곳과의 치열한 경쟁이 존재하기 때문으로 앞으로 이러한 현상은 더욱 심화될 것으로 보인다.

<표 1-22> 폐목재의 발생 및 처리과정상의 기술적 측면의 문제점

발생원	기술적 측면
사업장폐목재 (물류폐목재)	<ul style="list-style-type: none"> • 금속 등의 이물질이 포함되어 있어서 수작업으로 제거해야 함 • 못과 같은 철금속은 자석을 이용하여 제거가 가능하나 알루미늄과 같은 비철금속은 분쇄하기 전에 수작업으로 제거해야 함
건설폐목재	<ul style="list-style-type: none"> • 분리 배출되고 있음 • 금속, PVC 등이 부착되어 있어서 손으로 제거해야 함
생활폐목재	<ul style="list-style-type: none"> • 표면 오버레이 및 코팅자재가 대부분 • 수작업으로 금속류, 유리, 플라스틱 등의 이물질을 제거하고 있음. 그러나 파쇄된 목재중에 이물질이 다량 혼입되어 있음

<표 1-23> 폐목재의 발생 및 처리과정상의 제도적 및 경제적 측면의 문제점

발생원	제도적 측면	경제적 측면
사업장폐목재 (물류폐목재)	<ul style="list-style-type: none"> • 인허가과정에서 23일 이상이 소요됨 	<ul style="list-style-type: none"> • 운반비를 배출업자로부터 수령함 (보통 15만원/11톤차량) • 수집거리는 대개 40km이내임 • 수집업자간의 과다경쟁이 이루어지면 운반비도 수집업자가 부담하는 경우가 있음
건설폐목재	<ul style="list-style-type: none"> • 인허가과정에서 23일 이상이 소요됨 • 간이인계서를 작성하여야 하며, 100km이상 운송시에는 정식인계서 6부를 작성하여 즉시 관할관공서에 신고하여야 함 	<ul style="list-style-type: none"> • 수집거리는 대개 40km이내임 • 수집업자간의 과다경쟁이 이루어지면서 운반비뿐만 아니라 배출업자에게도 일정금액의 수수료를 지불하는데 보통 8,000~10,000원/톤을 지불함
생활폐목재	<ul style="list-style-type: none"> • 수도권 이외의 지역에는 열병합발전소가 없어서 연료로도 재활용할 수 없음 • 압축차량이나 밀폐식 운반차량과 같이 생활폐기물 수집운반 기준으로 확보해야 하는 모순이 발생 	<ul style="list-style-type: none"> • 배출비용으로서 행정관청에서 열병합발전용 연료로 처리하는 경우 80,000원/5톤~143,000원/11톤의 비용을 지불 • 폐목재 전문 처리업체에 위탁처리할 경우 46,000~50,000원/톤을 지불함

나. 폐목재의 재활용상의 문제점

기술적 측면의 문제점은 주로 분리수거가 되지 않는데서 기인한다. 고성능의 첨단 설비를 도입하면 이와 같은 문제는 해결이 가능하지만, 기존의 영세 시설에 의존하는 경우에는 기술상의 문제점을 해결하기가 용이하지 않은 것으로 보여진다.

<표 1-24> 폐목재 재활용상의 기술적 측면의 문제점

발생원	기술적 측면
사업장폐목재 (물류폐목재)	<ul style="list-style-type: none"> • 미제거된 금속류는 파티클보드공장의 제조과정에서 기계와의 마찰을 유발시켜 화재의 위험을 초래하기도 함
건설폐목재	<ul style="list-style-type: none"> • 특별한 문제는 없음 • 테고합판 등은 향후 재활용이 용이하도록 개선할 필요가 있음
생활폐목재	<ul style="list-style-type: none"> • 금속, 유리 등을 제거하고 분쇄하지만, 이물질이 혼입되고 있음 • 열병합발전소에서 소각연료로 사용시 고열이 발생되어 파이프나 보일러를 손상하는 문제가 있음 • 파티클보드 원료 사용시 생활폐가구 중 MDF가 재활용이 어려움

<표 1-25> 폐목재 재활용상의 제도 및 경제적 측면의 문제점

발생원	제도적 측면	경제적 측면
사업장폐목재 (물류폐목재)	<ul style="list-style-type: none"> • 폐목재 처리과정에서 배출업자의 차량으로 재생칩공장에 인도하는 경우 불법적인 상태가 발생하게 됨 	<ul style="list-style-type: none"> • 착화탄, 톱밥, 연료 등 타 용도와의 경쟁이 치열해지고 있음
건설폐목재	<ul style="list-style-type: none"> • 폐기물의 허가대상인 폐목재의 경우 2자 계약 또는 3자계약을 통하여 처리되고 있는 경우는 10% 이하임 • 건설현장의 10% 정도만이 폐기물 처리를 위한 계약의 필요성을 인지하고 있음 	<ul style="list-style-type: none"> • 외국산 저가의 파티클보드수입으로 국산 재활용제품의 경쟁력이 떨어지고 있음
생활폐목재	<ul style="list-style-type: none"> • 착화탄의 제조용으로 일부 사용되고 있는데 이는 유해문제를 일으킬 수 있음 • 음식물쓰레기와 함께 혼합하여 유기질비료를 만드는 경우도 있으며, 이 경우에는 토양오염의 원인이 될 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> • 고가의 시설을 갖추고 있는 열병합발전소에서 연료로 사용하고 있음 • 착화탄이나 성형숯 원료로 이용되기도 함

제도적 측면에서 재활용에 대한 문제점을 살펴보면 폐목재는 반드시 수집운반업체나 재활용업체의 등록된 차량만을 이용하여 운송하도록 되어 있으나 성수기에는 차량이 부족하고 비수기에는 자체 보유차량이 늘려지고 있는 현실과 중간수집운반업체가 영세하고 채산성이 좋지 못하다는 현실을 감안해 보면 현행 법규가 너무 경직하다고 할 수 있으며, 결과적으로 소량의 폐목재가 발생하였을 경우 배출업체가 자체 차량을 이용하여 수집업체나 재활용업체에 운송 처리하는 것 자체가 불법이며, 정식 등록허가를 받은 중간처리업자가 화물차량을 임대하여 폐목재를 운반하는 것도 불법이라는 문제점이 있다. 또한 건설폐목재는 2차계약이나 3차계약을 체결하여 정식으로 폐기처분하여야 하나 이에 대한 인식이 결여되어 있어서 재활용을 위하여 적법하게 처리되는 양은 10% 미만에 불과하다.

경제적 측면에서 가장 큰 문제점은 저가의 수입산 파티클보드로 인하여 파티클보드 제조업체가 경제적 어려움에 봉착하고 있다는 점이다. 현재 수입파티클보드의 가격을 살펴보면 유럽산은 \$137~140/m³, 태국산은 \$127/m³으로서 한국산 판매가 145,000~155,000원/m³에 비하여 저렴한 것으로 나타나고 있다. 특히 태국산 바나차이사의 파티클보드 수입가격은 \$75~80/m³로서 한국산 제조원가 120,000~140,000원/m³에 비하여 매우 저렴하기 때문에 국산 파티클보드판매가의 상승을 앞으로도 기대하기란 어려운 실정이다. 파티클보드 제조 판매가가 낮으면 원자재인 폐목재의 구입단가도 낮아질 수밖에 없기 때문에 결과적으로 폐목재의 재활용을 가로막는 장애요인이 되고 있다.

5. 외국의 폐목재 재활용 사례

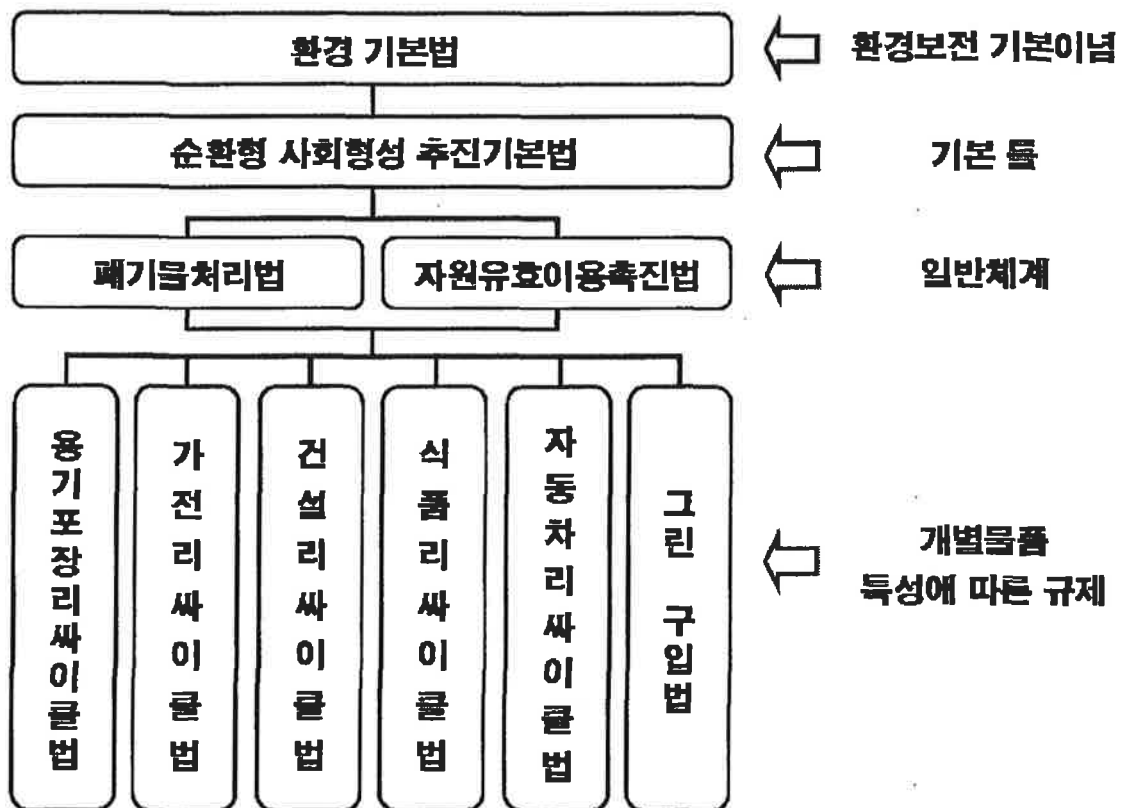
가. 일본의 폐목재 재활용 사례

1) 폐목재 관련 법률 체계

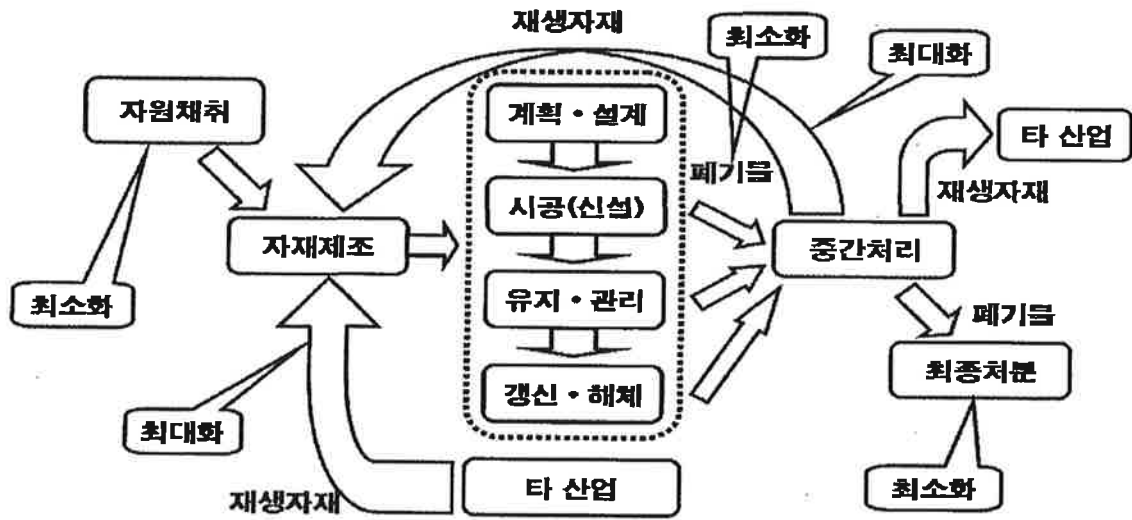
일본의 폐목재 관련 법률체계는 순환형사회 형성 추진을 위한 법률체계라는 큰 틀 속에서 다루어지고 있다. 법체계의 상위에 자리하고 있는 '환경기본법'은 환경보전의 기본이념을 제시하고 있으며, 이를 위한 기본 틀로서 '순환형사회 형성추진 기본법'을 가지고 있다. 또한 그 아래에 일반수단을 다루고 있는 '폐기물처리법'과 '자원유효이용 촉진법'이 있으며, 다시 그 아래에 개별품목 특성에 따른 규제를 다루고 있는 6개의

법률, 즉 '용기포장 리사이클법', '가전 리사이클법', '건설 리사이클법', '식품 리사이클법', '자동차 리사이클법', '그린구입법' 등이 그것이다. 이렇듯 일본의 폐목재 관련 법률체계는 순환형사회 형성 추진을 위한 법률체계라는 입체적인 틀 속에서 다루어지고 있음을 알 수 있다<그림 1-8>.

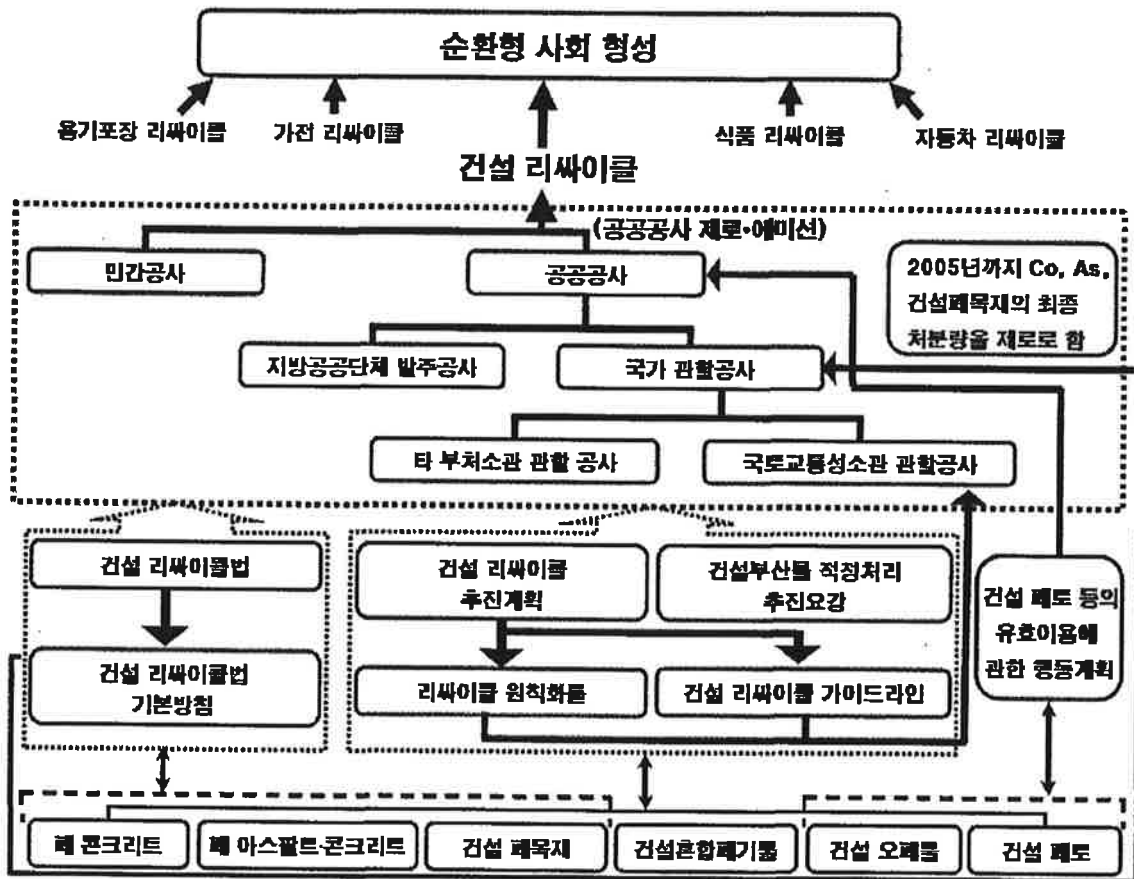
한편, 건설폐목재와 직접적인 관련이 있는 건설리사이클의 개념을 살펴보면 건설자재의 제조를 위하여 필요로 되는 원자재의 채취(자원채취)나 건축물의 시공 및 해체 과정에서 배출되는 폐기물이나 건설폐기물의 중간처리과정에서 배출되는 폐기물은 최소화시키되, 건설폐기물의 중간처리를 통하여 얻게 되는 재생자재는 최대화시키는 전략을 취하고 있으며, 이러한 전략은 당연한 전략이라고 볼 수 있다<그림 1-9>.



<그림 1-8> 일본의 순환형 사회형성 추진을 위한 법률체계



<그림 1-9> 일본의 건설 리사이클의 개념



<그림 1-10> 일본의 순환형 사회형성을 위한 건설 리사이클 추진체계

건설분야의 리사이클 촉진을 위한 법령체계를 살펴보면 ‘건설리사이클법(2000년 5월 제정)’을 필두로 ‘건설리사이클법 기본방침(2001년 1월 제정)’, ‘건설리사이클추진계획2002(2002년 5월 제정)’, ‘건설부산물 적정처리요강(2002년 5월 제정)’, ‘리사이클 원칙화 룰(2002년 5월 제정)’, ‘건설리사이클 가이드라인(2002년 5월 제정)’, ‘건설폐토 등의 유효이용에 관한 행동계획(2003년 10월 제정)’ 등 다양한 규정 및 요강을 갖추고 있다<그림 1-10>.

‘건설리사이클법’에 의하면 일정 규모 이상의 공사나 특정건설자재를 대상으로 건설폐기물의 분리해체와 재자원화를 의무화시키는 것이 주된 내용으로서 건설폐목재는 특정건설자재로 지정이 되어 의무 재활용의 대상이 되고 있다.

‘건설리사이클추진계획 2002’는 ‘순환형사회 형성 기본법’과 ‘건설리사이클법 기본방침’에 근거하여 건설리사이클 촉진을 위한 기본구상, 목표, 구체적 시책을 내용으로 하는 계획 등을 담고 있으며, 배출억제, 분리해체, 재자원화, 적정처리, 재사용·재생자재의 이용추진, 기술개발, 이해와 참가라는 관점에서 행동계획을 분류하여 기재하고 있다. 참고로 건설폐목재의 경우, 재자원화율을 2002년 61%에서, 2005년에는 60%, 2010년에는 65%를 목표로 설정하여 점진적으로 재활용을 높여 나가는 계획을 세우고 있다. 이 계획의 실시 대상은 국토교통성 소관의 공공공사를 대상으로 하고 있다.

‘리사이클 원칙화 룰’은 국토건설성 소관의 관할 사업을 대상으로 하며, ‘원칙화’란 경제성 여부를 불문하고 반드시 실시해야 하는 것을 의미하고 있다. 즉 건설폐목재는 재자원화시설로의 반출을 의무화하고 있다.

‘건설리사이클 가이드라인’은 국토건설성 소관 관할 사업을 대상으로 있으며, 계획·건설단계의 리사이클 계획의 수립, 공사 사무소의 철저한 리사이클을 위한 검토체제의 강화, 리사이클 실시상황의 종합 정리 등을 규정하고 있다.

2) 건설폐목재 재활용 현황

일본의 2002년도 건설폐기물 배출실적을 살펴보면 총 8,200만 톤 가운데 폐콘크리트가 약 42%로 가장 많이 차지하고, 그 다음이 페아스팔트·콘크리트로 약 36%를 차지하여 이들 두 품목이 전체 건설폐기물의 약 78%를 차지하고 있는 것으로 나타나고 있으며, 건설폐목재는 전체 건설폐기물의 약 6% 정도를 차지하고 있는 것으로 나타났다<표 1-26>.

<표 1-26> 일본의 건설폐기물 배출현황(2002)

구 분	총 계	폐콘크리트	페아스팔트·콘크리트	폐목재	오염폐기물	혼합폐기물	기타
배출량(만톤)	8,200	3,500	3,000	500	800	300	100
(%)	100	42	36	6	10	4	2

* 자료 : 국토교통성총합정책국. 2005. 건설리사이클에 관한 금후 동향

2004년도 우리나라의 건설폐기물 배출실적을 보면 폐목재는 약 2.2%를 보이고 있어서 일본의 건설폐목재 발생량이 한국에 비해 약 3배 가깝게 많이 배출하고 있는 것으로 보인다.

2002년도에 일본에서는 약 4,644천 톤의 건설폐목재가 배출되었으며, 이 가운데 파쇄처리된 것은 약 61.7%로 가장 많고, 그 다음으로 소각처리된 것이 약 31.1%를 차지하며, 나머지 7.8%가 최종 처리된 것으로 나타나고 있다. 파쇄 처리된 61.7%를 자세히 보면 약 23.6%는 발열처리 이용되었으며, 그 다음으로 약 14.8%는 파티클보드 등의 보드원료로 사용되었으며, 기타 제지용, 퇴비, 축사용 깔개, 농업용 멀칭 등으로 재활용되었다<표 1-27>.

<표 1-27> 일본의 건설폐목재의 재활용 실적(2002)

구 분	총 계	파 쇄 처 리					소각 처리	최종 처리
		계	파티클보드	발열처리	제지용	농업용		
처리량(천톤)	4,644	2,836	687	1,098	519	532	1,445	363
(%)	100	61.7	14.8	23.6	11.2	11.5	31.1	7.8

* 자료 : 일본 국토교통성총합정책국. 2005. 건설리사이클에 관한 금후 동향

우리나라와 비교해 보면 파쇄처리와 소각처리의 경우 비슷한 양상을 보이고 있는 것으로 나타나고 있는데, 우리나라가 일본보다는 파쇄 처리하는 비율이 조금 높은 편이라고 할 수 있다. 또한 파티클보드 등의 보드원료로 사용하는 비율은 한국이 월등히 높은 것으로 나타나고 있다.

3) 폐목재 재활용업계의 동향

2002년 '건설공사에 관련된 자재의 재자원화 등에 관한 법률(건설리사이클법)'의 시행과 더불어 건설폐목재의 분리회수와 재자원화가 의무화되게 됨에 따라 폐목재의 재활용에 대한 관심이 고조되고 있다. 이러한 움직임은 '폐기물처리 및 청소에 관한 법률(폐기물처리법)'이 2001년 4월에 일부 개정되어 야외소각이 금지되게 되었으며, 2002년 12월에는 다이옥신의 발생을 방지하기 위하여 소각 처리할 경우는 고온으로 연소할 수 있는 소각로가 갖추어져 있을 때만 소각처리가 가능하도록 법 개정도 이루어졌다. 이러한 제도적인 보완책에 힘입어 기존의 폐목재 재활용업체뿐만 아니라 신규 업체도 진입하여 공장을 세우는 등 폐목재 재활용을 둘러싼 움직임이 활발한 편이다. 대규모 투자가 기획하는 대표적인 업체로는 후루하시공업, 도쿄보드공업, 세이호쿠환경테크노센터 등을 열거할 수 있다.

또한 지구온난화방지와 관련하여 화석연료의 소비감축을 목표로 바이오매스 발전에 대한 관심이 높아지고 있어서 폐목재의 재활용을 둘러싼 수요시장이 활성화되고 있는 것으로 알려지고 있다. 전반적으로 보면 제도의 완비와 새로운 수요시장의 확대로 폐목재의 재활용이 촉진되고 있음을 엿볼 수 있다.

일본의 대표적인 폐목재 재활용업체인 도쿄보드공업(주)과 한국의 대표적인 폐목재 재활용업체인 동화기업(주)의 폐목재 재활용 실태를 분석해 보면 우리나라는 법규상의 미비로 인하여 건설현장에서 다른 폐기물과 혼합된 상태로 배출하는 것을 막지 못하여 목질의 상태가 불량한 것으로 나타나고 있다<표 1-28>. 또한 폐목재 배출자가 재활용업체에 처리비를 일본은 부담하고 있는데 비하여 우리나라는 오히려 원료대 구입명목으로 지불하고 있을 뿐만 아니라 원자재의 공급도 불안정하여 폐목재재활용업체의 존립환경이 매우 취약함을 알 수 있다.

<표 1-28> 한국·일본의 폐목재 재활용사례 비교

구 분	일본 [도쿄보드(주)]	한국 [동화기업(주)]
법규상의 특징	◎ 건설리사이클법 - 폐목재를 포함한 4개 품목을 특정건설자재로 지정 - 철저한 분리배출 의무강화	◎ 건설폐기물의재활용촉진에 관한법률 - 재활용, 소각 가능성 여부에 따른 구분관리를 규정하였으나, 배출 시 2가지 이상 혼합되어 발생하는 경우 예외 인정
파티클보드 생산량	7,000~9,000톤/월	13,000m ³ /월
투입원재료	자체 생산 재생칩 100%	자체 생산 재생칩 100%
폐목재 수집	- 자가차량 이용 폐목재 수거 - 폐목재 수집, 운반업체 - 배출업체	- 폐목재 수집 운반허가업체 - 배출업체 - 건설폐기물 중간처리업체/일반차량
폐목재 수거비용	배출자 비용 부담원칙 적용 처리비 징수	폐목재 구입비용 지불(재활용자 부담)
특 징	- 목조주택 해체목의 목질상태 양호 - 폐목재 처리비 징수로 파티클보드 원가 경쟁력 상승 - 신축현장 폐목재 이물질 철저 분리 - 폐목재 공급안정	- 폐목재 공급부족 상태 지속(건설경기 침체/동절기 공사 중단) - 신축 건설현장 발생 폐목재 위주(각종 쓰레기 혼합 배출) - 폐목재 구입비 지불로 원가 경쟁력 저하

자료 : 유성진[(동화기업(주), 2005]의 자료를 수정 인용

4) 일본의 그린구입법 및 에코마크제도상의 품질인증기준

가) 그린(Green)구입법상의 품질인증기준

2000년 제정된 그린(green)구입법은 환경부하의 저감에 도움이 되는 원재료, 부품, 제품 등의 환경물품을 국가 및 독립 행정법인들로 하여금 조달을 종합적이고 계획적으로 추진하기 위한 기본적인 사항을 정한 것이다. 국가 등이 스스로 솔선해서 「환경물품 등」의 계획적 조달을 추진함으로써 지방공공단체나 민간부문에 대 처의 고리를

확대하고, 국가 전체의 환경물품 등의 보급을 촉진하는 것을 목적으로 하고 있다.

그린구입법에서는, 14개 분야 101 품목에 대하여 적합 판단의 기준이 정해져 있으며, 기준의 책정에는 제3자 인증의 환경라벨 「에코마크(eco mark)」를 비롯한 기준의 기준이나 가이드라인(guide line)등을 참고로 하고 있다. 목질재료에 관해서는, 공공 공사자재로서 소경통나무(간벌재), 제재 등(제재·집성재·합판·단판적층재), 재생목질보드(파티클보드·섬유판·목질계 시멘트판)가 우선적으로 구입해야 할 환경부품(특정 조달품목)으로서 인정을 받고 있다. 각 품목에 대한 적합 판단의 기준은 아래와 같다.

- 소경통나무재 : 간벌재이며 유해한 부후 또는 할렬 등의 결함이 없는 것
- 제재 : 간벌재, 임지잔재 또는 소경재인 것.
- 집성재·합판·단판적층재 : 간벌재, 합판·제재공장에서 발생하는 가장자리 재료 등의 잔재, 임지잔재 또는 소경목의 체적비 비율이 10% 이상인 것. 거실의 내장재에 있어서는, 포름알데히드(formaldehyde)의 방출량이 평균치에서 0.3mg/ℓ 이하 이면서 최대치에서 0.4mg/ℓ 이하인 것(집성재·합판·단판적층재의 JAS 규격에 있어서의 F☆☆☆☆ 상당).
- 재생목질보드 : 재생자재(합판·제재공장에서 발생하는 가장자리 재료 등의 잔재, 건축해체목재, 사용이 끝난 포장재, 제지 미사용 저질칩, 임지잔재, 판목·소경목(간벌재를 포함한다) 등의 목질재료 또는 식물섬유)의 중량비 배합 비율이 2분의 1(50%) 이상인 것. 이 경우, 재생자재 전체가 차지하는 체적비 배합률이 5분의 1(20%) 이하의 접착제, 혼화제 등(파티클보드에 있어서의 페놀계 접착제로 주요 원재료 상호간을 접착할 목적으로 사용되는 것)을 계산에 넣지 않고, 중량비 배합률을 계산하는 것이 가능케 한다. 또한, 거실의 내장재에 있어서는, 포름알데히드 방출량이 평균치에서 0.3mg/ℓ 이하이면서 최대치에서 0.4mg/ℓ 이하인 것(JIS A 5905 섬유판 및 JIS A 5908 파티클보드에 있어서의 F☆☆☆☆ 상당).

나) 에코마크(Eco mark)제도상의 품질인증기준

에코마크(eco mark)란 일상 사용되는 상품 가운데서 생산에서 폐기에 걸치는 라이프 사이클(life cycle) 전체를 통해서 환경에 대한 부하가 적고, 환경보전에 중요하다고 인정을 받은 상품에 붙여지는 표시이며, 소비자에게 환경보전의 계몽과 환경을 배려한 상품을 고르기 위한 기준 제시를 목적으로 하고 있다. 하지만, 실시하는 에코마

크 사업은, 국제표준화기구의 규격 ISO 14020(환경라벨 및 선언·일반원칙) 및 ISO 14024(환경라벨 및 선언·타입 I 환경라벨 표시·원칙 및 수속)에 준하고, (재)일본환경협회에 의해 운영되고 있다. 이 제도는 「자주적으로 다양한 기준에 근거한 제3자의 기관에 의해 라벨의 사용이 인정을 받는 제도」이며, 한국환경마크(한국환경라벨협회), 그린라벨(타이환경연구소), 그린마크(환경개발 기금·타이완), 뉴질랜드 환경초이스(뉴질랜드에코라벨링트러스트), 노르딕스완(북구에코라벨링위원회·북구5개국)과 상호인증을 행하고 있다.

목질재료에 관해서는, 에코마크 상품유형 No.111 「목재 등을 사용한 보드」 과 에코마크 상품유형 No.115 「간벌재, 재·미이용 목재 등을 사용한 제품」의 2가지 상품유형이 정해져 있다. 이것들의 인정 기준은 2004년에 아래와 같이 개정되어 현시점에서는 그린구입법에 있어서의 특정조달품목에 대한 적합 판단의 기준보다 엄격하다.

에코마크 상품유형 No.111 '목재 등을 사용한 보드'에 대한 인증기준을 살펴보면 다음과 같다.

○ 대상

JIS A 5905 섬유판 및 JIS A 5908 파티클보드에 규정된 보드 또는 이에 상당하는 것.

○ 인증 기준

< 환경에 관한 기준 >

- (1) 목질부의 원료로서, 재·미이용 목재 및 폐식물섬유의 배합률이 100%인 것.
- (2) 화장가공하는 제품에 있어서는, 화장가공 부분이 제품 전체의 5% 이하(중량비율)인 것.
- (3) 접착제 및 첨가제에 대해서는, 처방구성성분 및 중량비율을 보고할 것. 할로젠(Halogen)계 원소를 포함하는 접착제나 첨가제는 사용하지 않을 것.
- (4) 제품은 목재보존제(방의제, 방부제, 방충제, 방미제)를 처방 구성성분으로서 사용하지 않고 있을 것.
- (5) 건설발생목재 가운데 건축해체목재를 원료로 사용하는 제품에 있어서는, 방부·방의·방충처리된 재료를 분리·제거하여 사용할 것. 제품 중의 유해물질의 함유에 대해서, 토양오염 대책법 시행규칙에 규정하는 <별표 3>에 열거된 6가크롬 및 비소의 요건을 충족시킬 것.

- (6) 제품의 포름알데히드의 방출에 대해서는 포름알데히드 방출량이 평균치 : 0.3 mg/ℓ 이하, 최대치 : 0.4mg/ℓ 이하이거나, 혹은 포름알데히드 방출속도가 5μg /m²·h 이하인 것.
- (7) 톨루엔, 자이렌에 대해서는 처방 구성 성분으로서 첨가하지 않은 것.
- (8) 제품에 도료를 사용할 경우는, 에코마크 상품유형 No.126 「도료 Version 1.0」의 「4 1. 환경에 관한 공통인정기준」 제(4)항 가운데 중금속 및 중금속화합물의 기준에 적합한 것.
- (9) 화장가공에는 할로겐계 원소로 구성되어 있는 수지 및 유기 할로겐 화합물을 처방 구성 성분으로서 첨가하지 않는 것. 또한, 화장가공 부분의 처방 구성 성분을 보고할 것.
- (10) 제품의 제조에 있어서는, 대기오염, 수질오탁, 소음, 악취, 유해물질의 배출 등에 대해서 관련되는 환경법규 및 공해방지협정 등을 준수하고 있는 것.
- (11) 제품의 제조에 있어서는, 에너지 절감화의 노력을 하고 있는 것.
- (12) 제품의 포장은, 자원절약화, 리사이클 용이성이 배려되어 있는 것. 용기·포장에 사용되는 플라스틱재료는 할로겐계 원소로 구성되어 있는 수지 및 유기 할로겐 화합물을 첨가하지 않은 것.
- (13) 사용에 관한 매뉴얼을 소유하고, 해당제품의 사용자에게 배포할 것. 한편, 매뉴얼에는 인정기준에 관한 정보나 폐기·리사이클에 관한 제품정보를 기재할 것.

< 품질에 관한 기준 >

품질에 대해서는, 일본공업규격이 있는 제품에 있어서는, JIS A 5905 또는 JIS A 5908 등의 해당 규격에 적합할 것. 그 외의 제품에 있어서는, 일본공업규격 등에 측정방법이 정해져 있는 항목에 대해서 유사한 일본공업규격(JIS) 등의 기준에 적합할 것.

다) 우리나라와의 차이점

우리나라의 환경표지제도상의 인증기준을 보면 사무용 칸막이, 실내용 바닥장식재, 부엌용 목제식탁, 불박이용 목제품, 목재 성형제품 등과 같이 품목별로 인증을 해주고 있어서 일본의 보드류에 대하여 인증을 해주는 것과 차이를 보이고 있다. 인증과 관련하여 환경관련 기준을 보면 우선 폐목재의 사용량을 목재 성형제품을 제외한 나머지 품목은 파티클보드는 70% 이상, 섬유판은 30% 이상, 기타 성형재료는 70%

이상으로 되어 있으며, 목재 성형제품은 폐목재를 100% 사용해야 하는 것으로 되어 있다. 단 폐목재의 성상이 어떤 형태인지에 대한 세부적인 규정은 마련되어 있지 못한 실정이다. 예컨대 일본의 경우는 재생 목재보드의 경우 화장가공하는 제품의 허용 구성비율, 방부·방의·방충·처리된 재료의 포함여부 등에 대하여 기준을 정해 놓고 있는데 비하여 우리나라는 포괄적으로 포름알데히드방출량과 같은 공기오염물질의 허용 배출량을 정해서 관리하고 있다.

폐목재 재활용을 위한 기술개발은 단순히 이용만을 전제로 한 것이 아니라 품질인증기준에 적합한 제품을 생산해 낼 수 있는지의 여부가 중요한 판단기준이 될 것 같다. 우리나라의 환경표지 인증기준의 경우 폐목재의 발생원에 따라서 예상되는 폐목재의 다양한 성상을 충분히 고려하지 못하고 있음을 일본의 에코마크제도의 인증기준과의 비교를 통하여 알 수 있다.

일본의 사례에서와 같이 재생 목재보드의 경우 화장 가공하는 제품의 허용 구성비율, 방부·방의·방충·처리된 재료의 포함여부 등을 포함한 구체적인 품질 인증기준을 확립하여 현장에서 재활용하는 과정에서의 불필요한 법적 오해의 소지를 줄여줄 필요가 있다.

나. 이태리의 폐목재 재활용 사례

이태리의 2004년도 파티클보드 생산량은 연간 366만 m^3 (세계7위)으로서 우리나라의 약 4.6배 규모이며, 동시에 연간 66만 m^3 (세계 9위)을 수입하고 있다. 폐목재 재활용 시스템이 구축된 1980년대 말에 생산량이 급증하였다. 생산된 파티클보드는 터키, 홍콩 등으로 수출하며, 우리나라에도 소량이 수입되고 있다. 이태리는 중소기업체를 포함하여 총 48개의 파티클보드공장이 있으며, 이 가운데 Fantoni, Falco사와 같은 대형업체는 우리나라 파티클보드공장 시설용량의 약 3배 규모에 달하는 단일 생산라인을 보유하고 있다.

이태리에서는 1986년부터 생활폐목재와 같은 저급 폐목재를 재활용한 파티클보드를 본격 생산하였으며, 대규모 파티클보드 공장(Fantoni社, Falco社등)에서는 전체 사용원료의 80%가 생활폐목재가 주종을 이루는 저급 폐목질원료이며, 나머지 20%는 제재 죽데기, 물류 폐목재, 포플러 소경재, 톱밥 등을 사용하고 있다. 생활폐목재는 대부분 자치단체에서 수집하여, 중간 파쇄처리시설을 거쳐 1차 파쇄칩으로 공급되며, 이태

리 국내의 폐목재원료 공급량이 부족하여 독일, 오스트리아 슬로베니아 등 인접 국가로부터도 생활폐목재가 수입되고 있다.

이태리는 세계적인 파티클보드 생산 국가이지만, 매우 질이 낮은 목질폐기물을 주 원료로 사용하는 배경에는 다음과 같은 요인이 있는 것으로 여겨진다. 첫째, 시멘트 또는 점토벽돌을 주로 사용하는 이태리의 전통적인 건축양식에 의해 양질의 폐목재원료 공급원인 건설폐목재가 부족한 자원사정에 대응하여 저급 폐목재를 적극적으로 사용하는 순환이용체계가 정착되어 온 것이다. 둘째, 세계적으로 우수한 폐목재 리사이클설비 기술을 보유하고 있으며, 특히 파티클보드 공장의 설치단계에서부터 저급 폐목재 사용에 적합하도록 폐목재 재활용 공정시스템을 구축하였기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 이태리의 목재자원은 매우 빈약한 반면에 가구산업이 폐목재의 주요 공급원이 되고 있기 때문이다.

이태리 파티클보드 산업의 경우 양질의 폐목재를 확보할 수 있는 여건이 조성되어 있지 않은 이유가 있어서 주로 원재료의 대부분 즉 80%가까이를 생활폐목재를 사용하고 있는 것으로 나타나고 있다는 특징을 보이고 있다. 생활폐목재는 그 특성상 각종 이물질 제거를 위한 기술이 확립되어 있지 않으면 파티클보드용 원자재로 사용하기가 매우 어려워지게 되는데, 저급 생활폐목재의 선별 및 이물질 분리공정이 매우 우수한 기술수준이 확립되어 있다는 점에서 시사하는 바가 크다고 하겠다. 우리나라가 앞으로 생활폐목재를 단순히 소각하여 열을 이용하는 저급의 재활용수준에서 벗어나기 위해서는 이태리와 같이 고도의 기술과 장비를 갖추기 위한 노력이 우선적으로 선행될 필요가 있다. 또한 이태리의 경우 생활폐목재는 대부분 중간 파쇄처리시설을 거쳐 1차 파쇄한 칩으로 공급한다는 것이 특징이다.

6. 폐목재 순환이용시스템 확립을 위한 제도개선 방안

가. 순환이용시스템의 기본방향

본론에서 검토하였듯이 환경부의 통계자료에 따르면 폐목재는 건설폐기물과 생활폐기물이 주종을 이루고 사업장폐기물은 가장 적게 발생하는 것으로 보고되고 있다. 폐목재의 순환이용을 고려하면 폐목재의 일차적 처리는 물질순환을 시켜서 보드원료 등 관련산업의 원료로 사용하는 것이 바람직하며, 그 다음으로 원자재로 사용할 수 없는

경우는 폐목재가 가지고 있는 에너지를 회수하여 연료로 사용하는 것이 바람직하고, 연료로도 사용할 수 없는 폐목재는 단순 소각처리하는 쪽으로 기본방향을 정해놓고 이를 실천할 수 있는 제도적 장치를 마련하는 것이 무엇보다도 중요하다.

건설폐목재나 사업장에서 배출되는 물류폐목재는 양질의 파티클보드용으로 사용될 수 있으나 폐목재 발생량의 약 절반 정도만이 보드원료로 사용되고 나머지는 저급의 용도로 사용되고 있음을 파악하였다. 본론에서 건설폐목재의 사용이 저부가가치로 흘러가고 있는 것은 현행 제도상의 문제점이 있기 때문임을 확인할 수 있었다. 따라서 법률 개정을 비롯한 제도상의 문제점이나 미흡한 점을 개선하는 노력이 무엇보다도 선행되어야 할 것이다.

생활폐목재의 경우는 파티클보드용으로의 사용이 2005년부터 소량이나마 추진되고 있다. 생활폐목재의 발생량을 추정하였을 때 연간 약 26만 톤에 달하는 것으로 나타나고 있다. 적지 않은 양이 발생되고 있음에도 불구하고 고비용으로 단순 소각 처리되거나 자원회수시설을 통하여 발열을 통한 발전 등의 용도로 활용되는 것이 고작이다. 이태리의 경우와 같이 보드원료의 80% 가까이를 생활폐목재로 사용하기 위해서는 철저한 분리 선별작업이 선행되고 다양한 성상의 생활폐목재를 이용한 보드제도 기술이 개발되어야 할 것으로 판단된다. 기술개발은 생활폐목재의 고부가가치 이용률을 높이는데 기여할 것으로 판단되나, 무엇보다도 우선적으로 생활폐목재의 분리 선별하기 위한 중간 처리시설의 확대가 중요한 것으로 판단된다.

폐목재의 재활용 촉진을 위한 관련 법규상의 문제점 및 개선방안, 그리고 정부의 지원방안을 다각도로 검토해 보면 다음과 같다.

나. 폐목재 재활용 관련 법규상의 문제점 및 개선방안

1) 건축폐목재 재활용 관련 법규상의 문제점 및 개선방안

가) 건설폐목재의 혼합배출 방지 및 분리배출 의무강화

건물 등의 철거과정에서 배출되는 폐기물의 처리방법에 대한 기준은 폐기물관리법에 명시되어 있어서 폐목재의 경우 종류별 성상별로 분리 배출하도록 규정되어 있으나, 100% 재활용이 가능한 신축 건설현장에서 배출되는 폐목재의 처리방법에 대한 기준은 명확히 제시되어 있지 않다.

또한 '건설폐기물 재활용촉진에 관한 법률 시행령'에 의하면 건설현장에서 배출되는

폐목재는 분리, 선별하여 배출하게 되어 있으나, 2종류 이상의 폐기물이 혼합되어 배출되는 경우 혼합폐기물로 처리할 수 있도록 인정하고 있는데, 이를 악용하여 많은 건설업체들이 폐목재 수집운반자나 재활용업체와 처리계약을 맺지 않고 혼합폐기물을 수집 운반하는 건설폐기물 수집운반업체 또는 중간처리업체와 처리계약을 맺어 처리하고 있어서, 불법 무단 처리의 원인을 제공하고 있는 실정이다.

따라서 폐기물관리법이나 '건설폐기물 재활용촉진에 관한 법률'의 관련 규정에서 혼합폐기물로 목재를 처리할 수 없도록 관련 규정을 개정할 필요가 있다.

나) 건설폐목재의 연료용 사용 금지

현행 폐기물관리법에는 '페인트, 기름, 방부제 등이 묻어 있지 아니한 목재와 벌채, 산지개간 또는 건설공사 등으로 발생한 나무뿌리, 가지 등'을 연료용으로 사용하는 것, 즉 소량의 경우 연료용으로 사용하는 것을 허용하고 있기 때문에, 건설현장에서 폐목재가 무단으로 배출되는 원인을 제공하고 있으며, 폐목재의 운반과정에서 폐목재 수집·운반허가를 받지 않은 일반차량이 이용되고 있다. 이는 폐기물관리법을 엄격하게 적용받고 있는 폐기물 수집·운반업체와 재활용업체와의 법률 형평성에도 크게 위배되고 있다는 문제점을 갖고 있다. 또한 신축 건설현장에서 발생하는 폐목재는 표면부착자재를 사용한 합판 등이 많기 때문에 이를 연료로 사용하여 소각할 경우 환경오염을 유발시킬 우려가 있다는 문제점도 갖고 있다. 따라서 신축건설현장이나 토목공사현장에서 발생하는 폐목재는 소각 처리할 수 없도록 폐기물관리법을 개정할 필요가 있다.

다) 건설폐목재의 원거리 운송에 따른 규제 완화

파티클보드 업체의 경우 신축 건설현장 등의 폐목재는 반영구적으로 순환재활용이 가능한 자원이기 때문에 최근과 같이 폐목재 확보가 어려운 여건에서는 건설 폐목재 수거 범위를 전국적으로 확대하고 있다. 또한 파티클보드 공장이 우리나라의 경우 인천과 울산에만 있기 때문에 건설폐목재를 단순 소각하는 것이 아닌 고부가가치 목제품인 파티클보드를 생산하기 위한 원료로 사용하기 위해서는 100km를 초과하여 운반하는 것은 빈번하게 일어난다. 그러나 현행 폐기물관리법에 의하면 수집 운반거리 제한 규정에 의해 운반거리가 100km를 초과할 경우 인계서를 6매 작성하여 반입 7일 이내에 관할 광역단체 또는 지방환경부서에 제출하도록 규정되어 있어서, 100km이내의 운반 시에 간이인계서 4장을 작성하는 것에 비하여 행정절차상의 번거로움이 발생

하여 원활한 원료 확보에 어려움을 제공하고 있다. 따라서 폐목재의 경우에는 이를 제외하도록 폐기물관리법을 개정할 필요가 있다.

라) 건설폐목재의 신고필증 교부 강화

건물 신축을 위해 시공업체가 공사현장 관할 자치단체에 배출자 신고 서류를 접수할 때, 폐기물을 종류별로 구분하여 신고하게 되어 있으므로 폐목재에 대한 예상 배출량을 기록하고 폐목재 종목만을 운송하는 수집·운반업체 및 재활용업체와의 계약 유무를 확인한 후 배출자 신고를 허락할 필요가 있다. 이는 혼합 건설폐기물 운반업체를 통한 무단 처리를 방지하고 건설폐목재의 재활용을 높이기 위해서 꼭 필요한 조치이다.

또한 신축공사 현장에서 폐목재의 배출처리 시 현행 법규에 따라 처리계약이 체결된 업체에 간이인계서를 작성하여 처리하고 있는지 현장 지도점검이 철저하게 이루어져야 한다.

<표 1-29> 건설폐목재 관련 폐기물관리법의 개정방안

문제점	관련 현행 법규	법 개정
건설 폐목재의 혼합배출	폐기물관리법 시행규칙 [별표 4]의 5(사업장폐기물중 건설폐기물의 기준 및 방법) 가. 공통사항 (1) ~ (5)	<신규 조항 삽입> <u>신축 건설현장에서 발생하는 가설제로 사용된 폐목재류는 반드시 건설폐기물 폐목재수집·운반 허가자를 통해 폐목재 재활용업체에서 처리되어야 한다.</u>
건설폐목재의 연료용 사용	폐기물관리법 시행규칙 제6조의 3(폐기물처리시설외의 장소에서의 폐기물처리) 영 제6조제1항제 5호 단서에서 “환경부령이 정하는 방법에 따라 처리하는 경우”라 함은 다음 각호의 경우를 말한다. 6. 페인트·기름·방부제 등이 묻어 있지 아니한 목재와 벌채·산지개간 또는 건설공사 등으로 발생한 나무뿌리·가지를 연료용(노천소각을 제외한다)으로 사용하는 경우	<개정> ... (중략) ... 6. 페인트·기름·방부제 등이 묻어 있지 아니한 목재와 벌채·산지개간 또는 건설공사 등으로 발생한 나무뿌리·가지를 연료용(노천소각을 제외한다)으로 사용하는 경우 <u>다만, 신축건설이나 토목공사에서 발생하는 폐목재는 제외한다.</u>
건설 폐목재 원거리 운송상의 인계서 작성의 번거로움	폐기물관리법 시행규칙 제14조(사업장폐기물의 인계·인수) ③법 제25조제4항 단서에서... (중략)...다만, 동일한 도(특별시 및 광역시는 인접하는 도에 포함되는 것으로 본다)안에서 폐기물을 운반하는 경우를 제외한다.	<개정> 폐기물관리법 시행규칙 제14조(사업장폐기물의 인계·인수) ③법 제25조제4항 단서에서... (중략)...다만, 동일한 도(특별시 및 광역시는 인접하는 도에 포함되는 것으로 본다)안에서 폐기물을 운반하는 경우와 <u>신축 건설현장에서 발생하는 폐목재가 폐기물 수집·운반업체를 통해 재활용업체(파티클보드 제조업체)에 공급되는 경우를 제외한다.</u>
건설 폐목재 신고필증 교부 강화	폐기물관리법 시행규칙 제10조(사업장폐기물배출자의 신고)③시장·군수·구청장은 제2항의 규정에 의한 신고서를 받은 때에는 별지 제3호서식 또는 별지 제3호의2서식의 사업장폐기물배출자신고필증을 신고인에게 교부하여야 한다.	<개정> 제10조(사업장폐기물배출자의 신고)③시장·군수·구청장은 제2항의 규정에 의한 신고서를 받은 때에는 <u>중목별 처리자와 계약한 것을 확인한 후</u> 별지 제3호서식 또는 별지 제3호의2서식의 사업장폐기물배출자신고필증을 신고인에게 교부하여야 한다.

<표 1-30> 건설폐목재 관련 건설폐기물재활용촉진에관한법률의 개정방안

문제점	관련 현행 법규	법 개정
건설폐목재의 혼합배출	<p>건설폐기물의재활용촉진에관한법률시행령 제9조(건설폐기물의처리기준)</p> <p>1. 건설폐기물은 폐콘크리트, 폐아스팔트콘크리트, 폐목재, 폐합성수지, 폐금속류 등의 종류별로 재활용가능성, 소각가능성 여부 등에 따라 구분하여 수집 운반 보관할 것. 다만, 다음 각목의 어느 하나에 해당하는 경우에는 그러하지 아니하다.</p> <p>가. 건설폐기물의 발생 또는 배출당시 2종류 이상의 건설폐기물이 혼합하여 발생 또는 배출되는 경우</p>	<p><단서조항에서 폐목재 제외규정 삽입></p> <p>가. 건설폐기물의 발생 또는 배출당시 2종류 이상의 건설폐기물이 혼합하여 발생 또는 배출되는 경우. 다만, 신축 건설현장에서 발생하는 가설재로 사용된 폐목재류는 반드시 분리 배출해야 한다.</p>

2) 생활폐목재 재활용 관련 법규상의 문제점 및 개선방안

가) 생활폐목재의 단순 소각처리 지양 및 고부가가치 활용 유도

이태리 등의 선진 유럽에서는 폐가구 등의 생활폐목재를 활용하여 우수한 파티클보드를 제조하고 있으나 우리나라는 폐가구 등의 생활폐목재를 거의 대부분 소각 처리하고 있어 막대한 자원의 낭비는 물론 소각에 따른 막대한 경제적 손실과 환경오염을 야기하고 있다.

서울시 관내의 자원회수시설은 소각 처리하여 열병합발전 등으로 폐기물을 재활용하는 시설인데, 지역별로 가동률에 따라 소각처리단가가 차이가 있으나 시설투자에 대한 감가상각비 등을 고려할 경우 소각처리비용이 파티클보드 원료로 사용하는 것보다 월등히 비싸다는 것을 확인할 수 있다. 일반 사설 소각시설에 배출 처리할 경우

톤당 20만원 내외가 되기 때문에 그 비용은 더욱 커지게 된다.

또한 파티클보드 업체에서 폐가구를 원재료로 사용하는 경우 폐기물관리법 상의 위법행위로 해석하는 경우가 발생하는데, 이는 폐가구를 소각처리하거나 연료로 사용하는 경우에는 공해를 유발할 수 있는 반면에, 파티클보드와 같이 원재료를 순환이용하는 경우에는 유해물질이 배출되지 않는다는 사실을 반영하지 않는 법 조항의 모순 때문에 발생하는 문제이다.

실제로 이태리 같은 경우는 생활폐목재를 보드 원재료로 적극적으로 사용하고 있는 현실에 비추어 보아도 우리 실정이 너무 동떨어져 있음을 알 수 있다. 따라서 파티클 제조업체는 폐가구 등의 생활폐목재를 순환재활용하여 친환경제품을 제조할 있는 시설이기 때문에 생활폐목재를 적극 활용할 수 있도록 폐기물관리법상의 관련 조항을 개정하는 것이 바람직하다.

<표 1-31> 서울시 관내 자원회수시설의 운영실적(2005년도)

시설명	2005년 처리량(톤)		1일 처리능력 (톤/일)	가동률 (%)	소각처리단가 (원/톤)
	1일	연간			
노 원	147.6	49,804.7	900	18.5	103,324
강 남	211.7	72,408.0	800	23.5	73,143
마 포	443.0	87,718.7	750	59.1	35,032
양 천	131.2	43,690.2	400	32.8	120,156

<표 1-32> 생활폐목재 관련 폐기물관리법의 개정방안

문제점	관련 현행 법규	법 개정
생활폐목재의 단순 소각 처리	폐기물관리법 시행규칙 [별표 11의2]의 폐기물의 재활용 용도 및 방법(제46조제3항관련) 4의9. 폐목재(페인트·기름·방부제 등이 묻어 있는 폐목재는 제외한다)로 숯·활성탄·톱밥 등을 제조하거나 나무제품의 원료로 가공하는 경우	<개정> 폐기물관리법 시행규칙 [별표 11의2]의 폐기물의 재활용 용도 및 방법(제46조제3항관련) 4의9. 폐목재(페인트·기름·방부제 등이 묻어 있는 폐목재는 제외한다)로 숯·활성탄·톱밥 등을 제조하거나 나무제품의 원료로 가공하는 경우. 다만, 폐가구류는 파티클보드 제조용 원료로 사용할 수 있다.

다. 폐목재 재활용촉진을 위한 정부지원 방안

1) 생활폐목재 중간처리를 위한 공공 재활용기반시설 확충

‘자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률’ 및 ‘공공 재활용기반시설 설치·운영지침’에 의하면 정부는 가정 등에서 분리수거한 재활용가능자원의 효율적이고 원활한 재활용을 지원하기 위하여 지자체가 반입·투입설비, 선별설비, 감용설비, 파쇄(분쇄)설비, 압축설비, 저류·반출설비, 보관설비, 환경오염 방지설비, 건축물 및 부대설비 등을 공공시설물로 설치하는 경우 소요 사업비의 일부는 국고 보조 지원하는 것으로 되어 있다. 동 지원사업을 이용하여 폐목재의 중간처리를 위한 시설을 현대화할 필요가 있다.

서울시에 대한 조사에서도 파악되었듯이, 25개 지자체구 가운데 파쇄기를 설치한 곳은 17개 자치구이며, 가동하고 있는 곳은 11개 자치구에 불과한 실정이다. 또한 파쇄기 운영실적을 보면 폐가구를 상용인부들이 수작업으로 해체하여 쇠붙이나 이물질을 제거하는 경우가 대부분으로서, 수작업에 의존하기 때문에 폐목재의 성상별로 제대로 분리 배출이 되지 않는 문제점이 발생하고 있다. 이러한 것은 파쇄장비를 비롯하여 중간처리 기자재 및 시설이 열악하기 때문에 발생하는 것으로서 결과적으로 폐목재의 재활용이 부가가치가 높은 곳으로 흘러가지 못하고 단순 소각 이용하는 형태로의 배출을 조장하는 현상을 야기하게 된다. 따라서 보다 현대화된 각종 폐목재 중

간처리 및 선별장비를 각 시·군·구별로 확충하는 노력이 필요하며, 이러한 것은 이태리의 사례를 통하여 확인할 수 있다.

폐목재의 재활용률을 높이기 위해서는 별도의 폐목재 수집·처리 전담기구를 권역별로 설치하는 대안을 생각해 볼 수도 있으나, 현실적으로 생활폐목재가 고려 가능한 최고의 고부가가치 제품 제조 원료로 사용된다고 하더라도 파티클보드가 상한선이기 때문에 별도의 전담기구를 설립한다는 것은 현실적으로 경제적 타당성이 부족하다고 할 수 있다. 따라서 현재 각 구청별로 운영하는 적환장을 이용하여 현대화된 폐목재 중간처리 시설을 도입 운영하는 것이 보다 더 설득력을 갖고 있다고 하겠다.

2) 건설폐목재처리 분리발주 시행 강화

현행 「건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률」 제15조 제1항 및 시행령 제11조에 의하면 「국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률」 적용대상 행정기관, 정부투자기관 등에서 100톤(2006. 12. 31. 까지 500톤)이상 발생하는 건설폐기물을 위탁처리 하고자 하는 경우에는 건설공사와 폐기물처리용역을 분리하여 발주하도록 규정되어 있다. 건설폐기물이 적정 처리되기 위해서는 처리업체에 정당한 처리비용 지급이 필수적이나, 분리발주 시행 이전에는 건설공사와 건설폐기물처리용역을 일괄 발주함에 따라 하도급 판매상 건설업체에서 폐기물처리업체에 적정 처리비를 지급하지 않음으로써 불법처리 및 무단 투기가 빈발하였다. 이러한 문제 해결을 위하여 규제개혁위원회에서는 공공기관 발주 건설공사에 대하여 공사와 폐기물처리를 분리하여 발주토록 하는 분리발주제도를 도입하였으며, 「폐기물관리법 시행규칙」 개정을 통하여 2001. 1. 1.부터 시행되어 오던 중, 건설폐기물의 친환경적 적정 처리와 재활용을 보다 획기적으로 촉진하기 위한 목적으로 「건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률」이 제정(2003. 12. 31)되어 분리발주제도가 동 법률에 새로이 규정되어 2005. 1. 1.부터 시행되게 되었다.

분리발주를 시행하기 이전에는 건설폐기물 처리업체의 입찰참가 기회가 없었기 때문에 건설폐기물의 처리능력이나 시설 등이 제대로 평가되지 못하고 원도급자로부터 하도급자, 철거업자 등을 거쳐 처리업자에게 발주됨으로 인하여 처리업체가 저가의 처리비 덤핑 수주로 불법처리의 개연성이 높아지게 되는데, 이러한 과정을 거치면 예컨대 톤당 14,000원의 처리비가 처리업자의 손에는 톤당 7,000원밖에 주어지지 않는 문제점이 발생하게 된다. 반면에 분리발주 시행 이후는 발주자가 처리업체의 시설, 능력 등을 평가하여 적격업체를 선정하고 정당한 처리비를 지급하게 되기 때문에 건설

폐기물 처리업자가 톤당 12,500원에 낙찰을 받기 때문에 결과적으로 폐기물의 적정 처리 및 순환 재이용이 가능해지게 된다.

<표 1-33> 건설폐기물처리 분리발주 시행의 효과(예시) (단위 : 원/톤)

구 분	발주자	원도급자	하도급자	철거업자	처리업자
분리발주 이전	처리비: 14,000원	12,500원 수주	11,000원 도급	9,000원 도급	7,000원 도급
분리발주 이후	처리비: 14,000원		공 개 경 쟁		12,500원 낙찰

건설폐기물의 분리발주 시행에 따라서 분리발주 시행 이전에는 난지도 인근 야산 등에 건설폐기물 불법투기 사례가 언론에 수시로 보도되었으나, 동 제도 시행 이후로는 불법투기 적발 사례가 현저히 줄어드는 효과를 가져왔다. 또한 일괄 발주 시에는 건설폐기물 처리업체의 처리능력 등에 대한 평가가 이루어지지 않는 반면, 분리발주 시에는 공개경쟁입찰을 통하여 입찰가격, 용역이행능력, 순환골재 생산능력, 기술능력, 과거 불법처리 유무 등을 종합평가하여 적합한 처리업체를 선정하게 되므로 건설폐기물의 친환경적 적정처리가 담보되는 효과를 가져왔으며, 건설폐기물이 단순 매립될 경우 막대한 예산을 들여 조성한 지자체 매립지 수명을 단축시키는 주된 요인이 되나, 양질의 순환골재로 환원·공급됨으로써 자연환경과 경제를 동시에 살리는 에코-2 효과가 극대화되는 효과도 있는 것으로 알려져 있다.

「건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률」이 순환골재를 위주로 하여 재활용하기 위한 목적으로 제정 운영되고 있다는 한계가 있으나, 일본의 「건설·리사이클법」과 같이 폐목재도 특정건설자재로 지정하여 철저한 분리배출의 의무를 갖게 한다면 건설 폐목재의 약 절반 정도만이 파티클보드용으로 사용되고 있는 현실 여건을 감안해 볼 때 현재 순환골재에 대하여 실시하고 있는 분리발주제도를 이용하면 건설폐목재의 재활용에 크게 도움을 줄 것으로 기대된다.

3) 폐목재 재활용제품의 우선구매제도 강화

폐목재의 자원순환 이용을 고려하는 재활용체계를 확립하는 데 있어서 가장 최종단계인 재활용 제품 소비촉진 제도의 확립이 무엇보다도 중요하다. 현재 폐목재를 이용

한 재활용 제품으로서는 파티클보드가 있다. 현재 파티클보드는 전체 소비량 약 160만㎡ 가운데 약 53%만이 자급되고 나머지는 수입에 의존하고 있는 것으로 나타나고 있다. 이미 국내 시장에는 외국의 값싼 파티클보드가 약 47%를 차지하고 있을 뿐만 아니라 주 수입산인 태국산 바나차이사의 수입원가가 75~80불/㎡에 불과하여 국산보다 훨씬 경쟁력을 갖추고 있다는 데 문제의 본질이 있다.

<표 1-34> 파티클보드의 수급 추이 (단위 : ㎡)

연 도	생 산	수 출	수 입	소 비	자급률 (%)
2001	723,029	-	594,827	1,317,856	54.9
2002	728,139	-	999,791	1,727,930	42.1
2003	794,206	811	680,973	1,474,368	53.9
2004	896,482	694	867,266	1,763,056	50.8
2005	847,367	730	758,875	1,605,512	52.8

따라서 폐목재를 재활용하여 생산한 국산 파티클보드가 수입제품과의 경쟁에서 경쟁력을 갖추지 못하게 되면 국산 파티클보드의 소비가 위축되고 결과적으로 국내 폐목재의 재활용도 어려워지는 악순환 고리를 갖게 된다. 따라서 국산 파티클보드가 값싼 수입산 파티클보드보다 경쟁력을 갖추기 위한 다양한 방법이 경주되어야 하나, 그 중의 하나는 국산 폐목재 재활용제품의 우선구매제도를 강화하는 방안을 대안으로 제시할 수 있다.

공공기관 재활용제품 우선구매제도는 '자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률' 제32조 및 동법 시행령 제39조와 '공공기관의 폐기물 재활용촉진을 위한 지침(국무총리 훈령 제381호)'에 그 법적 근거를 두고 1992년부터 시행되고 있으며, 2002년 2월 4일 '자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률'의 개정으로 공공기관의 재활용제품 우선구매제도가 권고사항에서 의무화로 강화되었다. 우선구매 대상기관은 2004년도 말 기준으로 중앙행정기관(48개), 지방자치단체(248개), 교육청(196개), 정부투자기관(13개), 출자기관(112개), 출연기관(137개), 특별법인(167개) 등 총 921개 기관에 이르고 있다. 우선구매 대상품목은 2004년 2월 공고된 품목을 기준으로 보면 폐지류, 폐플라스틱류 등 297개 품목에 이르고 있다. 폐목재의 경우는 목재 성형팔레트, 학생용책상상판, 학생용 책·결상, 섬유판, 파티클보드, 마루바닥판, 의자용 등판, 의자용 좌판, 사무용 상

판, 야외용 벤치, 불박이장, 목재흡음재, 식탁용 테이블, 컴퓨터 책상, 재생목재 의자, 재생목재 문틀 등 총 16개 품목이 해당된다. 폐목재를 이용한 다양한 제품의 개발이 필요하며 이들 제품이 우선구매 대상이 되기 위해서는 우수재활용제품(GR. Good Recycled), 환경마크(EL. Environmental Labelling), 한국산업규격(KS) 등의 품질인증을 받은 제품을 위주로 광고하기 때문에 이들 품질인증을 획득하기 위한 노력이 병행되어야 할 것이다. 정부는 재활용제품의 우선구매제도를 민간단체나 기업을 대상으로 확대해 나갈 방침을 갖고 있기 때문에 고무적이라 판단된다.

공공기관에서는 목제품을 많이 사용하고 있으며, 특히 학교건물의 경우에는 마루판재, 책걸상 및 의자 등이 모두 목제품을 사용하고 있기 때문에 공공기관이 솔선수범하여 폐목재 재활용 제품을 우선 구매할 수 있도록 홍보 및 지도를 강화할 필요가 있다.

4) 폐목재 재활용 기술개발 및 인증제도 보완

폐목재의 재활용실적을 보면 건설폐목재의 경우 파티클보드 원료로 사용하는 것은 건설폐목재 발생량의 약 49%만이 해당되며, 생활폐목재의 경우는 약 8% 내외에 불과한 실정이다. 건설폐목재가 양질의 보드원료가 된다는 점을 감안해 보면 다양한 형태로 발생하는 건설폐목재를 폐목재의 성상을 고려하여 보드원료로 사용할 수 있는 기술개발이 매우 중요할 것으로 판단된다. 생활폐목재는 더더욱 화장 및 가공 마감재가 많이 부착되어 있는 폐가구류로부터 발생되기 때문에 보드원료로 사용하기 위해서는 건설폐목재보다도 더욱 많은 기술개발이 요구되는 실정이다. 정부가 체계적으로 폐목재를 재활용하기 위한 기술개발을 장기간에 걸쳐 지속적으로 연구 개발을 추진하여야 할 것으로 보인다. 이태리의 경우 생활폐목재를 보드원료의 80% 가까이를 사용하여 보드 생산을 하고 있다는 점을 감안해 보면 거의 단순 소각 처리되고 있는 우리나라의 생활폐목재에 대한 재활용 기술 및 설비 개발이 절실한 실정이라 할 수 있다.

폐목재 재활용을 위한 기술개발은 단순히 이용만을 전제로 한 것이 아니라 품질인증기준에 적합한 제품을 생산해 낼 수 있느냐의 여부가 중요한 판단기준이 될 것 같다. 우리나라의 환경표지 인증기준을 보면 단일 품목별로 책정되어 있는 인증기준을 보면 폐목재의 발생원에 따라서 예상되는 폐목재의 다양한 성상을 충분히 고려하지 못하고 있음을 일본의 에코마크제도의 인증기준과의 비교를 통하여 알 수 있다. 재생목재보드의 경우 화장 가공하는 제품의 허용 구성비율, 방부·방의·방충·처리된 재료의 포함여부 등을 포함한 구체적인 품질 인증기준을 확립하여 현장에서 재활용하는

과정에서의 불필요한 법적 오해의 소지를 줄여줄 필요가 있다.

라. 가칭 『폐목재 재활용촉진에 관한 법률』 제정

현재 우리나라의 폐목재 처리실태를 보면 법규를 준수하지 않고 불법 또는 편법적으로 현장에서 처리되는 경우가 많으며, 저부가가치 용도로의 이용이나 저가의 수입 파티클보드로 인한 경쟁력 약화로 폐목재 재활용을 위한 선순환구조가 마련되어 있지 못하는 문제점이 있다. 일본의 경우는 폐목재를 특정건설자재로 지정하여 철저한 분리배출을 의무화하고 있으며 폐목재 배출 시에 비용부담원칙에 의거하여 처리비를 징수하는데 비하여, 우리나라는 『건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률』이 순환골재 위주로 제정되어 있어서 혼합배출을 허용할 뿐만 아니라 폐목재배출자에게 오히려 원료비 구입 명목의 비용을 지불하는 등의 모순이 발생하고 있는 것으로 분석되었다.

폐목재의 재활용을 높이기 위해서 앞에서 언급한 바와 같이 『폐기물관리법』 및 『건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률』 등 관련 법규를 개정함은 물론 생활폐목재 수집·처리과정에서 시·군·구별로 고부가가치 재활용을 위한 중간처리 기반시설을 확충하고, 건설폐목재처리도 분리 발주체제를 강화하며, 폐목재 재활용제품의 우선구매 제도를 강화하는 등의 정부지원정책을 강화할 필요가 있다.

그러나 현재의 폐기물 재활용정책 특히 건설폐기물의 경우는 순환골재를 위주로 하여 법조문이 만들어져 있다는 점을 감안해 볼 때 현행 법규체계 내에서 법조항 몇 개를 바꾼다고 하여 폐목재의 재활용이 원활히 이루어질지는 미지수이다.

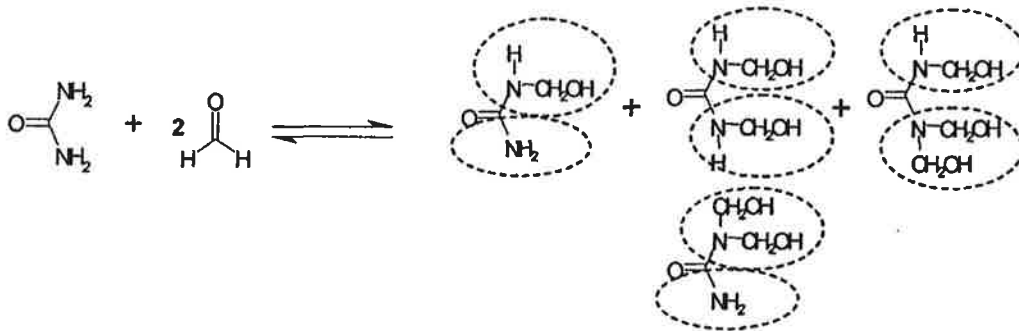
폐목재의 재활용을 보다 적극적으로 실행하기 위해서는 가칭 『폐목재 재활용촉진에 관한 법률』을 제정하여 폐목재의 순환이용 시스템을 확립하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

제 2 절 고성능 접착제의 합성 · 이용기술 개발

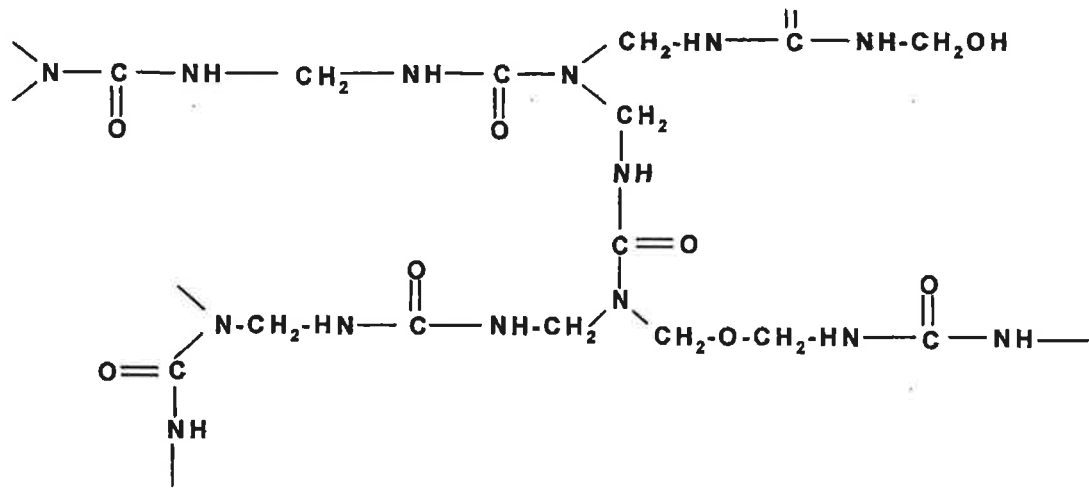
1. 서 설

국내 목질보드공업에서는 저가의 아미노계 접착제가 상용화되어 있으며, 포름알데히드방출 등의 문제점을 지니고 있으나, 접착제가 차지하는 비용부담 및 성능상의 제약으로 인하여 대체 접착제의 개발 및 접착제의 성능 향상에 어려움을 겪고 있다. 따라서 국내 목질보드업계는 저가의 아미노계수지 접착제를 가장 많이 사용하고 있다. 예를 들면 20002년 국내 접착제 총 생산량은 약 47만 톤으로 이중 목재접착제인 포름알데히드계 접착제는 약 37%를 차지하며, 이 가운데 요소수지 접착제는 약 17만 톤으로 목재접착제의 약 74%를 차지하고 있다.

요소수지 접착제는 요소와 포름알데히드의 반응물이다. 일반적으로 요소수지는 알칼리 부가반응과 산성하의 축합반응을 통해서 얻어진다. <그림 2-1>과 <그림 2-2>는 요소수지의 알칼리반응과 산성반응에서 생성되는 메칠올요소(methylolated urea)와 메칠렌요소(methylene urea)의 모식도를 나타낸 것이다.



<그림 2-1> 요소수지의 알칼리 반응(methylolation) 모식도



<그림 2-2> 요소수지의 산성반응(condensation) 모식도

요소수지 접착제는 페놀수지접착제, MDI수지 접착제 등에 비해 단점도 있으나, 장점도 많다. 예를 들면 요소수지는 무색투명하고 경화속도가 비교적 빠르고 가격이 저렴하고 물에 대한 용해성이 좋다. 그러나 요소수지의 가장 큰 단점은 이를 이용해 목질보드를 제조할 경우 이들 제품에서 포름알데히드가 다량으로 방출되며 내수성이 약하다는 점이다. 요소수지접착제를 사용한 목질보드에서 발생하는 포름알데히드는 일반적으로 요소수지내에 존재하는 미반응 유리포름알데히드와 요소수지가 경화된 후 가수분해로 인한 것으로 알려져 있다. 또 메칠렌결합의 가역반응은 낮은 내수성과 포름알데히드 방출에 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 이에 포름알데히드방출 문제는 지난 수십 년간 요소수지의 가장 중요한 문제의 하나로 인식되어 왔다.

따라서 수지기술(resin technology)들을 통해 목질보드제품의 포름알데히드방출량을 저감하고자 각국간에 많은 노력이 기울여졌다. 따라서 본 연구에서는 아미노계 접착제를 대상으로 하되, 보드제품의 성능요구도 증대 및 저질 폐목재류 사용 증가에 대응하여, 보다 정밀하고 과학적인 분석방법을 통하여 접착제의 성능상의 한계를 극복하기 위하여 요소수지 합성방법 중 포름알데히드/요소(F/U) 몰비 영향에 대한 연구를 수행하였다. 특히 F/U 몰비가 요소수지 접착제의 열경화거동에 미치는 영향과 각 몰비에 따라 합성한 요소수지 접착제와 폐목재를 이용해 제조한 파티클보드의 포름알데히드방출량과 물리·기계적 물성을 평가하고자 하였다.

2. 요소수지의 합성방법, 경화거동 및 화학적 구조 구명

가. 재료 및 방법

1) 실험재료

가) 요소수지 합성

본 실험의 요소수지 합성에는 실제 공장에서 사용되는 요소(99.9%)와 포르말린(37%)을 사용하였다. 또 요소수지 합성시의 pH 조절은 가성소다(NaOH) 20% 용액과 개미산(formic acid) 20% 용액을 이용하였다. 경화제는 염화암모늄(NH₄Cl) 20% 용액을 수지고형분 기준으로 3% 사용하였다. 또 포름알데히드 첨가제로 사용된 전분은 삼양제넥스사에서 분양받은 것으로 일반 전분(Starch-G)과 4가 암모늄 양이온이 첨가된 변성 전분(Starch-C)이었다. 또 다른 첨가제로 분말상의 ADH는 일본 하이드라지드사에서 분양받아 사용하였다. 상업용 첨가제(TS, 농도 53%)는 태성환경연구소(울산광역시 소재)에서 분양받아 사용하였다.

2) 실험방법

가) 요소수지 합성방법

요소수지 합성은 일반적인 알칼리-산성반응의 순서에 따라 먼저 37% 포르말린을 반응기에 넣고 pH를 7.5~8.0으로 맞춘 다음 1차로 요소를 투입하여 온도를 1℃/분으로 상승시켜 90℃까지 올려 알칼리반응을 시킨 후 pH를 4.5로 조정하여 산성반응을 한 다음 pH를 다시 7.5로 조정한 직후에 2차로 요소를 투입하였다. 반응이 끝난 후 냉각하여 수지고형분, 점도, pH 및 겔화시간을 측정하였다. 수지고형분은 수지 1.5g를 105℃ 열풍순환식 건조기에 넣어 3시간 동안 건조하여 고형분을 정량하였다. 수지 pH는 pH 미터를 이용하여 측정하였으며 점도는 Brookfield 점도계 2번 스피ndl을 이용하여 60 rpm에서 측정하였다. 또 겔화시간은 수지 3g을 시험관에 넣고 이를 100℃ 끓는 물에 넣어 수지가 움직이지 않을 때의 시간을 3반복 측정하여 그 평균값을 얻었다.

합성한 요소수지의 미반응 유리포름알데히드 함량은 황산암모늄(sodium sulfite) 방법을 사용하고자 1M 황산암모늄 25ml를 염산 10ml와 혼합하여 2~3g의 요소수지에 첨가하고 여기에 0.1% thymolphthalein을 약 10방울 정도 떨어뜨려 1N 가성소다로 중화

하였다. 이때 소비된 가성소다의 소비량으로 유리포름알데히드 함량을 정량하였다.

나) 요소수지의 경화거동 및 화학적 구조분석

요소수지의 경화거동을 조사하기 위해 본 실험에서는 시차주사열분석기(DSC, TA, Q-10, USA)를 이용하였다. 요소수지 3~7mg을 고압셀에 정량하여 DSC를 이용해 10 °C/분으로 실온에서 200 °C까지 승온시켜 요소수지의 경화거동을 조사하였다. DSC를 이용하여 경화시작온도(on-set temperature), 최대경화온도(peak temperature), 반응열(heat reaction) 및 활성화에너지(activation energy)를 측정하였다. 활성화에너지는 다음 식(1)로 표현되는 n-order kinetics에 근거하고 있다.

$$da/dt = Z \exp(-Ea/RT)(1-a)^n \dots \dots \dots (1)$$

여기서 반응물인 da/dt 는 Arrhenius 빈도요인 Z , 활성화에너지(Ea), 가스상수(8.314 J/mole·K) 및 온도(K)에 의존한다. 식(1)에 자연 로그를 취하면 식(2)가 된다.

$$\ln(da/dt) = \ln Z - Ea/RT + n \ln(1-a) \dots \dots \dots (2)$$

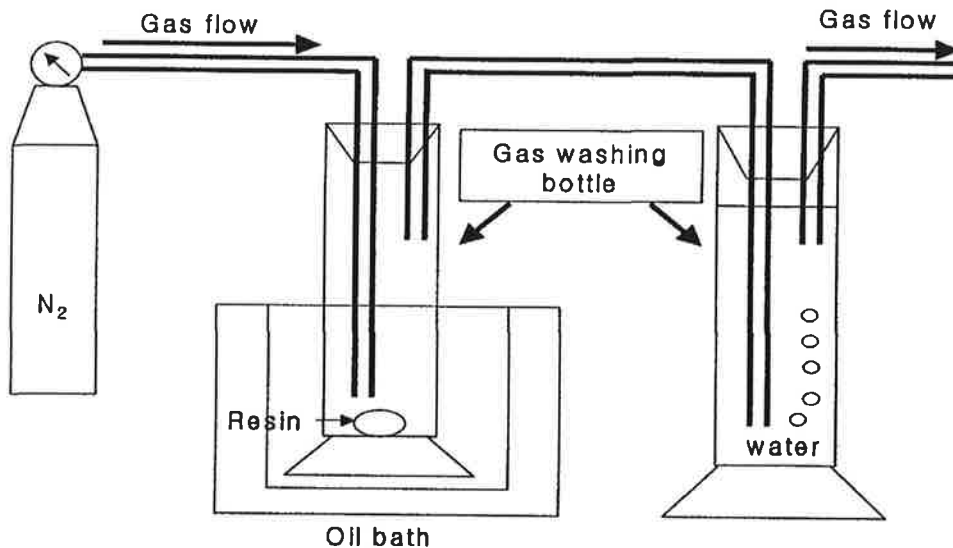
식(2)의 직선회귀를 이용하면 Z 와 Ea 값을 얻을 수 있다.

요소수지의 화학적 구조를 구명하기 위해서는 시료를 동결 건조시켜 분말을 만들고, 다시 dimethyl sulfur oxide (DMSO) 용매를 약 5% 이하의 농도로 용액을 만들어 300 MHz 탄소핵자기공명기(¹³C-NMR, Bruker AMX-R300)를 이용하여 pulse delay 시간을 1초로 하여 20,000회 이상 스펙트럼을 얻었다.

다) 요소수지의 포름알데히드방출량 측정 및 첨가제의 영향

본 실험에 사용된 포름알데히드 첨가제는 분말상 Adipic acid di-hydrazide (ADH), 분말상 전분(starch-G와 starch-C) 및 액상의 상업용 첨가제(TS)를 사용하였으며 모두 요소수지 고형분 기준으로 첨가하였다. 이들 첨가제가 파티클보드의 포름알데히드 방출량에 미치는 영향을 보드를 제조하기 이전에 예측하기 위해 <그림 2-3>과 같은 장치를 고안하여 요소수지 자체의 포름알데히드방출량을 측정하였다. 요소수지 약 3g을 알루미늄 호일에 담아 가스세척병 속에 넣고 이를 다시 온도조절이 가능한 항온

유조(oil bath)에 넣어 다양한 경화조건(온도, 시간, pH)에 따라 요소수지를 경화시켰다. 이때 질소가스를 이용해 요소수지 경화에서 발생하는 포름알데히드 가스를 0.5ml/분 속도로 통과시켜 100ml 증류수가 채워진 가스세척병에서 포집하였다. 경화온도는 80℃, 100℃, 120℃, 140℃에서 30분 동안 경화시켜 포름알데히드를 포집하고 24시간 데시케이터 방법 (KS F 3104)에 따라 포름알데히드방출량을 분석 정량하였다. 경화시간에 따른 영향은 30분, 60분 및 120분에서 온도 100℃에서 경화시켜 측정하였다. 요소수지의 산성 pH는 20% 개미산, 알칼리 pH는 20% NaOH 용액을 사용하여 조정한다. 다음 위와 같은 방법으로 경화온도 100℃, 경화시간 30분에서 포집하였다. 이때 경화제의 농도는 수지고형분 기준으로 3%를 첨가하였다. 첨가제 ADH, TS 및 전분은 수지고형분 기준으로 1%, 3% 및 5%를 첨가하여 경화온도 100℃, 경화시간 30분에서 포집하였다.



<그림 2-3> 요소수지의 포름알데히드방출량 측정용 포집장치

라) 파티클보드의 제조 및 포름알데히드방출량 측정

파티클보드에 사용된 파티클은 국내의 모 파티클보드 공장에서 중층용으로 사용하고 있는 파티클을 분양받아 보드제조 전 함수율 1~2%로 건조하여 사용하였다. 건조한 파티클을 실험용 혼합기에 넣고 요소수지를 분사하여 도포하였다. 혼합된 파티클은 성형틀을 이용해 보드밀도 700kg/m³을 목표로 300mm x 350mm 크기의 매트를 성형

하고 열압기로 열압하여 두께 15mm 파티클보드를 제조하였다. 이 때 열압조건은 온도 180℃에서 열압시간 7분, 열압압력 30kgf/cm² 이었다.

제조한 재생보드는 온도 20℃, 상대습도 65%에서 일주일동안 조습처리하여 물리·기계적 물성을 측정하는 데 사용하였다. 파티클보드의 포름알데히드방출량을 24시간 데시케이터방법으로 측정하였다.

물리적 성질로서 보드함수율, 밀도, 흡수두께팽창률 및 흡수율을 측정하고 기계적 물성으로서는 휨강도, 휨영계수 및 박리강도를 측정하였다. 각 시편의 크기는 KS F 3104에 정하는 바에 따라 준비하고 강도시험기로 물성을 측정하였다. 포름알데히드방출량은 시편을 조습처리 후 KS F 3104에 정하는 24시간 데시케이터 방법으로 포집 및 분석하였다.

나. 연구결과

1) 요소수지 합성방법에 따른 경화거동

요소수지의 합성방법에서 가장 큰 영향인자는 F/U 몰비이다. 몰비를 1.6, 1.4, 1.2 및 1.0의 수준에서 합성한 요소수지의 물성은 <표2-1>과 같다. 불휘발 수지고형분은 약 50~54%의 범위였으며 각 수지의 점도와 비중은 크게 다르지 않았다.

<표 2-1> 합성한 요소수지의 물성

F/U 몰비	불휘발고형분(%)	점도(cps)	비중
1.6	50.1	240	1.26
1.4	51.7	248	1.25
1.2	53.3	254	1.25
1.0	54.5	160	1.21

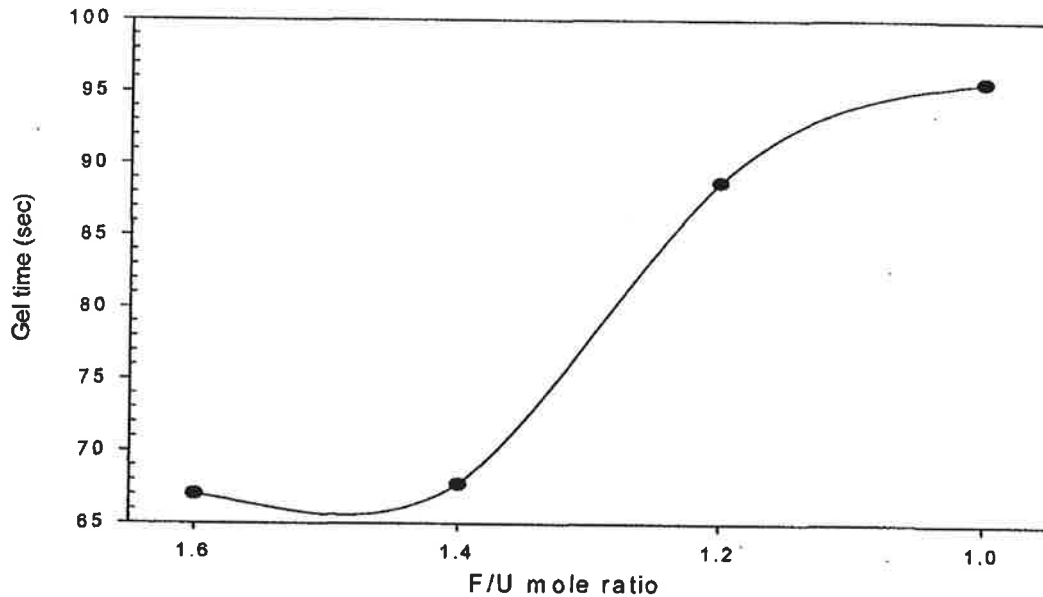
<그림 2-4>는 F/U 몰비에 따른 요소수지의 겔화시간을 나타낸 것이다. 요소수지의 겔화시간은 F/U 몰비가 감소할수록 증가하는 경향을 나타냈다. 특히 F/U몰비가 1.4에서 1.2로 감소한 경우 겔화시간은 급격히 증가하였다. 이와 같은 결과는 요소수지의 반응성이 F/U몰비가 감소함에 따라 낮아짐을 시사하며, 이는 저 F/U몰비에서 포름알데히드가 부족하기 때문으로 추정된다. 이 결과에서 경화시작온도와 최대경화온도는

같은 경향을 보였다.

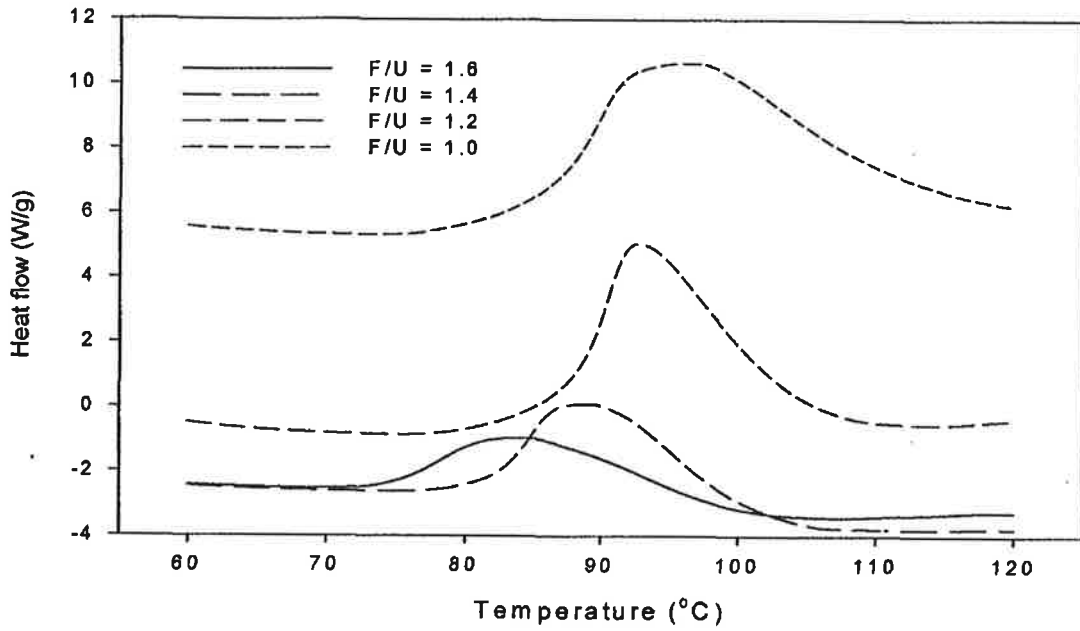
<그림 2-5>는 각 F/U몰비에서 제조한 요소수지를 10℃/분에서 측정된 DSC 곡선들이다. 모든 곡선들은 하나의 발열 peak, 즉 최대경화온도를 가지는데 이는 요소수지의 메칠올요소의 메칠올 그룹(-CH₂OH)들이 축합반응을 하기 때문이다. F/U몰비가 감소함에 따라 최대경화온도가 증가하는 것은 반응성의 감소로 겔화시간의 결과와 같은 경향을 나타낸다.

<그림 2-6>은 F/U몰비에 따른 요소수지의 경화시작온도와 최대경화온도를 나타낸 것으로 F/U몰비가 감소함에 따라 경화시작온도와 최대경화온도는 증가하여 경화반응성이 감소함을 보여 주었다. F/U몰비에 따른 겔화시간, 경화시작온도 및 최대경화온도의 변화는 일관성 있게 요소수지의 반응성이 감소함을 보여주었다.

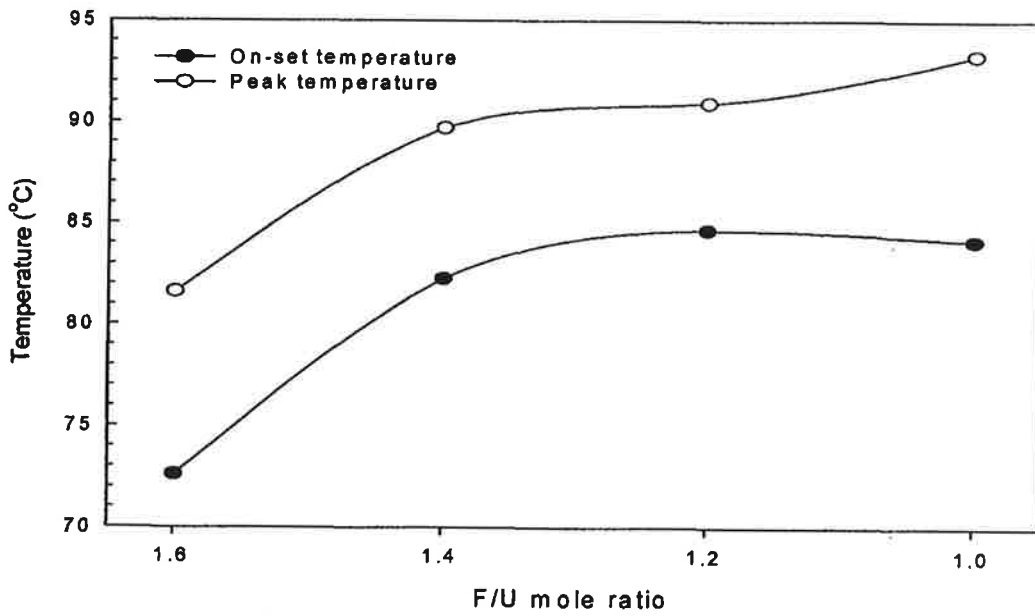
<그림 2-7>은 DSC로 측정된 F/U몰비에 따른 경화반응 상수(*k*)의 변화를 나타낸 것으로서 F/U몰비가 감소할수록 반응상수값 또한 감소하여 경화반응성의 감소가 다시 한번 확인된 결과이다.



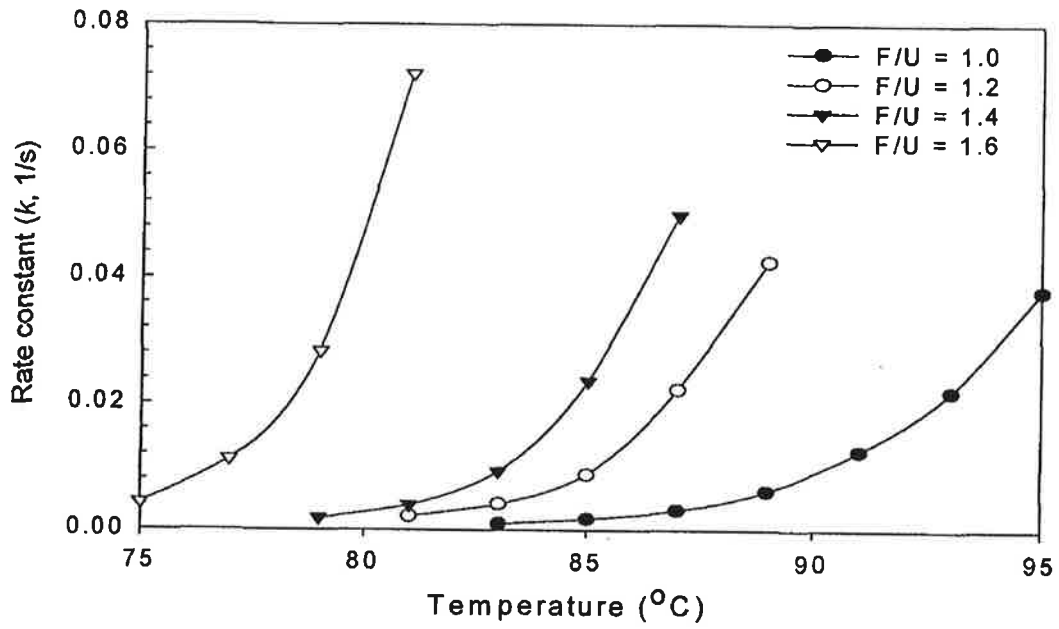
<그림 2-4> 요소수지의 몰비에 따른 요소수지의 겔화시간 변화



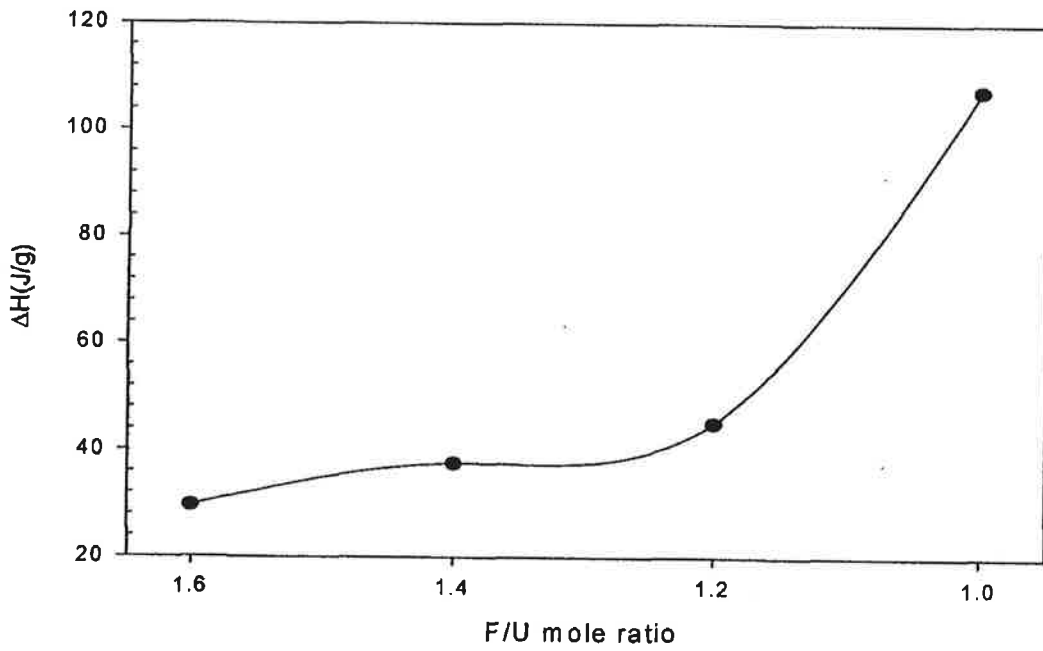
<그림 2-5> 요소수지의 몰비에 따른 요소수지의 DSC thermograms



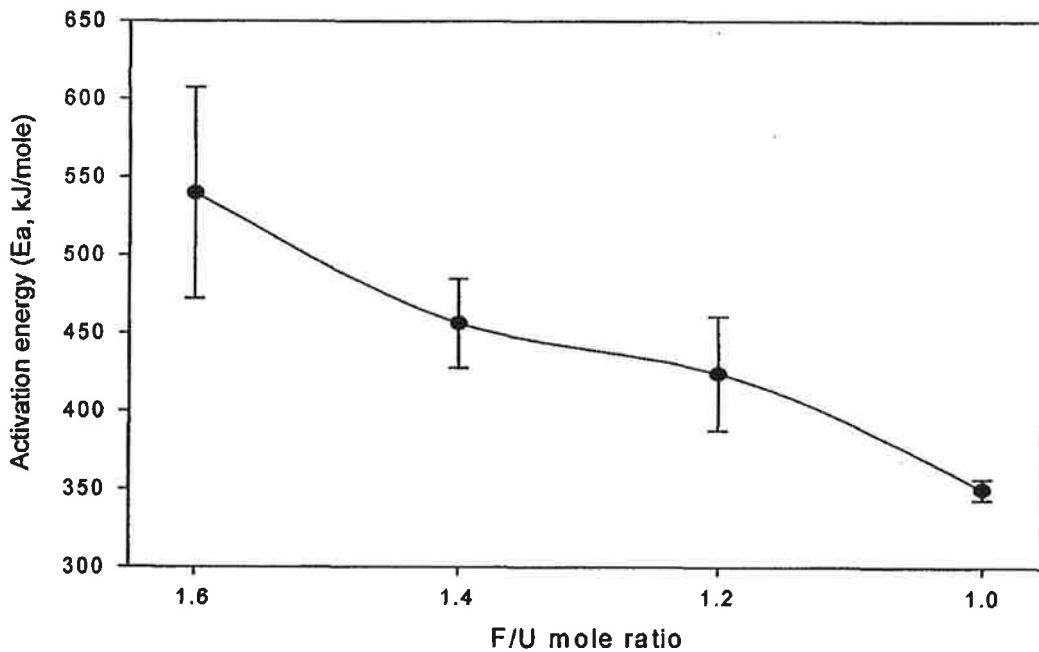
<그림 2-6> 요소수지의 몰비에 따른 요소수지의 경화시작온도와 최대경화온도의 변화



<그림 2-7> 요소수지의 몰비에 따른 요소수지의 반응상수(k)의 변화



<그림 2-8> 요소수지의 몰비에 따른 요소수지 반응열(ΔH)의 변화



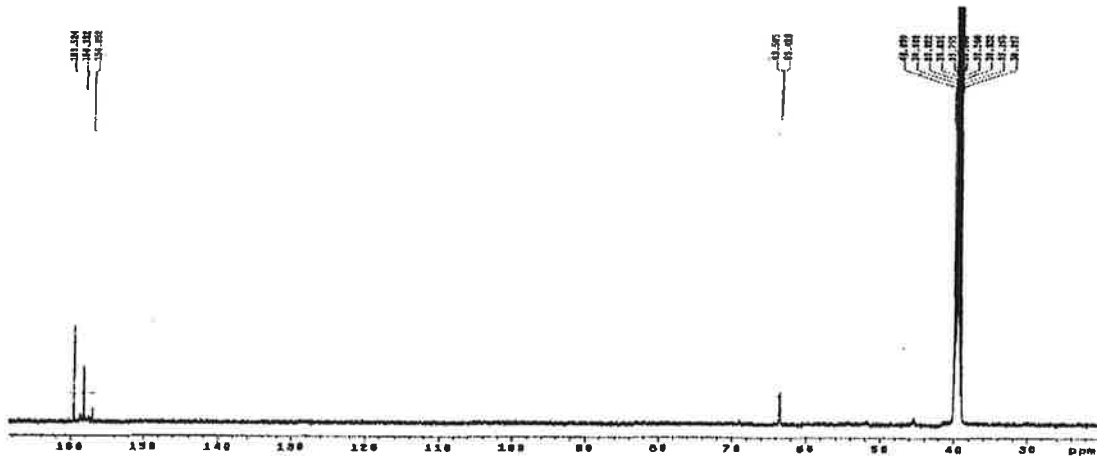
<그림 2-9> 요소수지의 몰비에 따른 요소수지 활성화에너지(Ea)의 변화

<그림 2-8>은 각 F/U몰비에 따른 요소수지의 경화반응열(ΔH)을 나타낸 것으로 F/U 몰비가 감소함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이 결과는 요소수지가 완전히 경화하기 위해서는 F/U몰비가 낮을수록 더 많은 에너지가 요구된다는 점을 시사한다. <그림 2-9>는 식(2)에 의한 각 F/U몰비에 따른 요소수지의 활성화에너지(Ea)를 나타낸 것으로서 F/U몰비 요소수지는 낮은 Ea를 가진다는 것을 시사한다. 일반적으로 분기된 형태의 고분자가 선형고분자보다 더 큰 Ea를 가지므로 본 실험의 저 F/U몰비 요소수지의 낮은 Ea는 고 F/U몰비 수지보다 가교결합의 형태가 보다 선형에 가깝다는 것을 암시한다.

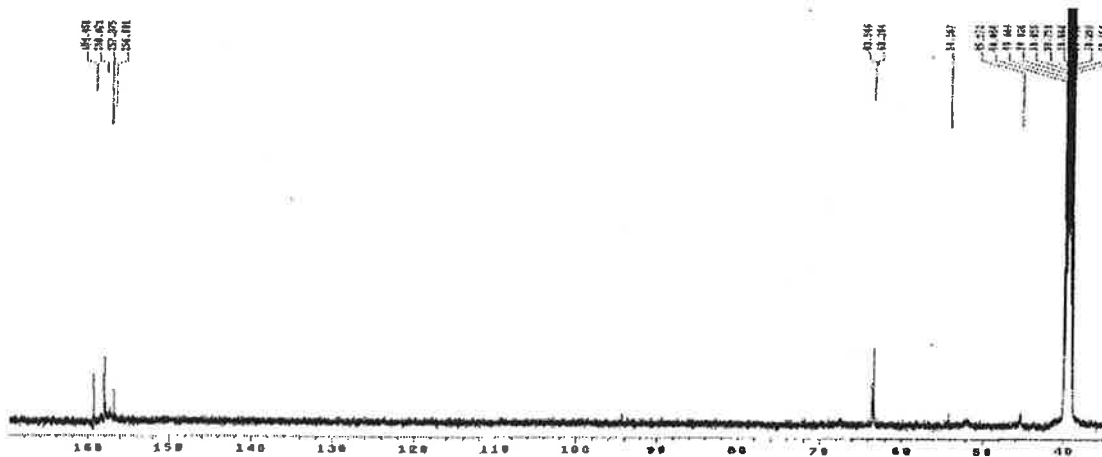
2) 요소수지 F/U몰비에 따른 화학적 구조 구명

<그림 2-10~13>는 F/U몰비에 따른 요소수지 접착제의 화학적 구조 구명을 위한 탄소핵자기공명($^{13}\text{C-NMR}$) spectrum들을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 F/U몰비가 1.0, 1.2, 1.4, 1.6인 요소수지의 $^{13}\text{C-NMR}$ spectrum에 나타난 chemical shift는 45.3, 48.5, 54.2, 63.4, 64.0, 68.9, 81.9, 156.0, 157.0, 158.0, 159.0ppm이었다. 45.3과 48.5ppm은 메틸렌결합($-\text{CH}_2-$)을 나타내며 63.4~64.0ppm은 메칠올기($-\text{CH}_2\text{OH}$)에 기인하는 것이다. 또 68.9ppm은 디메틸에테르(dimethyl ether) 결합의 존재를 나타낸다. 또한

81.9ppm peak는 요소수지의 유리포름알데히드를 나타내는 것으로 몰비 1.0과 1.2에서는 나타나지 않으나 몰비 1.4와 1.6에서 나타났다. 이러한 결과는 <그림 2-14>에 나타난 요소수지내의 유리포름알데히드 함량 측정 결과와 양립하는 것이다. 즉 저 F/U 몰비 요소수지에서는 충분한 양의 요소가 있어 거의 모든 포름알데히드간 반응에 참여하는 반면 고 F/U몰비 요소수지에서는 과대한 포름알데히드로 인하여 반응에 참여하지 않는 포름알데히드가 유리포름알데히드로 남기 때문인 것으로 추정된다. 또 156ppm peak는 유론(uron)의 존재에 기인하는 것으로 추정되며 157~159ppm은 요소의 카르보닐기(C=O)가 부분적으로 치환된 것으로 추정된다.



<그림 2-10> F/U 몰비 1.0인 요소수지의 ^{13}C -NMR spectrum.



<그림 2-11> F/U 몰비 1.2인 요소수지의 ^{13}C -NMR spectrum.

3) 요소수지의 F/U몰비에 따른 파티클보드 물성

<그림 2-14>는 각 F/U몰비에 따라 합성한 요소수지 내의 미반응 유리포름알데히드 함량과 이들 요소수지를 이용해 제조한 파티클보드의 포름알데히드방출량을 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이, 요소수지의 유리포름알데히드 함량은 F/U몰비가 낮을수록 감소하는 경향을 보였으며 이는 앞서 설명한 겔화시간, 경화시작온도 및 최대경화온도의 F/U몰비에 따른 변화를 설명할 수 있다. 즉 경화제인 염화암모늄(NH_4Cl)하에서 유리포름알데히드 함량의 감소는 경화반응을 지연시켜 긴 겔화시간 및 높은 경화시작온도와 최대경화온도를 야기시킨다.

요소수지를 F/U 몰비 1.6, 1.4, 1.2, 1.0에서 합성하고 이들을 이용해 파티클보드를 제조하고 포름알데히드방출량을 24시간 데시케이터방법으로 측정한 결과도 <그림 2-14>에 나타났다. F/U몰비가 감소할수록 파티클보드의 포름알데히드방출량은 감소하는 경향을 보였다. 특히 몰비가 1.2로 감소할 경우 포름알데히드방출량은 급격히 떨어지고 몰비 1.0까지는 서서히 감소하였다. 따라서 이 결과는 요소수지를 이용한 파티클보드의 포름알데히드방출량 저감을 위해서는 F/U몰비 1.2 이하가 적절함을 보여주었다. 아울러 그림에 나타난 바와 같이 요소수지 내의 미반응 유리포름알데히드(free formaldehyde) 역시 F/U몰비가 낮아질수록 감소하였다. 이 결과는 요소수지의 유리포름알데히드 함량은 이를 이용해 제조한 파티클보드의 포름알데히드방출량과 밀접하게 관련되어 있음을 보여준다. 아울러 요소수지를 이용해 제조한 파티클보드의 포름알데히드방출량의 저감을 위해서는 F/U몰비 1.2 이하에서 유리포름알데히드의 양을 최소화할 필요성이 있음을 보여주고 있다.

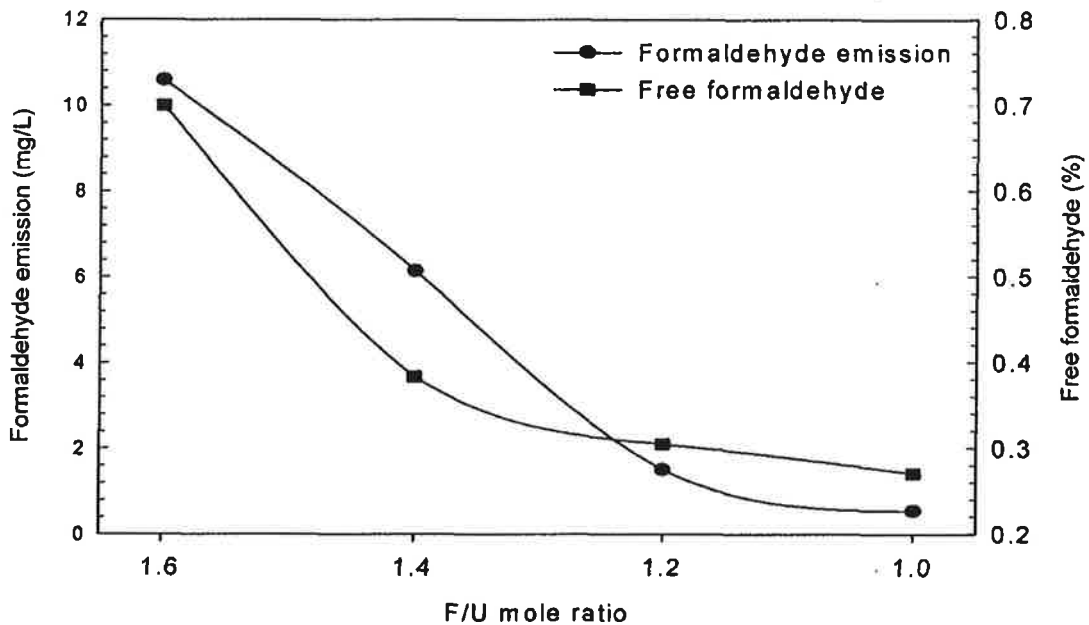
<그림 2-15>와 <그림 2-16>는 몰비가 다른 요소수지를 이용해 제조한 파티클보드의 기계적 물성으로서 박리강도와 물리적 성질로서 흡수두께팽창률과 흡수율을 나타낸 것이다. 박리강도는 전반적으로 요소수지의 몰비가 감소할수록 약간 감소하는 경향($9.9\text{kgf/cm}^2 \rightarrow 8.8\text{kgf/cm}^2$)을 보였다. 흡수두께팽창률과 흡수율은 몰비가 감소할수록 증가하는 경향을 보였다. 이 같은 결과는 몰비가 낮아질수록 박리강도가 감소하는 결과에 기인하는 것이라 판단된다. 즉 박리강도가 저하됨으로써 두께팽창률이 증가하고 따라서 흡수율도 증가하는 현상으로 생각된다.

<표 2-2>는 각 F/U몰비에 따라 합성한 요소수지를 이용해 제조한 파티클보드의 물리·기계적 물성을 요약한 결과이다. 재생보드 밀도는 목표밀도(700kg/m^3)에 가깝게 나타났으며 보드흡수율은 약 6~7% 정도로 나타났다. 전체적으로 휨강도는 KS F

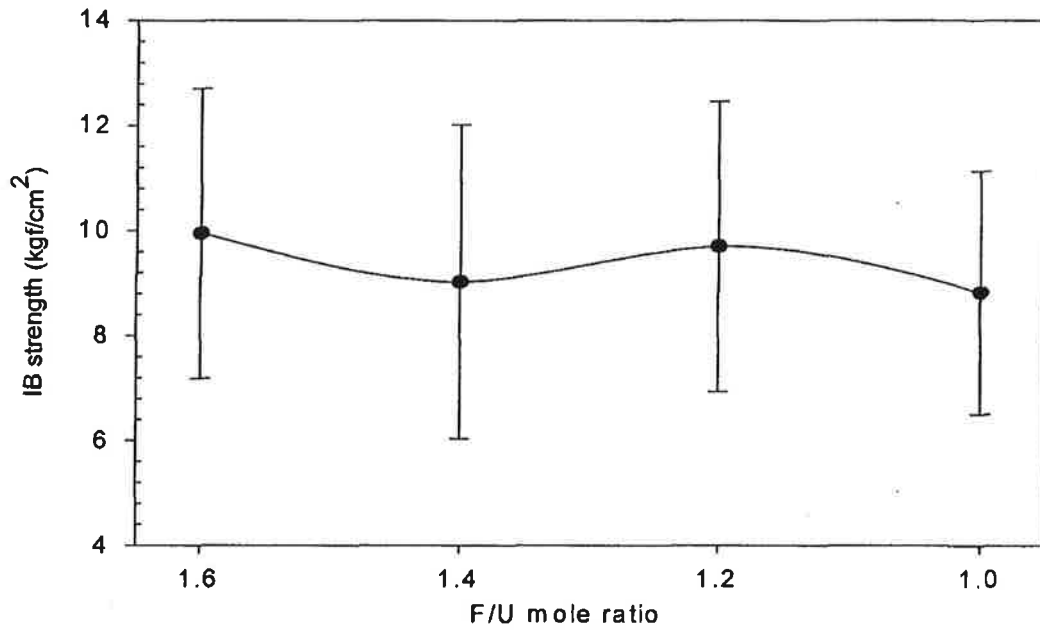
3104의 15형 기준(153kgf/cm²)보다 낮게 나타났으며 휨영계수는 약 20~27x10³kgf/cm²의 범위에 있는 것으로 나타났다.

<표 2-2> 요소수지 몰비에 따른 파티클보드의 물리·기계적 물성

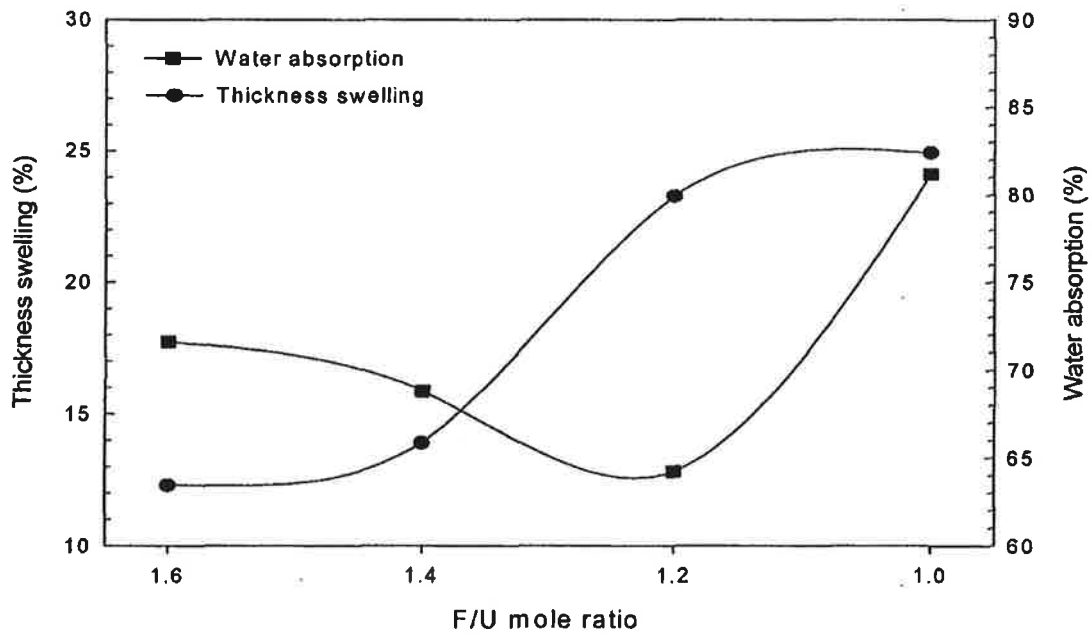
F/U 몰비	보드 밀도 (kg/m ³)	보드 함수율 (%)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨영계수 (x10 ³ kgf/cm ²)
1.0	694	5.7	136	23.5
1.2	746	5.9	186	27.6
1.4	664	6.9	143	20.8
1.6	684	6.8	139	25.8



<그림 2-14> F/U몰비에 따른 요소수지의 미반응 유리포름알데히드 함량 및 파티클 보드의 포름알데히드방출량 변화



<그림 2-15> 요소수지의 몰비에 따른 요소수지로 제조한 파티클보드의 박리강도 변화



<그림 2-16> 요소수지의 몰비에 따른 파티클보드의 흡수두께팽창률과 흡수율의 변화

4) 요소수지의 포름알데히드방출량 및 첨가제 영향

요소수지를 이용해 제조한 재생보드에서 방출하는 포름알데히드량을 평가하기 위해서는 보드를 제조하여 분석 측정하여야 한다. 그러나 이 같은 방법은 시간과 노력이 많이 요구되므로 요소수지 자체의 포름알데히드방출량을 실험실에서 제작한 방법으로 측정하여 요소수지에 사용되는 첨가제의 영향을 조사하였다. <그림 2-17~19>는 경화조건에 따른 요소수지 자체의 포름알데히드방출량을 측정한 결과이다. 예측했던 대로 경화온도와 경화시간이 증가함에 따라 요소수지의 경화시 발생하는 포름알데히드방출량은 증가하였다. 한편 <그림 2-18>에 나타낸 바와 같이 요소수지의 pH가 산성에서 알칼리로 증가함에 따라 포름알데히드방출량은 감소하는 경향을 나타냈다. 이러한 결과는 요소수지의 경화가 알칼리 조건에서 완전한 경화가 이루어지며 강산성 또는 약산성에 조건에서 발생하는 dimethyl ether 결합이 분해가 되어 포름알데히드가 발생되기 때문인 것으로 판단된다.

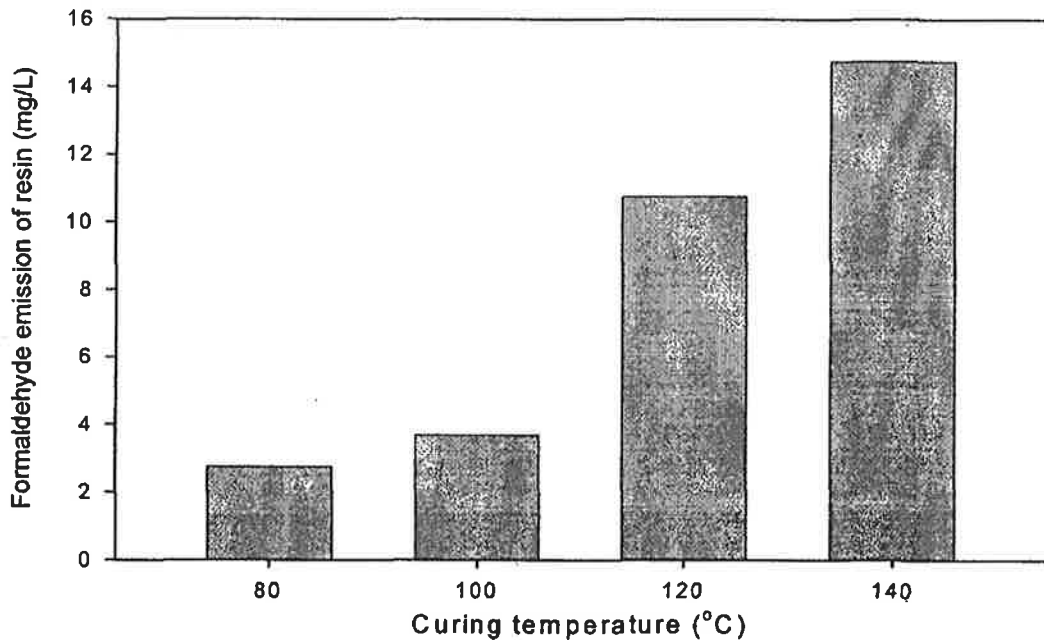
<그림 2-20>은 요소수지에 사용되는 포름알데히드첨가제를 요소수지에 첨가할 때 투입순서에 따라 겔화시간에 변화가 있는지를 우선 조사한 것이다. 즉 요소수지(R)에 첨가제(S)와 경화제(H)의 투입순서를 달리하여 그 겔화시간을 측정하였다. ADH와 TS 첨가제 모두 농도가 증가함에 따라 겔화시간이 증가하였으며 투입순서에 따른 큰 변화는 나타나지 않았다. 따라서 첨가제의 효과를 비교하기 위한 포름알데히드방출량 측정에서 요소수지에 대한 투입순서는 경화제, 첨가제 순으로 하였다.

<그림 2-21>은 네 가지의 첨가제, 즉 ADH, TS, 일반전분(Starch-G) 및 변성전분(Starch-C)을 요소수지 고품분 기준으로 1%, 3%, 5% 농도수준에서 포름알데히드방출량을 측정한 결과를 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 네 가지 모두 1% 농도 수준에서 포름알데히드방출량이 감소하였으며 일반전분을 제외하고 첨가제 농도가 증가할수록 포름알데히드방출량은 감소하였다. 그러나 그 감소 정도는 1% 농도에서보다 감소율은 둔화되는 경향을 보였다. 따라서 첨가제의 사용은 1~3% 수준에서 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다. 특히 다른 첨가제와 비교해 ADH가 가장 큰 포름알데히드 포집효과를 나타내었다.

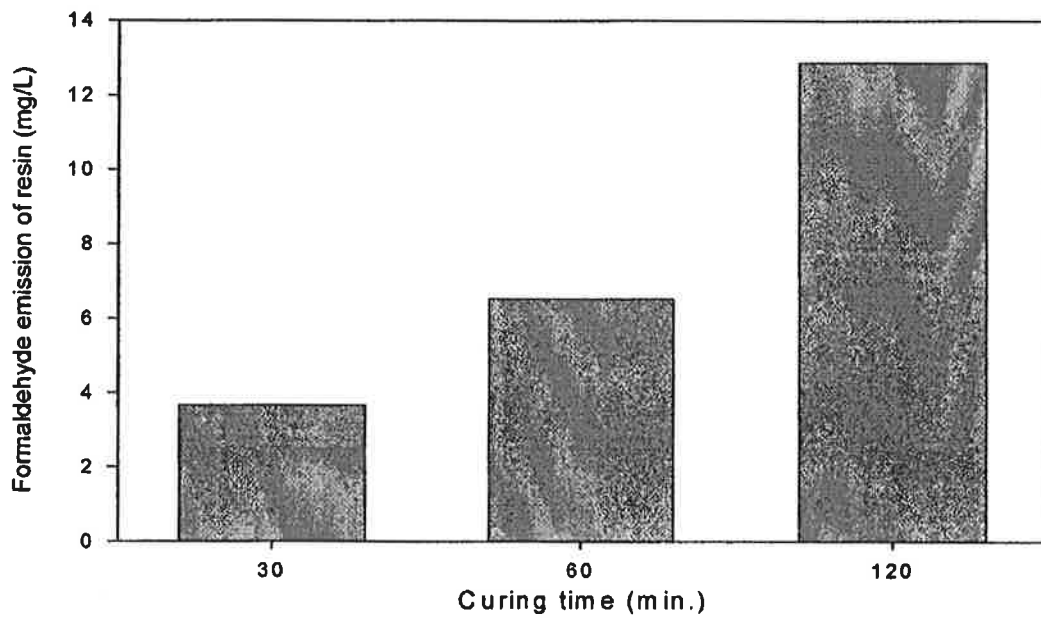
<그림 2-22>는 이들 첨가제들을 첨가했을 때, 요소수지의 겔화시간을 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 ADH를 첨가했을 때 요소수지의 겔화시간은 그 농도가 증가함에 따라 계속적으로 증가하는 경향을 보였다. 이 결과는 ADH가 요소수지에 남아있는 유리포름알데히드와 경화반응에서 발생하는 포름알데히드를 가장 잘 포집함을

나타낸다. 또 이 결과는 <그림 2-21>의 결과와 아주 잘 일치하고 있다. 그러나 다른 첨가제의 경우 그 농도가 증가함에 따라 겔화시간에는 큰 변동이 없었다. 따라서 ADH를 사용하여 재생보드의 포름알데히드방출량을 저감하기 위해서는 포집효과와 동시에 요소수지의 경화반응성의 변화가 없도록 조절할 필요가 있다.

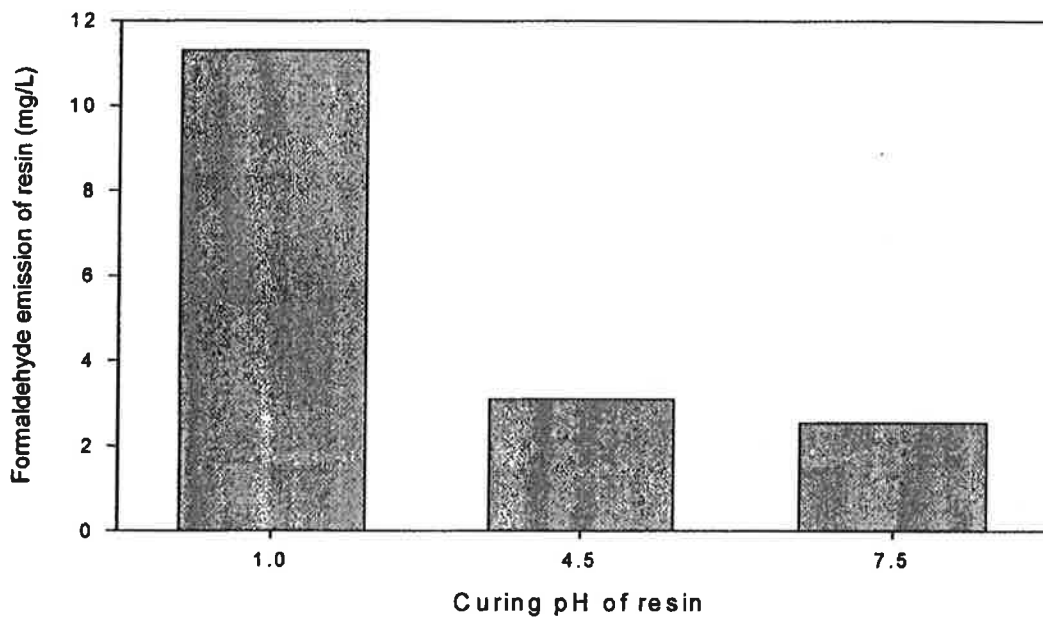
따라서 ADH를 적용할 때 ADH의 농도와 경화온도에 따른 요소수지의 포름알데히드방출량 변화를 조사하였다. <그림 2-23>은 이에 대한 실험결과를 나타낸 것이다. ADH의 농도가 증가할수록 요소수지의 포름알데히드방출량은 감소하지만 경화온도가 증가할수록 포름알데히드방출량은 증가하는 경향을 나타냈다. 그러나 경화온도가 100℃에서 120℃로 증가함에 따라 포름알데히드방출량은 크게 증가하였다. 실제 재생보드 제조시 보드 중층의 온도는 약 100℃ 가까이 접근하므로 요소수지에 ADH 적용시 그 농도는 1~3%의 수준이 적절할 것으로 판단된다.



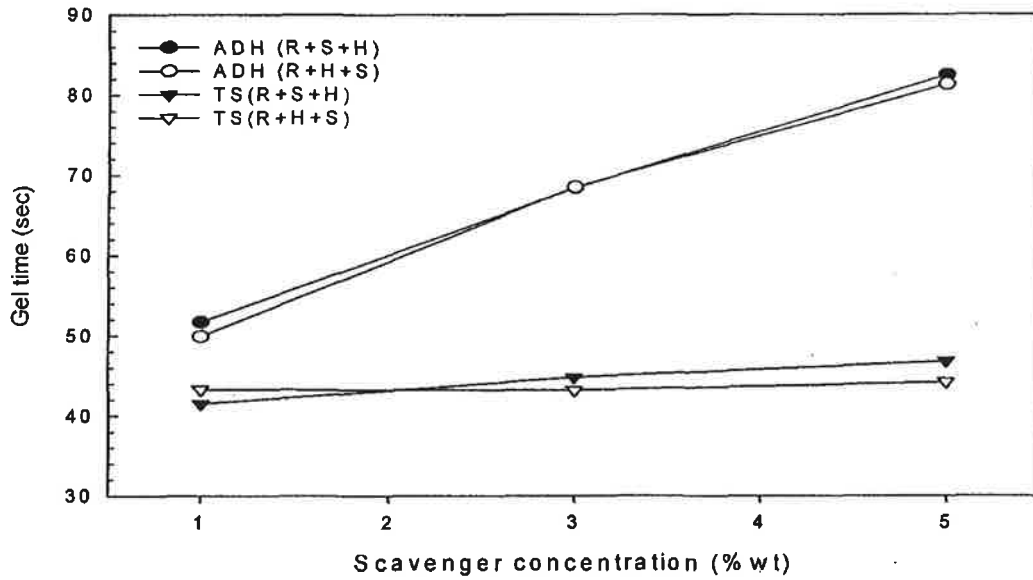
<그림 2-17> 경화온도에 따른 요소수지의 포름알데히드방출량 변화



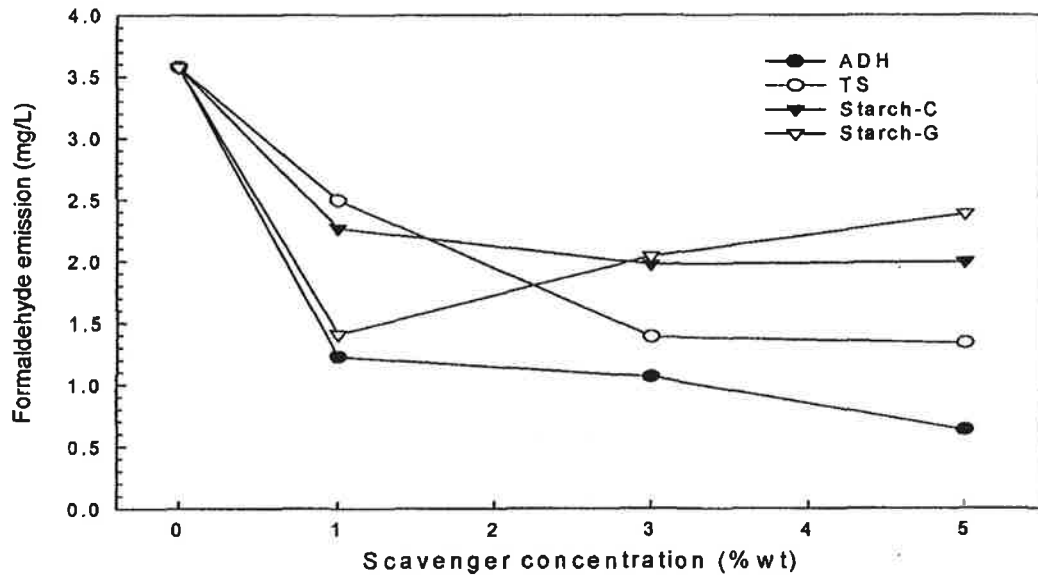
<그림 2-18> 경화시간에 따른 요소수지의 포름알데히드방출량 변화



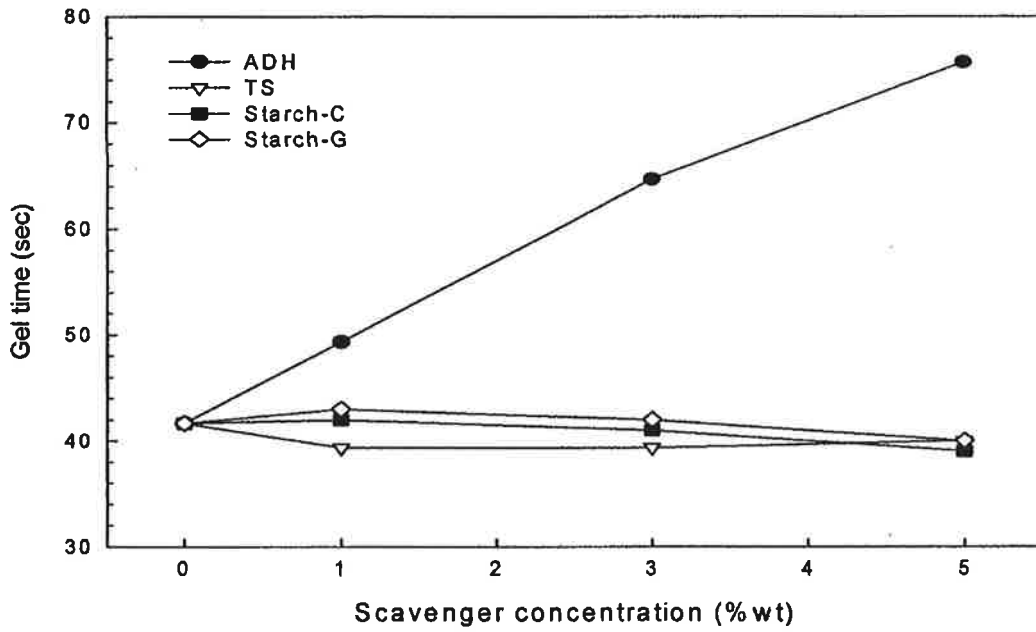
<그림 2-19> 경화 pH에 따른 요소수지의 포름알데히드방출량 변화



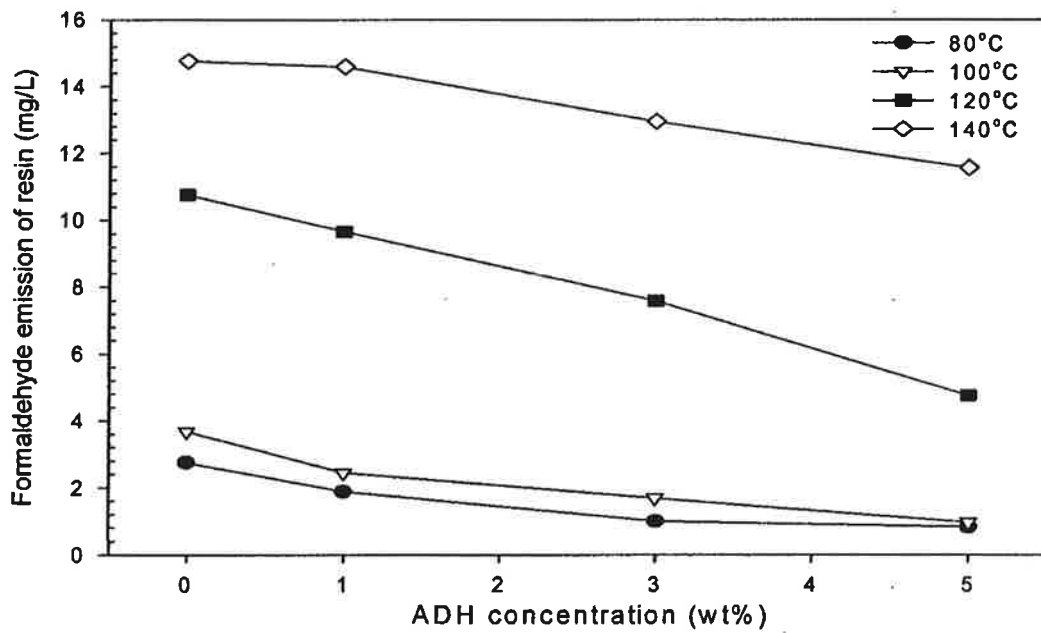
<그림 2-20> 첨가제 농도와 경화제 및 첨가제 투입 순서에 따른 요소수지의 겔화시간 변화.
R : 수지, S : 첨가제, H : 경화제



<그림 2-21> 첨가제 종류와 농도에 따른 요소수지의 포름알데히드 방출량 변화



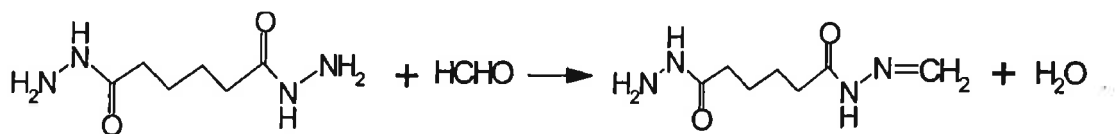
<그림 2-22> 첨가제 종류와 농도에 따른 요소수지의 겔화시간 변화



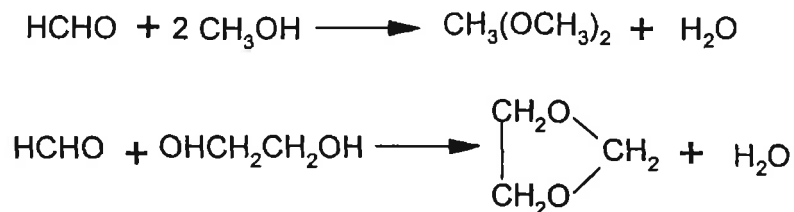
<그림 2-23> ADH의 농도와 경화온도에 따른 요소수지의 포름알데히드방출량 변화

또한 ADH와 같이 아민기를 가지고 있는 요소를 수용액(40%)으로 만들어 요소수지에 첨가농도를 달리하여 포름알데히드 포집효과를 조사한 결과는 다음 장에서 설명하기로 한다. ADH와 요소수용액을 비교했을 때 ADH가 포집효과는 크나 요소수지의 경화반응성을 크게 저하시키며 고가여서 저렴한 요소수용액이 첨가제로서의 잠재성을 가지고 있다. 따라서 이에 대한 재생보드의 포름알데히드방출량 결과는 재생보드 적용 및 포름알데히드방출량 평가에서 설명하고자 한다.

<그림 2-24>와 <그림 2-25>는 요소수지에 있어서 첨가제 ADH 및 TS의 포름알데히드 포집 메커니즘을 도식적으로 나타낸 것이다. ADH는 요소와 같은 아민기(-NH₂)를 두개 포함하고 있어 이들 아민기가 포름알데히드 또는 요소수지내의 메칠올기와 반응하여 포름알데히드를 포집하는 것으로 설명된다. 아울러 첨가제 TS의 기작은 ADH와 달리 메탄올과 글리콜계통의 수산기(-OH)가 포름알데히드와 반응하여 요소수지의 포름알데히드를 포집하는 것으로 설명이 된다.



<그림 2-24> ADH의 포름알데히드 포집 기작



Taesung FS

<그림 2-25> 첨가제 TS의 포름알데히드 포집 기작

다. 결과 요약

요소수지 접착제 물성의 가장 큰 영향인자인 F/U몰비가 요소수지의 경화거동과 화학적 구조에 미치는 영향을 연구한 결과는 다음과 같이 요약된다.

- 1) F/U몰비가 1.6에서 1.0으로 감소함에 따라 요소수지의 겔화시간, 경화시작온도 및 최대경화온도는 증가하였고, 반응상수(k)는 감소하여 열경화 반응성이 감소하였다. 또한 F/U몰비가 감소함에 따라 반응열은 증가하고 활성화에너지(E_a)는 감소하였다.
- 2) 요소수지내의 유리포름알데히드 함량과 파티클보드의 포름알데히드방출량은 F/U 몰비가 감소함에 따라 비례적으로 감소하였으며 두 변수 사이에 매우 밀접한 상관성이 있음을 파악하였다.
- 3) 요소수지의 F/U몰비가 감소함에 따라 파티클보드의 접착력과 치수안정성은 낮아져 박리강도는 저하되고 두께팽창률과 흡수율은 증가하였다. 파티클보드의 포름알데히드방출량은 F/U 몰비가 감소할수록 감소하였으며, 특히 F/U 몰비 1.2 까지 급격히 감소되는 결과를 보여 앞으로 요소수지의 합성은 몰비 1.2 이하가 적절함을 보여주었다.
- 4) 포름알데히드방출량을 저감하기 위하여 몇 가지의 포름알데히드 첨가제를 사용한 결과, ADH가 효과적으로 나타났으나 gel time이 증가하는 경향이 있었다. 또 다른 포름알데히드 첨가제로 요소수용액(40% wt)을 이용한 결과, 무게비로 약 20% 요소수용액을 첨가한 경우 재생보드의 포름알데히드방출량이 E₀ 등급에 가까운 결과(0.7 mg/l)를 보여주었다.
- 5) 폐목질을 이용한 파티클보드의 포름알데히드방출량을 저감시키기 위해서는 저 F/U 몰비의 요소수지를 이용해야 하며 동시에 요소수지의 반응성을 향상시켜야 함을 알 수 있다.

3. 요소수지 접착제용 포름알데히드 포집제 영향

가. 재료 및 방법

1) 실험재료

본 실험의 요소수지 합성에는 실제 공장에서 사용되는 요소(99.9%)와 포르말린(37%)을 사용하였다. 또 요소수지 합성시 pH 조절은 가성소다(NaOH) 20% 용액과 개미산(formic acid) 20% 용액을 이용하였다. 경화제는 염화암모늄(NH₄Cl) 20% 용액을 수지고형분 기준으로 3% 사용하였다.

2) 연구방법

가) 포름알데히드 포집제 제조

본 실험에서 요소수지의 포름알데히드 포집제(scavenger)는 40% 요소수용액(US : urea solution)과 요소·포름알데히드 프리폴리머(UFP : urea-formaldehyde prepolymer)를 실험실에서 F/U몰비가 0.5가 되도록 조정하여 합성·제조하였으며, 요소수지에 비율을 100:0, 80:20, 70:30, 50:50로 달리하여 첨가하고 요소수지의 경화거동을 조사하였으며 동시에 단층 파티클보드를 제조하여 포름알데히드방출량을 조사하였다. 또한 저F/U몰비(1.2와 1.0)의 요소수지를 제조하여 중층용 수지에 UFP를 최대 30%까지 첨가하여 파티클보드를 제조하고 포름알데히드방출량을 조사하였다.

나) 파티클보드의 제조 및 물성 평가

파티클보드에 사용된 파티클은 국내의 파티클보드 공장에서 표층용과 중층용으로 사용되고 있는 재생파티클을 분양받아 보드제조 전에 함수율을 1~2%로 건조하여 사용하였다. 건조한 파티클을 원통형 혼합기에 넣고 요소수지를 분사하여 도포하였다. 혼합된 파티클은 성형틀을 이용해 보드밀도 700kg/m³를 목표로 300mm×350mm의 매트를 성형하여 열압기로 열압하여 두께 15mm 파티클보드를 제조하였다. 이 때 열압조건은 온도 200℃에서 열압시간 5분, 열압압력 30kgf/cm² 이었다.

제조한 재생보드는 온도 20℃, 상대습도 65%에서 1주일동안 조습처리하여 물리·기계적 물성을 측정하는 데 사용하였다. 물리적 성질로서 보드함수율, 밀도, 흡수두께팽

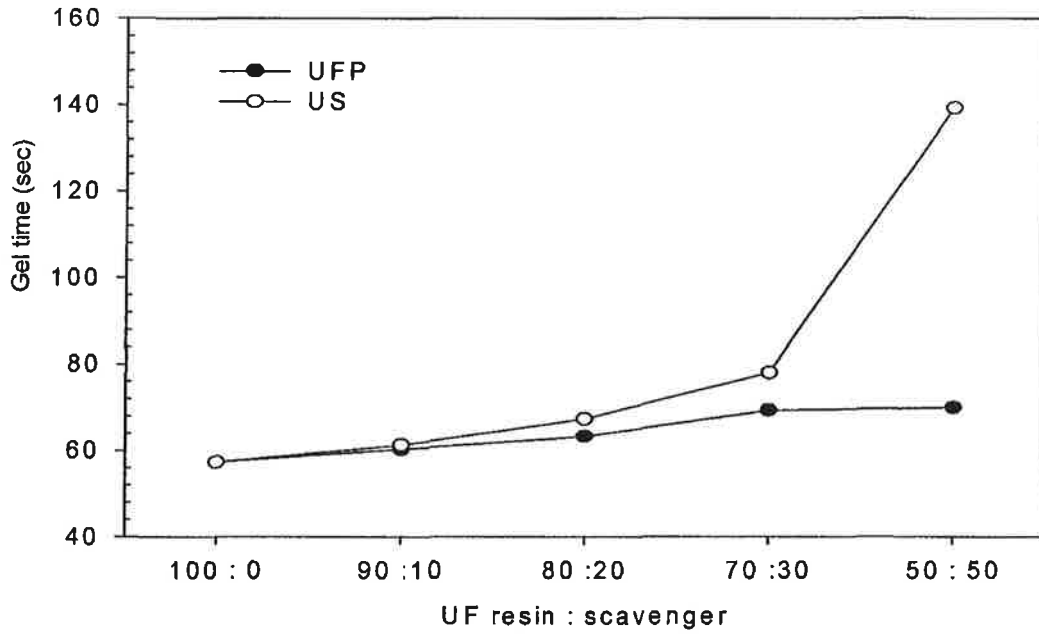
창률 및 흡수율을 측정하고 기계적 성질로서는 휨강도, 휨영계수 및 박리강도를 측정하였다. 각 시편의 크기는 KS F 3104에 정하는 바에 따라 준비하고 강도시험기로 물성을 측정하였다. 포름알데히드방출량은 시편을 조습처리 후 KS F 3104에 정하는 24시간 데시케이터법으로 포집 및 분석하였다.

나. 연구결과

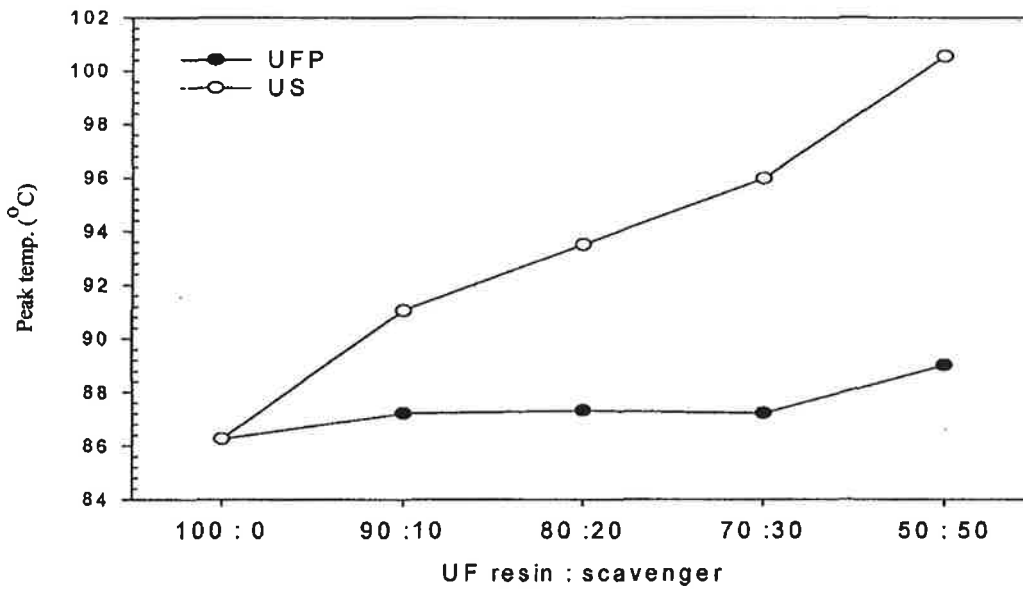
1) 요소수지 접착제용 포름알데히드 포집제에 따른 경화거동

<그림 2-26>~<그림 2-32>는 포름알데히드 포집제인 요소수용액(US)과 요소·포름알데히드 프리폴리머(UFP)를 요소수지에 다른 비율로 첨가한 요소수지의 겔화시간, 최대경화온도, 경화시작온도, 반응열(ΔH), 활성화에너지(E_a) 및 반응상수(k)의 변화를 나타낸 것이다. 포름알데히드 포집제 US와 UFP를 농도를 달리하여 첨가한 요소수지(F/U몰비 : 1.2)의 겔화시간을 <그림 2-26>에 나타내었다. 요소수용액의 첨가량이 증가할수록 요소수지의 겔화시간은 증가하여 경화반응성이 저하되는 것으로 나타났다. 반면 UFP의 경우 그 함량이 증가함에 따라 겔화시간과 최대경화온도는 큰 변화를 보이지 않아 그 반응성이 유지됨을 알 수 있었다<그림 2-27>. 이 결과는 요소수용액을 첨가한 요소수지를 이용해 제조한 파티클보드의 박리강도 저하의 원인이 되는 것으로 추정된다. US를 첨가한 요소수지의 경화시작온도는 그 첨가량이 증가함에 따라 증가하였으나 UFP의 함량이 증가할수록 경화시작온도는 농도가 증가하여도 큰 차이를 나타내지 않았다<그림 2-28>. 이 결과는 최대경화온도의 경향과 일치하는 것으로 UFP의 반응성이 보다 나음을 시사하는 것이다.

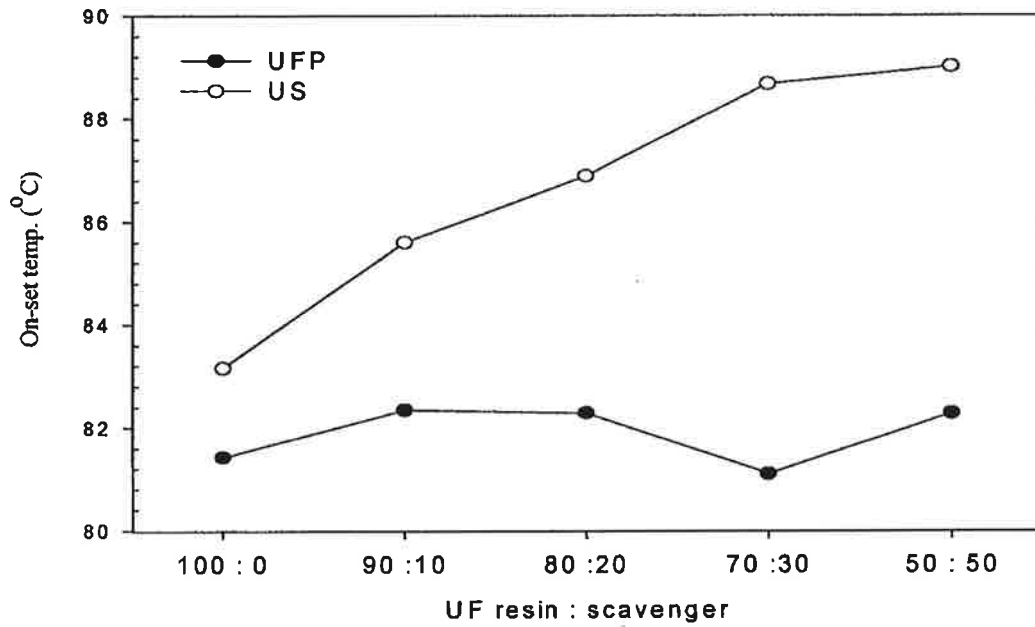
US와 UFP를 첨가한 요소수지의 반응열과 활성화에너지는 최대점에 도달한 후 감소하는 경향을 보였다<그림 2-29와 2-30>. 즉 요소수지의 반응열과 활성화에너지는 요소수용액 첨가량 20%와 10%에서 최대점에 도달한 후 감소하는 경향을 보였다. 이 결과는 요소수용액에 존재하는 요소가 경화할 때 일종의 공중합체(copolymer)로 작용한 것으로 추정된다. 달리 말하면 요소수지의 경화시 첨가된 요소가 기존의 network 구조에 부가적으로 결합하므로 더 많은 반응열과 활성화에너지가 요구되는 것으로 판단되었다. 또 이 결과는 포름알데히드 포집제를 첨가한 요소수지의 불균질성이 증가한 다음 포집제의 첨가량이 증가하면 불균질성이 감소하기 때문으로 판단된다.



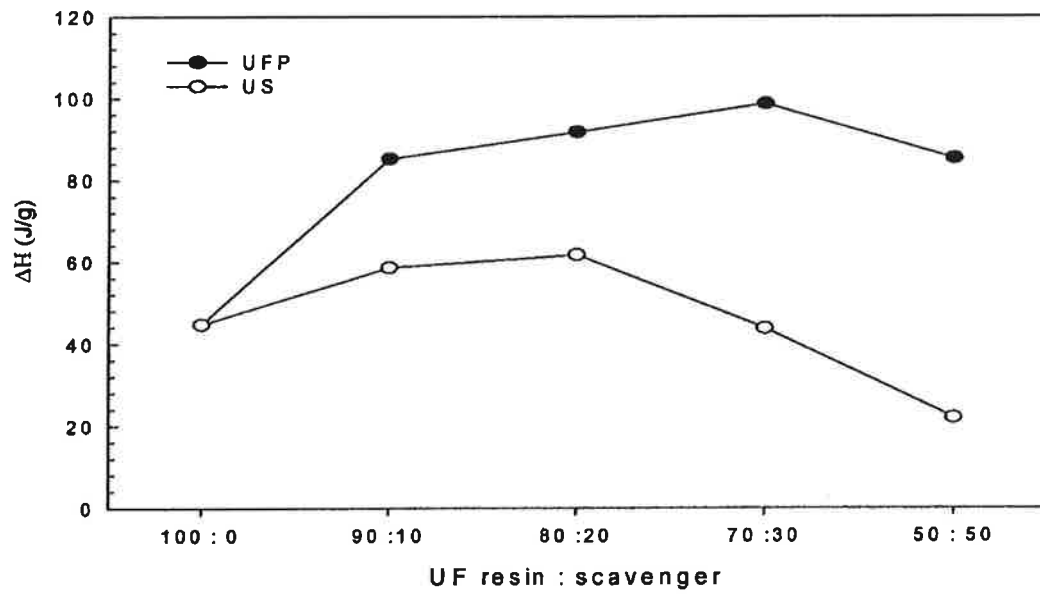
<그림 2-26> 요소수지용 포집제 첨가량에 따른 요소수지의 겔화시간 변화



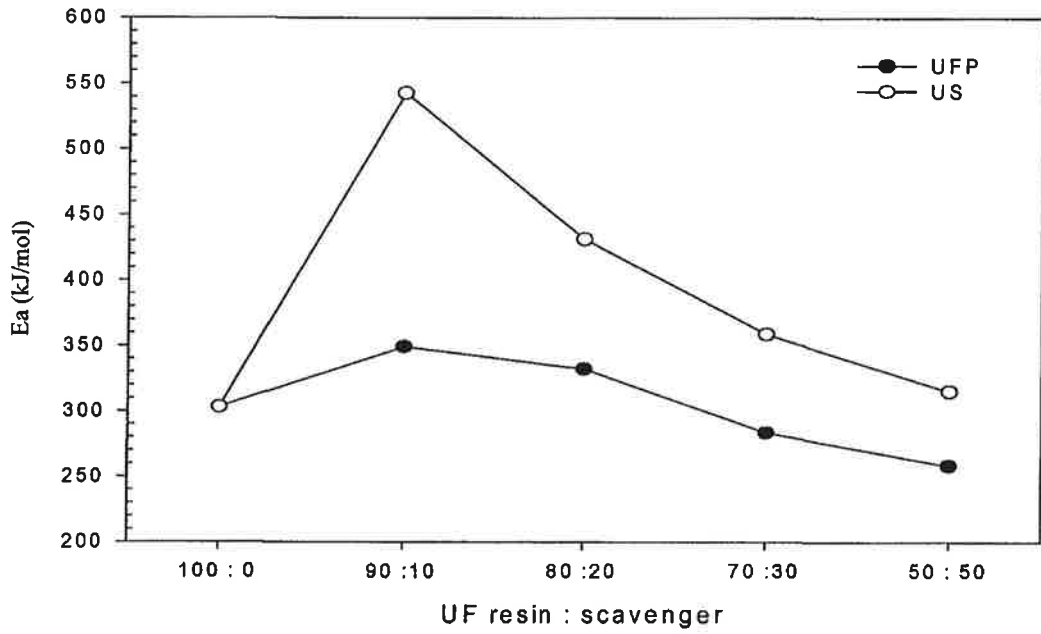
<그림 2-27> 요소수지용 포집제 첨가량에 따른 요소수지의 최대경화온도 변화



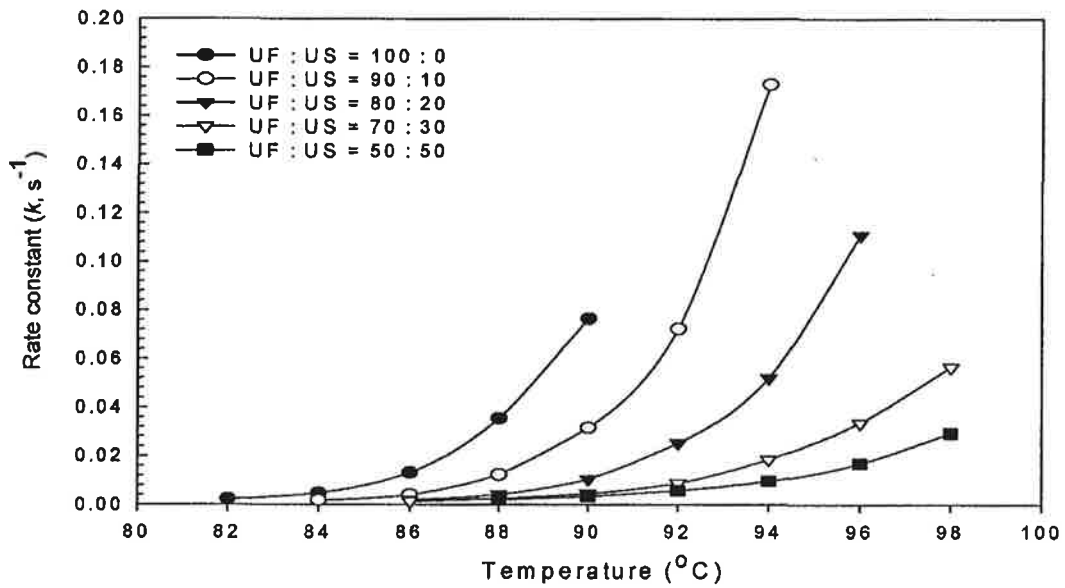
<그림 2-28> 요소수지용 포집제 첨가량에 따른 요소수지의 경화시작온도 변화



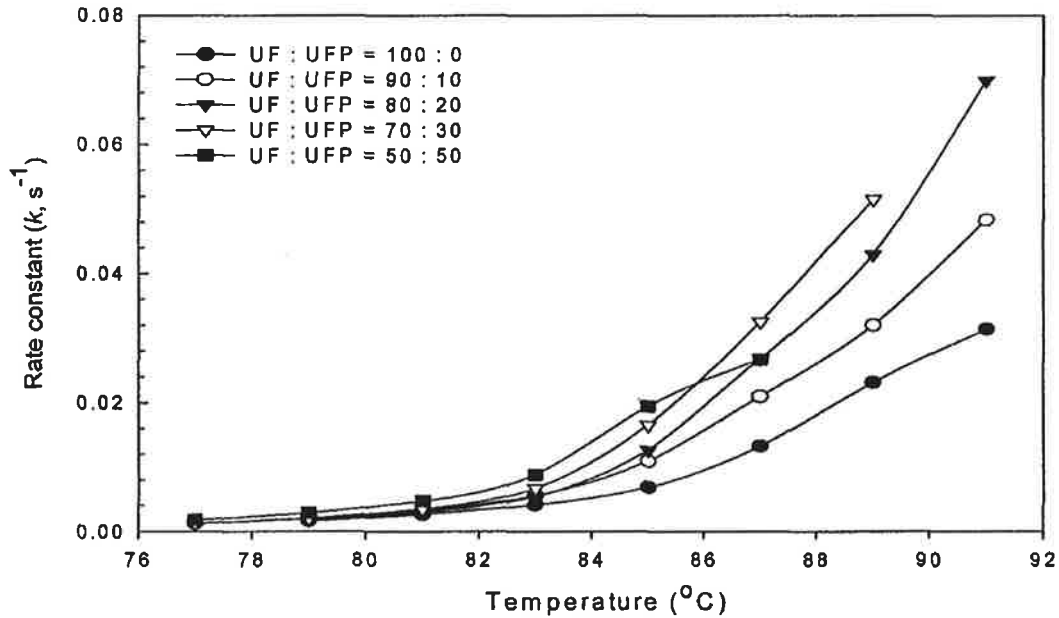
<그림 2-29> 요소수지용 포집제 첨가량에 따른 요소수지의 반응열(ΔH)의 변화



<그림 2-30> 요소수지용 포집제 첨가량에 따른 요소수지의 활성화에너지(Ea)의 변화



<그림 2-31> 요소수지용 포집제(요소수용액) 첨가량에 따른 요소수지의 반응상수(k)의 변화

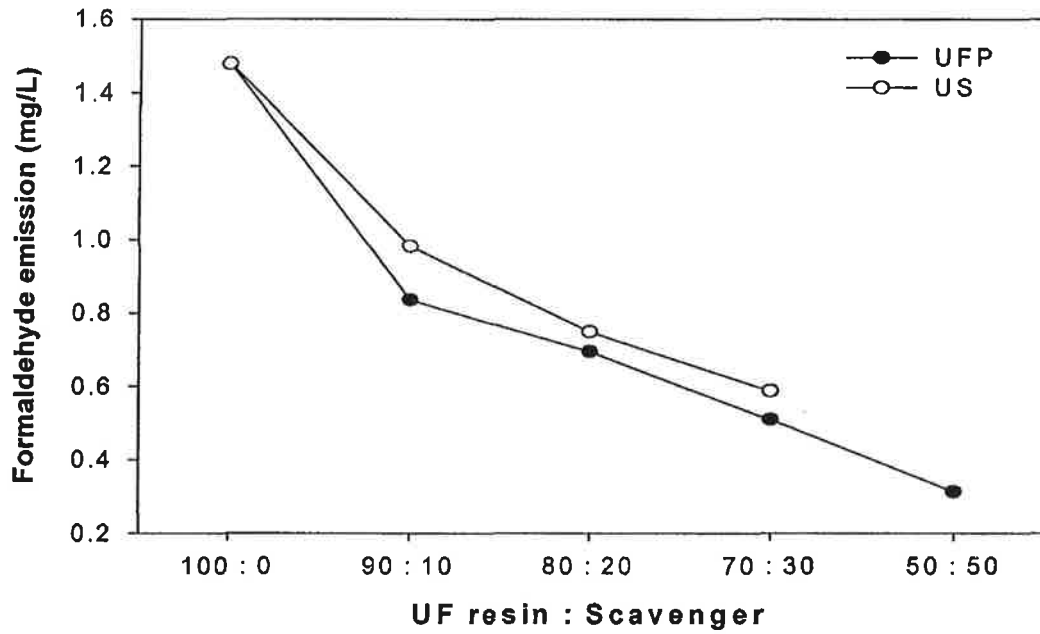


<그림 2-32> 요소수지용 포집제(UFP) 첨가량에 따른 요소수지의 반응상수(k)의 변화

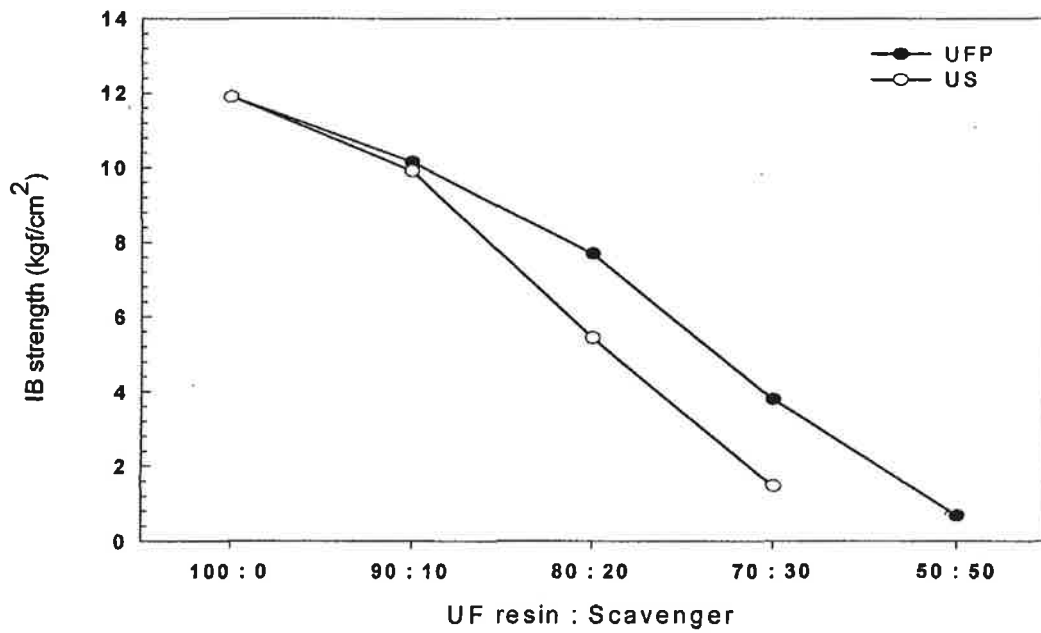
<그림 2-30>과 <그림 2-31>은 US와 UFP를 첨가한 요소수지의 반응상수를 DSC를 이용해 측정한 결과를 나타내었다. 그림에서와 같이, 요소수지는 US함량이 증가하면 요소수지의 반응상수는 감소하는 반면 UFP 첨가량이 증가함에 따라 경화반응상수(k) 값은 증가하는 대조적인 결과를 보여주었다.

2) 요소수지용 포름알데히드 포집제 적용 및 포름알데히드방출량 평가

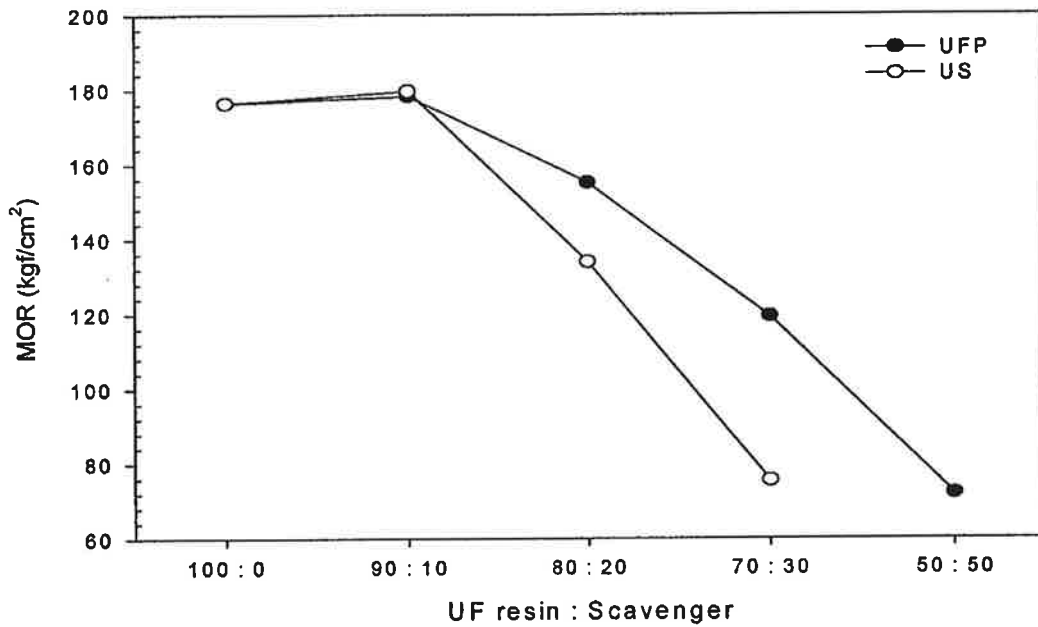
<그림 2-33>은 2종류의 포름알데히드 포집제, 즉 UFP와 US를 농도별로 요소수지에 첨가한 후 이를 이용해 제조한 파티클보드의 포름알데히드방출량을 나타낸 것이다. 요소수지 고형분 기준으로 요소수용액을 50% 첨가한 요소수지를 사용하여 파티클보드를 제조한 경우는 파티클보드의 중층이 박리되어 보드가 형성되지 않았다. 파티클보드의 포름알데히드방출량의 경우, 포집제의 농도가 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며 포름알데히드 저감 효과는 US에 비해 UFP가 나은 것으로 나타났다. UFP를 20% 첨가한 경우의 파티클보드의 포름알데히드방출량은 약 0.70mg/l로서 KS F 3104(파티클보드)에서 규정하는 E₁ 등급(1.5mg/l)보다 양호한 결과를 얻었다.



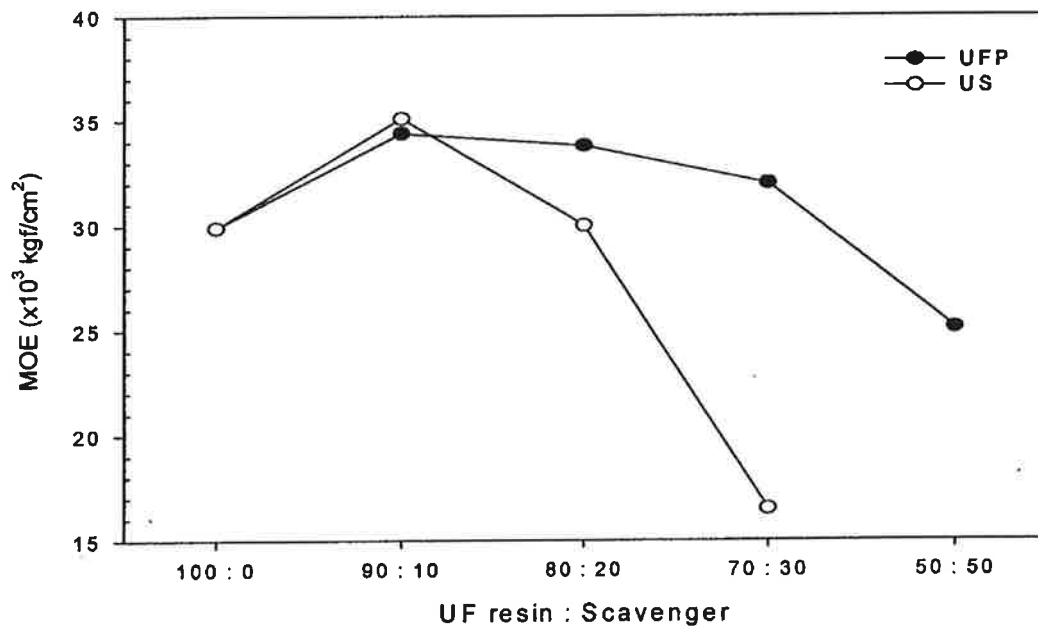
<그림 2-33> 요소수지용 포집제 첨가량에 따른 파티클보드의 포름알데히드방출량 변화



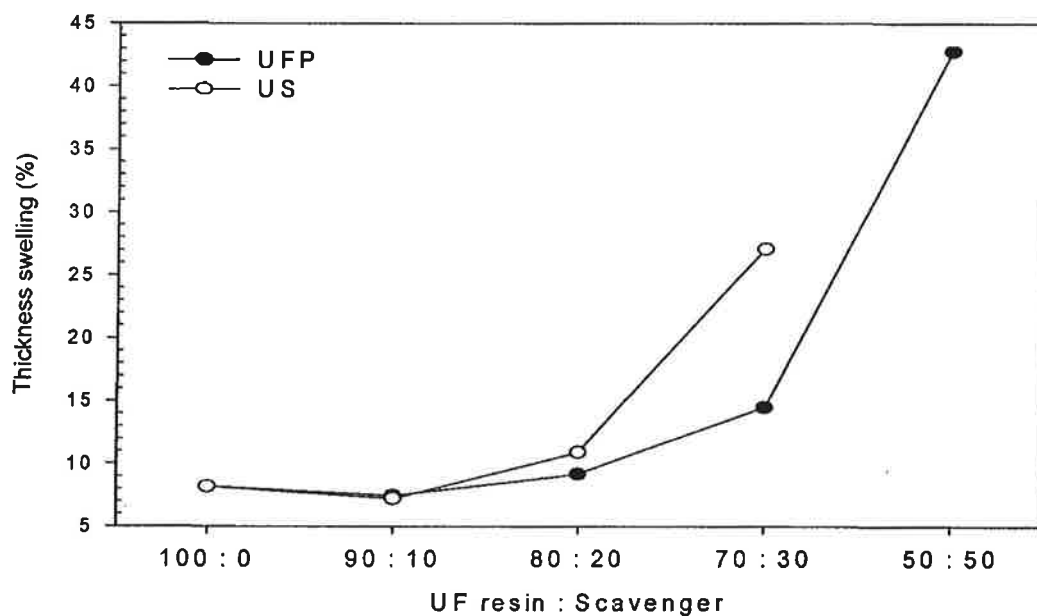
<그림 2-34> 요소수지용 포집제 첨가량에 따른 파티클보드의 박리강도 변화



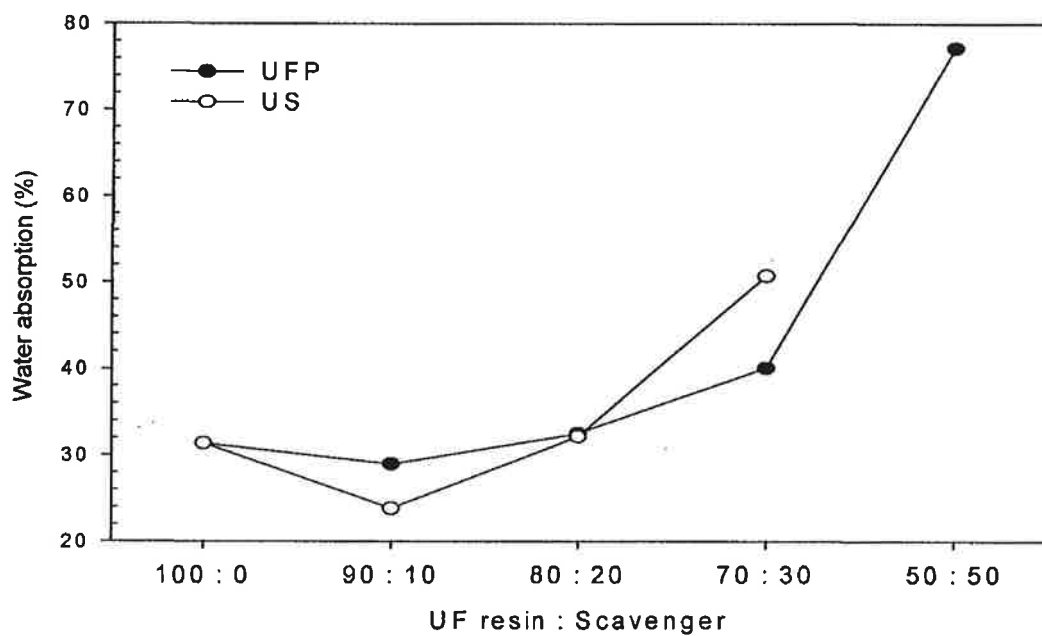
<그림 2-35> 요소수지용 포집제 첨가량에 따른 파티클보드의 MOR 변화



<그림 2-36> 요소수지용 포집제 첨가량에 따른 파티클보드의 MOE 변화



<그림 2-37> 요소수지용 포집제 첨가량에 따른 파티클보드의 두께팽창률 변화



<그림 2-38> 요소수지용 포집제 첨가량에 따른 파티클보드의 흡수량 변화

따라서 UFP 20%를 첨가한 요소수지가 효율적인 것으로 생각되었다. 아울러 이 방법을 이용하여 포름알데히드방출량을 E₀ 등급까지 저감하는 연구가 필요할 것으로 판단되었다. <그림 2-34>는 US와 UFP를 첨가한 요소수지를 이용해 제조한 파티클보드의 박리강도를 나타낸 것으로 전체적으로 포집제 농도가 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 그러나 동일 수준의 첨가량에서 US보다는 UFP가 더 높은 박리강도를 나타내었다. 포름알데히드방출량과 박리강도를 기준으로 비교해 볼 때 US보다는 UFP 첨가가 더 양호한 것으로 나타났다.

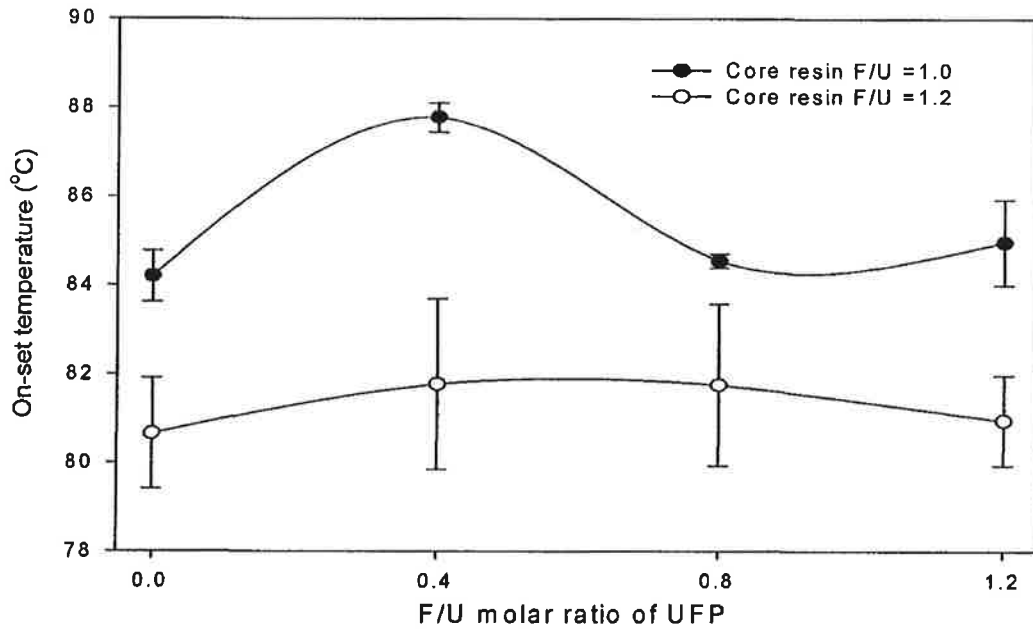
US와 UFP를 첨가한 요소수지를 이용해 제조한 파티클보드의 기계적 성질 중 휨강도(MOR)와 휨영계수(MOE)는 <그림 2-35>와 <그림 2-36>에 나타나 있다. 그림에서 보는 바와 같이, MOR과 MOE는 모두 포름알데히드 포집제의 농도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 그러나 UFP의 첨가가 US보다 더 높은 MOR과 MOE 값을 나타냈다. 따라서 UFP가 파티클보드의 물성을 유지시키는데 더 효율적임을 보여 주었다.

<그림 2-37>과 <그림 2-38>은 파티클보드의 흡수두께팽창률과 흡수율을 나타낸 것으로 전체적으로 US와 UFP 모두 그 첨가량이 증가함에 따라 흡수두께팽창률과 흡수율이 증가하였다. 그러나 전반적으로 두께팽창률과 흡수율은 UFP 첨가량 20% 이상은 적절하지 않는 것으로 판단된다. 따라서 파티클보드의 포름알데히드방출량과 물리·기계적 성질을 종합적으로 고려해 볼 때 요소수지 접착제용 포름알데히드 포집제는 중 UFP가 더 효율적이며 적정 UFP의 함량은 약 20% 정도로 판단되었다.

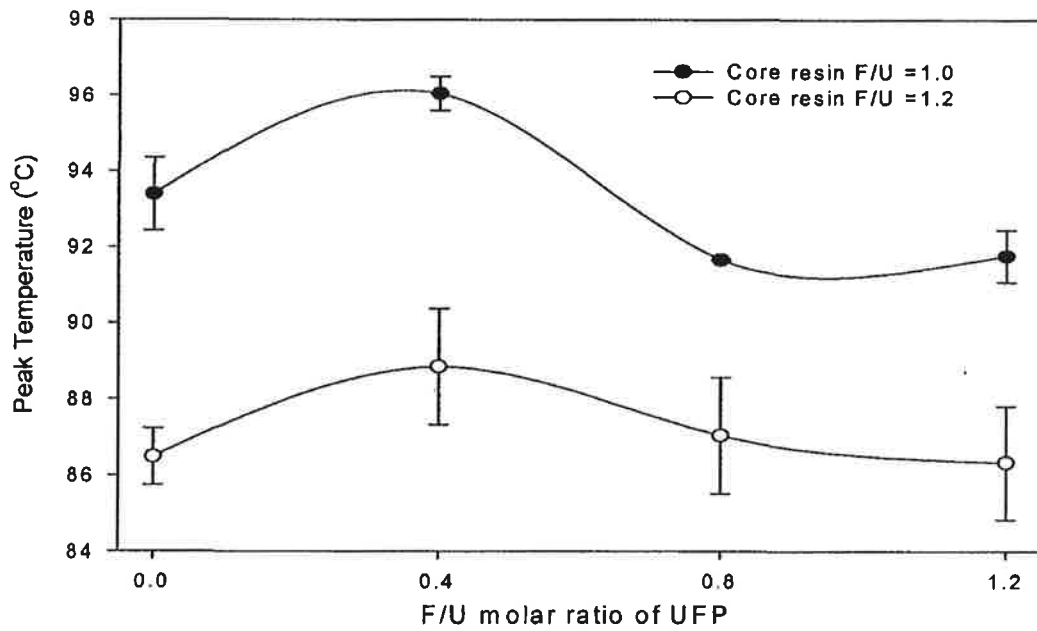
3) 요소수지와 UFP의 F/U몰비에 따른 요소수지의 경화거동

<그림 2-39>와 <그림 2-40>은 F/U몰비가 0.4~1.2인 UFP를 20% 첨가한 중충용 요소수지(F/U몰비 : 1.2 또는 1.0)의 경화시작온도와 최대경화온도를 각각 나타낸 것이다. F/U몰비가 1.2인 요소수지의 경화시작온도와 최대경화온도는 F/U몰비 1.0인 요소수지보다 낮게 나타났으며 UFP의 F/U몰비가 증가할수록 최대점에 도달한 후 다시 감소하는 경향을 보였다. 이 같은 결과는 UFP의 F/U몰비가 증가함에 따라 유리포름알데히드의 양이 증가하여 경화반응성이 향상됨을 시사하는 것이다.

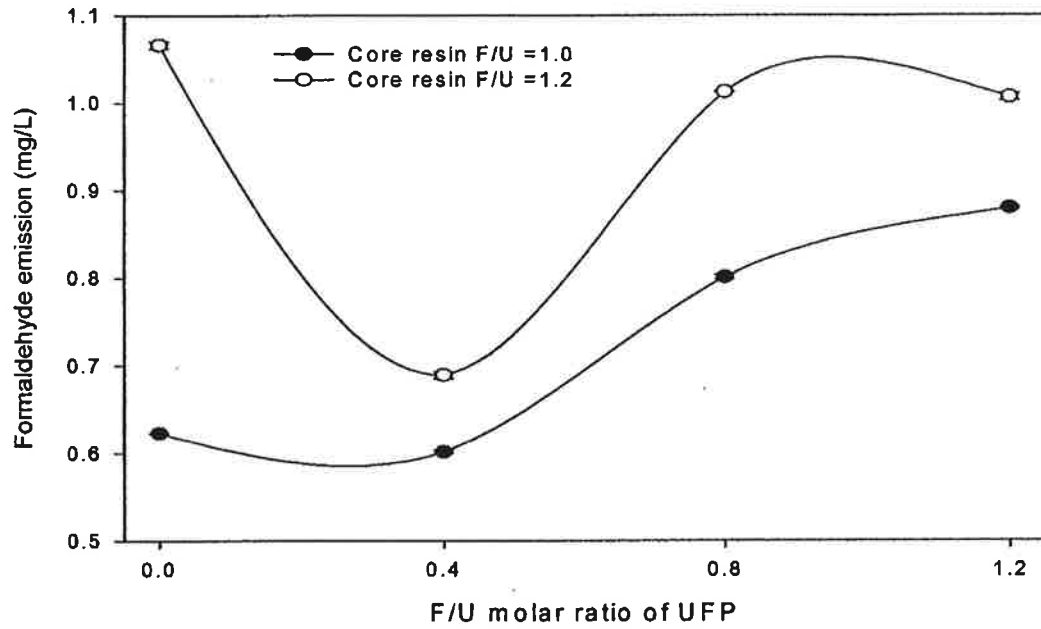
<그림 2-41>~<그림 2-45>는 F/U몰비가 0.4, 0.8 및 1.2인 UFP를 20%첨가한 요소수지(F/U몰비: 1.2, 1.0)를 이용해 제조한 파티클보드의 물성변화를 나타낸 것이다. 파티클보드의 포름알데히드방출량은 UFP의 F/U몰비가 증가할수록 증가하였다<그림 2-41>.



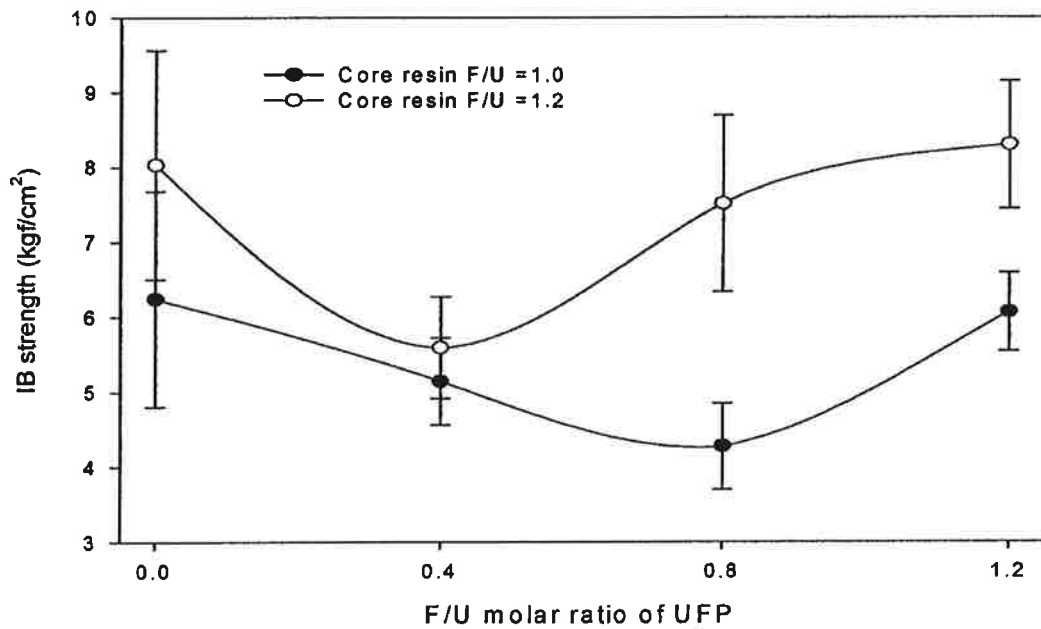
<그림 2-39> 요소수지와 UFP의 F/U몰비에 따른 요소수지의 경화거동 경화시작온도



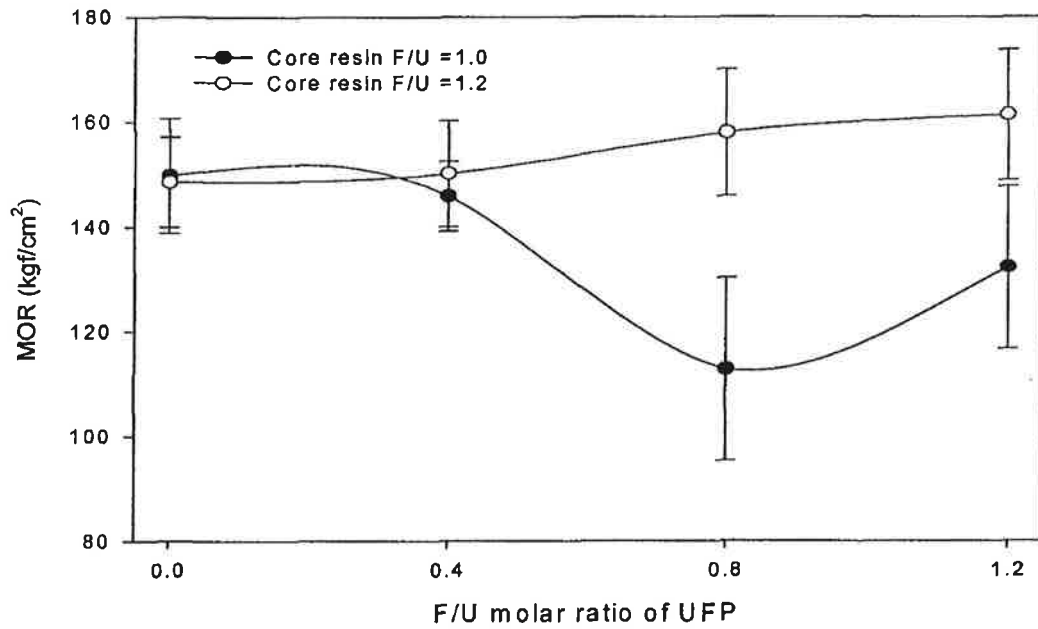
<그림 2-40> 요소수지와 UFP의 F/U몰비에 따른 최대경화온도



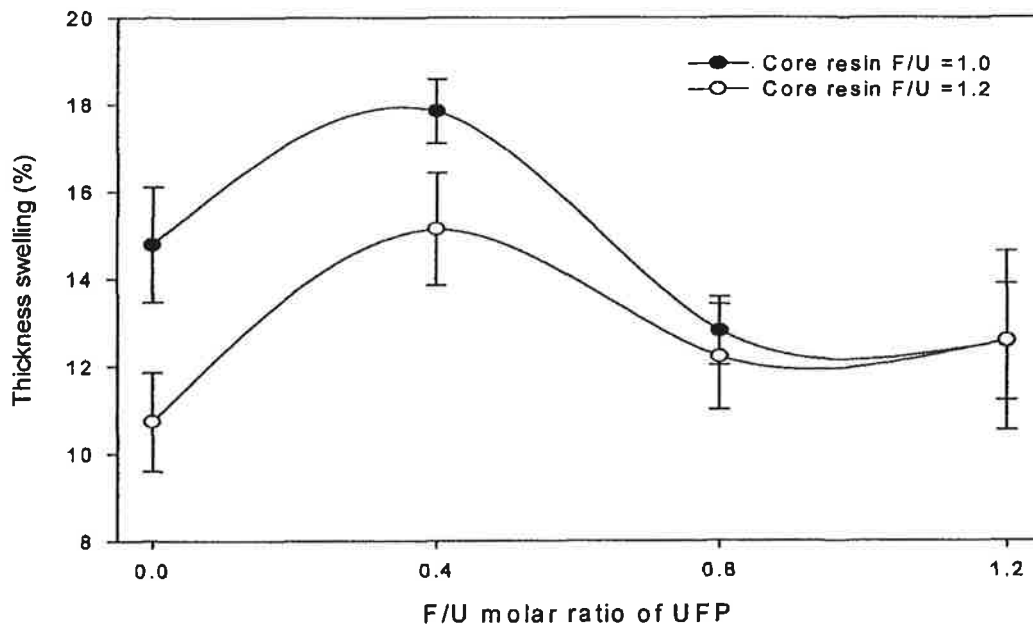
<그림 2-41> 요소수지와 UFP의 F/U몰비에 따른 파티클보드의 포름알데히드방출량



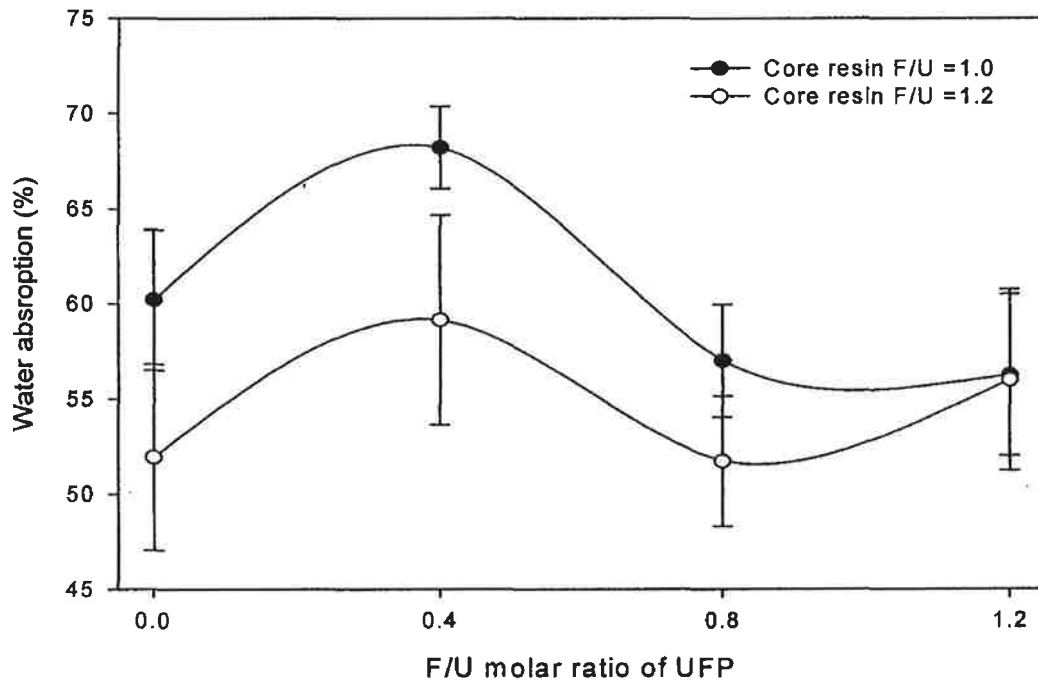
<그림 2-42> 요소수지와 UFP의 F/U몰비에 따른 파티클보드의 박리강도



<그림 2-43> 요소수지와 UFP의 F/U몰비에 따른 파티클보드의 MOR



<그림 2-44> 요소수지와 UFP의 F/U몰비에 따른 파티클보드의 두께팽창률



<그림 2-45> 요소수지와 UFP의 F/U몰비에 따른 파티클보드의 흡수율

이 결과는 UFP의 F/U몰비가 증가함에 따라 유리포름알데히드 함량에 증가하기 때문인 것으로 추측되며 F/U 몰비가 높은 요소수지가 포름알데히드방출량이 높은 것도 같은 맥락에서 이해할 수 있다. 그러나 이와 반대로 파티클보드의 박리강도는 향상되었다<그림 2-43>. 아울러 흡수두께팽창률과 흡수율은 감소하여 치수안정성이 향상되었다. 따라서 파티클보드의 포름알데히드방출량을 저감하기에 적절한 요소수지의 F/U 몰비는 1.0 또는 그 이하로 판단되며 UFP의 F/U몰비는 0.5 정도가 적절한 것으로 판단되었다.

다. 결과 요약

본 실험에서는 요소수지 접착제용 포름알데히드포집제를 이용해 폐목질 파티클보드의 포름알데히드방출량을 저감하고자 두 가지 종류의 포집제, 즉 요소수용액(US)과 요소·포름알데히드 프리폴리머(UFP)를 요소수지에 첨가하여 요소수지의 경화거동, 화학

적 구조 및 파티클보드의 포름알데히드방출량과 물성에 미치는 영향을 조사한 결과는 다음과 같다.

- 1) US와 UFP를 첨가한 요소수지의 겔화시간은 포집제 농도가 증가함에 따라 증가하였으나 UFP를 첨가한 요소수지의 겔화시간은 크게 증가하지 않았다. 또 US와 UFP를 첨가한 요소수지의 경화시작온도와 최대경화온도는 US 경우에는 크게 증가하였으나 UFP의 경우는 큰 변동이 없었다. DSC로 측정된 반응열과 활성화에너지는 US와 UFP 모두 최대점에 도달한 후 감소하는 경향을 보였으며 반응열은 UFP, 활성화에너지는 US를 첨가한 경우가 높게 나타났다. 두 가지 포집제를 첨가한 요소수지의 반응상수는 포집제 농도가 증가함에 따라 US의 경우에는 감소하였으나 UFP의 경우에는 증가하는 경향을 보였다.
- 2) US와 UFP를 첨가한 요소수지를 이용해 제조한 파티클보드의 포름알데히드방출량은 포집제 첨가량이 증가함에 따라 감소하였으나 UFP가 좀더 효과적이었다. 또한 파티클보드의 박리강도는 포집제 첨가량이 증가함에 따라 감소하였으나, UFP를 첨가한 경우 박리강도 저하가 낮았다. 아울러 MOR과 MOE는 포집제 농도가 증가함에 따라 전체적으로 감소하였으나 두께팽창률과 흡수율은 반대로 증가하였다.
- 3) 포집제를 첨가한 요소수지의 경화거동과 파티클보드의 포름알데히드방출량 및 물성을 종합적으로 고려해 볼 때, US와 UFP의 포름알데히드 포집효과는 UFP가 US보다는 효율적이었으며 UFP의 적정 첨가량은 요소수지 무게 기준으로 약 20% 정도였다. 포름알데히드 포집효과를 얻기 위한 UFP의 적정 몰비는 0.5 이하인 것으로 나타났다.

4. 요소·멜라민수지의 합성방법, 경화거동 및 화학적 구조 구명

가. 재료 및 방법

1) 실험재료

본 실험의 요소수지 및 요소·멜라민수지 합성에는 실제 공장에서 사용되는 요소(99%), 포르말린(37%) 및 멜라민(99%)을 사용하였다. 또 요소수지 및 요소·멜라민수지 합성시 pH 조절은 가성소다(NaOH) 20% 용액과 개미산(formic acid) 20% 용액을 이용하였다. 경화제는 염화암모늄(NH₄Cl) 20%용액을 수지고형분 기준으로 3% 사용하였다.

2) 실험방법

가) 요소·멜라민수지 및 요소·포름알데히드·멜라민 프리폴리머합성

요소·멜라민수지 합성은 일반적인 알칼리-산성반응의 순서에 따라 먼저 37% 포르말린을 반응기에 넣고 pH를 7.5~8.0으로 맞춘 다음 1차 요소를 투입하여 온도를 90℃까지 올려 알칼리 반응을 시킨 후, pH를 4.5로 조정하여 산성반응을 한 다음 pH를 다시 7.5로 조정한 직후에 2차 요소를 투입하였다. 반응이 끝난 후 냉각하여 pH를 8.0으로 조정하고 수지고형분, 점도 및 겔화시간을 측정하였다. 멜라민은 요소와 포름알데히드를 반응시킨 후 투입한 UFM 수지와 멜라민을 먼저 포름알데히드와 반응시키고 난 다음 요소를 넣은 MFU 수지 합성방법을 이용하였으며, 멜라민 함량은 전체 수지량 기준으로 0%, 1%, 5% 및 10%를 첨가하였다. 아울러 이들 두 합성방법에 따라 F/U 몰비 수준을 1.2와 1.0으로 하여 적정 F/U 몰비를 조사하였다.

요소·포름알데히드·멜라민 프리폴리머(UFMP : urea-formaldehyde-melamine prepolymer)는 요소·멜라민수지 합성방법에 준하여 제조하고 요소·멜라민수지에 0%, 10%, 20%, 30%로 다르게 첨가하여 요소·멜라민수지의 경화거동을 조사하였다.

나) 요소·멜라민 수지물성 측정

수지고형분은 수지 1.5g를 105℃ 열풍순환식 건조기에 넣어 3시간 동안 건조하여 고형분을 정량하였다. 수지 pH는 pH 미터를 이용하여 측정하였으며 점도는 Brookfield

점도계 2번 스피들을 이용하여 60rpm에서 측정하였다. 또 겔화시간은 수지 10g을 시험관에 넣고 이를 100℃ 끓는 물에 넣어 겔화시간 측정기(Gel time meter, Sunshine, USA)를 이용하여 측정, 3반복하여 그 평균값을 얻었다.

다) 요소·멜라민수지의 경화거동 및 화학적 구조분석

요소수지의 경화거동을 조사하기 위해 본 실험에서는 시차주사열분석기(DSC, TA, Q-10, USA)를 이용하였다. 요소수지 2~3mg을 고압 cell에 정량하여 DSC를 이용해 5℃/분으로 실온에서 200℃까지 상승시켜 요소수지의 경화거동을 조사하였다. 요소수지의 화학적 구조를 구명하기 위해서는 준비된 수지를 dimethyl sulfur oxide (DMSO) 용매를 약 5% 이하의 농도로 용액을 만들어 400MHz 탄소핵자기공명기 (^{13}C -NMR, Bruker AMX-R300)를 이용하여 pulse delay 시간을 1초로 하여 20,000회 이상의 스펙트럼을 얻었다.

라) 파티클보드의 제조 및 포름알데히드방출량 측정

파티클보드 제조용으로 국내의 파티클보드 공장에서 표층용과 중층용으로 사용되고 있는 파티클을 분양받아 보드제조 전에 함수율을 1~2%로 건조하여 사용하였다. 건조한 파티클을 원통형 혼합기에 넣고 요소수지를 분사하여 도포하였다. 혼합된 파티클은 성형틀을 이용해 보드밀도 0.7g/cm³를 목표로 300mm×350mm의 매트를 성형하여 열압기로 열압하여 두께 15mm 파티클보드를 제조하였다. 이 때 열압조건은 온도 200℃에서 열압시간 5분, 열압압력 30kgf/cm² 이었다.

제조한 재생보드는 온도 20℃, 상대습도 65%에서 일주일 동안 조습처리하여 물리·기계적 물성을 측정하는 데 사용하였다. 물리적 성질로서 보드함수율, 밀도, 흡수두께 팽창률 및 흡수율을 측정하고, 휨강도, 휨영계수, 박리강도 등의 기계적 성질을 측정하였다. 그리고 포름알데히드방출량을 KS에서 정하는 24시간 데시케이터법으로 포집, 분석하였다.

나. 연구 결과

1) 요소·멜라민수지의 합성방법, 경화거동 및 화학적 구조

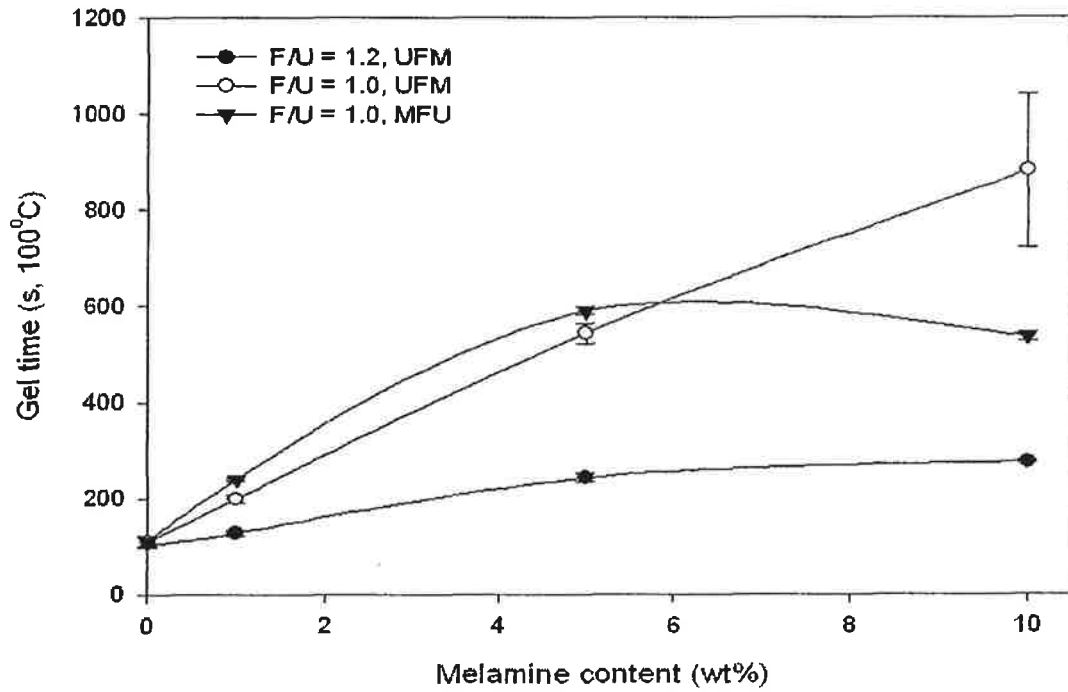
가) 합성방법, F/U몰비 및 멜라민함량에 따른 요소·멜라민수지의 경화거동

요소·멜라민수지를 이용하여 파티클보드를 제조할 경우 우선적으로 고려해야 할 것은 합성방법, 적정 F/U몰비와 멜라민함량 등이다. <그림 2-46>은 합성방법, F/U몰비 및 멜라민함량에 따른 요소·멜라민수지의 겔화시간을 나타낸 것이다. 요소를 먼저 반응시킨 요소·멜라민수지(UFM수지)와 멜라민을 먼저 반응시킨 요소·멜라민수지(MFU 수지)의 경우, 겔화시간은 멜라민함량이 증가함에 따라 증가하여 멜라민 첨가에 따라 요소·멜라민수지의 겔화반응성이 감소함을 보여주었다.

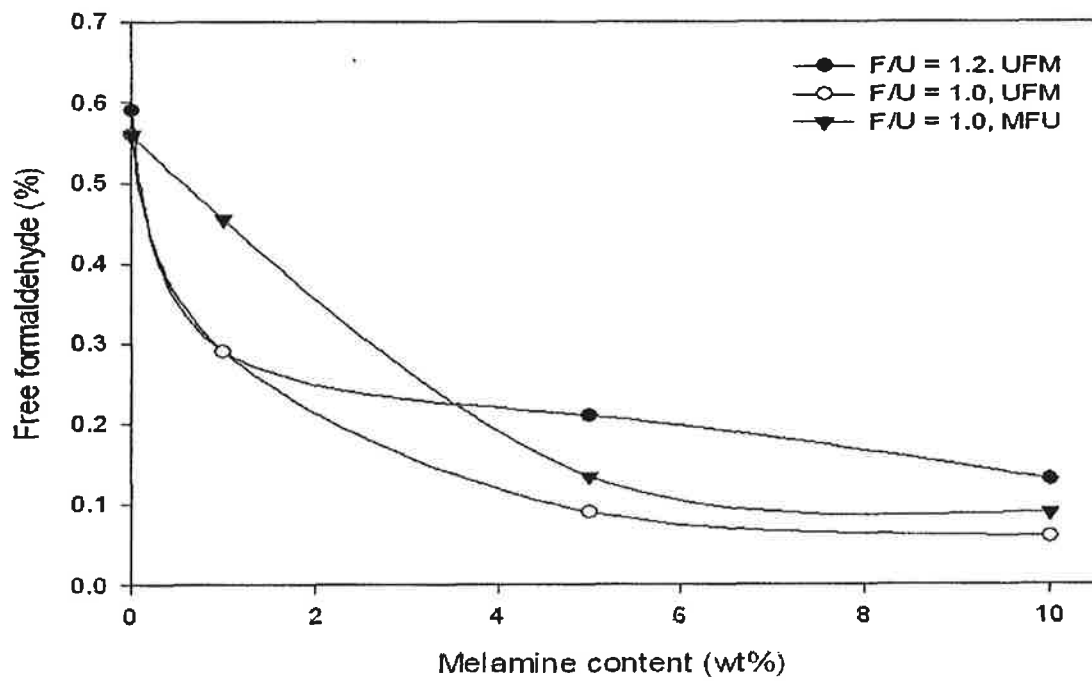
<그림 2-47>은 합성방법, F/U몰비 및 멜라민함량에 따른 요소·멜라민수지의 유리포름알데히드 함량을 나타낸 것이다. F/U몰비에 관계없이 멜라민함량이 증가함에 따라 유리포름알데히드 함량은 감소하여 멜라민이 유리포름알데히드와 반응하는 것으로 추정된다. F/U몰비가 높을수록 유리포름알데히드함량은 증가하나 동일한 F/U몰비에서는 멜라민을 후첨가 반응하는 합성방법이 유리포름알데히드 함량을 더욱 감소시키는 경향을 나타내었다.

<그림 2-48>은 요소·멜라민수지의 겔화시작온도를 나타낸 것으로 멜라민을 첨가하지 않은 요소수지에 비해 멜라민을 1%를 첨가한 경우 겔화시작온도는 증가하였으나 멜라민함량이 계속적으로 증가할수록 겔화시작온도는 감소하는 경향을 나타내었다. 이 결과는 멜라민의 큰 반응성에 기인하는 것으로 추정된다. <그림 2-49>는 요소·멜라민수지의 최대겔화온도를 나타낸 것으로 역시 멜라민함량이 증가함에 따라 증가하였다.

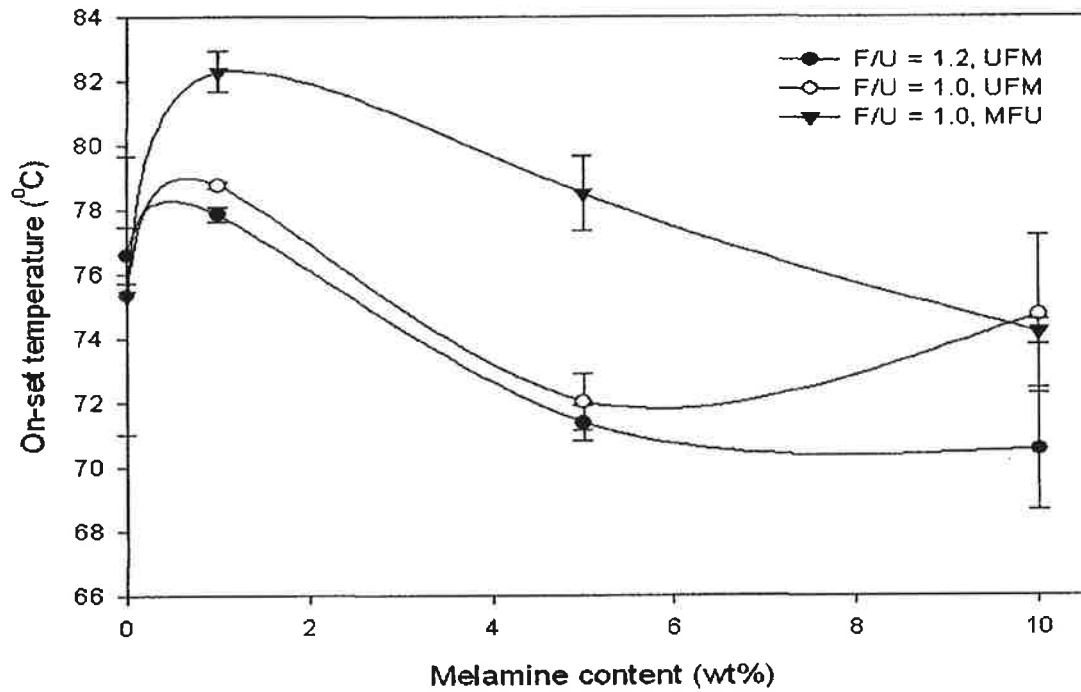
요소·멜라민수지의 활성화에너지는 합성방법에 따라 차이를 보여 MFU수지가 UFM수지보다는 큰 활성화에너지를 나타내었다<그림 2-50>. 또한 활성화에너지의 변화는 겔화시작온도와 유사한 경향을 보여 관련성이 있는 것으로 생각되었다. 전체적으로 요소·멜라민수지의 반응열은 멜라민함량이 증가함에 따라 감소하였다<그림 2-51>.



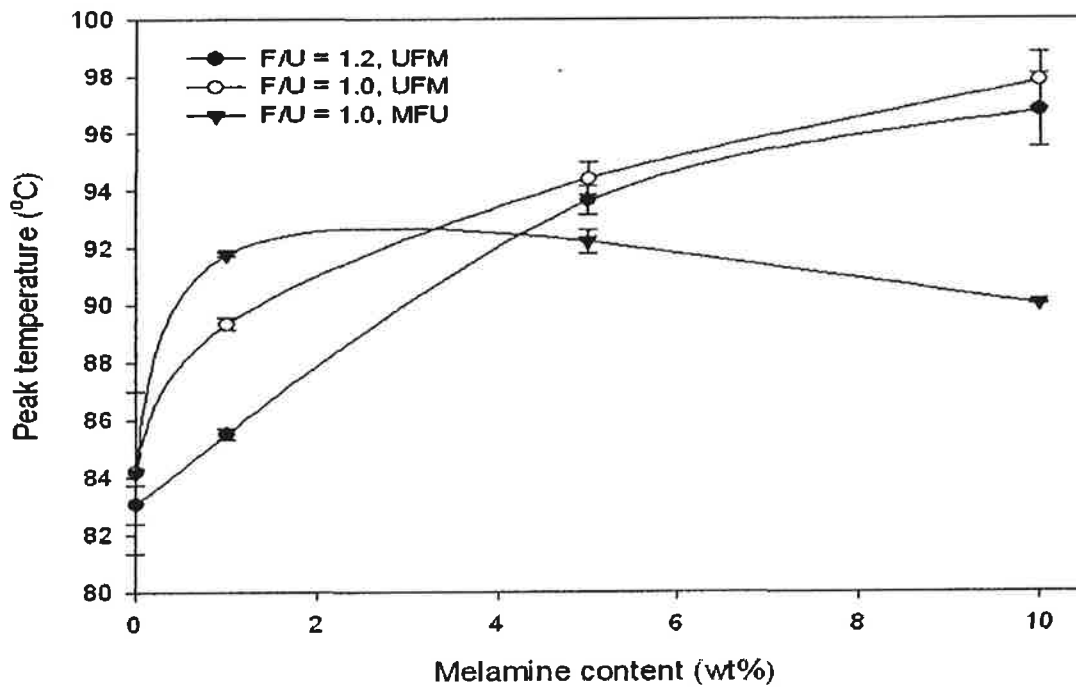
<그림 2-46> F/U몰비, 합성방법 및 멜라민함량에 따른 요소·멜라민수지의 겔화시간



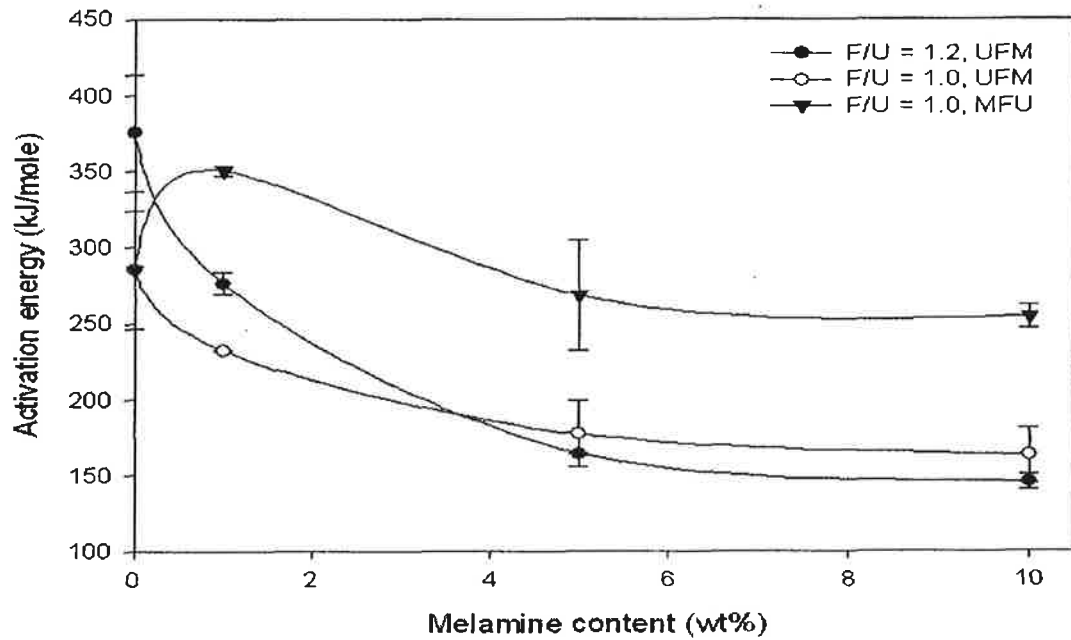
<그림 2-47> F/U몰비, 합성방법 및 멜라민함량에 따른 요소·멜라민수지의 유리포름알데히드 함량



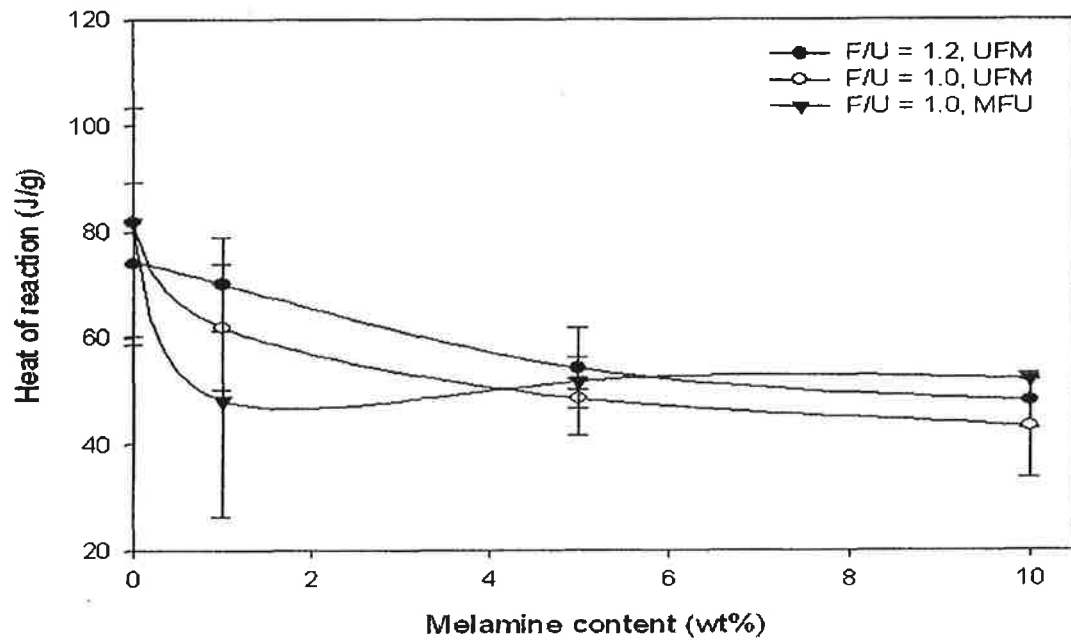
<그림 2-48> 합성방법, F/U몰비 및 멜라민함량에 따른 요소·멜라민수지의 경화시작온도



<그림 2-49> F/U몰비, 합성방법 및 멜라민함량에 따른 요소·멜라민수지의 최대경화온도



<그림 2-50> F/U몰비, 합성방법 및 멜라민함량에 따른 요소·멜라민수지의 활성화에너지



<그림 2-51> 합성방법, F/U몰비 및 멜라민함량에 따른 요소·멜라민수지의 반응열

합성방법, F/U몰비 및 멜라민함량에 따른 요소·멜라민수지의 경화거동을 시차주사 열분석기(DSC)를 이용하여 조사한 결과, 멜라민함량이 증가함에 따라 요소·멜라민수지의 반응성은 떨어졌다. 합성방법, F/U몰비 및 멜라민함량은 이들 요소·멜라민수지를 이용해 제조한 파티클보드의 포름알데히드방출량과 물리·기계적 물성을 기준으로 판단되어야 할 것이다.

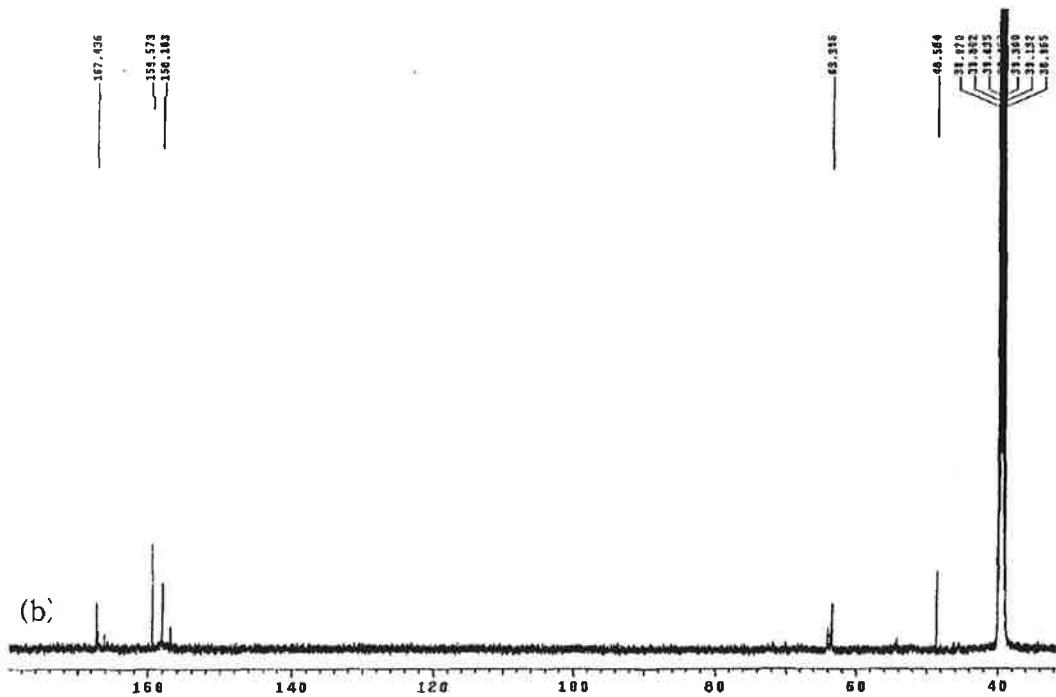
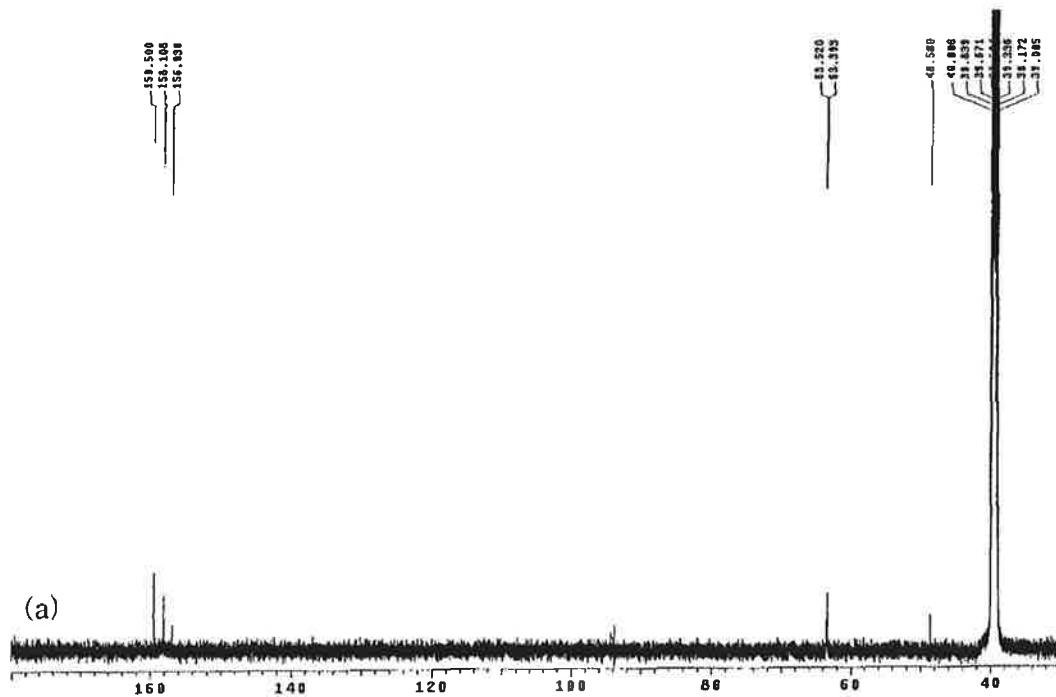
나) 합성방법, F/U몰비 및 멜라민 함량에 따른 요소·멜라민수지의 화학적 구조

<그림 2-51>은 요소수지(a)와 멜라민함량 10%인 요소·멜라민수지(b)의 ^{13}C -NMR spectrum을 나타낸 것이다. 두 종류의 수지 모두 메칠올화요소(63ppm)와 카르보닐그룹(158ppm)이 나타났으나 요소·멜라민수지의 경우는 멜라민에 기인하는 triazine ring(167ppm)의 존재가 확인되었다. 그러나 요소와 멜라민간의 공중합 결합은 2차원 NMR과 같은 다른 방법으로 확인이 가능할 것으로 생각된다.

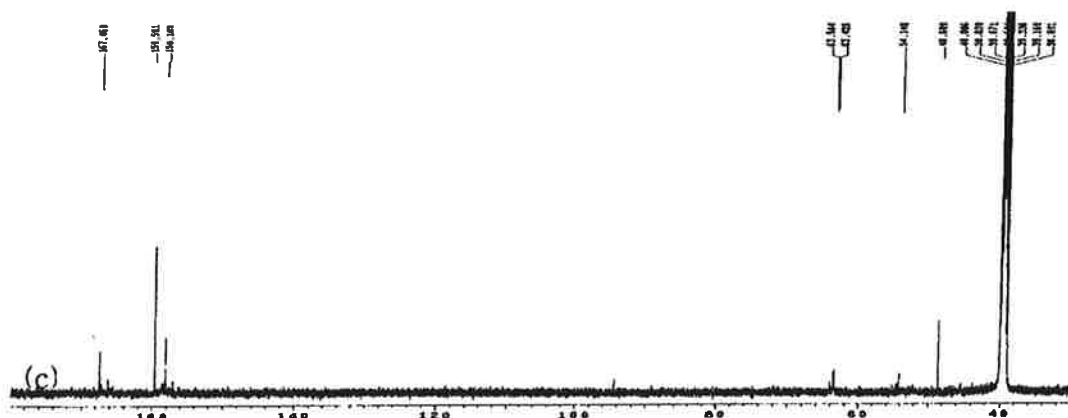
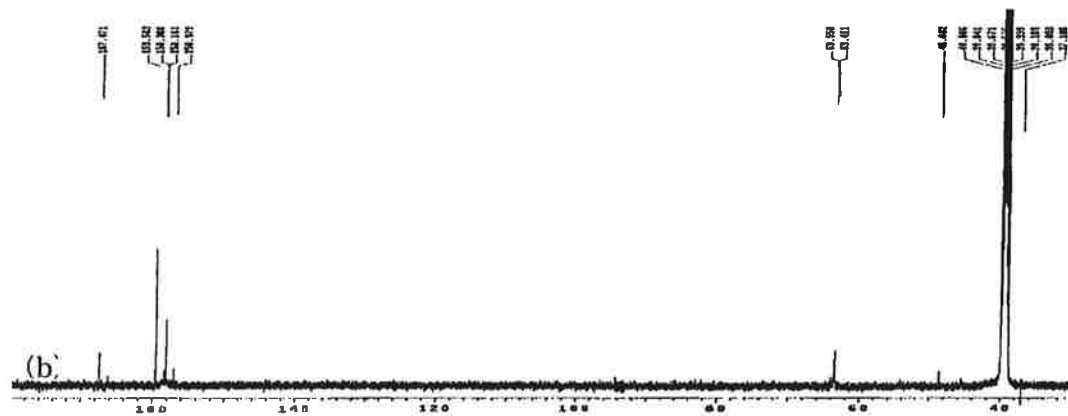
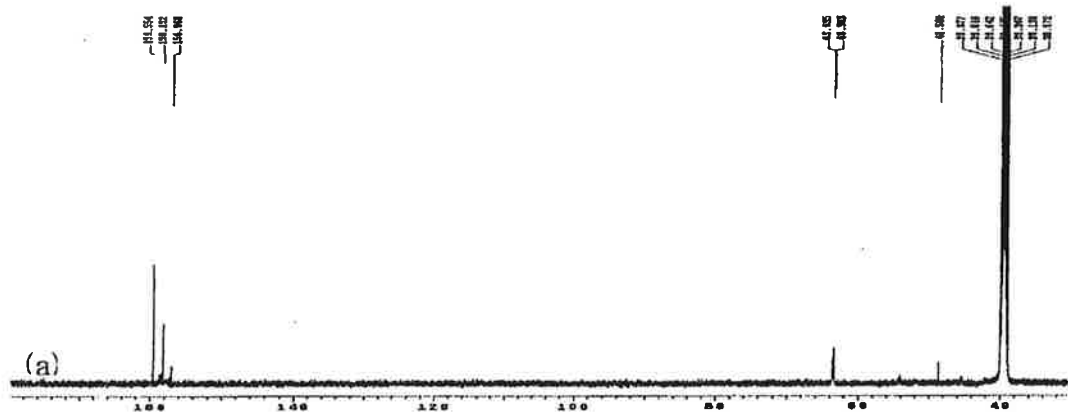
<그림 2-52>는 요소·멜라민수지(F/U몰비 : 1.0)의 멜라민함량에 따른 ^{13}C -NMR spectrum을 나타낸 것이다. 그림에 나타난 것처럼 멜라민 함량이 높을 경우 특징적으로 methylene 결합(54ppm)이 나타났으며 요소의 카르보닐그룹은 157ppm, 158ppm 및 159ppm에 나타났다. 그리고 167ppm, 166ppm 및 165ppm은 un-substituted, mono-substituted 및 di-substituted triazine ring을 나타내었다.

<그림 2-53>은 멜라민의 함량에 따른 요소·멜라민수지의 ^{13}C -NMR spectrum을 나타낸 것이다. 멜라민함량 1%에서는 triazine ring에 기인하는 167ppm peak가 극히 미세하게 나타났으나 멜라민함량이 5%에서 10%로 증가할수록 그 peak가 커졌다.

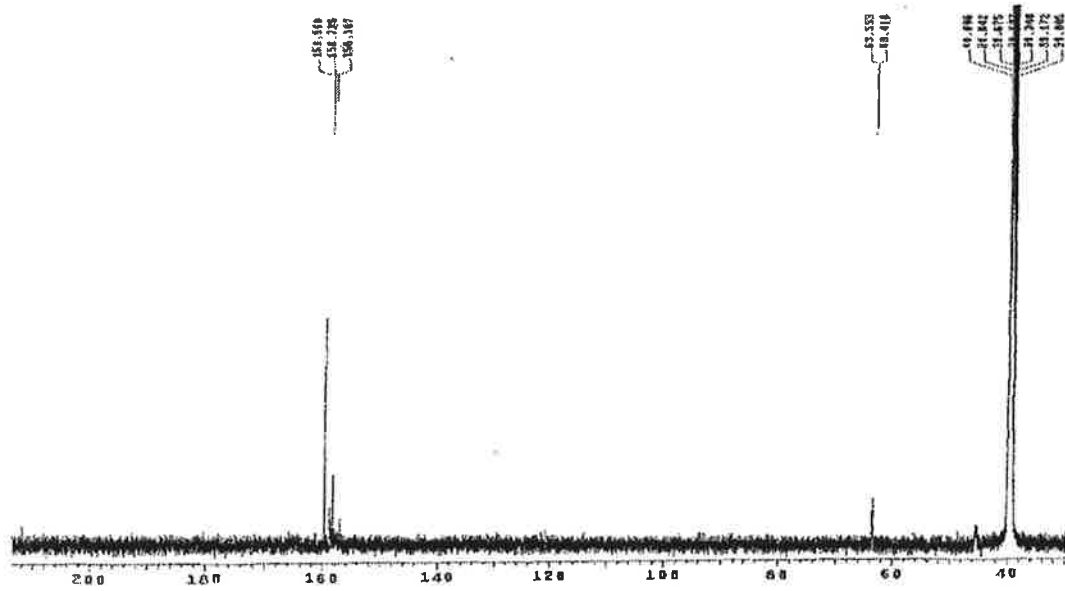
<그림 2-54>는 멜라민을 먼저 반응시켜 합성한 요소·멜라민수지(F/U몰비 : 1.0)인 MFU수지의 ^{13}C -NMR spectrum을 나타낸 것으로 UFM수지(F/U몰비 : 1.0) <그림 2-53, (c)>에 비해 methylene 결합이 많이 감소하였음을 보여 주었다.



<그림 2-52> 요소수지와 요소·멜라민수지의 ^{13}C -NMR spectrum. (a)요소수지(F/U = 1.2), (b)요소·멜라민수지(F/U=1.2, 10% melamine content).



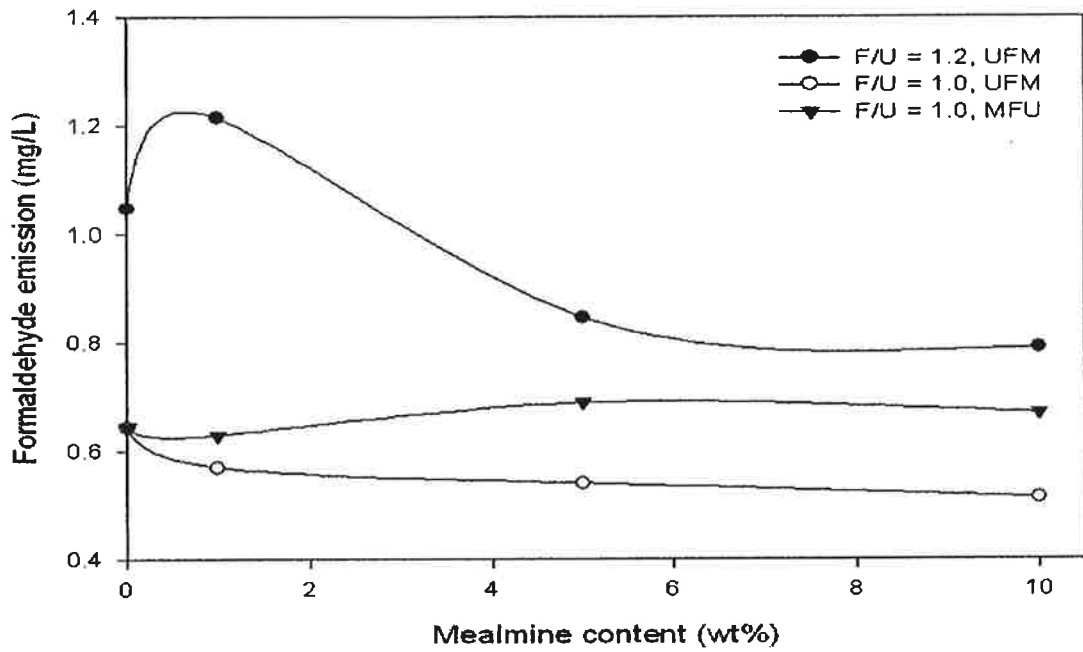
<그림 2-53> 멜라민 함량에 따른 요소·멜라민수지(F/U몰비 : 1.0)의 ^{13}C -NMR spectrum. (a)1% 멜라민함량, (b)5% 멜라민함량, (c)10% 멜라민함량



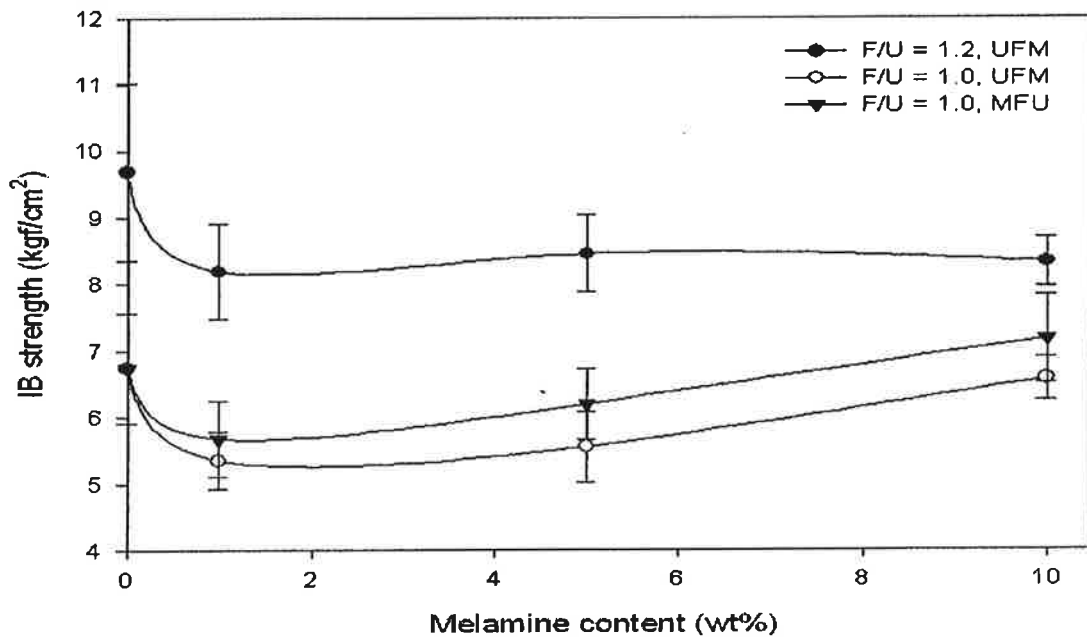
<그림 2-54> 합성방법에 따른 요소·멜라민수지(MUF 수지, F/U = 1.0, 5% 멜라민)의 ^{13}C -NMR spectrum.

2) 요소·멜라민수지를 이용한 파티클보드의 물성

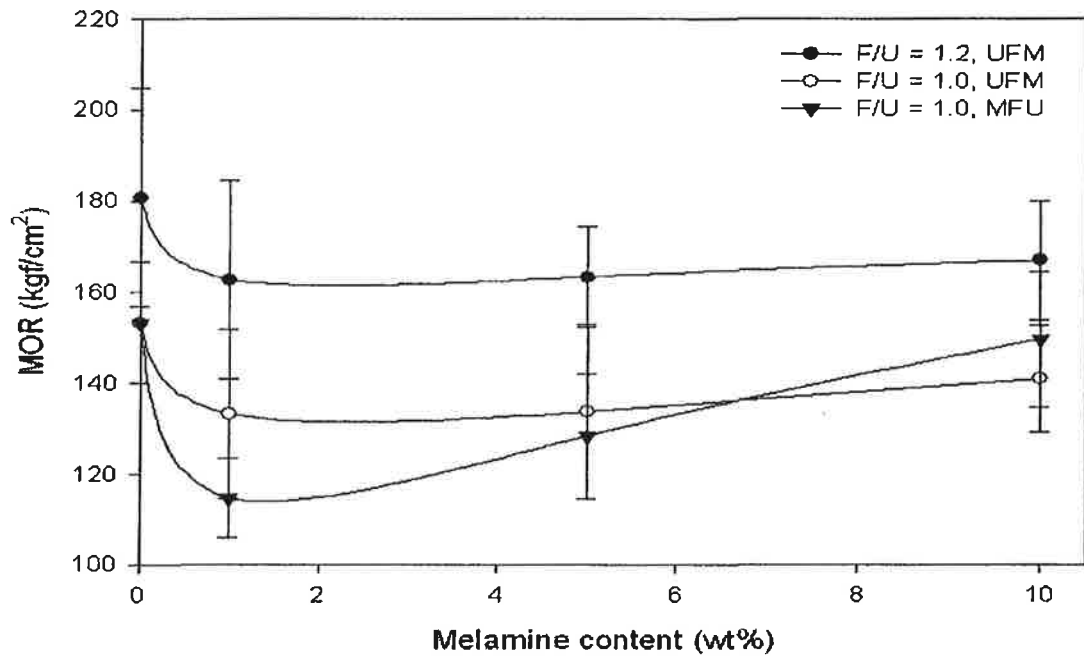
<그림 2-55>는 합성방법, F/U몰비 및 멜라민함량에 따른 요소·멜라민수지로 제조한 파티클보드의 포름알데히드방출량을 나타낸 것이다. 파티클보드의 포름알데히드방출량은 F/U몰비 1.2인 요소·멜라민수지가 더 높았으며 멜라민함량이 증가함에 따라 급격히 감소하는 경향을 보였다. 그러나 F/U몰비가 1.0인 요소·멜라민수지를 이용해 제조한 파티클보드의 포름알데히드방출량은 완만하게 감소하였다. F/U몰비 1.0으로서 5%의 멜라민을 첨가한 요소·멜라민수지를 이용할 경우 파티클보드의 포름알데히드방출량은 E₀등급(0.5 mg/l 이하)에 근접한 결과를 보여주었다. 한편 멜라민을 먼저 반응시킨 MFU수지의 경우 멜라민함량이 증가함에 따라 포름알데히드방출량은 약간 증가하여 포름알데히드방출량 저감에 효과적이지 않음을 보여주었다.



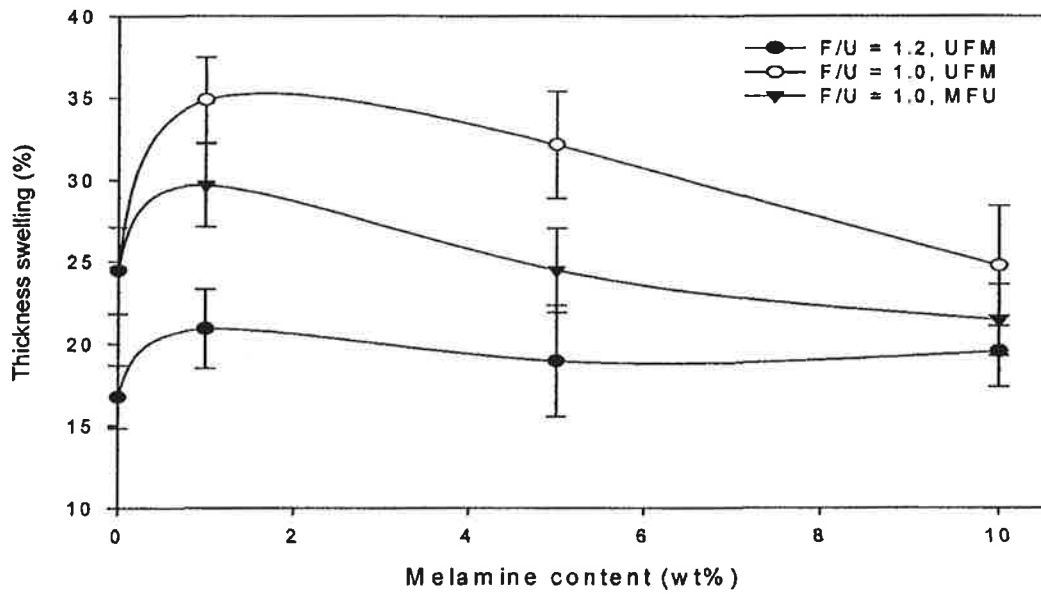
<그림 2-55> 합성방법, F/U몰비 및 멜라민함량에 따른 요소·멜라민수지를 이용해 제조한 파티클보드의 포름알데히드방출량.



<그림 2-56> 합성방법, F/U몰비 및 멜라민함량에 따른 요소·멜라민수지를 이용해 제조한 파티클보드의 박리강도.



<그림 2-57> 합성방법, F/U몰비 및 멜라민함량에 따른 요소·멜라민수지를 이용해 제조한 파티클보드의 MOR



<그림 2-58> 합성방법, F/U몰비 및 멜라민함량에 따른 요소·멜라민수지를 이용해 제조한 파티클보드의 두께팽창률

<그림 2-56>은 합성방법, F/U몰비 및 멜라민함량에 따른 요소·멜라민수지를 이용해 제조한 파티클보드의 박리강도를 나타낸 것으로 멜라민함량이 증가함에 따라 초기에 감소한 후 약간 증가하는 경향을 나타냈다. 예측한대로 F/U몰비가 높은 요소·멜라민 수지의 박리강도가 높았다. 멜라민합성방법을 비교한 결과 UFM수지보다는 MFU수지를 이용한 파티클보드의 박리강도가 향상되는 결과를 보여주었다.

한편 파티클보드의 MOR는 요소수지를 이용한 경우보다는 낮았지만 멜라민함량이 증가함에 따라 큰 변화는 보이지 않았다<그림 2-57>. MFU수지를 이용한 파티클보드의 MOR는 낮은 멜라민함량에서 감소하였으나 높은 멜라민함량에서는 향상되는 경향을 나타냈다. 흡수두께팽창률은 멜라민함량이 증가함에 따라 감소하여 멜라민첨가로 인한 치수안정성이 향상되는 경향을 나타내었다<그림 2-58>. 박리강도와는 반대로 MFU수지를 이용한 파티클보드의 흡수두께팽창률은 UFM수지를 이용한 파티클보드보다 흡수두께팽창률이 낮게 나타났다. 아울러 흡수율도 두께팽창률과 유사한 경향을 보였다.

3) 요소·포름알데히드·멜라민 프리폴리머(UFMP)의 포름알데히드 포집효과

가) UFMP 첨가량에 따른 요소·멜라민수지의 경화거동

F/U몰비가 1.2와 1.0인 요소수지를 합성하여 요소·포름알데히드·멜라민 프리폴리머(UFMP)의 농도를 0%, 10%, 20%, 30%로 대체하면서 겔화시간을 측정한 결과를 <그림 2-59>에 나타내었다. 겔화시간은 UFMP의 첨가량이 증가함에 따라 F/U몰비가 1.0인 요소수지는 증가하였으나 F/U몰비 1.2인 요소수지의 겔화시간은 증가한 후 안정화되는 경향을 나타냈다. 그러나 전체적으로 UFMP의 첨가량 증가는 겔화시간을 더 길게 하였다.

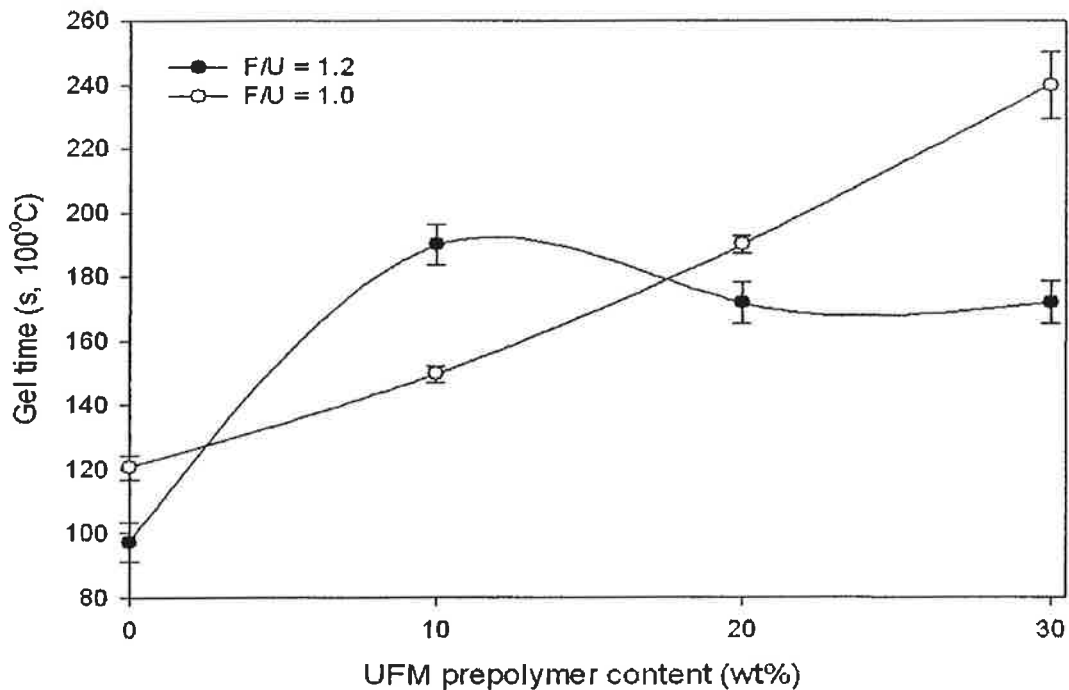
<그림 2-60>는 UFMP의 첨가량 증가에 따른 요소·멜라민수지의 경화시작온도를 나타낸 것으로 UFMP의 첨가량이 증가함에 따라 경화시작온도는 초기에 증가한 뒤 감소하는 경향을 보였다. 이는 UFMP의 멜라민 성분이 경화반응에 관여하여 경화반응성을 감소시키는 것으로 추정된다. 한편 UFMP의 첨가량 증가에 따른 최대경화온도 역시 UFMP의 농도가 증가함에 따라 F/U몰비에 관계없이 증가하는 경향을 보여주었으며 높은 F/U몰비 요소수지의 최대경화온도가 낮았다<그림 2-61>. 전반적으로 멜라민과 UFMP의 첨가량이 증가함에 따라 경화시작온도는 낮아지고 최대경화온도는 높아지는 경향을 보여 요소·멜라민수지의 초기경화반응과 고분자화 경화반응에는 차

이가 있음을 시사하였다. UFMP의 첨가량에 따른 반응열은 일정한 경향은 없었으나 F/U몰비가 1.2인 경우 증가하는 경향을 나타냈다<그림 2-62>.

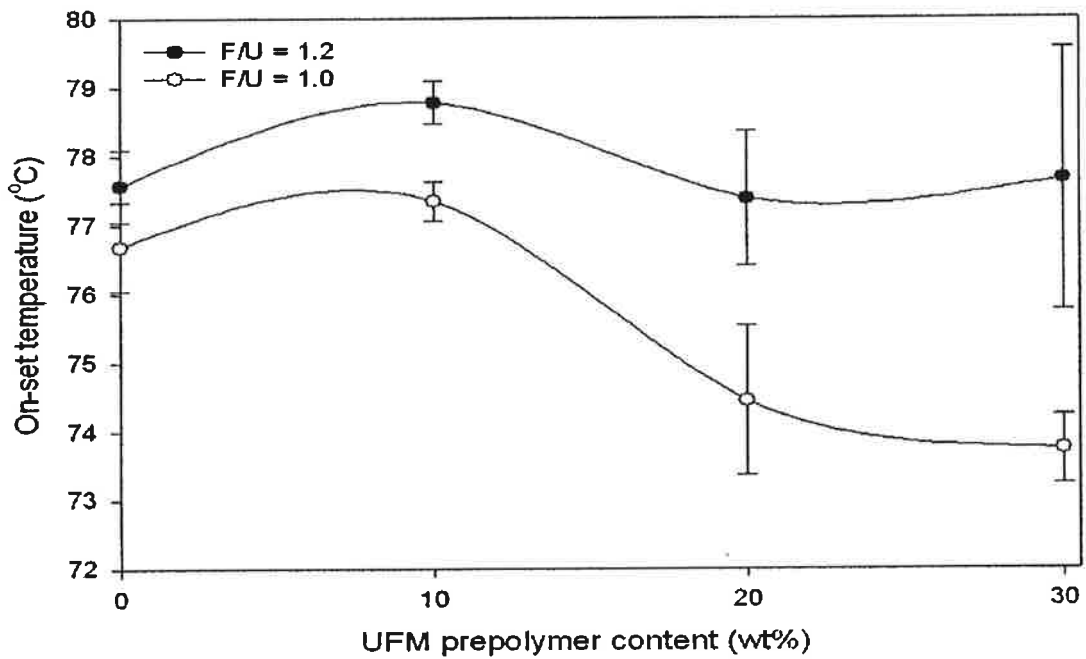
나) UFMP를 첨가한 요소수지로 제조한 파티클보드의 물성

<그림 2-63>은 F/U몰비 1.2 또는 1.0인 요소수지에 포름알데히드포집제로서 UFMP의 농도를 최대 30%까지 첨가한 수지를 이용하여 제조한 파티클보드의 포름알데히드방출량의 변화를 나타낸 것이다. 예측한대로 F/U몰비가 높은 수지를 이용한 파티클보드의 포름알데히드방출량이 높게 나타났으며 UFMP의 농도가 증가함에 따라 포름알데히드방출량은 감소하는 경향을 보였다. 이 결과는 UFMP가 포름알데히드 포집제로서의 역할을 하고 있음을 시사하고 있다.

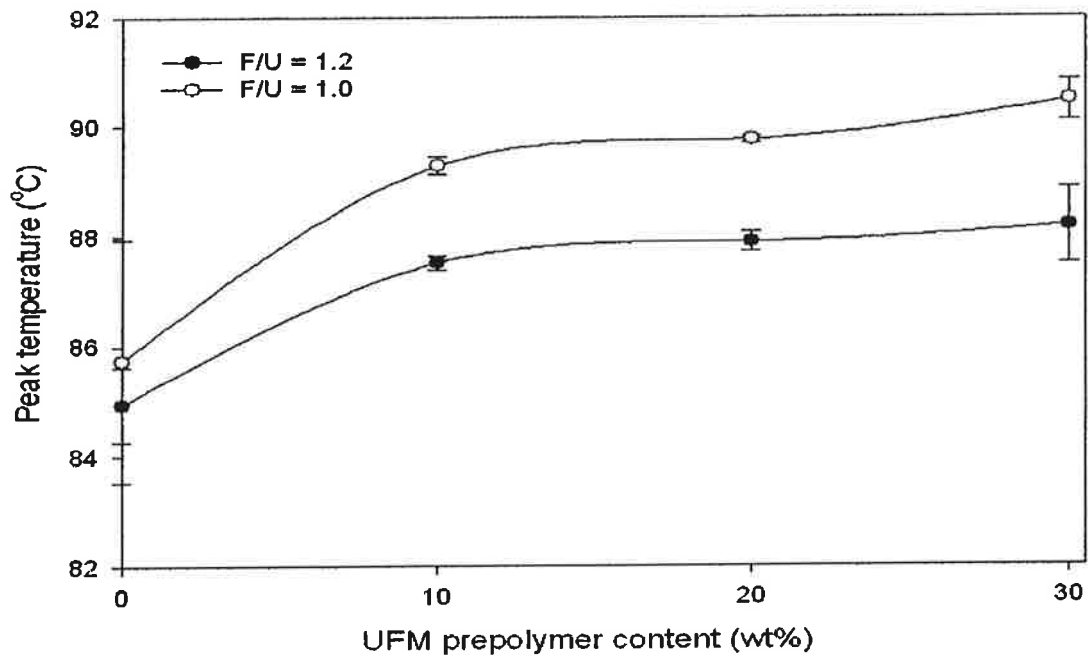
반면 F/U몰비 1.0 수지를 이용한 파티클보드의 박리강도는 UFMP의 농도가 증가함에 따라 감소하였다<그림 2-64>. 휨강도는 F/U몰비 1.2 수지는 감소하다가 증가하는 경향을 보인 반면 F/U몰비 1.0 수지의 경우는 특별한 경향이 없었다. 흡수두께팽창률은 F/U몰비 1.0 수지의 경우 UFMP함량이 증가함에 따라 증가하는 반면 F/U몰비 1.2 경우는 팽창률이 낮은 범위에서 큰 변화가 없었다<그림 2-65>.



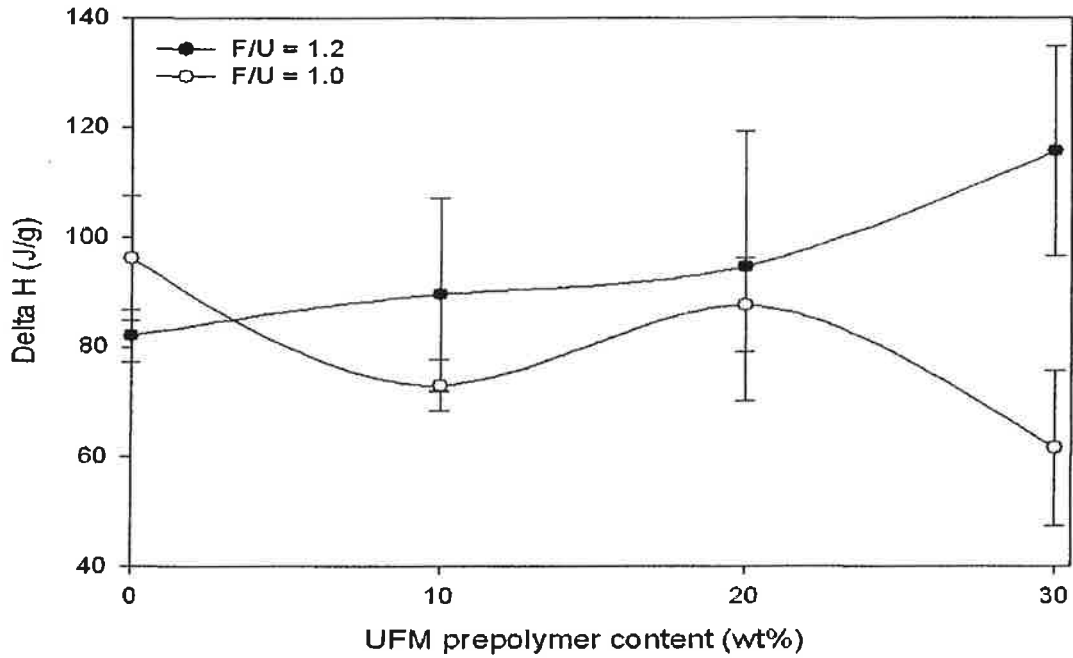
<그림 2-59> UFMP 첨가량과 F/U몰비에 따른 요소·멜라민수지의 겔화시간



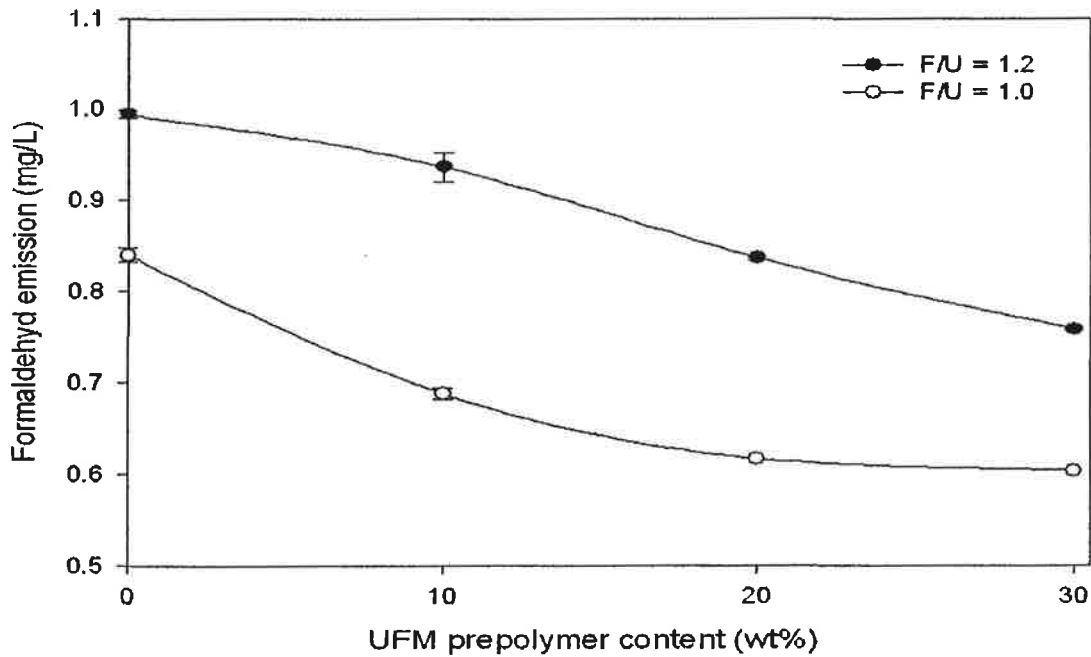
<그림 2-60> UFMP 첨가량과 F/U몰비에 따른 요소·멜라민수지의 경화시작온도



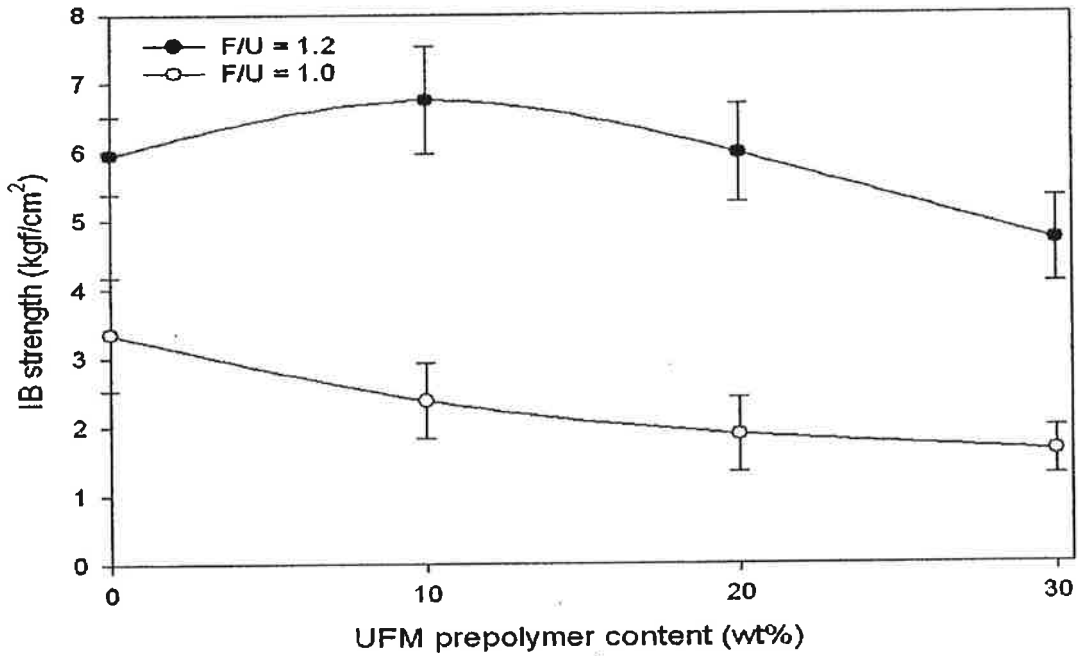
<그림 2-61> UFMP 첨가량과 F/U몰비에 따른 요소·멜라민수지의 최대경화온도



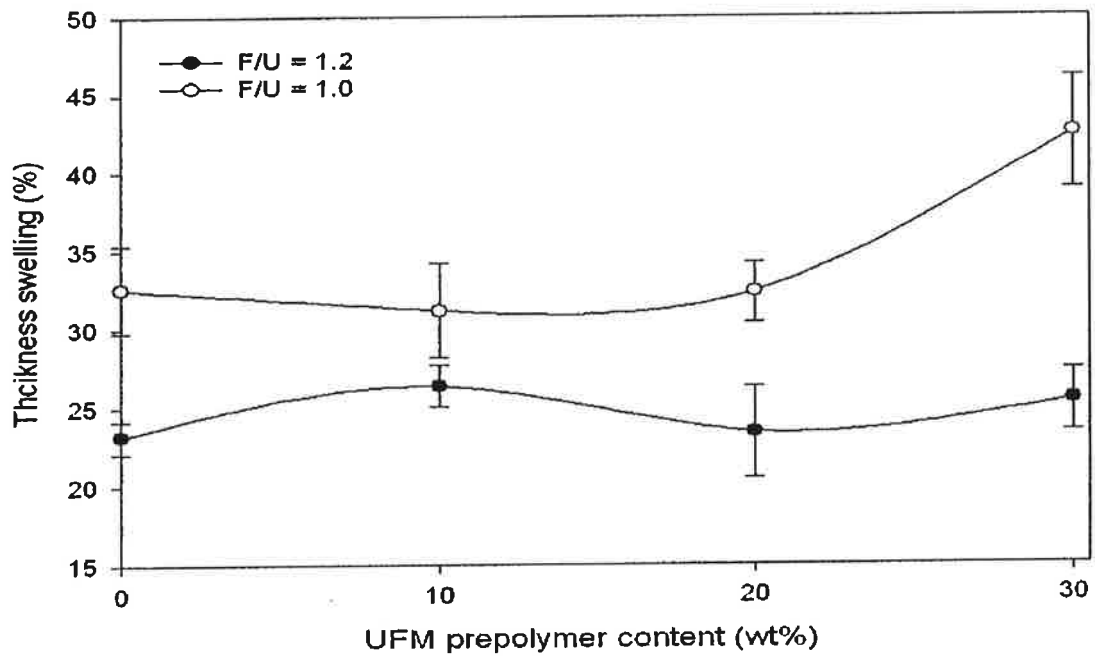
<그림 2-62> UFMP 첨가량과 F/U몰비에 따른 요소·멜라민수지의 반응열



<그림 2-63> F/U몰비와 UFMP 첨가량에 따른 요소수지를 이용해 제조한 파티클보드의 포름알데히드방출량



<그림 2-64> F/U몰비와 UFMP 첨가량에 따른 요소수지를 이용해 제조한 파티클보드의 박리강도



<그림 2-65> F/U몰비와 UFMP 첨가량에 따른 요소수지를 이용해 제조한 파티클보드의 두께팽창률

다. 결과 요약

F/U몰비, 합성방법 및 멜라민함량에 따른 요소·멜라민수지의 경화거동, 파티클보드의 포름알데히드방출량과 물성에 미치는 영향, 그리고 요소·포름알데히드·멜라민 프리폴리머(UFMP) 첨가의 영향에 대한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 멜라민첨가량이 증가함에 따라 요소·멜라민수지의 겔화시간, 경화시작온도 및 최대 경화온도는 증가하여 경화반응성이 감소하였으며 유리포름알데히드 함량, 활성에너지 및 반응열은 감소하였다.
- 2) 요소·멜라민수지의 화학적 구조를 핵자기공명기를 이용해 조사한 결과 멜라민함량이 증가할수록 triazine ring에 기인하는 peak가 증가하였다.
- 3) 파티클보드의 포름알데히드방출량을 기준으로 할 때 요소·멜라민수지의 합성방법은 멜라민을 후첨가하는 것이 보다 적절하였으며 적절 멜라민함량은 5% 이하로 나타났다.
- 4) 멜라민함량 증가에 따른 파티클보드의 포름알데히드방출량, 박리강도, MOR 및 MOE는 감소하였으나 흡수두께팽창률 및 흡수율은 증가하였다.
- 5) 멜라민 첨가는 포름알데히드방출량 증가와 동반한 수지 반응성이 감소하므로 이의 향상이 필요하다.

5. 요소·EMDI 혼용수지의 제조 및 경화거동

가. 재료 및 방법

1) 공시재료

요소·EMDI 혼용수지 제조에는 현장에서 사용되고 있는 공업용 원료를 그대로 이용하였다. 요소수지 제조에는 요소(99.9%)와 포르말린(37%)을 사용하였으며 pH를 조절하기 위하여 20% 가성소다와 20% 개미산 용액을 사용하였다. 이소시아네이트 프리폴리머(pMDI prepolymer)를 제조하고 EMDI 합성에는 우레탄 폼과 우레탄 접착제 제조에 사용되는 100% pMDI(M11R, 한국 BASF)와 100% 폴리올을 사용하였다.

2) 실험방법

가) Polyol 분자량에 따른 pMDI-prepolymer의 경화거동

pMDI-prepolymer 제조는 생산현장에서 사용되고 있는 원료인 pMDI(M11R, 한국 BASF, -NCO content 32%)를 이용하였다. 우선 프리폴리머 제조에서는 우레탄 폼과 우레탄 접착제 제조에 사용되는 100% pMDI와 100% 폴리올을 이용, 각 원료의 분자량, 당량 등을 고려하여 각 원료 혼합비를 계산한 후 최종 -NCO 함량을 기준으로 50~90℃에서, 2~6시간 반응시켜 이소시아네이트 프리폴리머를 제조하였으며 이때 -NCO 함량은 30%를 목표로 하였다.

pMDI-prepolymer의 경화거동을 조사하기 위해 본 실험에서는 시차주사열분석기(DSC, TA, Q-10, USA)를 이용하였다. pMDI-prepolymer 1~3mg을 고압셀에 정량하여 넣고 DSC를 이용해 10℃/분으로 실온에서 350℃까지 승온시켜 요소·EMDI 혼용수지의 경화거동을 조사하였다.

나) 유화형 이소시아네이트(EMDI)수지 제조

EMDI수지 합성에는 우레탄 폼과 우레탄 접착제 제조에 사용되는 100% pMDI수지와 100% 폴리올을 사용하였다. pMDI 프리폴리머를 제조하고, 이 프리폴리머를 유화형으로 제조하기 위하여 다양한 첨가제를 사용하였다. EMDI 제조는 두 가지 과정을 통해 제조하였다. 첫째, EMDI의 물성을 고려하여, 적절한 -NCO 함량을 가진 이소시

아네이트 프리폴리머를 제조하였고, 둘째, 이를 이용하여 요소수지와 혼합이 가능한 ionomer 형태의 EMDI를 제조하였다.

EMDI는 이소시아네이트 프리폴리머의 말단기인 $-NCO$ 를 이온기로 변환하여 요소수지와 쉽게 혼합될 수 있게 하는 첨가제를 투입하고 이와 함께 점도를 감소시키는 첨가제를 넣어 제조하였다. 합성된 EMDI는 고형분 99% 이상이었다. 파티클보드 제조에 사용된 경화제는 20% 염화암모늄을 사용하였으며 수지고형분 기준 3%를 사용하였다.

다) 요소·EMDI혼용수지의 혼합방법에 따른 파티클보드의 물성

파티클보드의 중층용 접착제로서 요소수지와 EMDI간의 혼합방법에 따른 물성 변화를 알아보고 적정 혼합방법을 선정코자 하였다. 이를 위하여 첫째, 요소수지와 EMDI를 혼합하여 도포하는 방법 (UF+EMDI), 둘째, 요소수지 도포 후 고형분 99%의 EMDI를 도포하는 방법 (UF-EMDI)으로 실험을 실시하였다. 전체 함지율은 전건 파티클 무게의 10% 기준(표층 12%, 중층 8%)으로 하였다. 이때 중층용 접착제는 함지율 기준으로 요소수지(97%)와 EMDI(3%)(요소수지 고형분(60% 기준)의 5wt%)를 각각 정량하여 각각의 방법에 따라 접착제를 도포하고 230℃에서, 2분간 열압하여 파티클보드를 제조하였다.

라) 요소·EMDI혼용수지의 EMDI 혼합량에 따른 물성 변화

요소·EMDI혼용수지의 제조를 위해 요소수지를 기준으로 EMDI의 적정 혼합량을 구명하고자 하였다. 이를 위하여 요소수지 고형분 기준으로 EMDI 첨가량을 1wt% (UF : EMDI = 99.4 : 0.6), 3wt%(UF : EMDI = 98.2 : 1.8), 5wt%(UF : EMDI = 97:3), 10wt%(UF : EMDI = 94: 6), 15wt%(UF : EMDI = 91 : 9)로 혼합하여 각각의 접착제를 파티클에 도포하였다. 이때 함지율은 전건 파티클 무게의 10% 기준(표층 12%, 중층 8%)으로 하였다. 파티클보드 제조시 열압조건은 230℃, 2분으로 하였다.

마) 요소·EMDI 혼용수지의 경화거동

요소·EMDI혼용수지의 경화거동을 조사하기 위해 본 실험에서는 시차주사열분석기(DSC, TA, Q-10, USA)를 이용하였다. pMDI-prepolymer 3~7mg을 알루미늄셀에 정량하여 넣고 DSC를 이용해 10℃/분으로 실온에서 200℃까지 승온시켜 요소·EMDI 혼용수지의 경화거동을 조사하였다.

바) 요소·EMDI 혼용수지의 함지율에 따른 파티클보드의 물성변화

중층용 접착제로서 요소-EMDI 수지의 적정 함지율을 판단코자 하였다. 이를 위하여 중층은 요소-EMDI 수지를 이용하여 중층용 전건 파티클의 무게 기준으로 7, 6, 5%를 사용하였다. 이때 요소수지(97%)와 EMDI(3%)(요소수지 고형분(60% 기준)의 5wt%)를 각각 정량하여 혼합한 요소-EMDI 수지를 각 함지율에 따라 접착제를 도포하였다. 표층은 요소수지를 전건 파티클 무게 기준 12%를 사용하였다. 접착제가 도포된 각 층의 파티클을 이용하여 3층 파티클보드를 제조하였으며 이때 열압조건은 230°C, 2분으로 하였다.

나. 연구 결과

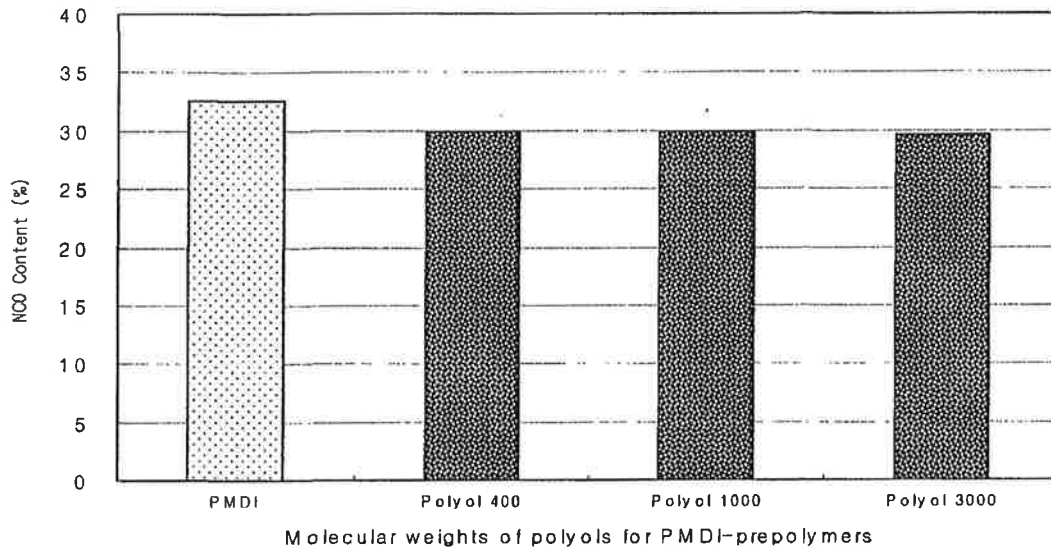
1) Polyol 분자량에 따른 pMDI-prepolymer 경화거동

<그림 2-66>은 polyol의 분자량에 따라 pMDI prepolymer를 제조한 후 이들의 이소시아네이트 그룹(-NCO) 함량을 측정된 결과로 polyol의 분자량에 관계없이 -NCO 함량은 약 30%를 나타냈다. <그림 2-67>은 이들 prepolymer의 경화거동 분석을 위한 DSC 곡선들로 두개의 발열반응 peak가 나타남을 보여준다. 첫 번째 peak는 -NCO 그룹과 polyol의 -OH 그룹이 반응하여 우레탄결합을 형성하는 반응에 의한 것이며 두 번째 peak는 MDI의 고분자화 경화반응에 의한 것으로 판단된다.

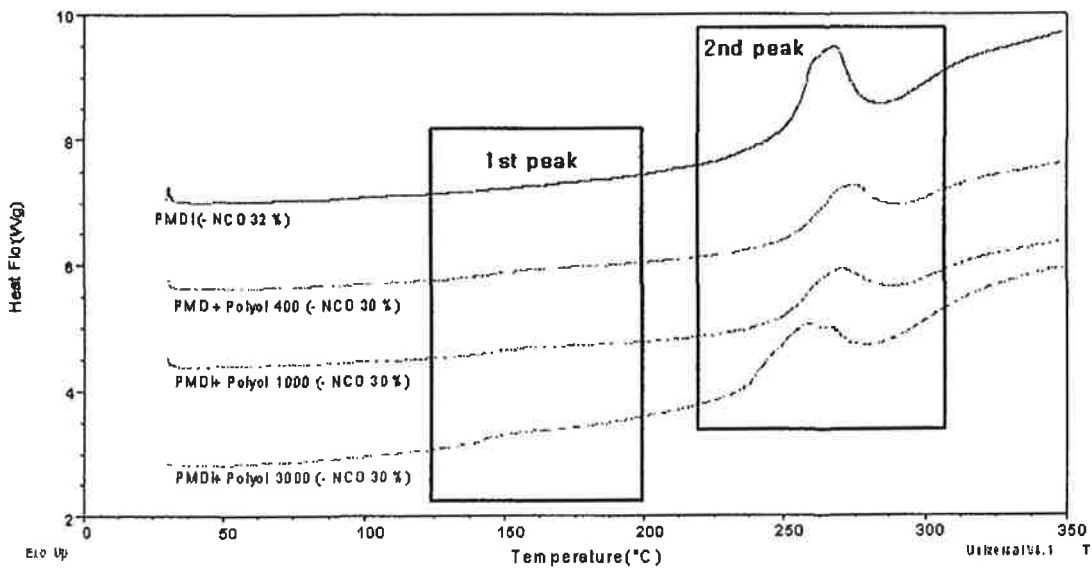
이들 DSC 곡선을 이용하여 각 prepolymer의 첫 번째와 두 번째 발열반응의 최대경화온도를 측정된 결과는 <그림 2-68>과 <그림 2-69>에 각각 나타나 있다. 첫 번째 peak의 prepolymer들의 최대경화온도는 polyol 분자량에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 또 두 번째 peak의 최대경화온도, 즉, 이들 prepolymer의 반응성은 polyol 분자량에 크게 좌우되지 않았다. 이 결과는 polyol 분자량이 다른 prepolymer일지라도 -NCO 함량이 거의 유사하기 때문으로 추정된다.

<그림 2-70>은 polyol 분자량에 따른 pMDI-prepolymer의 반응열을 측정된 것으로 prepolymer의 반응열은 pMDI수지의 반응열보다 낮지만 polyol 분자량이 증가할수록 첫 번째와 두 번째 peak 모두 증가하는 경향을 보였다. 이 결과는 polyol 분자량이 증가할수록 더 많은 반응에너지가 필요한 것으로 이는 분자량의 차이에 기인하는 것으로 추정된다. <그림 2-71>은 polyol 분자량에 따른 pMDI prepolymer의 활성화에너지를 나타낸 것으로 반응열과 마찬가지로 분자량이 증가할수록 활성화에너지는 증가하는 경

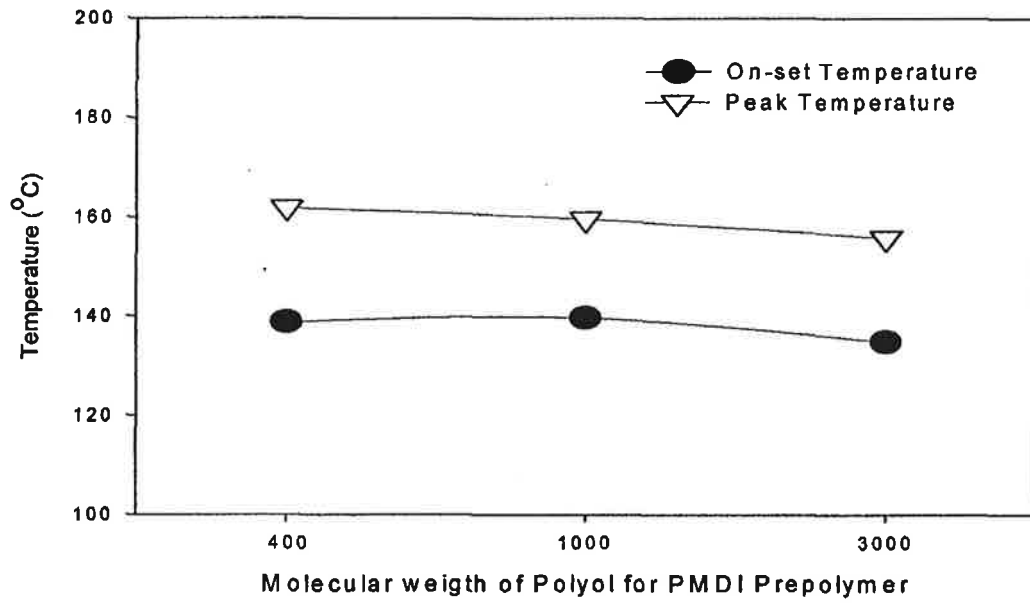
향을 보였다. 이 결과는 polyol 분자량이 커짐에 따라 자발적인 반응에 보다 더 많은 에너지가 필요함을 시사하는 것이다. 접착성능을 평가한 결과는 <그림 2-72>에 나타난 것처럼 polyol 분자량 1000에서 가장 양호한 접착력이 나타났다.



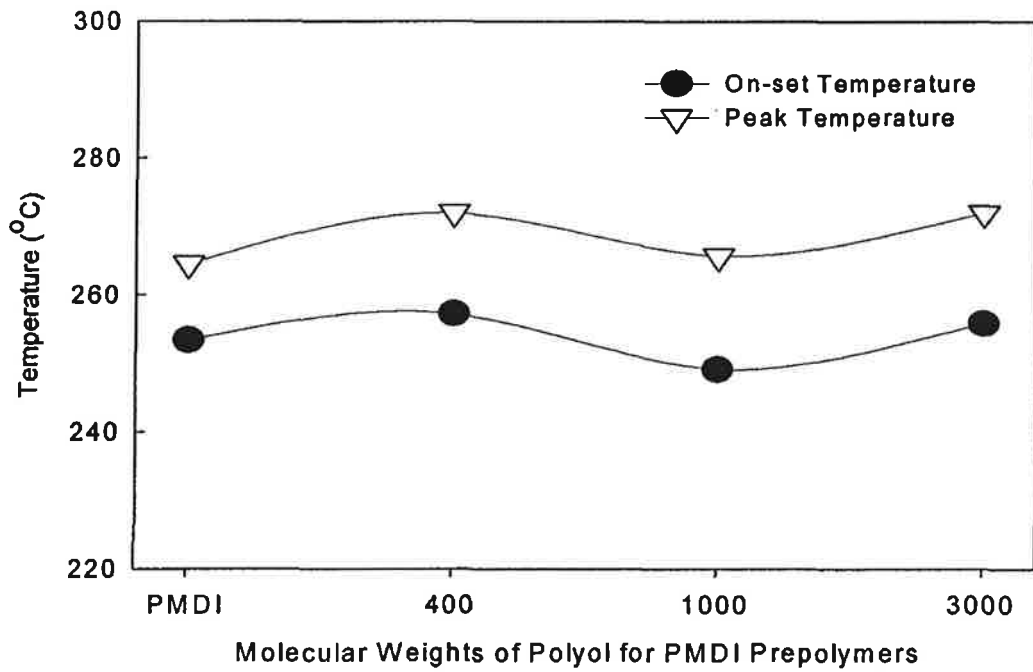
<그림 2-66> 폴리올 분자량에 따른 pMDI-prepolymer의 -NCO 함량



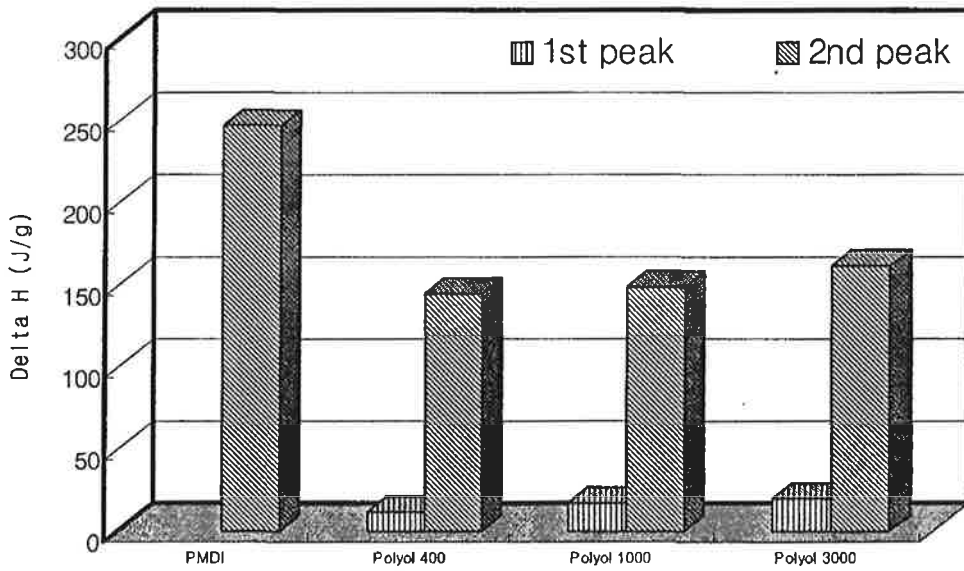
<그림 2-67> 폴리올 분자량에 따른 pMDI-prepolymer의 DSC curves.



<그림 2-68> 폴리올 분자량에 따른 pMDI-prepolymer의 첫 번째 peak의 경화온도

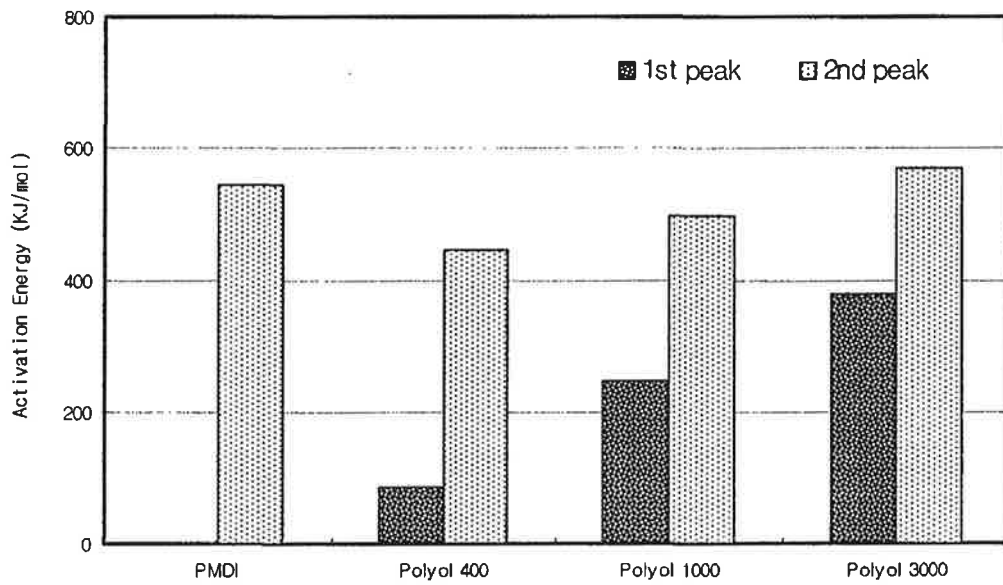


<그림 2-69> 폴리올 분자량에 따른 pMDI-prepolymer의 두 번째 peak의 경화온도



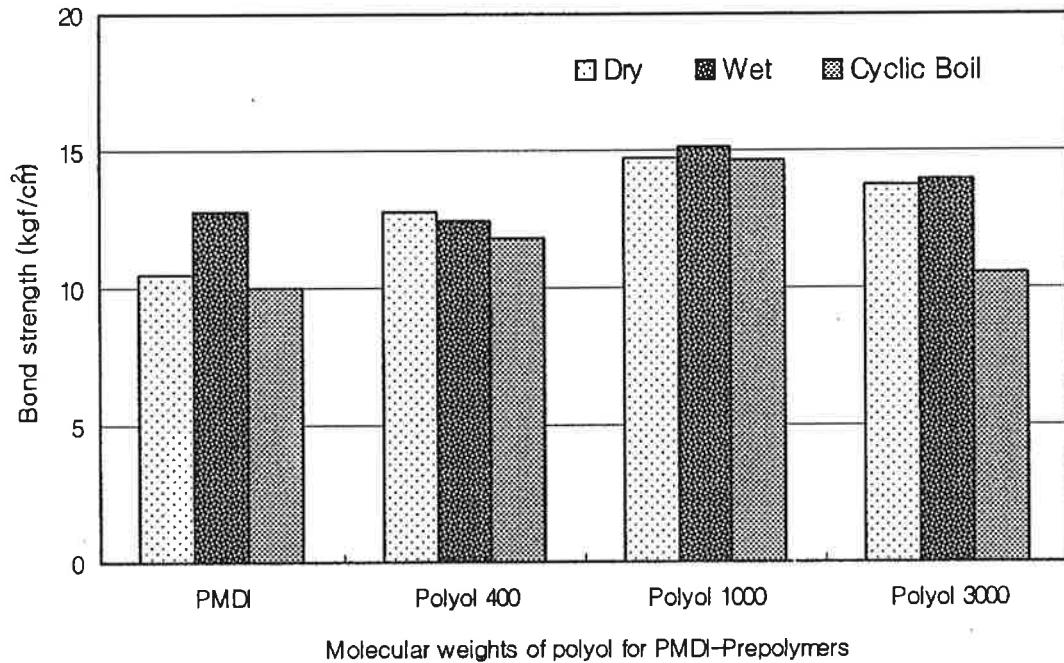
Molecular weights of polyol for PMDI-Polyol prepolymers

<그림 2-70> 폴리올 분자량에 따른 pMDI-prepolymer의 반응열(ΔH)



Molecular weights of polyol for PMDI-Polyol prepolymers

<그림 2-71> 폴리올 분자량에 따른 pMDI-prepolymer의 활성화에너지

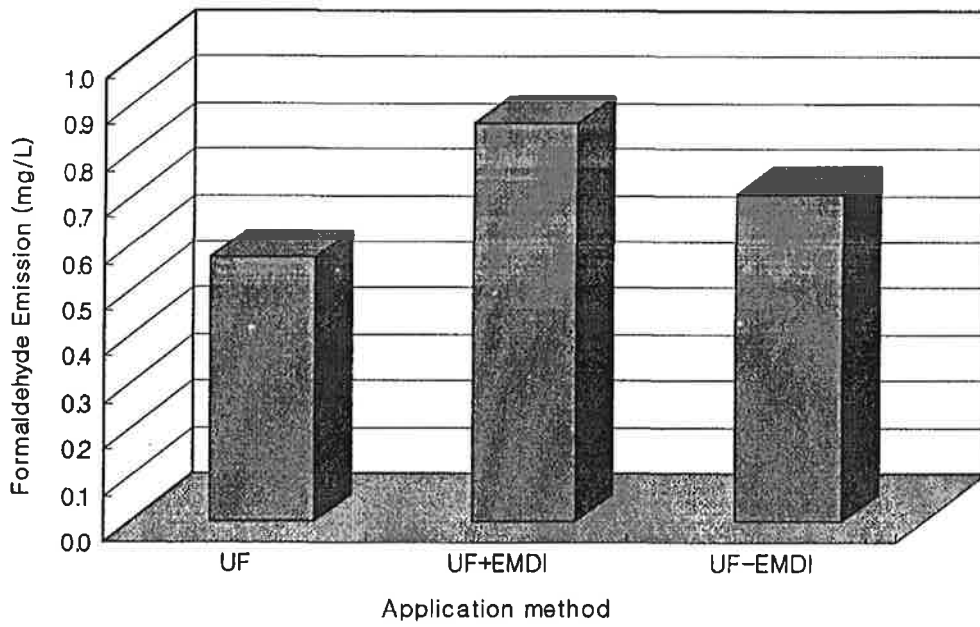


<그림 2-72> 폴리올 분자량에 따른 pMDI-prepolymer의 접착력

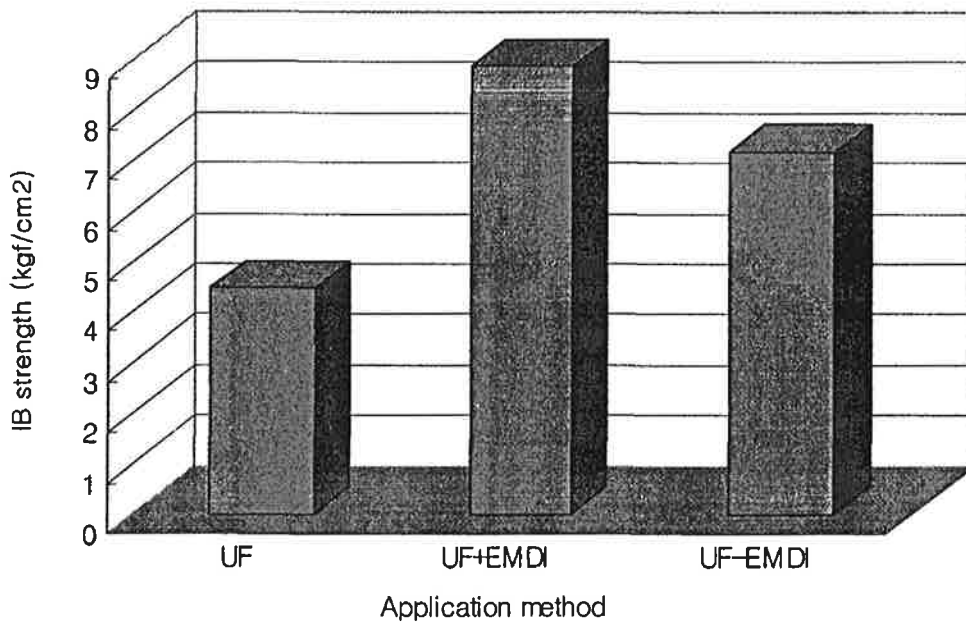
2) 요소-EMDI수지 혼합방법에 따른 파티클보드의 물성

요소-EMDI혼용수지를 적용하는 방법으로 요소수지와 EMDI수지의 혼합은 99%이상 고형분의 EMDI수지를 요소수지 고형분 기준 5%로 소량을 사용하였다. 요소수지와 EMDI수지를 혼합하여 사용하는 방법인 UF+EMDI와 접착제 도포시 요소수지와 EMDI수지를 각각 분리 도포하는 UF-EMDI로 생각할 수 있다. 따라서 요소-EMDI혼용수지의 적용방법으로 두 가지 방법 즉 UF+EMDI와 UF-EMDI을 대조구인 요소수지 접착제와 비교 시험하였다.

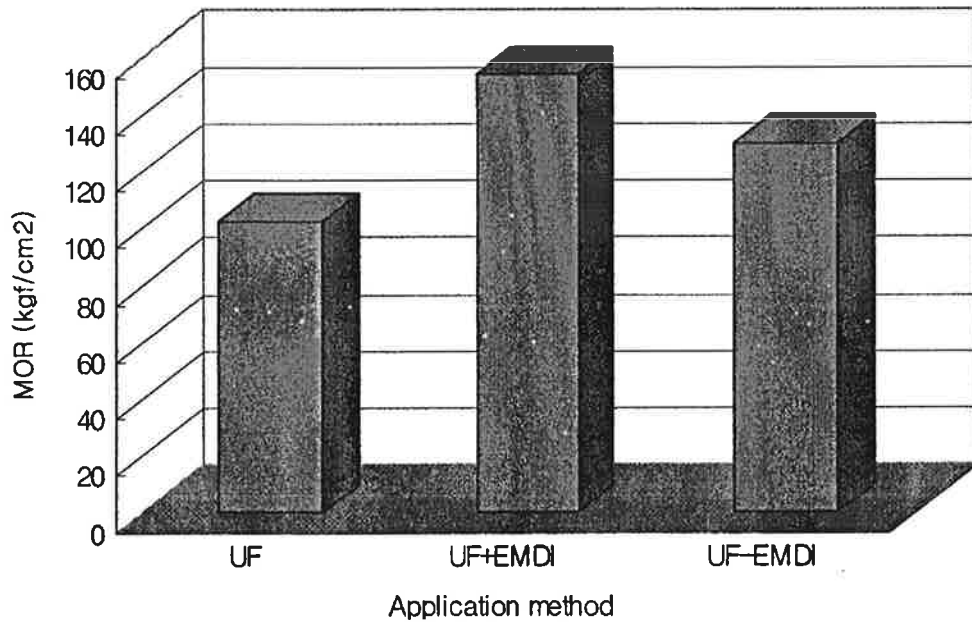
<그림 2-73>는 EMDI 적용방법에 따라 두 가지 방법으로 제조한 파티클보드의 포름알데히드방출량을 나타낸 것이다. 포름알데히드방출량은 전체적으로 요소수지보다 높게 나타났다. 이는 이론적으로 -NCO기가 요소수지의 물, 아미노기 등과 반응하여 요소를 생성하게 되고 이것이 유리 포름알데히드와 반응하여 미반응 포름알데히드 함량을 감소시킬 것으로 기대하였으나 다른 경향을 보였다. 한편 <그림 2-74>에 나타낸 바와 같이 파티클보드의 박리강도는 UF+EMDI가 가장 높아 요소수지와 EMDI를 혼합하는 것이 바람직함을 보여주었다.



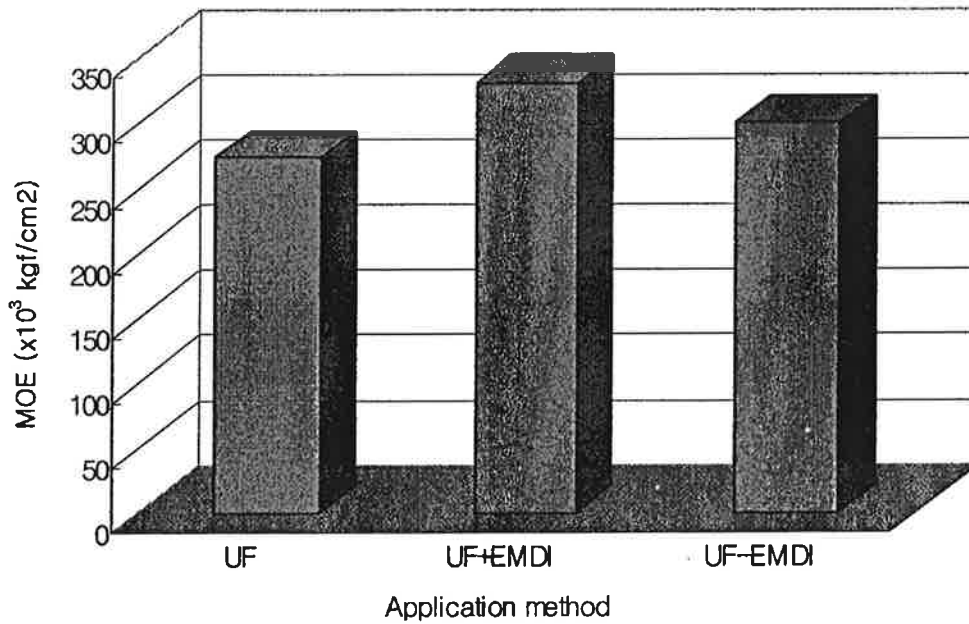
<그림 2-73> EMDI 수지의 혼용방법에 따른 파티클보드의 포름알데히드방출량



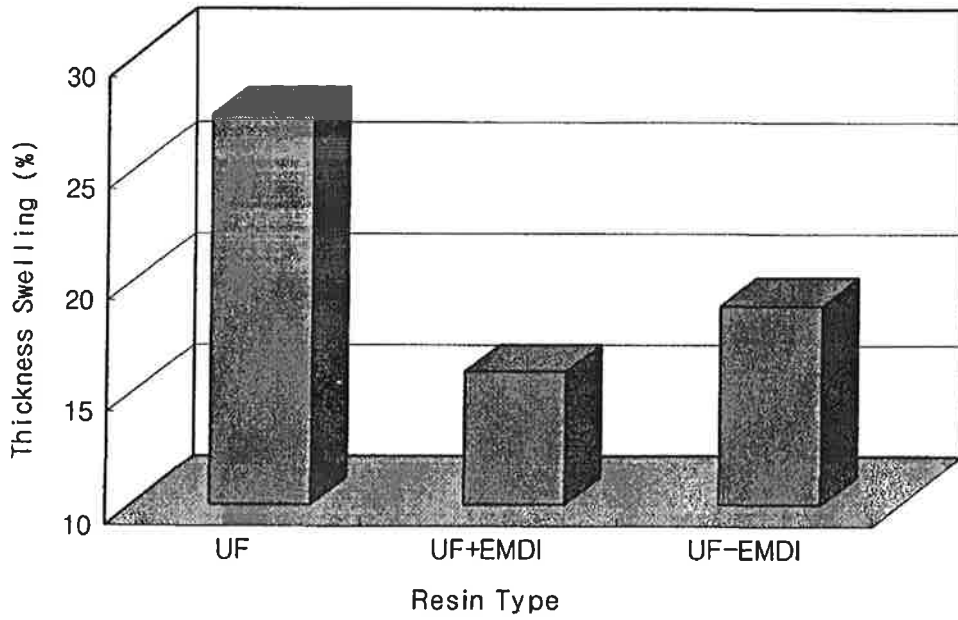
<그림 2-74> EMDI 수지의 혼용방법에 따른 파티클보드의 박리강도



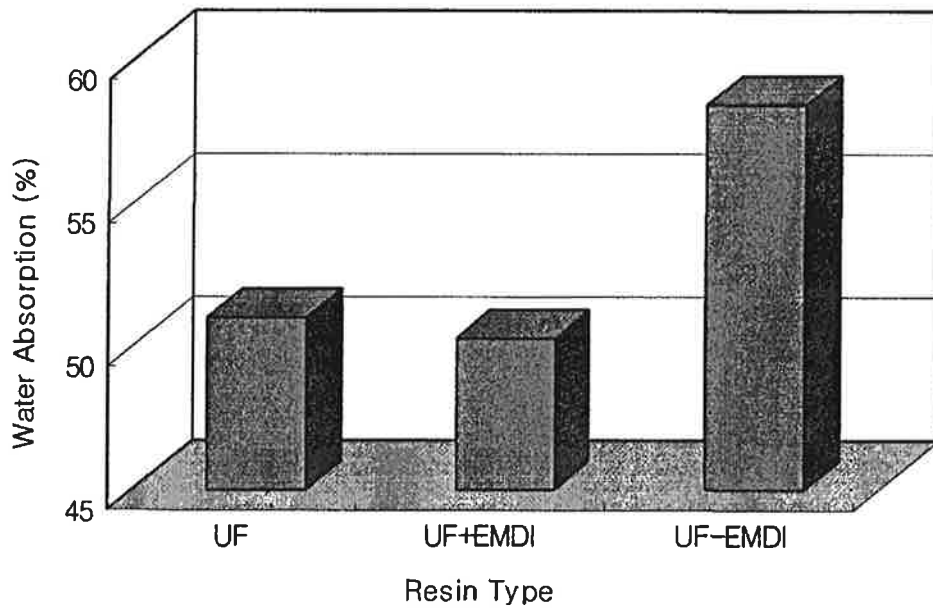
<그림 2-75> EMDI 수지의 혼용방법에 따른 파티클보드의 MOR



<그림 2-76> EMDI 수지의 혼용방법에 따른 파티클보드의 MOE



<그림 2-77> EMDI 수지의 혼용방법에 따른 파티클보드의 흡수두께 팽창률



<그림 2-78> EMDI 수지의 혼용방법에 따른 파티클보드의 흡수량

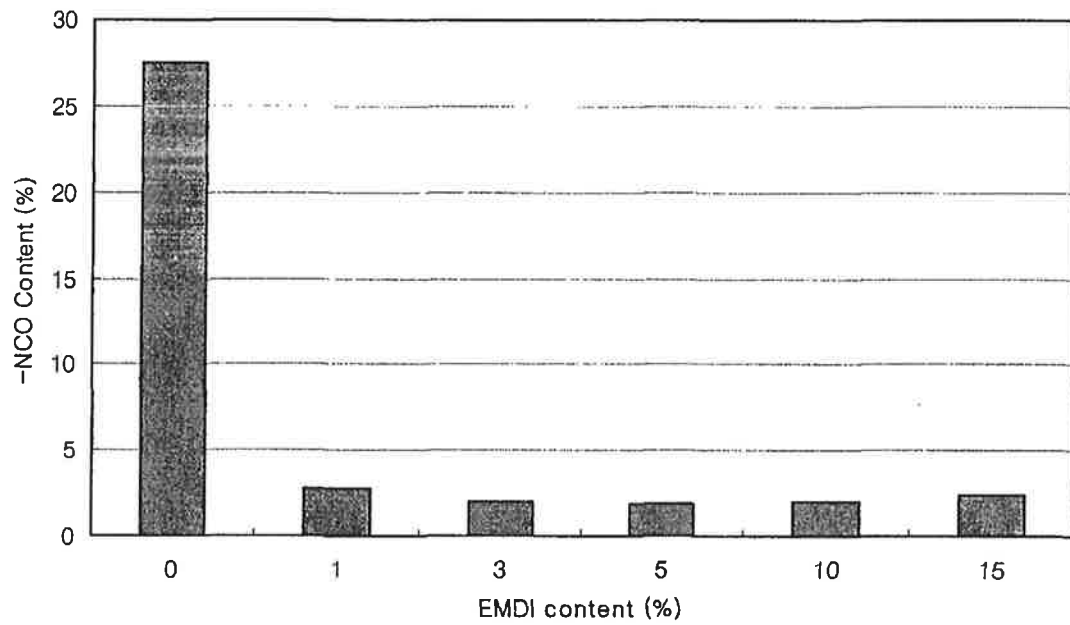
<그림 2-75>과 <그림 2-76>은 EMDI수지 적용방법에 따른 파티클보드의 MOR과 MOE를 나타낸 것으로 UF+EMDI가 우수한 성능을 보였으며 요소수지보다 휨성질이 높아 요소수지와 혼합하는 것이 가장 바람직하였다. 이와 같은 결과는 UF+EMDI 혼합의 경우 EMDI내 -NCO기가 요소수지의 물, 아미노기 등과 반응을 하게 되고 이것이 경화과정에서 요소 또는 우레탄 반응에 의해 경화가 촉진되어 파티클보드의 물성이 증가하게 된다. 그에 반해 UF-EMDI는 경화제와 혼합된 요소수지가 도포된 후, EMDI가 도포되므로 파티클은 요소수지를 먼저 흡수하게 되고 그 후 미량의 EMDI가 요소수지로 코팅화된 파티클에 도포된다. 이와 같은 상태에서의 열압과정중 반응은 혼합된 상태와 다르게 나타날 것이라 추측된다. 그리고 이와 같은 상태에서의 열압공정은 요소수지의 수분이 매트 상에서 확산되고, 이 수분이 EMDI와 주로 반응하게 될 것으로 보인다. 따라서 이와 같은 과정을 통하여 생성된 반응은 요소반응이 주를 이루게 되어 UF+EMDI에 비해 그 물성이 낮게 나타나는 것으로 판단된다.

<그림 2-77>과 <그림 2-78>는 파티클보드의 흡수두께팽창률과 흡수율의 결과이다. 두께팽창률은 UF+EMDI가 가장 낮게 나타났으며 요소수지가 가장 높게 나타났다. 이는 박리강도를 고려할 때, UF+EMDI가 우수한 접착력을 보여 그에 따른 두께팽창률이 낮은 것으로 판단되며 UF-EMDI, 요소수지 순으로 나타난 것으로 판단된다. 흡수율은 UF+EMDI가 가장 낮게 나타났으며 요소수지, UF-EMDI 순으로 나타났다. 특히 UF-EMDI의 흡수율이 증가한 원인은 앞서 언급한 바와 같이 열압과정에서 확산된 수분이 EMDI와 반응하여 요소반응에 따른 우레탄 폼 형태가 되고 이것이 수분을 함유하여 흡수율이 급격히 증가한 것으로 판단된다.

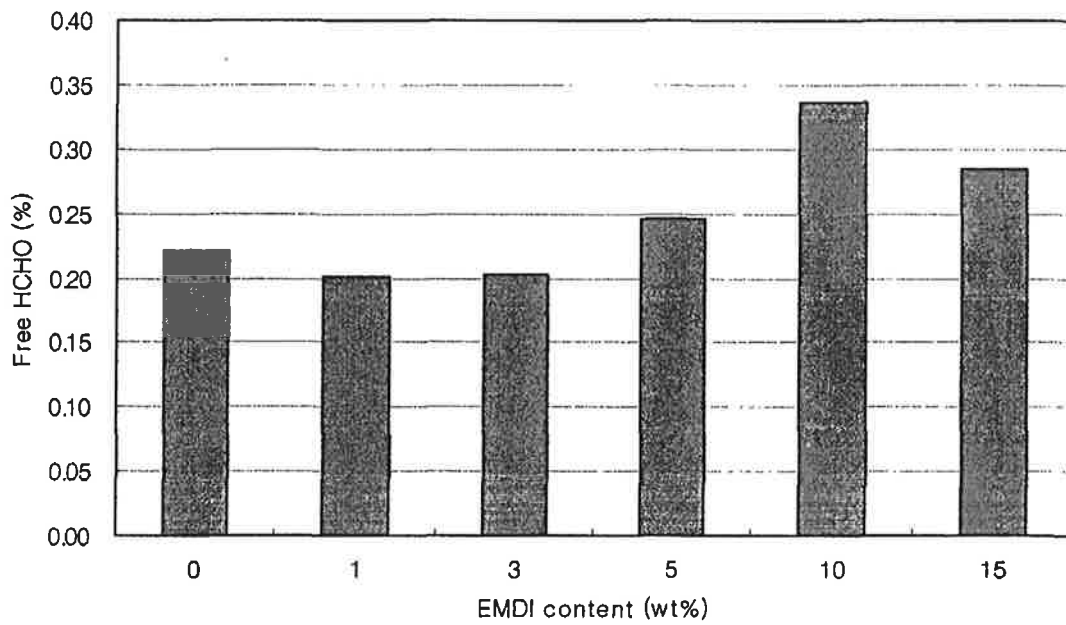
3) EMDI 함량에 따른 요소·EMDI 혼용 수지의 물성

가) EMDI 함량에 따른 요소·EMDI 혼용 수지의 경화거동

<그림 2-79>는 요소·EMDI혼용수지의 -NCO 함량을 측정한 것으로 대조구인 pMDI prepolymer가 약 27%였으나 요소수지와 혼합하면 그 첨가량에 크게 관계없이 약 2.5%로 감소하였다. 이 결과는 EMDI 성분들의 빠른 반응성으로 인하여 요소수지의 성분들과 반응하기 때문으로 추정된다. <그림 2-80>은 EMDI 첨가량에 따른 요소·EMDI혼용수지의 유리포름알데히드 함량을 측정한 것으로 EMDI의 첨가량이 증가할수록 증가하였다.



<그림 2-79> EMDI 함량에 따른 요소·EMDI혼용수지의 -NCO 함량



<그림 2-80> EMDI 함량에 따른 요소·EMDI혼용수지의 유리포름알데히드

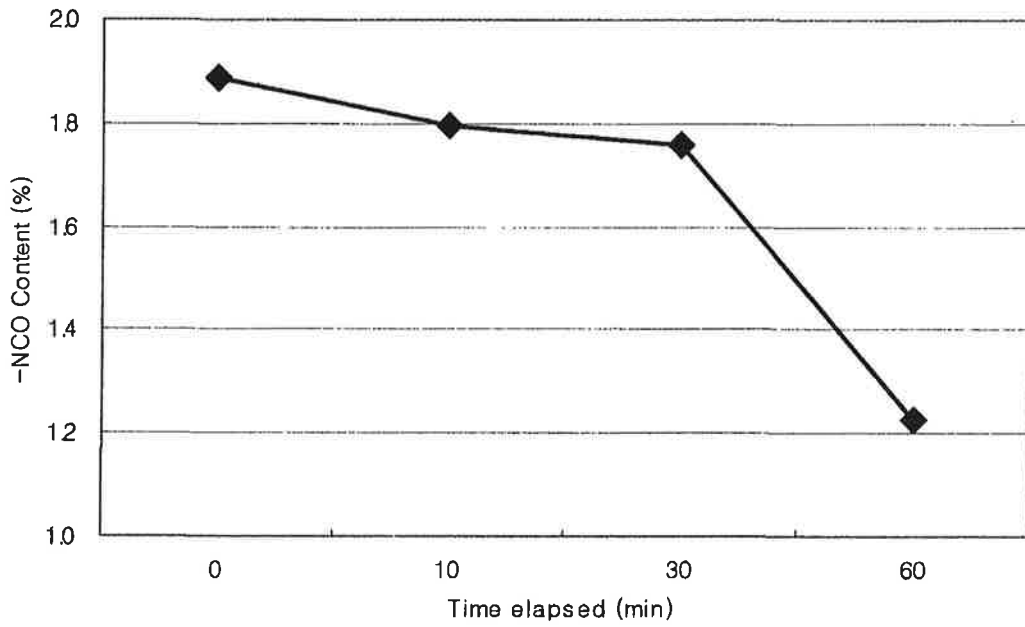
<그림 2-81>는 요소수지에 EMDI를 첨가한 후 요소·EMDI혼용수지의 -NCO함량 변화를 나타낸 것으로 30분이 지나면 급격히 감소함을 알 수 있다. 이는 요소수지 성분인 물, 포름알데히드 등과 반응이 지속되어 -NCO함량이 감소하는 것으로 판단된다. 아울러 EMDI첨가 후 요소·EMDI혼용수지내 유리포름알데히드함량을 측정 한 결과는 <그림 2-82>에 나타나 있다. 시간이 경과함에 따라 유리포름알데히드 함량도 감소하여 EMDI와 포름알데히드간의 반응이 진행되고 있음을 시사하고 있다.

<그림 2-83>은 EMDI 첨가량에 따른 요소·EMDI혼용수지의 겔화시간을 나타낸 것으로 EMDI함량이 증가할수록 겔화시간은 짧아져 반응성이 향상됨을 알 수 있었다. 이 결과는 EMDI함량이 증가함에 따라 -NCO함량이 증가하여 이들이 반응을 촉진시키는 것으로 판단된다. <그림 2-84>는 EMDI 첨가량에 따른 요소·EMDI혼용수지의 최대경화온도를 나타낸 것으로 EMDI 첨가량 5%까지는 감소하였으나 그 이후에는 증가하여, 경화반응성이 초기에는 EMDI함량이 증가함에 따라 향상되었으나 EMDI 첨가량 5%이상에서는 경화반응성이 둔화되었다.

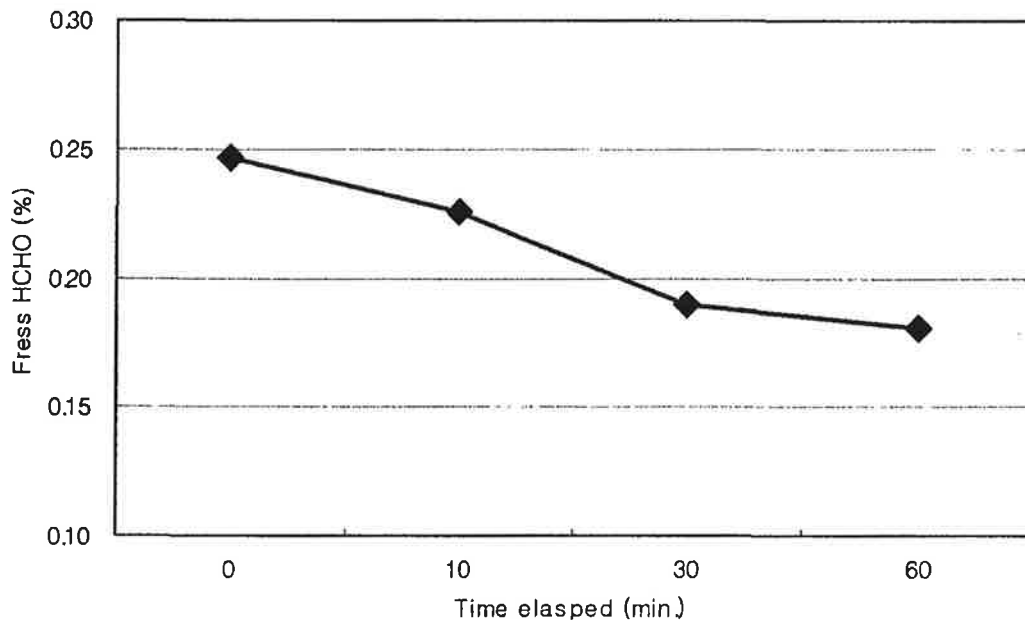
<그림 2-85>는 EMDI 첨가량에 따른 요소·EMDI혼용수지의 활성에너지를 나타낸 것으로 1% EMDI를 첨가한 경우 요소수지보다 활성에너지가 증가하여 최대점에 이르고 그 이후 EMDI 첨가량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 이 결과는 EMDI 첨가량이 증가할수록 요소·EMDI혼용수지의 동질성이 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

<그림 2-86>은 EMDI 첨가량에 따른 요소·EMDI혼용수지의 반응열을 측정한 것으로 EMDI함량이 증가할수록 반응열은 증가하여 EMDI 첨가량 5%에서 최대에 이르고 그 이후에는 감소하는 경향을 보였다. 이 결과는 EMDI 첨가량 5%까지는 많은 에너지가 필요하며 이는 초기의 우레탄결합의 형성에 관여하고 EMDI 첨가량 5% 이후에는 경화반응이 기여하기 때문으로 추정된다.

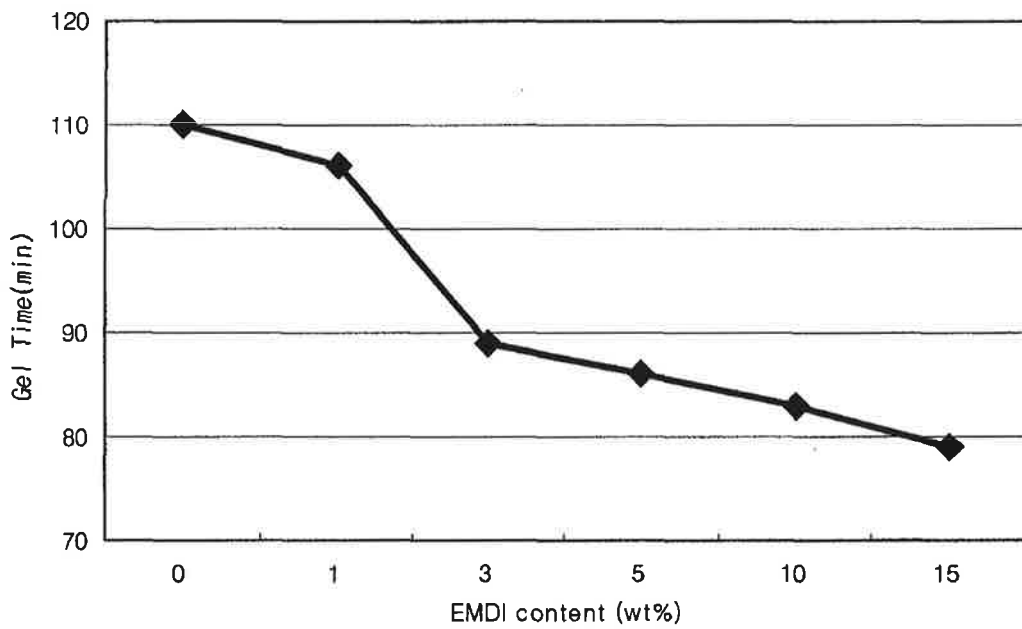
전체적으로 EMDI 첨가량이 증가함에 따라 겔화시간으로 표현되는 요소·EMDI혼용수지의 경화반응성은 증가하는 반면 EMDI 첨가량이 5% 이상이면 요소·EMDI혼용수지의 반응성이 감소하는 것으로 생각된다.



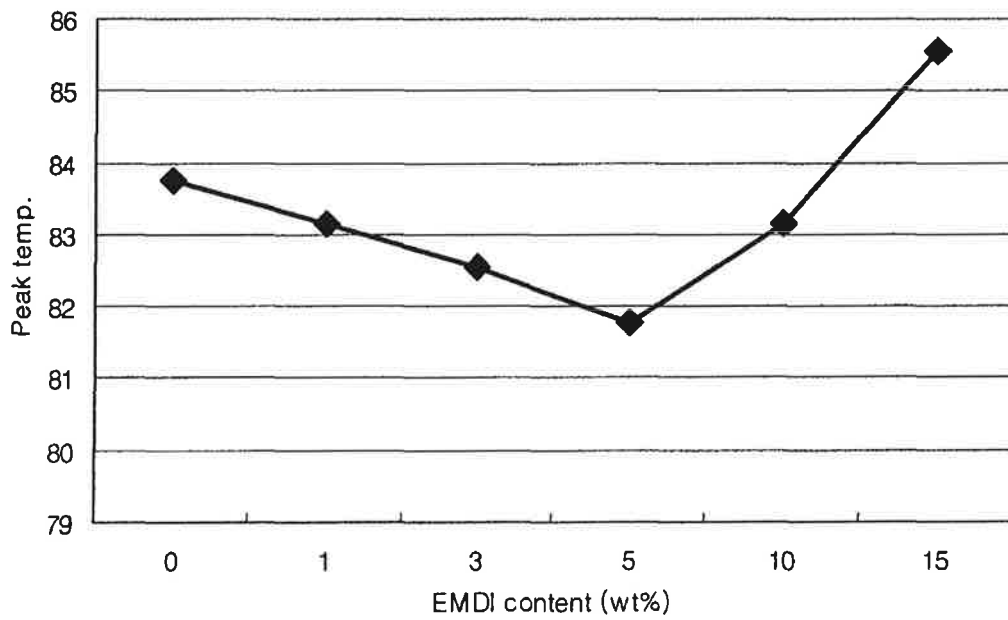
<그림 2-81> 시간경과에 따른 요소·EMDI혼용수지의 -NCO함량



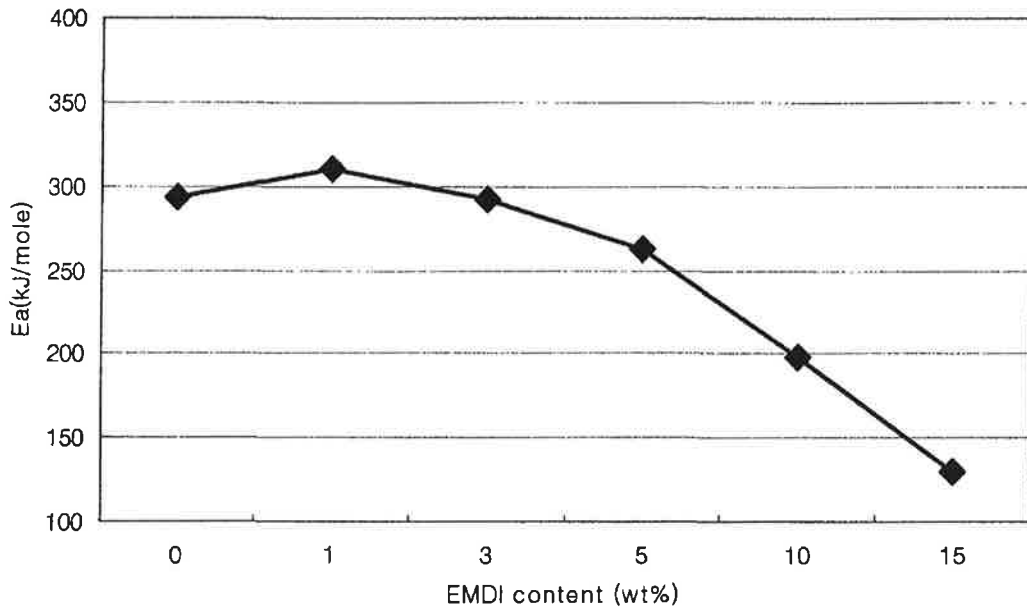
<그림 2-82> 시간경과에 따른 요소·EMDI혼용수지의 유리포름알데히드 함량



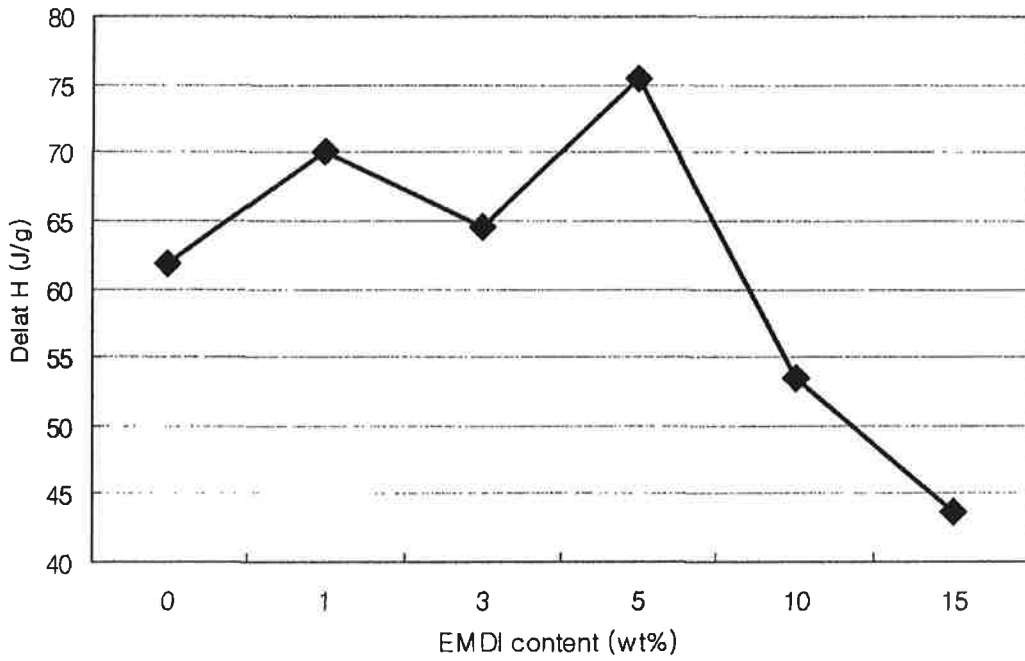
<그림 2-83> EMDI 함량에 따른 요소·EMDI혼용수지의 겔화시간



<그림 2-84> EMDI 함량에 따른 요소·EMDI혼용수지의 최대경화온도



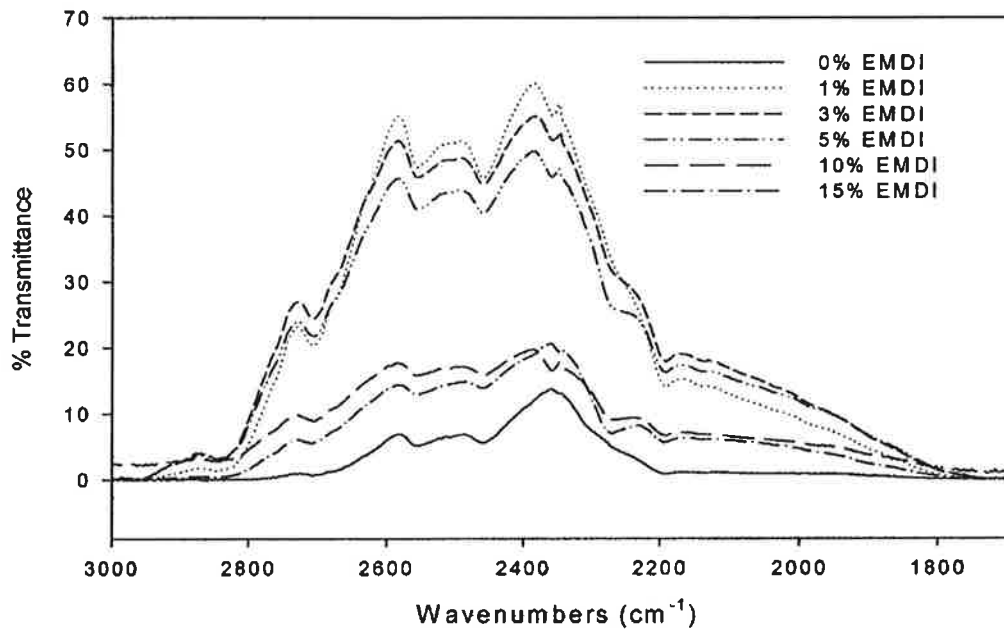
<그림 2-85> EMDI 함량에 따른 요소·EMDI혼용수지의 활성화에너지



<그림 2-86> EMDI 함량에 따른 요소·EMDI혼용수지의 반응열

나) EMDI 함량에 따른 요소·EMDI 혼용 수지의 화학적 구조

<그림 2-87>은 EMDI 첨가량에 따른 요소·EMDI 혼용 수지를 경화시킨 후 화학적 구조를 조사하기 위해 얻은 FT-IR peak이다. 저몰비 요소수지와 각각의 UF-EMDI 수지를 비교해 볼 때, 요소수지와 EMDI가 혼합된 수지가 동일한 경향의 흡수대를 보였으나 2847cm^{-1} (알데히드피크(=C-H(-C-H))), 2704cm^{-1} (알데히드피크), 2359cm^{-1} 에서는 다르게 나타났다. 이는 요소수지와 EMDI가 혼합됨으로써 더욱 뚜렷하게 나타난 피크로 EMDI의 이소시아네이트기가 요소수지의 아미노기와 반응함에 따라 유리된 포름알데히드(=C-H(또는 -C-H))에 의해 나타난 피크라 판단된다.



<그림 2-87> EMDI 함량에 따른 요소·EMDI 혼용 수지의 FT-IR peak.

이와 함께 2276cm^{-1} (이소시아네이트 피크)와 2200cm^{-1} (-N=C-)는 이소시아네이트에 의해 나타난 흡수대로 2276cm^{-1} 에서는 EMDI의 함량이 증가할수록 흡수대도 증가하는 경향을 보였다. 그리고 2200cm^{-1} 에서는 거의 유사한 -N=C-가 나타났다. 이와 같은 현상은 EMDI의 함량이 증가함에 따라, 요소수지의 반응기와 EMDI의 반응기가 서로 반응이 이루어진 후 잔존하고 있는 미반응 이소시아네이트기에 의해 나타난 것이라 판단된다. 따라서 요소수지와 EMDI가 혼합·경화되는 과정에서 나타난 것이므로 반응도와 시간에 따라서 변화될 수 있을 것으로 판단된다.

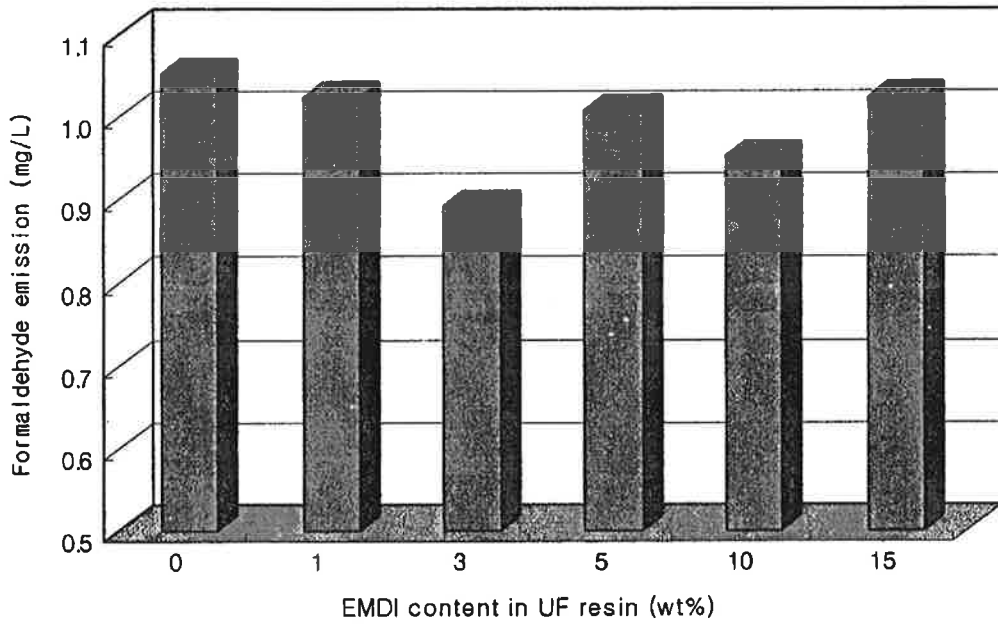
<그림 2-87>을 보면 요소수지와 함께 UF-EMDI 1~5%와 UF-EMDI 10~15%는 각각 다른 투과율을 나타내고 있다. 이는 요소수지와 EMDI간의 반응에 의해 나타난 것으로, 전반적으로 EMDI의 함량이 낮을수록 투과율이 높은 것으로 나타났다. 이러한 현상은 요소수지와 이소시아네이트간의 반응 정도에 따라 나타날 수 있는 현상으로 생각된다.

다) EMDI 함량에 따른 요소·EMDI 혼용 수지의 파티클보드 물성

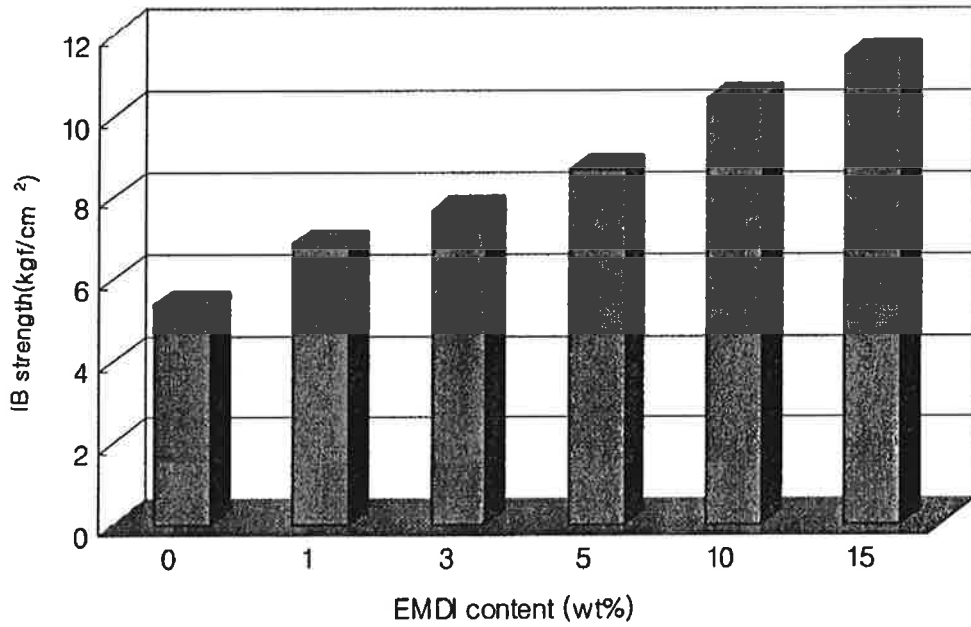
<그림 2-88>은 EMDI 첨가량에 따른 요소·EMDI혼용수지를 이용해 제조한 파티클보드의 포름알데히드방출량을 나타낸 것으로 전반적으로 요소수지보다는 낮은 방출량을 보였다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 요소수지와 EMDI가 반응하여 요소가 생성되고 이것이 유리 포름알데히드와 반응하여 포름알데히드방출량이 낮게 나타난 것으로 판단된다. 그러나 EMDI 첨가량의 증가에 따른 경향이 나타나지는 않았다. 한편 파티클보드의 박리강도는 EMDI첨가량이 증가할수록 증가하여 접착력을 향상시키는 경향을 보였다. 그러나 EMDI의 첨가량이 증가하면 접착제 비용이 올라가므로 함지율을 감소시킬 필요가 있다<그림 2-89>.

<그림 2-90>과 <그림 2-91>은 EMDI 첨가량에 따른 요소·EMDI혼용수지를 이용해 제조한 파티클보드의 MOR와 MOE를 나타낸 것이다. EMDI 첨가량 증가에 따라 MOR과 MOE는 일관성 있게 증가하지 않았지만 전체적으로 향상되는 결과를 보여주었다.

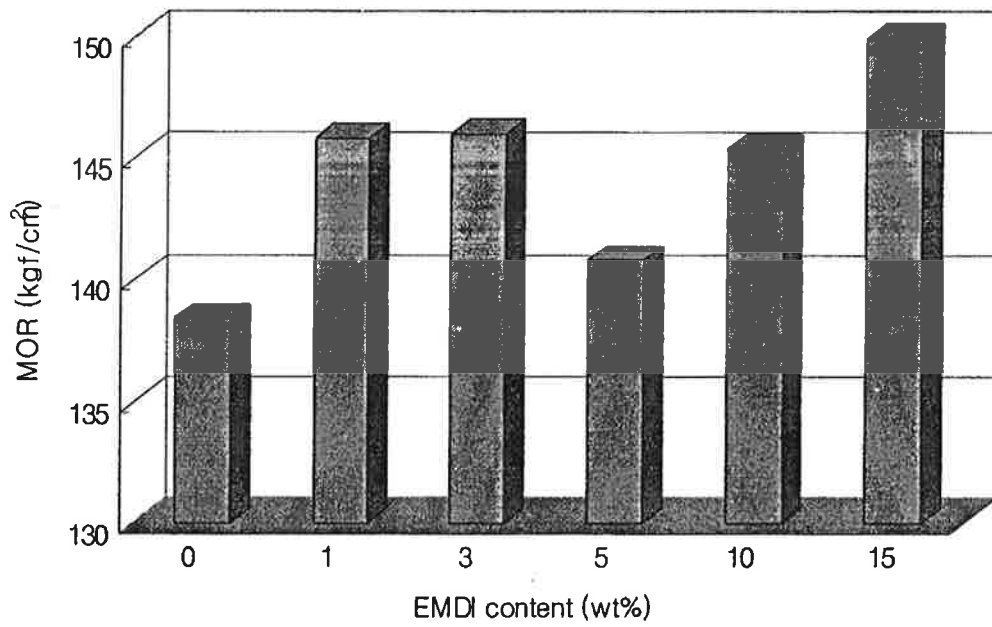
EMDI 첨가량에 따른 요소·EMDI혼용수지를 이용해 제조한 파티클보드의 흡수두께 팽창률과 흡수율은 <그림 2-92>와 <그림 2-93>에 나타내었다. <그림 2-89>에 나타난 파티클보드의 박리강도와는 반대로 두께팽창률과 흡수율은 EMDI 첨가량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 이 결과는 일반적으로 박리강도는 보드의 내부접착력을 나타내는 것으로 이에 대응한 두께팽창률과 흡수율은 접착력이 양호할수록 감소하는 것으로 알려져 있다. 따라서 이와 같은 결과는 예측된 바와 같았다.



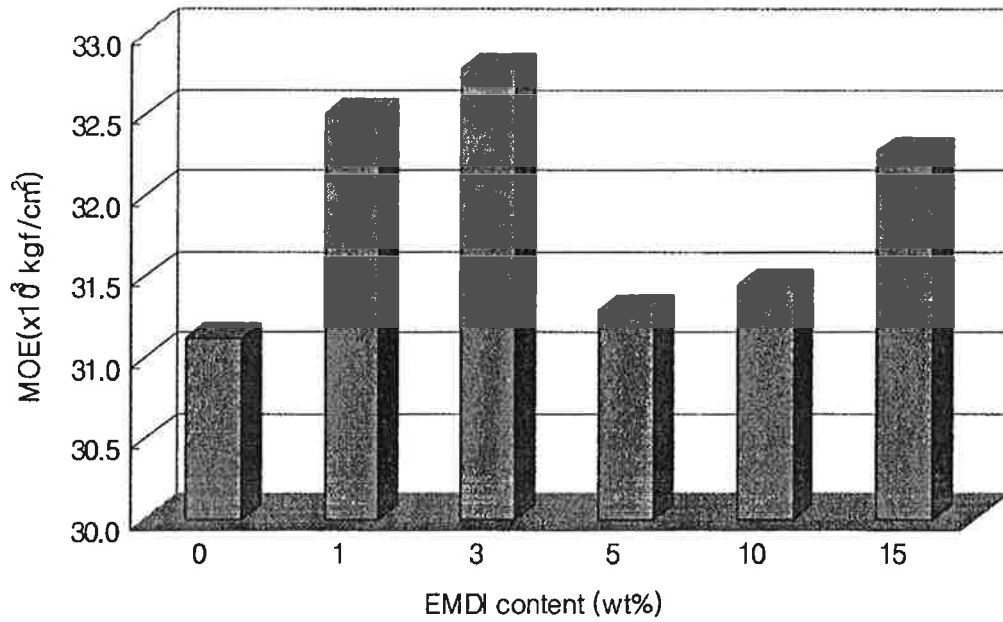
<그림 2-88> 요소수지에 대한 EMDI 수지함량에 따른 파티클보드의 포름알데히드방출량



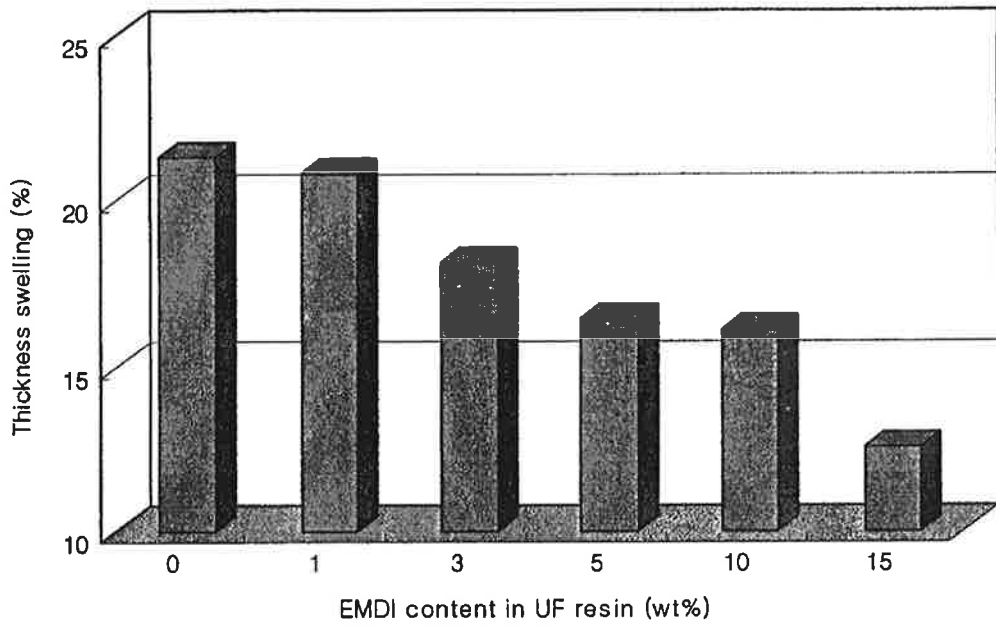
<그림 2-89> 요소수지에 대한 EMDI 수지함량에 따른 파티클보드의 박리강도



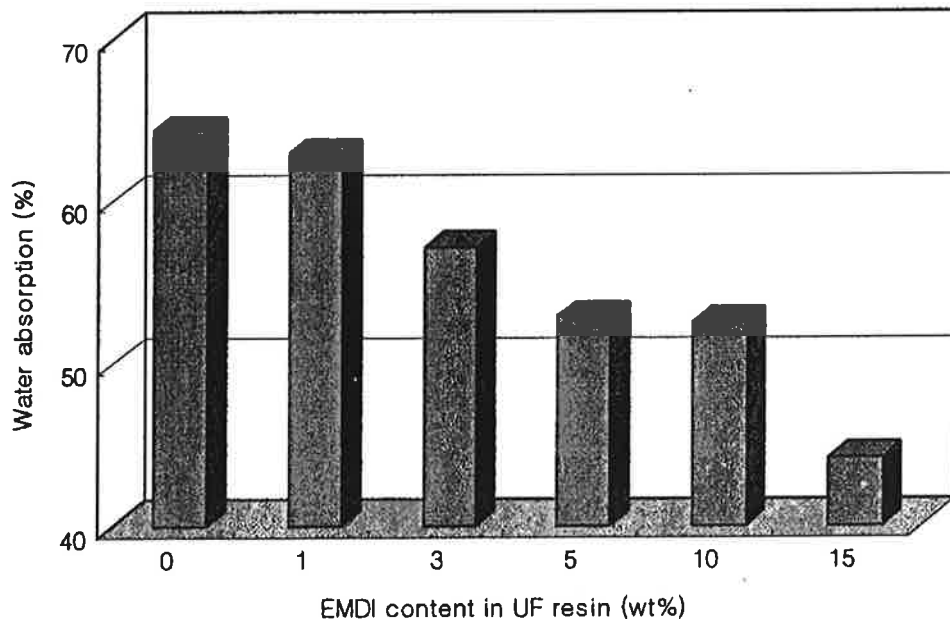
<그림 2-90> 요소수지에 대한 EMDI 수지함량에 따른 파티클보드의 MOR



<그림 2-91> 요소수지에 대한 EMDI 수지함량에 따른 파티클보드의 MOE



<그림 2-92> 요소수지에 대한 EMDI 수지함량에 따른 파티클보드의 흡수두께팽창률



<그림 2-93> 요소수지에 대한 EMDI 수지함량에 따른 파티클보드의 흡수율

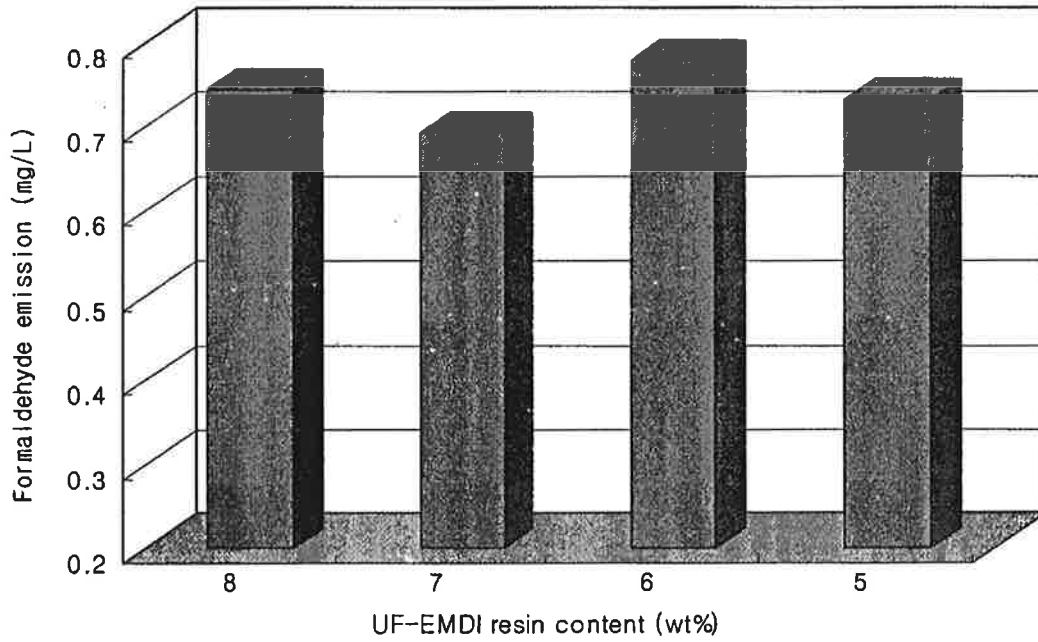
4) 요소·EMDI수지의 함지율에 따른 파티클보드의 물성

<그림 2-94>는 요소·EMDI혼용수지의 함지율에 따른 파티클보드의 포름알데히드방출량을 나타낸 것으로 함지율 간에 큰 차이가 없었으며 약 0.7mg/l 수준으로 EMDI 첨가에 의한 영향은 아주 미세한 것으로 나타났다. 이는 <그림 2-82>의 시간 경과에 따라 요소·EMDI혼용수지의 유리포름알데히드 함량이 감소하는 연구결과와는 상반되는 결과이다.

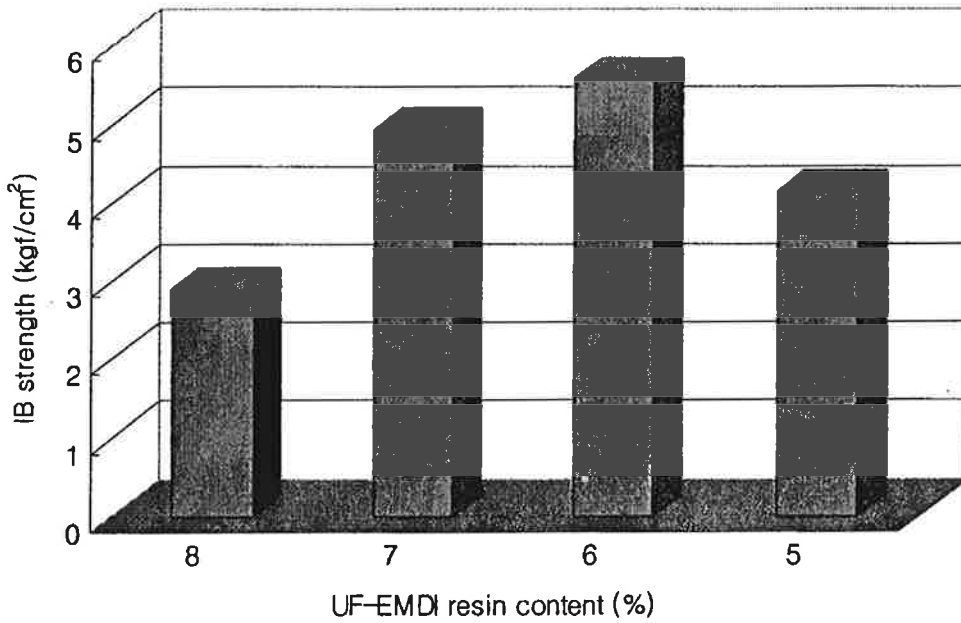
<그림 2-95>는 요소·EMDI혼용수지의 함지율에 따른 박리강도를 나타낸 것이다. 요소·EMDI혼용수지의 함지율이 7, 6 및 5%일 때 박리강도는 4.9, 5.6 및 4.1kgf/cm²로 나타나 함지율 6%일 때가 가장 높게 나타났으며 모든 박리강도는 KS F 3104 기준(3.1kgf/cm²)을 상회하는 것으로 나타났다. 이 결과는 파티클보드 제조용 요소·EMDI혼용수지의 적정 함지율은 6%인 것으로 판단되었다.

요소·EMDI혼용수지를 이용한 파티클보드의 MOR과 MOE는 <그림 2-96>과 <그림 2-97>에 나타내었다. 그림에 나타낸 바와 같이 MOR는 함지율 7%이하에서는 증가하는 경향을 보였으나 전체적으로 큰 차이를 보이지 않았다. 또 MOE도 함지율 간에 큰 차이를 보이지 않았으나 함지율 7%에서 가장 좋은 결과를 보여주었다. 일반적으로 MOR와 MOE는 파티클보드의 표면 밀도에 의존한다. 따라서 함지율 간에 큰 차이가 나지 않는 것은 파티클보드의 표면 밀도와 같은 특성이 유사하기 때문으로 추정된다.

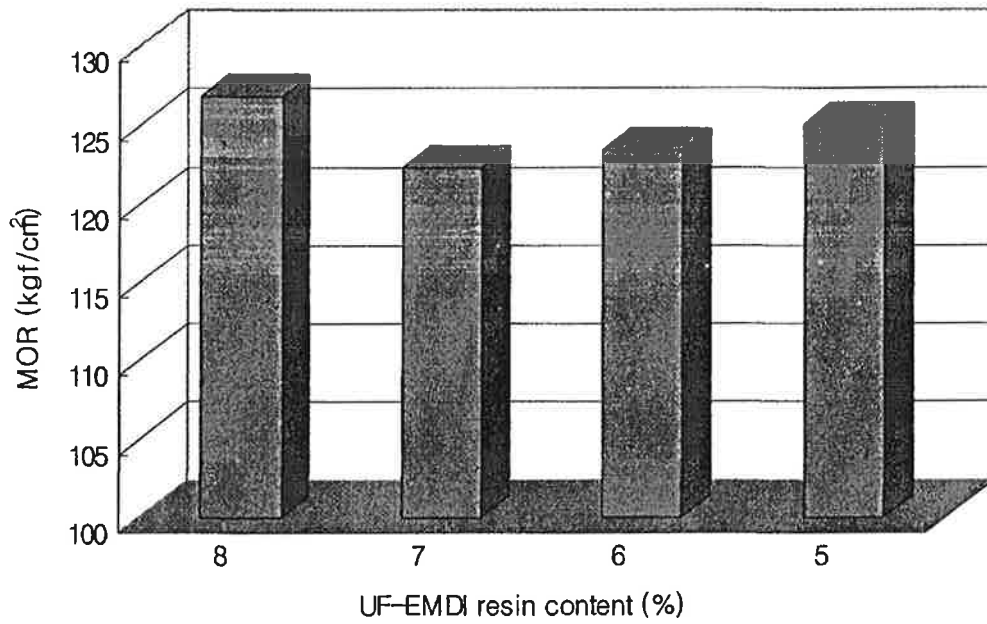
<그림 2-98>와 <그림 2-99>은 파티클보드의 흡수두께팽창률과 흡수율을 나타낸 것으로 함지율 7%에서 가장 낮게 나타났으며 함지율이 낮아질수록 두께팽창률과 흡수율이 증가하는 경향을 보였다. 따라서, 파티클보드의 내부접착력인 박리강도가 함지율이 낮아질수록 감소하기 때문에 반대로 두께팽창률과 흡수율은 증가한 데 기인한 것으로 판단된다.



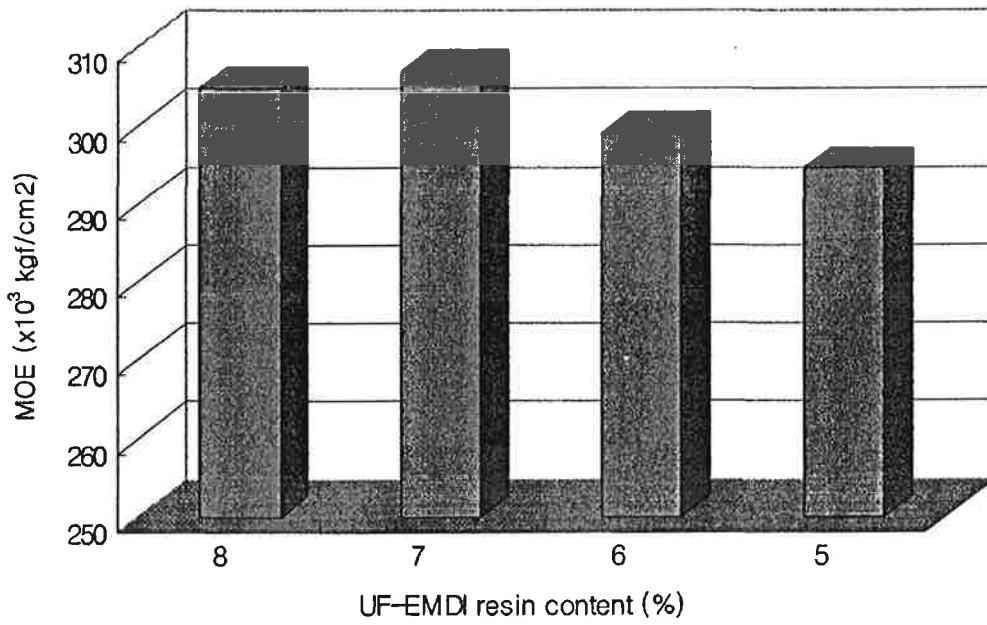
<그림 2-94> 요소·EMDI 혼용 수지의 함지율에 따른 파티클보드의 포름알데히드방출량



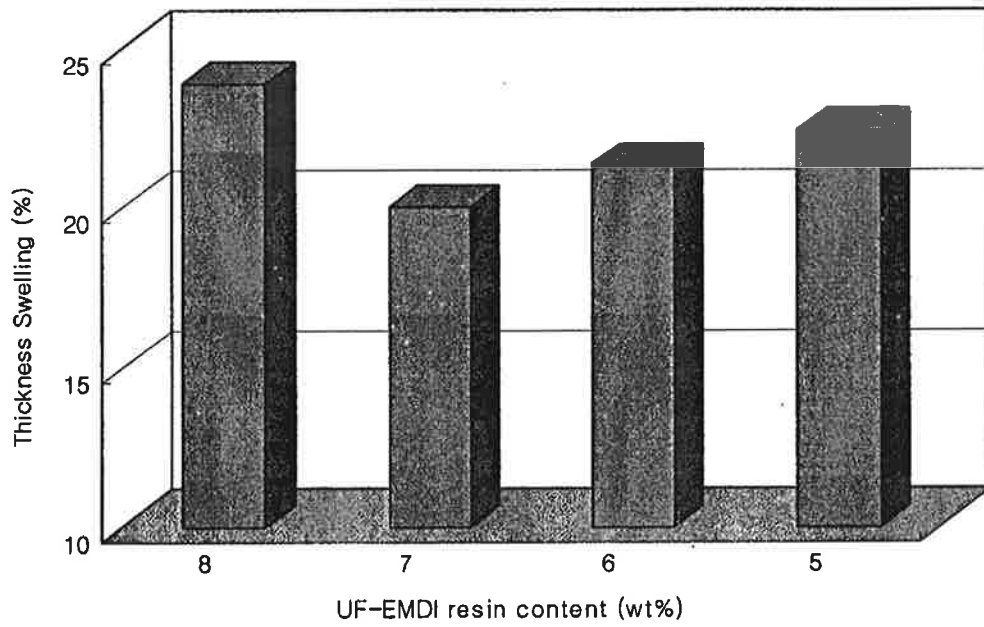
<그림 2-95> 요소·EMDI 혼용 수지의 함지율에 따른 파티클보드의 박리강도



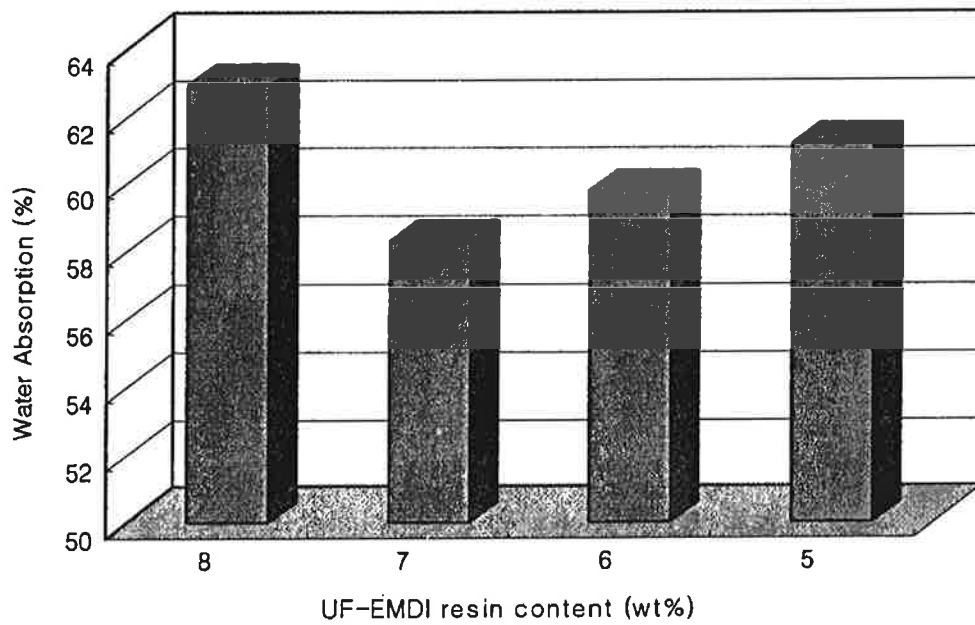
<그림 2-96> 요소·EMDI 혼용 수지의 함지율에 따른 파티클보드의 MOR



<그림 2-97> 요소·EMDI 혼용 수지의 함지율에 따른 파티클보드의 MOE



<그림 2-98> 요소·EMDI 혼용 수지의 함지율에 따른 파티클보드의 흡수두께팽창률



<그림 2-99> 요소·EMDI 혼용 수지의 함지율에 따른 파티클보드의 흡수율

다. 결과 요약

요소·MDI혼용수지를 이용한 폐목질 재생 파티클보드의 포름알데히드방출량을 저감시키기 위해 요소·EMDI혼용수지를 제조하고, 수지의 경화거동, 화학적 구조 및 파티클보드의 물성에 미치는 영향을 조사한 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) pMDI-prepolymer 제조를 위한 최적 polyol분자량은 1,000이었으며 -NCO함량별로 prepolymer 제조가 가능하였다. polyol 분자량에 따른 prepolymer의 경화거동을 조사한 결과, 우레탄결합 및 -NCO기에 의한 두 개의 발열반응이 나타났다.
- 2) polyol 분자량이 클수록 prepolymer의 반응성은 감소하였으며 화학적 구조를 조사한 결과 2270cm^{-1} 에서 NCO peak가 확인되었다.
- 3) EMDI 혼용방법은 요소수지와 혼합도포하는 방법이 분리도포하는 방법보다 더 효과적이었으며, 박리강도를 기준으로 하였을 때 요소·EMDI 혼용수지의 적정 EMDI 함량은 5%로 나타났다.
- 4) 파티클보드제조용 요소·EMDI 혼용수지의 최적 함지율은 6%로 파악되었다. 또한 요소·EMDI 혼용수지를 이용한 파티클보드의 포름알데히드방출량은 약 $0.7\text{mg}/\ell$ 으로 낮게 나타났다.

제 3 절 폐목질 재생보드 제조실연시험

1. 서 설

목재자원의 자급률이 6~7% 수준에 지나지 않는 국내실정에서 목질폐기물의 재자원화 문제는 환경보전, 자원 절약이용 및 외화절감의 측면에서 대단히 중요하다. 폐목질자원 특히 생활폐목재 재활용에 대한 국내의 연구는 주로 실험실적으로 수행되어왔으며 특히 이들 폐목질 자원을 이용해 파티클보드를 제조하는 접착제에 대한 연구 또한 실험실적 수준에 머물러 있다. 본 실연시험을 수행하기에 앞서 제2절(고성능 접착제의 합성·이용기술 개발)에서 아미노수지 접착제에 관한 실험실적 연구결과를 검토하여 다음과 같이 선택적으로 실연실험을 수행하였다.

첫째 요소수지의 실험실적 연구결과 중 포름알데히드방출량을 저감시키는 방법의 하나는 요소수지 접착제 물성의 큰 영향인자 가운데 하나인 포름알데히드/요소(F/U) 물비를 낮추는 것으로 실험실적 연구결과를 검토한 결과 F/U물비 1.0인 요소수지접착제를 실연시험으로 합성하였으며 이를 파티클보드제조 실연시험에 적용하였다.

둘째 파티클보드의 포름알데히드방출량을 효과적으로 저감할 수 있는 포름알데히드포집제(scavenger)인 요소-포름알데히드 프리폴리머(UFP : urea-formaldehyde prepolymer)를 실연시험으로 합성하고 이를 파티클보드 제조 실연시험에 적용하였다. UFP의 적용은 파티클보드의 포름알데히드방출량 저감뿐만 아니라 파티클보드제조용 접착제 비용을 동시에 절감할 수 있는 장점이 있다.

셋째 파티클보드의 포름알데히드방출량을 저감하는 방법으로 요소수지 접착제에 소량(5% 이하)의 멜라민을 첨가하는 것으로 요소수지접착제를 실연시험으로 합성하고 이를 폐목재를 이용해 제조한 책상판용 파티클보드제조의 실연시험에 적용하였다.

마지막으로 요소수지-수용성MDI(EMDI) 혼용수지를 실연시험으로 제조하고 이를 책상판용 파티클보드제조의 실연시험에 적용하였다.

본 연구에서는 실험실 수준의 연구결과를 바탕으로 폐목재를 활용하는 파티클보드를 현장에서 실연시험하였다. 따라서 본 실험에서는 파티클보드 제조에 사용되는 접착제를 현장의 반응기를 이용하여 합성·제조하고, 이를 파티클보드공장의 파티클보드 제조설비를 이용하여 파티클보드를 실연제조하고 현장적용성을 평가하였다.

2. 요소수지 접착제 합성 실연 및 파티클보드 제조실연

가. 재료 및 방법

1) 실험재료

가) 요소수지접착제 원료

본 실험의 원료는 접착제 제조 공장(신호산업사, 경남 김해 소재)에서 사용하고 있는 공업용 요소(99%)와 공업용 포르말린(37%)을 그대로 사용하였다.

나) 파티클 원료

본 실험에 사용된 파티클은 파티클보드 공장(성창기업주식회사, 경남 울주군 삼남면 소재)에서 상업적으로 사용하고 있는 폐목재 파티클을 그대로 사용하였다.

다) 파티클보드 제조설비

파티클보드 제조 공장실연시험은 성창기업(주) 파티클보드공장이 보유한 연간 생산 시설용량 24만 m^3 의 제조설비를 사용하여 실시하였다. 프레스설비는 독일 Siempelkamp사에서 제작한 연속프레스(conti-press, 길이 16m)였다.

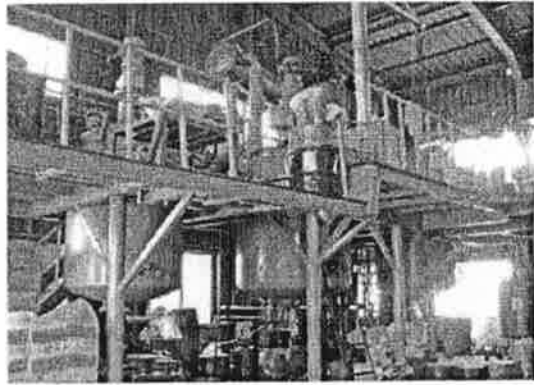
2) 실험방법

가) 요소수지접착제 합성실연

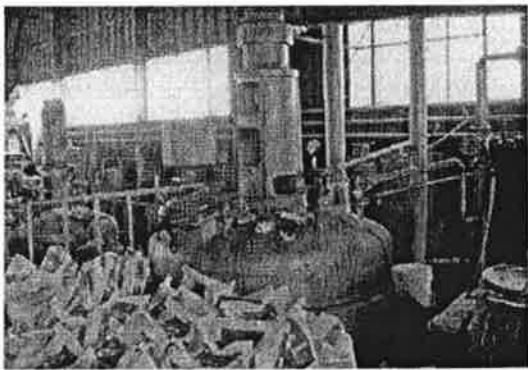
접착제 공장(신호산업사)에서 사용하고 있는 공업용 요소(99%)와 공업용 포르말린(37%)을 사용하여, 전통적인 알칼리-산성반응을 이용하여 요소수지를 합성하였다. 반응기의 용량은 5톤으로서 1회 합성에 약 3톤의 요소수지를 2회 합성·제조하였다<그림 3-1>. 최종 포름알데히드/요소 (F/U) 몰비가 1.0이 되도록 포르말린을 5톤 반응기에 넣고 가성소다(20%)를 이용하여 pH를 7.8로 조정한다. 다음, 증기를 이용하여 온도를 90℃까지 올려서 약 30~40분간 반응시켰다. 그리고 formic acid(20%)를 이용하여 pH를 4.6으로 내려 백탁방법으로 반응종결점에 도달한 직후 감압상태에서 목표 수지고형분 60%로 농축하였다. 농축후 수지를 냉각하여 용기에 담아서 파티클보드 공장으로 수송하였다.



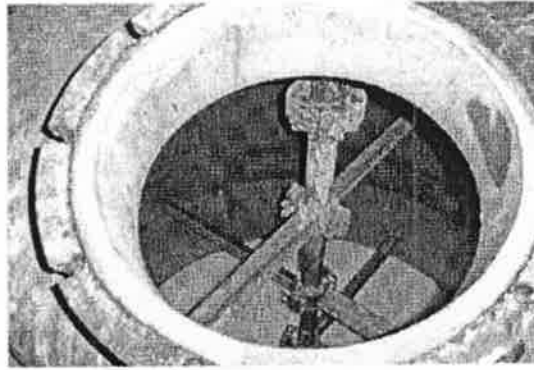
접착제 제조공장



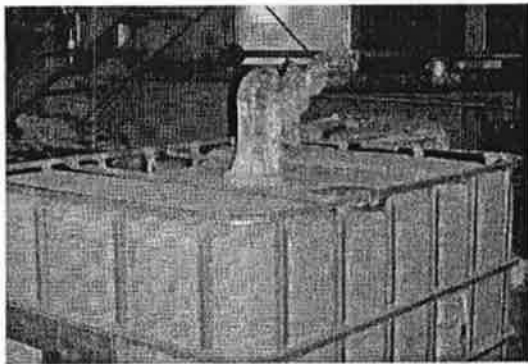
접착제 제조장치



수지 반응기



접착제 제조



접착제 저장

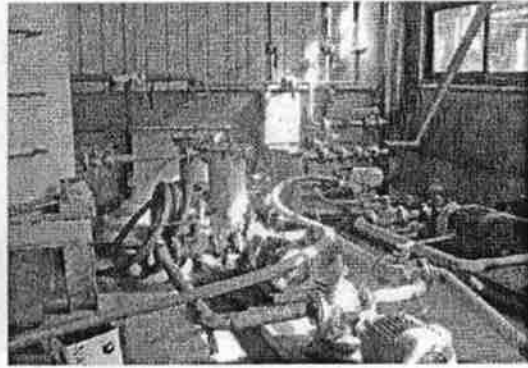


접착제 수송

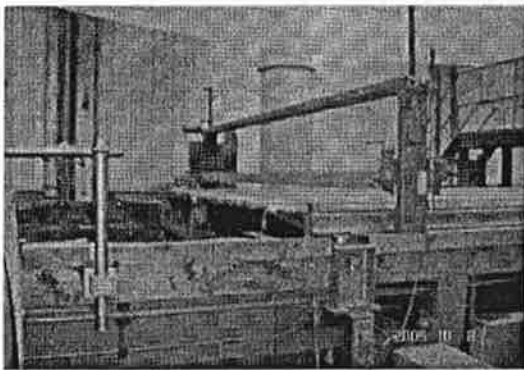
<그림 3-1> 접착제 합성 실연시험 과정



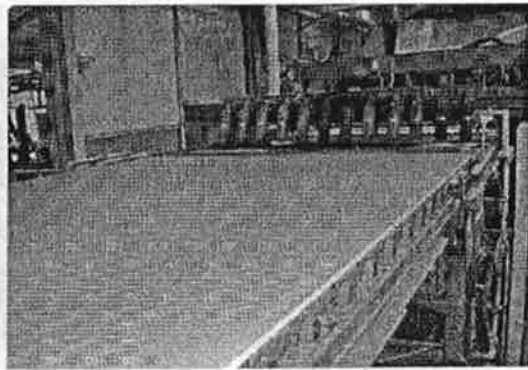
파티클보드 제조공장



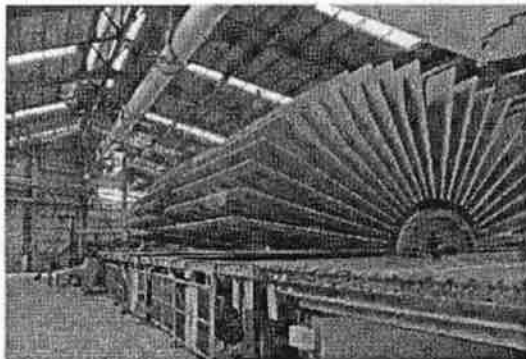
접착제 투입



접착제 도포 후 성형



열압 후 파티클보드



파티클보드 냉각



제조된 파티클보드

<그림 3-2> 파티클보드 제조 실연시험 과정

나) 포름알데히드 포집제 합성실연

포름알데히드 포집제의 합성실연제조는 실험실에서 얻어진 연구결과(제2절 고성능 접착제 합성·이용 기술개발)를 바탕으로 요소수지접착제 합성 실연시험과 동일한 시설을 이용하여 실시하였다. F/U 물비는 약 0.4~0.9 범위에서 요소수지 합성의 알칼리 반응방법으로 합성하였다. 포름알데히드 포집제는 요소수지 무게대비 20%를 첨가하여 파티클보드 제조에 사용하였다.

다) 파티클보드 제조실연

시험제조한 요소수지를 파티클보드 제조 실연시험 하루 전에 파티클보드공장으로 운반하여 준비하였다. 파티클보드 실연제조과정은 <그림 3-2>와 같다. 합성한 요소수지를 공장라인에 투입하기 위해 기존의 공장 접착제라인에 'T'자형 연결을 하고 mass flowmeter를 이용하여 정량하였다. 또한 기존의 공장 성형매트와 구별하기 위해 매트 성형 라인을 일단 중단시키고, 시험용 접착제가 혼합된 파티클이 열압기에 도달하면서 설비제어가 안정될 수 있는 시간(약 30~40분)이 지난 후에 다시 성형매트 라인을 연결하여 열압공정을 거쳐 파티클보드를 제조하였다. 대조용 파티클보드는 기존의 파티클보드 공장에서 사용하고 있는 요소수지접착제를 이용하여 기존의 공장조건에 따라 제조한 것으로 하였다.

나. 연구결과

1) 저물비 요소수지 및 포름알데히드 포집제를 이용한 파티클보드 실연제조

포름알데히드/요소(F/U) 물비가 1.0인 저물비 요소수지를 이용하여 실연 제조한 파티클보드의 물성은 <그림 3-3>~<그림 3-8>에 나타내었다.

파티클보드의 포름알데히드방출량은 <그림 3-3>에 나타낸 바와 같이, 대조구의 실연제조 파티클보드와 실험실 제조 파티클보드는 2.0mg/ℓ 이상으로 E₁ 등급을 초과하였다. 실험실 제조 파티클보드의 포름알데히드방출량은 실연 제조한 파티클보드의 것보다 더 낮았다. 그러나 본 연구에서 개발한 저물비 요소수지를 사용하여 실연 제조한 파티클보드의 포름알데히드방출량은 1.1mg/ℓ 으로 E₁ 등급보다 낮았으며, 실험실 제조 파티클보드의 포름알데히드방출량은 E₀에 근접한 결과를 나타내었다. 따라서 본 실연시험 결과, 저물비 요소수지를 사용함으로써 E₁ 등급의 파티클보드 제조가 가능하

었다.

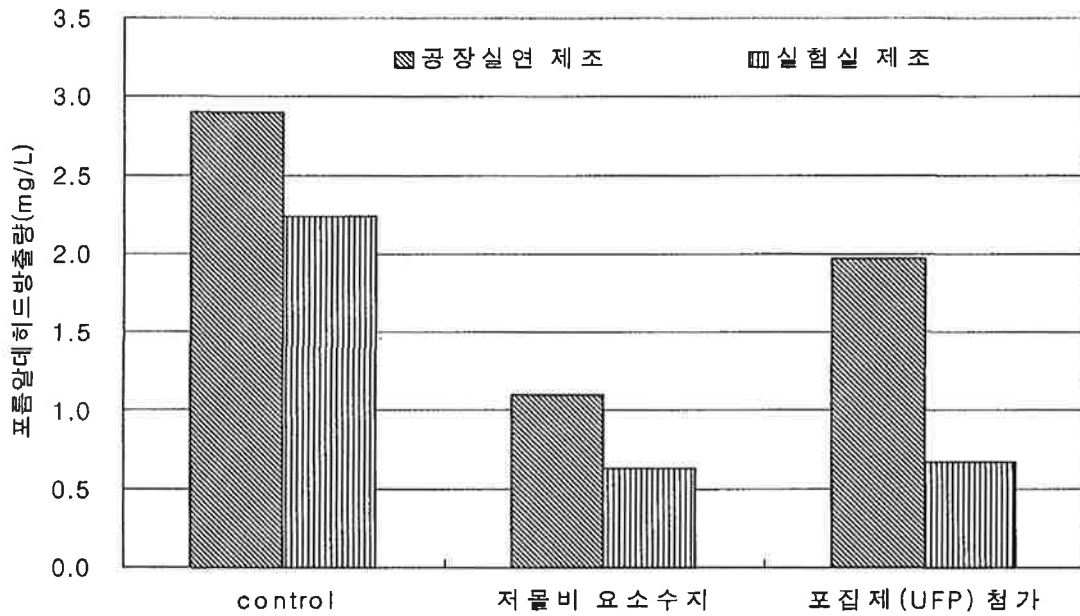
한편 요소수지 접착제용 포름알데히드 포집제로서 본 연구에서 개발한 urea-formaldehyde prepolymer(UFP)를 요소수지 무게 대비 20%를 첨가한 요소수지를 이용하여 실연 제조한 파티클보드의 포름알데히드방출량은 저몰비 요소수지를 이용한 것 보다는 증가하였으나, 대조시험용 파티클보드의 포름알데히드방출량보다는 낮았다. 저몰비 요소수지와 UFP를 사용하여 실험실에서 제조한 파티클보드의 포름알데히드방출량은 거의 유사한 수준이었으나 실연제조한 파티클보드의 경우는 다르게 나타났다.

특히, 요소수지의 20%를 UFP로 대체한 실험은 요소수지 접착제로 인한 비용절감 효과를 가져 올 수 있을 것으로 기대된다. 왜냐하면 UFP는 요소수지에 비해 제조비용이 저렴하기 때문이다. 따라서 포름알데히드방출량을 저감하는 동시에 요소수지 비용을 저감하는 방안으로 UFP를 적정량 사용하는 것이 가능하였다.

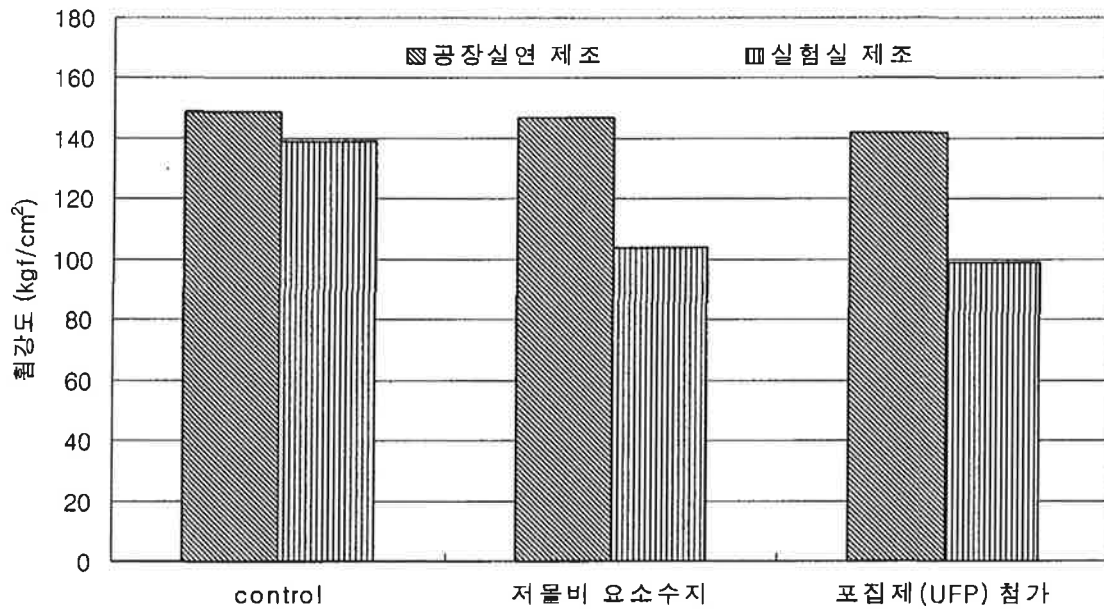
저몰비 요소수지와 UFP를 첨가한 요소수지접착제를 이용한 실연제조 파티클보드와 실험실제조 파티클보드의 휨강도는 <그림 3-4>에 나타낸 바와 같다. 대조구를 포함하여 실연 제조한 파티클보드의 휨강도는 140kgf/cm^2 이상으로 양호한 결과를 나타내었다. 또 저몰비 요소수지와 UFP를 첨가한 요소수지를 사용하여 실연 제조한 파티클보드의 휨강도는 큰 차이가 나지 않았다. 이와 같은 결과는 실연제조 파티클보드는 모두 공장의 대형 연속프레스로 제조되었기 때문으로 판단된다. 즉 휨강도는 주로 표층의 밀도경사에 좌우되므로, 연속프레스를 사용해 제조된 파티클보드의 밀도경사는 유사한 결과를 나타내기 때문이다.

공장실연제조 및 실험실제조 파티클보드의 휨영계수(MOE) 결과를 <그림 3-5>에 나타냈다. 여기에서 보는 바와 같이, 공장실연제조 파티클보드의 MOE는 저몰비 요소수지와 UFP를 첨가한 요소수지를 사용한 경우 대조구보다 약간 높게 나타났으나 큰 차이는 없었다. 그러나 실험실제조 파티클보드의 MOE는 대조구보다 낮게 나타났다. 이와 같은 결과는 MOR과 마찬가지로 실험실과 공장의 열압기의 형식 및 규모의 차이에서 비롯된 것으로 판단된다.

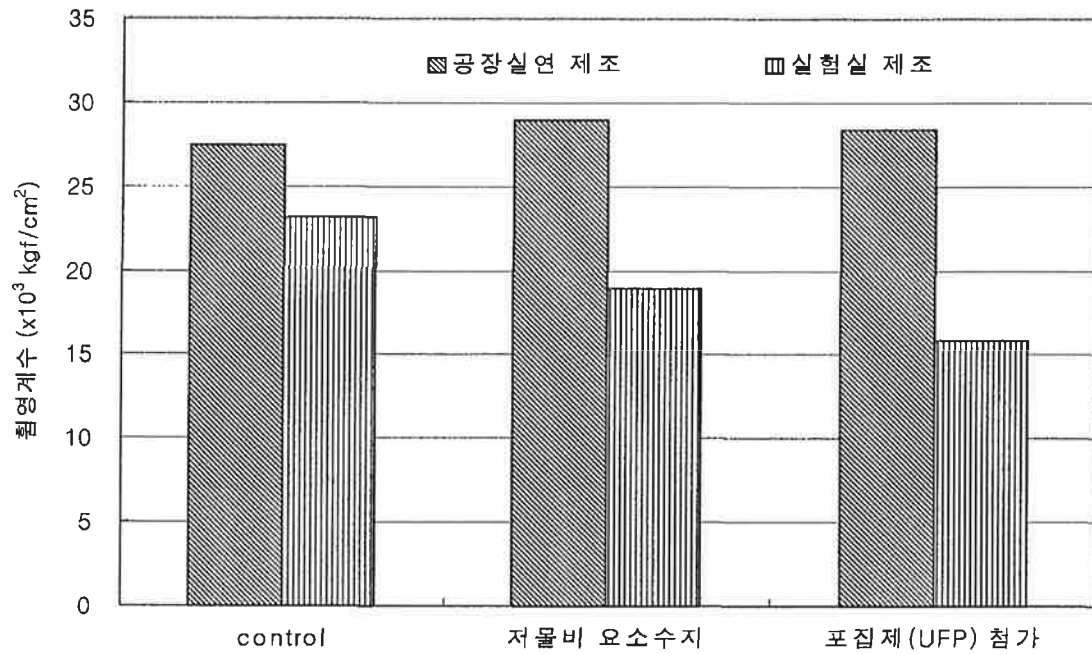
<그림 3-6>은 공장실연제조 및 실험실제조 파티클보드의 박리강도 측정결과를 나타낸 것이다. 여기에 나타낸 바와 같이 공장실연제조 및 실험실제조 파티클보드의 박리강도는 대조구보다 낮게 나타났다. 그러나 전체적으로 공장실연제조 파티클보드의 박리강도가 4kgf/cm^2 이상으로 양호하였다.



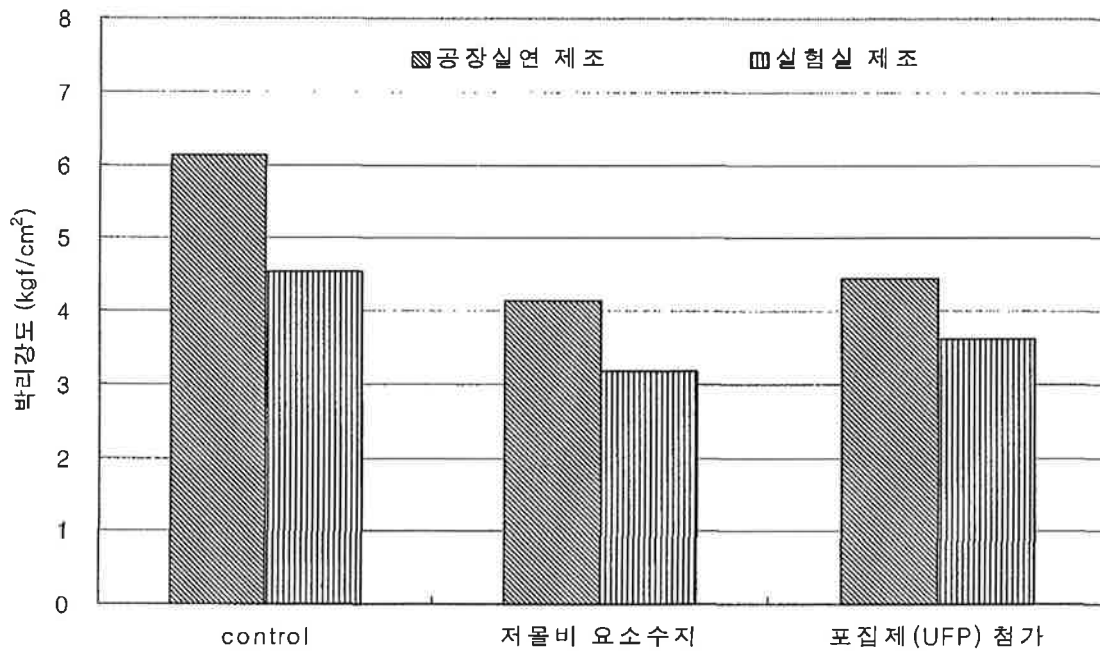
<그림 3-3> 공장실연시험에서 제조한 파티클보드의 포름알데히드방출량



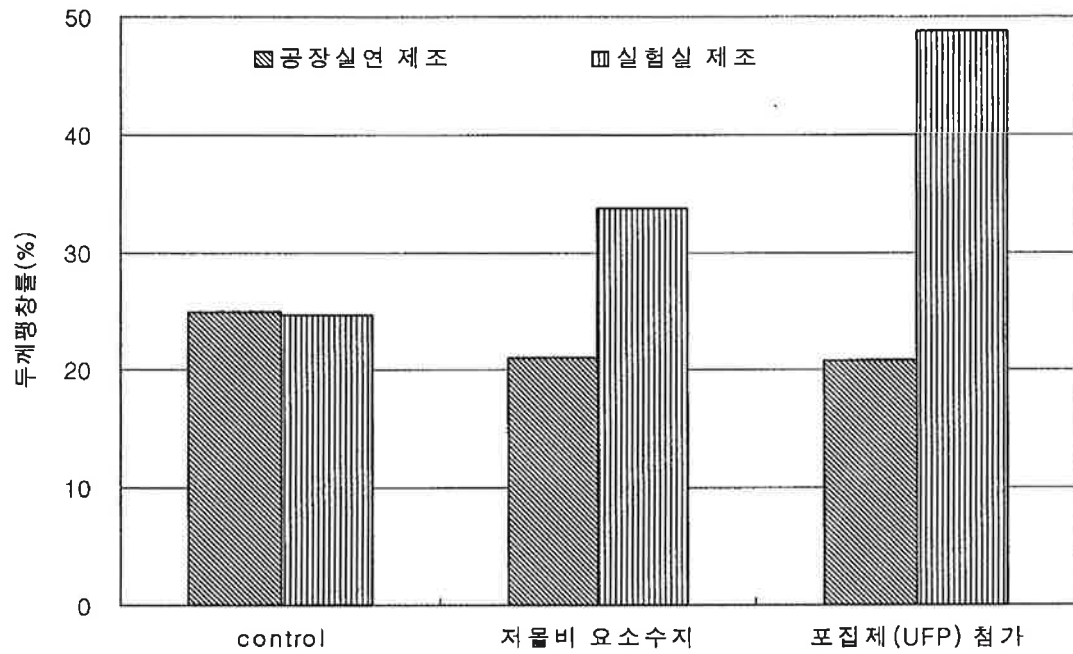
<그림 3-4> 공장실연시험에서 제조한 파티클보드의 휨강도



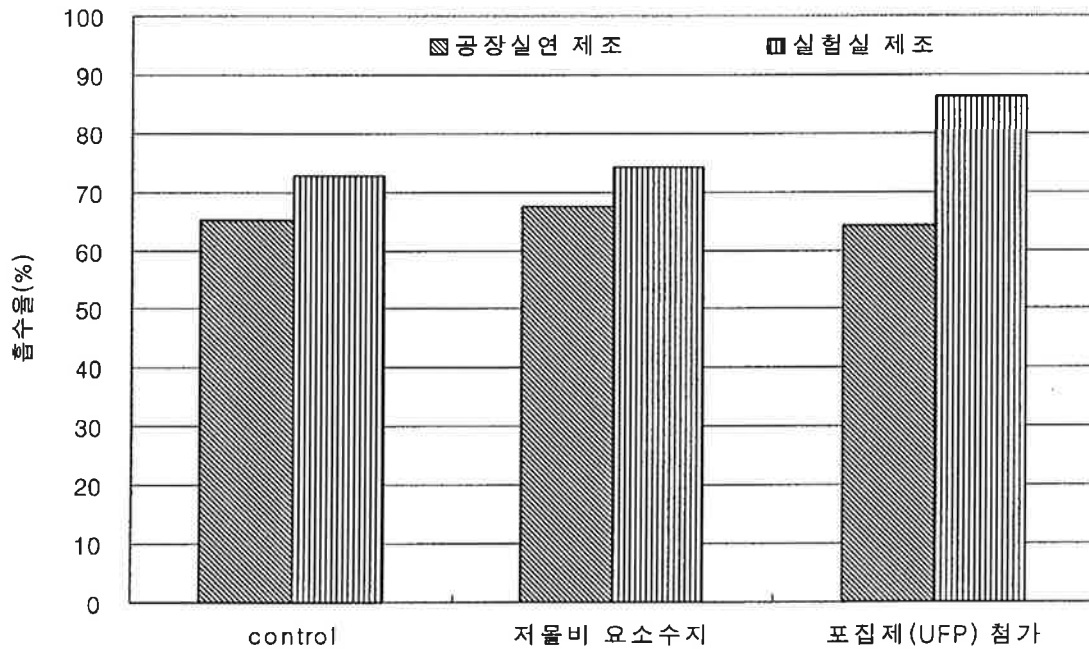
<그림 3-5> 공장실연시험에서 제조한 파티클보드의 휨영계수



<그림 3-6> 공장실연시험에서 제조한 파티클보드의 박리강도



<그림 3-7> 공장실연시험에서 제조한 파티클보드의 흡수두께팽창률



<그림 3-8> 공장실연시험에서 제조한 파티클보드의 흡수율

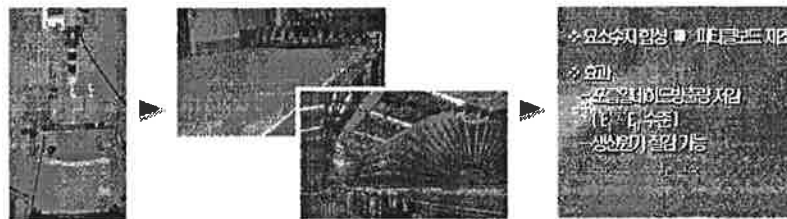
<그림 3-7>은 공장실연 및 실험실 제조한 파티클보드의 흡수두께팽창률을 나타낸 것이다. 두께팽창률의 경우 실험실제조 파티클보드가 공장실연제조 파티클보드보다 높게 나타났다. 또한 저물비 요소수지 또는 UFP를 첨가한 요소수지를 사용하여 공장 제조실연한 파티클보드는 대조구의 두께팽창률보다 낮게 나타났다.

한편 <그림 3-8>에 나타낸 바와 같이, 공장에서 실연제조한 파티클보드의 흡수율은 실험실에서 제조한 파티클보드의 흡수율보다 전반적으로 낮았다. 이러한 두께팽창률과 흡수율은 일반적으로 파티클보드의 박리강도와 밀접하게 관련되어 있다. 즉 박리강도가 높으면 두께팽창률과 흡수율은 감소하는 관계가 있다. 따라서 공장 실연에서 제조한 파티클보드의 두께팽창률과 흡수율이 낮은 것은 이들이 실험실제조 파티클보드보다 박리강도가 더 높기 때문인 것으로 판단되었다.

다. 결과요약

저물비 요소수지와 요소수지용 포름알데히드 포집제를 첨가하여 파티클보드의 포름알데히드방출량을 저감하고자 공장실연시험과 실험실시험을 수행한 결과는 다음과 같다.

- 1) 저물비 요소수지를 공장에서 실연합성하여 파티클보드의 실연제조에 적용한 결과, 파티클보드의 포름알데히드방출량 수준은 E1 등급을 만족한 결과를 얻었으며, 실험실 제조 파티클보드의 포름알데히드방출량 수준은 E0 등급에 근접한 파티클보드 제조기술을 확보할 수 있었다.
- 2) 자체개발한 요소수지 접착제용 포름알데히드 포집제(UFP)를 첨가한 요소수지를 이용하여 공장 실연제조한 파티클보드의 포름알데히드방출량은 기존 사용수지 사용의 경우보다 대폭 저감시킬 수 있었다. 또한 UFP를 이용한 포름알데히드방출량 저감은 제품물성을 유지하면서 생산원가 절감이 가능하였다. 따라서 생산라인의 공정제어를 최적화하면 파티클보드의 물성을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.



3. 요소·멜라민수지와 요소·EMDI 혼용 수지를 이용한 파티클보드 제조실연

가. 재료 및 방법

1) 실험재료

가) 접착제 합성원료

본 실험에서 요소·멜라민 수지와 요소·EMDI 혼용 수지의 원료는 상업용 요소(99%), 멜라민(99%), pMDI(M11R, 한국 BASF) 및 polyol(분자량 1000)을 사용하였다.

나) 파티클보드 원료

파티클보드 제조 실연시험에 사용된 파티클은 폐목재 재생 파티클로서 도림산업(주)에서 제품생산에 사용하고 있는 원료를 사용하였다.

2) 시험방법

가) 요소수지 및 요소·멜라민수지 합성

(1) 요소수지

본 실험에서 요소·EMDI 혼용수지 제조를 위해 사용한 요소수지는 앞에서의 저몰비 요소수지 합성 실연시험과 동일하였으며, 이 때 F/U 몰비는 1.0으로 하였고, 요소수지를 합성·제조하여 운반하였다.

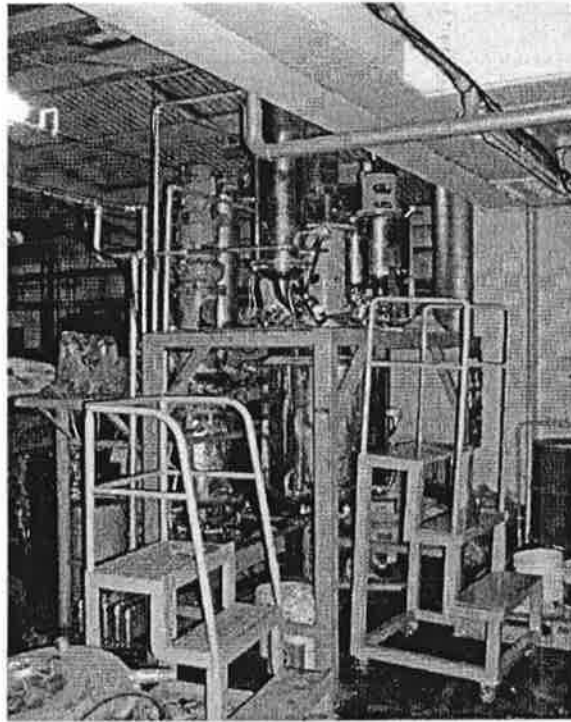
(2) 요소·멜라민수지

본 실험에 사용된 요소·멜라민수지는 도림산업(주)에서 사용하고 있는 상업용 MUF 수지로서, 수지고형분은 60%로 조정하였다.

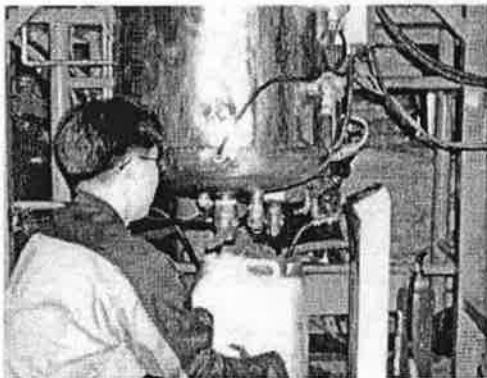
나) EMDI 수지 및 요소·EMDI 수지 제조

요소·EMDI 혼용수지의 제조를 위하여, EMDI 수지를 (주)오공(인천광역시 소재) 기술연구소가 보유한 200kg 용량의 반응기를 사용하였다. EMDI 수지 제조를 위해 pMDI prepolymer를 우선 제조하였다. 프리폴리머 제조에서는 우레탄 폼과 우레탄 접착제 제조에 사용되는 100% pMDI(분자량 : 341~364, -NCO content : 30~32%)와

100% 폴리올을 이용, 각 원료의 분자량, 당량 등을 고려하여 각 원료 혼합비를 계산한 다음, 최종 -NCO 함량을 기준으로 50~90℃, 2~6시간 반응시켜 이소시아네이트 폴리머를 제조하였으며, 이때 -NCO 함량은 30%를 목표로 하였다.



접착제 제조장치



EMDI 수지 제조



제조한 EMDI 수지

<그림 3-9> EMDI 수지 실연제조 과정

EMDI 수지의 제조는 두 가지 과정을 통해 이루어졌다. 첫째, EMDI의 물성을 고려하여 적절한 -NCO 함량을 가진 이소시아네이트 프리폴리머를 제조하였고, 둘째, 이를 이용하여 요소수지와 혼합이 가능한 ionomer 형태의 EMDI를 제조하였다. 이때 여러 가지 첨가제를 사용하여 EMDI를 제조하였다. <그림 3-9>에서는 EMDI 제조장면을 보여주고 있다.

EMDI 수지는 이소시아네이트 프리폴리머의 말단기인 -NCO를 이온기로 변환하여 요소수지와 쉽게 혼합될 수 있게 하는 첨가제를 투입하고, 이와 함께 점도를 감소시키는 첨가제를 넣어 제조하였다. 합성된 유화형 이소시아네이트(EMDI)수지의 고형분은 99% 이상이었다. 실험제조한 EMDI를 요소수지 고형분 기준으로 5%를 첨가하여 교반하면서 요소·EMDI 혼용수지를 제조하여 파티클보드 제조에 사용하였다.

다) 표층-중층 수지조합을 이용한 파티클보드 제조

요소·EMDI 혼용수지를 이용한 파티클보드의 물성을 비교하기 위해, <표 3-1>에 나타낸 바와 같이, 표층과 중층에 접착제를 다양하게 적용한 파티클보드를 제조하였다. 파티클보드의 공장실연제조시험은 도림산업(주)(경남 양산소재)의 설비를 이용하였으며, 제품치수는 20 x 240 x 200mm로 하였다. 이에 대비한 실험실제조 파티클보드는 두께 15mm로 제조하여 물성을 비교하였다. 보드의 목표밀도는 두 가지 경우 모두 700kg/m³로 제조되었다.

<표 3-1> 요소수지, 요소·멜라민 수지 및 요소·EMDI 혼용수지를 이용한 파티클보드의 구성

파티클보드의 층구성	사용접착제				
	표층	MUF resin	UF resin	UF resin	UF resin
중층	MUF resin	MUF resin	UF resin	UF+EMDI resin	UF+EMDI resin
표기방법	MUF+MUF	UF+MUF	UF+UF	UF+(UF+E)	MUF+(UF+E)

* UF resin : 요소수지, MUF resin : 요소·멜라민수지, E : EMDI 수지

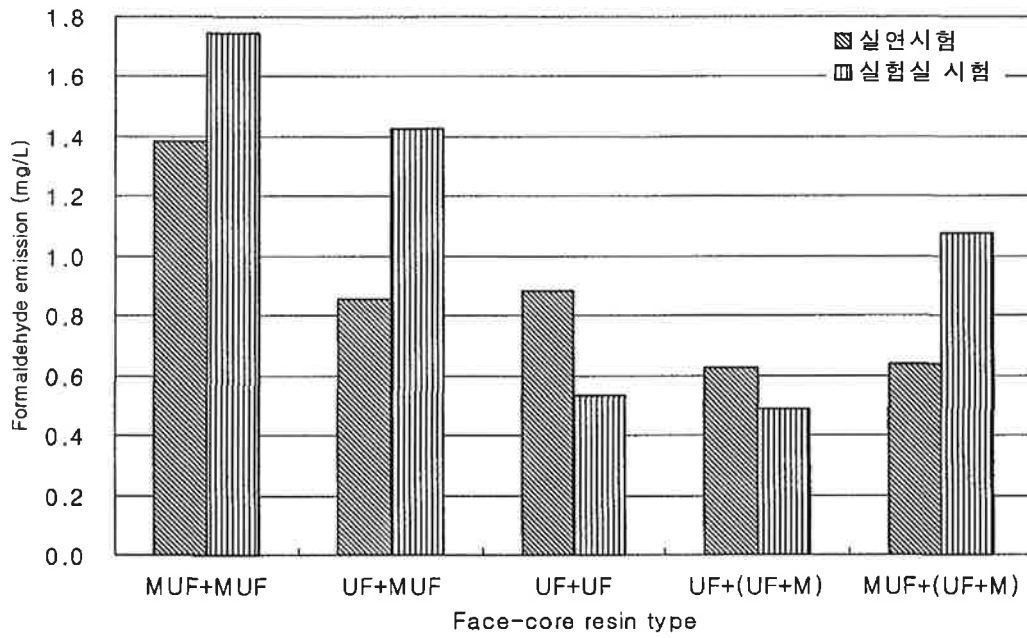
나. 연구결과

<그림 3-10>은 표층-중층의 수지 종류에 따라 공장실연 또는 실험실에서 제조한 파티클보드의 포름알데히드방출량을 나타낸 것이다. 실연제조 파티클보드와 실험실 제조 파티클보드를 비교하였을 때, 포름알데히드방출량의 차이가 일정하지는 않았으나 수지종류 간에는 큰 차이를 보였다. 즉 요소·멜라민수지를 표층과 중층에 모두 사용한 경우 가장 높은 포름알데히드방출량을 보였다. 이와 같은 결과는 사용된 요소·멜라민수지의 F/U 몰비가 비교적 크기($F/(U+M)$ 몰비 = 1.35) 때문인 것으로 판단된다.

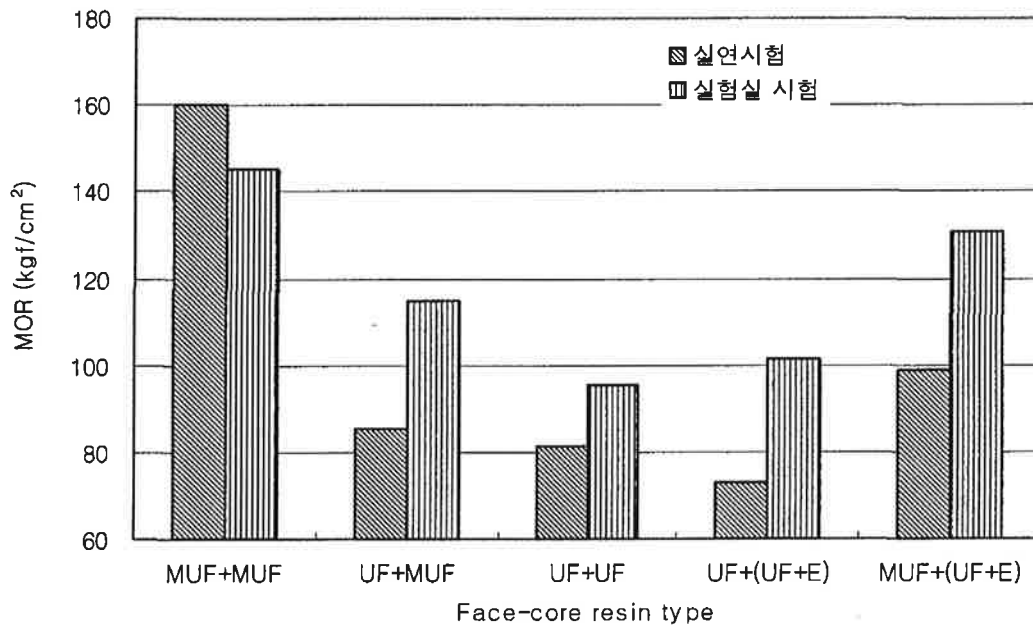
또한 표층에 저몰비 요소수지를 사용하고 중층에 요소·멜라민수지를 사용하여 실연제조한 파티클보드의 포름알데히드방출량은 표층과 중층 모두 저몰비 요소수지를 사용한 파티클보드의 포름알데히드방출량과 유사하게 나타났다. 그러나 실험실 제조 파티클보드의 방출량은 저몰비 요소수지만 사용한 경우가 훨씬 낮았다. 이와 같은 결과는 저몰비 요소수지를 사용하는 것이 포름알데히드방출량을 저감시키는 데 가장 효과적임을 알 수 있었다. 또한 표층에 저몰비 요소수지, 중층에 요소·EMDI 혼용수지를 사용한 경우 공장실연과 실험실 모두에서 제조한 파티클보드의 방출량이 가장 낮게 나타났다. 이 같은 결과는 저몰비 요소수지를 혼용한 요소·EMDI 수지가 포름알데히드 저감에 효과적임을 시사하는 것이다. 이 같은 결과는 요소·멜라민수지를 표층, 요소·EMDI 혼용수지를 중층에 사용한 경우 방출량이 다시 증가하는 사실에서도 입증된다.

<그림 3-11>은 표층-중층에 사용된 수지종류에 따라 제조한 파티클보드의 휨강도(MOR)를 나타낸 것이다. 전반적으로 대조구로 표층 및 중층에 모두에 요소·멜라민수지를 사용하여 제조한 파티클보드의 MOR가 가장 높았다. 표층에 저몰비 요소수지와 중층에 요소·멜라민 수지 또는 요소·EMDI 혼용수지를 사용한 경우 MOR가 급격히 감소하는 경향을 보였다. 표층에 요소·멜라민수지를 사용한 경우 MOR는 약간 향상되었다. 이와 같은 결과는 <그림 3-10>에 나타낸 포름알데히드방출량과 반대 경향을 나타낸 것으로 파티클보드의 포름알데히드 저감과 동시에 물성을 유지시키는 것이 중요함을 보여주고 있다.

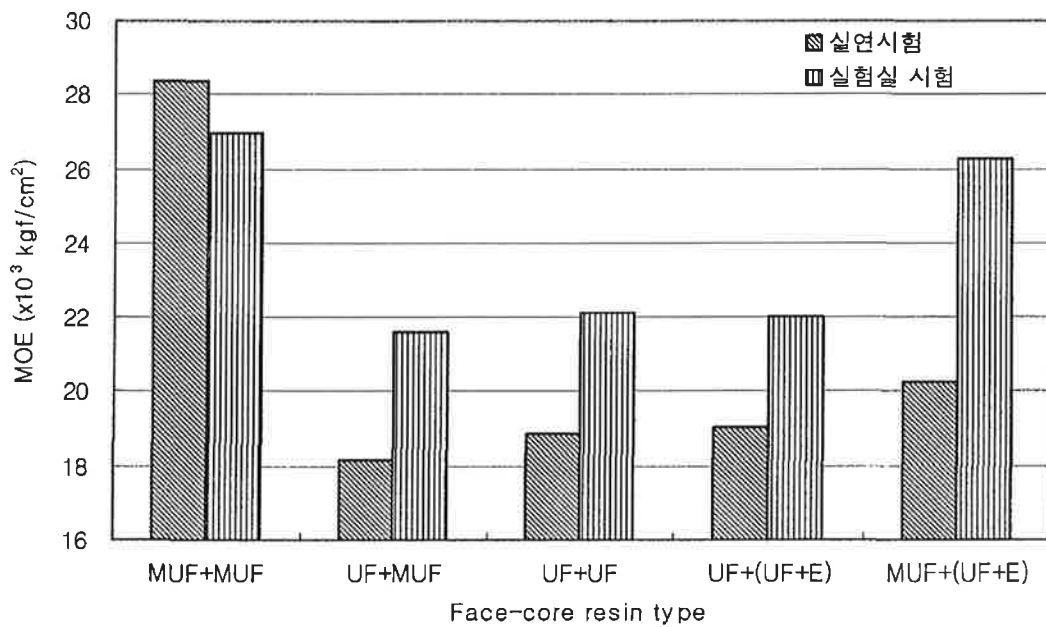
<그림 3-12>는 표층-중층에 사용된 수지종류에 따라 공장실연 또는 실험실 제조한 파티클보드의 휨영계수(MOE)를 나타낸 것이다. 전반적으로 실험실에서 제조한 파티클보드의 MOE가 공장에서 실연제조한 것보다 높게 나타났다. 이는 보드 두께의 차이에 의한 것으로 판단되며 앞에서의 MOR와도 유사한 결과이다.



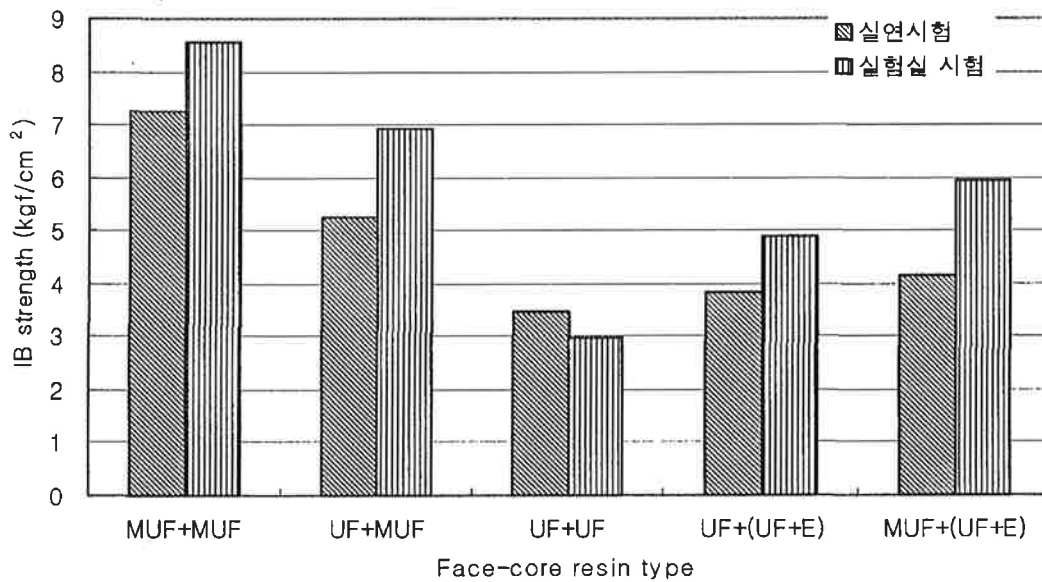
<그림 3-10> 표층-중층의 수지종류별 공장실연제조 및 실험실제조 파티클보드의 포름알데히드방출량



<그림 3-11> 표층-중층의 수지종류별 공장실연제조 및 실험실제조 파티클보드의 휨강도(MOR)



<그림 3-12> 표층-중층의 수지종류별 공장실연제조 및 실험실제조 파티클보드의 휨영계수(MOE)



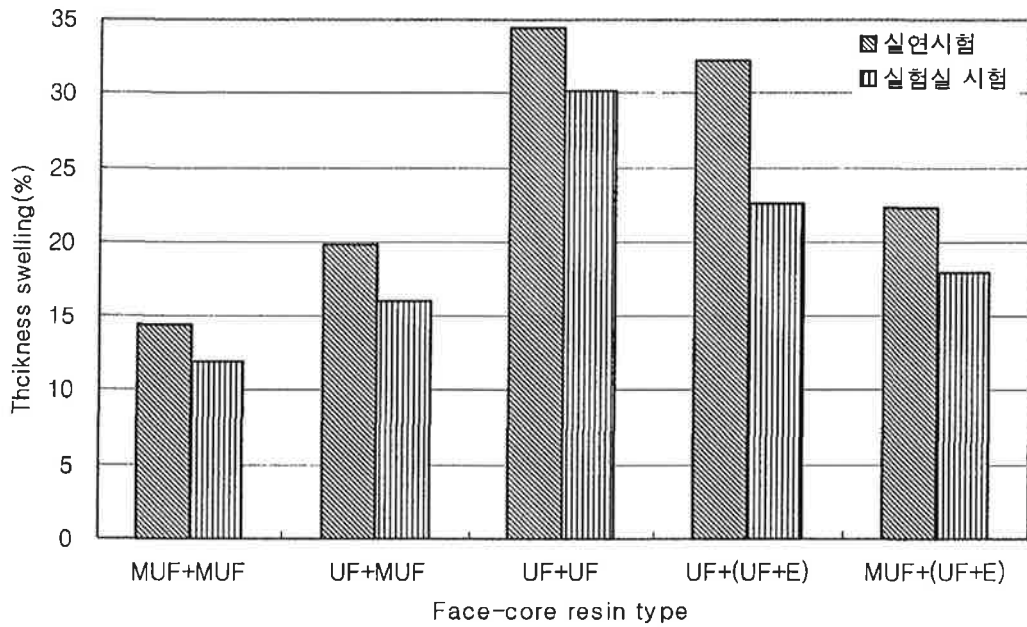
<그림 3-13> 표층-중층의 수지종류별 공장실연제조 및 실험실제조 파티클보드의 박리강도

<그림 3-13>은 공장실연 또는 실험실 제조한 파티클보드의 박리강도를 나타낸 것이다. 표층과 중층 모두에 요소·멜라민수지를 사용한 파티클보드의 박리강도가 최대를 나타냈다. 이에 대해 저물비 요소수지를 표층에 사용한 파티클보드의 박리강도는 감소되었으며 저물비 요소수지를 중층에 사용한 경우 더욱 감소되었다. 그러나 요소·EMDI 혼용수지를 중층에 사용한 경우 박리강도는 약간 향상되었으며, 표층에 요소·멜라민수지, 중층에 요소·EMDI 혼용수지를 사용한 경우 박리강도가 더욱 향상되었다. 이 같은 결과는 요소·멜라민 수지의 비교적 높은 F/U 물비(1.35)에 기인하는 것으로 판단되며, 저물비 요소수지 (F/U = 1.0)를 사용한 경우에는 비교적 박리강도가 감소되는 결과를 나타냈다.

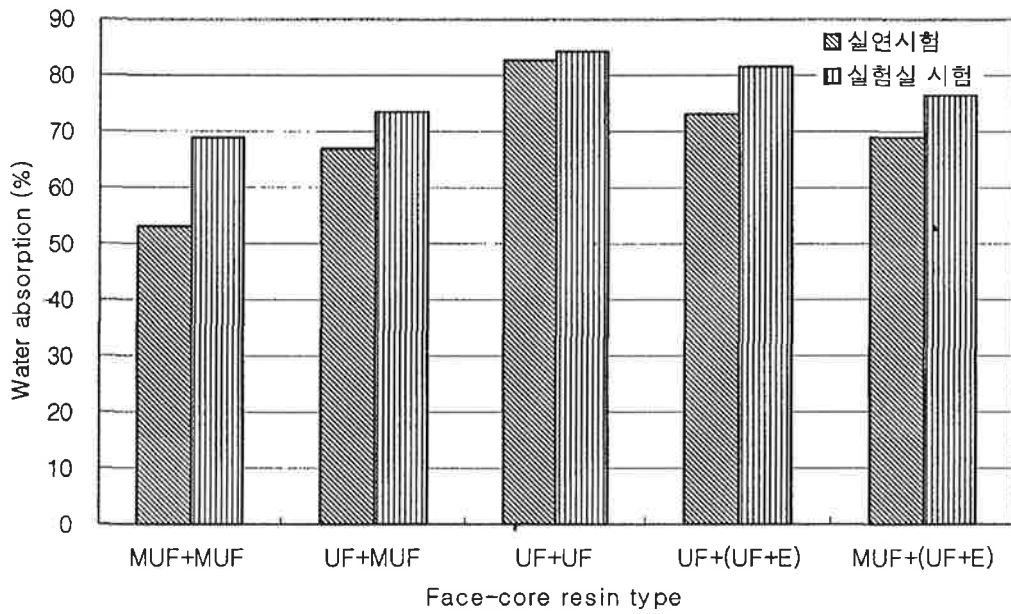
<그림 3-14>는 표층-중층 수지종류에 따라 공장실연 또는 실험실에서 제조한 파티클보드의 흡수두께팽창률을 나타낸 것이다. 전반적으로 공장에서 실연제조한 파티클보드의 두께팽창률이 실험실에서 제조한 파티클보드보다 크게 나타났다. 이 결과는 파티클보드의 두께 차이에 의한 것으로 추정되며, 아울러 공장실연 및 실험실 제조한 파티클보드의 박리강도 변화와 밀접하게 관련되어 있는 것으로 생각된다. 즉 파티클보드의 박리강도가 높은 경우에는 두께팽창률이 낮게 나타나며, 박리강도가 낮을 때에는 두께팽창률이 커지는 것이다.

표층-중층 수지종류에 따라 공장실연 또는 실험실에서 제조한 파티클보드의 흡수율은 <그림 3-15>와 같다. 파티클보드의 흡수율은 표층과 중층에 요소·멜라민 수지를 사용한 경우 낮았으며, 저물비 요소수지를 사용한 경우 흡수율은 증가하였으나 요소·EMDI 혼용수지를 중층에 사용한 경우 다시 감소하는 경향을 보였다. 표층에 요소·멜라민수지를 사용하고 중층에 요소·EMDI 혼용수지를 사용한 경우에는 두께팽창률이 더욱 낮게 나타났다.

전반적으로 요소·멜라민 수지와 요소·EMDI 혼용수지를 사용하여 파티클보드의 포름알데히드방출량을 저감하고자 실연시험을 한 결과에서, 포름알데히드방출량은 저물비 요소수지와 요소·EMDI 혼용수지를 사용할 경우에 $1.0\text{mg}/\ell$ 이하로 E₁ 등급의 보드제조가 가능하였으며, 실험실제조 파티클보드의 경우에는 E₀ 등급에 근접하는 결과를 얻었다.



<그림 3-14> 표충-중충의 수지종류별 공장실연제조 및 실험실제조 파티클보드의 두께팽창률



<그림 3-15> 표충-중충의 수지종류별 공장실연제조 및 실험실제조 파티클보드의 흡수율

표층과 중층에 다른 수지 종류를 사용하여 파티클보드를 제조한 결과, 저물비 요소 수지와 요소·EMDI 혼용수지를 중층에 사용한 경우 포름알데히드방출량 저감에 가장 좋은 결과를 가져 왔다. 이 같은 결과는 3장 제 2절의 '고성능 접착제 합성·이용 기술 개발'의 연구결과에서와 같이, 저물비 요소수지와 요소·EMDI 혼용수지의 미반응 포름알데히드 함량이 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 미반응 포름알데히드 함량은 수지의 겔화 시간에 영향을 미쳐 EMDI의 함량이 증가함에 따라 겔화시간이 짧아졌다. 겔화시간의 단축은 파티클보드의 물성 향상을 가져올 것으로 기대하였으나 박리강도에서는 큰 차이를 나타내지 않았다. 이러한 결과로부터 요소·EMDI 혼용수지의 경화후 망상구조의 결합력에 대한 연구가 더 필요할 것으로 판단된다. 따라서 저물비 요소수지와 요소·EMDI 수지를 사용하였을 때 박리강도가 감소하는 이유를 이 맥락에서 추정할 수 있다.

다. 결과 요약

본 실연시험에서는 파티클보드의 포름알데히드방출량을 저감하고자 저물비 요소수지, 요소·멜라민수지, 요소·EMDI 혼용수지를 파티클보드의 표층 또는 중층에 사용하여 파티클보드공장 실연시험을 실시하였다. 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 비교적 높은 F/U 물비의 요소·멜라민수지를 적용한 경우 파티클보드의 포름알데히드방출량이 E1 등급 수준(약 1.4mg/l)으로 나타났다. 또한 저물비 요소수지를 중층에 적용한 결과는 방출량이 약 0.8mg/l로 감소되었으며, 요소·EMDI 혼용수지를 중층에 적용한 경우는 방출량이 약 0.6mg/l로서 E0 수준에 근접하는 우수한 결과를 얻었다. 따라서 저물비 요소수지와 요소·EMDI 혼용수지를 사용한 실연시험을 통하여 파티클보드의 포름알데히드방출량 저감에 가장 효과적인 결과를 얻었다.
- 2) 저물비 요소수지, 요소·멜라민수지 및 요소·EDMI 혼용수지를 사용하였을 때, 파티클보드의 포름알데히드방출량 저감에 효과적임에도 불구하고 박리강도를 비롯한 물성은 약간 저하되었다. 따라서 포름알데히드방출량의 저감, 물성의 유지 또는 개선, 경제성 등을 모두 만족시키기 위해서는 앞으로도 지속적인 연구가 필요한 것으로 여겨졌다.

제 4 절 폐목질 재생보드의 제조기술 및 성능개선

1. 서 설

국내에서 파티클보드(PB)는 연간 약 80만㎡가 생산되고 있다. 파티클보드 제조회사는 전량 폐목재를 원자재로 사용하고 있으며, 원자재로서 재생칩을 외부 협력업체로부터 공급받거나, 자체 파쇄시설을 이용하여 칩을 조달함으로써 보드를 양산하는 체계를 갖추고 있다. 현재, 재생칩이 80%를 점유하고 있어 재생칩의 근원이 되는 폐목재의 재활용이야말로 목질보드산업에 매우 중요한 역할을 하고 있다.

본 세부과제를 위하여 폐목재를 전량 원료로 사용하는 목질보드제조사와 보드공장에 폐목재 파쇄칩, 즉, 재생칩을 공급하는 업체를 방문하여 원료성상, 제조공정 등 실태조사를 실시하였다. 또한, 실험실 파쇄 및 재생보드 제조를 위한 기준점을 설정하고자 파티클보드 제조공장에서 사용하는 원료성상 및 보드 제조현황을 조사하였다. 현지조사는 폐목재 파쇄 및 재생보드 제조시험 방향과 조건 설정에 큰 도움이 되었다.

본 과제에서는 폐목재의 재활용도를 높이고, 보드원료의 활성화를 위하여 건설·물류·생활폐목재의 근간이 되는 폐목질 원료를 선정하여, 실험실적으로 파쇄시험을 하였으며, 폐목질원료간의 성상과 입도를 평가하는 연구를 하였다. 재생칩 또는 2차 파쇄 파티클의 성상조사는 재생보드 제조를 위한 전 단계로서 보드의 물리·기계적 성질을 좌우하는 매우 중요한 요인이었다. 그 후 폐목재의 발생률이 비교적 높은 건설폐목재, 생활폐목재 등을 중심으로 원료유형별 파쇄시험을 실시하고 제조된 파티클로 재구성한 보드를 제조하여 물성을 평가하였다. 생활폐목재는 현재 보드공장에서 소량 건설폐목재와 혼용되고 있는 수준으로 물성발현에 적합하지 않은 폐 파티클보드 또는 MDF가 다량 함유되므로 보드용 원료로 재자원화하기 위한 기술력이 집중되어야 하는 대상이다. 따라서 폐목질 원료유형 및 혼합구성별로 제조된 재생파티클을 사용하여 보드를 제조하였으며 최적 보드 제조조건을 구명코자 하였다. 또한, 압축고화된 폐 파티클보드를 팽윤·이용코자 증기가열 및 수침가열처리를 적용하여 입도를 개선하고 수침팽윤과 동시에 효과적으로 내화처리를 하는 연구를 하였다. 그리고 보드제조공정의 최적화를 위하여 공정요인(접착·성형·열압조건 등)을 구명하는 실험을 하였으며, 위탁과제와 관련 철도 폐침목을 보드원료로 이용하기 위한 가능성을 검토하였다.

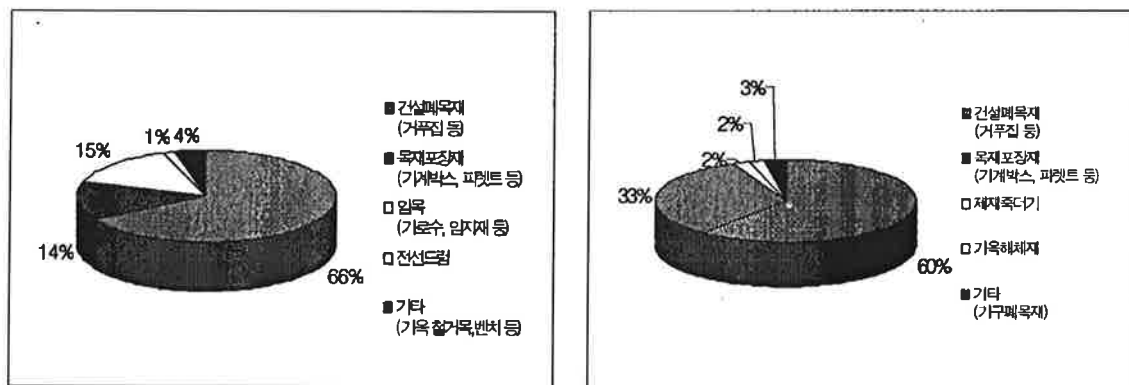
2. 폐목질의 파티클보드원료 사용실태 및 제조공정 조사

가. 재료 및 방법

1) 실험방법

재생보드 제조시험과 별도로, 폐목질원료의 보드원료 사용실태 및 원료성상 조사를 실시하여, 본 세부과제의 실험방향과 조건 설정을 위한 기초 자료로 하였다.

파티클보드용 재생칩을 공급하는 업체(경인지구 4개소, 경남지구 7개소)별 폐목재 재활용 유형을 조사하였다. 경인지구는 재생칩의 건설폐목재의 의존도가 컸으며, 경남 지구는 포항제철소, 울산공단 등이 있어 파렛트, 포장상자 등의 물류폐목재의 비율이 더 컸다. 폐목재 재활용 형태에 있어서는, 목질보드산업용 원료(재생칩), 열병합발전용 소각원료(연료), 유기질 비료용 톱밥 등으로 제공되고 있으며, 일산 30~100톤 규모의 칩 제조시설을 구비하고 있다. 계절별로 하절기인 3/4분기에 폐목재 발생량이 60%에 달하여 계절별 발생량의 불균형 심화현상이 있었다.

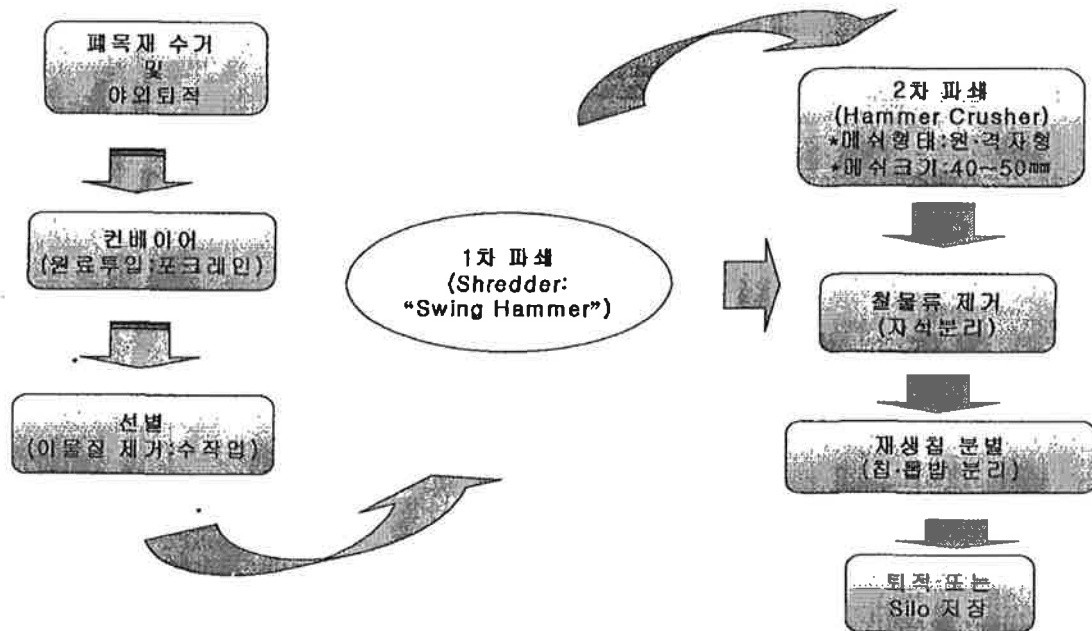


<그림 4-1> 경인지역(좌) 및 경남지역(우) 재생칩 제조업체의 원료 구성

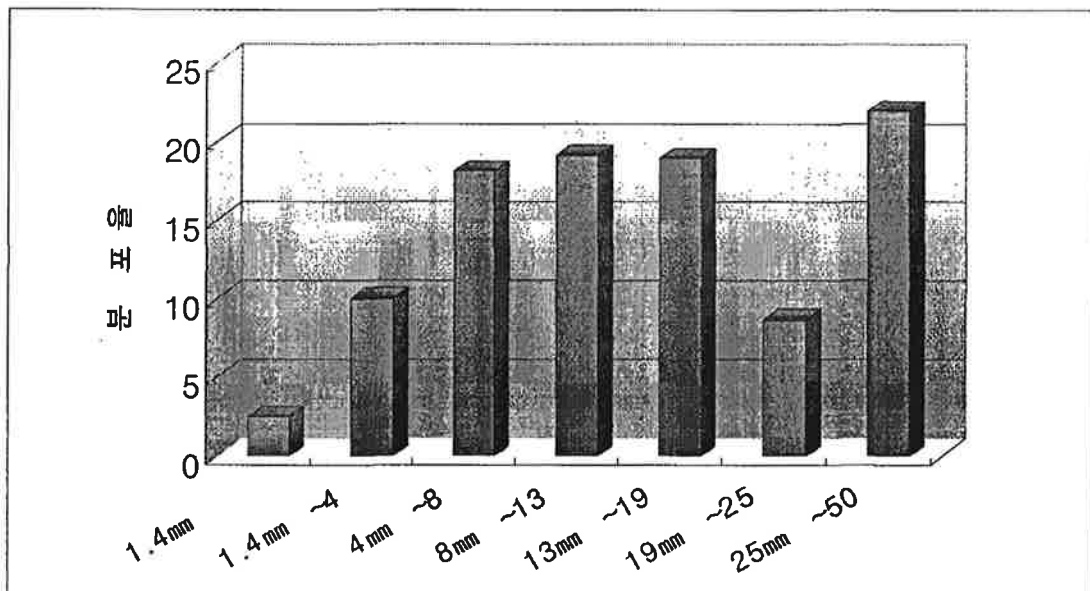
파티클보드용 재생칩은 주로 건설현장의 거푸집 등 건설폐목재, 파렛트·기계류 포장상자 등 물류폐목재가 중심을 이루고 있으며, 대부분 폐가구로 배출되는 생활폐목재는 보드용 원료로 거의 재활용되지 못하고 폐기되는 실정이었다 <그림 4-1>.

재생칩 제조공정은 통상 <그림 4-2>와 같이 이루어지고 있다. 업체에 따라서는 파쇄기를 특성화 시켜 1차파쇄만 하는 경우도 있으며, 대체로 1, 2차 파쇄를 함으로써,

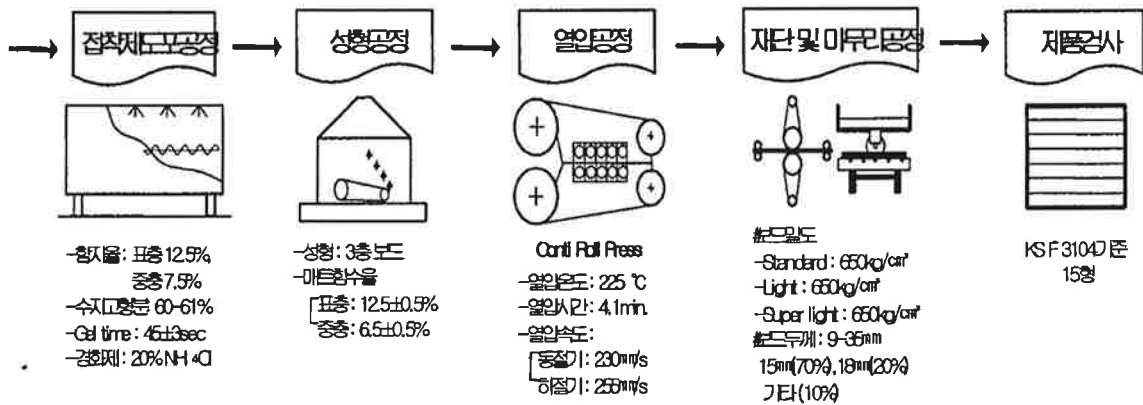
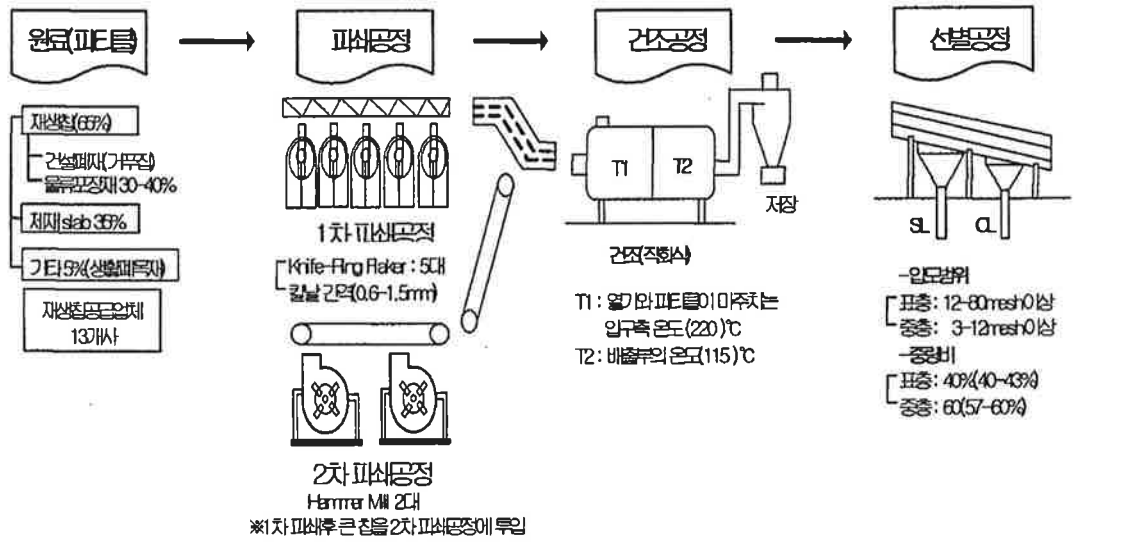
약 50mm 이하 크기의 칩을 제조하고 있다. 또한 재생칩의 입도분포(재생칩 제조업체 평균치)는 <그림 4-3>과 같았다.



<그림 4-2> 재생칩 제조공정



<그림 4-3> 재생칩 입도분포



<그림 4-4> 파티클보드 제조공정

한편, 파티클보드 제조는 <그림 4-4>의 공정으로 이루어지고 있다. 보드제조사들은 batch type의 평판식 프레스와 연속식 roll press로 열압을 하며, 공정은 1차적인 원료 투입, 파쇄, 건조 및 선별과 보드형성을 위한 접착제 도포, 매트성형, 열압 및 마무리(연마)로 구분할 수 있다.

각 보드제조사의 원료 구성, 파티클보드의 제조조건은 <표 4-1>과 같았다. 원료유형은 재생칩, 제재 죽데기, 합판폐재 등으로 구성되며, 생활폐목재도 미량 반입되고 있다. 제조공정에 있어, 파쇄조건은 hammer mill과 knife ring flaker 등을 보유하여 표층과 중층용으로 적합한 파티클을 제조·사용하고 있으며, flaker의 칼날 간격은 약

1~3mm로 조정하여 사용하고 있다. 표층 및 중층 파티클은 각각 0.3~2.5mm 및 1.4~8mm의 크기로 선별·사용되고 있다. 합지율은 표층부위에 11~13%, 중층부위에 7~9%를 적용하고 있으며, 열압온도는 180~230℃를 가하여 보드를 제조하고 있다.

<표 4-1> 파티클보드의 원료구성 및 제조공정 조건

원료구성

회사명	원료 구성비			재생칩 공급업체
	재 생 칩	제재 죽태기	기타	
A사	25~30% 건설폐목재	40%	합판폐재 : 15~20% 톱밥 : 5%	3~4개사
B사	95~100% 건설폐목재 : 80% 생활폐목재 : 20%	-	-	자체공급
C사	40~45% 주로 건설폐목재	40~45%	합판폐재 : 10~15%	8개사
D사	65% 건설폐목재 : 60~70% 물류폐목재 : 30~40%	35%	생활폐목재 : 5%	13개사

파쇄공정

회사명	보 유 기 기		
	Knife ring flaker	Hammer mill	Double stream mill
A사	5대, 칼날 간격 3mm 이내	1대, Flaker로 파쇄 후 큰 chip을 재파쇄	1대, 표층용 파티클 제조
B사	2대, 칼날 간격 1~1.5mm, 큰 파티클 파쇄	2대, 작은 파티클 파쇄	-
C사	칼날 간격 2~3mm	1대	-
D사	5대, 칼날 간격 0.6~1.5mm	2대	-

건조 및 선별공정

회사명	건조 및 선별					
	초기 원료함수율(%)		입도범위		중량비(%)	
	표층	중층	표층	중층	표층	중층
A사	-	-	0.3~2.5mm	1.4~8mm	40	60
B사	-	-	-	-	40	60
C사	2.5	2.5	1.7mm	6mm	43	57
D사	1.5~2.5	1.5~2.5	12mesh ~ 80mesh 이상	3mesh ~ 12mesh 이상	40 (40~43)	60 (57~60)

접착제 혼합·도포공정

회사명	접착제 및 첨가제						
	함지율(%)		수지고형분 (%)	Gel time (100℃)	점도 (cPs)	경화제 (NH ₄ Cl)	Wax emulsion
	표층	중층					
A사	13	8	60	56초	-	23%	-
B사	13.5	9	-	-	-	25%	-
C사	11	8	62	56초	150	2.8 l/m ²	-
D사	12.5	7.5	60~61	45±3초	110~120	20%	40±0.5%

현지조사로부터, 다량 발생되고 있으나 보드제조에 거의 활용되지 못하고 있는 생활폐목재 이용에 있어서의 문제점은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 폐목재 부착 비철금속류(비닐, 유리, 고무, 자개) 등 이물질 분리가 곤란
- 분리수거가 잘 이행되지 않아 활용이 어려움
- 이물질 포함시 제품이 불량하고 틈재단 경우 튀어서 위험요소가 있음
- 칩 발생 및 회수량이 적음
- 미세섬유와 가루 발생으로 수지도포시 흡입량이 많아짐
- 非파티클성 섬유에 기인한 보드물성 저하를 초래함

이상에서와 같이, 재생칩 제조실태를 조사한 결과, 건설폐목재의 재활용은 잘 되고 있는 반면 생활가구 폐목재는 성형보드(책상상판 등) 원료로 소량 혼입되는 등 극히 부분적으로 재활용이 되고 있다. 따라서 배출 잠재량이 큰 생활가구 폐목재의 재활용을 위해서는 기존의 건설폐목재와 혼합하여 사용하거나 이들을 이용한 새로운 제품 및 용도 개발로 돌파구를 마련하는 것이 시급하다. 아울러, 플라스틱, 금속류 등 부착된 이물질 분리 및 선별수집 등 재활용을 촉진시킬 수 있는 정책·제도적인 시스템의 정비와 지원책이 필요하다. 그러므로 보드산업의 활성화를 위하여서는 폐목재 재활용상의 문제점에 대한 분석이 이루어지고, 그 해결방안이 강구되어야 할 것이다.

다. 결과 요약

- 1) 경인지구는 건설폐목재 의존도가 66%, 경남지구는 건설폐목재가 60%, 산업용 포장재가 33%를 차지하였으며, 하절기인 3/4분기에 폐목재 발생량이 60%에 달하여 계절별 발생량의 불균형 심화현상이 있었다. 파티클보드 제조회사의 원료 유형은 재생칩, 제재 죽데기, 합판폐재로 구성되며, 생활폐목재도 미량 반입되고 있었다.
- 2) 보드제조 공정에 있어서, 파쇄조건은 hammer mill과 knife ring flaker 등을 보유하여 표·중층용으로 적합한 파티클을 제조하고 있으며, flaker의 칼날 간격은 약 1~3mm로 조정하여 사용하고 있다. 표층 및 중층 파티클은 각각 0.3~2.5mm 및 1.4~8mm의 크기로 선별·사용하고 있으며, 함지율은 표층 11~13%, 중층 7~9%를 적용하여 열압온도 180~230℃로 보드를 제조하고 있다.

3. 폐목질원료의 파쇄시험 및 파쇄특성

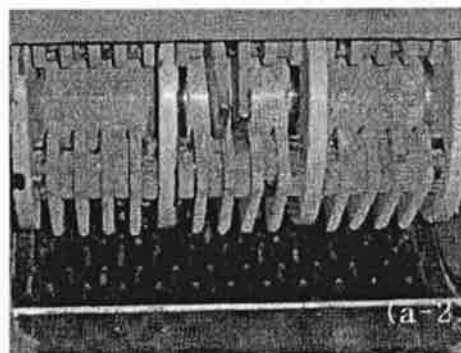
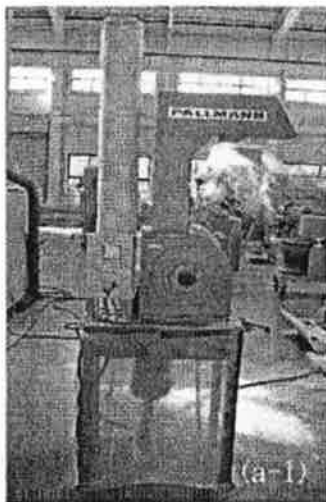
가. 재료 및 방법

1) 실험재료

본 실험에서 사용된 폐목질 원료는 pallet용 제재(라디에타소나무), 칩·활엽수 혼용 합판, 素板상태의 파티클보드(PB), 중밀도섬유판(MDF), 저압열경화성 수지함침지(LPL) 오버레이보드 및 폐침목(크레오소트유 침투/비침투)이었다. 이들 원료는 산업체로부터 분양 또는 구입하여 조달하였으며, 폐침목 strip을 위탁연구기관(충남대)으로부터 전달 받아 사용하였다.

2) 실험방법

폐목질 원료를 이용하여 파쇄시험을 하였으며 파쇄전 原形상태에서 물성을 파악하였다. 파쇄용 원료는 사전에 일정한 strip상태로 제단한 다음, chipper로 1차파쇄하였으며, hammer mill로 2차파쇄를 하였다. hammer mill내부는 <그림 4-5>의 (a-2)와 같았으며, 밑의 wire screen은 양끝이 반원형인 5×30mm mesh가 장착된 상태였다.

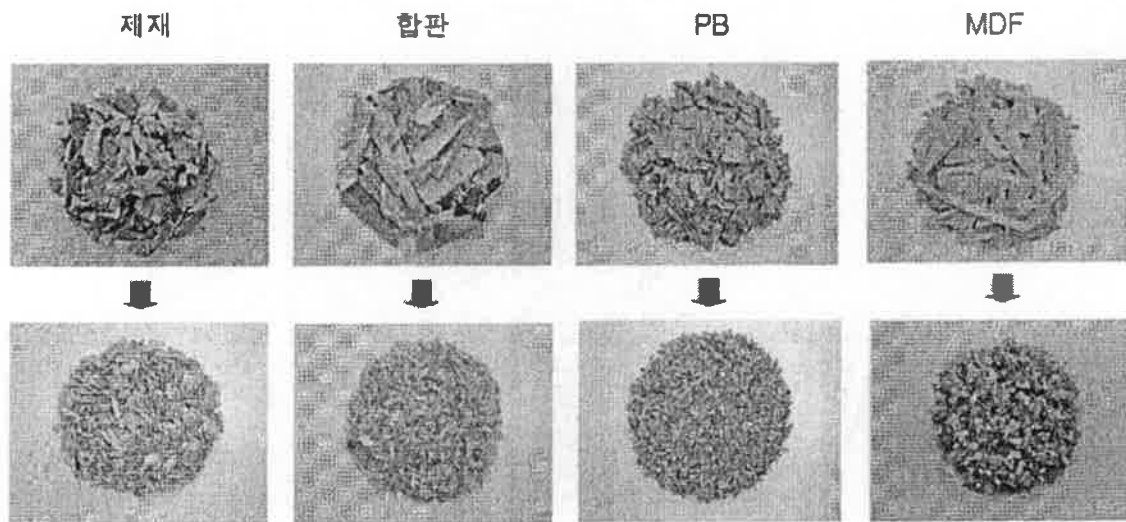


<그림 4-5> 파쇄기(a-1 : hammer mill, a-2 : hammer mill 내부 칼날)

나. 연구 결과

1) 폐목재 파쇄파티클의 형상 및 입도분포

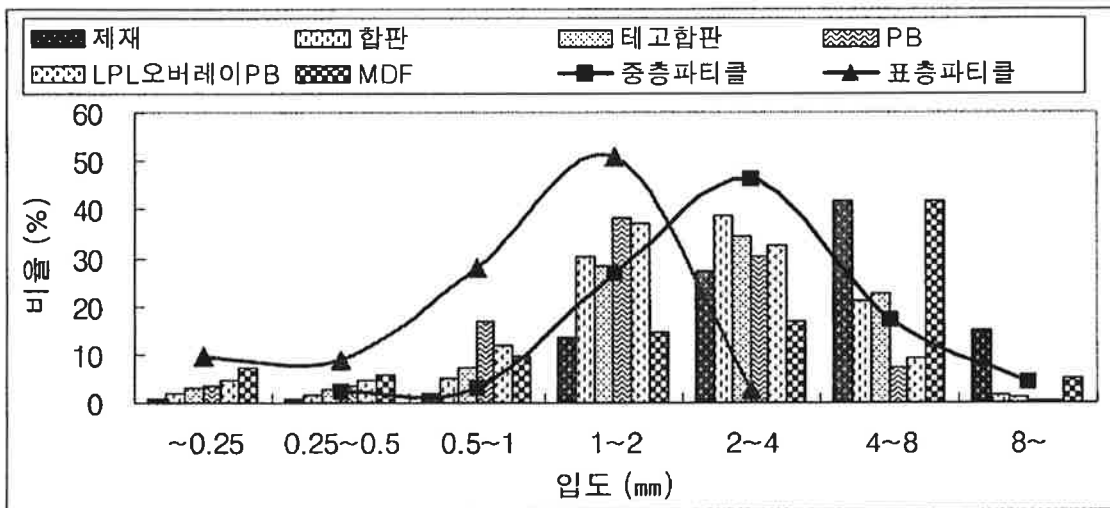
파쇄한 원료유형별 1차 재생칩과 hammer mill로 파쇄한 파티클(재생파티클)은 <그림 4-6>과 같았다. hammer mill 파쇄후 얻어진 제재 파티클은 비교적 굵고 길었으며, 합판 파티클은 길쭉한 칩 형태를 지녔다. 이에 비하여 파티클보드는 미세분의 비율이 높았으며, 보드원료로서 적합한 세장비(slenderness ratio)가 결여된 형태를 띠었다.



<그림 4-6> 폐목질원료 종류별 파쇄칩(상) 및 파티클(하)

Hammer mill 파쇄 파티클의 입도분포율은 <그림 4-7>과 같았다. 제재와 MDF 재생파티클은 4~8mm 입도분포가 41.5% 및 41.6%로 가장 높았다. 제재는 막대기형인 반면 MDF는 완전해리가 되지 않은 상태에서의 납작한 덩이형 질편(blotch)이 보유됨에 따라, 위 4~8mm의 입도분포가 컸다. 또한, 합판 재생파티클의 경우 2~4mm가 38.7%로 가장 높았고, 1~8mm가 약 90%를 점유하였으며, 테고합판 재생파티클도 합판 재생파티클의 입도분포와 유사한 경향을 보였다. 이에 반해, 파티클보드 재생파티클은 1~2mm가 38.3%로 가장 높았으나 0.5~4mm의 분포율이 약 86%로 합판에 비하여 훨씬 미세한 파티클 발생이 많아서, 보드의 표층용 파티클로 사용될 수 있을 것으로 사료되었으며, 이러한 입도분포의 차이는 재생보드 제조시 강도 저하요인이 될 것으로 판단

되었다. 또한, 합판 재생파티클은 보드제조사의 파티클보드 중층용 파티클의 입도분포와 비슷한 패턴을 보임으로써, hammer mill로 파쇄된 합판 재생파티클이 파티클보드 중층용으로 적합한 입도를 갖추고 있음을 알 수 있었다. 4개 보드제조사에서 사용하는 표층 및 중층용 파티클의 평균입도는 표층의 경우 1~2mm가 50.8%로 최고였으며 0.5~2mm가 약 79%를 차지하였고, 중층의 경우는 2~4mm가 46.3%로 최고였으며 1~8mm가 약 90%를 차지하는 양상을 보였다.



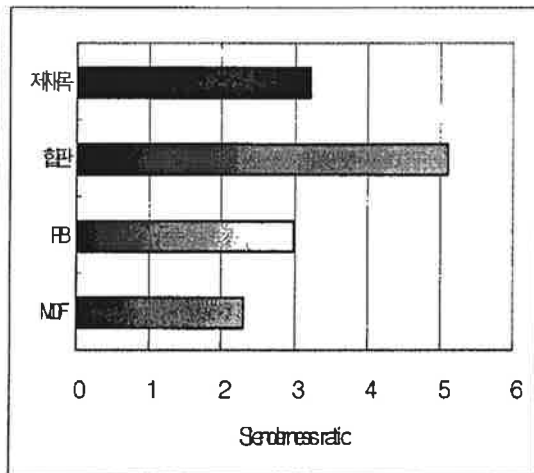
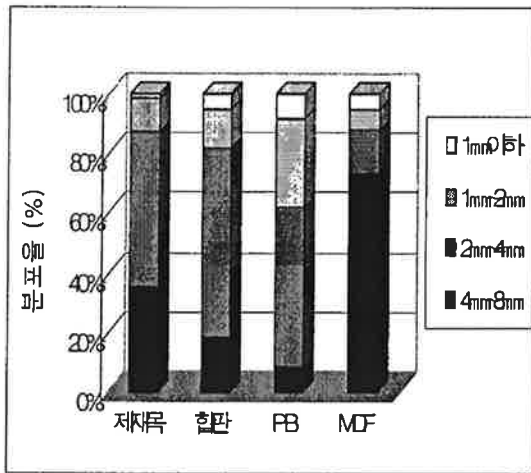
<그림 4-7> 폐목질원료 종류별 hammer mill 파쇄 후 입도분포(우)

2) 재생파티클의 입도분포율 및 세장비

Hammer mill로 파쇄한 재생파티클의 입도분포 경향은 <그림 4-8>과 같이, 파티클 4~8mm가 MDF > 제재 > 합판 > PB, 2~4mm가 합판 > PB, 제재 > MDF, 1~2mm가 PB > 합판, 제재 > MDF 순이었다.

파티클보드 제조시 강도적 성질에 영향을 주는 것으로 알려진 세장비(細長比; 파티클 길이/파티클 두께)를 폐목질원료에 대하여 측정한 결과는 <그림 4-9>와 같았다. 세장비 크기는 합판(5.1) > 제재(3.2) > PB(3.0) > MDF(2.3)의 경향을 나타내어, 합판은 제재보다 약 1.6배 크고, 제재와 PB는 비슷한 수준을 나타냈다.

강도적 성질을 고려한 세장비면에 있어서는 합판이 제재보다 더 양호한 조건을 갖추고 있었다. 그러나 보드물성에는 압밀도(compaction ratio; 보드 비중/원료 비중)가 또한 영향인자로서 물성평가에 함께 고려되어야 할 것으로 여겨졌다.



<그림 4-8> 재생파티클 종류별 입도분포율 <그림 4-9> 재생파티클 종류별 세장비

다. 결과 요약

- 1) 제재와 MDF 재생파티클은 4~8mm, PB 재생파티클은 1~2mm, 합판 재생파티클은 2~4mm 입도분포가 컸으며, 합판 재생파티클은 보드제조사의 PB 중층용 파티클의 입도분포와 비슷한 패턴을 보임으로써, hammer mill로 파쇄된 합판 재생파티클이 PB 중층용으로 적합한 입도를 갖추고 있었다.
- 2) 세장비는 합판(5.1) > 제재(3.2), PB(3.0) > MDF(2.3)의 경향으로서, 합판은 제재보다 약 1.6배 크고, 제재와 PB는 비슷한 수준이었다. 따라서, 강도적 성질을 고려한 세장비면에서, hammer mill 파쇄한 합판 파티클이 제재 파티클보다 더 양호한 조건을 갖추고 있었다.

4. 폐목질원료 종류 및 혼합비율에 따른 재생보드의 물성

가. 재료 및 방법

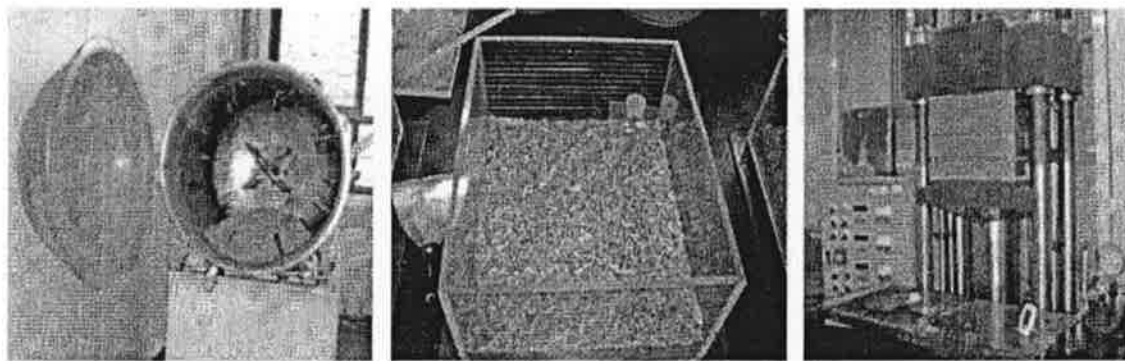
1) 실험재료

본 연구에 사용된 폐목질원료는 전항의 파쇄실험에서 실시한 원료와 같았다. 파티클보드용 파티클(표층 및 중층용)을 공장에서 분양받고, 생활계 폐목질원료로서, 실대 파티클보드를 본 연구실에서 해머밀로 재파쇄하여 중층 파티클화하여 재생보드를 제조하였다. 또한, 폐침목 strip을 칩투/비칩투 부위로 구분하여 chipper로 1차 파쇄한 후 hammer mill로 2차 파쇄하였으며, 칩투/비칩투 부위를 함께 갖춘 파티클을 재생보드 제조용 원료로 하였다.

한편, 파티클보드 공장용 요소수지 접착제(고형분 약 60%)와 왁스에멀전(고형분 약 40%)을 혼합하고 20% 수용액상의 염화암모늄을 경화제로 사용하였다.

2) 실험방법

재생보드 제조를 위해 표층용 파티클은 20~80mesh를 선별하여 사용하였으며, 중층용 파티클은 3~20mesh 선별분을 사용하였다. 재생보드 제조실험은 <그림 4-10>과 같이 접착제 도포→ 매트성형→ 열압 순으로 실시하였다.



중층용 파티클 Mixer

매트성형

열압기

<그림 4-10> 재생보드 제조

Hammer mill로 파쇄한 파티클을 이용하여 재생보드를 제조하였으며, 제조조건은 <표 4-2>와 같았다. 폐목질원료의 파쇄전 또는 파쇄후 파티클을 재구성한 보드 형태로 물성을 측정·비교하였으며, 측정항목은 밀도, 함수율, 휨성질(MOR, MOE), 박리강도, 흡수두께팽창률, 함수율 및 포름알데히드방출량이었다.

<표 4-2> 재생보드 제조조건

보드형태 (층구성)	목표밀도 (g/cm ³)	접착제 도포량 (%)	경화제 첨가량 (%)	왁스에멀전 첨가량 (%)	열압조건		
					압력 (kgf/cm ²)	온도 (°C)	시간 (분)
1	0.7	10	3	1	30	180	7
3	0.7	표층 : 중층 = 12 : 8	표층 : 비첨가 중층 : 3	표층 : 1 중층 : 1	30	200	5

- 주) 1. 보드의 치수 : 1.5cm × 30cm × 35 cm
 2. 보드의 층비 : 표층 : 중층 = 40 : 60
 3. 경화제 : 20% NH₄Cl 수용액을 수지첨가량(전건량 기준) 대비 첨가
 4. 왁스에멀전 : 파티클 전건중량 대비 첨가

나. 연구 결과

1) 폐목질원료 종류 및 혼합비율에 따른 단층 재생보드의 물성

단층으로 제조한 재생보드의 물성은 <표 4-3>과 같았다. 재생보드의 휨성질은 합판 > PB(실험실 제조, PB공장 파티클 사용) > 제재 > 테고필름 오버레이 합판, MDF > 폐침목 재생보드 > PB(공장제), LPL오버레이 PB 순으로 나타났다. KS F 3104 파티클보드의 휨강도 구분에 따라 15형(휨강도 153kgf/cm²) 이상은 제재, 합판, 테고필름 오버레이 합판, PB(실험실 제조), MDF 재생보드에서 획득되었다. 박리강도는 전 보드시편에서 3kgf/cm² 이상을 나타냈으며 합판 재생보드의 경우 월등한 내부결합력을 보여주었다.

보드의 치수안정성을 나타내는 흡수두께팽창률에 있어서는 폐침목 재생보드가 상당

히 낮은치를 보임으로써 우수한 치수안정성을 나타냈는데, 크레오소트 油分の 발수성에 연유한 것으로 판단된다. 특히, 파쇄전 원형의 PB에 비하여 재생 PB의 경우 대체로 흡수두께팽창률이 더 저하되는 현상을 보여주고 있는데, 이는 재생파티클에 재차 수지가 도포됨에 따라 피복효과가 증가한 데 따른 치수안정성 증대효과에 기인한 것으로 여겨진다. 그 결과로서, KS 기준인 흡수두께팽창률 12%와 비교하여 본 연구에서 제조된 재생보드는 전반적으로 충족시키는 것으로 나타났다.

<표 4-3> 폐목질원료 종류별 파쇄전 및 파쇄후 파티클 재생보드의 물리·기계적 성질

폐목질 원료유형	보 드 구 분	밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨탄성계수 (×10 ³ kgf /cm ²)	박리강도 (kgf/cm ²)	흡수두께 팽창률 (%)
제재	재생	0.66	179	32.7	5.5	12.1
합판	재생	0.72	223	36.6	15.9	5.0
테고합판	재생	0.70	163	30.3	7.6	11.4
PB (공장제)	파쇄전	0.67	138	28.5	4.1	24.5
	재생	0.67	74	14.3	10.2	6.2
PB (실험실 제조)	단층	0.71	191	33.5	11.0	6.5
	3층	0.70	192	33.9	9.7	5.0
LPL 오버레이 PB	파쇄전	0.69	181	28.7	4.5	11.3
	재생	0.73	70	6.5	9.5	8.4
MDF	파쇄전	0.65	320	26.3	4.0	5.4
	재생	0.73	163	23.4	5.0	5.3
폐침목	비침투 부위	0.70	129	21.8	8.4	8.3
	침투부위	0.72	82	16.4	5.5	5.1

한편, 폐목질원료 혼합조건에 따른 재생보드의 물성은 <표 4-4>와 같았다. 제재와 PB 재생파티클을 혼합구성한 경우 재생 PB 파티클을 절반 정도까지 혼합하여도 15형(휨강도 150kgf/cm²)을 충족할 수 있음을 알 수 있었다. 그러나 합판 재생파티클과 혼

합 구성한 경우 보드15형의 휨강도를 충족시킬 수는 없었으나, <표 4-3>의 파티클보드(공장제) 강도수준으로서 혼합률 증가에 따른 강도저하가 크지 않은 편이었다. 또한, 박리강도의 혼합비율에 따른 일정한 경향은 없었으나, 재생 PB 파티클을 혼입하여도 상당히 높은 내부결합력을 유지할 수 있음을 알 수 있었다. 또한, 제재 재생파티클에 대한 재생 PB 파티클의 혼합률이 10%에서 50%로 높아짐에 따라 흡수두께팽창률이 낮아짐으로써 치수안정성이 커지는 결과를 얻었다. 합판 재생파티클과 혼합한 경우는 제재 재생파티클과 혼합한 경우보다 재생 PB 파티클의 혼합비율에 그다지 영향 받지 않고 치수안정성이 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구 결과, 생활폐목재의 한 유형인 PB를 재생보드 원료로 할 경우, 2차적으로 도포되는 수지 접착제의 영향으로 내부결합력과 치수안정성이 증가되는 경향이 있으며, 제재파티클의 경우는 타원료의 파쇄분보다 입도가 큰 형태가 혼재하므로 휨강도 발휘에는 유리하지만, 목질의 흡수에 의해 두께팽창이 조장되는 일면이 있었다.

<표 4-4> 폐목질원료의 혼합조건에 따른 재생보드의 물리 및 기계적 성질

파 쇄 파티클 혼합형태	비율 (%)	밀도 (g/cm ³)	함수율 (%)	MOR (kgf/cm ²)	MOE (×10 ³ kgf/cm ²)	박리강도 (kgf/cm ²)	흡수두께 팽창률 (%)	흡수율 (%)
제재 : PB	90 : 10	0.69	6.4	225	36.5	12.3	19.2	60.5
	70 : 30	0.75	6.9	206	32.8	15.3	12.9	58.1
	50 : 50	0.74	8.0	170	31.0	13.6	10.7	47.5
합판 : PB	90 : 10	0.71	8.2	144	27.6	9.6	8.8	34.9
	70 : 30	0.75	7.1	131	25.9	9.6	10.2	38.8
	50 : 50	0.76	6.7	124	24.2	12.7	9.2	39.3

2) 폐목질원료 종류 및 혼합비율에 따른 3층 재생보드의 물성

폐목질원료 종류별 재생보드(3층)의 물리·기계적 성질은 <표 4-5>와 같았다. 3층 구성 보드를 제조함에 있어, 표층은 공장에서 사용 중인 PB 표층용 파티클, 중층은 폐목질원료별 재생파티클을 사용하였다.

<표 4-5> 폐목질원료 종류별 재생보드의 물리·기계적 성질

폐목질원료 종류 (중층구성)	밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨탄성계수 (10 ³ kgf/cm ²)	박리강도 (kgf/cm ²)	흡수두께팽창률 (%)
제재	0.71	151	27.5	8.2	18.6
합판	0.70	122	24.1	6.0	16.6
PB	0.72	101	19.6	5.8	20.1
MDF	0.70	85	15.4	2.6	14.3

보드 중층에 구성된 폐목질원료 종류별 재생보드의 휨성질 및 박리강도는 제재 > 합판 > PB > MDF의 경향을 나타냈으며, 흡수두께팽창률은 차이가 근소하지만 PB > 제재 > 합판 > MDF의 경향을 보였다. 따라서 단층보드에서와 같이 수지가 도포되지 않은 천연목질의 제재 파티클로 보드를 제조하는 경우 흡수에 더 노출이 되어 치수불안정성을 초래함이 확인되었다.

재생 PB 파티클의 공장사용 PB파티클과의 혼합비율별 보드의 물성은 <표 4-6>과 같았다. 휨강도는 재생 PB 파티클을 혼합하지 않고 공장에서 분양한 PB중층용 파티클만으로 제조한 보드가 198kgf/cm²로서 최고치를 나타냈으며, 재생 PB 파티클을 10% 혼합한 보드와 유의차가 있었다. 그러나 재생파티클 비율 20~40% 혼합 간에는 유의차가 없었으며, 재생 PB 파티클의 혼입률이 높아짐에 따라 휨성질이 저하되었다.

휨강도 구분에 따라서는 재생 PB 파티클의 혼합비율 40% 이하에서 보드 15형 (MOR : 153kgf/cm², MOE : 27.5tonf/cm²)의 성능이 구비되었다. 휨탄성계수도 휨강도와 비슷한 경향을 나타냈으나, 박리강도에서는 일정한 경향을 발견할 수 없었다. 박리강도는 KS 기준치 3kgf/cm² 이상으로 파쇄전 원형의 PB보다 다소 높은 값을 나타냈다.

재생 PB 파티클의 중층 혼입에 따라 휨성질(MOR, MOE)은 감소되었지만 오히려 흡수두께팽창률은 낮아졌다. 특히, 재생파티클 혼합비율이 50% 이상인 보드의 경우, 기계적 성질은 저하하였으나 다른 혼합비율의 보드와 비교하여 치수안정성은 뚜렷이 향상되는 결과를 보임으로써, 재생 PB 파티클에 도포경화된 수지가 발수효과를 발휘하는 것으로 추찰된다. 또한, 단층보드에서의 연구결과와 같이, 재생 PB 파티클의 혼입구성으로 그 혼입수준(혼합비율)에 관계없이 보드의 흡수두께팽창률이 KS 기준치인 12% 이하를 전반적으로 충족시키는 결과를 가져왔다.

한편, 데시케이터법에 의해 측정된 포름알데히드방출량은 2.15~3.03mg/ℓ를 나타냈다. 보드공장용 PB파티클만을 사용하여 제조한 보드의 포름알데히드방출량은 2.15mg/ℓ이었으나, 수지가 도포 경화된 재생 PB 파티클을 보드원료로 혼용할 경우 포름알데히드방출량이 약 13~41% 증가되는 결과를 보였으며, 재생 PB 파티클만으로 중층용 PB파티클을 완전 대체한 경우에는 3.03mg/ℓ를 나타냈다. 따라서 재생 PB 파티클을 건전파티클과 적절히 혼용하면 일정수준의 보드성능을 구비할 수 있을 것으로 예측된다.

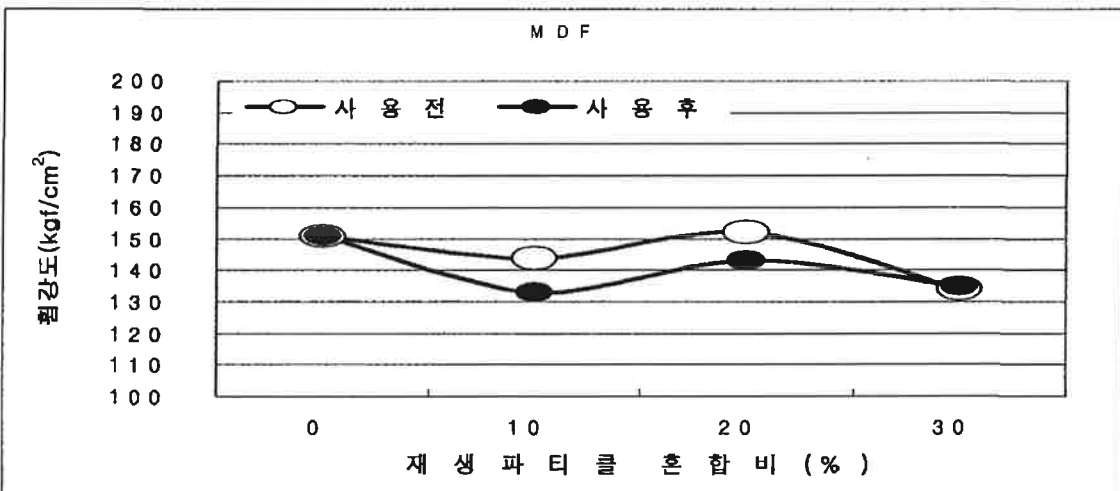
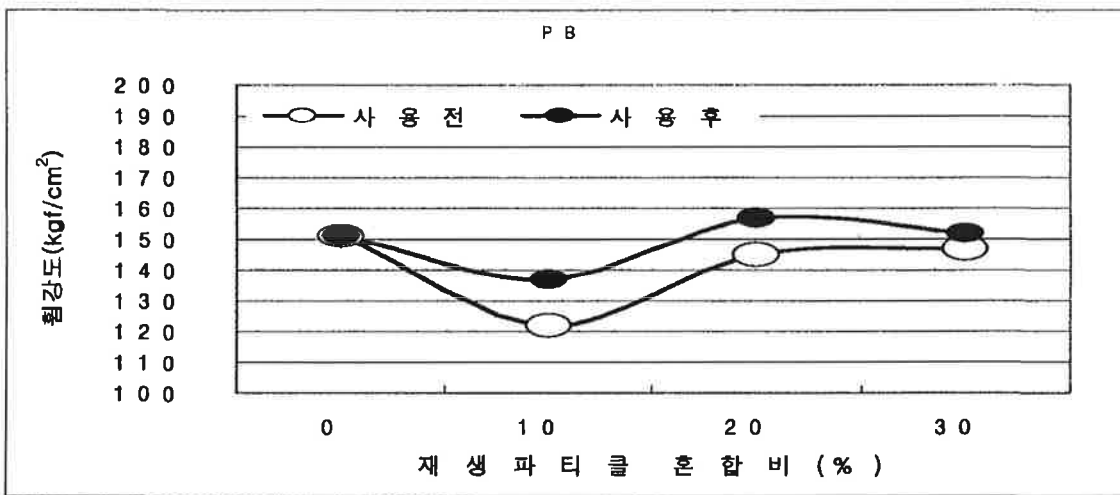
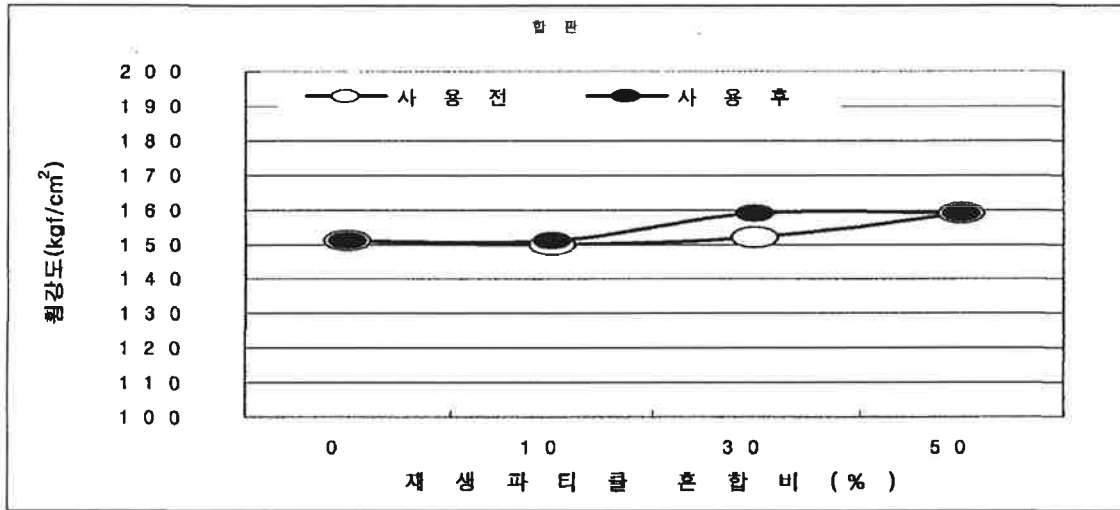
<표 4-6> 재생 PB 파티클 혼합비율별 재생보드의 물리·기계적 성질

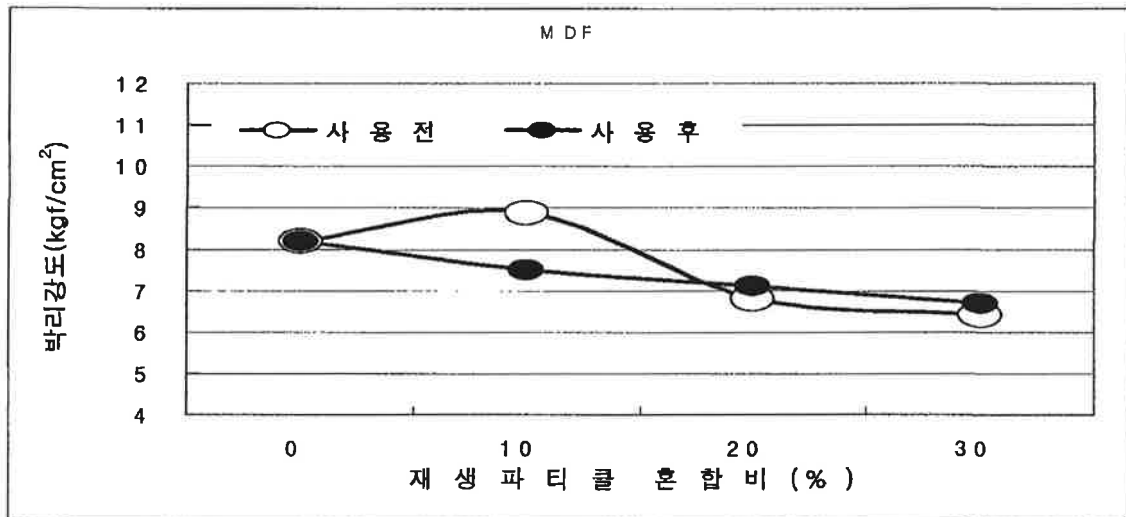
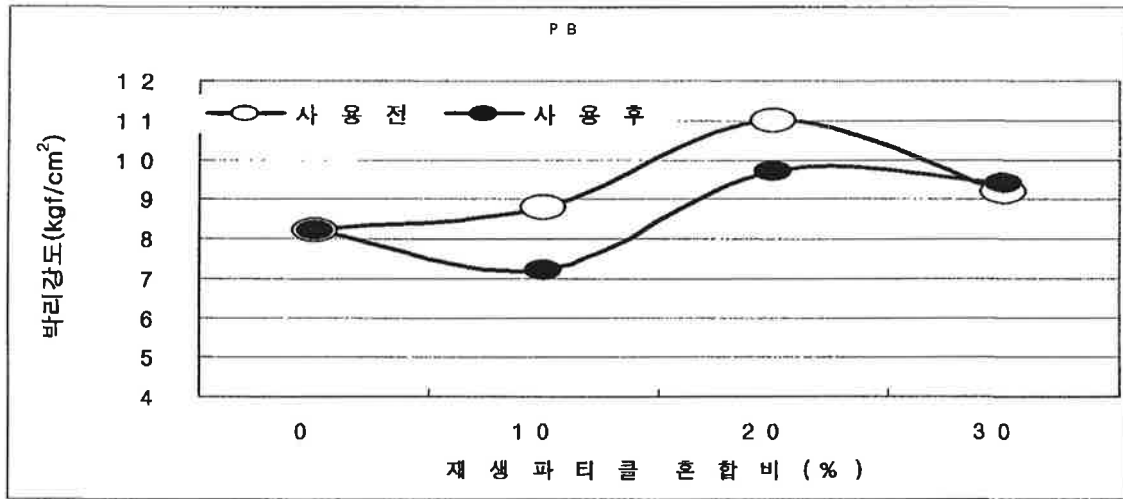
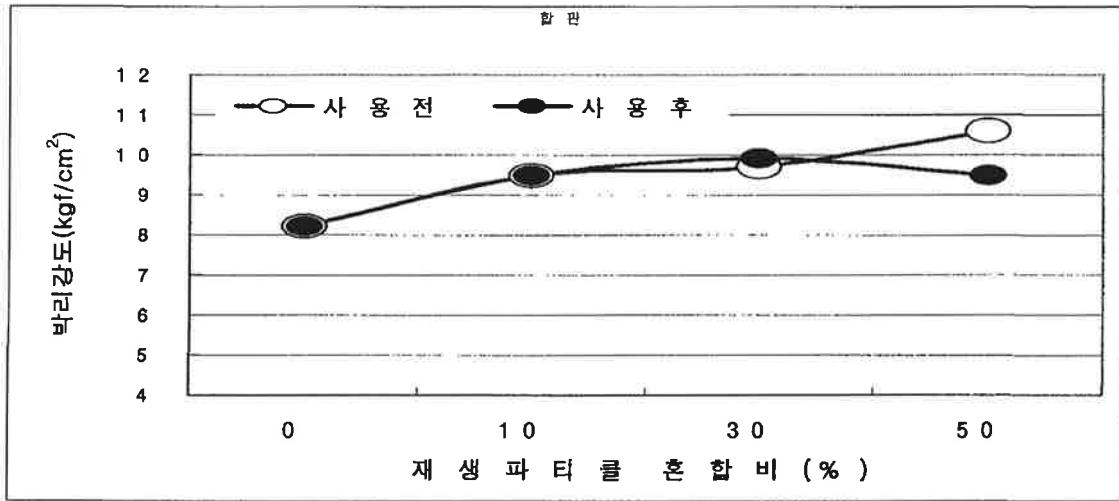
보드중층 구성형태	혼합 비율 (%)	밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨탄성 계 수 (10 ³ kgf/cm ²)	박리 강도 (kgf/cm ²)	흡수두께 팽창률 (%)	흡수율 (%)	포름알데히드 방출량 (mg/ℓ)
	100:0*	0.68	198	34.6	6.5	12.4	50.7	2.15
PB파티클 (공장용) : 재생PB 파티클	90:10	0.69	181	33.1	8.0	11.5	48.8	2.66
	80:20	0.69	163	28.7	6.9	9.6	45.3	2.85
	70:30	0.68	162	30.6	7.4	11.6	49.8	2.56
	60:40	0.67	160	28.4	7.0	9.8	45.1	2.88
	50:50	0.67	145	26.8	6.7	6.5	34.4	2.44
	0:100	0.68	139	24.1	6.7	7.4	38.4	3.03

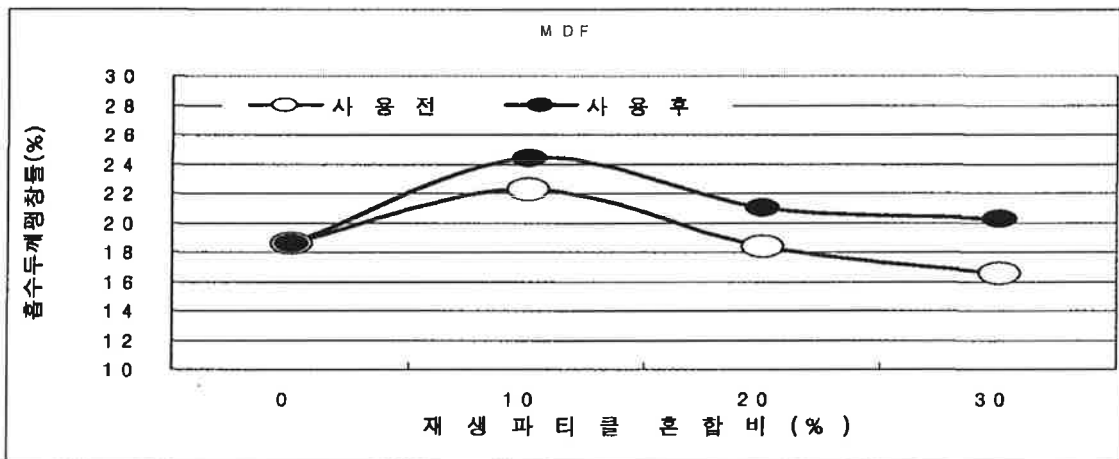
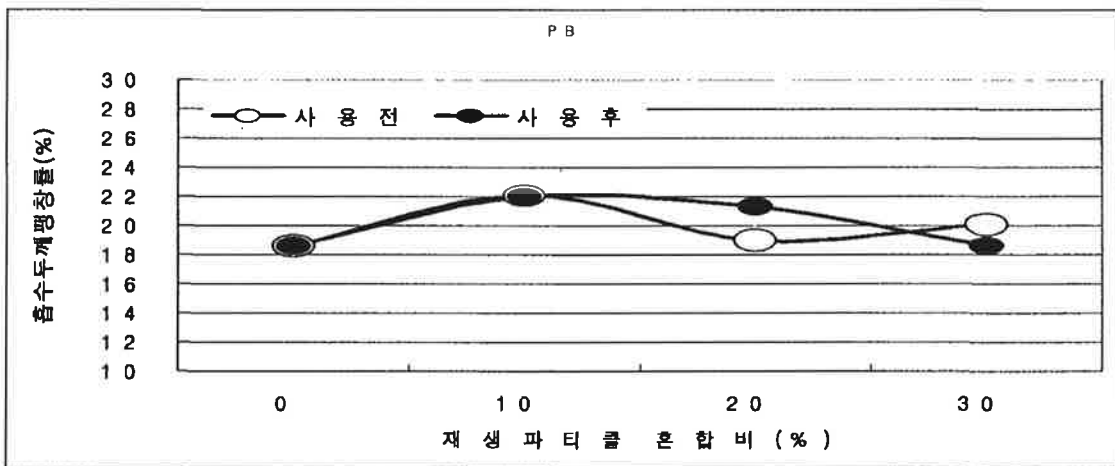
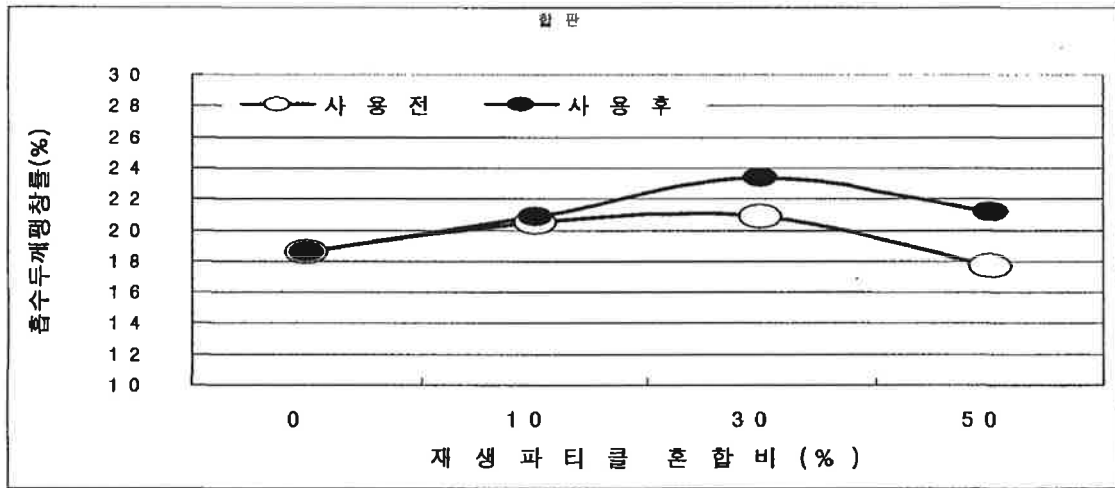
주) * : 실험실에서 Control로 제조한 PB

건전폐목재에 속하는 제재파티클을 보드중층에 구성하고, 이에 대하여 사용전 건전 보드(합판, PB, MDF)와 사용후 폐기보드(합판, PB, MDF)로 구분된 폐목질원료를 종류 및 혼합비율을 달리하여 혼용함에 따른 보드의 물리·기계적 성질은 <그림 4-11>과 같았다.

보드중층내 구성에 있어, 제재파티클에 폐목재 재생파티클을 혼합하는 경우, 합판은 50%, PB는 30%, MDF는 20%까지 혼합하여도 10% 혼합시보다 오히려 강도적 성질(휨성질)이 증가하는 경향을 나타냈으며, 사용전과 사용후 간에 물성차이는 발견되지 않았다. 이는 제재파티클과의 혼합시 재생 PB, MDF파티클이 간격을 메워주는 역할을 하고, 합판 재생파티클 혼입의 경우, 침형 파티클에 의한 기계적인 결합이 증진된 결과로 사료되며, 제재파티클만으로는 중층구성에서 압밀성을 갖추기 어렵다는 사실을 유추할 수 있었다.







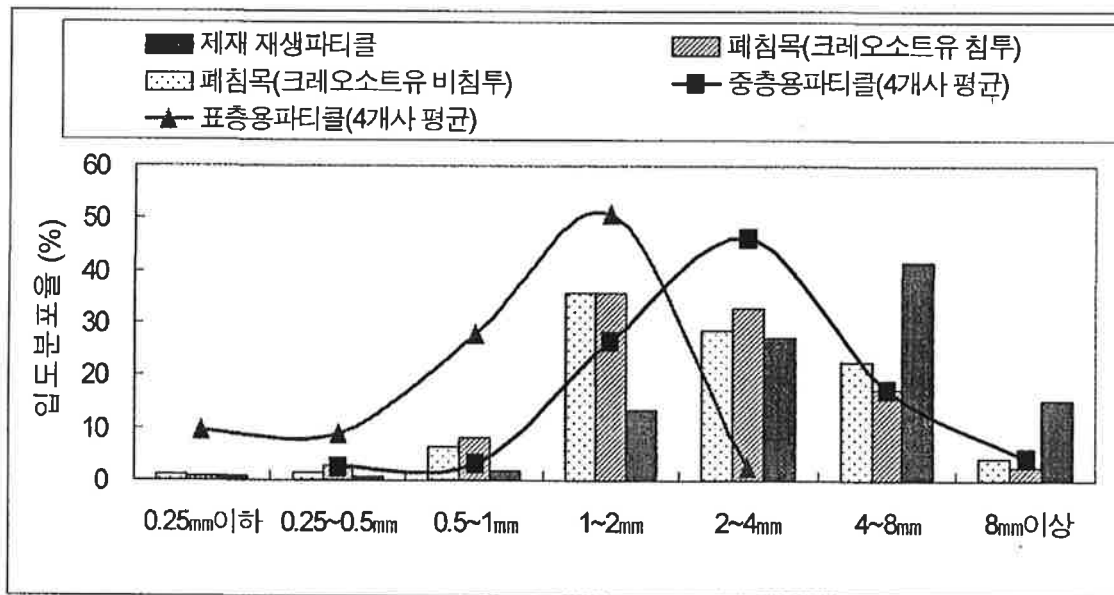
<그림 4-11> 폐목질 재생파티클의 유형(사용전 건전보드, 사용후 폐기보드) 및 혼합비율별 재생보드의 물리·기계적 성질

3) 폐침목을 활용한 재생보드 제조 및 물성

폐침목을 chipper로 1차파쇄한 칩은 비침투분과 침투분의 파쇄형상에 차이가 있었다. 침투분은 파쇄가 용이하였으며, hammer mill에 의한 2차파쇄도 순조로웠다.

폐침목 파티클의 hammer mill 파쇄후 입도분포를 살펴보면 크레오소트유 침투 및 비침투 부위에 있어서 각각 1~2mm 분포율이 35.7% 및 35.8%로 가장 높았고, 2~4mm가 32.8% 및 28.4%, 4mm~8mm가 17.4% 및 22.6%를 나타냈다. 따라서 두 부위에 있어서 1~2mm 분포율이 2~4mm 분포율보다 컸으며, 공장에서 사용하고 있는 보드 중층용 파티클에 비하여 1~2mm 분포율은 크고 2~4mm 분포율은 낮아서 중층용 원료 치수에 미흡한 양상을 나타냈다. 중층용 파티클 입도분포는 1~2mm가 26.6%, 2~4mm가 46.3%, 4~8mm가 17.3%를 차지하여 2~4mm 입자 분포가 가장 큰 형태를 이루고 있다.

크레오소트유 비침투/침투 부위 파쇄분을 비교해 볼 때, 1~2mm 비율은 비슷하였으나 2~4mm에서는 침투부위가 약 5%, 4~8mm에서는 비침투부위가 약 5% 분포비율이 더 큰 경향을 보여줌으로써, 크레오소트유 처리재의 경우 비처리재보다 미세화 경향이 조장됨을 알 수 있었다. 그러나 제재 재생파티클과 비교하여 4mm 이상의 큰 파티클의 분포비율은 현저히 낮은 수준을 보였다.



<그림 4-12> 폐목질원료 유형별 hammer mill 파쇄후 입도분포

본 연구에서 사용한 폐침묵은 전건비중이 0.38~0.97 범위를 보였다. 비중의 高低가 재생보드의 물성에 영향을 미칠 것이므로 그 정도를 살펴보고자, 재생보드 목표비중을 0.70으로 설정하고 폐침묵 원료의 저비중역으로서 0.4~0.6, 고비중역으로서 0.6~0.8로 구분한 다음 파쇄한 파티클로 재생보드를 제조하고 물성을 측정하였다. 그 결과, 저비중 재생파티클에 의해 제조된 보드는 고비중 재생파티클에 의해 제조된 보드보다 강도적 성질은 38~90%, 치수안정성은 22~27% 더 높았다. 그러나 폐침묵에 의한 실제 재생보드 제조시 현장에서 비중을 구분하여 원료화한다는 것은 실효성이 적다는 사실을 고려해야 할 것이다.

따라서, 크레오소트유 비침투 부위, 즉, 건전부위를 재단하여 사용한다는 가정 하에 기존 PB용 중층 파티클에 대하여 5~20% 대체하는 실험과 비침투/침투부위가 혼재된 폐침묵을 그대로 활용한다는 가정 하에 위와 같은 비율로 PB용 중층파티클을 대체하는 실험을 실시하였다. 그 결과로서, 크레오소트유 비침투 또는 비침투/침투 혼재 상태 파티클로서 20% 혼합률까지 혼합하여도 강도적 성질과 치수안정성이 큰 차이가 없이 양호한 결과를 얻음으로써 기존의 PB용 중층 파티클에 대체효과가 있는 것으로 나타났다.

그러나, 실제 내장용 보드를 제조할 경우 크레오소트유 특유의 냄새에 의한 혐오가 문제될 것이므로, 냄새를 감지하지 못하는 미약한 수준으로 폐침묵의 보드원료 이용이 가능할 것이다.

<표 4-7> 폐침묵(비침투 부위)의 비중분류에 따른 재생보드의 물성

폐침묵 비중	보드 밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨탄성계수 (10 ³ kgf/cm ²)	박리강도 (kgf/cm ²)	흡수두께팽창률 (%)	흡수율 (%)
0.4~0.6	0.71	132(1.74)	22.9(1.38)	7.8(1.90)	8.2(0.73)	25.0(0.78)
0.6~0.8	0.71	76	16.6	4.1	11.2	32.1

주) 1. 파쇄된 파티클 그대로 구성하여 단층보드를 제조함.

2. ()내 수치는 폐침묵의 저비중(0.4~0.6)/고비중(0.6~0.8) 물성치의 비율(ratio) 임.

<표 4-8> 폐침목의 크레오소트유 비침투부위 혼합물별 재생보드의 물성

크레오소트유 비침투부위 : PB용 중층파티클 혼합비율 (%)	밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨탄성계수 (10 ³ kgf/cm ²)	박리강도 (kgf/cm ²)	흡수두께 팽창률 (%)	흡수율 (%)
5 : 95	0.69	145	26.7	5.7	16.2	71.1
10 : 90	0.72	137	26.6	5.8	18.2	67.5
15 : 80	0.69	147	27.9	8.1	15.7	65.3
20 : 80	0.70	167	28.3	8.9	15.0	63.3

주) PB공장용 표층 파티클을 사용하여 3층 보드를 제조함.

<표 4-9> 폐침목의 크레오소트유 처리 파티클의 혼합물별 재생보드의 물성

Creosote유 처리분* : PB용 중층파티클 비율(%)	밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨탄성계수 (10 ³ kgf/cm ²)	박리강도 (kgf/cm ²)	흡수두께 팽창률(%)	흡수율(%)
5 : 95	0.71	153	27.8	8.5	16.3	66.4
10 : 90	0.71	154	28.6	7.2	14.0	60.9
15 : 85	0.71	166	30.2	7.6	15.2	67.9
20 : 80	0.70	167	30.6	7.5	14.9	63.3

주) 1. PB공장용 표층 파티클을 사용하여 3층 보드를 제조함.

2. * : 비침투분 61(%)과 침투분 39(%)를 혼합하여 보드용 원료로 함.

[폐침목 24cm(폭)×15cm(두께)의 크레오소트유 침투깊이 2cm 이하 근거하여 체적 산출]

한편, 추출처리한 폐침목 파티클을 재구성한 3층보드의 물성은 <표 4-10>과 같았다. 폐침목 파티클 혼합에 따라 휨강도가 다소 감소하였으나, 10%와 20% 간에는 차이가 없었으며, 30% 혼합시 폐침목 비혼입 파티클보드(실험실 제조)에 비하여 약 11% 휨강도가 감소하는 경향을 나타냈다. 그러나 흡수두께팽창률로 미루어 본 치수안

정성은 이전의 실험에서도 확인되었듯이 폐침목 파티클 20% 혼입시 PB(무처리)에 비하여 9% 향상되는 효과가 있었다. 폐침목을 추출처리하더라도 잔존된 크레오소트유 성분이 발수작용을 하는 것으로 유추되었다.

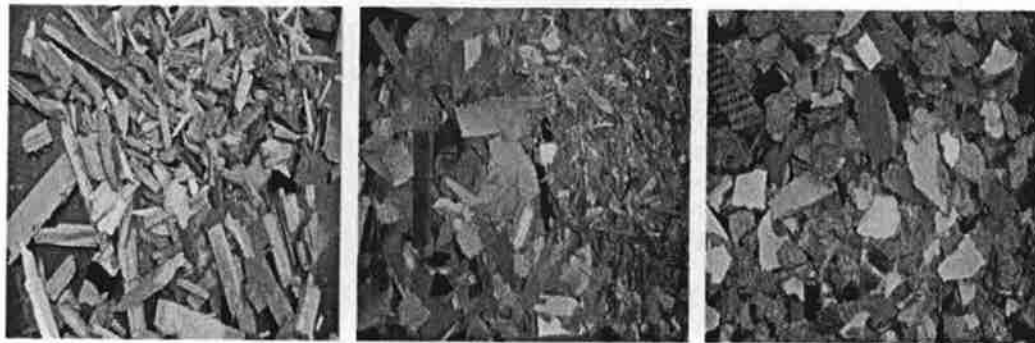
<표 4-10> 추출처리 폐침목 파티클을 재구성한 보드의 물성

혼합비율(%)		휨강도 (kgf/cm ²)	휨탄성계수 (10 ³ kgf/cm ²)	박리강도 (kgf/cm ²)	흡수두께 팽창률 (%)	흡수율 (%)
PB용 중층 파티클	추출처리 폐침목파티클					
100	0	187	32.8	10.2	19.1	72.7
90	10	178	32.2	8.7	19.2	67.9
80	20	177	32.5	8.0	17.3	63.8
70	30	167	31.4	7.8	17.9	56.8

4) 생활폐목재 혼합에 따른 재생보드의 물성

건전폐목재라고 할 수 있는 제재파티클에 생활폐목재를 혼입코자 인천 파티클보드 공장에서 사용 중인 생활폐목재를 분양받아 보드원료로 사용하였다. 생활폐목재의 소재 구성형태는 <그림 4-13>과 같았다. 생활폐목재의 소재별 구성비율은 합판(32.5%) > PB(29%) > 제재(20.5%) > MDF(15.8%) > 이물질(2.5%) 순이었다. 분류후 다시 섞어 hammer mill로 파쇄하여 파티클을 얻은 다음 건조·선별하여 보드원료로 혼입 구성하였다.

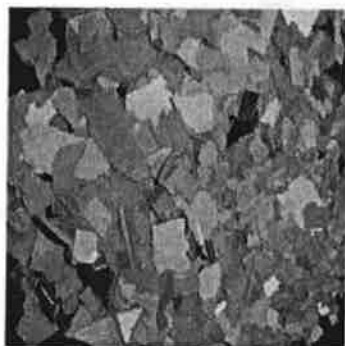
보드중층내 제재파티클과 생활폐목재파티클의 혼합에 따른 보드의 물성은 <표 4-11>과 같았다. 제재 파티클에 생활폐목재 파티클의 혼입에 따라 휨성질의 감소경향이 있었다. 이러한 현상은 제재 파티클의 비중이 생활폐목재보다도 낮은 데 연유하여 성형시 매트높이가 전자의 경우 54mm, 후자의 경우 50mm로 낮은 것으로 미루어 생활폐목재 파티클 혼입이 증가함에 따라 압축도(compaction ratio)가 낮아진 데 그 원인을 찾을 수 있다. 따라서 생활폐목재 혼합률 10~30% 간에는 휨강도의 큰 차이가 없었으며, 혼합률 40%에서도 보드 13형(KS F 3104, MOR 133kgf/cm², MOE 25.5tonf/cm²)을 구비하였다.



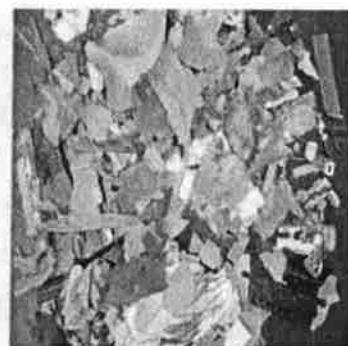
제재

합판

PB



MDF



이물질

<그림 4-13> 생활폐목재의 소재 구성형태

<표 4-11> 건전파티클(제재)에 대한 생활폐목재 파티클 혼합비율별 재생보드의 물성

중 중 혼합비율(%)	밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨탄성계수 (10 ³ kgf/cm ²)	박리강도 (kgf/cm ²)	흡수두께 팽창률 (%)	흡수율 (%)	포름알데히드 방출량 (mg/l)	
제재 생활 폐목재								
100	0	0.69	162	29.7	8.7	12.0	39.8	2.01
90	10	0.69	147	28.3	7.8	15.4	51.5	1.58
80	20	0.70	145	29.0	7.6	16.0	50.8	1.80
70	30	0.70	143	27.0	7.4	16.1	52.2	1.98
60	40	0.71	135	26.7	7.5	16.3	45.3	2.01
50	50	0.71	144	28.8	7.3	13.2	41.5	1.87
0	100	0.71	126	25.3	4.5	14.7	45.3	1.92

박리강도는 생활폐목재 50% 혼입까지 7.3~8.7kgf/cm²로 중층 전체를 생활폐목재 파티클로 구성한 경우(4.5kgf/cm²)보다 큰 경향을 나타냈다. 치수안정성의 지표인 두께팽창률은 생활폐목재 파티클 혼입에 의해 다소 증가하는 경향을 얻었다. 포름알데히드 방출량은 생활폐목재 혼합률에 따른 일정한 경향을 얻을 수 없었으며 E₂형(5mg/l 이하)에 속하였다.

과쇄 목질형태가 막대기형 또는 침형으로 세장비가 비교적 큰 것으로 알려진 제재·합판 파티클, 즉 건전폐목재 파티클간의 보드중층구성 혼합률을 달리함에 따른 재생보드의 물성은 <표 4-12>와 같았다.

휨성질은 제재 파티클에 합판 파티클의 혼합비율이 커질수록 감소하였다. 그러나 합판 파티클을 50%까지 혼합하여도 MOR가 170kgf/cm² 이상 수준을 유지하며 제재만을 중층에 구성한 보드와 차이를 나타내지 않았다. 본 실험에서와 같이 제재·합판 재생파티클만으로 중층을 구성한 경우, 제재 대비 합판 파티클의 혼합비율이 커질수록 휨성질과 박리강도는 감소되지만 치수안정성은 개선되는 경향을 나타냈다.

<표 4-13>에서와 같이, 생활폐목재와 혼입시에는, 제재 대비 합판의 파티클 비율이 커질수록 휨성질은 증가하고, 박리강도는 다소 감소하였으며, 치수안정성은 향상되는 경향을 나타냈다.

<표 4-12> 제재·합판 파티클의 혼합률에 따른 재생보드의 물성

중층 혼합비율(%)		밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨탄성계수 (10 ³ kgf/cm ²)	박리강도 (kgf/cm ²)	흡수두께팽창률 (%)	흡수율 (%)
제재	합판						
100	0	0.73	181	33.2	10.6	10.0	35.2
90	10	0.71	189	32.2	10.0	9.9	32.4
70	30	0.70	173	31.9	8.7	7.2	27.4
50	50	0.69	173	29.7	6.2	6.9	35.0
30	70	0.69	169	29.4	6.0	5.3	29.2
10	90	0.69	165	28.7	4.0	6.3	28.1
0	100	0.71	160	27.7	5.1	6.4	23.4
표·중층파티클 (공장용)		0.72	181	30.2	7.4	7.7	29.6

휨강도 173kgf/cm²를 나타낸 제재 : 합판 비율 50 : 50 및 70 : 30에 있어 생활폐목재 비율을 10~30%로 달리 하면서 물성변화를 살펴보았다. 제재 : 합판 파티클 비율이 50 : 50인 경우, 생활폐목재 10~30% 간에는 뚜렷한 우열경향이 나타나지 않았으며 생활폐목재를 혼입하지 않은 PB보다 강도가 컸다. 한편, 제재 : 합판 파티클 비율이 70 : 30인 경우에는 생활폐목재 혼입률이 커짐에 따라 휨성질이 다소 향상되는 경향이 나타났다.

위의 결과를 종합하면, 국내 보드원료 수급사정이 원활하지 못한 상황을 고려할 때, 건전폐목재(제재, 합판) 파티클에 생활폐목재 파티클을 적정 비율 혼합사용하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 따라서 생활폐목재를 적정 혼입함으로써, 현재 유통되는 파티클보드 수준의 13형 또는 15형 보드조건을 구비할 수 있을 것으로 여겨진다.

향후, 생활폐목재를 보드공장에서 본격적인 원료로 투입시 이 폐목재 유형간의 혼합비율에 따른 물성의 추이를 살펴봄으로써 보드 제조·이용의 활성화를 기할 수 있을 것으로 기대된다.

<표 4-13> 건전폐목재 혼입분(제재·합판)과 생활폐목재 혼합비율별 재생보드의 물성

중층 구성 및 혼합비율(%)			휨강도 (kgf/cm ²)	휨탄성계수 (10 ³ kgf/cm ²)	박리강도 (kgf/cm ²)	흡수두께 팽창률 (%)	흡수율 (%)
제재 : 합판 비율	제재·합판 파티클	생활폐목재 파티클					
50 : 50	90	10	198	33.7	8.1	11.8	40.7
	80	20	185	33.2	7.9	11.3	42.9
	70	30	198	32.9	7.2	13.4	43.7
70 : 30	90	10	155	30.0	11.2	15.0	55.2
	80	20	174	32.4	10.8	13.6	45.6
	70	30	180	33.2	8.5	14.9	49.1
PB*			181	30.2	7.4	7.7	29.6

주) * : 보드공장의 표·중층 파티클을 사용하여 실험실에서 제조한 파티클보드

다. 결과 요약

- 1) 재생보드(단층)의 휨성질은 합판 > PB(실험실 제조, PB공장 파티클 사용) > 제재 > Tegofilm 오버레이 합판, MDF > 폐침목 재생보드 > PB(공장제), LPL오버레이 PB 경향을 나타냈다.
- 2) 보드중층에 구성된 폐목질원료 종류별 재생보드(3층)의 휨성질 및 박리강도는 제재 > 합판 > PB > MDF, 흡수두께팽창률은 차이가 근소하지만 PB > 제재 > 합판 > MDF의 경향을 보였다. 따라서 단층보드에서와 같이 재생보드의 치수안정성은 재생 PB 파티클 구성의 경우 이미 도포·경화된 수지에 의하여 증가효과가 있었으며, 제재 파티클은 목질이 흡수에 더 민감하여 치수 불안정의 성향을 나타냈다.
- 3) 재생 PB 파티클을 중층에 혼합한 보드의 휨강도는 재생파티클 비율 20~40% 혼합간에 유의차가 없었으며, 재생 PB 파티클의 혼입률이 높아짐에 따라 휨성질이 저하되지만, 재생 PB 파티클의 혼합비율 40% 이하에서 보드 15형(MOR : 153kgf/cm², MOE : 27.5tonf/cm²)의 성능을 구비할 수 있었다.
- 4) 폐침목을 hammer mill 파쇄한 경우, 크레오소트유 칩투부위가 비칩투부위보다 4mm 이하 입도 분포비율이 큼으로써 미세화 하는 경향이 있었다. 한편, 폐침목을 재활용한 보드의 물성에 있어서는, 크레오소트유 비칩투부위 또는 폐침목 그대로 파쇄한 파티클을 기존 PB공장의 중층용 파티클에 20%까지 대체 혼용하여도 강도적 성질을 저하시키지 않고 치수안정성이 오히려 향상되는 경향이 있었다.
- 5) 제재 파티클에 생활폐목재 파티클의 혼입에 따라 휨성질의 감소경향이 있었다. 이러한 현상은 제재가 생활폐목재보다도 비중이 낮아 압축도가 커진 데 따른 결과로 보인다. 또한, 생활폐목재 혼입률 10~30% 간에는 휨강도의 큰 차이가 없었으며, 혼입률 40%에서도 보드 13형(MOR 133kgf/cm², MOE 25.5tonf/cm²)을 구비하였다.
- 6) 건전폐목재 파티클(제재, 합판)간의 보드중층구성 혼입률을 달리함에 따른 재생보드의 휨성질과 박리강도는 제재 대비 합판 파티클의 혼입비율이 커질수록 감소되지만 치수안정성은 개선되는 경향을 나타냈다.

5. 공정요인별 재생보드의 물성

가. 재료 및 방법

1) 실험재료

본 연구용 보드원료는 공장용 표층 및 중층용 파티클로서 표층용은 20~80mesh, 중층용은 3~20mesh 선별분을 사용하였다.

2) 실험방법

본 연구는 공장조건과 실험실적인 조건에서의 제조공정 차이에서 비롯되는 보드의 물성추이를 살펴보고자, 밀도, 충구성비, 함지율 및 열압조건(열압온도, 압체압력)을 달리하여 보드를 제조하고, 그 물성을 살펴보았다. 열압조건 시험시에는 압체시 보드 중층 내부의 경화거동을 살펴보고자, 열전대를 중층에 삽입하여 열압온도별 내부 상승온도를 측정하였다.

나. 연구 결과

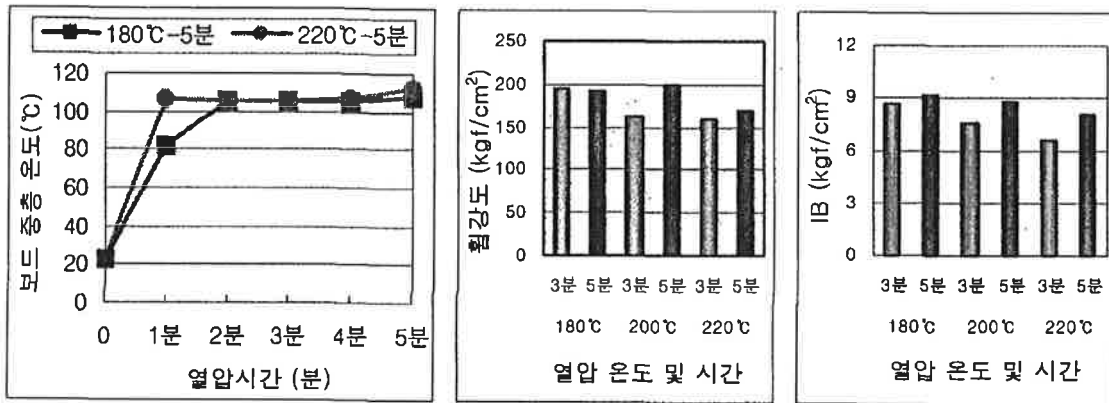
1) 접착·성형·열압조건에 따른 재생보드의 제조 적성

<그림 4-14>와 같이 열압시간 5분 시험에서 열압온도 180℃는 2분, 220℃는 1분내에 중층내부온도가 105℃ 이상에 도달하여, 3분 정도 105~106℃를 유지하였다. 4분 경과후 5분 도달시점에서, 중층내부온도는 열압온도 220℃ 경우(111.7℃)가 열압온도 180℃경우(107.3℃)보다 약 4℃ 높은 범위에서 온도가 재상승하는 현상을 나타냈다.

열압조건 중 열압시간에 따른 보드의 기계적 성질은 <그림 4-15>와 같이, 5분 > 3분의 경향을 나타냈다. 열압시간 3분에서는 휨성질이 180℃ > 200℃, 220℃, 5분에서는 200℃, 180℃ > 220℃ 크기경향을 나타냈다. 한편 180℃에서는 휨성질에 있어 3분과 5분간의 시간효과가 거의 없었다. 따라서 적정한 열압조건은 200℃-5분으로 나타났다.

재생보드의 목표밀도를 0.65g/cm³와 0.7g/cm³로 달리하여 구성한 경우, 휨강도가 123kgf/cm² 및 168kgf/cm²로 차이가 있었다. 그리고 충구성비와 함지율과는 상관성이 있는 것으로 나타난 바, 목표밀도 0.7g/cm³에서 강도적 성질(휨성질, 박리강도)은 충구성비 35 :

65의 함지율 11 : 9 구성 > 층구성비 40 : 60의 함지율 12 : 8 구성 > 층구성비 40 : 60의 함지율 11 : 9 구성의 크기경향을 나타냈다. 따라서 표층에 상대적인 중층의 구성비와 함지율을 약간 높이는 것이 강도발현에 유리하게 작용하였다.



<그림 4-14> 열압온도별 보드중층 <그림 4-15> 열압온도 및 시간에 따른 보드의 내부의 온도상승 추이 기계적 성질

<표 4-14> 보드구성조건(보드의 목표밀도, 층구성비 및 함지율)에 따른 보드의 물성

목표밀도 (g/cm³)	층구성비 (표층 : 중층)	함지율(%) (표층 : 중층)	휨강도 (kgf/cm²)	휨탄성계수 (10³kgf/cm²)	박리강도 (kgf/cm²)	흡수두께 팽창률 (%)	흡수율 (%)
0.65	40 : 60	12 : 8	123	23.7	7.4	21.7	78.9
	35 : 65	11 : 9	178	29.2	10.3	20.3	70.7
0.7	40 : 60	11 : 9	150	26.7	8.9	22.7	72.1
	40 : 60	12 : 8	168	28.3	9.3	22.2	75.2

다. 결과 요약

- 열압시간에 따른 보드의 기계적 성질은 5분이 3분보다 컸고, 열압시간별 휨성질은 3분에서 180°C > 200°C, 220°C, 5분에서 200°C, 180°C > 220°C의 경향을 나타냈다.
- 목표밀도 0.7g/cm³에서 강도적 성질(휨성질, 박리강도)은 표층에 상대적인 중층의 층구성비와 함지율을 약간 높이는 것이 강도발현에 유리하게 작용하였다.

6. 폐목질원료의 전처리에 따른 파쇄특성

가. 재료 및 방법

1) 실험재료

본 연구에 사용된 폐목질원료는 제재, 합판, PB로서 chipper로 strip을 1차파쇄하여 칩을 제조하고 전처리를 한 다음 hammer mill로 2차파쇄한 파티클을 얻었다.

2) 실험방법

본 연구에서는 제재, 합판, 파티클보드 등 폐목질원료의 파쇄칩에 대하여 파쇄에 미치는 함수율의 영향을 살펴보고자 조습을 위하여 포습처리와 증기가열처리에 의한 전처리를 실시하였다. 특히, 생활폐목재(폐가구 등) 중 하나인 파티클보드의 재활용 촉진 차원에서, 보드제조시 압축되어 취성(brittleness)을 지니는 파티클보드의 파쇄편이 증기가열처리에 의하여 증습·연화되어 파쇄특성에 어떠한 영향을 미치는지를 살펴보고자 하였다. 아울러, 증기가열처리한 파티클보드 파쇄편내에 잔존하는 포름알데히드 함유량을 측정코자 하였다.

폐 파티클보드의 전처리시험에 사용한 원료는 칩퍼로 1차 파쇄한 칩으로서, 전처리 효과 파악을 위하여 소정의 입도 이상의 칩을 선별·사용함으로써 가루칩을 제외하였으며, 전처리후 2차파쇄하고 건조한 재생파티클에 대하여 입도분포를 측정하였다. 전처리방법은 <표 4-15>와 같이 하여 전처리 전후의 함수율을 측정하였으며, 전처리가 끝난 조대칩을 해머밀로 2차파쇄하여 파티클을 조제하였다. 전처리만의 효과를 파악하고자 파쇄칩을 균일한 칩, 즉, 4mm 또는 8mm mesh로 선별하여 체 위에 남는 것을 사용하였다. 이후 파티클을 건조한 다음 체선별기로 선별하여 입도분포를 측정하였다.

<표 4-15> 폐목재의 전처리시험 조건

처리구분	전처리용 원료	시험 조건
포습처리	제재, 합판, PB	항온항습기를 사용하여 온도 20℃, 습도 98%에서 3일 실시
증기가열 처리	PB	가압부(autoclave)를 사용하여 100℃에서 20분, 30분, 40분 및 120℃에서 30분 실시

나. 연구 결과

1) 폐목질원료의 전처리에 따른 파쇄특성

파티클보드 원료용 폐목재가 현장에서 야적되거나 재생칩공장의 파쇄공정에서 물 분무에 의하여 증습되는 것을 예상할 수 있고, 실제 재생칩 함수율이 섬유포화점(약 30%) 수준으로 보드공장에 공급되고 있음에 비추어, 본 실험에서와 같이 포습처리에 의하여 칩의 함수율을 조정해 볼 필요가 있었다.

본 연구 결과, 포습처리후 함수율은 제재가 26%, 합판이 24%, PB가 22%로서, 대체로 섬유포화점에 접근하였다. 포습처리후 파쇄 파티클의 입도분포는 해머밀 파쇄가 플레이커 파쇄보다 비교적 큰 입자인 2~4mm 분포율이 큰 편이었다. 또한, 포습처리에 의하여 비처리시보다 2~4mm 메쉬분이 1~2mm 메쉬분보다 많음으로써 큰 파티클 획득에 유리한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

한편, autoclave에 의한 증기가열처리는 100℃에서는 釜內가 상압으로 유지되면서 칩의 함수율이 증가하였으며, 120℃ 가열의 경우는 1.5~2기압 정도의 가압상태로 되면서 칩의 함수율 증가는 100℃ 가열에는 못 미쳤다. 따라서 100℃ 증기가열처리가 120℃ 증기가열처리 또는 비처리보다 2mm 이상의 큰 입자 파티클 획득에 유리하였다.

<표 4-16> 포습처리후 파쇄한 재생파티클의 입도분포

파티클 파쇄		입 도 (mm)						
종류	형태	0.25 이하	0.25~0.5	0.5~1	1~2	2~4	4~8	8 이상
제 재	H	0.5 (0.7)	0.8 (0.6)	2.6 (1.8)	9.9 (13.3)	41.6 (27)	40.0 (41.5)	4.6 (15.1)
	F	0.5 (0.3)	0.9 (0.7)	3.1 (4.2)	11.5 (32.6)	46.2 (37.2)	29.4 (16.9)	8.4 (8.1)
합 판	H	2.1 (1.9)	3.4 (1.7)	6.5 (5)	14.8 (30.1)	51.1 (38.7)	18.6 (21.1)	3.5 (1.5)
	F	1.1 (1.4)	2.4 (2.0)	5.7 (7.9)	15.5 (36)	37.0 (26.7)	18.6 (16.7)	19.7 (9.3)
PB	H	2.4 (3.4)	5.7 (3.7)	13.0 (20)	29.7 (32.2)	40.6 (33.2)	8.3 (7.2)	0.3 (0.3)
	F	3.2 (3.3)	8.5 (5.9)	16.5 (19.5)	36.8 (48.1)	27.6 (20)	5.7 (2)	1.7 (1.2)
중 층	H	-	2.3	3.2	26.6	46.3	17.3	4.3
표 층	H	9.6	8.9	28.1	50.8	2.6	-	-

주) 1. H : Hammer mill, F : Knife ring flaker

2. ()내 수치는 포습처리를 하지 않은 재생파티클의 입도분포율임.

<표 4-17> 증기가열처리후 파쇄한 재생 PB 파티클의 입도분포

증기처리	파쇄	입 도 (mm)							
		구 분	형태	0.25이하	0.25~0.5	0.5~1	1~2	2~4	4~8
100℃	H		3.2	6.5	12.7	28.2	39.7	9.4	0.3
	F		3.1	7.9	14.2	40.6	30.3	3.3	0.6
120℃	H		2.7	7.2	14.5	31.5	36.9	7.0	0.2
	F		3.2	8.8	16.6	42.8	26.1	2.3	0.2
비처리	H		3.6	6.9	12.8	32.5	36.4	7.5	0.3
	F		4.0	9.0	15.5	45.0	22.7	2.9	0.9

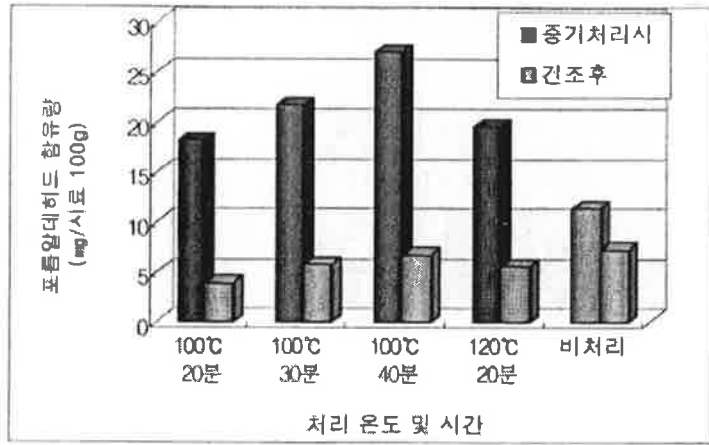
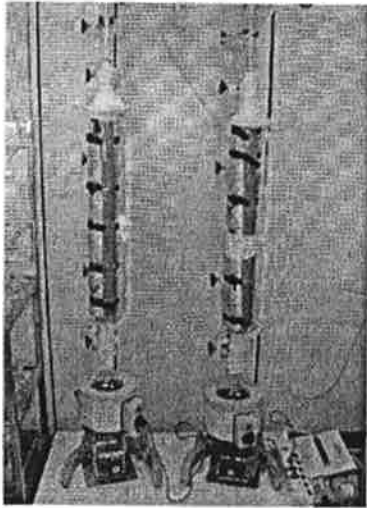
주) H : Hammer mill, F : Knife ring flaker

2) 증기가열처리한 재생PB칩의 포름알데히드 함유량

본 연구를 위하여, 증기가열처리조건은 100℃에서 20분, 30분, 40분 및 120℃에서 30분으로 하였다. 각 조건에 따라 증기처리한 PB 칩 100g씩을 채취하여 perforator법에 의해 포름알데히드 함유량을 측정하였다. 그 결과, 100℃에서 40분 처리(26.9mg, 함유율 12.3%) > 100℃에서 30분 처리(21.6mg, 함유율 11.3%) > 120℃에서 30분 처리(19.6mg, 함유율 10.6%) > 100℃에서 20분 처리(18.2mg, 함유율 11.5%) > 비처리(11.3mg, 함유율 6.7%) 순의 포름알데히드 함유량을 나타냈다.

밀폐된 가압부내 칩의 증기가열처리에 의해 포름알데히드 함유량이 증가된 것은 perforator 추출시 가열에 의하여 PB칩 시료의 경화된 요소수지의 가역반응 또는 접착경화층의 가수분해가 촉진되어 포름알데히드의 유리가 증가된 데 연유한 것으로 유추되었다. 그러나 그 후 건조시킨 전처리 파티클의 포름알데히드 잔류상태를 파악한 결과, 비처리(7.2mg, 함유율 1.6%) > 100℃에서 40분 처리(6.7mg, 함유율 1.8%) > 100℃에서 30분 처리(5.7mg, 함유율 3.1%) > 120℃에서 30분 처리(5.5mg, 함유율 2.5%) > 100℃에서 20분 처리(3.9mg, 함유율 1.2%)의 경향을 나타냈다.

본 연구 결과, <그림 4-16>에서와 같이 증기가열처리후 건조처리(bake-out)에 의하여 칩내 잔존하는 포름알데히드의 감소효과를 얻을 수 있었다.



<그림 4-16> 전처리 칩의 포름알데히드 측정장치(perforator) 및 포름알데히드 함유량

다. 결과 요약

- 1) 20°C, 98%로 포습처리후 폐목재 칩의 함수율은 제재가 26%, 합판이 24%, PB가 22%로서 섬유포화점에 근접하였다. 포습처리후 파쇄 파티클의 입도분포는 해머밀 파쇄가 플레이크 파쇄보다 비교적 큰 입자인 2~4mm 분포율이 높은 편이었으며, 포습처리에 의하여 비처리시보다도 2~4mm mesh > 1~2mm mesh의 회수 경향을 얻었다.
- 2) Autoclave에 의해 재생PB칩을 증기가열처리한 결과, 상압상태의 100°C처리는 가압상태의 120°C처리보다도 칩 함수율이 다소 증가하였으며, 120°C처리와 비처리보다도 2mm mesh 이상의 큰 파티클 획득에 유리하였다.
- 3) Perforator법으로 측정한 경우, 증기가열처리한 재생PB칩내 포름알데히드 함유량은 비처리보다도 증가하였으나, 건조처리(bake-out) 후 큰 폭으로 감소하였다.

7. 내화성 재생보드 제조 특성

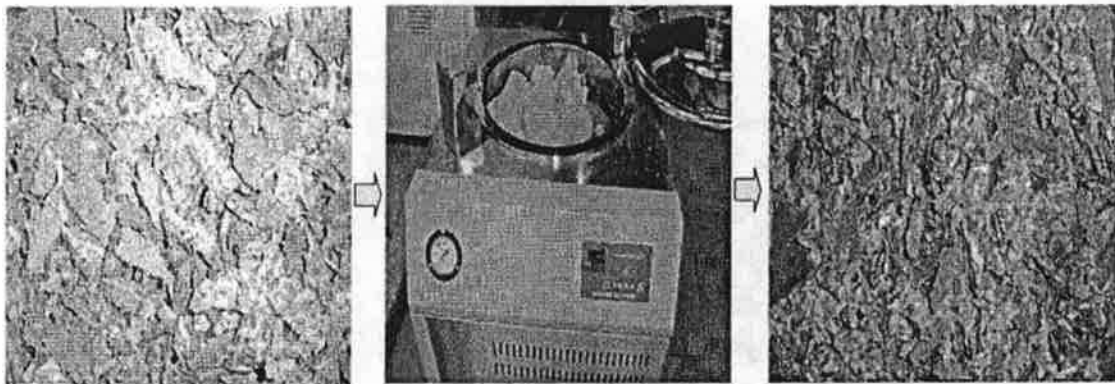
가. 재료 및 방법

1) 실험재료

본 연구에 사용된 폐목질원료는 폐 파티클보드칩 및 제재칩이었으며, 균일한 내화처리 및 파쇄효과를 감안하여 8mm 이상 크기를 선별하여 사용하였다. 내화약제로서는 제2인산암모늄($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$), 붕산(H_3BO_3)과 붕사($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)의 50 : 50(%) 혼합제였다.

2) 실험방법

본 연구에서는 재생PB칩의 수침가열에 의한 팽윤효과를 피하는 동시에 내화처리를 실시한 내화성 보드를 제조하기 위하여, 1차적으로 재생PB칩만으로 내화처리하여 보드의 물성과 내화성을 탐색하였으며, 2차 강도보완 측면에서 제재칩과 재생PB칩 내화처리 파티클을 70 : 30 비율로 중층에 구성함으로써 내화성과 아울러 보드물성의 향상을 꾀하였다 <그림 4-17>.



<그림 4-17> Autoclave를 이용한 재생PB칩의 내화처리

3층 내화성 보드 제조조건 구명을 위하여, 1, 2차 연구에서 내화성이 뛰어난 약제로 알려져 있는 인산암모늄계 내화제(제2인산암모늄), 인체유해성이 낮으며 내화·방충성을 고루 갖춘 약제(붕산·붕사의 50 : 50 혼합약제)를 50 : 50, 60 : 40, 70 : 30 비율

로 혼합하여, 농도 30%의 수용액상 약제를 조제하여 사용하였다.

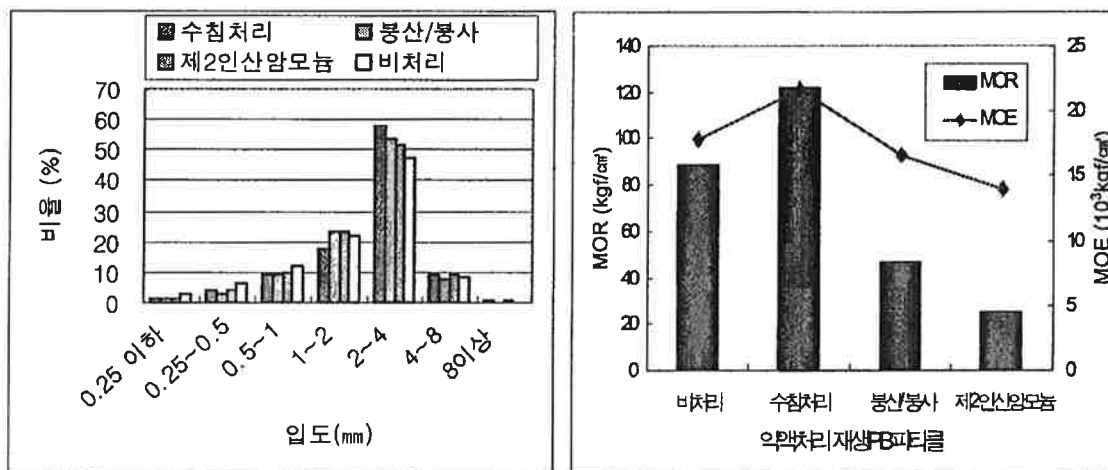
표층파티클 및 중층용 칩(PB, 제재)을 autoclave내에서 60℃ 1시간 수침가열하면서 내화처리한 다음, 1일 이상 풍건하여 수분을 배제한 상태로 칩을 hammer mill로 파쇄하여 파티클을 제조하였다. 그 후 건조기내에서 표층용 및 중층용 내화처리 파티클을 함수율 3% 이하로 건조하여 보드제조시 사용하였다.

나. 연구 결과

1) 폐 파티클보드칩의 내화처리 및 보드중층 구성에 따른 보드의 물성

1차적으로, 제2인산암모늄 및 붕산·붕사 50 : 50(%) 혼합 내화제를 40℃ 가온 수용액 상태에서 녹인 다음, 폐 파티클보드칩을 침지하여 팽윤·약제처리시험을 하였다.

<그림 4-18>과 같이 약제처리 또는 수침, 비처리된 칩을 파쇄·건조하여 얻은 파티클의 입도(2~4mm) 분포율은 수침처리(57.7%) > 붕산·붕사 혼합제(54.0%) > 제2인산암모늄(51.8%) > 비처리(47.3%)의 경향을 나타냈다. 이와 같이 처리된 파티클로 단층보드를 제조한 바, 비처리에 비하여 수침처리는 보드물성이 향상되었으나, 약제처리 보드의 휨성질은 저하되었다. 따라서 재생PB칩의 팽윤과 약제처리 효과 증대를 가져 오면서 보드물성을 증진시키고 내화성을 평가하는 실험이 필요하였다.



<그림 4-18> 재생PB칩의 내화약제 수침가열처리에 따른 파티클의 입도분포(좌) 및 내화처리 보드의 휨성질(우)

2차적으로, 재생PB칩을 60℃ 1시간 수침 및 농도 30% 내화처리조건으로 약제 혼합물간의 실험을 실시한 결과는 <표 4-18>과 같았다. 표층용 파티클은 미세파티클이 많이 포함되어 표면적이 커서 약제보유율이 높았으며, 재생PB칩의 약제보유율은 약 20% 수준으로서, 예비시험시의 상온수 1일 침지·약제처리와 비슷한 경향이였다.

표층파티클 및 재생PB칩의 내화처리 수용액은 알칼리성(pH 7.49~7.99)으로 보드경화에 영향을 것으로 여겨져 빙초산으로 중화처리를 하였다. 조정된 pH는 6.45~6.63으로서 보드의 휨강도가 충분히 발현되지 못하고, 박리강도 저감현상까지 보였다. 그러나 포름알데히드방출량은 본 내화처리로써 현저히 저감되는 효과를 나타냈다.

한편, 성형매트높이를 살펴 본 결과, 내화처리시 35~40mm로 무처리의 45mm에 비하여 매트높이가 22% 감소하여 압축도가 낮아지는 현상이 초래되었으며, 이것이 보드의 기계적 성질에 영향을 하는 한 요인으로 생각되었다.

<표 4-18> 재생 PB칩·표층파티클의 내화처리시험

내화처리 시료 종류	내화제 구성 및 중화처리 여부	약제 보유율 (%)	pH		내화처리 파티클시료 입도분포율 (%)		
			침지전	침지후	3~20 mesh	20~80 mesh	80mesh 이하
표층파티클	50 : 비처리	85.0	7.49	7.53	32.6	62.7	4.7
	50 : 중화처리	-	6.49	6.45	40.4	56.4	3.2
	70 : 비처리	84.1	7.81	7.89	34.7	60.8	4.5
	30 : 중화처리	-	6.45	6.36	38.9	56.6	4.5
재생 PB 파티클 (중층용)	50 : 비처리	16.0	7.49	7.53	72.9	22.6	4.5
	50 : 중화처리	21.6	6.49	6.45	77.6	18.5	3.9
재생PB칩	50 : 비처리	19.0	7.77	7.73	76.7	20.3	3.0
	50 : 중화처리	20.2	6.61	6.60	77.5	19.5	3.0
	70 : 비처리	21.3	7.99	8.06	84.7	13.2	2.1
	30 : 중화처리	21.6	6.63	6.64	81.1	16.6	2.3

<표 4-19> 재생PB칩의 내화처리에 의한 재생보드의 물성

시료종류	내화제 구성 및 중화처리 여부	밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kgf/cm ²)	박리강도 (kgf/cm ²)	흡수두께 팽창률 (%)	흡수율 (%)	포름알데히드 방출량 (mg/l)
표층파티클 + 재생PB칩 (내화처리)*	50 : 비처리	0.73	91	7.1	12.9	42.0	0.26
	50 : 중화처리	0.71	88	4.0	17.4	45.9	0.25
	70 : 비처리	0.72	75	4.1	20.8	50.6	0.28
	30 : 중화처리	0.70	47	0.6	25.2	49.6	0.26
표층파티클 + 재생PB칩 (무처리)*	-	0.72	121	7.5	15.7	46.3	2.82

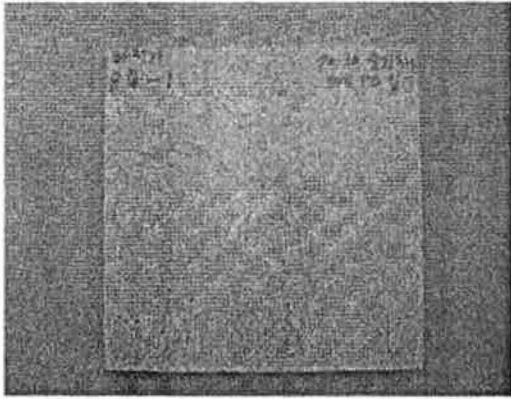
주) * : 재생PB칩을 무처리 또는 내화처리하여 파쇄한 재생파티클만으로 보드중층 구성

<표 4-20>에서와 같이, 재생PB칩의 파티클만으로 보드중층을 구성한 보드의 내화성에 있어서는, 제2인산암모늄 : 붕산·붕소(50:50 혼합)의 70 : 30 혼합액이 난연3급(표면시험) 기준(KS F 2271)을 충족하였다. 결과적으로 내화성에 있어서는 제2인산암모늄이 붕산·붕소보다 뛰어났으나, 강도적 성질은 붕산·붕소의 비율이 높은 쪽이 더 컸다.

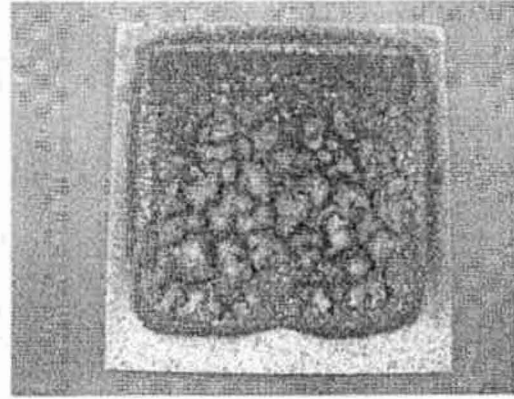
<표 4-20> 폐PB칩 및 중층용 PB파티클 내화처리후 재생보드의 내화성

약제 혼합비	중화처리 여부	잔염시간 (초)	온도·시간 면적(℃×분)		발연계수 (CA)	중량감소율 (%)
			3분 이내	3분 이후		
50 : 50 (중층용 PB파티클)	비처리	48	0	48.3	0.9	6.1
	중화처리	50, 60초과	0	102.1	1.2	7.7
50 : 50 (중층용 PB칩)	비처리	46	0	45.9	1.0	6.7
	중화처리	46	0	82.0	1.4	6.9
70 : 30 (중층용 PB칩)	비처리	24	0	47.8	1.0	6.7
	중화처리	35	0	87.3	0.8	7.2
무처리	-	60 초과	초과	442.2	17.8	15.3
판정기준		30 미만	초과않을 것	350 이하	120 이하	-

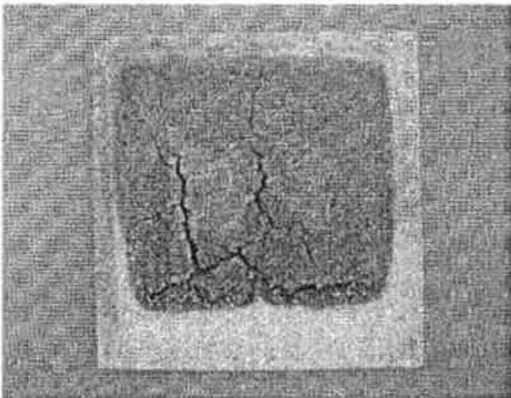
주) 기타 기준(난연3급, 표면시험) : ① 전체 두께에 걸친 용융·소멸(심재의 전부 용융·소멸)-없을 것, ② 뒷면의 균열폭(mm)- 두께×1/10 미만, ③ 방화상 유해한 변형 등- 없을 것



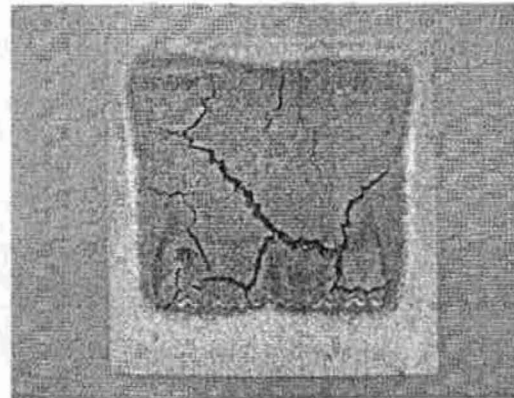
(연소전)



(무처리)



(50 : 50 처리)



(70 : 30 처리)

<그림 4-19> 표면연소성시험기에 의한 연소시험 전후의 재생파티클보드

2) 폐 파티클보드 · 제재칩의 내화처리 및 보드중층 혼용구성별 보드의 물성

표층파티클, 재생PB칩 및 제재칩을 내화처리함에 따른 약제보유율, pH 및 입도분포율은 <표 4-21>과 같았다.

표층파티클은 약제보유율이 82.7~85.6%, 재생PB칩은 19.8~22.8%, 제재칩은 21.6~35.5%를 나타냄으로써, 제재칩이 재생PB칩보다 약간 큰 경향을 나타냈다. 재생칩의 내화제 침지액의 pH는 7.31~7.56을 나타냈다. 또한, 중층용 파티클 입도(3~20mesh)의 분포율은 제재칩이 재생PB칩보다 컸다.

<표 4-21> 재생칩(PB, 제재) · 파티클의 내화처리에 의한 약제보유율, pH 및 입도분포

내화처리 시료 종류	내화제 혼합비율(%) (제2인산암모늄 : 붕산 · 붕소)	약 제 보유율 (%)	pH (침지후)	내화처리 파티클시료 입도분포율 (%)		
				3~20 mesh	20~80 mesh	80mesh 이하
표충파티클	50 : 50	83.6	7.32	-	-	-
	60 : 40	85.6	7.31	-	-	-
	70 : 30	82.7	7.41	-	-	-
재생PB칩	50 : 50	22.8	7.32*	77.3(0.3)	19.5	2.9
	60 : 40	19.8	7.31*	82.0(0.6)	15.9	1.5
	70 : 30	21.2	7.41*	75.5(0.4)	21.6	2.5
제재칩	50 : 50	21.6	7.41	91.8(0.5)	7.0	0.7
	60 : 40	30.7	7.56	91.4(0.6)	7.8	0.1
	70 : 30	35.5	7.46	91.6(0.5)	7.3	0.5

주) 1. ()내 수치는 3mesh 이상 파티클임.

2. 표충파티클은 입도분포를 측정하지 않음.

3. * : 표충파티클과 동일한 autoclave내에서 약제 침지처리된 결과임.

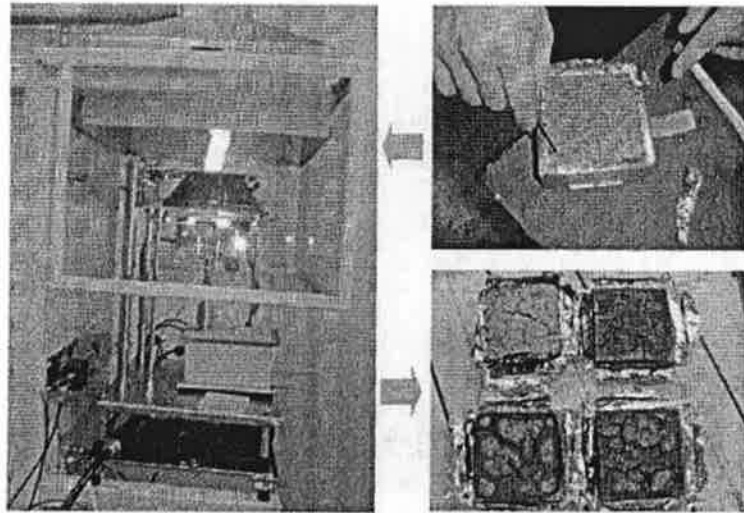
한편, 보드중층 원료로서 재생PB칩의 파티클만으로 구성한 경우 나타나는 휨강도 저감현상을 개선하기 위하여 내화처리한 제재칩과 재생PB칩의 파티클을 보드중층에 70 : 30(%)로 혼용 구성한 결과, 내화성 보드의 물리·기계적 성질과 내화성은 <표 4-22> 및 <그림 4-21>과 같았다.

휨강도는 약액 50 : 50에서 111kgf/cm², 60 : 40에서 108kgf/cm², 70 : 30에서 125kgf/cm²를 나타냄으로써, 재생 PB 파티클만으로 구성한 경우보다 강도가 향상되었다. 파티클 보드(무처리)에 비해서는 내화처리에 의하여 휨강도가 20~31% 감소하였지만 약액 70 : 30에서 다른 혼합농도의 내화처리 보드에 비하여 휨강도가 높았다. 치수안정성은 제2인산암모늄의 비율이 높아짐에 따라 저하되는 경향을 나타냈다.

한편, cone calorimeter로 측정된 내화성에 있어서, 총방출열량(total heat release)은 PB(무처리) > 약액 50 : 50 > 약액 60 : 40 > 약액 70 : 30의 경향이었으며, 약액 70

: 30은 4.6MJ/m²로서 난연3급기준을 충족하였다. 열방출률(heat release rate)은 파티클보드(무처리)가 일반목재에서 나타나는 전형적인 1차, 2차 peak를 형성하였으며, 본 연구의 모든 내화처리보드가 기준을 충족하였다.

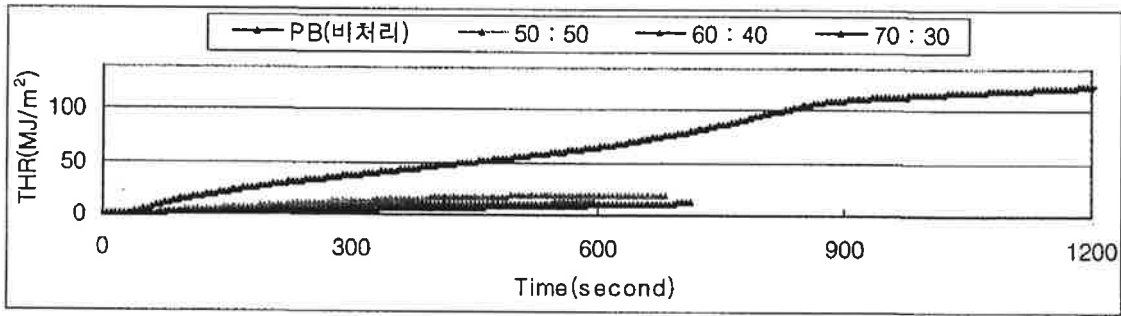
목재 연소시 1차 peak는 표면층이 연소됨에 따라 나타나며 그 다음 단계에 탄화층(carbonization layer)이 형성되어 발열상태가 주춤하다가 이면층이 연소됨에 따라 2차 peak가 형성된다고 알려져 있다. 본 연구에서 약액 70 : 30은 연소시험 초기단계부터 낮은 치로서 거의 경시변화가 없이 평탄한 상태를 유지하여 내화성이 뛰어난 것이 입증되었다. 한편, 중량감소율(mass loss rate)은 열방출률 곡선과 유사한 변동곡선을 나타냈다.



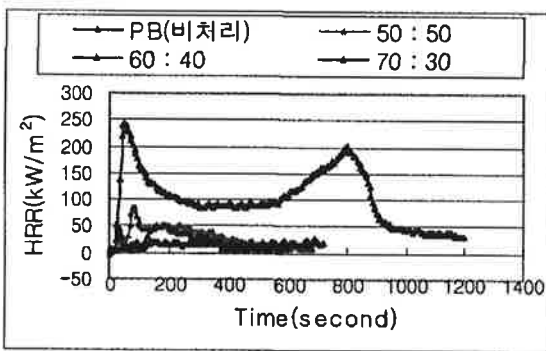
<그림 4-20> Cone calorimeter에 의한 연소실험

<표 4-22> 제재칩과 재생PB칩의 내화처리후 파쇄파티클을 혼용한 재생보드의 물성

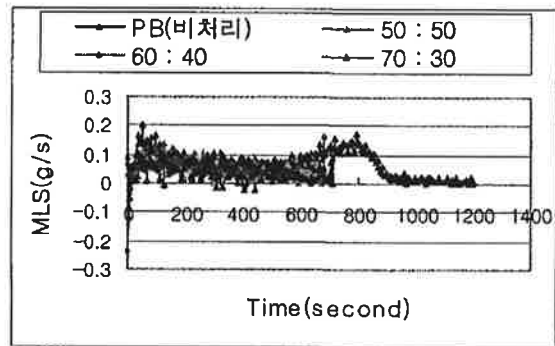
시료 종류	내화제 혼합비율(%) (제2인산암모늄 : 붕산 · 붕소)	휨강도	박리강도	흡수두께 팽창률 (%)	흡수율 (%)
		(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)		
PB(Control)	-	157	9.6	7.7	34.3
표층파티클 + 중층파티클	50 : 50	111	8.4	8.3	35.2
(제재칩 · 재생PB칩(70 : 30 혼합)	60 : 40	108	8.2	10.3	38.1
	70 : 30	125	7.6	16.5	44.4



총방출열량(THR : Total heat release)



열방출률(HRR : Heat release rate)



질량감소율(MLR : Mass loss rate)

<그림 4-21> Cone calorimeter에 의한 내화약제처리별 연소시험 결과

<표 4-23> 일본건축기준법에 의한 난연성능기준(ISO 5660-1 Cone calorimeter method)

난연등급	시험조건		판정기준
	가열조건	가열시간	
난연1급 (불연)		20분	· 총방출열량(THR)이 8MJ/m ² 이하일 것 · 최대 열방출률(PHRR)이 10초 이상 200kW/m ² 를 초과하지 않을 것
난연2급 (준불연)	50kW/m ²	10분	· 방화상 유해한 관통, 균열, 구멍 등이 발생하지 않을 것
난연3급 (난연)		5분	

한편, 표면연소성시험에 의한 세 약액 혼합조건별 가스유해성은 내화약제 처리보드가 PB(무처리)보다 유해하지 않은 것으로 나타났다. 따라서 일정공간에서 연소에 의해 발생하는 연기농도(smoke density)가 화재시 인체의 유해에 더욱 영향을 미칠 것으로 유추되었다.

<표 4-24> 내화제 혼합농도별 보드의 가스유해성

약 액 혼합조건	마우스 행동정지 시간	시험방법
PB(무처리)	5분 54초	○ 주열원 및 부열원 : 전열히터, 프로판가스 ○ 가열시간 : 6분
50 : 50	12분 12초	○ 급기량 : 1차·3ℓ/분, 2차 25ℓ/분 ○ 중간배기량 : 10ℓ/분
60 : 40	13분 26초	○ 표준판 : 석면 펄라이트판, 두께 10mm
70 : 30	12분 45초	○ 마우스 : 혈통 ICR계, 성별 암컷, 주령 5주, 체중 18~22g

주) 판정기준: 9분 이상[건축물의 내장재료 및 구조의 난연성 시험방법(KS F 2271-2003) 의거]

다. 결과 요약

- 1) 파티클 입자별 내화처리에 의한 약제보유율은 표층파티클(82.7~85.6%) > 제재칩(21.6~35.5%) > 재생PB칩(19.8~22.8%)이었다. 또한, 내화약제처리시 파티클·칩의 빙초산에 의한 중화처리(pH 6.45~6.63)는 보드물성 개선효과를 나타내지 않았다.
- 2) 내화성에 있어서, 제2인산암모늄 : 붕산·붕사 비율 70 : 30(%) 혼합처리로써 난연3급기준(KS F 2271)을 충족하였다. 따라서 내화성 증진을 위하여 제2인산암모늄 약액이 붕산·붕사 혼합액보다 효과적인 것으로 밝혀졌다.
- 3) 보드중층 원료로서 내화처리 재생PB칩의 파티클만으로 구성된 경우는 휨강도가 낮았으며, 내화처리한 제재칩을 재생PB칩의 파티클과 70:30(%) 비율로 혼용한 경우 보드의 휨강도가 향상되었다. 한편, 내화처리시 E₀형(0.5mg/ℓ 이하) 수준으로 포름알데히드 방출 저감효과가 있었다. 그러나, 내화처리시 무처리시에 비하여 성형매트높이가 22% 감소하여 압축도 저하현상에 의하여 내화처리보드의 기계적 성질이 저하되는 것으로 판단되었다.
- 4) Cone calorimeter로 내화성을 측정한 결과, 약액 70 : 30은 총방출열량(Total heat release)이 4.6MJ/m²로서 난연3급 기준을 충족하였으며, 연소시 모든 내화처리 보드의 가스유해성이 PB(무처리)보다 낮았다.

제 5 절 폐침목의 재활용기술 개발

1. 서 설

철도 침목은 레일을 고정시키고 레일에 가해지는 차량의 하중을 도상으로 분산시켜 안전한 운행을 보장해주는 매우 중요한 선로 부재로서 크레오소트유를 처리한 목침목이 사용되어 왔다. 국내 철도 침목의 평균 사용수명은 대략 15년 전후로 매년 25~30만 개 정도의 폐침목이 발생하고 있다. 철도청에서는 그 동안 폐침목을 조경시설용 등으로 일반에 매각해 왔으나 2002년 환경부의 폐기물처리법 위반이라는 유권해석에 직면함으로써 2003년도 사업에서 새로운 처리 방안을 검토하고 있으며 현재 회수되고 있는 폐침목은 매각뿐만 아니라 외부로의 반출이 전혀 이루어지지 않고 있는 실정이다.

폐침목이 폐기물로 취급되고 있는 이유는 침목의 사용수명 연장을 위해 방부 처리한 크레오소트유의 유해성 때문이다. 따라서 폐침목을 재생보드의 원료로 재활용하기 위해서는 인체에 유해할 뿐만 아니라 보드의 접착성을 저하시킬 수 있는 크레오소트유 제거 기술 개발이 필요하다. 효과적이고 경제적인 처리기술 개발을 위해서는 폐침목에서의 크레오소트유의 침투깊이, 함유량(흡수량) 등의 조사가 이루어져야 하며 재생보드의 강도적 성질에 직접적으로 영향을 미칠 수 있는 원료 폐침목의 재질 열화 정도도 조사할 필요가 있다. 또한 크레오소트유가 침투되어 있는 부위를 그대로 재활용할 수 있는 방안으로서 외장용 방부보드의 제조에 관해서도 검토할 가치가 있을 것으로 판단된다.

국내 선로에 부설되어 있는 침목의 총 개수는 약 10,946,000개(2002년 12월 기준)로 이 중에서 목침목이 6,195,000개에 달하며 전체 침목의 57%를 차지하고 있다. 그 동안 선로 부설에는 목침목이 사용되어 왔으나 최근에 들어서 목침목에 비하여 비교적 사용 수명이 긴 PC(prestressed concrete) 침목이 개발되어 대체되고 있는 추세에 있다. 그러나 선로의 곡선구간이나 교량구간, 이음매 구간, 분기구간 등에서는 안전성 및 시공성 등의 문제점으로 반드시 목침목이 사용되고 있다. 국내의 목침목 평균 사용수명은 15년으로 침목 교체의 주원인은 스파이크(레일과 플레이트를 침목에 고정시키는 못) 보지력 약화에 있으며, 이것은 침목에 박은 스파이크(직경 14.7mm) 주위의 극히 일부분에서 목재부후가 발생하여 야기되는 현상으로 이 부분을 제외한 폐침목 전체는 비교적 건전한 상태의 재질을 유지하고 있기 때문에 재활용 가치가 매우 높다고 할

수 있다. 또한 국내에서는 매년 보통침목(치수 15×24×250cm) 기준으로 22,500~27,000 m³에 달하는 막대한 양의 폐침목이 발생하고 있을 뿐만 아니라 이들 폐침목은 다른 폐목재에 비하여 수집과 운반이 매우 용이하기 때문에 재활용 가능성이 높은 폐목질 자원 중에 하나이다.

따라서 국내 목재 수요의 90% 이상을 외국으로부터 수입하고 있는 우리나라 목재자원 사정을 감안할 때 폐침목의 재활용은 목재 자원의 효율적 이용 측면에서 경제적으로 매우 가치 있을 뿐만 아니라 국내 목재산업 발전을 위해서도 매우 필요하다. 국내에서 발생하고 있는 폐침목의 대부분은 외부로 반출되어 조경 시설재나 카페 등 전원 휴게시설의 건축재로 사용되고 있다. 그러나 폐침목에는 유해성 화학물질로 분류되고 있는 크레오소트유가 잔류되어 있기 때문에 인체 접촉시 피부염을 일으키거나 토양 및 수질 오염의 원인이 될 수 있다. 이로 인하여 국내 환경단체로부터 폐침목 처리에 대한 문제 제기가 있었으며 환경부에서도 폐침목 반출은 폐기물처리법 위반이라는 유권해석을 내린 바 있다. 국내외적으로 지구 환경에 대한 사회적 관심이 점점 높아지고 있으며 국가 및 사회단체를 중심으로 오염원의 철저한 감시와 관리에 많은 투자가 이루어지고 있다. 따라서 폐침목에 잔류되어 있는 유해성 크레오소트유 제거기술 개발은 폐침목의 재활용 측면에서 뿐만 아니라 무분별한 사용으로 발생할 수 있는 인적 피해나 환경오염 방지를 위해서도 필요하다.

2. 폐침목의 재질 및 크레오소트유의 잔류 특성 조사

가. 재료 및 방법

1) 실험재료

가) 폐침목

본 실험에 사용한 폐침목은 철도공사 산하 대전시설관리사무소 신탄진 분소에서 분양받은 보통침목으로 침목 부설 후 경과된 연수는 불분명하였으며 폐침목 야적장에서 무작위로 50정을 선발하여 사용하였다. 실험에 사용한 폐침목의 외관 및 절단 작업 광경을 <그림 5-4>에 나타냈다.

2) 실험방법

가) 폐침목의 발생실태 조사

지속적으로 공급할 수 있는 폐침목의 양을 파악하기 위하여 철도공사의 침목 부설현황(총 부설량, 교체 시기, 교체량 등) 자료를 토대로 향후 예상되는 연간 폐침목 발생량을 조사하였다.

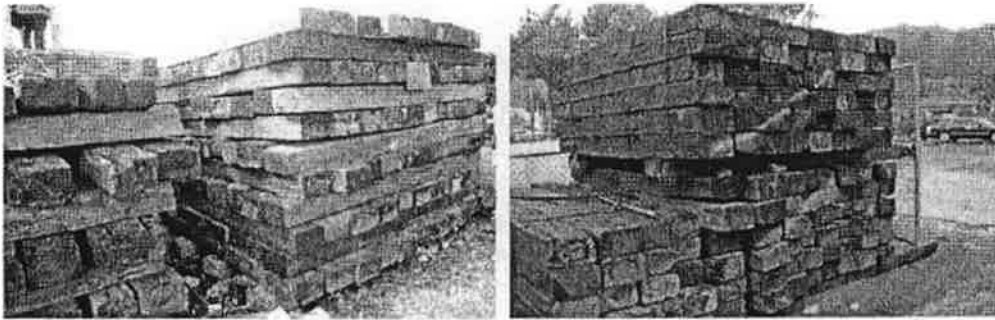
나) 폐침목의 재질 특성 조사

(1) 폐침목의 조직 관찰

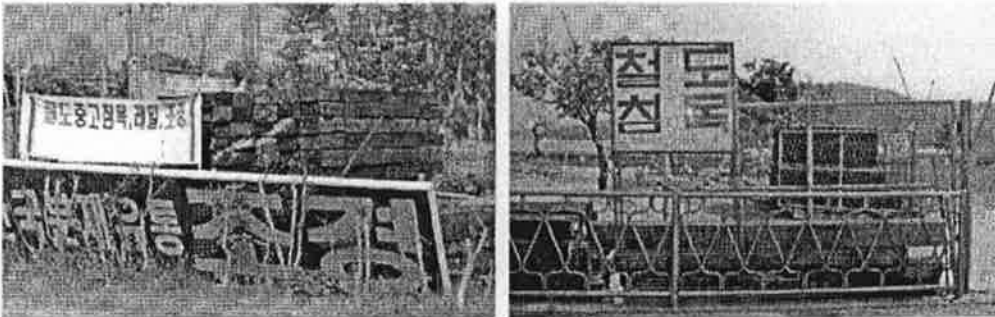
장기간의 외기 노출로 인한 조직의 열화(부후) 상태를 조사하기 위하여 폐침목으로부터 목재시편을 채취한 후 물과 글리세린을 3 : 1의 비율로 혼합한 혼합액에 넣고 고온고압처리를 하여 연화시킨 후 슬라이딩 마이크로톰을 이용하여 두께 25 μ m의 절편을 채취하였다. 목재 절편을 사프라닌 염색액으로 염색한 후 세척과 탈수 및 봉입 과정을 거쳐 현미경 관찰용 영구프레파라트를 제작하여 조직을 관찰하였다. 또한 주사전자현미경(SEM) 관찰용 시료를 위 방법에 준하여 제작하여 사용하였으며 조직관찰과 함께 해부학적 특징에 기초하여 침목의 수종 분석도 실시하였다.

(2) 폐침목의 물리적 성질 조사

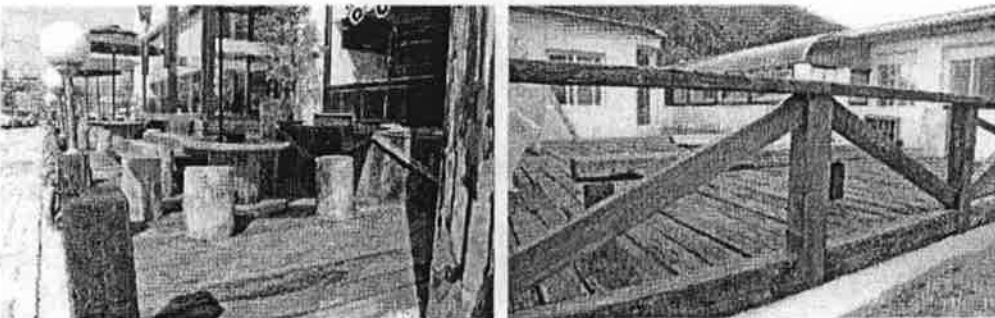
폐침목으로부터 소정 크기의 시편을 채취하여 KS F 2198 「목재의 밀도 및 비중 측정 방법」과 KS F 2199 「목재의 함수율 측정방법」에 따라 폐침목의 비중 및 함수율을 조사하였다.



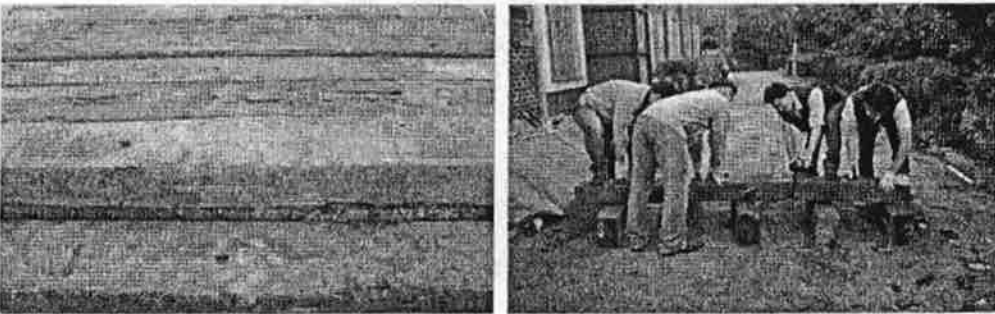
<그림 5-1> 폐침목의 야외 야적 장면



<그림 5-2> 폐침목의 판매



<그림 5-3> 폐침목을 이용한 야외 시설물



<그림 5-4> 공시 폐침목의 외관 및 폐침목 절단 작업

(3) 폐침목의 강도적 성질 조사

폐침목의 재질 열화로 인한 강도 저하 여부를 조사하기 위하여 KS F 2206 「목재의 압축 시험 방법」과 KS F 2208 「목재의 휨 시험 방법」에 준하여 각각 섬유방향 압축강도와 휨강도를 조사하였다.

다) 폐침목의 크레오소트유 잔류량 조사

크레오소트유 제거를 위한 적정 추출조건을 구명하기 위하여 KS F 2155 「방부처리 목재의 약제 흡수량 측정 방법」과 KS F 3025 「토대용 가압식 방부 처리 목재」에 준하여 폐침목 내의 크레오소트유 잔류량 및 침윤도를 조사하였다.

나. 연구결과

1) 폐침목 발생량

재활용에 투입할 폐침목의 지속적인 공급 가능량을 파악하기 위하여 철도청의 침목 부설현황 자료를 토대로 조사한 결과, 2002년 12월 기준으로 국내 선로에는 총 6,195,000정의 목침목이 부설되어 있으며 전체 철도 침목의 57%를 차지하는 것으로 나타났다. 또한 매년 전국에서 25만~30만개의 폐침목이 발생하고 있으며 이는 보통 침목 기준으로 22,500~27,000m³에 달하는 것으로 조사되었다.

2) 폐침목의 재질 특성

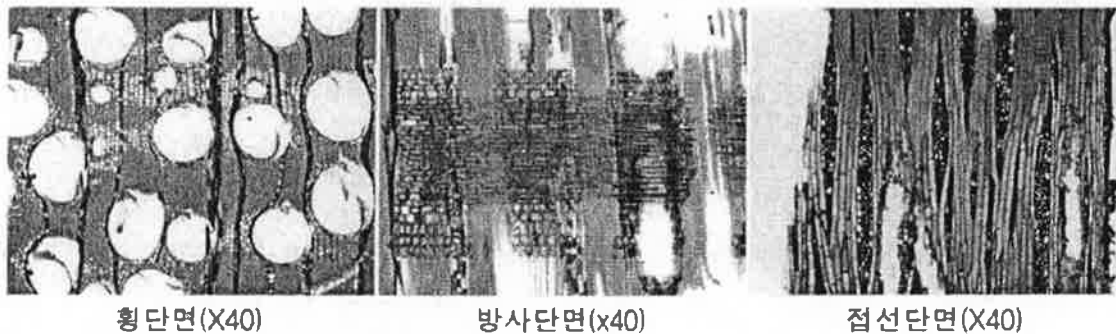
가) 폐침목의 조직 관찰 및 수종 식별

재질 열화 정도를 조사하기 위하여 폐침목의 조직을 관찰한 결과, <그림 5-5>에 나타낸 바와 같이 부후에 의한 조직 분해는 전혀 관찰되지 않았으며 도관요소, 측방향 유세포, 방사 유세포, 목섬유 등 주요 구성 세포들은 건전한 상태로 뚜렷한 형태를 유지하고 있었다.



<그림 5-5> 폐침목의 3단면 조직(수종: 켄파스, *Koompassia malaccensis*)

조직관찰과 함께 해부학적 특징에 의하여 폐침목의 수종 식별을 실시한 결과, 총 50정의 폐침목 중에서 32정이 식별 가능하였다. 그러나 나머지 18정의 경우에는 목재 수종 식별용 주요 참고 문헌에서도 해부학적 특징을 다루고 있지 않아 식별이 불가능하였으며 따라서 이들 수종은 열대산 활엽수 잡목인 것으로 추정되었다. 수종이 식별된 폐침목은 국내산 침엽수인 일본잎갈나무(낙엽송) 1정, 열대산 활엽수인 Keruing(Apitong, *Dipterocarpus* spp.) 14정, Kempas(*Koompassia malaccensis*) 10정, Kapur(*Dryobalanops* spp.) 5정, Nyatoh(*Palaquium rostratum*)와 Mersawa(*Anisoptera costata*)가 각각 1정이었다. 가장 많은 폐침목 수종인 Keruing의 3단면 해부학적 특징을 <그림 5-6>에 나타냈다.

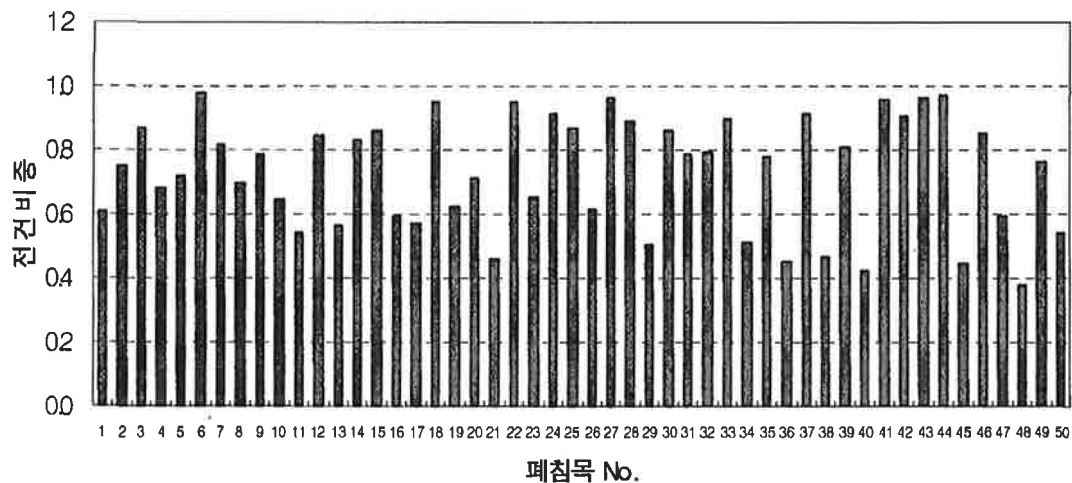


<그림 5-6> 폐침목 케루잉의 3단면 해부학적 특징

나) 폐침목의 물리적 성질

폐침목은 평균 13.9%의 함수율을 보여 기건상태를 나타내고 있었다. 50정의 침목에 대하여 진건 비중을 측정한 결과 최저 0.38에서 최고 0.97을 보여 다양한 비중을 갖는

수종들로 구성되어 있는 것으로 밝혀졌다. 비중이 0.6이하를 나타낸 폐침목의 경우에는 국산재인 일본잎갈나무(0.58)를 제외하고 대부분 수종식별이 불가능한 열대산 활잡목들이었으며 크레오소트유의 침투량도 비교적 많은 것으로 나타났다. 폐침목 50정의 비중 측정 결과를 <그림 5-7>에 나타냈다.

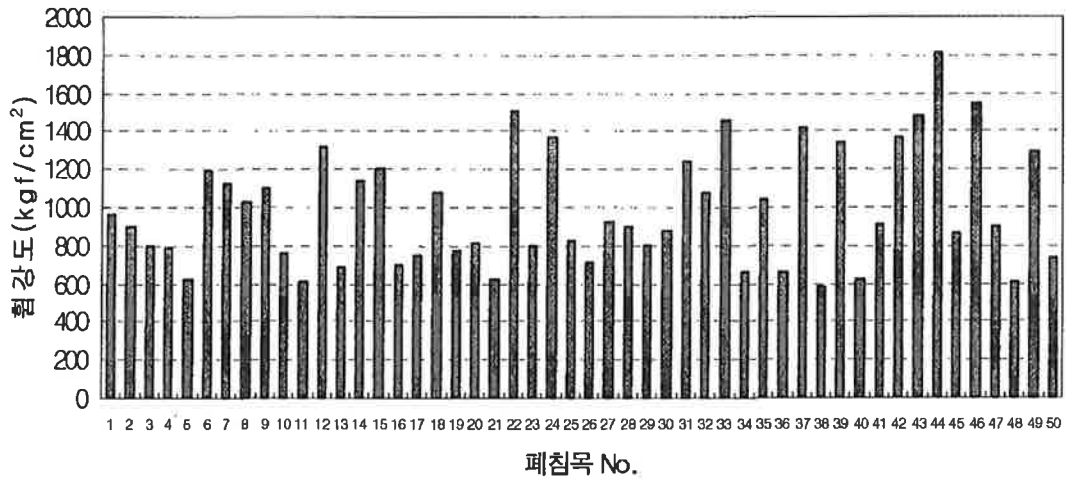


<그림 5-7> 폐침목의 전건비중

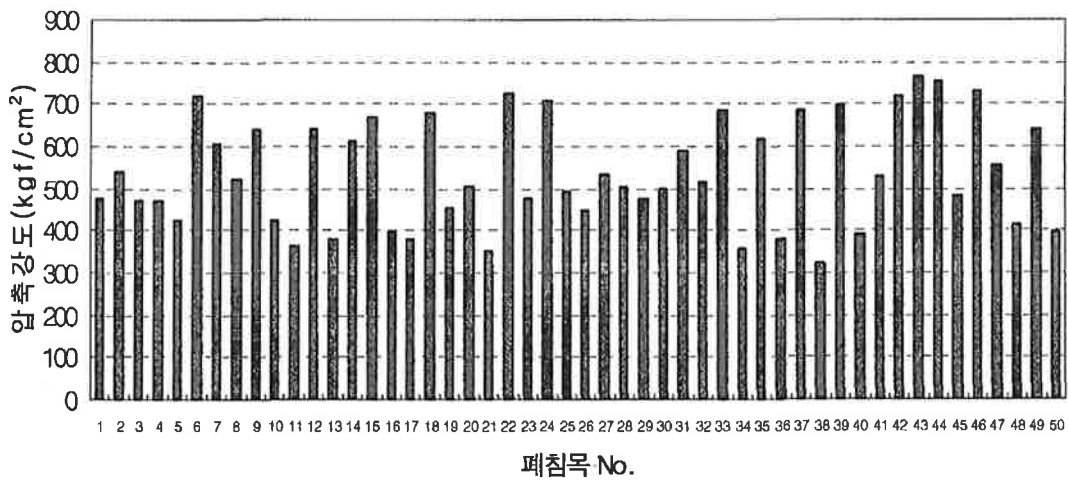
다) 폐침목의 강도적 성질

폐침목의 재질열화 여부를 조사하기 위하여 휨강도 및 섬유방향 압축강도를 조사하였다. 휨강도 측정 결과를 <그림 5-8>에 나타냈으며 폐침목은 최저 567.8kgf/cm²에서 최고 1,769.4kgf/cm²까지 다양한 휨강도를 보였다. 이들 휨강도 값은 KS F 3005 「가압식 크레오소트유 방부처리 침목」에서 철도 침목용 수종으로 규정하고 있는 8수종의 열대산 활엽수재의 표준 휨강도 자료(Indonesian wood atlas, 보고르대학 임산물연구센터)와 비교하면 일부(567.8~606.9kgf/cm²)를 제외하고 표준 휨강도 범위 내에 포함되거나 범위를 초과하고 있어 폐침목의 재질 열화는 발생하지 않은 것으로 판단되었다.

섬유방향 압축강도를 조사한 결과를 <그림 5-9>에 나타냈다. 폐침목의 섬유방향 압축강도는 최저 317.2kgf/cm²에서 최고 750.2kgf/cm²로 휨강도와 동일한 경향을 보였으며 철도 침목용 수종으로 사용하고 있는 8수종의 열대산 활엽수재의 평균 압축강도와 거의 같은 값을 나타냈다.



<그림 5-8> 폐침목의 휨강도



<그림 5-9> 폐침목의 섬유방향 압축강도

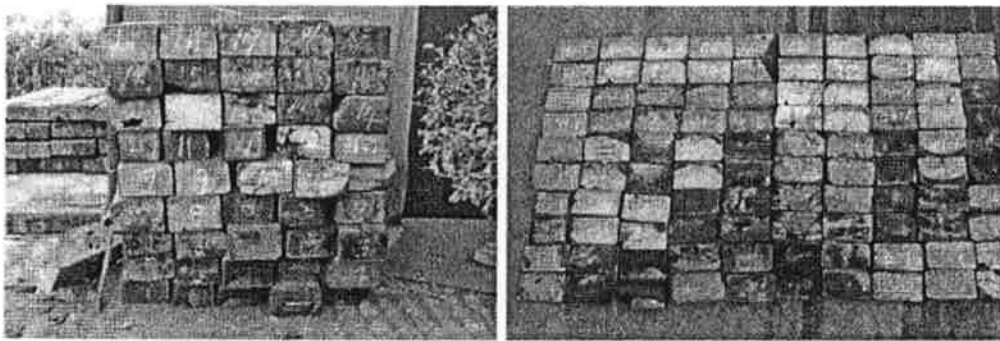
3) 폐침목의 크레오소트유 잔류특성

가) 크레오소트유의 침윤도

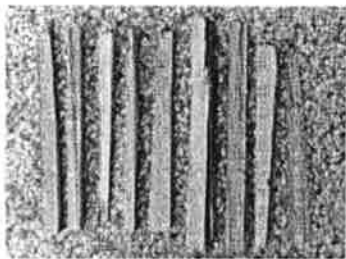
폐침목에서 크레오소트유의 침투깊이(침윤도) 상태는 <그림 5-10>과 <그림 5-12>에서와 같이 실험에 사용한 50정 중에서 내부 깊이까지 침투된 것은 14정에 불과하고

나머지는 침투 방향에 따라 다소 차이는 있으나 침목 표면으로부터 평균 2cm 이하의 침투깊이를 보였다. 따라서 대부분의 폐침목은 표면의 크레오소트유 침투부위를 제거하면 바로 재활용이 가능할 것으로 판단되었다.

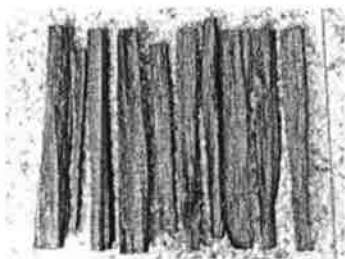
이와 같이 크레오소트유 침투도가 낮은 이유는 철도 침목에 사용되는 수종이 대부분 남양 활엽수재로 비중이 높고 약제 침투성이 극히 불량하기 때문이다. 이를 극복하기 위해 인사이징(자상) 처리를 하고 있으나 처리가 제대로 이루어지지 않고 있는 실정에 있다.



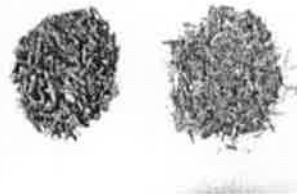
<그림 5-10> 폐침목의 크레오소트유 침투상태



크레오소트유 미침투부위



크레오소트유 침투부위



폐침목 가공 파티클

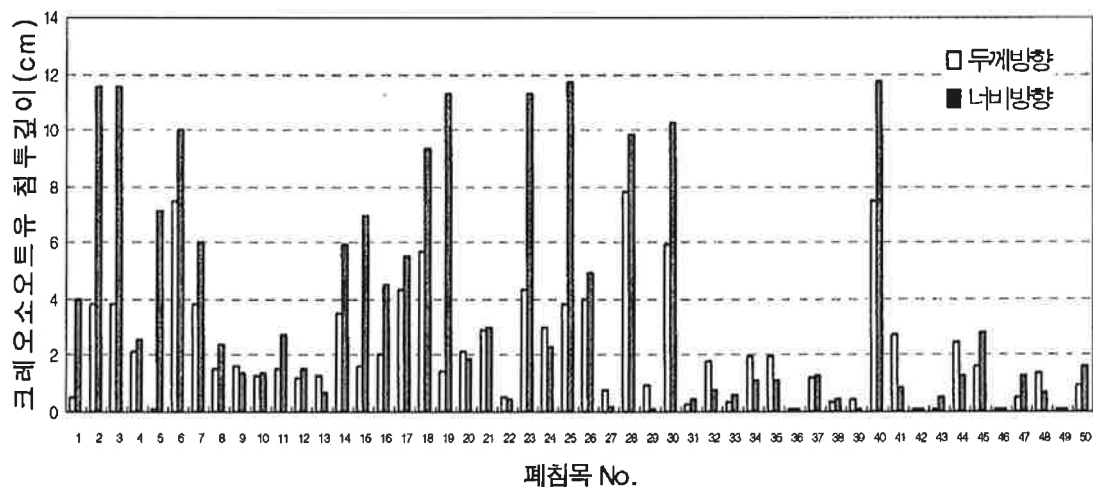
<그림 5-11> 폐침목의 분리 가공

나) 크레오소트유의 잔류량

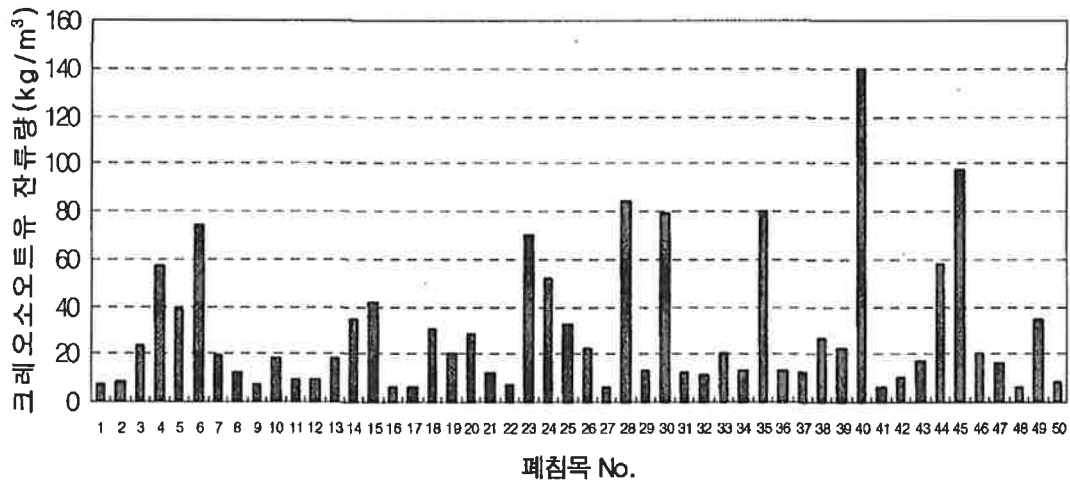
KS F 2155 「방부처리 목재의 약제 흡수량 측정 방법」에 따라 폐침목으로부터 시료를 채취하여 크레오소트유 잔류량을 조사한 결과, <그림 5-13>에서와 같이 철도 침목의 크레오소트유 흡수량 적합기준인 80kg/m³ 이상(사용환경 구분 H4)을 만족시킨 것은 4점에 불과하였다. 이것은 선로에 설치되어 장기간(10~15년) 외기에 노출됨으로써 크레오소트유가 용출된 것도 하나의 원인으로 생각할 수 있으나 주로 침목 자체가

매우 난주입성 수종이기 때문에 크레오소트유의 처리도가 매우 낮았기 때문으로 판단된다. 따라서 폐침목을 재활용하기 위해해 크레오소트유를 제거해야 하는 측면에서는 추출시간을 단축할 수 있어 오히려 이점이 될 수 있을 것으로 생각된다.

폐침목을 크레오소트유 침투부위 및 비침투부위로 각각 절단·분리한 후 chipper 및 hammer mill로 파쇄하여 중층용 파티클 원료로 사용하였다 <그림 5-11>. PB제조 현장에서 폐침목을 중층 파티클 제조용 원료로 사용할 경우 일반 목재원료와 혼합하여 사용할 가능성이 높기 때문에 폐침목 파티클(크레오소트유 비침투부위 단독, 크레오소트유 침투부위와 비침투부위 혼합)을 D사에서 분양받은 폐목재 재생 파티클과 일정 비율로 혼합하여 PB 제조에 사용하였다. 그 결과 재생 파티클로만 제조한 보드와 폐침목 혼합 보드 간에 휩강도와 박리강도를 비롯한 모든 보드 물성에서 고도의 유의성이 인정되어 재생 파티클에 폐침목 파티클을 일정 비율 혼합하여 보드의 물성에는 그다지 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이것은 현재 PB 제조용 파티클 원료로 다량 사용되고 있는 건축폐잔재에 비하여 폐침목의 재질이 균질하고 물성 저하를 초래할 수 있는 불순물의 함유가 적기 때문인 것으로 판단된다.



<그림 5-12> 폐침목의 방향별 크레오소트유 침투깊이



<그림 5-13> 폐침목의 크레오소트유 잔류량

다. 결과 요약

폐침목의 효율적인 재활용을 위하여 폐침목의 재질 및 크레오소트유의 잔류특성을 조사하였다. 그 결과, 폐침목의 재질은 10년 이상 외기에 폭로되었음에도 불구하고 재질열화는 전혀 발생하지 않은 것으로 현미경에 의한 조직관찰, 비중측정, 강도적 성질 측정 등에서 입증되었다. 또한 침목 구성 수종들도 대부분이 남양활엽수재인 것으로 밝혀졌다. 또한 이와 같이 침목이 난주입성 수종인 열대산 남양활엽수재가 대부분을 차지하고 있기 때문에 비록 인사이징 처리를 실시하였어도 크레오소트유의 침투는 매우 불량하여 침윤도 및 흡수량이 KS규격(가압식 크레오소트유 방부처리 침목)을 만족시키지 못하였다. 이러한 결과는 오히려 폐침목을 활용하는 데 있어 이 점으로 작용할 수 있다.

3. 폐침묵으로부터 크레오소트유 추출 기술 개발

가. 재료 및 방법

1) 실험재료

가) 폐침묵

연구의 연속성을 위하여 1차년도 실험에 사용하고 남은 동일한 폐침묵을 공시재료로 사용하였으며 실험에는 폐침묵의 수종 구분 없이 공시하였다.

2) 실험방법

가) 크레오소트유 추출을 위한 최적 폐침묵 가공형상 조사

(1) 폐침묵 가공

폐침묵으로부터 크레오소트유 침투부 만을 채취하여 주관연구기관인 국립산림과학원에 보유 중인 chipper 및 hammer mill을 사용하여 칩 및 파티클 형상으로 가공하여 실험에 공시하였다.

(2) 크레오소트유 추출

최적 크레오소트유 추출 형상을 조사하기 위하여 KS F 2155 “방부처리 목재의 약제 흡수량 측정 방법” 규격에서 크레오소트유 추출 표준용액으로 규정하고 있는 에탄올·벤젠 혼합액을 사용하였다. 크레오소트유 추출은 폐침묵 가공 칩 및 파티클을 중량비로 10배의 에탄올·벤젠 혼합액에 5시간 침지 처리하였으며 매 시간마다 혼합액을 교환해 주었다. 크레오소트유 추출 효율은 5시간 침지 처리한 후, 가공 칩 및 파티클의 외관 색상, 추출혼합액의 색상 등을 기초 판단 자료로 사용하였다. 또한 정확한 자료를 얻기 위해 침지 처리를 종료한 폐침묵 가공 칩 및 파티클을 목분으로 가공한 후 일정량을 채취하여 KS F 2155 “방부처리 목재의 약제 흡수량 측정 방법”에 의거 속슬렛 추출장치로 각 시료에 잔류되어 있는 크레오소트유 양을 측정하였다.

나) 최적 크레오소트유 추출방법 조사

(1) 폐침묵 가공

최적 추출방법은 최적 폐침묵 가공형상으로 밝혀진 파티클을 대상으로 조사하였다.

(2) 크레오소트유 추출 처리

(가) 용제 처리

추출에 사용한 용제는 에탄올 단일 용제 및 에탄올·벤젠 혼합용액을 대상으로 조사하였으며 처리는 0.5시간, 1시간, 3시간, 5시간 동안 침지법을 적용하였다. 3시간과 5시간 처리의 경우에는 매시간 용액을 교환해 주었다.

(나) 증기 처리

파티클을 일정량 채취하여 고압멸균기를 사용하여 압력 1.5kg/cm², 온도 121℃에서 1시간 고온 고압 수증기를 처리하였다.

(다) 표백제 처리

중량 비율 10배의 염소계(차아염소산나트륨) 표백제 용액(유효 염소량 4%)에 파티클을 0.5, 1, 3, 12시간 동안 침지처리 하였으며 처리 중에 용액의 교환은 실시하지 않았다.

(3) 추출 처리 후 크레오소트유 잔류량 조사

각 처리 조건에 따라 추출 처리한 폐침목을 목분화하여 KS F 2155 “방부처리 목재의 약제 흡수량 측정 방법”에 의거 속슬랫 추출장치로 시료에 잔류되어 있는 크레오소트유 양을 측정하여 최적 추출처리 조건을 조사하였다.

다) 용제의 회수 및 재사용을 위한 리사이클링 시스템 개발

(1) 용제 회수율 조사

크레오소트유를 추출한 에탄올·벤젠 혼합용액 일정량을 채취한 후 크레오소트유와 에탄올 및 벤젠 간의 비점 차이를 이용하여 환류냉각장치로 순수 혼합용액의 회수율을 조사하였다.

(2) 용제 리사이클링 시스템 개발

크레오소트유 추출 후 용제의 회수를 위한 최적 공정도를 검토하였다.

라) 크레오소트유 추출에 의한 침목의 재질변화 조사

에탄올·벤젠 혼합액 및 염소계 표백제로 크레오소트유를 추출한 후, 실체현미경 및 주사전자현미경(SEM) 관찰을 통하여 추출 전후의 조직변화를 조사하였다. 또한 크레오소트유 미침투 부위의 조직과도 비교하였다.

나. 연구결과

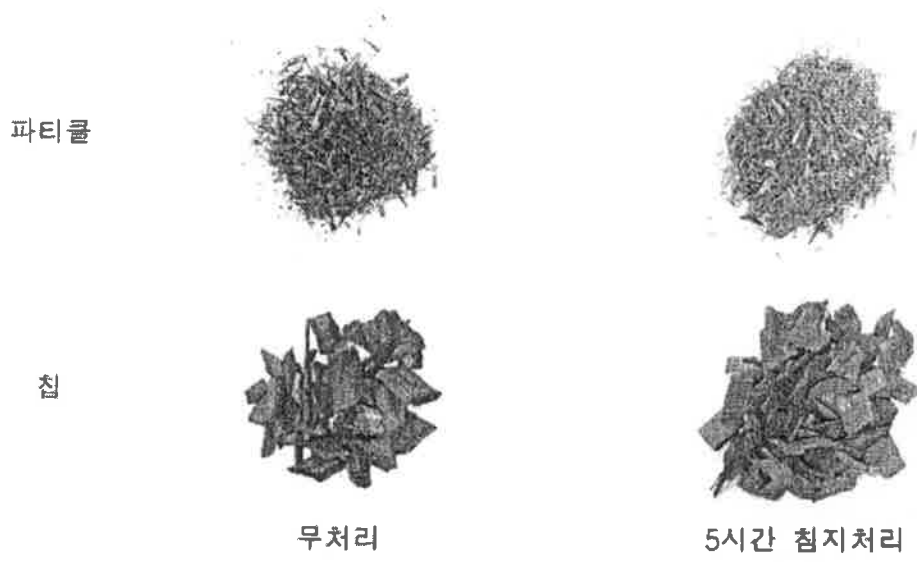
1) 크레오소트유 추출을 위한 최적 폐침묵 가공 형상

폐침묵의 크레오소트유 침투부를 칩과 파티클 상태로 가공한 후 에탄올·벤젠 혼합액에 5시간 침지처리한 후의 칩과 파티클의 외관 색상을 무처리와 비교한 결과를 <그림 5-14>에 나타냈다.

그림에서와 같이 추출전의 경우에는 고유의 크레오소트유 색상인 흑색의 외관을 보이고 있으나 혼합액에 침지처리한 후에는 밝은 목질부의 색상을 띠고 있다. 또한 파티클과 칩의 색상을 비교하면 칩에 비하여 파티클이 원래의 목질부 색에 가까운 색상을 나타냄으로서 칩에 비하여 파티클에서 동일한 침지시간 중에 다량의 크레오소트유가 추출되었음을 추정할 수 있었다. <그림 5-15>는 크레오소트유를 추출한 후에 나타내는 에탄올·벤젠 혼합액의 색상 차이를 나타낸 것으로 5시간 동안의 추출기간 중 매시간 마다 혼합액을 교환하여 추출하였으며 그림은 5회째의 혼합액을 나타낸 것이다. 파티클을 침지시킨 혼합액에서는 크레오소트유의 추출이 많이 진행되어 최종 추출용 혼합액은 비교적 밝은 색을 띠고 있었으나 칩을 침지시킨 혼합액의 경우에는 흑색을 띠고 있어 아직도 다량의 크레오소트유의 추출이 진행되고 있음을 알 수 있었다.

크레오소트유의 추출 효율이 우수한 폐침묵 가공형상을 보다 정확하게 파악하기 위하여 5시간 침지처리를 종료한 파티클 및 칩을 다시 목분화하여 KS F 2155 “방부처리 목재의 약제 흡수량 측정 방법”에 의하여 크레오소트유의 잔류율을 조사하였으며 그 결과를 <그림 5-16>에 나타냈다.

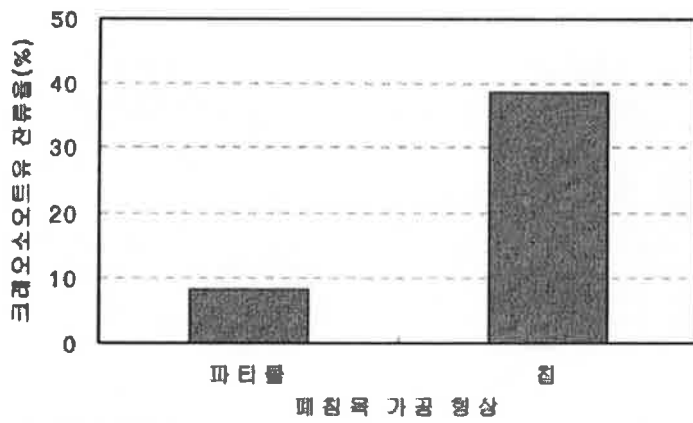
파티클 상태로 가공한 크레오소트유 침투부 폐침묵의 경우에는 5시간 동안 매시간 에탄올·벤젠 혼합액을 교환하며 크레오소트유를 추출한 결과 최종적으로 8.4%의 잔류율을 나타냈다. 그러나 칩 상태로 가공한 경우에는 약 38.7%의 잔류율을 나타내어 5시간 추출한 다음에도 아직 목질부 중에 다량의 크레오소트유가 잔류되어 있는 것을 알 수 있었다.



<그림 5-14> 크레오소트유 추출 전후의 파티클과 칩의 외관의 변화



<그림 5-15> 크레오소트유 추출 후의 에탄올·벤젠 혼합액의 색상



<그림 5-16> 폐침목 가공 형상별 혼합용제 추출 후 크레오소트유 잔류율

이상의 결과에 근거하여 폐침묵의 크레오소트유 추출 시에는 칩 보다는 파티클 상태로 가공하여 처리하는 것이 추출효과가 높은 것으로 판단하였다. 이것은 파티클이 칩에 비하여 입자의 크기가 작음에 따라 비표면적이 커져 에탄올·벤젠 혼합액과의 접촉 면적이 넓어 추출효과가 상승한 것으로 판단할 수 있다.

2) 최적 크레오소트유 추출방법

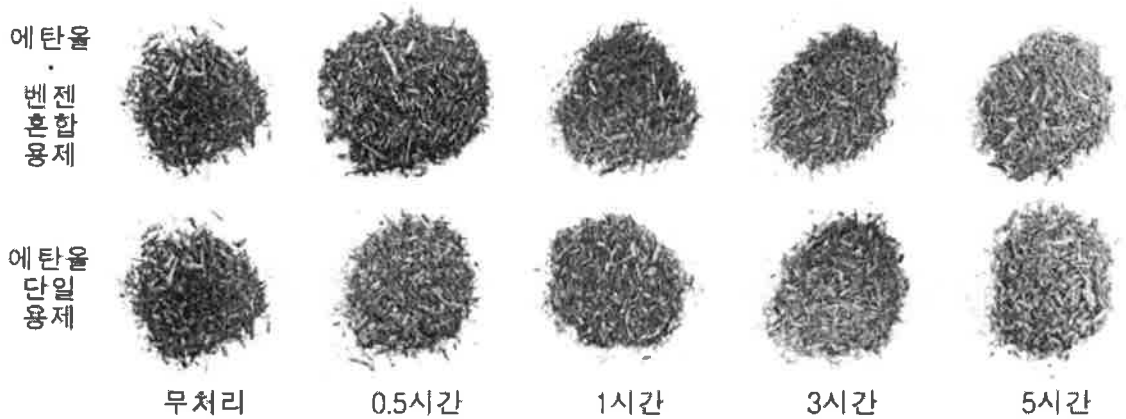
크레오소트유의 최적 추출방법을 조사하기 위하여 용제추출방법으로 에탄올·벤젠 혼합용제와 에탄올 단일용제 추출방법, 증기 처리법, 계면활성제 처리법 대응으로 표백제 처리법 등에 대하여 검토하였다.

가) 용제추출법

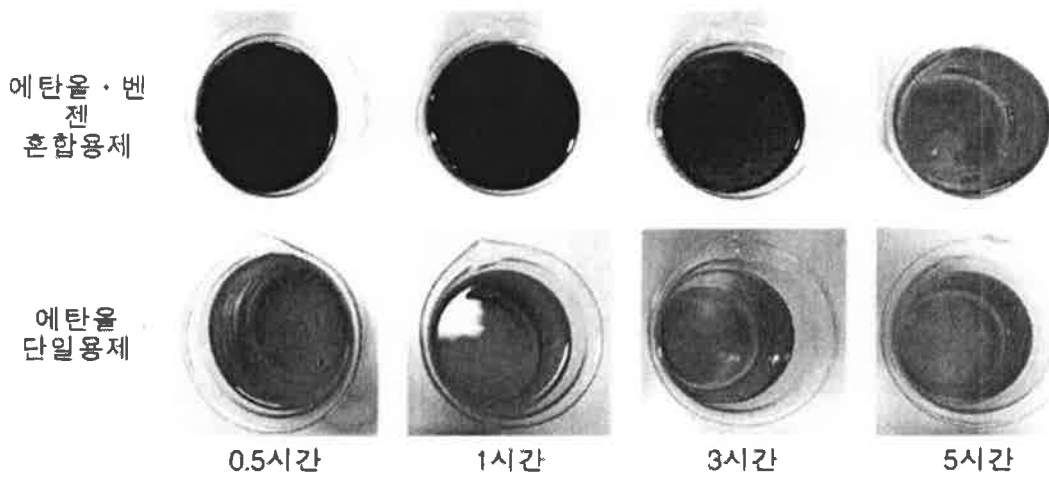
크레오소트유의 추출에 가장 효과적인 방법은 KS F 2155 “방부처리 목재의 약제 흡수량 측정 방법”에 규정되어 있는 바와 같이 에탄올·벤젠 혼합용제 처리법이다. 본 실험에서는 에탄올·벤젠 혼합용제 처리법을 비롯하여 벤젠이 발암성 물질로 인체에 해로운 용제로 분류되어 있는 점에 유의하여 벤젠을 제외한 에탄올 단일용제의 추출효과에 대해서도 검토하였다.

크레오소트유 추출에 사용한 용제의 종류와 추출시간 별 파티클의 외관 색상변화의 조사 결과를 <그림 5-17>에 나타냈다. 무처리에 비하여 2종류 추출용제 모두에서 추출시간의 증가와 함께 크레오소트유가 추출되어 파티클의 색상이 원래 목질부 색상에 가까운 상태를 나타내고 있음을 알 수 있다. 그러나 파티클 외관색상의 변화에 의해서는 용제의 종류 간에 뚜렷한 차이가 나타나지 않아 추출효율의 양부를 판단하기가 곤란하였다.

크레오소트유 추출을 종료한 후 추출시간 별로 용액의 색상을 비교한 결과를 <그림 5-18>에 나타냈다. 여기서 추출은 동일한 파티클을 각 추출시간을 종료한 후에 새로운 용액에 침지하여 추출을 실시하였다. 혼합용제의 경우에는 추출 초기의 색상이 진한 흑색을 나타내다가 추출회수가 반복됨에 따라 밝은 색을 나타냄으로써 추출초기에 다량의 크레오소트유가 추출된 것으로 판단할 수 있다. 이에 반하여 단일용제의 경우에는 추출 초기부터 마지막 단계까지 용액이 거의 유사한 색상을 나타냄으로써 크레오소트유 추출이 서서히 진행되었다는 것을 알 수 있다. 이것은 단일용제가 혼합용제에 비하여 크레오소트유 추출효율이 작기 때문에 나타난 결과라고 판단할 수 있다.



<그림 5-16> 추출용제의 종류 및 추출시간에 따른 파티클 외관 색상의 변화

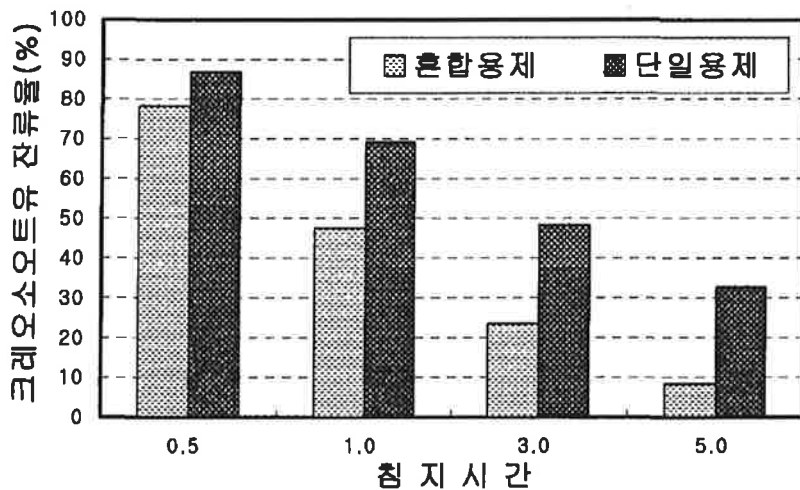


<그림 5-17> 추출용제의 종류 및 추출시간에 따른 추출 후의 용액 색상의 변화

추출용제의 종류별로 크레오소트유 추출효율을 보다 명확하게 조사하기 위하여 각 추출시간을 종료 후에 파티클에 잔류되어 있는 크레오소트유 비율을 조사하여 <그림 5-19>에 나타냈다. 추출시간이 길어짐에 따라 크레오소트유의 잔류량이 감소함을 알 수 있다. 한편 사용한 추출 용제의 종류 간에 잔류율을 비교하면 단일용제에 비하여 혼합용제로 추출한 파티클에서 동일한 추출시간에서 낮은 크레오소트유 잔류율을 나타냄으로써 에탄올 · 벤젠 혼합용제가 에탄올 단일용제에 비하여 크레오소트유 추출효율이 우수함을 알 수 있었으며 이것은 벤젠이 크레오소트유 추출의 상승효과를 가지고 있음을 나타낸 것이다.

나) 증기 처리법

고압멸균기를 사용하여 압력 1.5kg/cm², 온도 121℃에서 1시간 고온·고압 수증기를 처리한 후 파티클로부터 크레오소트유의 제거 효과를 조사하였다. 처리 후의 파티클 외관 색상 변화를 조사한 결과를 <그림 5-20>에 나타냈다. 그림에서 알 수 있듯이 처리 후에도 처리 전과 거의 색상의 변화가 나타나지 않아 증기처리 효과는 기대할 수 없는 것으로 나타났다. 처리 후 파티클을 자세히 관찰한 결과 오히려 일부 크레오소트유의 침투가 되지 않은 파티클에도 고온·고압에 의해 크레오소트유의 변질이 발생한 것을 관찰할 수 있었다.



<그림 5-18> 용제의 종류 및 추출시간 별 크레오소트유 잔류율

다) 표백제 처리법

염소계(차아염소산나트륨) 표백제 용액(유효 염소량 4%)에 파티클을 0.5, 1, 3, 12시간 동안 침지처리한 후의 파티클 외관 색상변화를 조사하였다. 그 결과를 <그림 5-21>에 나타냈다. 침지시간이 길어질수록 파티클의 색상이 밝은 색을 나타내어 염소계 표백제에 의해 크레오소트유의 제거가 인정되었다. 특히 12시간 침지처리한 파티클의 경우에는 크레오소트유의 제거는 물론 목질부의 열화까지도 진행되었다.

크레오소트유 제거 효과가 나타난 표백제 처리에서 최적 처리 시간을 조사하기 위하여 각 침지 처리시간 별로 시료를 채취하여 <그림 5-22>와 같은 조작으로 파티클 중에 잔류되어 있는 크레오소트유의 양을 측정하였다.



증기 처리 전



증기 처리 후

<그림 5-20> 고온 고압 수증기 처리 전후의 파티클 색상의 변화



무처리



0.5시간 침지



1시간 침지



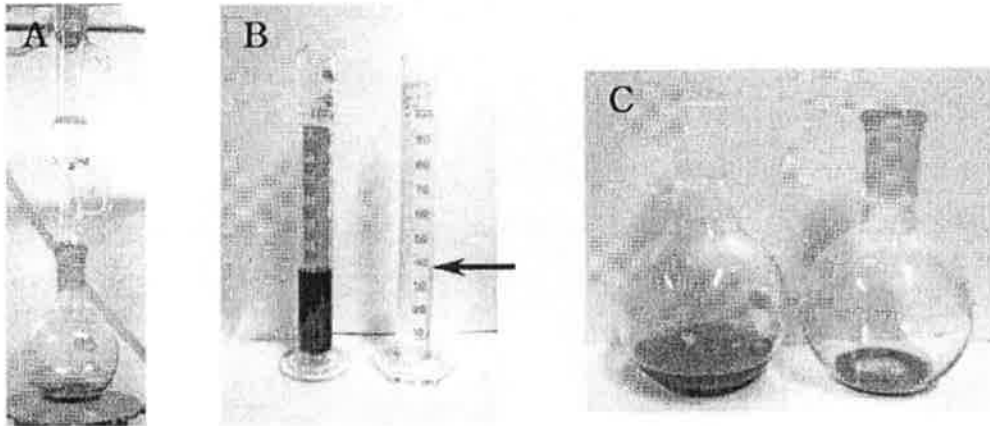
3시간 침지



12시간 침지

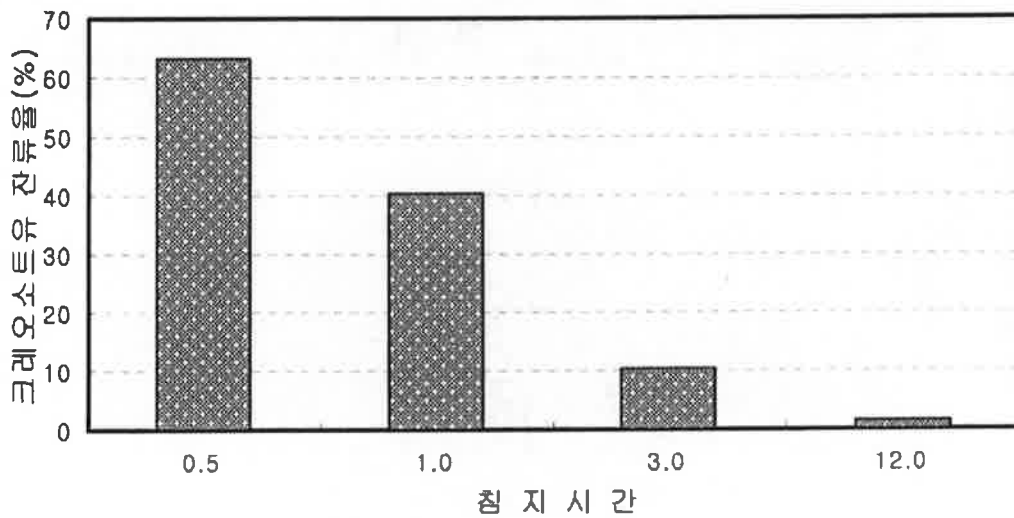
<그림 5-21> 표백제 용액 침지처리에 따른 파티클 외관 색상의 변화

<그림 5-23>에 나타난 바와 같이 표백제 용액에 침지 시간이 길어질수록 크레오소트유의 잔류량도 급격히 감소하여 12시간 침지처리에서는 크레오소트유가 거의 남아 있지 않음을 알 수 있었다. 특히 3시간 처리에서는 크레오소트유의 제거효과가 우수하였던 에탄올·벤젠 혼합액에 5시간 처리의 경우와 거의 동일한 수준의 크레오소트유 잔류율을 나타내 표백제 처리가 혼합용제 처리에 비하여 크레오소트유 제거에 매우 효과적임을 알 수 있었다. 또한 표백제 용액 3시간 처리의 경우에는 12시간 처리와는 달리 목질부의 열화도 발생하지 않아 폐침묵 재활용에 있어 크레오소트유의 제거방법으로 표백제 용액 침지처리가 가장 적합한 것으로 판단할 수 있다.



<그림 5-22> 크레오소트유 추출 혼합용제의 회수

(A; 회수장치, B; 회수 전후의 혼합용제의 양, C; 회수 전과 후의 상태)



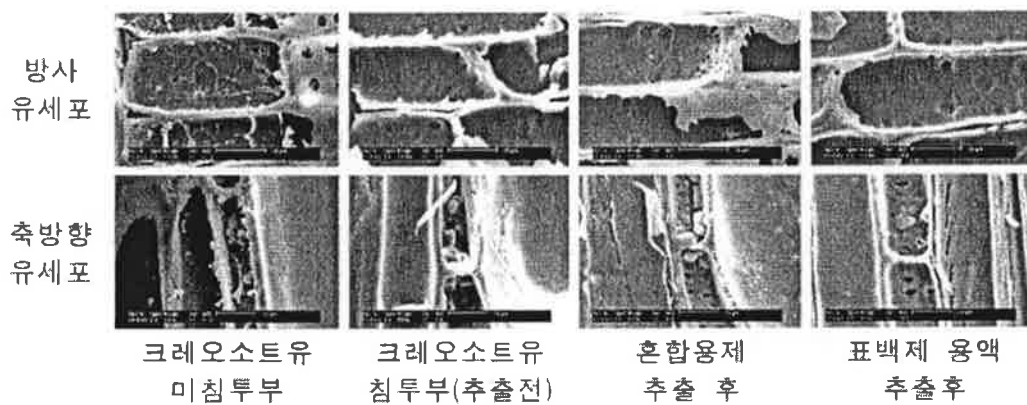
<그림 5-23> 염소계 표백제 처리 후 파티클 중의 크레오소트유 잔류율

3) 용제의 회수율

크레오소트유를 추출한 에탄올·벤젠 혼합액 일정량을 채취하여 환류냉각장치를 이용하여 순수한 혼합용제의 회수율을 조사한 결과 96.3%의 높은 회수율을 보여 혼합용제 처리의 경제성은 높은 것으로 판단되었다 <그림 5-22>.

4) 크레오소트유 추출에 의한 침묵의 재질변화

크레오소트유 추출에 따른 목질부 재질변화 여부를 조사하기 위해 주사전자현미경을 이용하여 방사유세포 및 축방향유세포를 중심으로 관찰 비교하였다. <그림 5-24>에 나타낸 바와 같이 크레오소트유 추출 전과 후의 조직변화는 관찰되지 않았다. 특히 축방향유세포 내부에는 광합성 작용에 의하여 형성된 전분입자가 혼합용제 및 표백용액에 의한 추출 후에도 그대로 존재하고 있어 용제 및 표백제에 의하여 조직의 열화현상은 나타나지 않은 것으로 판단되었다.



<그림 5-24> 크레오소트유 추출에 따른 재질 변화

다. 결과 요약

폐침묵을 재활용하는 데 있어서 문제를 야기시킬 가능성이 있는 잔류 크레오소트유의 효율적인 추출·제거방법을 검토하였다. 폐침묵의 가공형태는 칩상태보다 파티클 상태로 가공하여 추출하는 것이 추출효율이 높았다. 추출방법의 경우에는 알코올과 벤젠의 혼합용제가 가장 추출효율이 우수하였으며 염소계 표백제의 경우에도 경제성 면에서는 효과적인 것으로 판단되었다. 혼합용제 추출의 경우에는 용제의 재사용을 위해 추출 후 용제 회수율을 조사한 결과 96.3%의 높은 회수율을 나타냈다. 또한 추출 효율이 비교적 높았던 혼합 용제 및 표백제 추출에 의한 재질변화를 현미경 관찰을 통해 조사한 결과, 재질 변화는 전혀 발생하지 않는 것으로 밝혀졌다.

4. 폐침묵으로 제조한 파티클보드의 방부성능

가. 재료 및 방법

1) 실험재료

가) 파티클보드

제1세부과제에서 제조한 3층보드와 단층보드 2종류를 분양받아 사용하였다. 3층보드는 표층 파티클은 일반 파티클보드공장 파티클을 사용하였으며 중층 파티클은 폐침묵 파티클과 일반 공장 파티클을 일정 비율로 혼합하여 사용하였다. 혼합비(중량 %)는 폐침묵파티클과 일반 공장파티클을 각각 5 : 95, 10 : 90, 15 : 85 및 20 : 80으로 하였다. 여기서 폐침묵 파티클은 크레오소트유의 칩투부와 비칩투부 구분없이 일괄적으로 가공하여 사용하였다.

단층보드는 중층용으로 가공한 폐침묵 파티클로만 제조하였으며 크레오소트유의 칩투부와 비칩투부를 구분하여 일정 비율로 혼합하였다. 그 혼합비(중량 %)는 비칩투부와 칩투부 파티클이 100 : 0, 90 : 10, 70 : 30, 50 : 50, 30 : 70, 0 : 100이 되도록 하였다.

2) 실험방법

가) 방부효력 시험편 제조

폐침묵 가공 파티클로 제조한 재생 파티클보드의 휨강도를 조사한 시험체로부터 크기 25(가로)×25(세로)×15(두께)mm의 시험편을 채취하여 사용하였다.

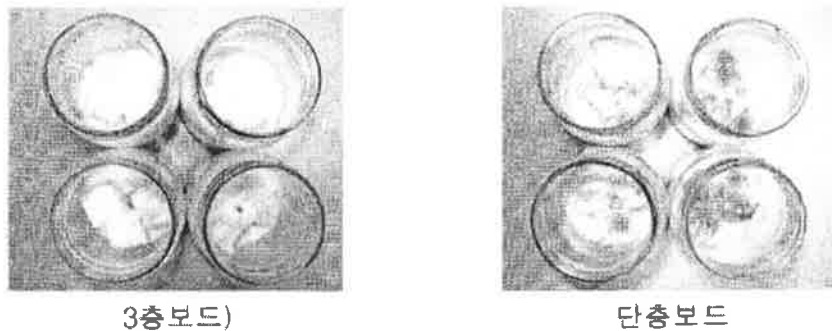
나) 부후시험

갈색부후균 부후개떡버섯(*Tyromyces palustris*)과 백색부후균 구름버섯(*Trametes versicolor*)을 배양시켜 놓은 석영사 배양기에 파티클보드 시험편을 3개씩 설치하여 온도 $26\pm 1^\circ\text{C}$, 상대습도 90% 이상인 항온항습 조건에서 3개월간 폭로시킨 후 중량감소율을 조사하였다.

나. 연구 결과

1) 공시균의 시험체 피복상태

크레오소트유의 방부효력을 살린 방부 파티클보드 제조를 검토하기 위해 크레오소트유가 침투된 부위를 파티클로 가공하여 단층보드 및 3층보드를 제조한 후 각 보드의 방부성능을 조사하였다. 각 파티클보드 시험편에 공시균이 피복한 상태를 <그림 5-25>에 나타냈다. 크레오소트유가 침투된 부위만을 가지고 제조한 단층보드 시험편에서는 공시균의 시험편 피복 능력이 떨어지는 것으로 나타났다. 그러나 크레오소트유 침투 가공 폐침목을 중층용 파티클로 사용하고 일반 공장용 파티클을 표층에 사용하여 제조한 3층 보드의 경우에는 균사에 의해 거의 피복된 상태를 보이고 있어 표층부에 크레오소트유 성분이 함유되어 있지 않아 공시균의 생장억제 효과를 나타내지 못하는 것으로 추정되었다.



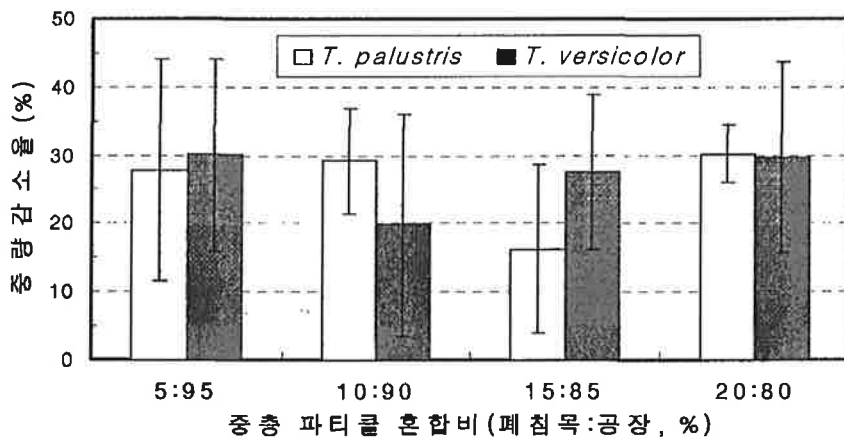
<그림 5-25> 폐침목 가공 파티클로 제조한 보드의 균사 피복상황

2) 공시균에 의한 중량감소율

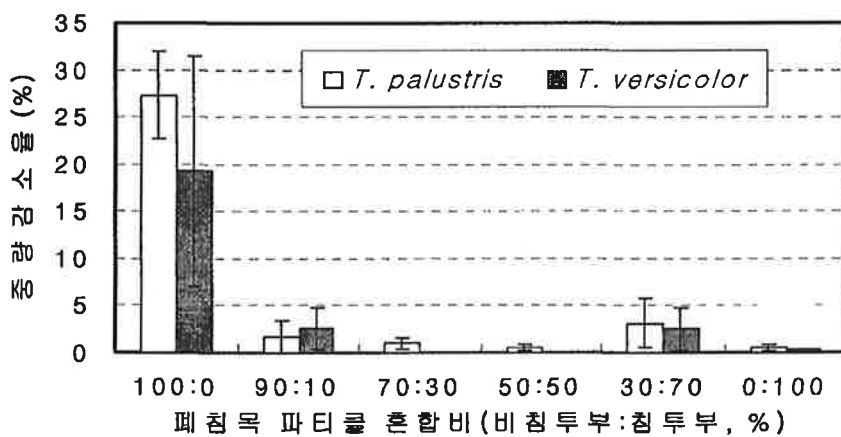
2종류의 공시균에 의해 발생한 3층보드의 중량감소율을 <그림 5-26>에 나타냈다. 크레오소트유가 잔류되어 있는 폐침목을 가공한 파티클을 혼합하여 제조하였음에도 공시균에 의하여 20% 이상의 중량감소가 발생하였다. 이와 같은 결과는 3층보드의 경우 표층부에 전혀 방부효력을 나타내지 않는 일반 공장 파티클을 사용하였기 때문에 직접 균사와 접하는 이 부위에서 부후가 진행되어 중량감소가 발생한 것으로 추정된다. 따라서 방부효력을 부여하기 위해서는 표층부에도 크레오소트유가 함유되어 있는 폐침목 파티클을 사용해야 할 것으로 판단되며 앞으로 외관이나 품질에 전혀 영향을 미치지 않고 방부효력만을 부여할 수 있는 적정 혼합비를 조사해야 할 필요가 있다.

폐침목 중층용 파티클만을 사용하여 제조한 단층보드의 2종류의 공시균에 대한 방부

효력 결과를 <그림 5-27>에 나타냈다. 그림에서도 알 수 있듯이 3층 보드의 결과와는 전혀 다른 경향을 보이고 있다. 폐침묵 파티클이라 해도 크레오소트유가 전혀 침투되지 않은 부위만을 가지고 제조한 보드의 경우에는 양 공시균에 의하여 20% 이상의 중량감소가 발생하였다. 그러나 크레오소트유가 함유된 폐침묵 파티클을 첨가함으로써 중량감소 발생이 현저하게 줄어드는 경향을 보였다. 크레오소트유 침투 폐침묵 파티클 혼합비 10%에서도 중량감소가 약 3%이내를 보여 크레오소트유의 우수한 방부효력이 입증되었다. 따라서 앞으로 외장용 방부 파티클보드 제조에 폐침묵을 활용하기 위해서 강도적 성질 개선을 위한 내구성 접착제의 선발, 폐침묵 파티클의 적정 혼합비, 크레오소트유 냄새 방지 등에 관한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다.



<그림 5-26> 공시균에 의한 3층보드의 중량감소율



<그림 5-27> 공시균에 의한 단층보드의 중량감소율

다. 결과 요약

폐침묵 중에 잔류되어 있는 크레오소트유의 방부효력을 살려서 재활용할 수 있는 방법을 검토하였다. 외장용 파티클보드의 경우에는 내구성뿐만 아니라 방부성능도 요구되기 때문에 폐침묵을 활용한 방부 파티클보드 제조의 기초자료를 확보하기 위하여 제조한 보드의 방부성능을 조사하였다. 표층부에는 일반 공장 표층용 파티클을 사용하고 중층에만 폐침묵 파티클을 혼합하여 제조한 3층보드의 경우에는 전혀 방부효력을 발휘하지 못하였다. 그러나 중층용 파티클로만 제조한 단층보드의 경우에는 폐침묵 파티클을 혼합함으로써 높은 방부효력이 발현되어 3% 미만의 중량감소가 발생하여 방부성능이 인정되었다. 따라서 3층 보드를 제조할 경우에도 표층용 파티클에 폐침묵 파티클을 일정 비율 혼합함으로써 방부효력을 부여할 수 있을 것으로 판단되었다. 그러나 폐침묵으로 방부 파티클보드를 제조하기 위해서는 접착제의 종류, 보드의 외관 등 품질 등에 관해서도 추가적으로 연구를 진행해야 할 것으로 생각된다.

5. 크레오소트유 무취보드 제조를 위한 폐침묵 적정 혼합비 구명

가. 재료 및 방법

1) 실험재료

가) 목재 파티클

크레오소트유가 잔류되어 있는 폐침묵을 가공하여 제조한 파티클과 일반 공장 파티클 2종류를 사용하였다. 이들 2종류의 파티클을 분쇄기로 분쇄한 후 입자 크기 0.25~0.425mm사이의 시료만을 선별하여 분석에 사용하였다.

2) 실험방법

가) 폐침묵 가공 파티클과 일반 공장 파티클의 혼합

크레오소트유의 냄새가 나지 않는 최고 혼합비를 구하기 위해 폐침묵 파티클 목분과 일반 공장 파티클 가공 목분 비율을 중량 %로 하여 각각 0 : 100, 1 : 99, 5 : 95, 10 : 90, 15 : 85, 20 : 80, 25 : 75, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40, 70 : 30, 80 : 20, 90 : 10, 100 : 0의 15단계 비율로 혼합하여 분석에 공시하였다.

나) 크레오소트유 냄새 분석

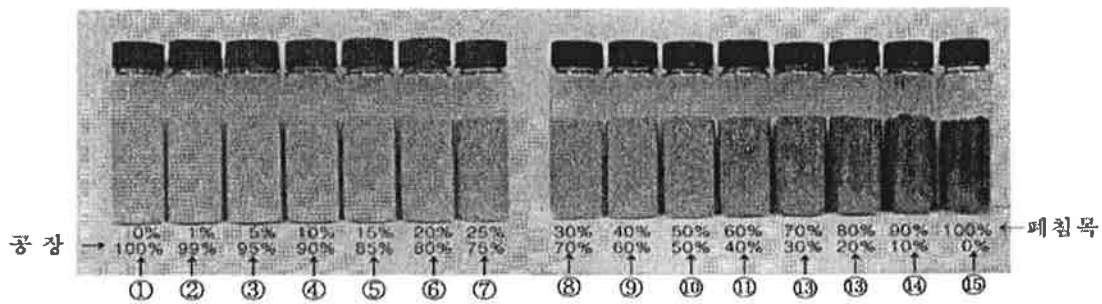
15단계의 비율로 혼합한 시료에 대해서 크레오소트유의 냄새가 나지 않는 폐침묵 목분의 최고 혼합비를 조사하기 위하여 전자코(Electronic Nose System, Alpha M.O.S. France)를 이용한 기기분석과 사람을 대상으로 하는 관능검사를 실시하여 비교하였다.

전자코에 의한 분석은 Sample volume 0.3g, Incubation time 300sec., Incubation temp. 35°C, Vial type 20ml, Agit. speed 250rpm, Flushing time 120sec., Injection volume 2000 μ l의 조건에서 시료 종류별로 3반복을 행하였다.

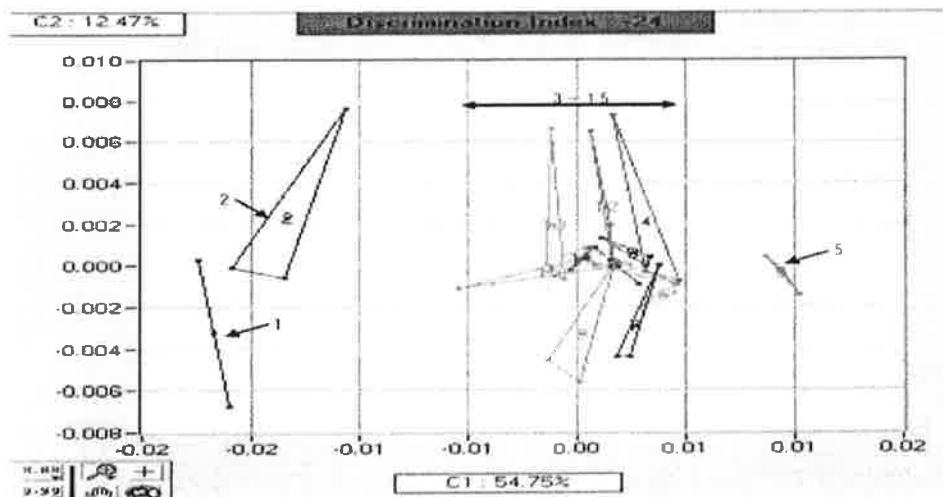
관능검사는 전자코의 기기분석에 사용한 동일한 시료를 가지고 충남대학교 환경임산자원학부 임산공학전공 학생 78명을 무작위로 선별하여 직접 냄새를 맡도록 하여 크레오소트유 무취 혼합비를 구하였다. 분석에 사용한 시료를 <그림 5-28>에 나타냈다.

나. 연구 결과

각기 다른 폐침묵 파티클 목분 혼합비를 갖는 15개의 시료에 대하여 분석을 실시한 결과를 <그림 5-29>에 나타냈다. 15개의 시료는 3개 그룹으로 분류되어 제1그룹은 시료 번호 1번으로 공장 파티클 목분 100%, 즉 크레오소트유의 냄새가 전혀 감지되지 않는 시료, 제2그룹은 시료 번호 2번으로 공장파티클 목분 99%에 폐침묵 파티클 목분 1%를 혼합한 시료, 제3그룹은 나머지 12개 시료(시료 번호 3번부터 15번)였다. 시료 번호 5번의 경우에는 이상치를 나타내어 제4그룹으로 분류되었으나 분석결과의 해석에서 제외해도 무방할 것으로 판단되었다.



<그림 5-28> 전자코 및 관능검사에 사용한 시료



<그림 5-29> 전자코에 의한 시료의 크레오소트유 냄새 발생 분석 결과
(번호 1 ~ 15는 폐침묵 목분과 일반 공장 파티클 목분의 혼합비, 비율은 <그림 5-28> 참조)

이들 결과로부터 그룹 1은 시료번호 1번으로 폐침묵 성분이 전혀 함유되어 있지 않기 때문에 크레오소트유 냄새의 감지가 전혀 안되는 그룹이다. 한편 그룹 2에 해당하는 시료 2번의 경우에는 폐침묵 성분 함유율이 1%에 불과하여 크레오소트유의 냄새가 매우 미미하게 감지되어 제 3그룹에 포함되지 않고 독립적인 그룹을 형성한 것으로 해석할 수 있다. 그러나 시료번호 3번부터는 폐침묵 성분 100%인 시료 번호 15번과 같은 그룹에 속해 있어 폐침묵 성분 5%의 혼합부터는 크레오소트유의 냄새가 감지된다는 것을 알 수 있다.

한편, 학생들을 대상으로 동일한 시료를 가지고 관능검사를 실시한 결과 78명의 학생 중에서 75명인 96.2%가 폐침묵 혼합비 5%부터 크레오소트유의 냄새를 감지하였다. 이 결과는 전자코에 의한 기기 분석 결과와 일치하고 있어 폐침묵을 보드 원료로 사용할 경우 5%이상을 혼합할 경우에는 크레오소트유의 냄새에 의한 문제가 발생한다는 것을 의미한다.

다. 결과 요약

폐침묵을 파티클보드와 같은 목질보드용 원료로 사용할 경우 폐침묵 중에 잔류되어 있는 크레오소트유의 냄새가 문제를 발생시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 폐침묵을 파티클로 가공하여 파티클보드를 제조할 경우, 일반 공장 파티클에 혼합하여 무취보드를 제조할 수 있는 최고 혼합비를 전자코에 의한 기기분석과 학생을 상대로 한 관능검사를 실시하여 비교하였다.

폐침묵 혼합 파티클보드로부터 크레오소트유의 냄새를 감지할 수 없는 비율(중량%)은 폐침묵 파티클 5%에 일반 공장 파티클을 95% 혼합해야 하는 것으로 밝혀졌으며 전자코에 의한 기기분석과 관능검사 모두 동일한 결과를 나타냈다.

6. 폐침묵으로부터 크레오소트유의 용탈성 조사

가. 재료 및 방법

1) 실험재료

폐침묵으로부터 크레오소트유의 용탈 특성을 조사하기 위하여 2종류의 시료를 만들어 검토하였다. 폐침묵을 길이방향으로만 절단한 것과 폐침묵 중에서 크레오소트유가 침투되어 있는 부위만을 골라 목분으로 가공한 것을 사용하였다.

원형 폐침묵과 목분은 일반 수도수와 인공 산성수에 일정 기간 침지하였다. 인공 산성수는 2004년도 우리나라 7대 도시(서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산) 강우의 평균 pH를 조사한 후 증류수를 가지고 제조하여 사용하였다. 일반 수도수와 인공 산성수의 pH는 각각 6.73과 5.23이었다.

2) 실험방법

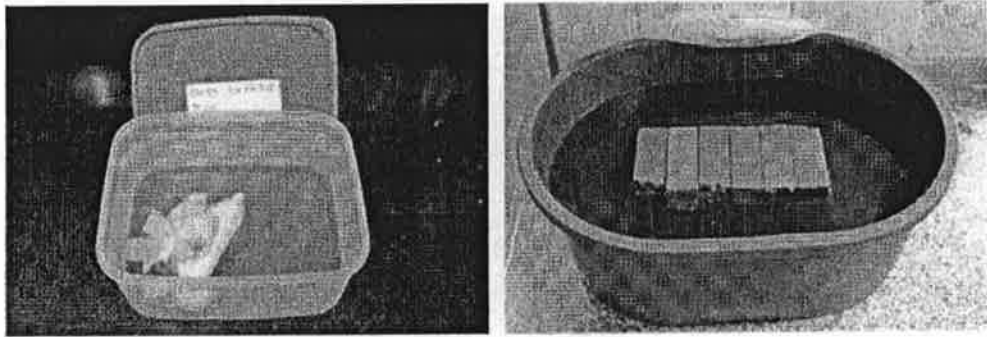
침지처리는 각각 폐침묵 원형의 경우에는 시험체 용적의 5배 목분의 경우에는 100배의 수도수와 인공 산성수에 1, 2, 3, 4, 5주간 침지시킨 후, 침지 기간 별로 소량의 용탈수를 채취하여 크레오소트유 성분의 용탈 분석에 사용하였다. 분석은 크레오소트유의 70~80%를 차지하고 있는 것으로 알려진 PAHs(Polycyclic aromatic hydrocarbons, 다환방향족화합물)의 표준용액(Ultra Scientific PM 611)을 이용하여 검량선을 작성한 후 Shimadzu GCMS-QP2010을 사용하여 용탈수 내의 PAHs 함량을 정량 분석하였다. GCMS분석은 VB-1capillary column을 사용하였고 injection 온도를 330℃로 설정하였다. 오븐 온도는 100℃에서 10℃/min, 300℃에서 다시 15℃/min로 335℃까지 올린 후 10분간 고정하였다. 헬륨 가스를 2ml/min로 공급하였고 분석 샘플은 미량 시료 분석을 위한 splitless방법을 사용하였다.

나. 연구결과

폐침묵의 크레오소트유의 용탈시험 광경을 <그림 5-30>에 나타냈다. 이와 같은 상태에서 1, 2, 3, 4, 5주 간격으로 용탈수 약 10ml를 채취하여 분석에 사용하였으며 채취한 용탈수만큼의 양을 다시 보충해 주지는 않았다. PAHs 표준용액의 검량선 그래

프를 <그림 5-31>에 나타냈다. 그래프 상에 표기되어 있는 각 피크의 번호에 해당되는 PAHs는 다음과 같다.

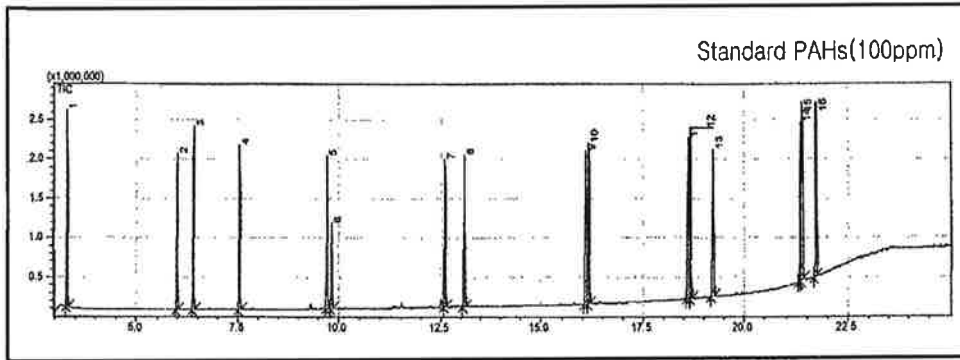
1 Naphthalene, 2 Acenaphthylene, 3 Acenaphthene, 4 Fluorene, 5 Phenanthrene, 6 Anthracene, 7 Fluoranthene, 8 Pyrene, 9 Benz[a]anthracene, 10 Chrysene, 11 Benzo[b]fluoranthene, 12 Benzo[k]fluoranthene, 13 Benzo[a]pyrene, 14 Indeno[1.2.3-cd]pyrene, 15 Dibenz[a,h]anthracene, 16 Benzo[ghi]perylene.



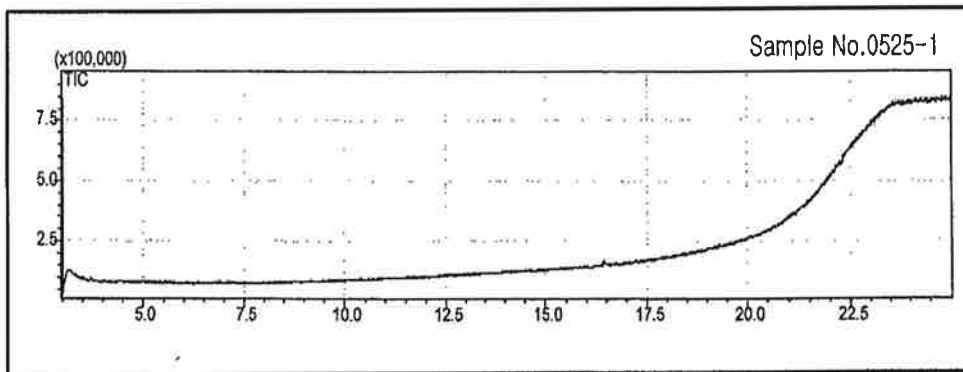
<그림 5-30> 폐칩목의 용탈시험(좌: 목분, 우: 원형상태)

일반 수도수와 인공 산성수에 1, 2, 3, 4, 5주간 원형 폐칩목과 목분시료를 침지시킨 후 채취한 용탈수의 분석결과 일부를 <그림 5-32>에 나타냈다. 모든 용탈수 분석 그래프에서는 검량선 그래프와는 달리 각각의 해당 PAHs가 나타내는 피크가 전혀 나타나지 않아 용탈수 중에는 PAHs성분이 전혀 용탈되어 있지 않은 것으로 나타났다. 이것은 폐칩목이 설치 후에 적어도 15년 이상 경과됨에 따라 주요 성분들이 오랜 기간에 걸쳐 모두 용탈 또는 휘산되어 버렸기 때문인 것으로 판단할 수 있다. 따라서 이들 결과로부터 폐칩목을 원형 그대로, 또는 가공하여 사용해도 크레오소트유를 구성하는 PAHs성분에 의해 토양이나 수질 오염의 위험성이 전혀 없다는 것이 판명되었다.

한편 조 등(2006)은 크레오소트 처리제로부터 토양으로 유출된 PAHs의 함량을 조사하여 조사 지역에 따라 큰 변화를 보였으며 폐칩목을 이용한 홍릉 수목원의 경우에는 폐칩목 시설물로부터 20m가 떨어진 대조구 토양과 큰 차이를 보이지 않았다고 보고하고 있다. 이것은 폐칩목으로부터 토양오염을 일으키는 PAHs의 유출이 거의 없었다는 것을 의미하였다.



<그림 5-31> 다환방향족화합물(PAHs) 표준용액의 검량선 그래프



<그림 5-32> 폐침묵 용탈수의 다환방향족화합물(PAHs) 검출 그래프
(폐침묵을 인공산성수에 5주간 침지처리)

다. 결과 요약

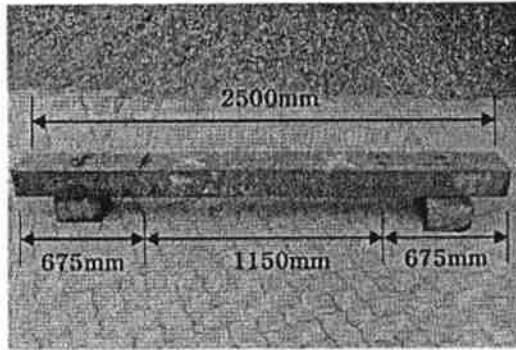
폐침묵 재활용을 위해서는 폐침묵 중에 함유되어 있는 크레오소트유의 용탈특성을 살펴봐야 한다. 폐침묵을 원형 및 목분 상태로 가공하여 수도수 및 인공 산성수에 1~5주 동안 침지시켜 1주일마다 용탈수를 채취하여 분석한 결과 수도수와 산성수에 의해 전혀 크레오소트 구성 화합물의 용탈이 되지 않는 것으로 판명되었다. 따라서 폐침묵을 재활용하는 과정에서 크레오소트유의 용탈에 의한 토양이나 수질 오염과 같은 환경오염 발생은 없는 것으로 밝혀졌다.

7. 폐침목을 이용한 데크블럭 제작

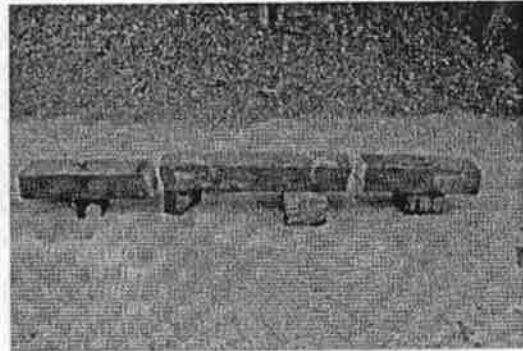
가. 재료 및 방법

1) 실험재료

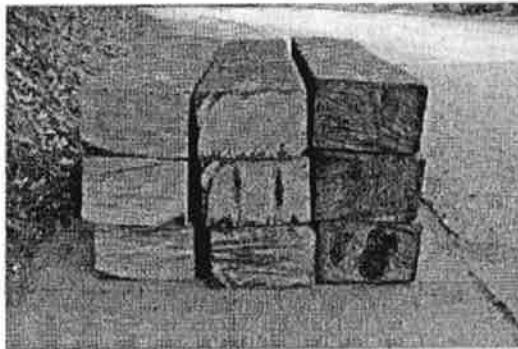
240(폭)×150(두께)×2500(길이)mm 크기의 보통폐침목 3정을 구입하여 사용하였다.



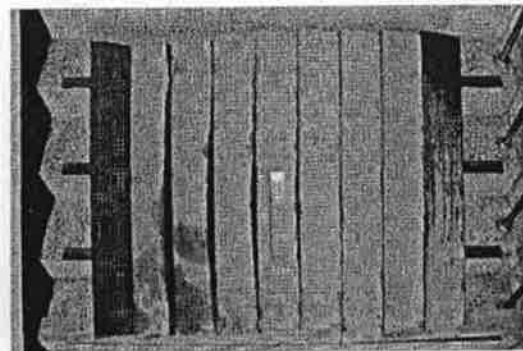
폐침목의 원형 및 치수



폐침목의 길이 절단



제재용 폐침목



폐침목 제재판

<그림 5-33> 데크블럭 제작을 위한 폐침목의 가공

2) 실험방법

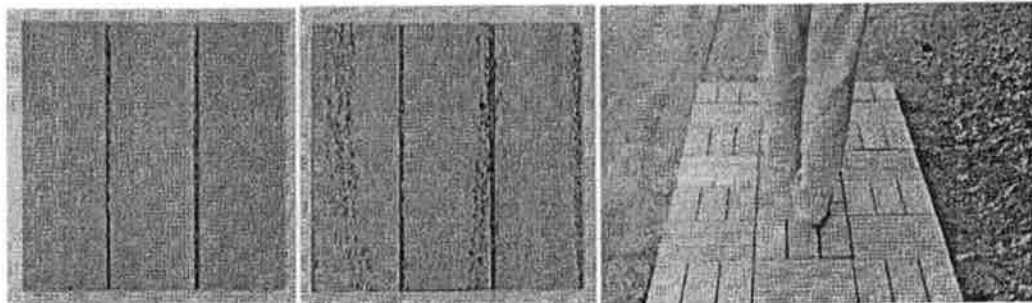
폐침목을 길이방향으로 절단하여 데크블럭 제작용 데크재는 폐침목의 중간부분(길이 약 1,150mm)을 사용하였다. 안쪽 스파이크 구멍을 중심으로 바깥쪽 부분은 시판되고 있는 데크블럭의 길이 치수(295mm)를 충족시키지 못하여 사용하지 못하였다. 중간부분의 폐침목을 두께 25mm로 제재하여 데크재 제조에 사용하였다. 이들 데크재용 제

재목을 다시 두께 20mm가 되도록 평삭하였으며 시판제품의 경우에는 표면을 콤보가공 하였으나 본 실험에서는 콤보가공 기계를 확보하지 못하여 실시하지 못하였다. 평삭 후 길이방향으로 정확하게 데크재 길이 295mm가 되도록 절단하여 데크블럭 제작에 사용하였다.

나. 연구결과

1) 폐침목의 데크재 수율 및 데크블럭

플라스틱제의 데크베이스에 부착하는 데크재의 크기는 95(폭)×20(두께)×295(길이)mm이다. 폐침목 중에 가장 많은 양을 차지하는 것은 보통침목으로 치수는 240(폭)×150(두께)×2,500(길이)mm이다. 보통폐침목으로부터 데크재를 생산할 수 있는 수율을 계산하면 폐침목 양쪽의 안쪽 스파이크 구멍을 중심으로 바깥쪽 부분 길이 약 675mm는 데크재 길이를 충족하지 못하여 사용하지 못하고 가운데 부분 길이 약 1,150mm만 사용할 수 있다. 이 가운데 부분으로부터 두께 25mm 판재를 최소 7매에서 최고 9매까지 생산할 수 있었다. 또한 판재 1매당 길이 295mm 데크재를 3매까지 생산할 수 있기 때문에 보통폐침목 1정 당 데크재 생산 매수는 최소 21매에서 최고 27매까지 생산할 수 있다. 따라서 보통폐침목 1정을 가지고 제작할 수 있는 데크블럭은 최소 7장에서 최고 9장까지로 0.2평에서 0.26평을 잘 수 있는 양이다.



크레오소트유 미침투
데크블럭

크레오소트유
침투 데크블럭

폐침목 데크블럭 시공 예

<그림 5-34> 폐침목을 활용하여 제조한 데크블럭 및 시공예

폐침묵으로 제작한 데크블럭의 외관 및 데크블럭 시공 예를 <그림 5-34>에 나타냈다. 폐침묵의 비중이 높고 재질이 단단하기 때문에 크레오소트유의 침투가 거의 안된 것이 대부분으로 이들 폐침묵으로 제작한 데크블럭의 경우에는 크레오소트유의 냄새도 전혀 나지 않고 외관도 깨끗해 실내에 시공이 가능할 정도로 매우 우수한 외관을 가지고 있다. 한편 일부의 폐침묵에서는 크레오소트유의 침투가 내부까지 부분적으로 침투해 있어 이들 폐침묵으로 제작한 데크블럭은 크레오소트유의 방부성능을 이용해 외부 산책로나 공원 등에 시공하기에 적합하다.

2) 폐침묵을 활용한 데크블럭 생산의 경제성

보통 폐침묵으로 데크블럭을 생산하는 데 있어 경제성을 살펴보기 위하여 재료비, 노무비 등을 현재 생산 판매되고 있는 데크블럭 1매 생산을 기준으로 하여 산출해 보았다. 그 결과를 <표 5-1>에 나타냈다.

<표 5-1> 폐침묵 데크블럭 1매 생산가격 산출표

항 목	규격 (mm)	수 량	단 위	재료비(원)		노무비(원)		합계(원)		비율 (%)
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	
1. 운반비	95×20×900	0.513	才			91	47	91	47	1.6
2. 제재비	"	"	"			150	77	150	77	2.6
3. 폐침묵 데크재	"	"	"	910	467			910	467	15.6
4. 데크 베이스	300×300×30	1	장	620	620			620	620	20.7
5. 기타 재료비					852				852	28.4
6. 조립비 등						736		736		24.6
제조원가								2,799		93.5
일반관리비	제조원가	7	%						196	6.5
생산가격								2,995		100.0

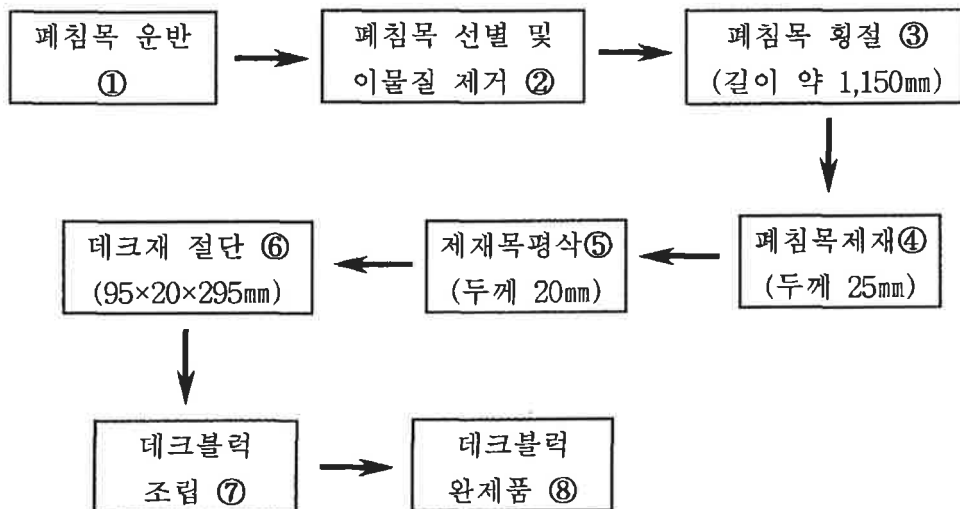
*운반비는 100km 기준

폐침목을 가공하여 데크블럭 1매를 생산하는 데 소요되는 비용은 이윤을 제외하고 대략 2,995원 정도인 것으로 산출되었다. 따라서 1평을 시공하는 데는 데크블럭 35매가 필요하여 104,825원 정도가 소요된다. 여기에 이윤(약 제조원가의 약 30%)을 더하면 1평당 약 135,000원에 시공할 수 있어 현재 시판되고 있는 데크블럭의 평당 시공비 약 210,000여원의 약 65% 수준에서 끝낼 수 있어 폐침목을 활용한 데크블럭 생산은 경제성이 매우 높은 것으로 밝혀졌다. 또한 1992년부터 시행되고 있는 환경부의 “자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률”에 근거하여 자원 재활용 제품의 경우에는 KS, GR, 환경마크 등을 부여하여 공공기관 구매의무, 가격 차등제(10%) 등 지원정책이 있어 이 법령의 도움을 받게 되면 폐침목 재활용 데크블럭의 시장성은 매우 밝은 것으로 판단된다.

한편, 길이방향으로 횡절하여 발생한 양 끝 쪽 부분(길이 약 675mm)의 토막은 외부 계단용이나 바닥 보강용으로 활용할 수 있다.

3) 폐침목을 활용한 데크블럭의 제조과정

폐침목을 활용한 데크블럭의 제조과정을 <그림 5-35>에 간략히 정리하였다.



<그림 5-35> 폐침목을 활용한 데크블럭의 제조과정

- ① 폐침목 운반: 전국 철도공사 산하 시설관리사무소에서 보관하고 있는 폐침목을 데크블럭 생산 공장까지 운반

- ② 폐침목 선별 및 이물질 제거: 건전 폐침목을 선별하고 표층부에 부착되어 있는 돌이나 침목 내부에 박혀있는 금속류(부러진 스파이크 등) 제거
- ③ 폐침목 횡절: 폐침목을 길이방향에서 가운데 부분(길이 약 1,150mm) 절단
- ④ 폐침목 제재: 횡절한 길이 1,150mm의 폐침목을 폭 방향으로 25mm 두께가 되도록 제재
- ⑤ 제재목 평삭: 두께 20mm까지 양면을 대패질하고 폭 150mm인 것을 95mm가 되도록 제재
- ⑥ 데크재 절단: 95(폭)×20(두께)×1,150(길이)mm인 제재목으로부터 길이가 295mm인 데크재 3매 절취
- ⑦ 데크블럭 조립: 데크재 3매를 플라스틱 제품의 데크베이스에 나사못을 사용하여 조립
- ⑧ 데크블럭 제품 완성

다. 결과 요약

폐침목을 보드원료가 아닌 새로운 용도로 개발하기 위하여 최근 수요가 증가하고 있는 데크블럭 생산에 대하여 검토하였다. 그 결과, 현재 시판되고 있는 데크블럭 생산비의 약 65% 수준에서 생산이 가능하여 경제성이 매우 높은 것으로 판명되었다. 또한 지금과 같이 폐침목을 야외조경 시설재나 노반보강용 등 원형 그대로 사용하는 것에 비하여 고부가가치를 창출할 수 있는 것으로 밝혀졌다. 폐침목 데크블럭 제품은 외장용과 내장용의 2종류를 생산할 수 있다. 따라서, 내부까지 크레오소트유가 침투되어 있는 폐침목은 외장용 데크블럭 생산에 사용하고, 크레오소트유가 거의 침투되어 있지 않은 폐침목은 내장용 데크블럭 생산이 가능하다.

제 6 절 난재활용 폐목질자원의 열분해 이용

1. 서 설

우리나라에서의 폐목재 발생량은 연간 목재소비량의 약 40% 정도에 달하며, 이 가운데 목재가공산업의 폐목재를 제외하면 아직 재활용율이 매우 낮으며, 특히 생활폐목재는 거의 대부분 소각 또는 매립 처분되고 있는 실정이다. 그러나 책상, 가구와 같은 생활폐목재는 종이, 플라스틱 등 다른 생활폐기물과 발열량이 달라 소각장에서 회피하고 있으며 또한 부피가 커서 매립장에서도 잘 받아주지 않는 현실이다. 공장에서 제조된 중밀도섬유판(이하 MDF)이나 파티클보드(이하 PB)는 실제 가구, 싱크, 책상 등 생활용품으로 이용시 대부분이 수지 함침지에 의해 다시 피복되므로 재활용이 어렵고, 콘크리트 거푸집용으로 사용되는 합판(이하 PW)은 페놀수지가 함침된 테고필름에 의해 피복되어 있어 또한 재활용하기 어렵다. 더욱이, 폐침목은 크레오소트유의 용탈에 의한 환경오염 문제로 재활용이 곤란하다.

환경과 생산의 양면에서 목재를 100% 이용하는 방법으로 다음 3가지가 통상 주창되어 왔다. 첫째로 원목으로 제재, 합판, 집성재, 단판적층재 등의 제품을 제조하는 것, 둘째로 이를 회수하여 칩(Chip)상으로 제조하여 파티클보드 등의 제품을 제조하는 것, 셋째로 다시 이를 회수, 압축 고형화(固化化)하여 바이오매스발전의 연료로 사용하는 것일 것이다.

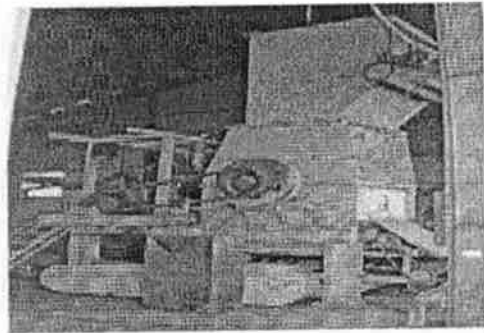
본 연구에서는 폐목재의 최종 이용법으로서 기존의 바이오매스 연료가 아닌 새로운 이용법으로서 폐목재를 이용한 재활용숯을 제조하여 토양개량제 또는 탄화물 복합보드 등의 신제품으로 이용하는 방법을 제시하고자 한다. 이를 위해 재활용이 곤란한 폐PB, 폐MDF, 폐합판, 폐침목 등 4종의 폐목재를 이용하여 열분해 방법에 의해 탄화물과 목초액을 제조하여, 먼저 토양개량제로서의 이용 가능성을 검토하였다. 이어, 값싼 재활용숯을 이용하여 포름알데히드 등 유해물질을 흡착하는 새로운 건축자재로 재활용하는 방안을 검토하였다.

2. 폐목재 탄화물의 제조와 특성

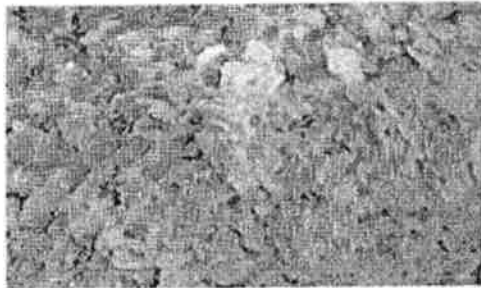
가. 재료 및 방법

1) 실험재료

경북 김천 소재 폐목재 수집공장에서 수집한 폐목재 더미로부터 폐MDF, 폐PB, 폐합판을 분리하였다.



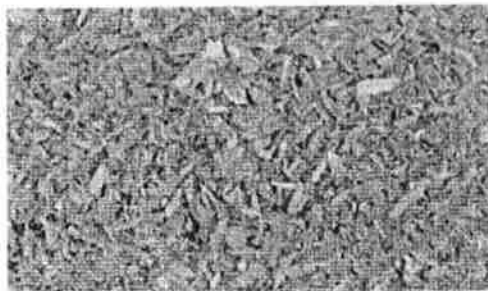
<그림 6-1 적재된 폐목재와 파쇄기>



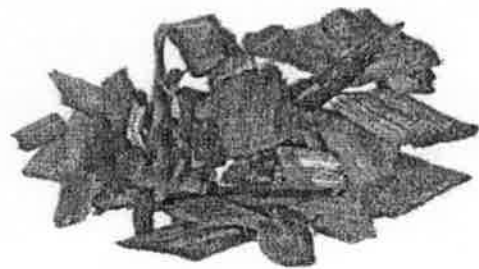
(A) 폐MDF



(B) 폐합판



(C) 폐PB



(D) 폐침목

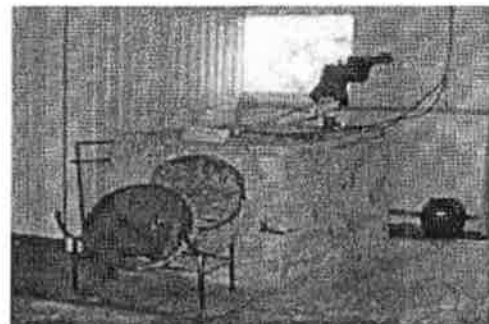
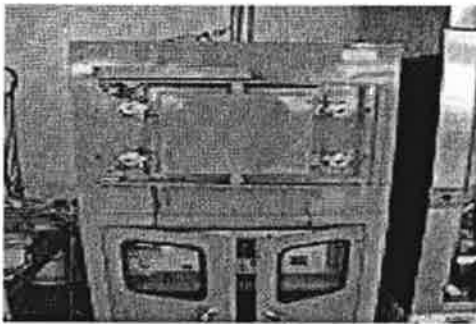
<그림 6-2> 공시재료

<그림 6-1>의 대형 파쇄기를 이용하여 <그림 6-2>와 같이 1~2cm 크기로 분쇄하여 탄화물의 제조를 위한 공시재료로 사용하였다. 파쇄된 폐목재의 구성비율은 건진목 30%, 폐합판 26%, 폐PB 24%, 폐MDF 20%로 이루어져 있었다. 폐침목은 법규상 건설폐목재와 별도로 관리되므로 별도로 분쇄하였다.

2) 실험방법

가) 탄화물의 제조

상기 4종의 폐목재를 <그림 6-3>과 같은 전기식 탄화로에서 탄화하였다. 탄화물의 기초적인 물성 조사를 위하여 각 시료를 200ml 용량의 도가니에 넣고 각각의 설정 탄화온도(400, 600, 800℃)에 도달시킨 후 2시간에 걸쳐 탄화하였다. 목초액의 제조는 상기 4종의 시료를 <그림 6-3>와 같이 드림통을 개조하여 만든 간이탄화로에서 직접 탄화하면서 목초액을 회수하여 약 1개월간 정치, 숙성, 여과시켰다.



<그림 6-3> 전기식탄화로(좌)와 간이탄화로(우)

나) 탄화물의 분석

폐MDF, 폐PB, 폐합판 및 폐침목을 400, 600, 800℃에서 각각 탄화시킨 12종의 목탄을 분쇄기(IKA M20, Germany)로 분쇄한 후 60 mesh 통과분을 실험에 사용하였다. 국립산림과학원 발간 '임산물품질인증지침'에서 '목탄의 규격과 품질 제6조'에 기재된 품질기준 및 품질시험기준법에 준하여 아래 실험을 실시하였다.

(1) 수분

시료(60 mesh 통과분) 약 1g (전건중량)을 도가니에 넣고 105± 1℃ 송풍건조기에 서 하룻밤 건조시킨 후, 그 감량을 시료에 대해서 백분율로 계산하였다.

- 수분 (%) = [(기건중량(g) - 전건중량(g)) / [전건중량(g)] × 100

(2) 휘발분

수분 정량 후 도가니의 뚜껑을 덮고 925± 2℃ 회화로에서 6분간 정확히 가열하여 수분함량을 제외한 감량을 시료에 대해서 백분율로 계산하였다.

- 휘발분 (%) = [(전건중량(g)으로부터의 감량(g)) / [전건중량(g)] × 100

(3) 회분

휘발분 정량 후의 시료가 담긴 도가니를 다시 800± 1℃ 회화로에서 3시간 동안 회화시켰다. 그 후 잔류물 중량을 측정하여 전건시료 중량에 대한 백분율로 계산하였다.

- 회분 (%) = [회분(g) / 전건중량(g)] × 100

(4) 수소이온농도

JIS규격(JIS K 1474)에 준하여 1g (전건중량)을 정칭(定秤)하여 50ml 용량의 삼각플라스크에 담아 이온교환수 33.4ml를 넣고 5분간 끓였다. 그 후 상온으로 냉각하여 pH meter (SUNTEX, SP-701, Taiwan)로 측정하였다.

(5) 무기물 분석

탄화물을 미분말화한 다음 무기물형광분석기(XRF spectrometer, Spectro TITAN)를 이용하여 각종 무기물을 분석하였다.

다) 목초액의 분석

국립산림과학원에서 발간한 '임산물품질인증지침'에서 '목초액의 규격과 품질 제9조'에 기재된 품질기준 및 품질시험기준법에 준하여 아래 실험을 실시하였다.

(1) 보메비중

목초액 100ml를 메스실린더에 넣어 본조비중계로 비중을 측정하였으며, 측정 온도는 15± 1℃로 하였다. 측정된 비중 값과 다음 식으로부터 보메비중을 계산하였다.

- 비중 = 144.2 / [(144.2 - 보메비중(. Be))]

(2) 산량

산량은 초산을 기준으로 하여 계산하였다. 100ml의 용량 플라스크에 목초액 5ml를 넣고 증류이온교환수로 정용하였다. 그 후 50ml 용량의 비커에 정용액 20ml를 넣고 페놀프탈레인 지시약 3방울과 마그네틱 바를 넣었다. 혼합액은 마그네틱 교반기로 교반하면서 0.1N NaOH로 적정하였다. 적정 시 pH meter를 사용하였으며, 종말점은 pH 8.15로 하였다. 산량은 소비된 0.1N NaOH량(ml)과 다음 식으로부터 계산하였다.

$$\cdot \text{산량}(\%) = [\text{NaOH 소비량}(\text{ml}) \times 60.04 \times F(1.003) \times 0.1] / 1000 \times 100$$

(3) 수소이온농도

50ml 용량의 비커에 목초액 40ml를 넣고 pH meter로 측정하였다.

(4) 용해타르

목초액 약 20g을 증발접시에 넣고 아스베스트가 설치된 가스버너 상에서 서서히 가열하여 액이 약 1~2ml가 되도록 농축하였다. 그 후, 증발접시를 125± 2℃의 송풍건조기 내에서 하룻밤 건조한 후 고형분 잔사를 칭량하여 사용된 목초액과의 백분율로 계산하였다.

(5) 굴절률

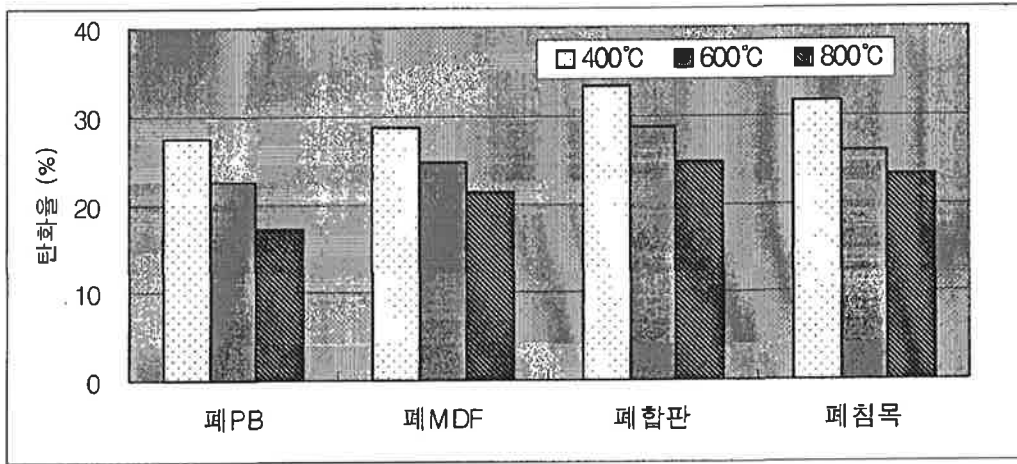
휴대용 간이 굴절계(ATAGO, N-1E, Japan)를 사용하였다.

나. 연구결과

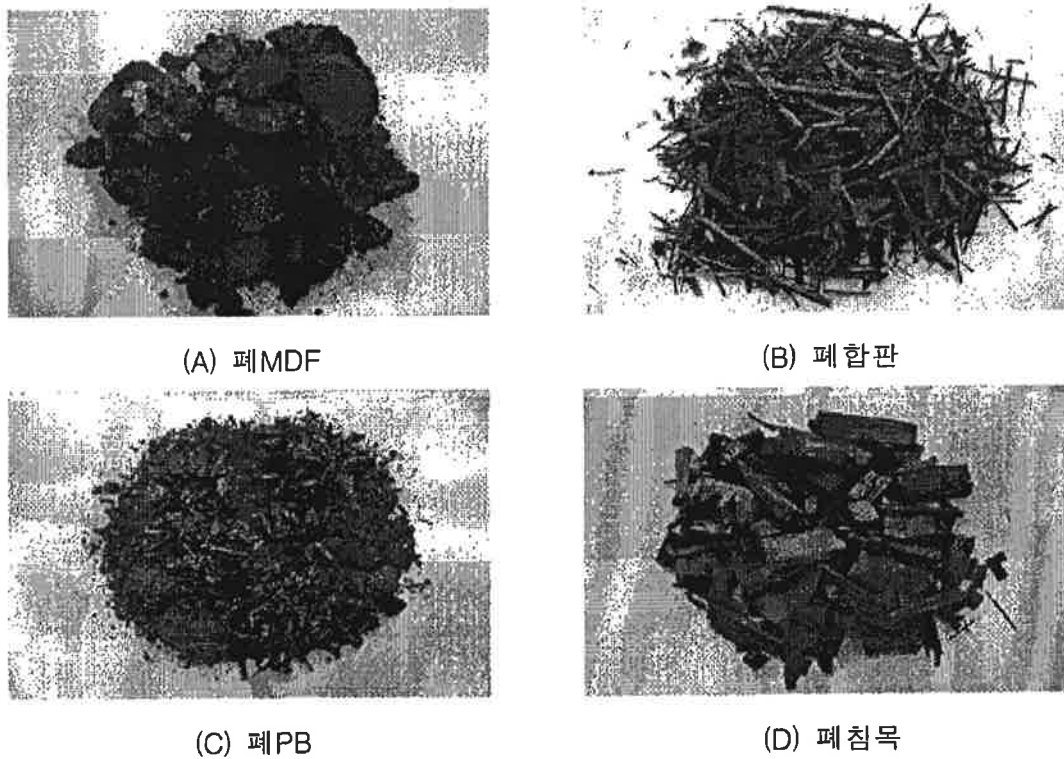
1) 폐목재의 탄화율과 탄화특성

4종의 폐목재에 대하여 탄화온도별, 재료별 탄화율을 조사한 결과를 <그림 6-4>에 나타내었다. 온도별로는 400℃>600℃>800℃의 순으로 온도가 높아질수록 탄화율이 낮아졌으며, 재료별로는 폐합판>폐침목>폐MDF>폐PB의 순으로 탄화율이 높았다. 800℃에서 각 재료별 탄화율은 폐합판 24.9%> 폐침목 23.3%> 폐MDF 21.3%> 폐PB 17.2% 였다.

폐목재 탄화물의 성상을 <그림 6-5>에 나타내었다. 폐MDF 탄화물은 퍼석퍼석하고 미세분말이 대량 발생하였으나, 나머지 재료들은 외관상 건전목과 마찬가지로 목질탄화물로서 전혀 문제가 없었다.



<그림 6-4> 폐목재의 탄화율



<그림 6-5> 폐목재 탄화물의 성상

각 온도별로 제조한 폐목재 탄화물의 물성을 <표 6-1>에 나타내었다. 탄화물의 수분은 23.7~32.2%로 일반 목탄의 수분 함량인 10% 내외에 비하여 전반적으로 높았는데, 이는 탄화로에서 탄화물이 배출될 때 높은 온도에서 배출되므로 냉각을 위해 사용된

물에 의해 흡수된 것으로 판단된다. 재료별로는 폐침목이 27.0%(800℃)~32.2%(400℃)로 가장 높았으며 탄화온도와 재료에 따른 수분은 크게 차이를 보이지 않았다.

<표 6-1> 폐목재로부터 제조한 탄화물의 물성

탄화온도 (℃)	시료명	수분 (%)	휘발분 (%)	회분 (%)	고정탄소 ¹⁾ (%)	pH
400	폐MDF	23.7	23.9	1.5	74.6	5.4
	폐PB	29.3	30.7	4.1	65.2	6.9
	폐합판	27.9	22.9	3.2	73.9	6.7
	폐침목	32.2	27.9	2.5	69.6	4.8
600	폐MDF	25.3	7.0	2.4	90.7	9.9
	폐PB	28.0	9.3	5.2	85.5	9.8
	폐합판	26.7	5.9	3.7	90.3	10.0
	폐침목	28.5	6.6	3.1	90.3	9.0
800	폐MDF	26.8	3.2	2.9	94.0	10.1
	폐PB	24.8	3.9	5.8	90.2	10.2
	폐합판	23.9	2.6	4.1	93.3	10.2
	폐침목	27.0	3.5	3.3	93.1	9.9

1) 고정탄소 (%) = 100 - (휘발분 + 회분)

휘발분은 400℃의 비교적 낮은 온도에서는 22.9(폐합판)~30.7%(폐PB)로 상당히 많았으나 600℃에서는 5.9(폐합판)~9.3%(폐PB), 800℃에서는 2.6(폐합판)~3.9%(폐PB)로 크게 줄어들었다. 회분은 400℃에서 1.5(폐MDF)~4.1%(폐PB), 600℃에서 2.4(폐MDF)~5.2%(폐PB), 800℃에서 2.9(폐MDF)~5.8%(폐PB)로 폐MDF의 탄화물이 가장 낮았으며 폐PB의 탄화물이 가장 높았다. 이는 폐MDF와 폐PB의 표면에 부착되어있던 화장판의 영향인 것으로 판단된다.

반면에 고정탄소의 함량은 400℃에서는 65.2(폐PB)~74.6%(폐MDF)로 가장 낮았으며, 600℃에서는 85.5(폐PB)~90.7%(폐MDF), 800℃에서는 90.2(폐PB)~94.0%(폐MDF)로 가장 높아 탄화온도의 증가에 따라 탄소함량은 증가하였다. pH는 400℃에서 4.8(폐침목)~6.9(폐PB), 600℃에서는 9.0(폐침목)~10.0(폐합판), 800℃에서는 9.9(폐침목)~10.2(폐PB, 폐MDF)로 탄화온도가 높을수록 pH가 높아졌다. 재료 중에서는 폐침목의 pH가 가장 낮았으며 폐MDF, 폐PB, 폐합판 간에는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다.

2006년 6월 22일 개정된 목탄가루 토양개량제에 대한 환경부고시 2006-97호의 품질

관련 기준인 <표 6-2>와 비교해 보면, 폐PB를 제외하고는 모든 온도영역에서 회분 기준 4% 이하를 모두 충족하였다. 휘발분 기준은 25% 이하로 규정하고 있는데, 400℃로 탄화하였을 경우 폐PB와 폐침묵에서 휘발분 기준 25%를 약간 초과하였으나 그 이상의 온도에서는 휘발분은 전혀 문제가 없었다. 고정탄소는 71% 이상을 기준으로 하고 있는데 400℃에서 탄화한 재료를 제외하고 그 이상의 온도에서는 충분히 기준을 상회하였다. 따라서 폐목재 탄화물을 목탄가루 토양개량제로 이용할 경우에는 600℃ 이상으로 탄화하면 환경부 품질기준을 충분히 통과하는 것으로 판단되었다.

<표 6- 2> 목탄가루 토양개량제의 품질 관련 기준(환경부, 2006)

항목	회분 (무게 %)	휘발분 (무게 %)	고정탄소 (무게%)
기준	4 이하	25 이하	71 이상

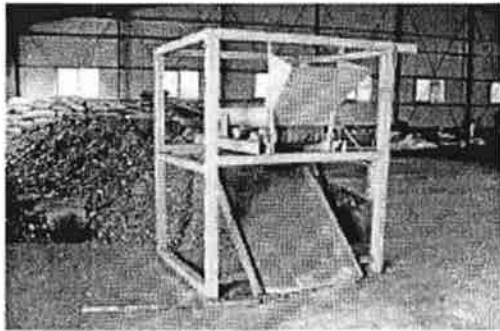
각 재료별 탄화물의 온도별 무기성분을 무기물형광분석기(XRF)에 의해 분석한 결과를 <표 6-3>, <표 6-4>에 나타내었다. 총 40종의 무기성분이 분석되었으며, 무기물의 합계는 폐PB가 탄화물 전체 중량의 3.2~3.8%를 차지하여 함량이 가장 많았다. 그 다음이 폐합판으로 2.3~2.8%였으며, 폐MDF가 2.0~2.5%로 무기물 함량이 가장 적었다. 폐침묵은 MDF와 거의 같은 수준이었다. 이러한 XRF에 의한 무기물 분석 결과는 <표 6-1>의 습식분석에 의해 분석된 탄화물의 회분 함량과 유사한 경향을 나타내었다.

한편, 탄화온도의 증감에 따라 무기성분에 있어서도 증가 또는 감소하는 성분이 존재하였다. 탄화온도 800℃에서 재료별로 함량이 0.1%를 초과하는 주요 무기성분을 검토한 결과, 폐MDF에서는 알루미늄(0.43%), 인(0.16%), 염소(0.12%), 칼륨(0.24%), 칼슘(0.55%), 티타늄(0.57%), 철(0.19)의 7종, PB에서는 실리카(0.20%), 인(0.15%), 염소(0.30%), 칼륨(0.33%), 칼슘(1.76%), 티타늄(0.45%), 철(0.45%)의 7종이었다. 폐합판에서는 알루미늄(0.15%), 실리카(0.32%), 인(0.15%), 칼륨(0.25%), 칼슘(0.78%), 티타늄(0.22%), 철(0.24%)의 6종으로 칼슘이 가장 많았으며, 폐침묵에서는 인(0.11%), 칼슘(1.72%)의 2종이었다.

한편, 환경부에서는 「환경기술개발 및 지원에 관한 법률」 제20조제3항 및 동법 시행령 제24조제3항의 규정에 의거하여 「환경표지대상제품 및 인증기준」(환경부고시 제 2006-107호, 2005. 9. 2)을 개정·고시하였는데, 목탄가루의 토양개량제 인증기준으로 환경관련 기준을 <표 6-5>와 같이 마련하였다.

환경부 목탄가루 토양개량제의 환경 관련 기준치와 실험실에서 제조한 폐목재 탄화물의 무기성분을 비교, 분석하였다. <표 6-3>, <표 6-4>로부터 환경 기준과 관련한 항목만을 정리하여 <표 6-6>에 나타내었다. 크롬(농경용 기준 150 이하)은 폐MDF를 제외하고 기준을 초과하였으나 수목용(기준 300 이하)으로 이용에는 문제가 없었다.

니켈(농경용 기준 25 이하)도 크롬과 마찬가지로 폐MDF 제외하고 기준을 초과하였으나, 수목용(기준 50 이하)으로 이용에는 문제가 없었다. 구리와 아연은 모든 탄화시료에서 기준치 이하였다. 비소는 폐합판에서 극미량 초과하였으며, 셀레늄은 모든 시료에서 기준치 이하였다. 몰리브덴은 모든 시료에서 기준치를 초과하였고, 카드뮴도 모든 시료에서 기준치를 초과하였다. 수은은 폐합판에서만 극소량 초과하였으며, 납은 폐PB에서만 기준치를 초과하였다.



<그림 6-6> 비철금속류 분리장치 및 분리된 각종 금속류

한편, 앞서 실험실에서 개별 폐목재의 탄화물의 무기물 분석결과와는 별도로 현장에서 각종 폐목재가 혼합된 상태에서 폐목재 전용 무연탄화장치를 이용하여 제조한 탄화물에서의 무기성분을 조사하였다. 1차 시험에서는 강력 자석에 의해 금속류를 제거한 상태에서 탄화하였으며, 2차 시험에서는 강력자석으로 금속류를 제거한 다음 <그림 6-6>과 같이 시험 제작한 비철금속류 제거장치를 통과시킨 다음 탄화하였다. <표 6-7>에서와 같이 1차 시험한 탄화물에 비해 2차 시험 탄화물의 중금속 함량이 크게 줄어들었으나, 몰리브덴과 카드뮴은 기준을 통과하지 못하였다. 결론적으로, 폐목재 탄화물은 토양개량제로서의 품질기준은 충족하고 있으나 환경 관련 기준을 100% 만족시키지 못하므로 다른 이용법을 모색하여야 할 것으로 판단된다.

<표 6-3> 페MDF와 페PB 탄화물의 탄화온도별 무기성분

(단위 : %)

재료 무기성분	페MDF			페PB		
	400℃	600℃	800℃	400℃	600℃	800℃
Mg	0.02050	0.01450	0.01500	0.01900	0.01550	0.01550
Al	0.20885	0.13175	0.42770	0.19100	0.06855	0.05035
Si	0.09710	0.08920	0.09760	0.18475	0.21100	0.19970
P	0.19135	0.14515	0.15630	0.18105	0.15670	0.14960
S	0.01294	0.01314	0.01311	0.05023	0.03963	0.03586
Cl	0.30500	0.11870	0.11845	0.24620	0.19410	0.29940
K	0.19990	0.19060	0.23860	0.25665	0.30730	0.32565
Ca	0.48775	0.46215	0.54970	1.36350	1.65750	1.76450
Ti	0.38795	0.54445	0.56905	0.27265	0.46760	0.44935
V	0.00155	0.00160	0.00170	0.00135	0.00165	0.00160
Cr	0.00524	0.00914	0.00974	0.00648	0.01127	0.01803
Mn	0.04244	0.04212	0.05090	0.04311	0.04765	0.05158
Fe	0.15335	0.18040	0.18980	0.35725	0.44815	0.44760
Co	0.00136	0.00193	0.00201	0.00068	0.00072	0.00081
Ni	0.00060	0.00168	0.00184	0.00089	0.00177	0.00424
Cu	0.00136	0.00174	0.00256	0.00254	0.00293	0.00337
Zn	0.01206	0.02818	0.01452	0.01934	0.02146	0.02141
Ga	0.00006	0.00008	0.00006	0.00008	0.00011	0.00006
Ge	0.00006	0.00006	0.00006	0.00007	0.00007	0.00007
As	0.00082	0.00237	0.00203	0.00061	0.00160	0.00151
Se	0.00007	0.00005	0.00004	0.00005	0.00006	0.00005
Br	0.00022	0.00017	0.00019	0.00025	0.00031	0.00031
Rb	0.00058	0.00062	0.00078	0.00090	0.00101	0.00122
Sr	0.00229	0.00255	0.00296	0.00393	0.00498	0.00562
Y	0.00071	0.00075	0.00084	0.00070	0.00070	0.00070
Mo	0.00417	0.00424	0.00442	0.00266	0.00404	0.00385
Ag	0.00040	0.00021	0.00037	0.00021	0.00047	0.00028
Cd	0.00193	0.00064	0.00076	0.00216	0.00094	0.00060
Sn	0.00031	0.00031	0.00031	0.00032	0.00031	0.00033
Sb	0.00075	0.00102	0.00084	0.00032	0.00068	0.00084
Te	0.00041	0.00045	0.00043	0.00048	0.00126	0.00043
I	0.00116	0.00083	0.00142	0.00083	0.00226	0.00084
Ba	0.00356	0.00367	0.00597	0.00445	0.01006	0.00433
W	0.00066	0.00060	0.00060	0.00060	0.00061	0.00062
Hg	0.00014	0.00009	0.00006	0.00010	0.00008	0.00010
Tl	0.00061	0.00057	0.00035	0.00048	0.00044	0.00034
Pb	0.01100	0.01402	0.00518	0.01153	0.02033	0.00933
Bi	0.00026	0.00023	0.00017	0.00017	0.00018	0.00009
Th	0.00009	0.00008	0.00007	0.00009	0.00011	0.00009
U	0.00025	0.00026	0.00029	0.00024	0.00027	0.00029
Total	2.15981	2.0103	2.48678	3.2279	3.70436	3.87045

- ppm 전환 : 1 % = 10,000ppm

<표 6-4> 폐합판과 폐침목 탄화물의 탄화온도별 무기성분

(단위 : %)

재료 무기성분	폐합판			폐침목		
	400℃	600℃	800℃	400℃	600℃	800℃
Mg	0.01900	0.01350	0.01200	0.01300	0.01100	0.01100
Al	0.33440	0.06395	0.14550	0.05595	0.04475	0.04305
Si	0.30355	0.31610	0.31965	0.09375	0.08825	0.08780
P	0.16205	0.14195	0.13740	0.12130	0.10670	0.11160
S	0.05306	0.03970	0.03191	0.02653	0.02409	0.01709
Cl	0.51865	0.11475	0.08484	0.16525	0.07409	0.05748
K	0.22210	0.26485	0.24910	0.01027	0.01240	0.01366
Ca	0.79155	0.75995	0.77795	1.15200	1.51750	1.72450
Ti	0.23015	0.20340	0.22135	0.00199	0.00329	0.00346
V	0.00149	0.00153	0.00234	0.00036	0.00034	0.00035
Cr	0.00315	0.01358	0.01545	0.00099	0.00830	0.01846
Mn	0.01633	0.01977	0.02293	0.01913	0.02453	0.02847
Fe	0.11225	0.24965	0.23735	0.17885	0.25235	0.29360
Co	0.00087	0.00088	0.00113	0.00034	0.00037	0.00051
Ni	0.00038	0.00305	0.00375	0.00011	0.00220	0.00488
Cu	0.00130	0.00140	0.00211	0.00095	0.00116	0.00133
Zn	0.02134	0.02034	0.00747	0.00116	0.00105	0.00034
Ga	0.00010	0.00009	0.00006	0.00006	0.00006	0.00006
Ge	0.00006	0.00006	0.00006	0.00005	0.00005	0.00005
As	0.00055	0.00483	0.00265	0.00010	0.00054	0.00183
Se	0.00007	0.00006	0.00004	0.00003	0.00003	0.00003
Br	0.00019	0.00015	0.00010	0.00007	0.00009	0.00006
Rb	0.00062	0.00079	0.00078	0.00031	0.00032	0.00032
Sr	0.00374	0.00465	0.00519	0.01267	0.01709	0.01935
Y	0.00070	0.00070	0.00084	0.00070	0.00068	0.00070
Mo	0.00348	0.00362	0.00485	0.00283	0.00313	0.00282
Ag	0.00179	0.00046	0.00054	0.00048	0.00056	0.00051
Cd	0.00083	0.00096	0.00125	0.00071	0.00050	0.00059
Sn	0.00031	0.00032	0.00031	0.00027	0.00030	0.00047
Sb	0.00029	0.00054	0.00164	0.00136	0.00058	0.00083
Te	0.00062	0.00047	0.00268	0.00114	0.00080	0.00133
I	0.00182	0.00111	0.00430	0.00216	0.00085	0.00195
Ba	0.01068	0.01220	0.01940	0.00803	0.00210	0.00571
W	0.00041	0.00035	0.00047	0.00020	0.00021	0.00023
Hg	0.00017	0.00019	0.00011	0.00007	0.00008	0.00004
Tl	0.00038	0.00052	0.00024	0.00007	0.00005	0.00008
Pb	0.02430	0.01764	0.00135	0.00052	0.00053	0.00017
Bi	0.00022	0.00010	0.00008	0.00007	0.00007	0.00004
Th	0.00010	0.00009	0.00012	0.00013	0.00014	0.00015
U	0.00025	0.00023	0.00040	0.00008	0.00009	0.00009
Total	2.8433	2.27848	2.31969	1.87404	2.20122	2.45499

- ppm 전환 : 1 % = 10,000ppm

<표 6-5> 목탄가루 토양개량제의 환경 관련 기준(환경부, 2006)

항 목	기준 (mg/kg)		항 목	기준 (mg/kg)	
	농경용	수목용		농경용	수목용
아연(Zn)	500이하	900이하	크롬(Cr)	150 이하	300 이하
구리(Cu)	200 이하	300 이하	몰리브덴(Mo)	2 이하	2 이하
니켈(Ni)	25 이하	50 이하	셀레늄(Se)	1.5 이하	1.5 이하
카드뮴(Cd)	1 이하	5 이하	비소(As)	25 이하	25 이하
납(Pb)	75 이하	150 이하	플루오르(F)	200 이하	200 이하
수은(Hg)	1 이하	2 이하			

<표 6-6> 개별 폐목재 탄화물의 탄화온도별 무기성분(실험실 제조)

(단위 : mg/kg)

재료 무기성분	폐MDF	폐PB	폐합판	폐침목
	800℃	800℃	800℃	800℃
Cr	97.4	180.3	154.5	184.6
Ni	18.4	42.4	37.5	48.8
Cu	25.6	33.7	21.1	13.3
Zn	145.2	214.1	74.7	3.4
As	20.3	15.1	26.5	18.3
Se	0.4	0.5	0.4	0.3
Mo	44.2	38.5	48.5	28.2
Cd	7.6	6.0	12.5	5.9
Hg	0.6	1.0	1.1	0.4
Pb	51.8	93.3	13.5	1.7

<표 6-7> 혼합 폐목재 탄화물의 탄화온도별 무기성분(공장제조)

(단위 : mg/kg)

무기성분 \ 시험	1차시험 ¹⁾	2차시험 ²⁾	환경부 기준 (농경용)
Cr	39.8	32.5	150 이하
Ni	4.80	3.1	25 이하
Cu	15.8	18.4	200 이하
Zn	348.2	252.3	500 이하
As	2.4	1.6	25 이하
Se	0.4	0.7	1.5 이하
Mo	31.5	16.2	2 이하
Cd	8.1	8.6	1 이하
Hg	5.6	0.9	1 이하
Pb	191.6	132.0	75 이하

1) 강력자석에 의해 금속류 제거

2) 강력자석에 의한 금속류 제거 및 간이 제작 비철금속류 제거장치 통과

2) 폐목재 목초액의 물성

각 온도별로 제조한 폐목재 목초액의 물성을 <표 6-8>에 나타내었다. 비중은 폐침목이 6.3으로 가장 높고 폐PB가 1.1로 가장 낮았다. 폐침목으로 제조한 목초액은 산림청 품질인증 기준을 초과하였다. 산량은 6.7%로 폐침목이 가장 높고 폐MDF가 0.3%로 가장 낮았는데, 폐합판을 제외하고는 모두 산림청 기준에 비해 높거나 낮았다. pH는 폐MDF에서 6.92로 가장 높고 폐침목에서 2.63으로 가장 낮았으며, 폐침목을 제외하고는 기준 농도 3.5이하를 모두 초과하였다. 용해타르는 폐침목에서 7.3%로 가장 많고 폐PB에서 0.7로 가장 적었다. 폐PB를 제외하고는 모두 기준을 초과하였다. 굴절률은 폐PB에서 3.4 Brix로 가장 낮아 기준 5.0 이상에 미달하였으며 폐침목에서 17.2Brix로 가장 높았다.

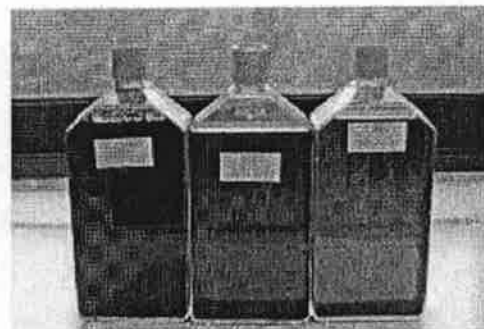
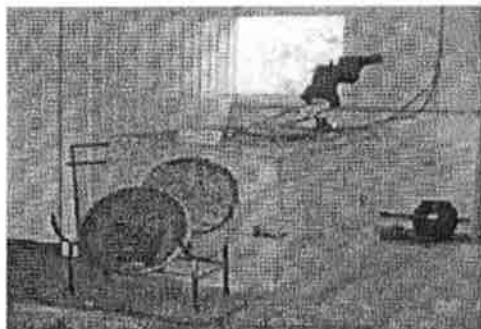
한편, <그림 6-7>의 간이탄화로에서 제조한 목초액의 육안으로 관찰한 재료별 색상은 폐MDF는 담갈색 투명, 폐PB는 일반 목초액과 같은 적갈색 투명을 나타내었다. 폐합판은 진갈색 투명이며 폐침목은 폐합판보다 더욱 짙은 진갈색 투명을 나타내었는데, 이는 각각 테코합판의 제조에 사용된 페놀접착제와 테고필름에 기인한 페놀성분과 침목의 제조에 사용된 크레오소트유의 열분해에 의한 것으로 판단되었다.

이상의 폐목재 목초액의 결과를 종합적으로 판단해 볼 때, 폐목재를 탄화하여 얻은

목초액은 농업용의 목초액 기준에 적합하지 않았다. 재료별 목초액의 성분을 파악하여 농사용 이외의 용도를 개발할 필요가 있는 것으로 사료된다. 예컨대 하수종말처리장이나 쓰레기매립장 등의 산업용 탈취제 용도로서의 특성을 파악하는 것도 급후의 과제가 될 것이다.

<표 6-8> 폐목재의 탄화시 얻어진 목초액의 물성

시료명	보메비중 (. Be)	산량 (%)	pH	용해타르 (%)	굴절률 (% Brix)	육안판별
폐MDF	2.5	0.3	6.92	3.6	7.3	담갈색투명
폐PB	1.1	0.6	5.14	0.7	3.4	진갈색투명
폐합판	3.4	4.6	4.48	2.6	9.7	진갈색투명
폐침목	6.3	6.7	2.63	7.3	17.2	진갈색투명
산림청 목초액 기준	활엽수 1.0~5.5 침엽수 1.0~2.5	2.0~5.0	3.5이하	2.0이하 1.5이하	5.0이상 5.0이상	적갈색투명 적갈색투명



<그림 6-7> 간이탄화로와 폐목재로 제조한 목초액

다. 결과 요약

본 연구에서는 난재활용 폐목재를 활용하여 탄화물과 목초액을 제조하여 이들 성분을 검토한 결과, 폐목재로 만든 탄화물은 수분, 휘발분, 고정탄소와 같은 품질 기준면에서는 환경부 기준에 문제가 없었다. 그러나 폴리브덴, 카드뮴과 같은 중금속이 농경용 혹은 수목용 토양개량제로서의 환경 기준을 다소 초과하여 현재의 이물질 분리 시스템 및 탄화시스템으로는 토양개량제로의 이용은 곤란하다고 판단되었다. 또한, 폐목재를 탄화하여 얻은 목초액도 농업용의 목초액 기준에 적합하지 않았다.

3. 폐목재의 열분해성 조사

가. 재료 및 방법

각종 합침 필름으로 오버레이 되어있는 폐MDF, 폐PB, 폐합판 조각을 분말화하여 열중량분석기(TA Instrument, SDT-Q600, USA)를 이용하여 열분해 특성을 조사하였다. 폐목재의 열분해 성질을 리기다소나무 건전목과 비교, 분석하였다.

나. 연구 결과

1) 폐목재의 열중량 분석

각종 폐목재에 오버레이된 필름이 열분해 과정에서 어떤 온도 역에서 어떤 피크로 나타날 것인가를 알아보기 위하여 열중량 분석을 실시하였다. <그림 6-8>에서 보듯이 리기다소나무 건전재는 250℃ 부근에서 급격한 열분해가 시작되고 350℃ 부근에서 중량의 40%가 감소하면서 변곡점을 지나 500℃ 부근에서 열분해를 완료하였다. 테고 필름(Tego film)이 부착된 폐합판의 경우, 테고필름에 의한 새로운 피크는 전혀 관찰되지 않았고 리기다소나무와 거의 유사한 패턴을 나타내었으며 500℃를 약간 넘는 지점에서 열분해가 완료되었다. 폐MDF와 폐PB의 경우에 있어서도 오버레이 여부나 필름의 소재와 관계없이 열중량의 감소패턴이나 열흐름(Heat flow) 상의 피크에 명백한 차이는 관찰되지 않았다. 결론적으로, 목질재료에 부착되는 오버레이 필름이 판상의 목질재료 전체에서 차지하는 면적의 1% 이하로 극히 미량이므로 열분해에 명백한 영향을 미치지 않은 것으로 판단되었다.

2) 폐목재의 다이옥신

우리가 흔히 다이옥신으로 부르고 있는 화학물질은 두 개의 벤젠고리에 염소가 한 개 이상 붙어 있는 화합물질로 다이옥신류와 퓨란류를 모두 합하여 말하는 것이다. 여기에는 산소원자가 두 개 있는 다이옥신류(Polychlorinated dibenzo-p-dioxins, PCDDs) 75종과 산소원자가 한 개 있는 퓨란류((Polychlorinated dibenzofuran, PCDFs) 135종 등 모두 합해서 210종의 이성체가 있다. 이성체 중에서 가장 독성이 강한 2,3,7,8-TCDD의 독성을 기준값(1.0)으로 하여 각 이성체의 상대적인 독성값을

나타낸다. 이 때 사용하는 값을 독성등가환산계수(Toxic Equivalent Factor, TEF)라고 부르며, 결국 다이옥신 농도(TEQ)는 각 이성체의 실측농도와 독성등가환산계수(TEF)를 곱하여 합산한 값을 의미한다. 다이옥신은 물에 거의 녹지 않고 열화학적으로 안정해서, 자연계에서 한 번 생성되면 잘 분해되지 않고 안정적으로 존재하며, 지방에는 잘 녹기 때문에 생물체 안에 들어온 다이옥신은 소변으로 잘 배설되지 않고 생물체의 지방조직에 축적되는 성질을 가지고 있다(국립환경연구원, 2005).

한편, 생쓰레기, 폐플라스틱, 나무쓰레기, 종이쓰레기 등 각종 유기폐기물 탄화물의 다이옥신의 함량을 조사한 鎌谷의 연구를 살펴보면(<표 6-9> 참조), 일본 환경청 고시 68호 토양환경기준에서는 다이옥신류[다이옥신, 디벤조피렌, PCB(염화비페닐)의 총량]의 기준치를 1,000pgTEQ/g으로 정하고 있지만 유기폐기물 탄화물은 0~8pgTEQ/g의 매우 낮은 값을 보이고 있다. 만일, 다이옥신의 발생이 우려될 경우에는 2차 연소실에서 850~950℃로 재연소하여 그 발생을 최대한 억제할 수 있다. 또한, 최종 배기가스는 냉각탑을 통과시켜 온도를 낮추고 약제를 투입, 백필터(Bag filter)를 통과시켜 최종 배기탑을 통하여 깨끗한 공기상태로 만들어 대기로 방출할 수도 있다. 즉 폐목재의 탄화과정에서 다이옥신의 발생 우려가 다소 있다고 하더라도 연소나 필터링을 통해서 충분히 제거할 수 있다. 일본의 경우, 자체 생산된 탄화물 성형체를 이용하여 다이옥신류를 제거하는 연구도 실용화에 돌입하고 있다.

<표 6-9> 유기폐기물탄화물의 다이옥신함유량(일본)

구 분	유기폐기물의 탄화물	기 준 치	기 준 치
다이옥신류(다이 옥신, 디벤조피렌, PCB의 총량)	0-8pgTEQ/g	<1,000pgTEQ/g 「일본환경청고시68 호 토양환경기준」	<250pgTEQ/g 「다이옥신류 에 의한 토양의 오염에 관 한 환경기준설정 등 및 다 이옥신류 토양오염대책지역 의 지정의 요건」

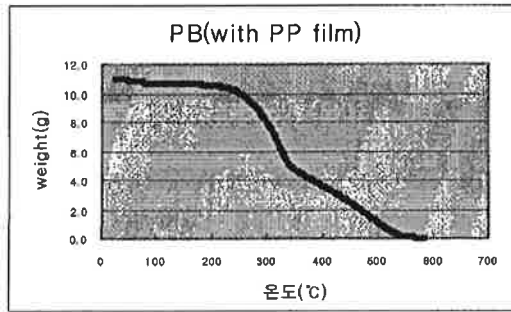
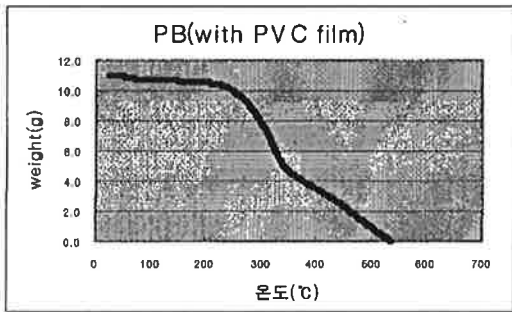
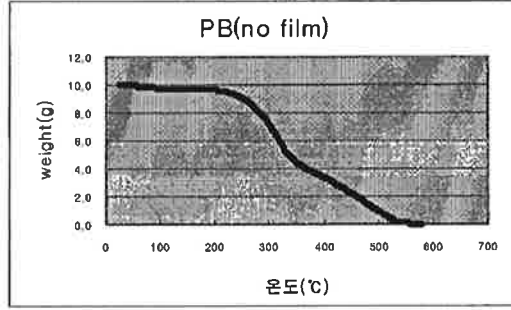
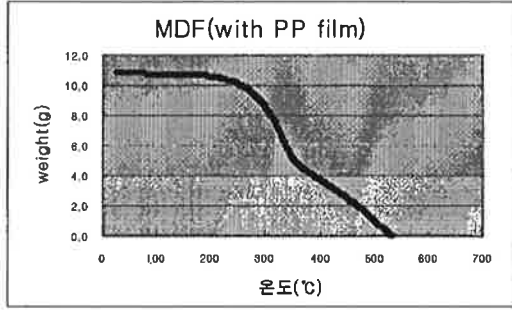
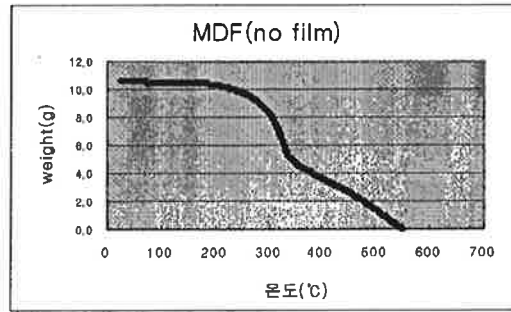
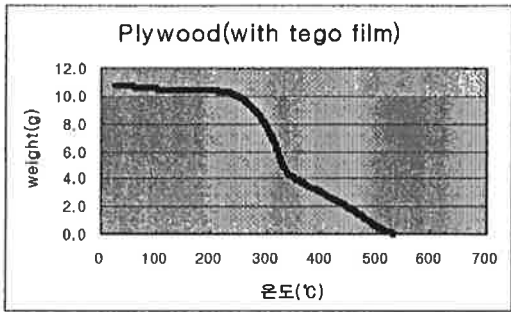
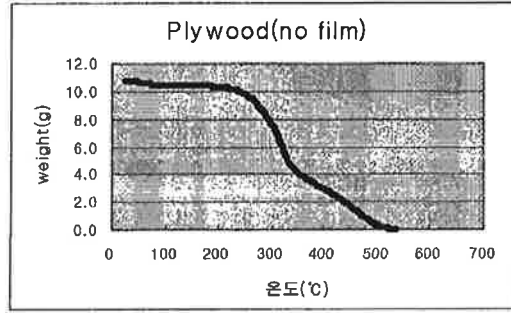
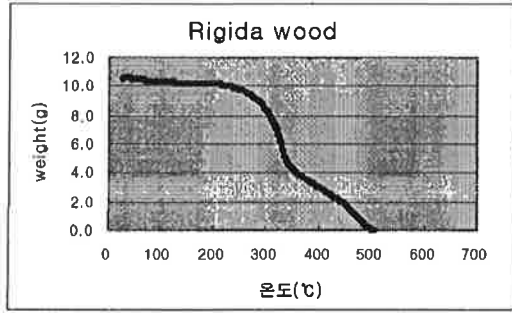
높은 처리 효율을 가지는 소각처리라도 다이옥신류에의 대응 조치를 소홀히 할 경우에는 행정상이나 사회적으로도 받아들여지지 않는 것이 현상이다. 소각처리에 있어서 다이옥신류를 억제하는 대책은 다이옥신류의 생성 기구에서 분명하게 나타나 있는 바와 같이, 소각 과정의 각 단계에 있어서의 제거, 분해, 소거로 정리된다.

우선, 제 1단계로서 피소각물의 클린화가 있다. 염소화 다이옥신류의 생성에는 염소의 존재가 필수적이기 때문에 피소각물에서 염소를 완전히 배제함으로써 다이옥신류의 억제가 가능해진다. 그러나 염소가 포함되는 협잡물을 완전하게 제거하는 것은 지극히 어렵기 때문에 이것은 유효한 대책이 되지 못한다. 제 2단계는 연소 프로세스의 제어이다. 이 과정에서는 완전한 연소가 요구되며, 고온유지(Temperature), 피소각물의 소정시간의 고온폭로(Retention Time)와 연소가스와 산소의 혼합력 향상(Turbulence)의 3T가 관리된 안전연소의 달성과 계속 덧붙여 플라야에서의 생성억제와 그 계내에 있어서의 체류의 억제가 있다. 제3단계는 배기가스의 처리이다. 생성된 다이옥신류의 무해화와 플라야에서의 부유 확산의 억제가 있다. 최근, 목탄을 포함하는 온도 제어된 열변환 목질로써 현저한 염소화합물의 선택 흡착이나 무해화 기능이 밝혀져서, 이것에 의한 연소가스 혹은 연소 잔사 중에 존재하는 염소화합물의 제거, 무해화의 가능성이 시사되고 있다(石原, 2006).

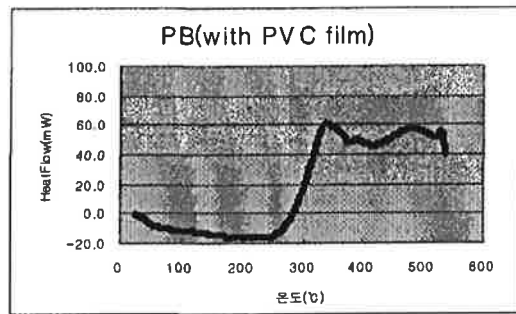
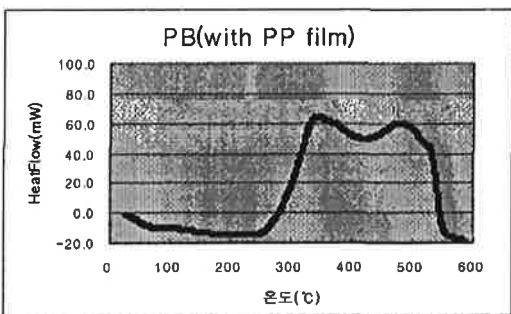
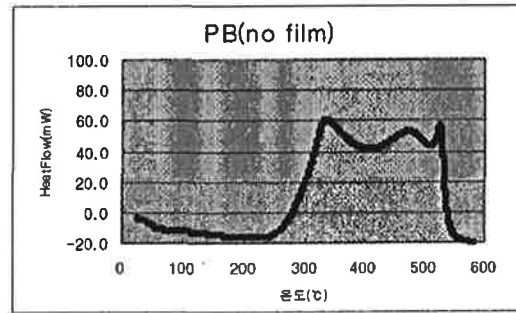
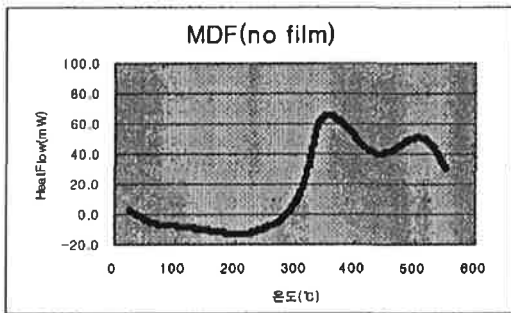
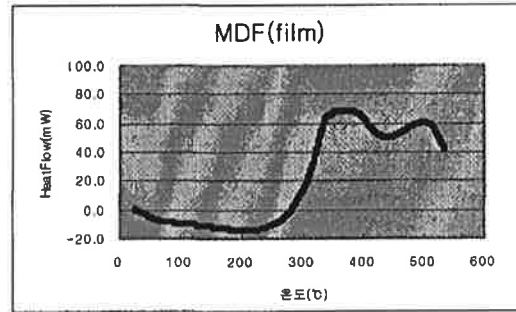
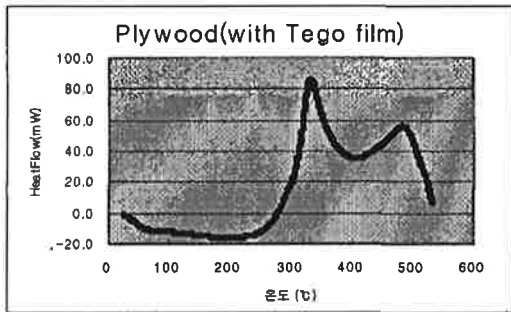
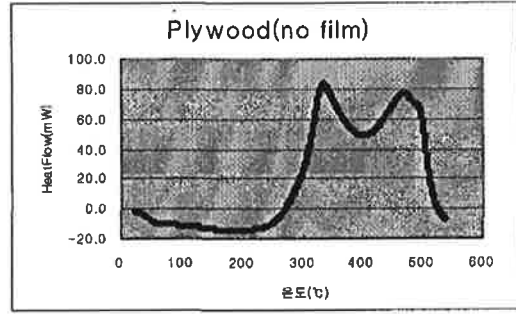
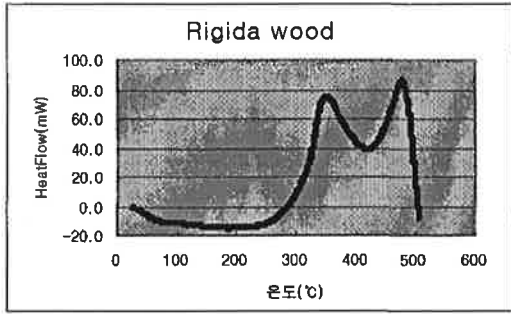
실제로 소각로 배연부에 목탄을 설치하여 다이옥신류의 제거에 활용하는 사례가 늘고 있다. 「미이용 목재등 탄화에 의한 고도화이용 실증 사업」(2000년도 일본농림수산성보조사업, 혁신적 기술개발 촉진사업(일본주택·목재기술센터, (유)아키타373공동빌딩))에 의하면 배기가스 처리에 있어서 목탄과 이암의 복합물이 다이옥신류의 소거능력이 있음을 밝혔다. 소각 능력 0.3t/h의 아끼다현 목재방부가공(협)의 제트식 폐재소각로에 있어서 아끼다산 삼나무재를 소각한 굴뚝에 괴상의 졸참나무백탄과 크리스트바라이트암을 각각 180kg씩 평면상 혹은 선반 모양으로 부설해서 연기를 통과시켜 다이옥신류의 저감 동태를 추적했다. 처리 배연 중의 다이옥신류 0.93ng/Mm³(독성동량의 0.00084ngTEQ/Nm³)이 목탄·크리스트바라이트암 혼합물을 통과하는 것에 의해 0.037ng/Nm³((0 ngTEQ/Nm³)이 되어 그 저감 효과가 확인되었다. 또한, 배연 중의 Hg, Zn, Pb, Cd, As 등 화합물의 흡착도 현저했다.

다. 결과 요약

오버레이된 필름이 부착된 각종 폐목재의 열분해 과정을 살펴보기 위하여 열중량 분석을 실시하였다. 오버레이 필름의 소재와 관계없이 열중량의 감소패턴이나 열흐름(Heat flow) 상의 피크에 명백한 차이는 관찰되지 않았다. 목질재료에 부착되는 오버레이 필름이 판상의 목질재료 전체에서 차지하는 면적이 매우 적기 때문에 전체 열분해 과정에서 명백한 영향을 미치지 않은 것으로 판단되었다.



<그림 6-8> 각종 폐목재의 열중량 분석

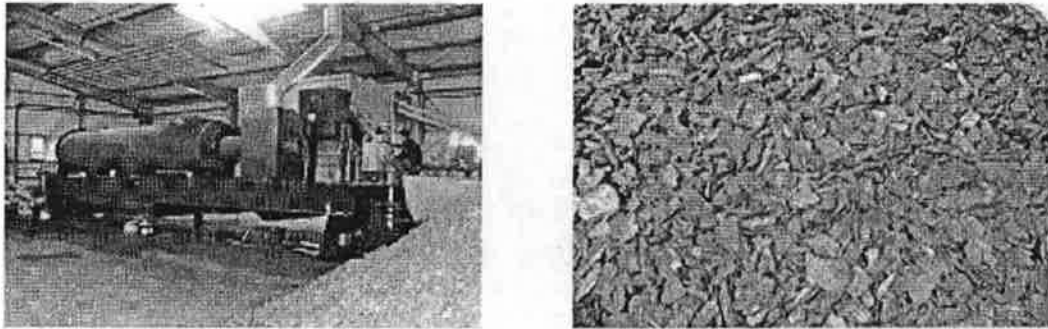


<그림 6-9> 각종 폐목재의 Heat Flow

4. 재활용숯 복합보드의 제조

가. 재료 및 방법

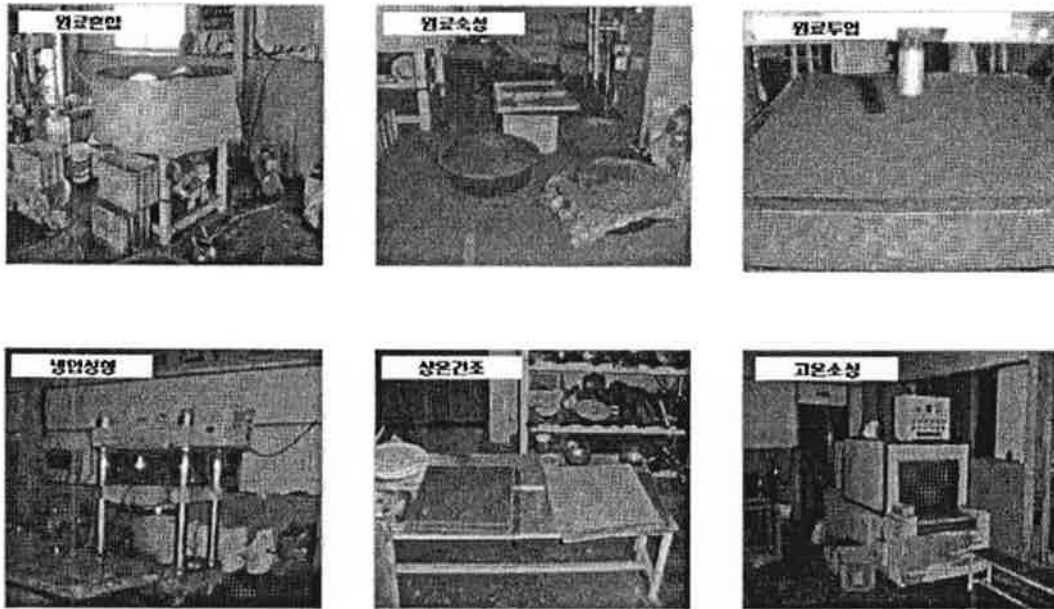
폐목재의 탄화과정에서 발생하는 연기를 다시 탄화투입구로 도입하여 연기의 발생이 전혀 없는 <그림 6-10>과 같은 폐목재 전용 무연탄화장치를 이용하여 폐목재를 800℃ 부근에서 탄화하였다. 배출된 폐목재 재활용숯을 200 mesh 크기로 분쇄하여 무기바인더와 결합하여 탄화보드를 제조하였다. 이들 탄화보드를 이용하여 폼알데히드 등 유해 VOC(휘발성유기화합물)에 대한 흡착성능과 난연특성을 조사하여 건축자재로서의 가능성을 검토하였다.



<그림 6-10> 폐목재 전용 무연탄화장치(좌)와 제조된 재활용숯(우)

1,200℃에서 발포한 질석가루(0.1~3mm) 1kg에 무기계 바인더(실리케이트계) 1kg를 투여하여 1차 혼합한 다음 재활용숯(200 mesh) 1kg를 투여하여 특수 제작한 물러형 믹서에서 2차 혼합하였다. 이 조성물 약 2kg을 45×45cm 크기의 성형틀에 붓고 상온(20℃)에서 유압프레스로 냉압(120~150kg/cm²)을 실시, 약 2~3분 압력을 가한 다음 성형하였다. 24시간 상온에서 자연 건조시킨 다음 소성로(약 200℃)에서 2시간 정도 소성시켜 수분을 날리고 접착제간의 결합력을 높였다.

재활용숯만으로는 건축재료에서 요구하는 불연성을 부여하는 것이 곤란하여 발포질석을 혼합 사용하였다. 발포질석은 매우 가볍고 불에 타지 않으며 습기로 인한 곰팡이나 기타의 세균오염에 저항력이 강하며 내구성이 반영구적이어서 경량패널, 흡음판, 토양개량제, 갯지렁이, 미꾸라지, 꽃게운반용, 내화단열용 건축패널 등 다양한 제품에 널리 응용되고 있다. 복합보드의 제조 공정을 그림으로 나타내면 <그림 6-11>과 같다.



<그림 6-11> 재활용숯 복합보드의 제조공정

나. 연구 결과

1) 폐목재 탄화물을 이용한 탄화보드의 제조

폐목재 재활용숯을 토양개량용으로 이용하는 것은 현행법상 환경 기준에 적합하지 못하다는 것은 이미 기술하였다. 재활용숯이라 하여도 나무로 만들어진 숯은 원적외선기능, 음이온기능, 공기정화기능, 전자파차단기능, 습도조절기능, 향균기능, 유해물질 흡착기능 등과 같은 숯의 고유한 기능들을 지니고 있으므로 벽지, 페인트, 모르타르, 벽재, 천장재 등과 같이 건축자재로 이용하는 데는 별 문제가 없을 것으로 판단된다.

최근 신축된 새집에 입주하는 입주자들이 집 지을 때 사용되었던 여러 가지 화학제품들에 의해 두통, 알레르기가 발생하는 새집증후군에 대한 사회적 관심이 급증되고 있다.

또한 환경부의 "다중이용시설 등의 실내공기질관리법"이 시행됨에 따라 목욕탕, PC방, 오락실, 도서관, 휴게실과 같이 일정규모 이상을 지니며 일반대중이 이용하는 다중이용시설의 실내공기 관리가 한층 강화되고 있다. 여기서는 재활용숯을 원료로 하여 유해하거나 불쾌한 냄새를 탈취하며 원적외선을 방출하여 환경친화적이고 건강기능을 가진 건축자재로 적용할 수 있는 성형보드를 제조하여 특성을 조사하고자 한다.

2) 복합보드의 물리·기계적 성질

재활용숯 복합보드의 물리·기계적 성질은 <표 6-10>에서 보는 바와 같다. 밀도는 1.15~1.46g/cm³의 범위로 일반 목질제품에 비해 높고 금속재료에 비해 낮은 편이었으며, 이는 질석의 입자크기, 첨가량 및 압력을 조절함으로써 충분히 경량화 시킬 수 있다. 함수율은 2.2~3.7%로 매우 낮았으며, 박리강도는 6.0~8.8kgf/cm²로 목질재료의 일종인 파티클보드의 KS 품질기준 3.1kgf/cm²을 초과하여 숯과 질석이 무기접착제에 의해 강하게 결합되어 있음을 알 수 있었다.

<표 6-10> 재활용숯 복합보드의 물리·기계적 성질

배합비율	밀도 (g/cm ³)	함수율 (%)	박리강도 (kgf/cm ²)
재활용숯 4 : 질석 6	1.15	2.2	6.3
재활용숯 5 : 질석 5	1.22	3.4	6.0
재활용숯 6 : 질석 4	1.46	3.7	8.8

3) 복합보드의 유해성분 흡착성 및 난연성

복합보드를 길이 4cm, 폭 4cm, 두께 1cm로 절단한 복합보드 1개를 10L 용량의 데시케이터에 넣고 2종의 가스를 주입하여 시간의 경과에 따른 농도의 감소로부터 탈취율을 계산하였다.

발암성 물질로 알려진 포름알데히드에 대한 흡착력은 <표 6-11>에서 보듯이 초기 30분에서 91.0%로 급격히 감소하였으며 2시간 경과된 시점에서는 95.7%의 높은 탈취력을 나타내었다. 또한, 시멘트 독의 유해성분으로 알려진 암모니아에 대한 탈취력도 <표 6-12>에서 보듯이 포름알데히드와 같은 경향을 보였으며 2시간 경과된 시점에서 95.2%의 높은 탈취력을 나타내었다. 즉, 재활용숯 복합보드의 유해물질 흡착성은 매우 높은 것으로 나타나 금후 유해 VOC 흡착보드로서의 개발이 유망한 것으로 판단되었다.

한편, 건축재료로의 개발을 위해서는 가능한 불에 타지 않는 불연성을 갖추는 것이 필요하다. 재활용숯 50%-질석 50%로 만든 복합보드와 일본산 죽탄보드의 콘칼로리계

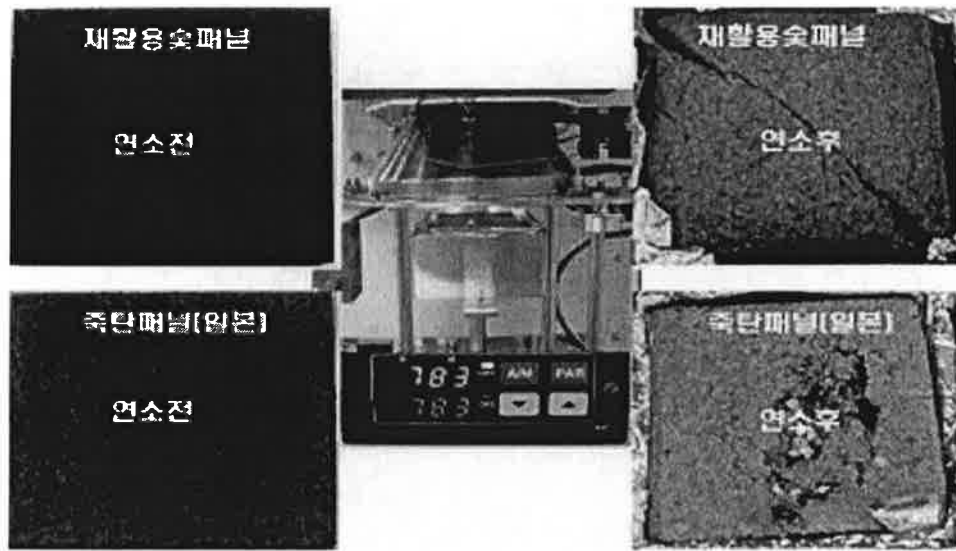
타에 의한 난연성을 비교, 분석한 결과, <그림 6-12>에서 보듯이 재활용숯 복합보드는 783℃의 고온에 이르기까지 초기 중량의 감소가 수 %에 불과하였다. 그리고 약간의 균열이 발생하였을 뿐 유해가스의 발생이 전혀 없으며 잔염(殘炎)도 발생하지 않았으나 수입 죽탄보드는 화염을 발생하며 완전히 재로 변화였다. 즉, 재활용숯 복합보드는 불연자재로 석면판과 동일한 성능을 발휘하나 일본산 죽탄보드는 흡착성은 있으나 불연성은 전혀 갖추지 못하여 실용상 문제점으로 지적되었다.

<표 6-11> 재활용숯 복합보드의 포름알데히드 흡착력

경과시간(분)	Blank 농도(ppm)	시료농도(ppm)	탈취율(%)
0	81	81	-
30	78	7	91.0
60	75	5	93.3
90	72	4	94.4
120	70	3	95.7

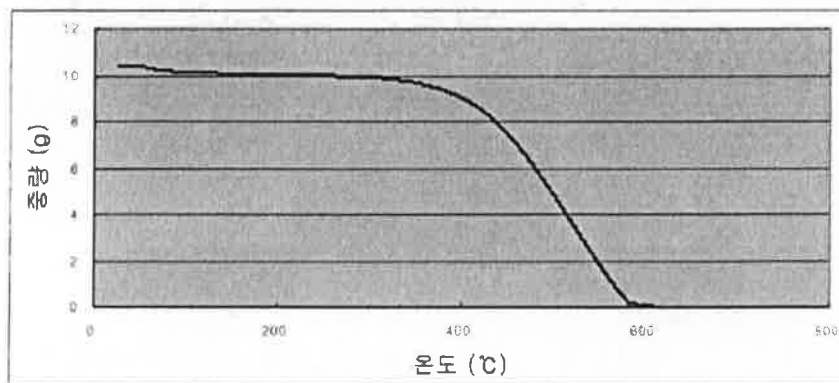
<표 6-12> 재활용숯 복합보드의 암모니아 흡착력

경과시간(분)	Blank 농도(ppm)	시료농도(ppm)	탈취율(%)
0	200	200	-
30	176	18	89.8
60	169	13	92.3
90	152	9	94.1
120	145	7	95.2

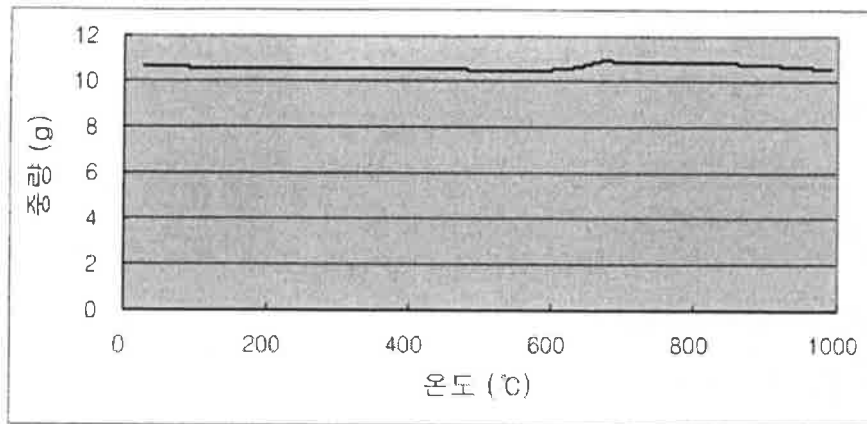


<그림 6-12> 재활용숯 복합보드와 일본산 죽탄보드의 난연성 비교

열중량분석기에 의해 재활용숯과 발포질석의 연소과정을 살펴보았다. <그림 6-13>에서 보듯이 재활용숯은 350℃ 부근에서 급격히 중량이 감소하기 시작하며 600℃ 부근에서 완전 연소하였으나, <그림 6-14>에 나타낸 발포질석은 1,000℃에 도달할 때까지의 중량 감소를 나타내지 않고 있다. 자체 개발한 재활용숯 복합보드에는 재활용숯 이외 1,200℃에서 발포된 경량의 질석이 50% 함유되어 있어 재활용숯의 가연성을 불연성으로 전환한 것으로 판단되었다. 일본산 죽탄보드는 대나무숯, 화산재, 고지, 피혁을 원료로 콜라겐 바인더로 결합되어 구조적으로 불에 매우 취약한 구조를 지니고 있었다.



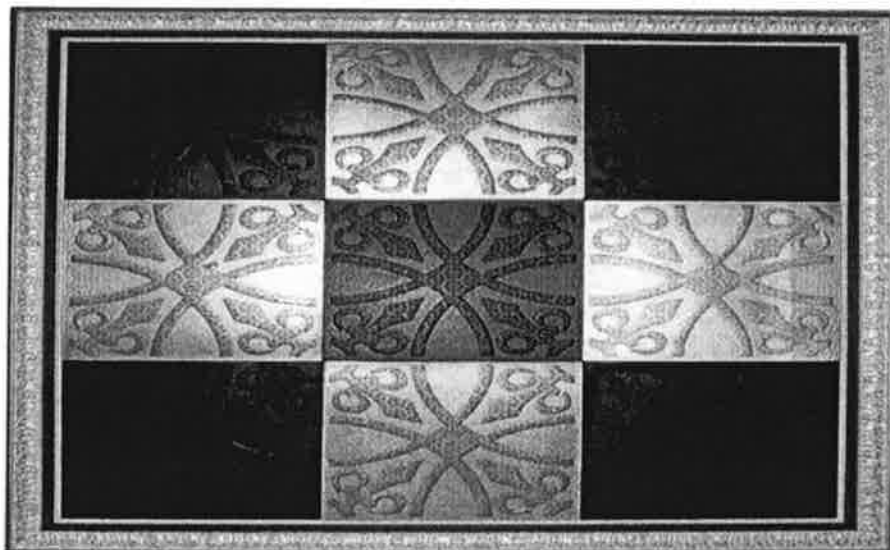
<그림 6-13> 재활용숯의 열중량 분석



<그림 6-14> 발포질석의 열증량 분석

4) 복합보드의 표면성 개량

재활용숯 복합보드는 포름알데히드 등에 대한 탈취력과 불연성이 탁월하여 새로운 건축자재로서의 개발이 기대된다. 그러나 검정 숯이 지닌 미관상 단점은 건축자재로의 개발에 있어 큰 장애요인이 되고 있다. 따라서 숯보드의 표면의 미관을 개량하는 것이 중요한 과제이다. 예비적으로 베크라이트판으로 제작한 문양을 깔고 성형한 복합보드에 자체 개발한 수용성 세라믹과 혼합한 금속가루 등을 스프레이한 결과, <그림 6-15>에서와 같은 문양을 지닌 컬러 숯보드의 제조가 가능하였다.



<그림 6-14> 재활용숯 컬러문양 재활용숯 복합보드

5) 재활용숯 복합보드의 사업성

현재 국산 참나무숯가루는 킬로그램 당 2,000원, 국산 대나무숯가루는 킬로그램 당 4,500원을 호가하고 있다. 국산 참나무숯이나 대나무숯을 원료로 숯보드를 제조하는 것은 가능하나 원가 부담이 매우 크기 때문에 이윤을 창출하기가 쉽지 않다. 시중에 판매되는 성형한 숯 제품은 사실 중국산 흑연으로 만든 제품이 대부분이다.

참나무류를 사용하여 생산하는 목탄의 지난 5년간 국내 생산량은 <표 6-13>과 같다. 2004년 말 현재 6,921백만원의 소득을 올리고 있고, 제탄 시 부산물로 취급되던 목초액이 주산물로 부상되어 최근에는 연간 2,876kl 생산에 8,447백만원의 소득을 올리고 있는 실정이다. 그러나 2000년말에 비해 2004년 말 현재 목탄 생산량이 19%에 지나지 않는데, 그 원인은 목탄자원이 풍부하지 않고 원자재의 구입단가가 높음으로서 생산량이 줄어들고 연료로 많이 사용되는 탓으로 수입에 의존하기 때문인 것으로 판단된다(권수덕, 2006). 최근 중국 정부는 자국 나무의 보호를 위해 참나무숯의 수출을 금지하고 있어 숯 값은 앞으로 더욱 올라갈 것으로 예상된다. 또한 국내에서도 참살이 바람을 타고 숯가마 찻질방이 폭발적으로 늘어나면서 참나무 원자재 가격도 상승되고 있는 추세이다.

<표 6-13> 국내 목탄 생산량(2005, 임업통계)

단위 : 톤, (백만원)

구분	2000	2001	2002	2003	2004
계	32,706 (33,675)	22,555 (20,705)	7,761 (10,150)	6,317 (6,613)	6,249 (6,921)
흑탄	25,641 (23,077)	16,764 (12,506)	1,544 (1,198)	1,781 (2,376)	2,662 (2,167)
백탄	7,065 (10,598)	5,791 (8,199)	6,217 (8,952)	4,536 (4,237)	3,538 (4,754)

* 1. 목탄 ton 당 가격: 흑탄 814천원, 백탄 1,344천원(2004년 말)

본 연구의 현장 실연 공장인 김천 소재 폐목재 처리시설에서는 생활폐목재를 처리해주는 대가로 돈을 받는 시스템으로 운영되고 있다. 생활계 및 코팅제품은 20만원 정도, 공사현장 임목폐기물은 6만원을 지불하고 폐기 처리하여야 한다. 평균하면 폐목재는 대개 15만원 선에서 거래되고 있다. 따라서 생활폐목재를 대량으로 받아 신속히 처리

하면 할수록 공장 측에서는 더 많은 이윤을 내게 되는 것이다.

본 연구에서 선정한 폐목재 공장에서는 현재 폐목재를 분쇄하여 퇴비용 또는 불쏘시개용 톱밥으로 일부 판매하고 있으나 계절적으로 연중 일정하지 않아 톱밥 처분에 한계에 봉착하고 있다. 또한 수집된 폐목재를 그대로 쌓아둘 경우 대규모 화재로 발생할 우려가 매우 높은 실정이기도 하다. 실제로 간혹 화재가 발생하기도 하며 일단 폐목재 집하장에 화재가 발생되면 내부로까지 불씨가 스며들어 불이 꺼지는 마지막까지 남아 있기 때문에 완전 진압하기가 여간 어려운 것이 아니다. 그리하여 폐목재의 감량 수단으로 무연탄화장치를 개발하여 탄화를 통한 감량화 및 에너지 비축화를 도모하고 있다. 즉, 이 공장에서의 폐목재의 탄화는 폐목재의 대량처리를 위한 감량화의 수단이므로 재활용숯의 제조에 따른 비용을 충분히 상쇄하고 있다고 볼 수 있다.

국내의 전체 폐목재 배출량 6,073톤에서 재활용되는 2,023톤을 제외하고 매립과 소각에 의해 발생하는 폐목재 배출량은 <표 6-14>에 나타낸 바와 같이 하루 4,050톤에 달한다. 현재 폐목재는 톤당 15만원에 거래되고 있으므로 매립과 소각으로 없어지는 폐목재를 가격으로 환산하면 하루 6억7백만원, 연간 1,822억원(300일 기준)이 된다. 만약, 매립과 소각으로 처분되는 폐목재 4,050톤을 다시 탄화하여 재활용숯으로 제조한다고 가정할 경우, 이전의 결과로부터 탄화수율을 22%(800℃에서 탄화 기준)로 정하면 891톤(4,050톤×0.22)의 재활용숯이 생산된다. 재활용숯의 가격을 킬로그램 당 1,000원으로 가정하여 산출하면, 하루 8억9천만원, 연간 총 2,673억원(300일 기준)의 부가 이익이 발생하게 된다. 따라서 매립이나 소각에 의해 지출되는 1,822억원과 재활용숯으로 제조할 경우의 2,673억원을 합하면 4,495억원의 이익을 발생시킬 수 있다.

<표 6-14> 폐목재 배출량(2004, 환경부)

단위 : 톤 / 일

구분	생활계	사업장	건설계	총계	비율(%)
계	2,454.2	1,085.5	2,533.7	6,073.4	100.0
매립	1,228.7	9.6	262.5	1,500.8	24.7
소각	1,163.0	509.1	876.8	2,548.9	42.0
재활용	62.5	566.8	1,394.4	2,023.7	33.3

결론적으로, 연간 국내에서 배출되는 폐목재를 매립이나 소각이 아닌 열분해에 의해 전부 재활용숯으로 제조하면 약 4천5백억원의 이익이 창출되며, 재활용숯을 유해물질 흡착성 건축자재로 개발한다면 수익성은 더욱 높아질 것으로 생각된다.

당초 재활용숯을 토양개량제로 이용하고자 하였으나 현재의 무연탄화장치를 이용한 탄화물 제조 조건하에서는 환경 기준에 다소 미달하여 새로운 이용방법을 모색하고 있다. 아직 재활용숯의 가격은 책정되어 있지 않지만 분쇄 비용을 포함하더라도 1,000원 미만이다. 앞서 기술한 바와 같이 재활용숯으로 만든 복합보드는 기능면이나 외관상으로 충분히 산업화의 가능성이 높은 것으로 판단되므로 어떤 다른 숯 제품에 비해 경쟁력이 높다고 해도 과언은 아닐 것이다.

이와 같이 폐목재를 재활용숯으로 제조하고 더 나아가 유해물질 흡착성 건축자재로 이용함으로써 무분별하게 소각 폐기되는 폐목재를 효과적으로 재활용하고 또한 생활환경의 악화에 따른 사회적 비용의 손실을 방지하고 목질자원에 대한 재활용과 자원절약의 중요성을 국민 전반에 인식시킬 수 있을 것으로 생각한다.

다. 결과 요약

폐파티클보드, 폐섬유판, 폐합판, 건전목재 등이 혼합된 폐목재를 원료로 탄화한 재활용숯을 포름알데히드 등 실내의 유해물질을 흡착하는 새로운 건축자재로 재활용하는 방안을 모색하고 사업의 타당성을 검토하였다.

- 1) 경량발포질석을 50% 혼합하여 제조한 복합보드는 포름알데히드 탈취력이 우수하며 불연성을 나타내어 유해물질 흡착성 건축자재로의 개발이 유망하였다. 재활용숯 복합보드에 다양한 문양을 부여하고 칼라코팅에 의해 표면성을 개량하면 실내의 각종 유해물질을 흡착하는 기능성 건축자재로의 산업화도 충분히 가능할 것으로 판단되었다.
- 2) 국내에서 연간 배출되는 폐목재를 매립이나 소각이 아닌 열분해에 의해 전부 재활용숯으로 제조할 경우, 연간 약 4천5백억 원 상당의 이익이 창출되는 것으로 분석되었다. 더욱이 재활용숯을 유해물질 흡착성 건축자재로 개발한다면 그 수익성은 더욱 높아질 것으로 생각된다.

제 7 절 폐목질 성형제품 제조기술 개선

1. 서 설

목재는 친환경적이며 친인체적인 재료로서 재생산이 가능한 최대의 바이오매스 자원임과 동시에 재이용이 비교적 용이한 재료이다. 현재 지구상에 존재하는 식물 중 목재가 고정하는 탄소의 양은 약 7,360억톤으로 이산화탄소로 환산하면 2조 6,987억톤이라는 막대한 양으로 지구온난화 속도를 지연시키는 데 중요한 역할을 하고 있다. 따라서 탄소의 저장고인 목재의 재활용은 환경보호측면에서도 관심이 높다. 그러나 2004년도에 국내에서 발생되고 있는 약 220만톤의 전 폐목재중 약 50%인 건설 폐목재는 9%가 매립, 37%가 소각, 55%가 재활용, 약 37%의 생활 폐목재는 50%가 매립, 48%가 소각, 2.7%가 재활용 그리고 약 13%의 사업장 폐목재는 약 2%가 매립, 45%가 소각, 58%가 재활용되고 있어 전체의 평균 재활용률은 33.3%로 매우 낮은 실정이다(환경부 국립환경과학원(2005)). 폐목재는 태우거나 매립될 경우 지구 온난화의 주요 원인인 이산화탄소가 발생되기 때문에 이를 감소시키기 위해서는 목질재료의 재활용을 통해서 목재의 사용 기간을 최대한 연장시켜 주는 것이 합리적인 방안중의 하나이다.

또한, 국내의 연간 목재 소비량은 2,700만톤으로 자급률이 10%에도 미치지 못하고 90% 이상을 외국에서 수입하는 실정임을 고려할 때 폐목재의 재활용은 매우 중요하고 가치 있는 일이라 생각된다. 일본에서는 이미 사용한 파티클보드로부터 목재 파티클의 회수 및 재이용에 관해 많은 노력을 기울이고 있으며 그 성과도 다양하게 도출되고 있다. 그러나 국내의 경우, 현재 다른 제품의 원료나 연료로는 약 40% 정도 밖에 재활용되지 않고 있으며, 재활용되는 것도 거의 절반이 연료이다.

따라서 매립 또는 소각처리되는 약 147.4만톤(전체 폐목질 재료의 67%)의 폐목질 재료를 이용한 신제품의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

한편, 현재 국내에서 사용되는 학교용 책상 상판은 초·중·고등학생만 하여도 약 1,000만개 정도이며 대학 및 사설 학원까지 고려하면 그 수는 거의 1,500만개에 이를 것으로 추정된다. 이들 학교용 책상판은 주로 지금까지 합판이 사용되어 왔으며 그 대부분이 수입되고 있고, 그 비용으로 약 오천만 달러라는 외화가 지불된 것으로 추

산된다. 따라서 폐기 목질 재료의 재활용은 의화절약 뿐만 아니라 환경문제와 관련해서도 매우 중요한 과제 중의 하나이다.

그러나 이들 폐목질 자원을 이용한 재활용 제품의 성공적인 제조를 위해서는 해결해야 할 많은 문제점을 가지고 있다. 첫째는 폐기 목질 재료의 분리수거 및 집하, 둘째는 해체 및 분리에 의한 원료화, 그리고 셋째는 재활용 목질제품의 제조기술 확립이다. 첫 번째 문제의 해결은 환경보호 차원에서 행정적인 지원에 의한 해결방법이 절실하고, 둘째는 현재의 기술로는 어느 정도는 가능하나 보다 효율적인 에너지 절약 기술개발이 요구된다. 그러나 위의 두 문제가 해결된다고 하여도 특히 소각 및 매립되는 천연 목질재료를 효율적으로 재활용하기 위해서는 폐기 목질재료를 이용한 다양한 신제품의 개발과 그 제조기술의 확립이 시급하다.

따라서, 본 연구에서는 이들 수입품을 대체할 수 있으며, 무엇보다도 국내에서 폐기되는 자원에 의해 대체가 가능하다는 측면에서 경제적 가치가 매우 높은 학생용 책상판을 도림산업(주)와 공동으로 개발하고 현 제조 과정에서 파생되는 문제점을 파악하여 그 개선대책을 수지 접착제, 생산성 향상 및 성형공정 최적화의 관점에서 검토하였다.

2. 폐목질재료에 의한 학생용 책상판 성형의 현황 및 문제점

수입 합판에 의해 현재 연간 약 100만개 이상의 수요가 있는 것으로 추정되는 초, 중, 고등 및 대학생의 책상 상판을 폐기 목질재료를 이용한 성형 상판으로 대체하기 위하여 도림산업(주)와 공동으로 현 제조 과정에서 파생되는 문제점을 파악하고 그 개선대책을 집중적으로 검토하였다.

가. 현 황

100% 폐기되는 목질재료를 이용한 제품으로서 학교 책상용 상판의 제조기술을 확립하기 위해 수행하였다. 기존의 학생용 책상 상판은 합판이 주로 사용되었으며 이로 인해 산림자원 고갈의 가속화와 사용 후 폐기시 2차적인 환경오염을 야기하였다. 그러나 <그림 7-1>에 나타낸 바와 같이, 기존의 합판을 대체할 수 있는 제품으로 도림산업(주)와 진주산업대학교는 폐목질 재료를 이용한 성형 책상 상판을 개발하였다.

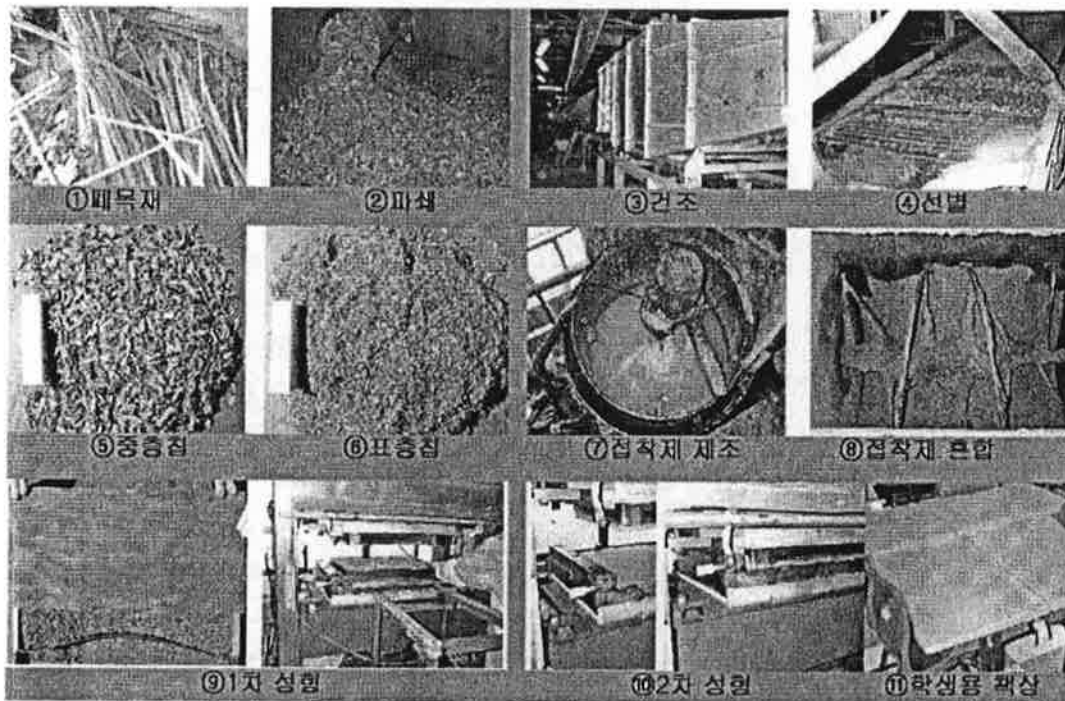


<그림 7-1> 기존의 합판 책상판과 성형 책상판

본 상판은 최근 학생들의 체격 증대를 고려하여 몸쪽에는 체형에 맞게 둥근 곡선으

로 마감함과 동시에 양단에는 팔의 받침대 역할을 하는 부분이 있어 피로를 들어주도록 설계되어 있으며, 책상 둘레에 학습도구가 떨어지지 않도록 방지턱을 도입하여 학습능률 향상을 기하고, 표면 성형부에는 내마모성이 강한 고압 열경화성 수지화장판(HPL)을 접착가공하여 긁힘 등의 표면 손상이 적은 다기능 제품이다.

본 성형 상판의 제조공정은 <그림 7-2>에 나타낸 바와 같이, ① 폐기 목질 재료 수거 → ② 파쇄 → ③ 건조 → ④ 선별 → ⑤ 접착제 제조 → ⑥ 접착제와 파티클의 혼합 → ⑦ 1차 성형 → ⑧ 2차 성형 → ⑨ 검사로 되어 있다.



<그림 7-2> 책상판의 주요 제조공정

이들 공정중 제품의 품질 및 생산성에 결정적으로 영향을 미치는 매우 중요한 공정이 ③~⑧이며, 특히 개개 파티클 입자를 결합시키는 접착제의 역할이 매우 중요하다. 본 제품의 개발 초기에는 요소수지(UF)를 사용하였으나, 이후 GR마크의 획득과정에서 물리적 성능의 부족과 포름알데히드라는 인체 유해물질의 방출로 인해 현재에는 요소·멜라민 수지 접착제에 의해 제조되고 있으나, 최근에는 GR규격의 개정으로 품질의 향상 및 생산성과 불량률 등의 관점에서 기술적인 많은 문제점을 가지고 있다.

따라서 먼저 수입 합판에 의해 현재 연간 약 100만개 이상의 수요가 있는 것으로

추정되는 초, 중, 고등 및 대학생의 책상 상판을 폐기 목질재료를 이용한 성형 상판으로 대체하기 위하여 참여기업인 도림산업(주)와 공동으로 현 제조 과정에서 파생되는 문제점을 파악하고 그 개선대책을 수지 접착제, 생산성 향상 및 성형공정 최적화의 관점에서 검토하였다. 2003년 연구 개시 당시 책상판의 주요 제조조건은 <표 7-1>, GR규격과 성능은 <표 7-2>와 같다.

<표 7-1> 2003년도 연구 개시 당시 책상판의 주요 제조 조건

항 목	기본조건		
파티클의 구성	표면층	고운파티클 : 1,400g	
	내부층	거친파티클 : 3,000g	
목표 밀도	0.8g/cm ³		
접착제 조합 및 도포량	F/U+M 몰비	1.35	왁스 및 경화제 미첨가
	M/U 몰비	0.35	
	고형분	56%	
	도포량	고운파티클 : 10.4% 거친파티클 : 9.8%	
성형조건	온도	190℃	
	시간	1차	160초
		2차	80초
	압력	60kg/cm ²	

<표 7-2> 2003년 연구 개시 당시 책상판의 GR 규격과 성능

항 목	기준 (GR)	책상판의 성능	
밀도 (g/cm ³)	0.5~0.8	0.8	
함수율 (%)	5~13	7.0	
흡수두께팽창률 (%)	12 이하	5.2	
휨강도 (kgf/cm ²)	건조	184 이상	280
	습윤	92 이상	154
박리강도 (kgf/cm ²)	3.1 이상	8.2	
나사못 유지력 (kgf)	평면	71 이상	88
	측면	36 이상	59
폼알데히드방출량 (mg/L)	E2 : 5.0 이하	1.4~2.3	

나. 생산성 저하요인과 불량발생요인 분석

1) 생산 및 불량 발생 현황

참여기업에서는 현재 17기의 프레스에 의해 월 평균 약 3만개 전후의 책상판을 제조하고 있다. 본 과제에서는 품질의 안정과 생산성 향상을 위해 먼저 현 제조체계에 서의 문제점을 파악한 후 연구 및 개발에 의해 그 개선책을 강구하고자 한다.

본 과제의 시작 초기인 2003년의 3개월간에 걸쳐 17기의 프레스에서 제조되고 있는 책상판의 생산량 및 불량률은 <표 7-3>과 같았다. 월 평균 생산량은 28,671개였다. 각 프레스의 사양 및 작업자의 숙련도에 따라 차이는 많으나, 프레스 1기당 월 1,700여개의 책상판을 생산하였다.

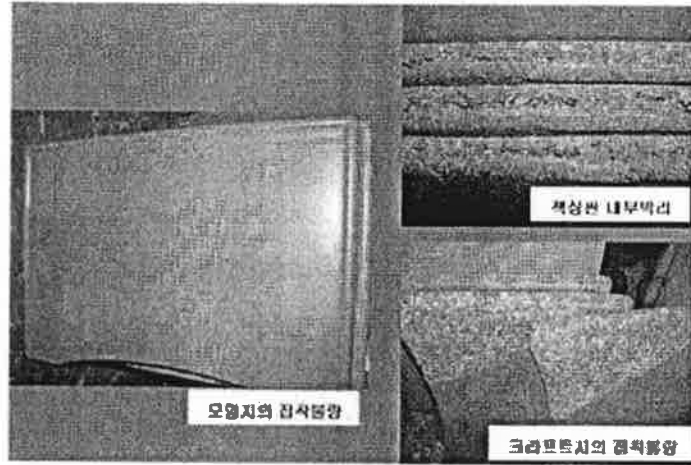
<표 7-3> 3개월간의 책상판 생산량 및 불량 발생률(2003년)

항목	생산 (개)	불량 (개)	불량률 (%)	프레스 1기당 생산량 (개)	프레스 1기당 불량 (개)
A월	24,459	655	2.7	1,439	38.5
B월	27,344	842	3.1	1,608	49.5
C월	34,210	801	2.3	2,012	47.1
합계	86,013	2,298	8.1	5,059	135.1
평균	28,671	766	2.7	1,686.3	45.0

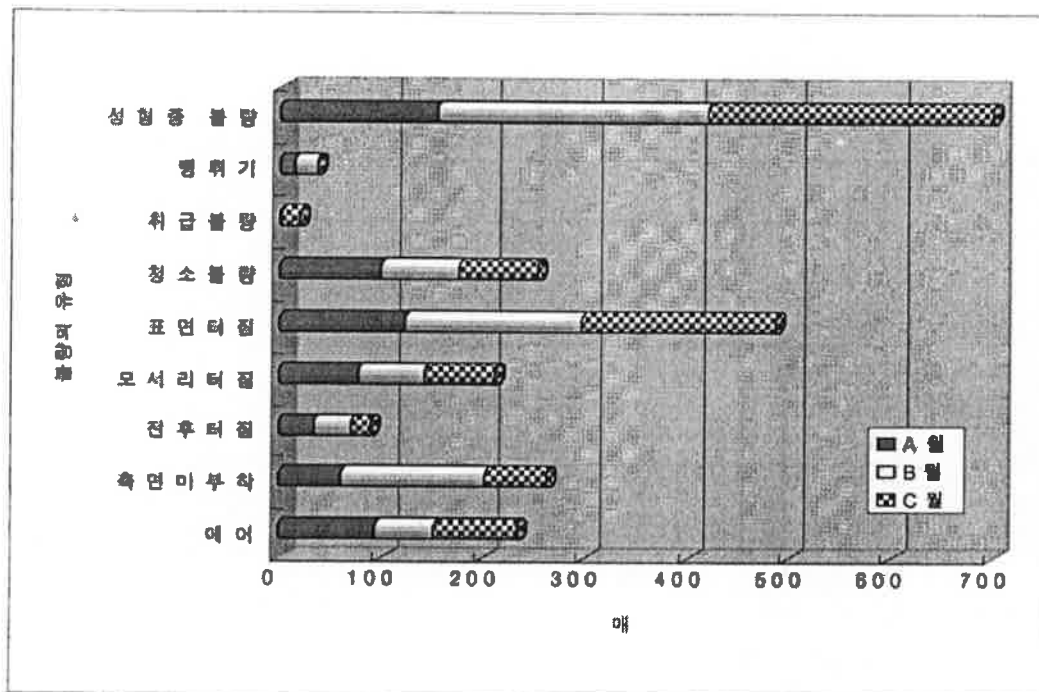
불량 책상판은 월 766개로 비율은 2.7%였으며, 프레스 1기당 월 평균 45개로 프레스나 작업자에 따라 차이가 많았다. 예를 들어 C월 14호기 프레스에서는 126개의 불량판이 발생하였으나, 평균치 이상의 책상판 제조 프레스 중에서 3호기는 불과 15개 밖에 발생하지 않았다.

주로 발생하는 불량 유형에는 <그림 7-3>에 나타낸 바와 같이, 원료의 불균일, 접착제의 경화불량, 기기의 정비 불량이나 결함, 생산자의 실수 등에 의해 파생되는 생산(성형)과정에서 박리, 프레스판의 청소 불량으로 인한 표면오염, 해압 후 표면, 측면, 모서리, 앞뒷면의 터짐, 모양지나 크라프트지의 접착불량, 수분에 의해 야기되는 에어에 의한 박리 등 다양하다.

각 불량 발생빈도는 <그림 7-4>에 나타낸 바와 같이, 성형과정 중에 발생하는 불량이 가장 많았으며, 이어 표면 터짐, 청소 불량에 의한 표면 오염 및 에어로 인한 모양지의 접착불량이 많았다.



<그림 7-3> 주요 책상판의 불량



<그림 7-4> 책상판의 불량 유형과 발생량(2003년)

2) 생산성 저하 및 불량 발생 요인 분석

앞에서 언급한 바와 같이 프레스기와 작업자의 숙련도에 따라 생산성과 불량률에는 많은 차이가 나타났으며, 이들에 대한 대처는 본 연구에서 제외하고 기술적인 측면에

서 생산성과 불량에 미치는 영향과 대응책 및 향후 연구 방향을 제시하고자 한다.

책상판의 제조시 생산성과 품질에 미치는 주요 영향 인자로는 폐목질 원료, 수지 접착제 및 성형공정으로 요약할 수 있다. 먼저 책상판 제조시 사용되는 원료의 불균일성으로 인한 강도적 성능과 제품의 안정성 및 포름알데히드의 방출량 제어의 어려움이다 <그림 7-5>. 현재 학생 책상판의 제조에는 합판, 각재 등의 건설 폐목재, 폐기 가구나 인테리어 재료의 생활 폐목재 및 학생용 책상판이나 불량 책상판을 재파쇄한 폐목재 등, 폐목재 중에서도 중저급이 마구잡이로 혼합된 원료가 사용되고 있다. 따라서 원료의 세장비가 매우 다양하며, 재생 원료의 재생으로 인해 접착 표면적이 매우 작은 형태의 원료가 많다. 게다가 파티클의 표면에 각종 수지나 이물질 등이 부착되어 접착을 방해하는 경우도 있어 품질의 안정화에 매우 어려움이 많다. 이들 문제를 해결하기 위해서는 먼저 폐기 목질 재료의 분별에 의한 원료의 균질화가 바람직하나 현실적으로는 매우 어려운 상황이다. 원료 파쇄기의 방식에 따라 원료의 형상과 제품의 성능에 대한 검토도 요구되고 있다.

또한 GR(Good recycled) 규격 개정으로 현재 가장 시급히 해결해야 할 과제 중의 하나가 포름알데히드 방출 수준의 제어이다. 즉 기존의 E₂에서 E₁으로 개정되면서 1.5mg/L 이하의 방출 수준을 안정적으로 관리하기가 매우 어려워졌다. 이 포름알데히드의 방출은 사용하는 수지 접착제에 의해 주로 좌우되며, 수지 접착제에 관해서는 다음 장에서 자세히 검토하기로 한다. 그러나 문제는 제조시 사용하는 수지는 E₁급이지만 재생원료로부터 방출되는 포름알데히드의 제어가 매우 곤란하다는 점이다.

실제로 최소 5년 이상 사용한 기존의 합판 책상판(파쇄하여 본 연구의 책상판 원료로 일부 사용 중)의 포름알데히드 방출 수준을 조사해 본 결과, 1.1~2.3mg/L로 E₁ 규격인 1.5mg/L를 초과하는 것도 많았다. 물론 재생 파티클의 원료화 과정(파쇄와 고온에서의 건조)에서 어느 정도 포름알데히드가 제거될지는 명확하지 않지만, 동일한 수지로 제조한 책상판의 포름알데히드 방출 수준에 많은 차이가 있다는 점에서 앞으로 체계적인 검토가 요구되어야 할 것으로 생각된다.

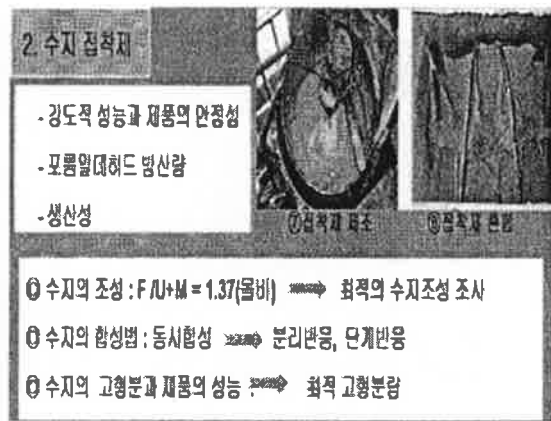
책상판의 성능과 생산성에 원료인 폐기 목질 파티클 못지않게 중요한 인자가 수지 접착제이다. 본 책상판의 제조 초기에는 요소수지 접착제가 사용되었으나, 내수 성능과 포름알데히드의 방출량 등의 문제로 인해 현재는 요소·멜라민 수지로 대체되었다. 또한 최근에는 GR 규격이 개정되어 특히 포름알데히드의 방출량에 대한 기준이 한층 강화되었다. 따라서 본 책상판의 제조시 수지의 경제성, 제품의 생산성 및 품질

안정성에 가장 적합한 수지 접착제의 제조 기술이 요구되고 있다<그림 7-6>. 즉 최적 수지 종류, 수지 합성법, 수지의 조성 및 성능 등에 대한 체계적인 평가를 바탕으로 선정된 수지에 의한 생산성과 품질에 대한 최종 평가가 요구되고 있다.

세 번째로 제조 공정상에서도 다양한 요인으로 인해 불량 발생되고 있으며, 특히 생산성에 미치는 영향이 매우 크다. 먼저 원료의 성형 공정에서 일정량의 목질 파티클을 사람의 손에 의해 투입하고 성형하는 과정에서 일부 파티클이 세로 방향으로 배열됨으로써 모양지 파손 등의 불량 발생되고 있다<그림 7-7, 8>.



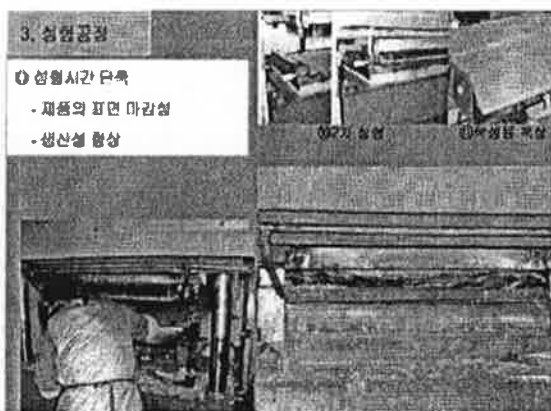
<그림 7-5> 원료의 영향



<그림 7-6> 수지 접착제의 영향



<그림 7-7> 성형공정 중 목질 파티클 투입



<그림 7-8> 표면 모양지 적층과 가압

이 점을 개선하기 위해 먼저 진동에 의한 파티클의 균일한 배열을 유도하기 위한 방안의 모색이 요구된다. 또한 궁극적으로는 책상판 표면의 오염성 개선 및 생산속도

향상 및 단위 인원당 생산력 확대를 통한 원가 절감을 위해서는 예비성형 등의 방법에 의한 제조공정 개선이 필연적인 것으로 생각되었다.

이상의 검토 결과를 토대로

- ▶ 책상판의 성능에 미치는 재생 원료의 종류와 형상의 영향
- ▶ 책상판 제조용 수지 접착제의 합성과 성능
- ▶ 책상판의 포름알데히드방출량 감소
- ▶ 책상판의 성형공정 개선
- ▶ 책상판 제조조건 최적화와 불량률의 감소
- ▶ 비포름알데히드계 수지에 의한 책상판의 제조기술 개발
- ▶ 요소·멜라민 수지와 이소시아네이트 수지에 의한 시제품 제작에 관하여 구체적으로 조사하였다.

3. 책상판의 성능에 미치는 재생원료의 종류와 형상의 영향

수입 합판에 의해 현재 연간 약 100만개 이상의 수요가 있는 것으로 추정되는 초, 중, 고등 및 대학생의 책상 상판을 폐기 목질재료를 이용한 성형 상판으로 대체하기 위하여 도림산업(주)와 공동으로 현 제조 과정에서 파생되는 문제점을 파악하고 그 개선대책을 수지 접착제, 생산성 향상 및 성형공정 최적화의 관점에서 검토하였다.

현재 학생 책상판의 제조에는 합판, 각재 등의 건설 폐목재, 폐기 가구나 인테리어 재료의 생활 폐목재 및 이미 사용한 학생용 책상판이나 불량 책상판을 재파쇄한 폐목재 등, 폐목재 중에서도 중저급이 마구잡이로 혼합된 원료가 사용되고 있다. 따라서 이들 원료의 세장비가 매우 다양하며, 재생원료를 다시 재생함으로 인해 접착 표면적이 매우 작은 형태의 원료가 많다. 게다가 파티클의 표면에 각종 수지나 이물질 등이 부착되어 접착을 방해하는 경우도 있어 품질의 안정화에 매우 어려움이 많다. 이들 문제를 해결하기 위해서는 먼저 폐기 목질재료의 분별에 의한 원료의 균질화가 바람직하나 현실적으로는 매우 어려운 상황이다.

따라서, 먼저 3종의 원료(목재, 합판 및 PB)와 2종의 파쇄기(hammer mill, knife ring flaker)를 이용하여 책상판 제조용 파티클을 제조한 후 원료 및 파쇄법별 입도분포와 입도형상을 조사하고, 입도의 형상과 책상판의 성능과의 관계, 재생 PB에 대한 합판 및 목질 파티클의 혼합비율과 책상판의 성능과의 관계를 구명하였다. 또한 각 책상판의 밀도와 휨성질의 상관관계식을 도출하여 동일한 밀도에서 비교하였다.

가. 재료 및 방법

1) 책상판 제조용 폐기목질 재료

본 절에서 사용된 폐목질 원료는 특별히 지정하지 않을 경우에는 건설폐재 및 산업폐재(절단폐재) 등이 혼합된 파티클을 다시 파쇄기로 파쇄한 다음 직화가열식 드럼형 건조기에서 함수율 2%전후로 건조한 후 고운 파티클과 거친 파티클로 분별하여 사용하였으며, 고운 파티클은 1.4mm~480 μ m가 약 70%, 거친 파티클은 1.4mm 이하가 10%, 1.4~5.0mm가 67%, 5.0mm 이상이 23%였다.

원료의 형상에 따른 책상판의 성능평가는 목재로는 pallet용 라디에타소나무, 합판으로는 사용한 후 교체되는 기존의 합판 책상판, 파티클보드는 업계로부터 분양받은 PB를 사용하였다.

2) 공시 접착제

책상판의 제조에는 전년도에 성능이 우수하고 비교적 합성법이나 작업성이 우수한 요소-멜라민-포름알데히드(UMF) 수지접착제를 사용하여 원료의 형상에 따른 책상판의 성능이나 포름알데히드방출량을 조사하였다. 본 UMF의 요소와 멜라민에 대한 포름알데히드의 몰비는 1.3이며 pH 8.3, 점도 27cP 및 고형분 57.4%였다.

나. 실험방법

1) 원료의 종류와 파쇄법에 따른 파티클의 형상조사

준비된 3종의 원료(목재, 합판 및 PB)와 2종의 파쇄기(hammer mill, knife ring flaker)를 이용하여 책상판 제조용 파티클을 제조하였다.

파티클은 먼저 각 원료를 파쇄기에 투입하기 적절한 strip 상태로 절단한 다음, chipper로 1차 파쇄하였으며, 이어 <그림 7-9~10>과 같은 hammer mill 또는 knife ring flaker로 2차 파쇄하여 얻었다. 이때 hammer mill에는 15×30mm의 와이어스크린을 장착하였으며, knife ring flaker의 beater plate와 knife의 간격은 1.6mm, 1.5mm×14cm의 그리드 스크린을 사용하였다.

2차 파쇄한 파티클의 입도별 수율은 <그림 7-11>과 같이 4mesh(4.699mm), 20mesh(0.833mm), 80mesh(0.175mm)의 스크린이 장착된 원형 진동체(shaking screen)를 사용하여 분별한 후 조사하였다. 입도의 분포는 4mesh 이상(재파쇄), 4~20mesh(중층용 파티클), 20~80mesh(표층용 파티클) 및 80mesh 통과분(dust로 폐기)으로 구분하였다. 또한 원료별과 파쇄기별 책상판의 제조에 적합한 원료의 형상은 세장비(slenderness ratio=길이/두께)와 aspect ratio(길이/폭)에 의해 평가하였다.

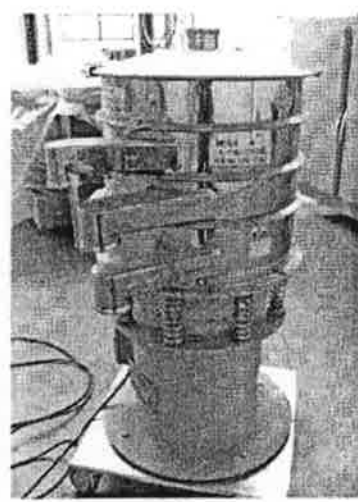
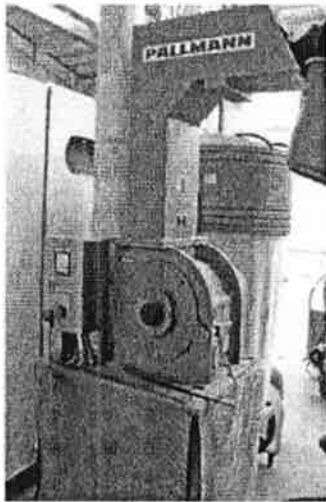
2) 책상판의 제조 및 성능평가

가) 원료의 종류와 파쇄법에 따른 성능 평가

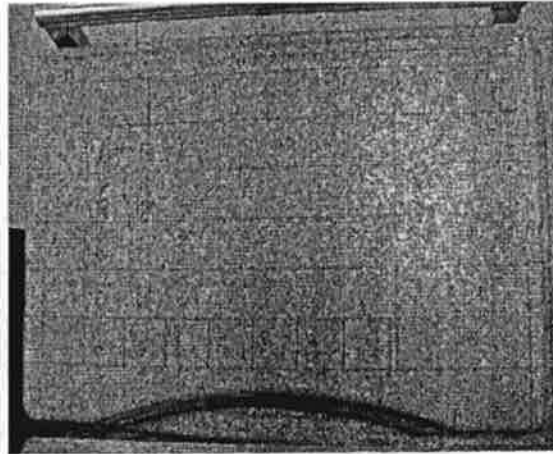
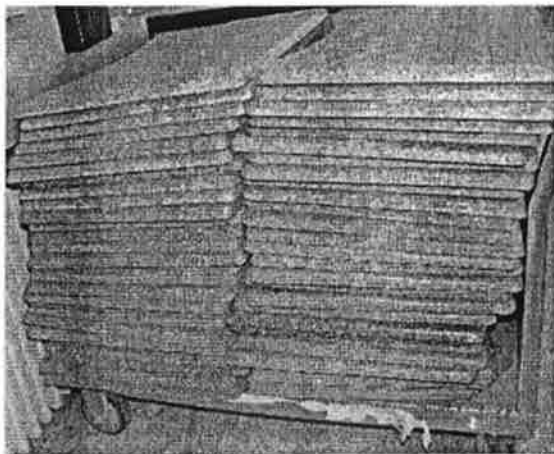
3종의 원료 및 2종의 파쇄법에 따른 책상판의 성능을 평가하기 위한 책상판은 각각 파쇄한 파티클 중 4~20mesh에 보류되는 중층용 파티클을 사용하여 제조하였다. 각각 제조한 파티클의 함수율은 5~8%였다. 표층에는 현재 업계에서 사용하고 있는 파티클을 그대로 사용하였으며, 양 표층과 중층의 중량비는 2.2:7.8이었다. 함지율은 표층 및 중층 모두 전건 파티클에 대해 수지 고형분 기준으로 11.5%였다. 책상판의 성형조건은 온도 200℃, 압력 60kgf/cm², 시간 4분이었다.

또한, PB로부터 재생한 파티클에 합판이나 목재로부터 얻은 파티클의 혼합비율이 책상판의 성능에 미치는 영향을 검토하기 위해 중층의 파티클에는 PB 파티클에 대해 합판이나 목재파티클을 각각 30%, 50%, 70% 혼합하거나 합판 15%와 목재 15%, 합판 25%와 목재 25% 및 합판 35%와 목재 35%를 혼합한 책상판도 제조하였다.

원료의 종류를 달리하여 제조한 책상판은 <그림 7-12>와 같으며, 성능평가는 파티클 보드의 품질검사 기준인 KS F 3104에 준하여 실시하였다. 주요 측정항목은 밀도, 함수율, 휨성질(MOR, MOE), 박리강도, 흡수두께팽창률 및 포름알데히드방출량이었으며 시험편의 채취는 <그림 7-13>과 같았다. 책상판의 휨성질 측정은 평행방향으로 하였다.



<그림 7-9> Hammer mill <그림 7-10> Knife ring flaker <그림 7-11> Shaking screen



<그림 7-12> 제조한 책상판

<그림 7-13> 시험편 채취

나. 연구 결과

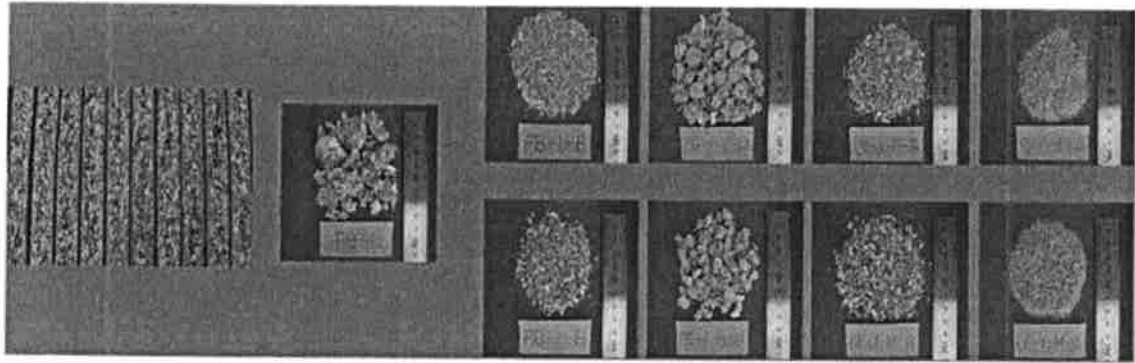
1) 원료의 종류와 파쇄법에 따른 파티클의 수율과 형상

책상판의 품질 안정화나 생산성 향상을 기하기 위해서는 무엇보다 원료가 어떤 재료로부터 재생되었으며 재생된 원료가 어떤 형상을 하고 있는지에 대한 검토 없이는 어려울 것으로 판단되었다. 또한 차후 시설 투자시 최적 재생원료 제조장치를 판단하기 위해 3종의 원료 및 2종의 파쇄기에 의한 재생 파티클을 제조하고 그 형상을 조사하였다. 또한 각각의 원료와 파쇄법이 책상판의 성능에 미치는 영향을 검토하였다.

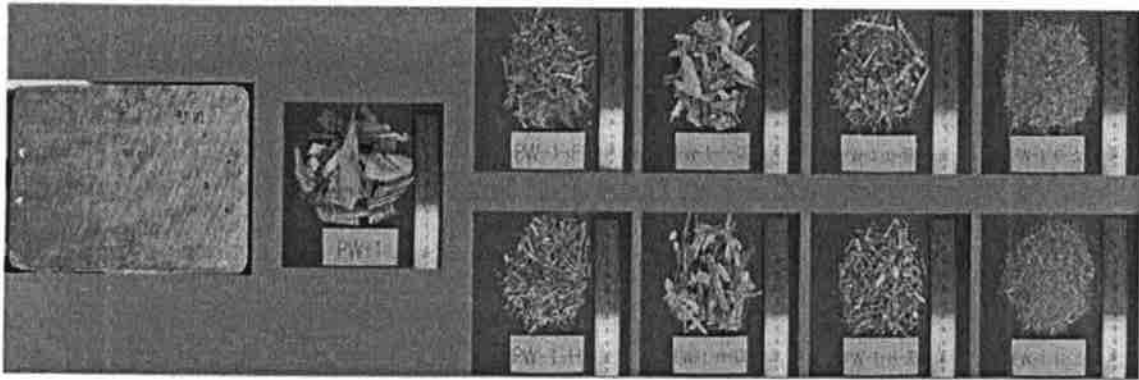
PB와 합판 및 목재를 1차 파쇄한 후 hammer mill과 knife ring flaker로 파쇄하여 얻은 스크린전의 파티클, 4mesh 미통과분(대), 4~20mesh(중), 20~80mesh(소)은 <그림 7-14~16>과 같다.

이들 각각의 원료 및 파쇄기에 따른 입도별 수율은 <그림 7-17 및 18>과 같다. hammer mill에 의한 파쇄의 경우 중층용에 사용되는 4~20mesh분이 PB나 합판 및 목재에 관계없이 76~78%로 가장 많이 생성되었으며, PB나 합판의 경우 표층용의 20~80mesh분이 약 20% 생성되었다. 그러나 4mesh 이상이나 80mesh 이하는 3%이하로 매우 적었다. 목재의 경우는 합판이나 PB에 비해 4mesh 이상의 큰 입도를 갖는 파티클이 20%로 많이 생성된 반면 20mesh 이하의 작은 입도의 파티클이 거의 생성되지 않았다. knife ring flaker에 의한 파쇄의 경우도 hammer mill과 거의 유사한 경향으로 중층용에 사용되는 4~20mesh 분이 PB나 합판 및 목재에 관계없이 가장 많이 생성되었고, 이어 PB나 합판의 경우 표층용의 20~80mesh 분이 많았다.

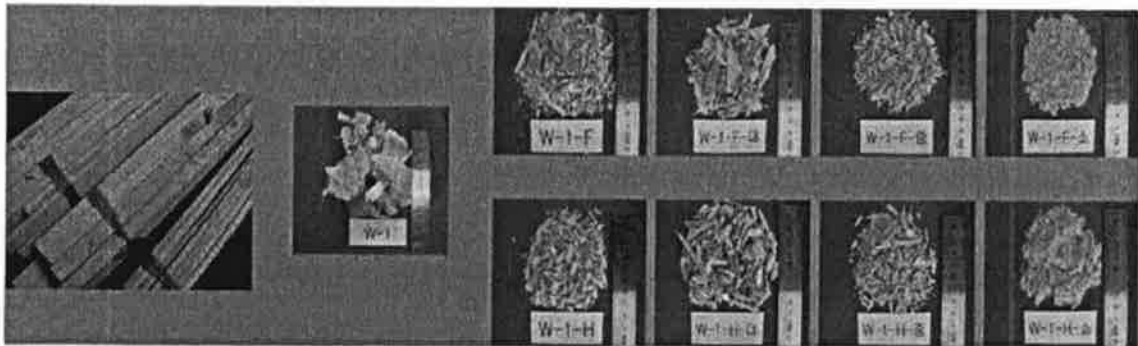
실제로 본 책상판의 제조시 중층용과 표층용에 사용되는 4~20mesh분과 20~80mesh분의 원료와 파쇄법에 따른 차이는 <그림 7-19>에 나타난 바와 같다. 중층용은 목재를 knife ring flaker로 파쇄했을 때 84%로 가장 높았고, 이어 PB를 knife ring flaker로 파쇄했을 때이며 합판을 knife ring flaker로 파쇄했을 때의 수율은 목재에 비해 약 15% 정도 적었다. 그러나 hammer mill에 의한 파쇄는 원료간의 차이가 거의 없었다. <그림 7-17, 18>과 같이, 표층용 파티클의 경우 목재는 파쇄기의 종류에 관계없이 수율이 4% 이하로 낮았으며, PB는 knife ring flaker 파쇄분이 합판의 hammer mill이나 knife ring flaker 및 PB의 hammer mill 파쇄분 보다 4~5% 낮았다. 특히 목재의 경우 표층용의 생성 비율이 낮은 것은 파쇄시 함수율이 높았기 때문이라고 생각되며, 전체적으로 볼 때 중층용 파티클의 생성분이 합판은 hammer mill



<그림 7-14> PB의 hammer mill 및 knife ring flaker 파쇄물



<그림 7-15> 합판의 hammer mill 및 knife ring flaker 파쇄물



<그림 7-16> 목재의 hammer mill 및 knife ring flaker 파쇄물

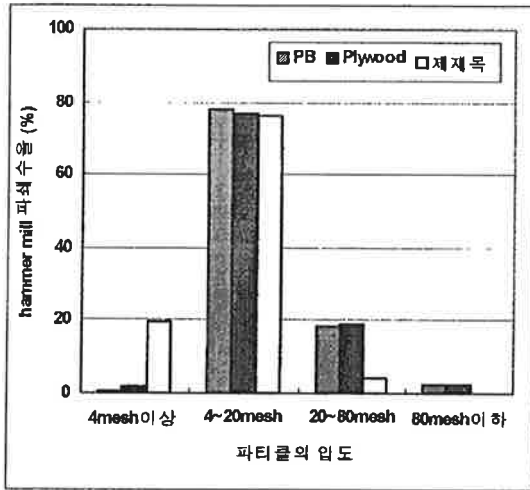
W-1 : 목재의 1차 파쇄물,

W-1-F : Knife ring flaker에 의한 파쇄물 중 미선별분, W-1-H : Hammer mill에 의한 파쇄물 중 미선별분

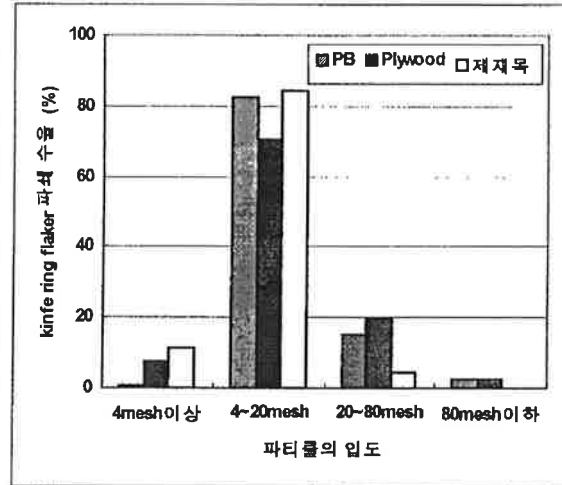
W-1-F-대 : Knife ring flaker에 의한 파쇄물 중 4mesh 미통과분

W-1-F-중 : Knife ring flaker에 의한 파쇄물 중 4~20mesh 보유분

W-1-F-소 : Knife ring flaker에 의한 파쇄물 중 20~80mesh 보유분



<그림 7-17> hammer mill 파쇄 후 입도별 수율



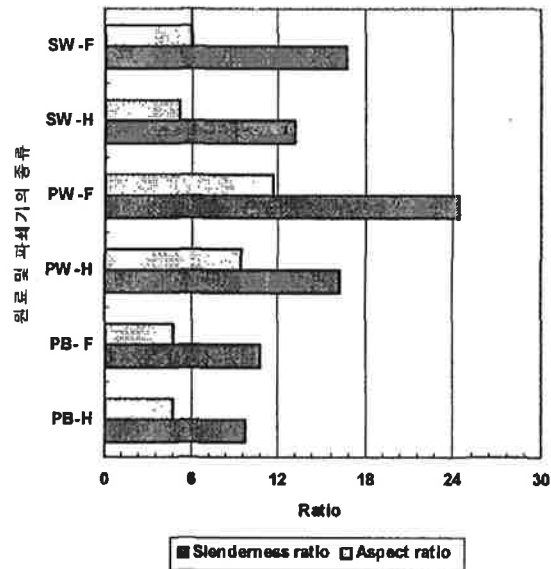
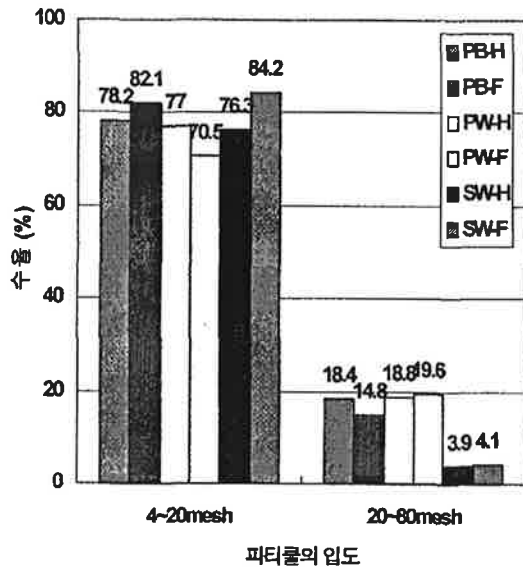
<그림 7-18> knife ring flaker 파쇄 후 입도별 수율

파쇄가 knife ring flaker 파쇄보다 다소 많았으며, PB나 목재는 knife ring flaker 파쇄가 hammer mill 파쇄보다 약간 많았으나 큰 차이는 없었다.

또한, 원료나 파쇄기에 따라 생성된 원료의 형상은 <그림 7-14, 15, 16>의 사진과 같이 길이나 두께의 변이가 많았다. 본 책상판 제조에 사용되는 파티클의 형상이 좁고 긴 것이 바람직한지 아니면 약간 동글동글한 형상이 좋은지를 판단하기 위해 이를 slenderness와 aspect ratio에 의해 중층용 파티클을 비교한 결과는 <그림 7-20>과 같다.

약 100편 정도의 파티클에 대해 길이, 두께 및 폭을 측정하여 평균값은 두께가 0.8~1.1mm였으며, 폭은 1.5~2.5mm 및 길이는 7.4~17.3mm였다. 원료의 종류에 관계없이 hammer mill 보다는 knife ring flaker로 파쇄한 것이 slenderness ratio 및 aspect ratio 모두 큰 값을 나타내 두께나 폭에 비해 길이가 긴 파티클의 제조가 가능한 것으로 확인되었다. 두께에 비해 길이가 가장 긴 파티클은 합판을 flaker로 파쇄한 것이었으며, 목재를 flaker로 파쇄한 것이나 합판을 hammer로 파쇄한 것은 거의 유사하였다.

반면, PB를 hammer mill로 파쇄한 것이 slenderness와 aspect ratio 모두 가장 작은 값을 나타내는 것으로 보아 타 파티클에 비해 원형에 가까운 형상의 파티클이 제조되는 것으로 확인되었으며, hammer mill이나 knife ring flaker간의 큰 차이는 없었다. 또한 폭이나 두께에 대해 길이의 비율이 큰 파티클은 합판에서 많이 생성되는 것으로 나타났다.



<그림 7-19> 원료 및 파쇄기에 따른 중층 및 표층용 파티클의 수율

PB-H ; 파티클보드-hammer mill 파쇄
 PB-F ; 파티클보드-knife ring flaker 파쇄
 PW-H ; 합판-hammer mill 파쇄

<그림 7-20> 원료 및 파쇄기에 따른 중층용 파티클의 형상

PW-F ; 합판-knife ring flaker 파쇄
 SW-H ; 각재-hammer mill 파쇄
 SW-F ; 각재-knife ring flaker 파쇄

2) 원료의 종류와 파쇄법에 따른 책상판의 성능

3종의 원료와 파쇄법에 의해 얻은 파티클로 제조한 책상판의 휨성질은 밀도에 의해 크게 좌우되며 제조한 책상판으로부터 취한 휨강도 시험편의 밀도에 차이가 있어 먼저 밀도와 휨강도 및 휨영계수의 회귀식을 구하고, 그 회귀식으로부터 동일한 밀도에서 휨성질을 비교하였다<표 7-4>. 원료와 파쇄법에 따른 책상판의 휨성질은 <그림 7-21>, 박리강도, 흡수두께팽창률 및 포름알데히드방출량은 <그림 7-22>와 같다.

휨강도 및 휨영계수는 동일한 원료에 있어 파쇄기의 종류에 따른 차이는 거의 없었으나 3종류 모두 slenderness ratio가 큰 flaker 파쇄 파티클로 제조한 책상판이 약간 우수하였다. 또한, 서로 다른 원료로부터 얻은 파티클의 slenderness ratio와 휨성질과는 직접적인 관계를 나타내지 않았다. 그러나 PB로부터 얻은 파티클보다는 합판으로부터 얻은 파티클, 합판보다는 목재로부터 얻은 파티클이 우수한 휨성질을 나타내고 있다. 그러나 박리강도는 PB가 가장 우수하였고 이어 목재 및 합판의 순이었다. 흡수두께팽창률은 목재가 가장 높았으며, 합판과 PB의 순이었다. 포름알데히드방출량은

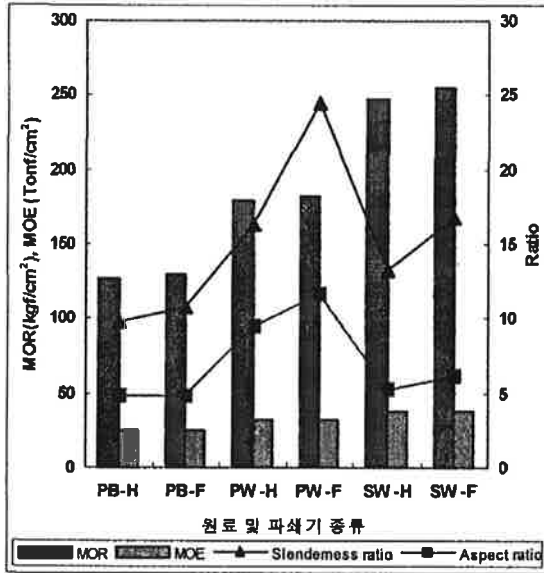
목재가 가장 낮았고 PB가 가장 높았다.

이상에서 알 수 있는 바와 같이 책상판을 전부 재생 PB파티클만으로 제조한다면 양호한 휨성질의 발휘가 어려울 것으로 생각된다. 따라서 PB, 합판 및 목재로부터 얻은 파티클의 배합비율이 책상판의 성능에 미치는 영향을 밀도 0.8g/cm³에서 비교하였다.

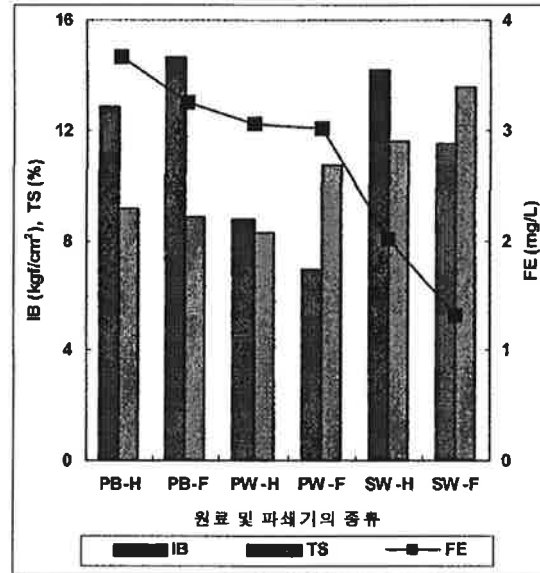
<표 7-4> 원료 및 파쇄법의 종류와 책상판의 휨성질

원료 및 파쇄법	밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨영계수 (Tonf/cm ²)	회귀식(상관계수)	밀도(g/cm ³)*	
					0.8	0.75
control	0.75±0.01	140.7±20.6	28.4±2.3			
PB-H	0.81±0.06	164.0±43.2	29.7±6.1	강도 Y=667.85X-374.79(0.88)	159.5	126.1
				영계수 Y=93.698X-45.929(0.87)	29.0	24.3
PB-F	0.82±0.05	167.5±28.7	29.8±4.9	강도 Y=557.60X-288.67(0.96)	157.4	129.5
				영계수 Y=85.022X-39.575(0.97)	28.4	24.2
PW-H	0.78±0.06	198.7±36.8	35.8±5.8	강도 Y=606.77X-276.52(0.92)	208.9	178.6
				영계수 Y=94.963X-38.586(0.92)	37.4	32.6
PW-F	0.78±0.07	204.5±45.1	36.0±7.3	강도 Y=628.94X-289.51(0.74)	213.6	182.2
				영계수 Y=111.12X-51.041(0.92)	37.9	32.3
SW-H	0.79±0.04	277.3±34.3	43.2±5.1	강도 Y=825.21X-371.96(0.71)	288.2	246.0
				영계수 Y=134.40X-62.506(0.87)	45.0	38.3
SW-F	0.81±0.02	302.4±23.9	45.1±3.0	강도 Y=851.51X-383.44(0.51)	297.8	255.2
				영계수 Y=137.79X-65.850(0.86)	44.4	37.5

* 밀도와 휨성질로부터 구한 회귀식에서 계산한 휨성질 값



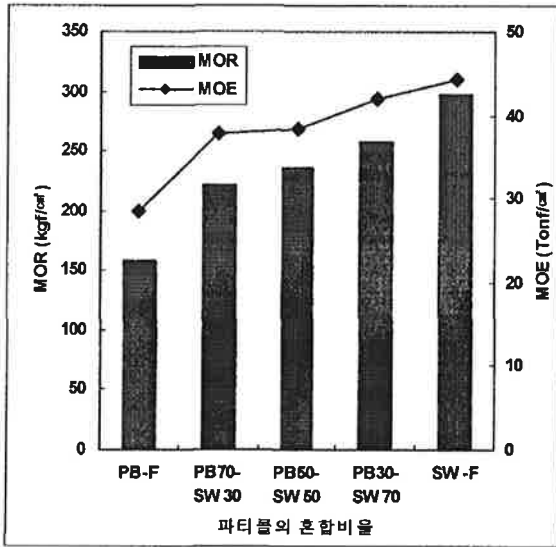
<그림 7-21> 원료 및 파쇄기의 종류와
휨성질(밀도 0.75g/cm³)



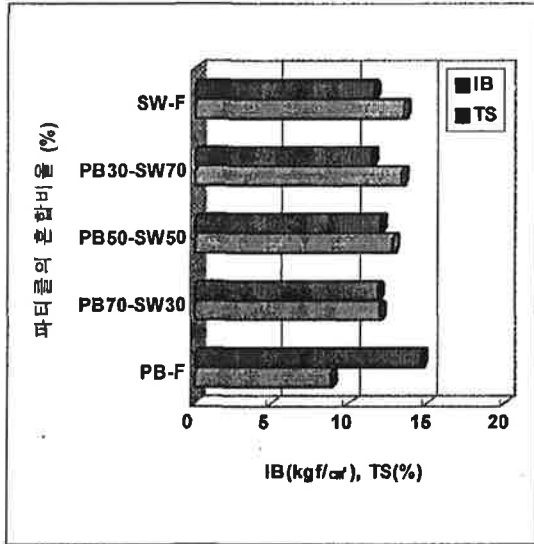
<그림 7-22> 원료 및 파쇄법과 박리강도
(IB), 흡수두께팽창률(TS) 및
포름알데히드방출량(FE)

<그림 7-23, 24>에는 PB로부터 재생한 파티클과 목재에서 얻은 파티클의 혼합비율과 휨성질, 박리강도 및 흡수두께팽창률, <그림 7-25, 26>에는 PB로부터 재생한 파티클과 목재에서 얻은 파티클 및 합판으로부터 파쇄한 파티클의 혼합비율과 휨성질, 박리강도 및 흡수두께팽창률, <그림 7-27, 28>에는 PB로부터 재생한 파티클과 합판에서 얻은 파티클의 혼합비율과 휨성질, 박리강도 및 흡수두께팽창률의 관계를 나타내었다. 재생 PB파티클에 합판이나 목재로부터 파쇄한 파티클의 첨가비율이 높아질수록 휨강도와 휨영계수 모두 증가하였으며, 박리강도는 오히려 작아졌고, 흡수두께팽창률은 증가하였다. 재생 PB파티클만으로 제조된 책상판의 휨강도는 157kgf/cm²였으나 재생 PB파티클에 합판 파쇄 파티클을 30% 정도 혼합하면 182kgf/cm²로, 합판 파티클 15%와 목재 파티클 15%를 혼합하면 184kgf/cm²로, 목재 파티클을 30% 혼합하면 220kgf/cm²로 향상되었다.

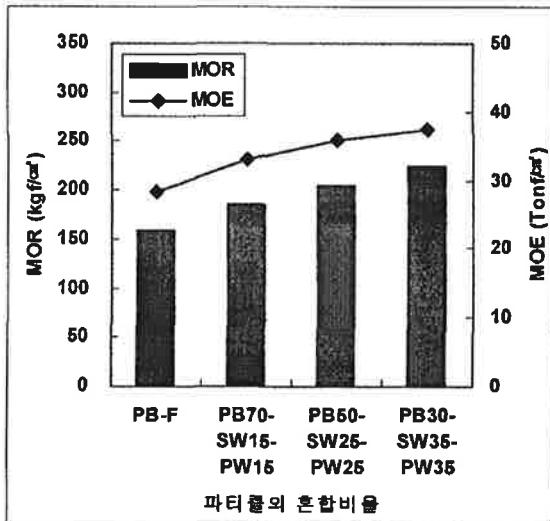
따라서 180형 이상의 휨성질을 만족하기 위해서는 PB재생 파티클만의 사용으로는 어려울 것으로 생각되며, 목재나 합판으로부터 재생된 파티클을 약 30% 정도 혼합하여 사용하는 것이 바람직 할 것으로 생각되었다.



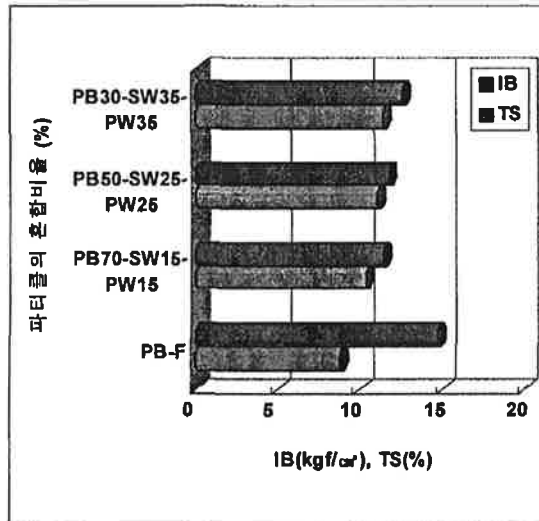
<그림 7-23> 재생 PB파티클과 목재 파티클의 혼합비율과 휨성질 (밀도 0.8g/cm³)



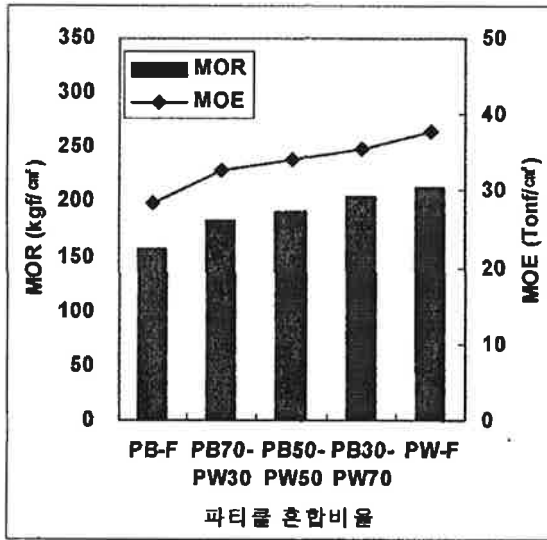
<그림 7-24> 재생 PB파티클과 목재 파티클의 혼합비율과 IB, TS



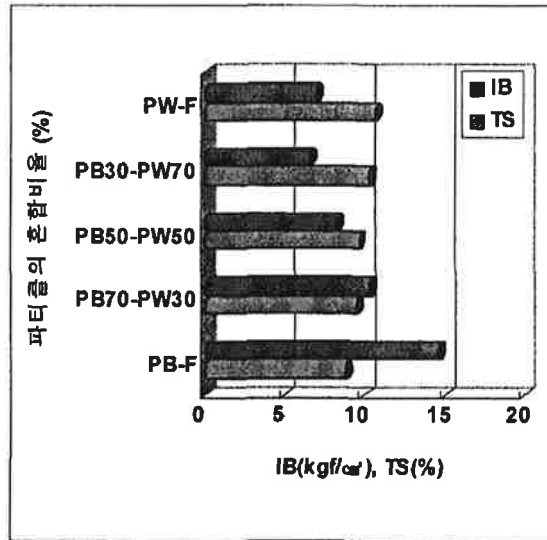
<그림 7-25> 재생 PB파티클과 목재 및 합판 파티클의 혼합비율과 휨성질 (밀도 0.8g/cm³)



<그림 7-26> 재생 PB파티클과 목재 및 합판 파티클의 혼합비율과 IB, TS



<그림 7-27> 재생 PB파티클과 합판 파티클의 혼합비율과 휨성질 (밀도 0.8g/cm³)



<그림 7-28> 재생 PB파티클과 합판 파티클의 혼합비율과 IB, TS

다. 결과 요약

1) 원료의 종류와 파쇄법에 따른 파티클의 수율과 형상

원료 및 파쇄기에 따른 입도별 수율은 파쇄기의 종류(hammer mill 이나 knife ring flaker) 및 원료의 종류(PB, 합판, 목재)에 관계없이 중층용에 사용되는 4~20mesh 분이 약 75~80%로 가장 많이 생성되었다. 그러나 표층용의 20~80mesh분은 PB나 합판에서는 파쇄기에 관계없이 약 20% 생성되었으나 목재의 경우에는 4mesh 이상의 큰 파티클의 비율이 타 원료에 비해 상대적으로 높았다. 따라서 현재 책상판 제조시 파티클의 구성은 표층용이 30%, 중층용이 70%이므로 전체적으로 표층용 파티클이 다소 부족할 것으로 판단되며, 특히 목재만의 파쇄에 의해서는 표층용 파티클을 확보하기가 곤란할 것으로 예상된다. 중층용 파티클의 생성비율이 가장 높은 경우는 합판을 knife ring flaker로 파쇄했을 때이나 hammer mill과의 차이는 매우 적었다.

따라서 새로이 목재 파쇄기를 설치할 경우에는 파쇄기의 종류에 따른 수율의 관점보다는 전체적인 생산 능력과 경제적인 측면에서의 선정기준이 바람직할 것으로 생

각되었다.

파티클의 길이, 두께 및 폭을 측정한 평균값은 두께가 0.8~1.1mm, 폭이 1.5~2.5mm, 길이는 7.4~17.3mm이었다. 원료의 종류에 관계없이 hammer mill보다는 knife ring flaker로 파쇄한 것이 slenderness ratio 및 aspect ratio 모두 큰 값을 나타내어 두께나 폭에 비해 길이가 긴 파티클의 제조가 가능한 것으로 확인되었다. 두께에 비해 길이가 가장 긴 파티클은 합판을 flaker로 파쇄한 것이었으며, 목재를 flaker로 파쇄한 것이나 합판을 hammer mill로 파쇄한 것은 거의 유사하였다. 반면, PB를 hammer mill로 파쇄한 것이 slenderness와 aspect ratio 모두 가장 작은 값을 나타내는 것으로 보아 타 파티클에 비해 원형에 가까운 형상의 파티클이 제조되는 것으로 확인되었으며, hammer mill이나 flaker간의 큰 차이는 없었다. 또한 폭이나 두께에 대해 길이의 비율이 큰 파티클은 합판에서 많이 생성되는 것으로 나타났다.

2) 원료의 종류와 파쇄법에 따른 책상판의 성능

휨강도 및 휨영계수는 동일한 원료에 있어 파쇄기의 종류에 따른 차이는 거의 없었으나 3종류 모두 slenderness ratio가 큰 flaker 파쇄 파티클로 제조한 책상판이 약간 우수하였다. 또한, 서로 다른 원료로부터 얻은 파티클의 slenderness ratio와 휨성질과는 직접적인 관계를 나타내지 않았다. 그러나 PB로부터 얻은 파티클보다는 합판으로부터 얻은 파티클, 합판보다는 목재로부터 얻은 파티클이 우수한 휨성질을 나타내고 있다. 그러나 박리강도는 PB가 가장 우수하였고 이어 목재 및 합판의 순이었다. 흡수두께팽창률은 목재가 가장 높았으며, 합판과 PB의 순이었다. 포름알데히드방출량은 목재가 가장 낮았고, PB가 가장 높았다.

PB로부터 재생한 파티클과 목재에서 얻은 파티클과 합판 파티클의 혼합비율에 따른 책상판의 성능을 비교한 결과, 재생 PB파티클에 합판이나 목재로부터 파쇄한 파티클의 첨가비율이 높아질수록 휨강도와 휨영계수 모두 증가하였으며, IB는 오히려 낮아졌고, 흡수두께팽창률은 증가하였다. 재생 PB파티클에 합판이나 목재 파티클이 많이 혼합될수록 휨성질은 향상되었다.

따라서 180형 이상의 휨성질을 만족하기 위해서는 PB재생 파티클만의 사용으로는 어려울 것으로 생각되며, 목재나 합판으로부터 재생된 파티클을 약 30%정도 혼합하여 사용하는 것이 바람직 할 것으로 생각되었다.

4. 책상판 제조용 수지 접착제의 합성과 성능

책상판의 성능과 생산성에 미치는 요인으로 원료인 폐기 목질 파티클 못지않게 중요한 인자가 수지접착제이다. 본 책상판의 제조 초기에는 요소 수지 접착제가 사용되었으나, 내수 성능과 포름알데히드방출량 등의 문제로 인해 현재는 요소·멜라민 수지로 대체되었다. 또한 최근에는 GR 규격이 개정되어 특히 포름알데히드의 방출량에 대한 기준이 한층 강화되었다. 따라서 본 책상판의 제조시 수지의 경제성, 제품의 생산성 및 품질 안정성에 최적인 수지 접착제의 제조 기술이 요구되고 있다. 즉 최적 수지 종류, 수지 합성법, 수지의 조성 및 성능 등에 대한 체계적인 검토가 필요하며, 선정된 수지에 의한 생산성과 품질에 대한 최종 평가가 요구되고 있다.

따라서 본 절에서는 수지 종류별 책상판의 성능, 최적수지 합성법 및 조성에 대한 검토가 행해져 E₁급에 대응하는 수지 접착제의 개발과 더불어 제품의 품질 향상을 도모하였다.

가. 재료 및 방법

1) 공시 목질재료

가) 각종 수지 접착제에 의한 성형 책상판 제조용 폐기목질 재료

책상판의 제조에 사용한 폐기 목질재료는 건설폐재 및 산업폐재(절단폐재) 등이 혼합된 파티클을 다시 파쇄기로 파쇄한 다음 직화가열식 드럼형 건조기에서 함수율 약 2%로 건조한 후 고운 파티클과 거친 파티클로 분별하여 사용하였으며, 고운 파티클은 1.4mm~480 μ m가 약70%, 거친 파티클은 1.4mm 이하가 10%, 1.4~5.0mm가 67%, 5.0mm 이상이 23%였다.

나) 요소·멜라민 수지 접착제의 성능 평가용 단판

공시단판은 표리판에는 1.5mm 크루인 단판을 심판에는 2.0mm 라디에타소나무 단판을 함수율 9%로 건조하여 사용하였다.

2) 수지 접착제

가) 책상판 성형용 각종 목재 접착제의 합성

(1) 요소 멜라민 수지 접착제(UMF)

UMF 수지접착제는 요소(U):멜라민(M):포름알데히드(F)의 몰비가 1:0.32:2가 되도록 조정하여 85℃에서 일정시간 반응하여 합성하였다.

(2) 페놀·멜라민 수지 접착제(PMF)

PMF수지는 페놀과 포름알데히드의 몰비 1:2.2인 페놀수지(PF)와 멜라민과 포름알데히드의 몰비 1:2.5인 멜라민 수지를 각각 합성한 후 페놀수지와 멜라민수지를 같은 몰비로 혼합하여 제조하였다.

(3) 페놀수지(PF)

PF수지는 페놀과 포름알데히드의 몰비를 1:2.2로 조정한 후 95℃에서 일정시간 반응시켜 제조하였다.

(4) 요소·멜라민 수지와 페놀수지의 혼합수지(UMF+PF)

UMF+PF수지는 요소:멜라민:포름알데히드의 몰비 1:0.34:1.6인 UMF와 페놀:포름알데히드 몰비 1:2.2인 페놀수지를 혼합하여 제조하였다.

나) 합성방법을 달리한 요소·멜라민 수지 접착제

본 책상판의 성형에는 UMF수지가 생산성이나 성능의 면에서 가장 적합한 것으로 판단되어 UMF수지의 합성법에 따른 수지의 특성과 성능을 평가하였다.

UMF수지의 합성은 요소수지와 멜라민수지를 각각 별도로 합성한 후 혼합하는 방법(UF+MF), 요소, 멜라민, 포름알데히드를 처음부터 동시에 반응시켜 제조한 수지(UMF), UMF에 요소를 첨가한 수지(UMFU)와 메틸올화 요소에 멜라민을 첨가한 수지(UFM)와 멜라민을 2회에 나누어 첨가한 수지(UFMM), 메틸올화 멜라민에 요소를 첨가한 수지(MFU)와 요소를 2회에 나누어 첨가한 수지(MFUU)등과 같은 분리반응법에 의해 제조하였다.

또한, 수지 조성에 대한 UMF수지의 특성과 성능은 UMF와 MFU수지에 의해 검토하였다. 먼저 요소에 대한 멜라민의 몰비를 1:0.56으로 고정하고 요소에 대한 포름알

데히드의 몰비를 1.7에서 3.11로 변화하여 수지를 제조한 후 수지의 특성과 접착성을 평가하였다. 다음은 MFU의 분리반응에 의해 요소에 대한 포름알데히드의 몰비를 1:2.11로 고정하고 요소에 대한 멜라민의 몰비를 0.31에서 1로 변화시켜 수지를 제조한 후 수지의 특성과 접착성을 평가하였다. 이들 각각의 수지 조성은 각 결과의 표에 나타내었다.

다) 합성한 수지의 특성조사

(1) 겔화시간

합성한 수지의 겔화시간은 폐쇄계에서 측정하였다. 수지 100부에 대해 염화암모늄(10% 수용액) 1부를 첨가한 후, 수지 1ml를 직경 8mm, 길이 10cm의 유리관에 넣고 봉입한 후, 80℃에서 유리관을 반전하면서 수지액이 유동하지 않을 때까지의 시간을 측정하였다.

(2) 수지중의 유리포름알데히드 함량 및 메틸올기 측정

KS M 3735에 규정되어 있는 염화암모늄 방법으로 2회 측정한 후, 평균값으로 수지중의 유리 포름알데히드 함량을 구하였다. 메틸올기는 요오드법에 의해 구한 유리 포름알데히드 양과의 차이에 의해 계산하였다.

3) 실험방법

1) 책상판의 제조 및 성능평가

본 성형책상판의 제조는 건조 목질 파티클에 10%의 수지를 도포한 후 190℃에서 UMF 및 PMF는 220초, PF 및 UMF+PF는 240초간 열압하여 제조하였다. 제조한 책상판의 성능평가는 파티클보드의 품질검사 기준인 KS F 3104에 준하여 실시하였다. 책상판의 휨 강도 성능은 책상판의 평행방향과 수직방향에 대해 실시하였다.

2) 각종 UMF수지에 의한 합판의 제조 및 접착성능 평가

함수율 9%로 조정된 30×30cm의 단판으로 3-ply 합판을 제조하였다. 단판의 구성은 크루인 1.5mm+라디에타소나무 2.0mm+크루인 1.5mm로 하였다. 접착조건은 도포량 225g/m²(편면), 냉압 10kgf/cm²에서 10분간 행하였으며, 열압은 125℃, 10kgf/cm²에서 30초/mm로 하였다. 합판의 접착력은 KS M 3702에 의한 상태 인장전단 접착력 및 4시간 끓임

→ 60℃, 20시간 건조 → 4시간 끓임 처리한 후의 내수접착력을 측정하였다. 각각의 수지로 제조한 합판으로부터 방출되는 포름알데히드방출량은 KS F 3701의 데시케이 터법으로 측정하였다. 시험편은 KS규격의 5×15cm, 10매를 사용하였다.

나. 연구 결과

1) 수지 접착제의 조성과 성능과의 관계 구명

가) 수지 접착제의 종류와 책상판의 성능

현재 준구조용 및 구조용 목질 재료의 제조에 사용되고 있는 각종 목재용 수지 접착제를 실험실에서 합성한 후 책상판을 성형하여 조사한 성능은 <표 7-5>와 같다.

<표 7-5> 각 목질용 수지 접착제로 성형한 책상판의 성능

항 목	수지명	UMF	PMF	PF*	UMF+PF*
조성 (몰비)		1:0.32:2	1:1:4.7	1:2.2	1:0.34:1.6 1:2.2
밀도 (g/cm ³)		0.81	0.77	0.76	0.74
흡수율 (%)		7.7	6.7	7.4	6.8
흡수두께팽창률(%)		12.6	15.6	19.0	22.9
포름알데히드방출량 (mg/L)		5.7	4.5	-	1.7
휨 강도(kgf/cm ²)	=	101.1	102.2	67.1	31.1
	⊥	114.1	89.8	45.1	18.1
능 영계수(tonf/cm ²)	=	21.4	21.7	15.3	12.9
	⊥	24.3	21.0	14.5	7.6

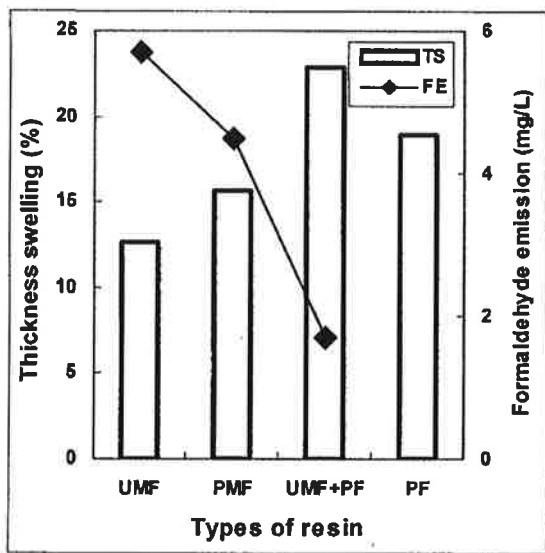
· 성형온도: 190℃, 시간: 220초(*:240초), HPL 미적층

책상판의 밀도는 0.74~0.81 g/cm³이었으며, 흡수율은 7~8%였다. 각각의 수지로 성형한 책상판의 흡수두께팽창률과 포름알데히드방출량은 <그림 7-29>에 나타낸 바와 같이 흡수두께팽창률은 UMF 수지가 가장 낮았으며 PMF, PF의 순이었다.

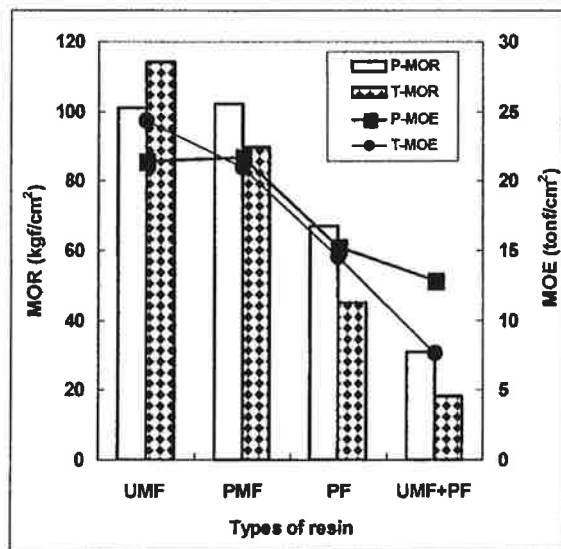
모든 수지에서 흡수두께팽창률이 KS의 기준인 12%를 초과하는 높은 수치를 나타내었으며, 이는 생산성 등과 수지간의 차이를 확인하기 위해 실제 생산 스케줄보다 다소 짧은 열압시간을 적용했기 때문이라고 생각된다. 포름알데히드방출량은 UMF 수

지가 가장 높았으며, 현재 GR 기준인 1.5mg/L을 상당히 초과하여 UMF수지에 의한 책상판의 제조시에는 별도의 수지 조성과 합성법에 관한 검토가 필요할 것으로 생각되며, 다음 항에서 검토하였다.

각 수지 접착제로 제조한 책상판의 휨성질은 <그림 7-30>과 같이, 길이방향과 폭방향에서 모두 UMF와 PMF가 열압시간이 20초 단축되었음에도 불구하고 PF에 비해 우수하였다. 따라서 책상판 성형시 페놀계 수지의 적용은 경제적인 생산성 등을 고려할 때 특별한 경화시간 단축수지가 개발되지 않으면 적용하기 어려울 것으로 생각된다.



<그림 7-29> 각 수지 접착제로 제조한 책상판의 흡수두께팽창률과 포름알데히드방출량.



<그림 7-30> 각 수지 접착제로 제조한 책상판의 휨강도와 휨영계수
* P-MOR : 평행방향, T-MOR : 직각방향

이상의 결과에 의해 생산성과 성능을 고려할 때 책상판의 성형에는 UMF수지가 가장 적절할 것으로 생각되나 포름알데히드의 방출량이 문제점으로 도출되었다. 따라서 UMF수지의 포름알데히드방출량을 줄이고 성능도 향상시킬 수 있는 합성법과 수지 조성을 먼저 합판시료를 사용하여 검토하였다.

나) 요소·멜라민 수지의 합성법에 따른 수지의 특성과 성능

각 목질재료 제조용 수지 중에서 본 책상판의 제조시 성능과 생산성을 고려할 때

UMF수지가 가장 적절할 것으로 판단되었다. 그러나 포름알데히드의 방출량 등에 문제가 있어, UMF수지의 합성법과 조성이 수지의 경화성이나 성능에 미치는 영향을 조사하였다. 먼저 현재 업계에서 합판의 제조에 사용하는 UMF수지의 조성비와 유사한 물비의 수지를 다양한 방법으로 합성하였다. UMF수지의 합성은 요소수지와 멜라민수지를 각각 별도로 합성한 후 혼합하는 방법(UF+MF), 요소, 멜라민, 포름알데히드를 처음부터 동시에 반응시켜 제조한 수지(UMF), UMF에 요소를 첨가한 수지(UMFU)와 메틸올화 요소에 멜라민을 첨가한 수지(UFM)와 멜라민을 2회에 나누어 첨가한 수지(UFMM), 메틸올화 멜라민에 요소를 첨가한 수지(MFU)와 요소를 2회에 나누어 첨가한 수지(MFUU)등과 같은 분리반응법에 의해 제조하였다. 이들 각각의 수지의 특성과 겔화성 및 접착성능은 <표 7-6>과 같다.

<표 7-6> 요소·멜라민수지의 합성법에 따른 수지의 특성과 접착성능

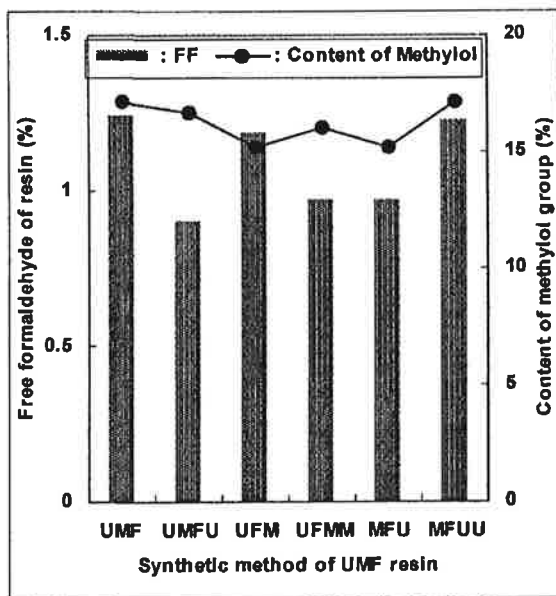
항목 \ 수지명	UMF	UMFU	UFM	UFMM	MFU	MFUU	
조성 (물비) (F/U+M)	1:0.6:3.4 (2.125)	1:0.6:3.4:0.4 (1.7)	1:3.4:0.6 (2.125)	1:3.4:0.2:0.4 (2.125)	1:0.6:3.4 (2.125)	0.6:3.4:0.6:0.4 (2.125)	
고형분 (%)	53.7	56.2	54.9	54.6	54.5	54.3	
수지중 유리 포름알 데히드 (%)	1.24	0.90	1.19	0.97	0.97	1.23	
메틸올기 함량 (%)	17.1	16.7	15.2	16.0	15.2	17.1	
겔화시간 (80℃,초)	127	170	112	147	128	138	
Formaldehyde 방출량 (mg/L)	17.1	6.4	-	17.3	15.8	17.1	
접착력 (kgf/cm ²)	24.9±2.1 (76)	26.6±2.2 (68)	-	26.5±1.9 (81)	25.5±1.6 (83)	25.8±3.4 (95)	
():목과울(%)	내수	12.5±1.1 (10)	11.9±1.0 (6)	-	12.4±0.9 (7)	13.1±1.4 (4)	11.9±0.7 (15)

- 수지조합 : 수지(100부) + 소맥분(20부) + 염화암모늄(1부) + 물(4부)
- 단판구성 : 크루인 1.5mm(MC=9%) + 라디에타소나무 2.0mm + 크루인 1.5mm
- 도포량 : 225g/m², 온도 : 120℃, 시간 : 40초/mm, 압력 : 10kgf/cm²

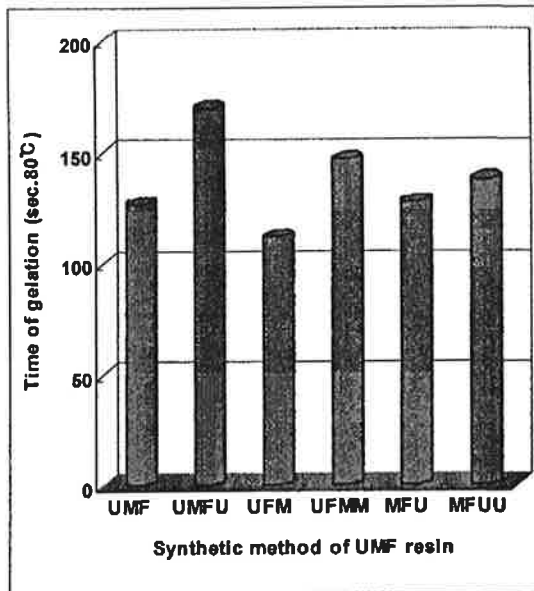
요소:멜라민:포름알데히드의 물비를 1:0.6:3.4로 동일하게 하여 제조한 각 요소·멜라민 수지의 고형분은 54~55%로 거의 차이가 없었다. 수지중의 유리 포름알데히드의

양과 메틸올기의 양은 <그림 7-31>에 나타난 바와 같이, 동시에 모든 원료화합물을 투입하여 반응시킨 수지(UMF)에 비해 메틸올화 멜라민에 요소를 첨가하여 2단계의 분리반응에 의해 합성한 수지(MFU)나 메틸올화 요소에 멜라민을 2회로 나누어 첨가하여 반응시킨 UFMM수지가 낮았다.

각 수지의 겔화시간은 <그림 7-32>과 같이, UFM이 가장 작았으며, UMF와 MFU는 거의 같고, UFMM이 가장 길었다. 이와 같은 결과는 아미노계 수지의 경화속도가 pH에 의해 크게 좌우되며, 이 pH는 경화제로 염화암모늄을 첨가한 경우 수지중의 유리 포름알데히드에 의해 결정되므로 유리포름알데히드의 함량이 높은 수지가 겔화속도가 크다. 또한 2단계에 멜라민을 첨가한 UFM은 겔화시간이 짧을 뿐만 아니라 보존성도 불량하였다.



<그림 7-31> 요소·멜라민수지의 합성법과 수지중의 포름알데히드 양



<그림 7-32> 요소·멜라민수지의 합성법과 겔화시간(80°C)

접착력은 UMF수지가 내수성이 다소 우수하나 큰 차이가 없으며 비교적 모든 수지에서 양호하였다. 포름알데히드의 방출량은 UFM이 다소 낮았으나 동일 조성에서는 수지 합성법 간에는 거의 차이가 없었다. 그러나 요소와 멜라민에 대한 포름알데히드의 몰비가 2.125의 수지 조성에서는 포름알데히드의 방출량이 매우 높아 본 책상판의

제조에는 사용이 불가능하다. 그러나 UMFU와 같이 몰비를 다소 적게 하면 상당량의 포름알데히드의 방출수준을 감소시킬 수 있어 수지 조성과의 성능과의 관계를 검토하였다.

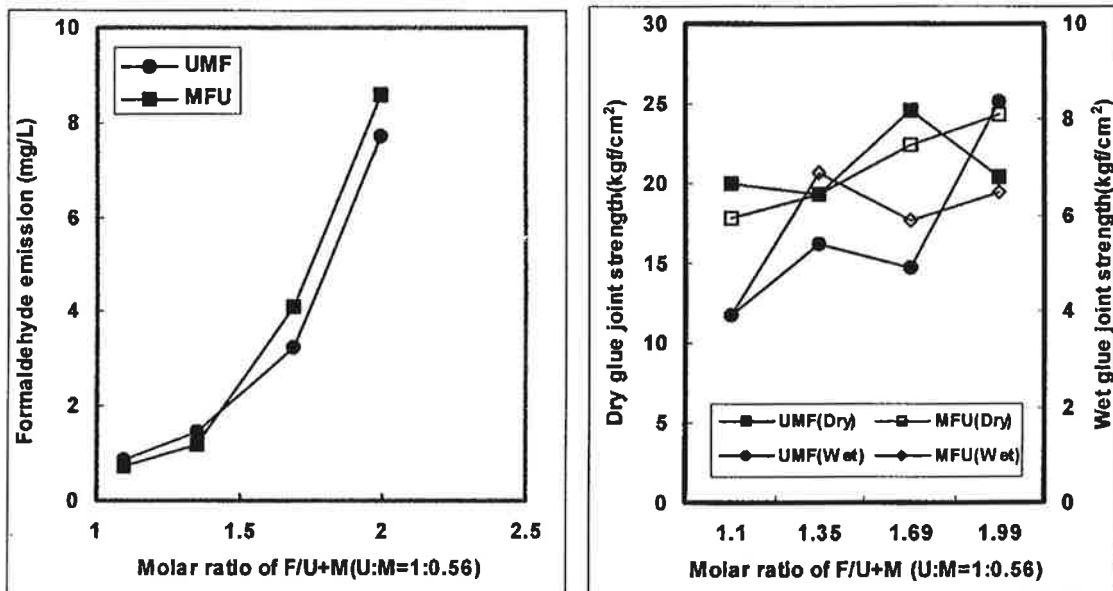
다) 요소 및 멜라민에 대한 포름알데히드의 몰비에 따른 요소·멜라민 수지의 특성과 성능
 현재 업계에서 제조하고 있는 요소, 멜라민, 포름알데히드를 처음부터 동시에 반응시킨 UMF수지와 메틸올화 멜라민에 요소를 첨가하여 반응시킨 MFU수지의 포름알데히드 첨가량에 따른 수지의 특성, 포름알데히드방출량 및 접착력을 <표 7-7>에 나타내었다.

<표 7-7> 요소·멜라민 수지의 조성에 따른 특성과 접착성능

수지 항목	조성 (몰비) U:M:F(F/U+M)	고형분 (%)	점도 (mPa·s)	Form. 방출량 (mg/L)	접착력 (kgf/cm ²)	
					상태	내수
UMF	1:0.56:1.71(1.1)	56.5	22.9	0.86	20.0	3.9
	1:0.56:2.11(1.35)	58.8	103.6	1.48	19.3	5.4
	1:0.56:2.64(1.69)	55.6	26.6	3.23	24.6	4.9
	1:0.56:3.11(1.99)	55.4	53.9	7.71	20.4	8.4
MFU	1:0.56:1.71(1:1)	62.9	357.8	0.75	17.8	3.9
	1:0.56:2.11(1.35)	60.6	205.7	1.19	19.3	6.9
	1:0.56:2.64(1.69)	55.6	91.0	4.1	22.4	5.9
	1:0.56:3.11(1.99)	54.3	31.4	8.6	24.3	6.5

<그림 7-33>에 나타낸 바와 같이, 동일 수지 조성에서 방출되는 포름알데히드의 양에는 큰 차이가 없으나, 양 수지 모두 합성시 요소:멜라민의 몰비는 1:0.56으로 고정하고 포름알데히드의 몰비율을 1.71에서 3.11로 증가할수록 포름알데히드의 방출량은 급격히 증가하였다. 특히 요소 수지의 경우는 요소에 대한 포름알데히드의 몰비 1.2이상

에서 급격히 증가하였으나, 요소·멜라민 수지의 경우는 1.3~1.4이상에서의 증가가 급격하였다. 또한, <그림 7-34>와 같이, 접착 성능도 포름알데히드의 첨가 물비가 커질수록 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 포름알데히드의 첨가 물비가 약 1.4이상에서는 포름알데히드의 방출량이 최근 개정된 GR기준에 합격하기는 곤란할 것으로 생각되며, 재생 파티클로부터 포름알데히드가 방출되지 않으면 물비 1.35이하가 바람직할 것으로 생각된다. 그러나 이 물비는 요소에 대한 멜라민의 조성이 달라지면 다른 결과가 나타날 수 있어 포름알데히드의 물비율은 고정하고 요소에 대한 멜라민의 물비에 따른 특성과 성능을 검토하였다.



<그림 7-33> 요소, 멜라민에 대한 포름알데히드의 물비와 포름알데히드방출량
 <그림 7-34> 요소, 멜라민에 대한 포름알데히드의 물비와 접착력

라) 분리반응 요소·멜라민수지 합성시 요소에 대한 멜라민 물비의 영향

요소:포름알데히드의 물비는 1:2.11로 고정하고, 요소에 대한 멜라민의 물비를 0.31에서 1.0으로 변화시켜 분리반응에 의해 합성한 MFU수지의 포름알데히드방출량 및 접착성능은 <표 7-8>과 같다. 수지 합성시 멜라민의 첨가 물비가 높을수록 수지의 고형분 양이 증가하였으며, 포름알데히드의 방출량이 낮고, 접착성능도 우수하였다.

<표 7-8> UMF수지의 요소에 대한 멜라민의 몰비와 합판의 성능

조성 몰비 U:M:F (F/U+M)	고형분 (%)	점도 (mPa·s)	포름알데히드 방출량 (mg/l)	접착력(kgf/cm ²)	
				상태	내수
1:0.31:2.11(1.61)	57.4	29.9	1.44	19.4	3.9
1:0.56:2.11(1.35)	60.6	205.7	1.19	19.3	6.9
1:1.00:2.11(1.06)	63.1	147.3	0.91	17.2	10.4

이상의 결과를 종합하면, 요소:멜라민:포름알데히드의 몰비가 1:1:2정도의 수지 조성으로 메틸올화 멜라민에 요소를 첨가한 후 반응시킨 분리반응법으로 요소·멜라민수지를 합성하는 것이 가장 바람직할 것으로 생각된다. 그러나 동일 수지 조성에서 분리반응과 동시반응간에는 큰 차이가 없어 현재의 책상판 제조는 경제성과 작업성을 고려하여 동시반응에 의한 UMF수지를 사용하고 있으며, 수지의 주요 특성은 <표 7-9>와 같다.

<표 7-9> 현 책상판 제조용 UMF수지의 특성

pH	점도 (cP)	고형분 (%)	수지중의 유리포름알데히드 함량 (%)
8.2	31.7	57.4	1.7

다. 결과 요약

1) 수지 접착제의 종류와 책상판의 성능

현재 준구조용 및 구조용 목질 재료의 제조에 사용되고 있는 각종 목재용 수지 접착제를 실험실에서 합성한 후 책상판을 성형하여 성능을 평가한 결과, 생산성과 성능을 고려할 때 책상판의 성형에는 UMF수지가 가장 적절할 것으로 생각되나 포름알데히드의 방출량이 문제점으로 도출되었다. 따라서 UMF수지의 포름알데히드방출량을 줄이고 성능도 향상시킬 수 있는 합성법과 수지 조성을 검토하였다.

2) 요소·멜라민 수지의 합성법에 따른 수지의 특성과 성능

요소·멜라민 수지의 합성법에 따른 접착력은 UMF수지가 내수성이 다소 우수하나 큰 차이가 없으며 비교적 모든 수지에서 양호하였다. 포름알데히드의 방출량은 UFM이 다소 낮았으나 동일 조성에서는 수지 합성법 간에는 거의 차이가 없었다.

3) 요소·멜라민 수지의 수지조성과 성능

동일 수지 조성에서 방출되는 포름알데히드의 양에는 합성법에 따른 큰 차이는 없으나, 합성시 요소:멜라민의 몰비는 1:0.56으로 고정하고 포름알데히드의 몰비율을 1.71에서 3.11로 증가할수록 포름알데히드의 방출량은 급격히 증가하였다. 접착성능도 포름알데히드의 첨가 몰비가 커질수록 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 포름알데히드의 첨가 몰비가 약 1.4이상에서는 포름알데히드의 방출량이 최근 개정된 GR기준에 합격하기는 곤란할 것으로 생각되며, 재생 파티클로부터 포름알데히드가 방출되지 않으면 몰비는 1.35이하가 바람직할 것으로 생각된다.

또한, 동일 포름알데히드 몰비에서 요소에 대한 멜라민의 첨가 몰비가 높을수록 수지의 고형분 양이 증가하였으며, 포름알데히드의 방출량이 낮고, 접착성능도 우수하였다.

이상의 결과를 종합하면, 요소:멜라민:포름알데히드의 몰비가 1:1:2정도의 수지 조성으로 메틸올화 멜라민에 요소를 첨가한 후 반응시킨 분리반응법으로 요소·멜라민수지를 합성하는 것이 가장 바람직할 것으로 생각된다. 그러나 동일 수지 조성에서 분리반응과 동시반응간에는 큰 차이가 없어 현재의 책상판 제조는 경제성과 작업성을 고려하여 동시반응에 의한 UMF수지를 사용하고 있으며, 본 수지에 의해 제조한 책상판은 GR규격을 만족하고 있다.

5. 책상판의 포름알데히드방출량 감소

GR 규격 개정으로 현재 가장 시급히 해결해야 할 과제 중의 하나가 포름알데히드 방출 수준의 제어이다. 즉 포름알데히드방출량의 기준이 E₂에서 E₁으로 개정되면서 1.5mg/L 이하의 방출 수준을 안정적으로 관리하기가 매우 어려워졌다. 이 포름알데히드의 방출은 사용하는 수지 접착제에 의해 주로 좌우되며, 수지 접착제에 관해서는 전항에서 수지의 종류, 합성법 및 조성을 자세히 검토한 결과 최적의 조건을 도출하였으며, 제조한 책상판의 포름알데히드 방출수준은 충분히 GR규격을 만족하였다. 그러나 문제는 제조시 사용하는 수지는 E₁급이지만 재생원료로부터 방출되는 포름알데히드의 제어가 매우 곤란하다. 실제로 최소 5년 이상 사용한 기존의 합판 책상판(파쇄하여 본 책상판의 원료로 일부 사용중)의 포름알데히드 방출수준을 조사한 결과, 1.1~2.3mg/L로 E₁ 기준인 1.5mg/L를 초과한 경우도 있었다. 물론 재생 파티클의 원료화 과정(파쇄와 고온에서의 건조)에서 어느 정도 포름알데히드가 제거될지는 명확하지 않지만, 동일한 수지로 제조한 책상판의 포름알데히드 방출 수준에 많은 차이가 있다는 점에서 체계적인 검토가 요구되고 있다.

따라서 본 절에서는 재생원료의 종류에 따른 포름알데히드의 방출량을 조사하였으며, 특히, 포름알데히드방출량을 줄이기 위해 포름알데히드방출량이 많은 PB재생 파티클에 의한 책상판 제조시 수지에의 포착제(6종) 첨가에 의한 방출량 저감효과와 목재 파티클에의 처리효과를 포름알데히드방출량과 휘성질 등에 의해 비교 검토하였다.

가. 재료 및 방법

1) 공시재료

가) 목질재료

폐기된 원료를 사용하여 책상판을 제조할 경우 가장 관리하기 어려운 성능 중의 하나가 포름알데히드방출량이다. 따라서 재생원료의 종류에 따른 포름알데히드의 방출량을 조사하였다. 폐기목질 재료의 종류로 목재로는 pallet용 라디에타소나무, 합판으로는 사용후 폐기되는 기존의 책상용 상판 그리고 파티클보드는 업계로부터 분양받은 PB를 사용하였다. 파티클은 먼저 각 원료를 파쇄기에 투입하기 적절한 strip 상태로 절단한 다음, chipper로 1차 파쇄하였으며, knife ring flaker로 2차 파쇄하였다. knife

ring flaker의 beater plate와 knife의 간격은 1.6mm, 1.5mm×14cm의 그리드 스크린을 사용하였다.

특히, 포름알데히드방출량 저감 시험용 재생파티클은 E₂급의 PB(포름알데히드방출량 5mg/L)를 업계로부터 분양받아 앞에서와 동일한 방법으로 파쇄 및 선별한 후 중층용만(4~20mesh분)을 사용하였다.

나) 수지 접착제

책상판의 제조에는 전년도에 성능이 우수하고 비교적 합성법이나 작업성이 우수한 요소-멜라민-포름알데히드(UMF) 수지접착제를 사용하여 포름알데히드방출량을 조사하였다. 본 UMF의 요소와 멜라민에 대한 포름알데히드의 몰비는 1.3이며 pH 8.3, 점도 27cp 및 고형분 57.4%였다.

다) 포름알데히드 포착제 및 처리법

특히, 포름알데히드방출량을 줄이기 위해 포름알데히드의 방출량이 많은 PB재생 파티클로 책상판 제조시 수지에의 포착제 첨가와 목재 파티클에의 처리효과를 비교 검토하였다. 먼저 수지에의 포착제 첨가는 E₂급(포름알데히드방출량 5mg/L)의 PB 재생 파티클중 중층용만(4~20mesh분)을 사용하여 수지율 15%로 책상판을 성형할 때 수지에 포착제를 첨가하는 방법이다. 요소-멜라민수지에 대해 고형분 기준으로 첨가한 포착제의 종류 및 첨가량은 다음과 같다. 요소(RU) 8.7%, 산림과학원으로부터 분양받은 메틸올화 요소(RMU) 15%(고형분 43.1%), 산림과학원 제공 포착제(RFC : succinic acid di-hydrazide) 5%, 멜라민(RM) 5%, azodicarbonamide(RADCA) 5%, 도림산업 제공 포착제(RDC) 5%였다. 또한 파티클에 대한 포착제의 처리는 중층용 파티클의 전건 무게에 대해 고형분 기준으로 요소(WU) 1.3%, 산림과학원 제공 메틸올화 요소(WMU) 1.3%, 산림과학원 제공 포착제(WFC : succinic acid di-hydrazide) 0.5%, 및 azodicarbonamide(WADCA) 0.5%를 파티클에 분무도포한 후 약 7시간 건조하고 이어 수지율 15%로 요소-멜라민 수지를 도포한 후 성형하여 책상판의 성능 및 포름알데히드방출량을 측정하였다.

2) 실험방법

가) 책상판의 제조

책상판은 각각 파쇄한 파티클 중 4~20mesh에 보류되는 중층용의 파티클을 사용하여 제조하였다. 각각 제조한 파티클의 함수율은 5~8%였다. 표층에는 현재 업계에서 사용하고 있는 파티클을 그대로 사용하였으며, 양표층과 중층의 중량비는 2.2:7.8이었다. 수지율은 표층 및 중층 모두 전건파티클에 대해 수지 고형분 기준으로 11.5%였다. 책상판의 성형조건은 온도 200℃, 압력 60kgf/cm², 시간 4분이었다.

나) 책상판의 성능평가

제조한 책상판의 성능평가는 파티클보드의 품질검사 기준인 KS F 3104에 준하여 실시하였다. 주요, 측정항목은 밀도, 함수율, 휨성질(MOR, MOE), 박리강도, 흡수두께 팽창률 및 포름알데히드방출량이었으며 책상판의 휨 강도는 평행방향으로 행하였다.

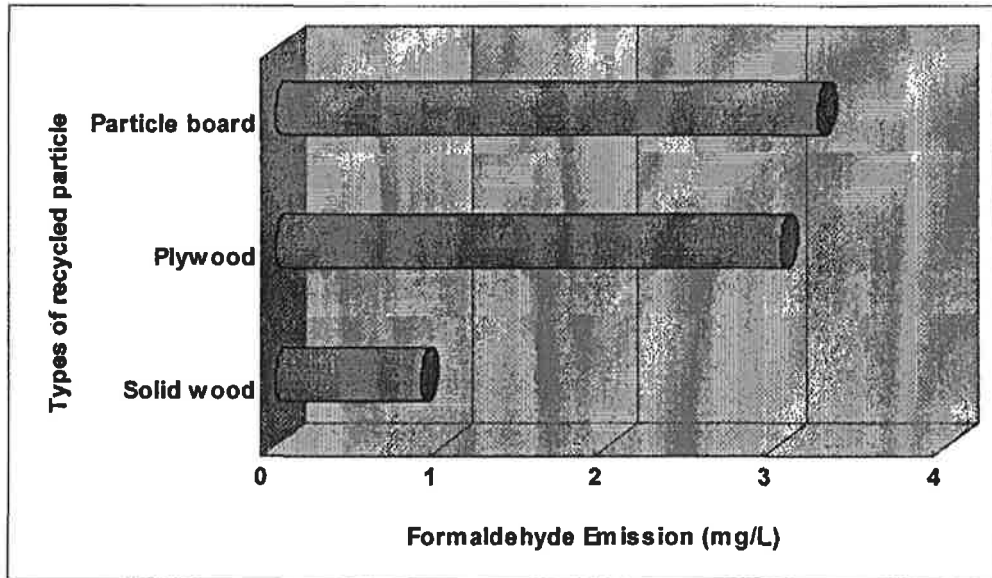
나. 연구 결과

1) 원료의 종류와 포름알데히드방출량

다양한 종류의 재생 파티클을 책상판 제조에 이용하기 위해서는 반드시 검토해야할 사항이 포름알데히드방출량이다. 이는 동일한 수지와 동일한 제조조건하에서 책상판을 제조한다고 하여도 측정된 포름알데히드방출량에 차이가 나타남으로 인해 제품의 품질관리에 많은 지장을 초래하고 있다.

원료이외의 다른 모든 조건들은 동일하게 하고 목재, 합판 및 파티클보드의 재료를 파쇄하여 제조한 책상판의 포름알데히드방출량은 <그림 7-35>와 같다. 방출되는 포름알데히드는 파티클 보드가 가장 많았으며, 이미 수년간 사용한 합판으로 제조된 책상판에서는 예상 이상으로 높았으며, 목재 재생 파티클로 제조한 책상판은 0.87mg/L로 가장 낮았다.

이러한 결과는 앞에서 검토된 요소·멜라민 수지 접착제는 원료에 포함된 포름알데히드가 없다면 충분히 GR규격을 만족할 수 있는 수지라는 점과 특단의 포름알데히드 방출수준을 줄이기 위한 조치를 하지 않으면 사용하는 원료의 상황에 따라 포름알데히드의 방출 수준에 현저한 차이가 있을 것이라는 것을 나타내고 있다.



<그림 7-35> 다양한 원료로부터의 재생 파티클로 제조한 책상판의 포름알데히드방출량의 비교

2) 재생 파티클로 제조한 책상판의 포름알데히드방출량 감소 효과와 성능

E2급의 PB로부터 재파쇄한 파티클을 사용하여 방출되는 포름알데히드의 양을 평가하고 방출량을 감소하기 위해 산림과학원에서 개발된 포착제와 그 외의 선정된 포착제를 사용하여 그 효과를 검증하였다. 또한 포착제의 효과는 수지에 첨가하는 방법과 목재 파티클에 처리하는 방법에 의해 검토하였다.

6종의 포름알데히드 포착제를 수지에 첨가하여 PB 재생 파티클로 제조한 책상판의 포름알데히드방출량(FE), 박리강도(IB) 및 흡수두께팽창률(TS)은 <그림 7-36>과 같다. 또한 동일한 밀도에서 6종의 포착제를 수지에 첨가한 경우의 휨성질을 평가하기 위해 밀도와 휨성질에 대한 회귀식은 <표 7-10>, 밀도 0.8g/cm³에서 비교한 휨강도와 휨영계수는 <그림 7-37>에 나타내었다.

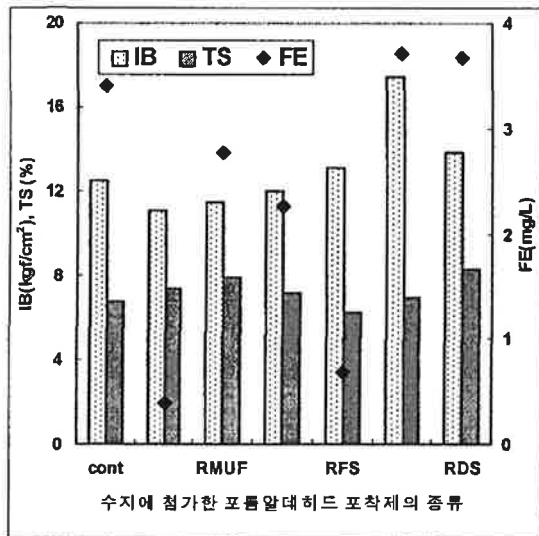
<그림 7-38>에는 4종의 포름알데히드 포착제를 PB 재생 파티클에 분무처리한 후 상온에서 일정시간 방치하여 건조한 후 제조한 책상판의 IB, TS 및 FE를 나타내었다. <표 7-11>에는 파티클 처리시의 밀도와 휨성질의 회귀식을 <그림 7-39>에는 밀도 0.8g/cm³에서의 휨성질을 비교하여 나타내었다. 특히 아미노계 수지는 고온에 의해 분해가 일어나므로 파티클에 부착되어 있는 수지로부터 방출되는 포름알데히드를 제거하기 위해 열처리한 파티클로 제조한 책상판(WF)의 포름알데히드방출량도 비교하였다.

<표 7-10> 책상판의 휨성질에 미치는 포름알데히드 포착제의 영향(수지에의 첨가)

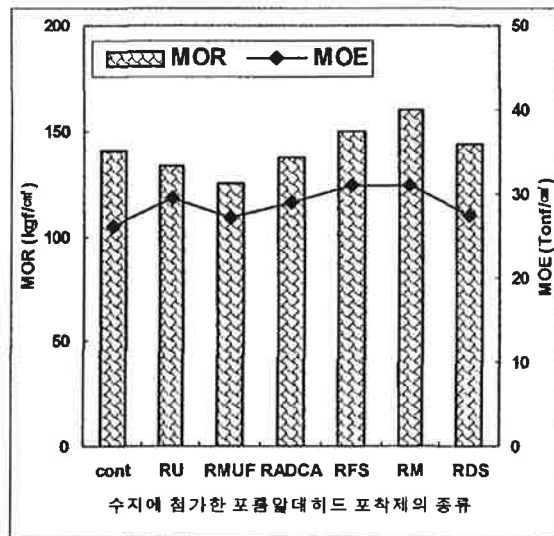
포착제 종류	밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kg/cm ²)	휨영계수 (Tonf/cm ²)	회귀식(상관계수)		밀도(g/cm ³)*	
				강도	영계수	0.8	0.75
CONT	0.77±0.02	128.2±10.6	26.5±2.3	강도	Y=417.43X-193.54(0.73)	140.4	119.5
				영계수	Y=93.221X-45.334(0.80)	26.2	24.6
RU	0.77±0.06	121.3±31.5	27.1±5.4	강도	Y=520.47X-282.84(0.93)	133.5	107.5
				영계수	Y=88.632X-41.544(0.98)	29.4	24.9
RMU	0.74±0.05	101.2±22.2	23.7±3.4	강도	Y=427.37X-216.85(0.92)	108.1	103.7
				영계수	Y=64.61X-24.425(0.92)	27.3	24.0
RM	0.79±0.05	153.1±29.8	29.9±4.9	강도	Y=504.94X-244.16(0.84)	160.0	134.5
				영계수	Y=85.542X-37.428(0.87)	31.0	26.7
RADCA	0.78±0.04	130.7±17.0	28.4±3.5	강도	Y=352.34X-144.63(0.78)	137.2	119.6
				영계수	Y=73.403X-28.931(0.82)	29.0	26.1
RFC	0.80±0.05	151.8±34.0	31.1±4.4	강도	Y=667.18X-383.63(0.83)	150.1	116.8
				영계수	Y=90.621X-41.580(0.98)	30.9	26.4
RDC	0.78±0.02	132.5±16.1	26.7±1.3	강도	Y=636.11X-364.77(0.62)	144.1	112.3
				영계수	Y=38.858X-3.7055(0.37)	27.4	25.4

RU : 요소 8.7%, RMU : 산림과학원으로부터 분양받은 메틸올화 요소 15%, RFC : succinic acid di-hydrazide 5%, RM : 펠라민 5%, RADCA : azodicarbonamide 5%, RDC : 도림산업(주) 제공 포착제 5%

* 밀도와 휨성질로부터 구한 회귀식에서 계산한 휨성질 값



<그림 7-36> 책상판의 IB, TS 및 FE에 미치는 수지 첨가 포름알데히드 포착제의 영향



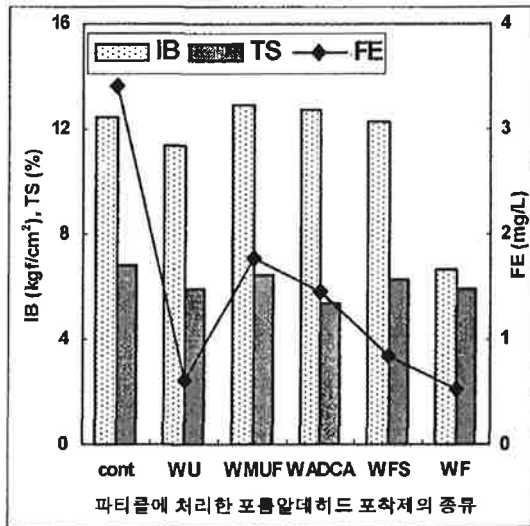
<그림 7-37> 책상판의 휨성질에 미치는 수지 첨가 포름알데히드 포착제의 영향(밀도 0.8g/cm³)

<표 7-11> 책상판의 휨성질에 미치는 포름알데히드 포착제의 영향(파티클에의 처리)

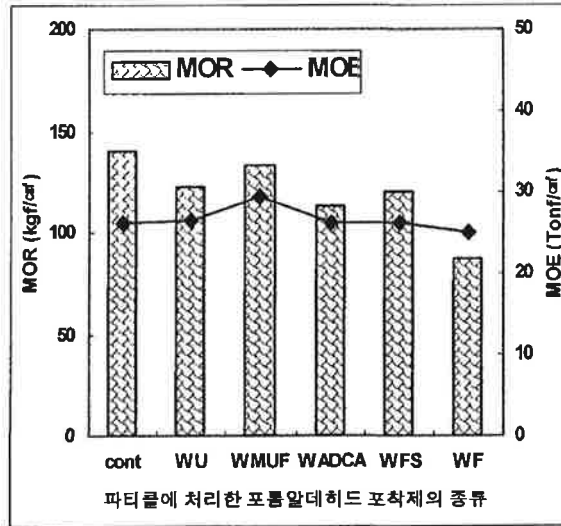
포착제 종류	밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kg/cm ²)	휨영계수 (Tonf/cm ²)	회귀식(상관계수)		밀도(g/cm ³)	
				강도	영계수	0.8	0.75
CONT	0.77±0.02	128.2±10.6	26.5±2.3	강도	Y=417.43X-193.54(0.73)	140.4	119.5
				영계수	Y=93.221X-45.334(0.80)	26.2	24.6
WU	0.83±0.03	133.2±26.2	28.4±2.6	강도	Y=500.13X-278.80(0.85)	121.8	96.3
				영계수	Y=73.608X-32.264(0.93)	26.6	22.9
WMU	0.82±0.02	143.0±9.1	30.7±0.6	강도	Y=492.67X-261.31(0.86)	132.8	108.2
				영계수	Y=62.305X-20.456(0.95)	29.4	26.3
WADCA	0.77±0.04	99.3±19.0	24.0±2.7	강도	Y=423.64X-225.71(0.91)	113.2	92.0
				영계수	Y=75.958X-34.487(0.95)	26.3	22.5
WFC	0.80±0.03	122.0±15.6	26.4±2.6	강도	Y=407.73X-205.68(0.62)	120.5	100.1
				영계수	Y=73.132X-32.290(0.73)	26.2	22.6

그 결과 열처리에 의해 상당량의 포름알데히드 감소 효과가 있었다. 포착제를 첨가하지 않은 재생 파티클로 제조한 책상판으로부터 방출되는 포름알데히드는 3.4mg/L로 순수목재 파티클로 제조한 경우의 보다는 2배 이상 높았다. 따라서 원료에 포함되어 있는 포름알데히드가 책상판의 제조 후에 방출되는 양도 원료에 따라서는 상당량 있을 것으로 생각된다. 포름알데히드 포착제 처리는 수지에 첨가하는 것 보다는 목재 파티클에 처리하는 것이 보다 효과적이었다. 사용한 6종의 포착제 중에서는 요소와 succinic acid di-hydrazide가 매우 효과적이었다. 특히 요소의 경우는 수지에 첨가하였을 때는 미첨가의 비해 88% 감소하였으며, 수용액을 목재 파티클에 처리하여 일정 시간 방치한 후 제조한 책상판의 경우에는 81%의 감소가 있었다. 그러나 휨강도와 박리강도는 약간 감소하였으며, 흡수두께팽창률은 약간 증가하였으나, 비교적 우수한 물리적 및 기계적 성능을 유지하였다.

<표 7-12>에 요소 포착제의 첨가량을 달리하여 제조한 실제 완제품에 대한 책상판의 휨강도와 포름알데히드방출량을 나타내었다. 포름알데히드방출량은 미첨가 책상판에 비해 요소의 첨가량이 많아질수록 감소하였으나 휨강도는 5%까지는 거의 차이가 없으나 7%에서는 다소 감소하므로 포착제로서의 요소 첨가는 5%가 적정할 것으로 판단되었다.



<그림 7-38> 책상판의 IB, TS 및 FE에 미치는 파티클처리 포름알데히드 포착제의 영향



<그림 7-39> 책상판의 휨성질에 미치는 파티클처리 포름알데히드 포착제의 영향 (밀도 0.8g/cm³)

<표 7-12> 책상판 완제품에 대한 포착제 요소 첨가량과 성능

요소 첨가율 (%)	밀도 (g/cm³)	휨강도 (kgf/cm²)	휨영계수 (Tonf/cm²)	회귀식(상관계수)	밀도(g/cm³) (0.78)	F.E (mg/L)
0	0.77	233.9(±58.9)	46.70(±3.2)	영계수 $y = 162.94x - 78.772(0.93)$	43.82	1.49
				강도 $y = 2190.6x - 1452.8(0.50)$		
3	0.78	248.2(±40.9)	47.21(±3.1)	영계수 $y = 77.589x - 13.185(0.51)$	47.33	1.45
				강도 $y = 593.61x - 213.81(0.16)$		
5	0.75	211.4(±44.3)	45.00(±4.0)	영계수 $y = 126.16x - 50.042(0.91)$	48.36	1.03
				강도 $y = 1263.9x - 740.77(0.73)$		
7	0.82	229.9(±15.6)	50.76(±2.3)	영계수 $y = 92.258x - 24.583(0.70)$	47.38	1.00
				강도 $y = 662.97x - 311.56(0.77)$		

다. 결과 요약

재생 PB로 제조한 책상판의 포름알데히드방출량은 타 재료보다 높게 나타나 원료에 존재하는 포름알데히드가 최종 책상판의 방출에도 영향을 주는 것으로 확인되었으며 저감대책으로는 수지에 포착제의 첨가나 파티클에의 분무처리 모두 효과적이었으며, 포착제로는 요소와 succinic acid di-hydrazide가 우수하였다. 요소의 첨가량은 5%가 적절하였다.

6. 책상판의 성형공정 개선

책상판의 제조공정 중에서도 다양한 요인으로 인해 불량이 발생되고 있으며, 특히 생산성에 미치는 영향이 매우 크다. 따라서 먼저 책상판 성형시간 단축을 통하여 생산성 향상여부를 검토하였다. 또한, 원료의 성형 공정에서 일정량의 목질 파티클을 사람의 손에 의해 투입하고 성형하는 과정에서 일부 파티클은 세로 방향으로 배열하는 등으로 인해 모양지의 파손 등의 불량이 발생되고 있다. 이 점을 개선하기 위해 먼저 진동에 의한 파티클의 배열을 도모하기 위해 진동 장치를 고안하여 그 효과를 검토하였다.

또한 궁극적으로는 책상판 표면의 오염성 개선 및 생산속도 향상 및 단위 인원당 생산력 확대를 통한 원가 절감을 위해서는 예비 성형 등의 방법에 의한 제조공정의 개선 가능성을 검토하였으며, 비교적 원가의 비율이 높은 표면 모양지의 대체 방법을 검토하였다.

가. 재료 및 방법

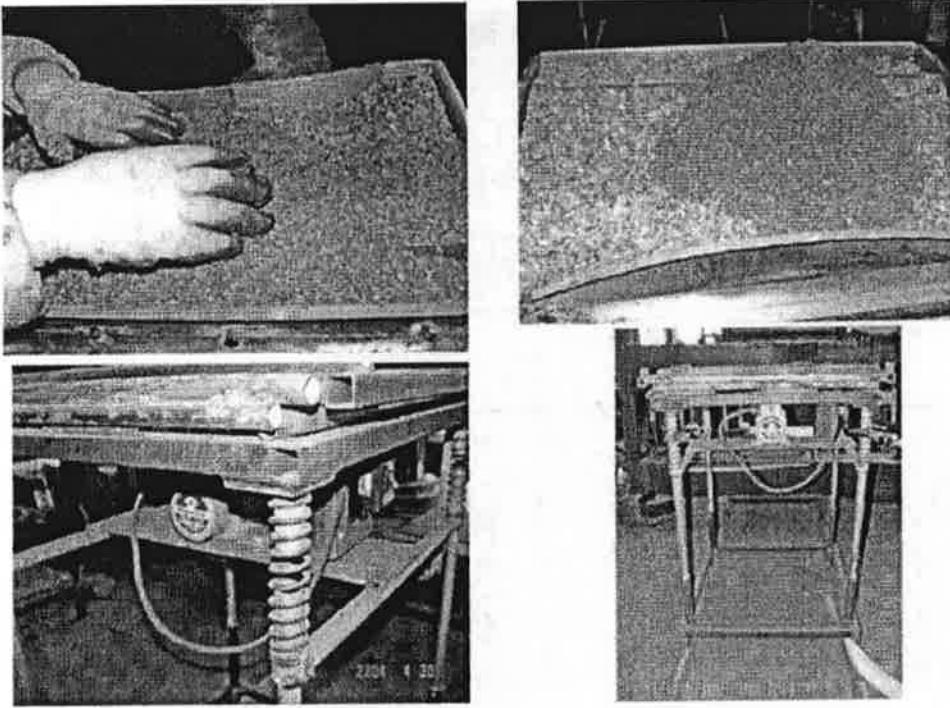
1) 열압시간에 따른 책상판의 성능 조사

생산성을 향상시키기 위해 열압시간과 책상판의 성능은 표면마감재를 적층한 완제품으로 검토하였다. 본 책상판의 제조공정은 먼저 1차로 목재 파티클에 의한 열압과 이어 표면마감재를 적층한 후 2차가압에 의해 제조되고 있다. 따라서 열압시간과 책상판의 성능은 먼저 1차 가압시간을 2분으로 고정하고 2차 가압시간을 60초에서 120초로 변화시켜 책상판의 성능을 검토하였으며, 이어 전체 가압시간을 240초로 일정하게 하고 1, 2차의 가압시간을 80초와 160초, 120초와 120초 및 160초와 80초로 변화시켜 온도 190℃, 압력 60kgf/cm²에서 제조하였다. 접착제는 요소·멜라민 수지를 사용하였다.

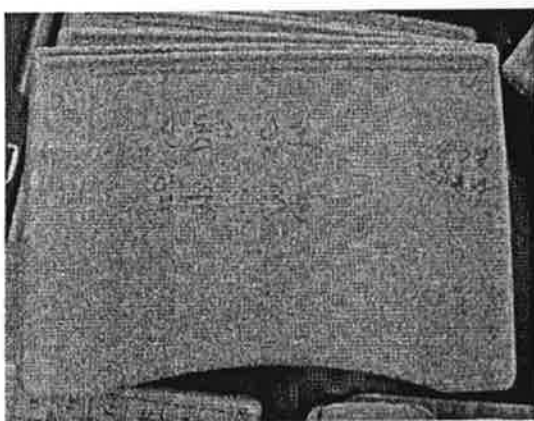
2) 메트의 진동이 보드의 균질화와 성능에 미치는 영향 조사

본 책상판의 제조에 있어 제기된 문제 중의 하나가 책상판의 품질 안정화이다. 따라서 책상판면의 부위에 상관없이 보다 균질한 제품을 제조하기 위해 예비 성형시 파티클이 세워져 분포하거나 국부적으로 밀도가 높게 분포하는 것을 방지하기 위한 수단으로 진동에 의한 균질화를 도모하였다. <그림 7-40>에 나타낸 바와 같이 1/4HP의 진동 모터를 예비성형틀의 하부에 부착하고 파티클을 성형한 다음 일정시간 진동하여

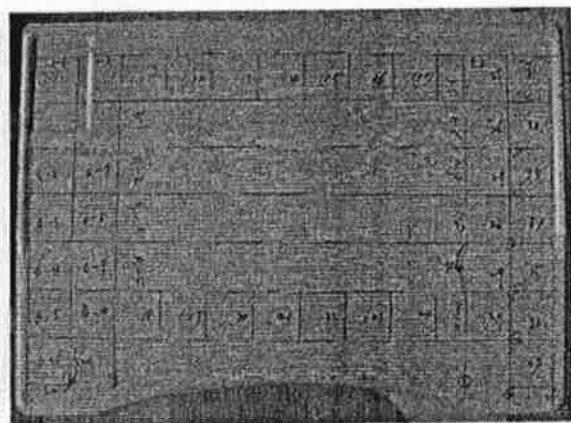
진동시간에 따른 책상판의 밀도분포와 휨성질을 평가하였다. 진동시간에 따른 밀도분포는 <그림 7-41>에 나타난 바와 같이 부위별 밀도를 측정하였으며, 각 개체간의 밀도분포를 비교분석하였다. 또한, 책상판의 성형시 진동시간은 20초로 고정하고 진동시간에 따른 영향을 검토하기 위하여 고운파티클의 투입 전후에 진동하여 그 효과를 비교하였다.



<그림 7-40> 진동에 의한 파티클 배열 장치



<그림 7-41> 진동 후 성형한 책상판.



<그림 7-42> 시험편의 채취.

3) 예비성형의 가능성 검토

현 제조공정에서 많이 발생하는 불량 중 표면재의 오염을 최소화하고 단위시간당 생산량을 증대하기 위해서는 예비성형기에 의한 예비성형 후 본 성형 공정에 제공될 수만 있다면 매우 바람직할 것으로 여겨져 예비성형 가능성을 검토하였다. 일단 예비성형의 만족 조건으로서는 예비성형 후 본 성형기에의 투입 등의 조작시 파괴되지 않아야 하며, 중저온에서 적어도 1분 이내에 성형되어야만 한다. 따라서 2종의 접착제를 사용하여 100℃에서 30초와 1분의 가압으로 그 예비성형의 가능성을 검토하였으며 사용한 수지의 특성은 <표 7-13>와 같다.

<표 7-13> 예비성형용 수지의 특성

수지 종류	고형분(%)	pH	점도 (cp)
R-A	54.9	12.1	343
R-B	62.2	12.0	9,450

4) 표면 마감재 대체 재료

책상판의 원가 중 표면 모양지가 차지하는 비율이 거의 10%에 이르고 있다. 그러나 멜라민수지가 함침된 표면모양지는 매우 취약(brittle)하여 갈라지기 쉬워 핸들링 하는데 매우 어려움이 많다. 따라서 표면 모양지를 대체할 수 있는 방법을 모색하였다. 먼저 장섬유로 구성되어 있는 한지를 모양지로 이용할 수 있는 가능성을 검토하였으며, 세라믹 코팅에 의한 방법을 검토하였다.

나. 연구 결과

1) 열압시간에 따른 책상판의 성능

열압온도 190℃에서 1차의 파티클만에 대한 열압시간과 2차의 표면마감재 적층후의 열압시간으로 구분하여 전 열압시간을 240초로 고정하고 1, 2차의 열압시간을 1차 80초와 2차 160초, 1차 120초와 2차 120초 및 1차 160초와 2차 80초 및 1차는 120초로 고정하고 2차를 60초에서 84초로 변화하여 제조한 책상판의 성능은 <표 7-14>와 같다. 그 결과, 1, 2차의 열압시간을 변화하여도 책상판의 밀도, 함수율, 흡수두께팽창률

에는 큰 차이가 나타나지 않았다. 그러나 휨강도는 1차의 열압시간이 증가하고 2차의 열압시간이 감소할수록 양호하였다.

<표 7-14> 열압시간의 변화에 따른 책상판의 성능

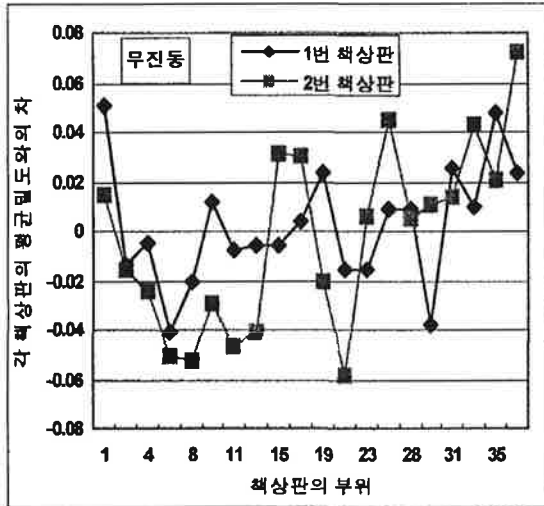
시간(sec.)		밀도 (g/cm ³)	함수율 (%)	흡수두께 팽창률 (%)	박리 강도 (kgf/cm ²)	휨 성 질	
1차	2차					MOR (kgf/cm ²)	MOE (Tonf/cm ²)
80	160	0.81	7.6	10.9	7.2	164.7	27.5
120	120	0.83	7.1	10.6	5.9	183.4	32.0
160	80	0.85	7.2	10.4	7.8	193.3	30.7
	60	0.75	7.2	10.3	4.27	133.6	23.2
120	72	0.79	7.1	10.4	3.90	143.2	26.2
	84	0.73	7.2	9.3	3.97	136.9	24.1

또한, 책상판의 생산성과 관련해서 전체 열압시간의 단축은 매우 중요하기 때문에 1차 열압시간은 120초로 고정하고, 2차 열압시간을 60초에서 120초로 변화하여 제조한 책상판의 성능은 2차 열압시간이 120초에서 60초로 단축되면 박리강도는 감소되고 흡수두께팽창률은 증가되지만, 2차 열압시간 60초에서도 흡수두께팽창률 및 박리강도 모두 목표치를 만족하였다. 또, 2차 열압시간이 길어짐에 따라 MOR는 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 현재의 열압조건은 품질의 안정성과 원료의 다양화로 인해 1차 160초 2차 80초를 적용하고 있으나, 보다 더 합리적인 원료나 공정의 관리가 행해진다면 약 20초 정도 단축하여도 큰 성능의 저하가 없을 것으로 생각되었다.

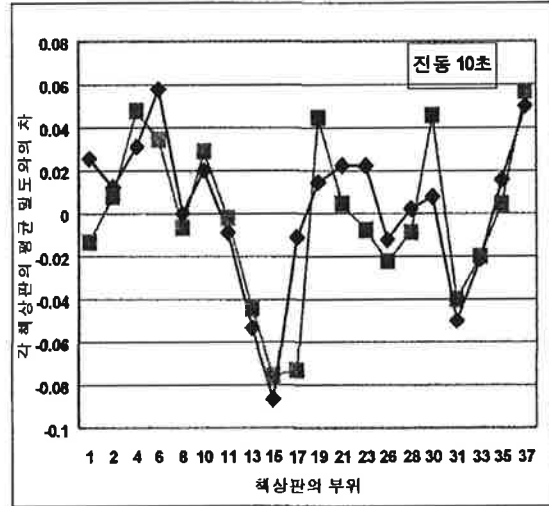
2) 매트 진동이 보드의 성능에 미치는 영향

현 책상판 제조시 파티클의 투입은 사람의 힘에 의해 행해지고 있어 전체의 책상판에 균일한 파티클의 분포가 곤란하다. 따라서 책상판의 부위에 상관없이 보다 균질한 제품을 제조하기 위해 성형시 파티클이 세워져 분포하거나 국부적으로 밀도가 높게 분포하는 것을 방지하기 위한 수단으로 진동에 의한 균질화를 도모할 필요가 있었다. 즉 1/4마력 진동모터에 의해 진동을 가해 매트와 파티클이 안정된 후 가압하여 제조한 책상판의 위치별 밀도와 휨성질을 평가하였다. <그림 7-43, 44, 45>은 고운파티클

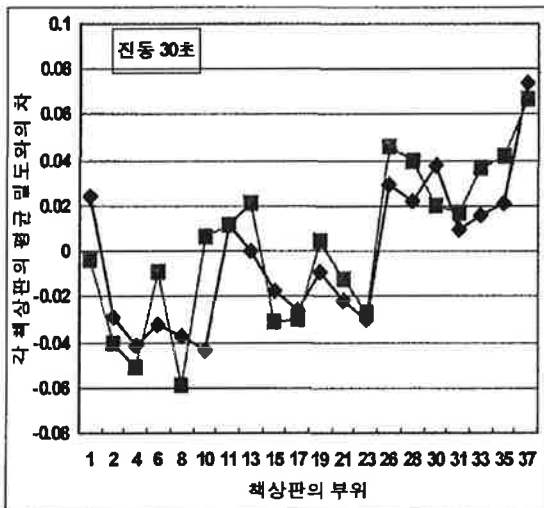
→ 거친파티클→ 고운파티클 투입후 무진동, 10초 진동 및 30초 진동 후 각각 2매 제조한 책상판의 부위별 밀도를 나타낸 것이다.



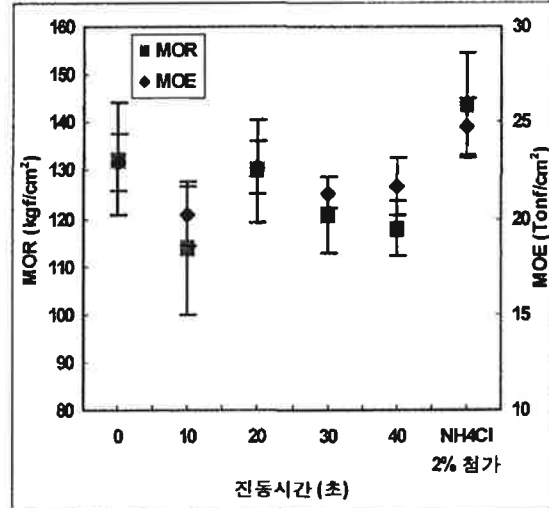
<그림 7-43> 무진동 책상판의 부위별 평균밀도와의 차



<그림 7-45> 10초 진동 책상판의 부위별 평균 밀도와의 차



<그림 7-45> 30초 진동 책상판의 부위별 평균밀도와의 차



<그림 7-46> 진동시간과 책상판의 휨성질

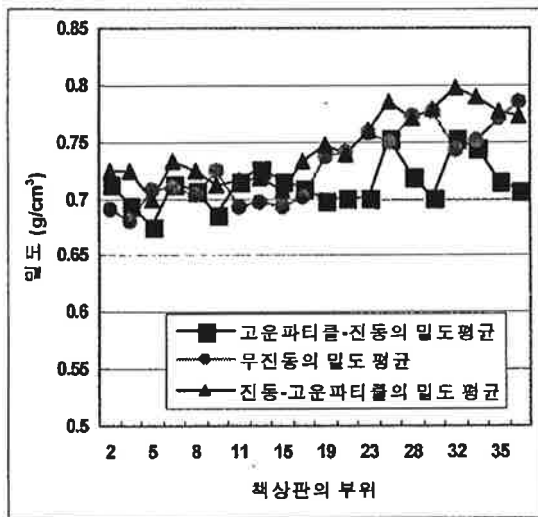
무진동 책상판에 비해 10초 및 30초 진동을 행한 책상판이 각 책상판간의 밀도 분

포가 일정하였다. 그러나 진동에 의한 책상판의 휨성질은 거의 동등하거나 오히려 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 진동에 의해 성형틀에 투입된 파티클의 bulking volume이 작아짐으로 인해 제한된 치수의 성형틀 내에서 충분한 압력을 받지 못하였기 때문으로 생각된다.

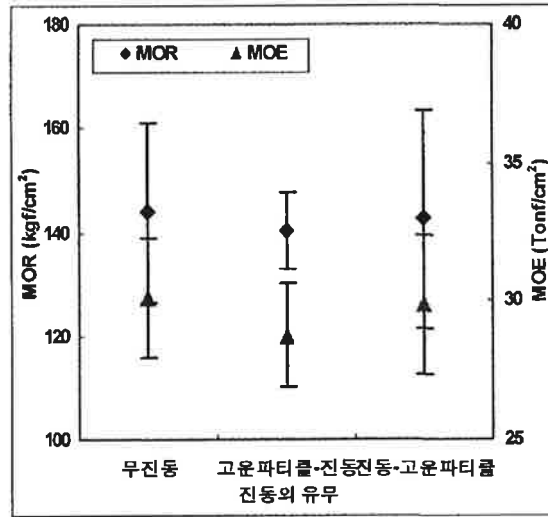
다음은 표층의 고운 파티클 투입전후에 20초 진동을 행하여 제조한 책상판의 밀도 분포와 책상판의 휨성질을 검토한 결과는 <그림 7-47, 48>과 같다. 전체적으로 부위별 밀도분포는 고운파티클 투입전후의 진동에 따른 차이는 거의 없었으며, 무진동에 비해 다소 밀도의 변이 폭이 작았으나 크게 차이는 없었다.

또한 휨성질도 무진동에 비해 큰 차이가 없었으며, 고운 파티클 투입 후 진동한 것보다는 진동한 후 마지막에 고운 파티클을 투입한 것이 약간 큰 휨강도를 나타내었다.

이상의 결과에서 진동에 의해서는 무진동보다는 다소 균일한 밀도 분포의 책상판의 제조는 가능하나 기대한 것보다 강도적 성능의 향상이 이루어지지 않는 않았다.



<그림 7-47> 고운 파티클 투입전후 진동과 책상판의 밀도분포

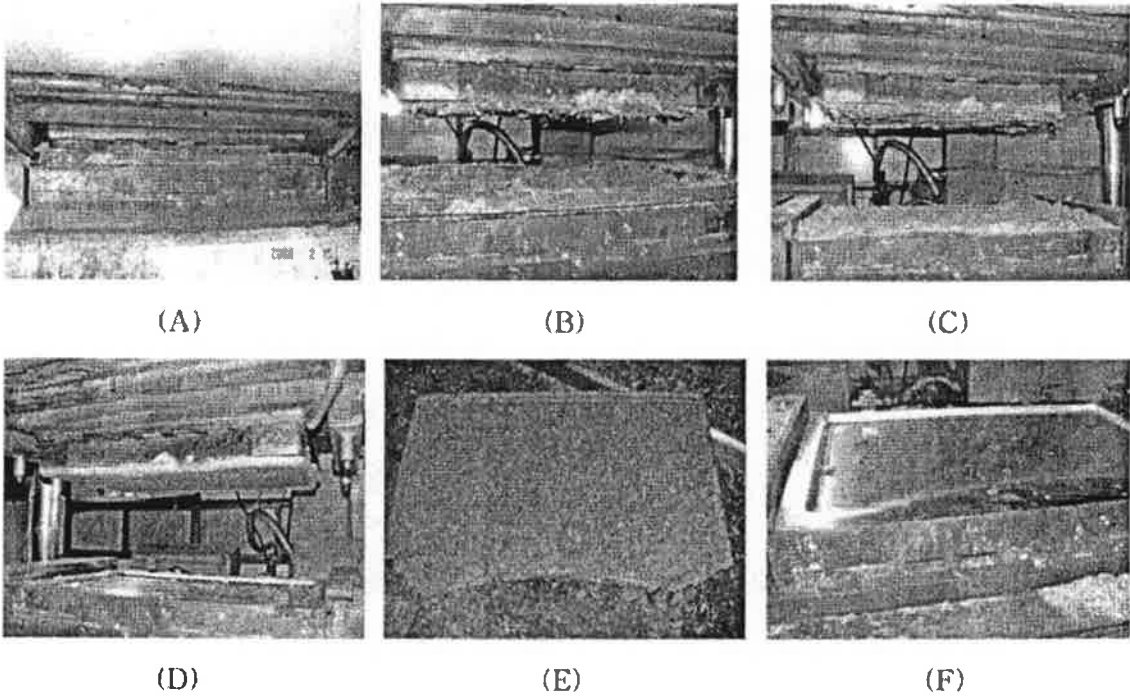


<그림 7-48> 고운 파티클 투입전후 진동과 책상판의 휨성질

3) 예비성형의 가능성 검토

<그림 7-49>에 2종의 수지에 의한 예비성형의 가능성을 검토한 과정을 나타내었다. 수지 R-A를 전건목재에 대해 10% 첨가한 후 100°C에서 1분간 가압하여 성형한 결과, 30초 가압한 후(B, C)에는 중간층에서 박리되었다. 그 후 다시 30초 가압하여

전체 가압시간을 1분으로 하였을 때에는 외형적으로는 책상판의 형상을 유지한 것 같이 보였으나 그림 (E)와 같이 모서리 부분이 쉽게 파괴되었다. 따라서 극단적으로 단 시간에 경화하는 수지를 사용하지 않는 한 예비성형에 의한 책상판의 제조는 곤란할 것으로 생각되었다.

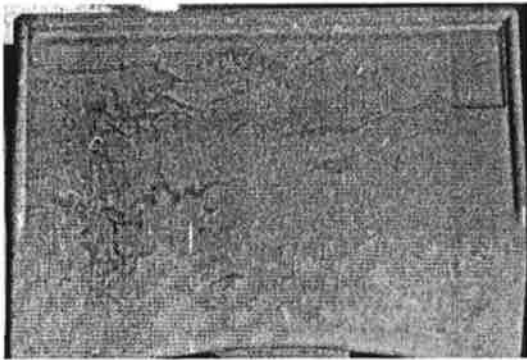


<그림 7-49> 예비 성형의 가능성 검토과정

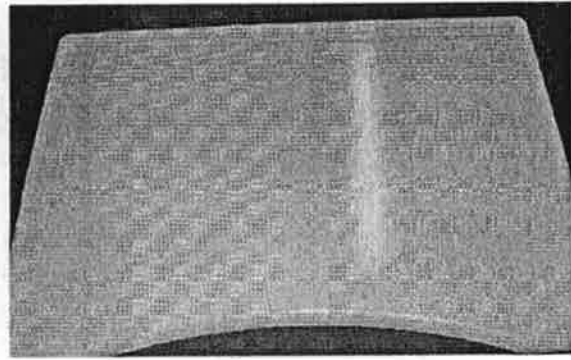
4) 표면 마감재 대체 재료

모양지에 멜라민 수지를 함침시킨 표면 마감재는 열경화성 수지의 특성상 매우 깨지기 쉬워 취급에 어려움이 많다. 따라서 장섬유인 한지를 모양지 대용으로 사용하면 곡면부의 성형성 개선과 동시에 다양한 패턴의 제품을 제조할 수 있을 것으로 생각되어 그 가능성 여부를 시험하였다. <그림 7-50>에 나타난 바와 같이 한지나 염색한지에 의한 표면마감재로의 이용은 가능할 것으로 생각되나, 수지함침과 건조설비에 대한 시설 투자가 뒤따라야 할 것으로 생각된다. 또한 코팅에 의한 생산성 향상 및 불량률을 최소화하기 위한 세라믹 코팅을 책상판에 적용해 보았다. <그림 7-51>과 같이 우아하고 다양한 색상의 표현이 가능하나 역시 현재로서는 단가의 상승요인으로 작용하여 바로 적용하기에는 어려움이 있을 것으로 생각된다. 그러나 차후 새로운 제품에

대한 수요가 창출되거나, 폐기목재의 사용범위가 확대될 때 및 원적외선, 음이온등 기능성의 요구도가 높아질 때에는 바로 본 기술들을 활용해 새롭고 특이한 책상판의 제조에 응용할 수 있을 것으로 기대된다.



<그림 7-50> 한지 표면 모양지 책상판



<그림 7-51> 세라믹 코팅 책상판

다. 결과 요약

1) 열압시간에 따른 책상판의 성능

1차 열압시간은 120초로 고정하고, 2차 열압시간을 단축하면 박리강도는 감소되고 흡수두께팽창률은 증가되지만, 2차 열압시간 60초에서도 흡수두께팽창률 및 박리강도 모두 목표치를 만족하였다. 또, 2차 열압시간이 단축되면 MOR는 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나 현재의 열압조건은 품질의 안정성과 원료의 다양화로 인해 1차 160초 2차 80초를 적용하고 있으나, 보다 더 합리적인 원료나 공정의 관리가 행해진다면 약 20초 정도 단축하여도 큰 성능의 저하가 없을 것으로 생각되었다.

2) 매트 진동이 보드의 성능에 미치는 영향

매트를 진동하여 파티클의 배열에 의해 무진동 보다는 다소 균일한 밀도 분포의 책상판의 제조가 가능하나 bulk volume의 감소에 의해 기대한 것보다는 강도적 성능이 향상되지 않았다.

3) 예비성형의 가능성 검토

예비성형에 의해 생산성 향상과 불량률 감소를 도모하고자 하였으나 현재의 접착제

나 본 제품의 성형설비로는 형상은 유지되나 성형틀에 끼인 상태에서 해압하면 중심층에서 파괴가 일어나 극단적으로 단시간에 경화하는 수지를 사용하지 않는 한 예비성형에 의한 책상판의 제조는 곤란할 것으로 생각되었다.

4) 표면 마감재 대체 재료

현재의 설비나 경제성으로 인해 바로 적용하기에는 다소 어려움이 있으나, 차후 기능성이나 다양한 색상이나 패턴의 표면재로서 한지나 세라믹 코팅의 이용 가능성을 확인할 수 있었다.

7. 책상판 제조조건외 최적화외 불량률외 감소

초, 중, 고등 및 대학생의 책상 상판은 현재 수입합판에 의해 제작되고 있다. 이들 합판을 폐기 목질재료를 이용한 성형 상판으로 대체하기 위하여 참여기업인 도림산업(주)와 공동으로 현 제조 과정에서 파생되는 문제점을 파악하고 그 개선대책을 수지 접착제, 생산성 향상 및 성형공정 최적화의 관점에서 검토하였다. 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

생산성 및 품질저하 요인분석에서 주요 불량유형으로는 성형중 불량외 가장 많았으며, 이어 표면터짐, 청소 불량, 측면접착 불량, 에어 및 펄크 그리고 모서리 터짐이었다. 불량요인은 원료의 불균일 또는 부적질, 성형조작의 부적질, 수지 접착제의 부적질에 의한 것으로 조사되었다. 그러나 본 연구를 통하여 연구개시 전에는 불량률이 2.7%였으나, 2006년 현재에는 1.4%로 약 50% 이상 감소되었다.

원료의 파쇄법과 책상판의 성능에서는 hammer mill과 knife ring flaker 간에는 큰 차이가 없어 새로 파쇄설비를 도입할 때는 생산 효율과 경제성을 고려하여 선정하면 될 것으로 판단된다.

재생 파티클 제조 전의 원료 종류와 책상판의 성능과의 관계를 구명하였다. 먼저 파쇄 파티클의 형상의 관점(slenderness ratio와 aspect ratio)에서는 합판에서 파쇄한 파티클이 가장 우수하였으며 다음이 목재 그리고 파티클보드를 재 파쇄한 파티클의 순이었다. 원료의 종류와 책상판의 성능에서 휨강도는 목재로부터 파쇄한 파티클로 제조한 책상판이 가장 우수하였으며 이어 합판, PB의 순이었다. 박리강도는 PB 재생 파티클로 제조한 책상판이 가장 우수하였으며 이어 목재, 그리고 합판의 순이었다. 흡수두께팽창률은 목재, 합판, PB의 순이었다. 전체적으로는 PB 재생 파티클의 혼합비율과 책상판의 성능을 고려할 때 PB혼합 비율이 증가할수록 성능 또한 감소하므로, 재생 파티클의 첨가 비율은 70% 이하가 바람직하였다.

성형제품 제조용 수지 접착제 합성기술에서는 수지의 종류별 책상판의 성능을 검토한 결과, 요소·멜라민 수지(UMF)로 제조한 책상판이 가장 우수하였으며, 다음이 페놀·멜라민 수지 그리고 페놀 수지의 순으로 UMF가 가장 적합하였다. UMF의 수지 조성은 포름알데히드방출량을 고려할 때 F/(U+M) 몰비 1.35이하가 바람직하다는 결과를 도출하였다. 본 수지의 조성을 토대로 합성한 책상판은 1차년도 시작시 포름알데히드방출량이 E₂급에서 현재는 E₁급으로 개선되었다. 그러나 수지만으로는 포름알

데히드의 방출수준을 관리하기에는 어려움이 있어 그 원인과 대책을 검토하였다.

각종 폐기 목질재료에 의해 제조한 책상판의 포름알데히드 방출수준이 동일한 수지 접착제를 사용하여도 큰 차이가 나타났다. 그 원인은 재생한 파티클의 종류 즉 재생 파티클에 포함된 포름알데히드가 잔존하여 재방출되기 때문이라는 것을 확인하였으며, 재생PB를 원료로 하여 제조한 책상판에서 포름알데히드방출량이 가장 높았다. 따라서 포름알데히드의 방출량을 줄이기 위해서는 수지나 파티클에의 포착제 처리가 효과적이었으며, 우수한 포착제로는 요소, succinic acid di-hydrazide이었다.

책상판의 성형공정에서 생산성 향상과 품질의 안정화에 관한 검토에서는 가압시간을 약 20초 정도 단축하여도 충분히 GR규격에 만족할 수 있으며, 이때 가능하면 1차 보다는 2차 가압시간을 단축하는 것이 보다 우수한 휨성질의 책상판 제조가 가능하였다. 책상판의 품질 안정화 및 균질화를 위한 매트 성형시 진동처리는 밀도의 균질화는 가능하나 휨성질의 개선에는 크게 기여하지 못하였다. 또한 차후 기능성이나 다양한 색상과 패턴의 표면재로서 한지나 세라믹 코팅의 이용 가능성을 확인할 수 있었다.

이상과 같은 결과를 토대로 연구당시부터 현재에 이르기까지의 불량률과 각종 성능의 변화를 살펴보면 다음과 같다. 불량률은 회사에서 직접 조사한 것이며 각종 성능은 전자재시험연구원, 생활용품시험연구원 및 국립산림과학원의 공인된 기관에 시험 의뢰하여 얻은 결과들이다.

가. 연도별 생산량과 불량률의 변이

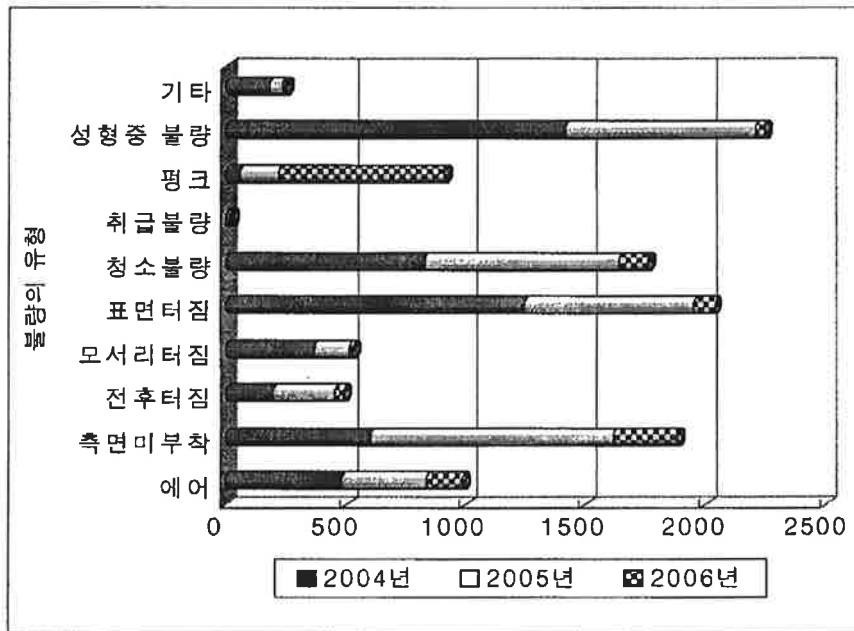
<표 7-15>에 2004년부터 2006년(전반기)까지의 생산량과 불량 발생량을 나타내었다. 생산량은 각종 성형시의 조건에 의해서도 크게 좌우되지만 작업자의 숙련도에 의해서도 큰 차이가 있었다.

<표 7-15> 연도별 생산량과 불량률

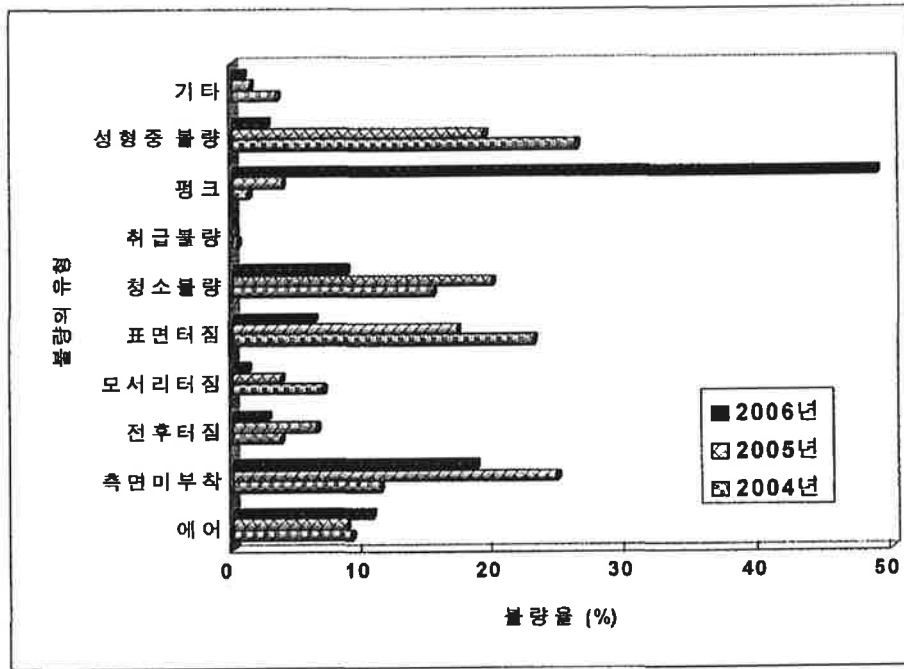
년도	생산량(개)		불량	
	생산량/일,인	전체	발생량(개)	불량률(%)
2004	77.5	242,424	5,429	2.2
2005	74.5	210,337	4,092	1.9
2006(1월~6월)	75.9	98,650	1,437	1.4

1인이 하루에 생산하는 평균 책상판의 수는 약 75개에서 80개로 2004년에 비해 2006년도에는 약 1개 정도가 줄었지만 이는 최근의 경기와 책상판의 출하시기가 주로 방학기간에 집중되는 관계로 인해 작업시간이 단축되었기 때문이다. 그러나 불량률은 2004년에 비해 약 0.6% 감소하여 1.4%로 크게 줄어들었다.

<그림 7-52>에 2004년에서 2006년간에 발생한 불량 책상판의 누계를 <그림 7-53>에는 연도별 불량 유형의 변화를 나타내었다. 3년간의 누계에 의한 불량중 성형과정에서 발생하는 불량이 가장 많았으며, 표면터짐, 측면 미부착 및 청소불량 등의 순이었다. 연도별 불량 유형의 변화에서는 크게 차이가 없으나 최근에 특히 핑크에 의한 불량이 크게 증가하였다. 이는 주로 파티클의 함유율에 의한 것으로 판단되며 고품수 파티클에 의한 책상판의 제조에 대한 검토가 요구되어 비포름알데히드계 수지인 이소시아네이트수지에 의한 책상판 제조 연구를 수행하였다.



<그림 7-52> 불량률의 유형별 누계



<그림 7- 53> 연도별 불량 유형의 변이

나. 연도별 책상판 성능의 변이

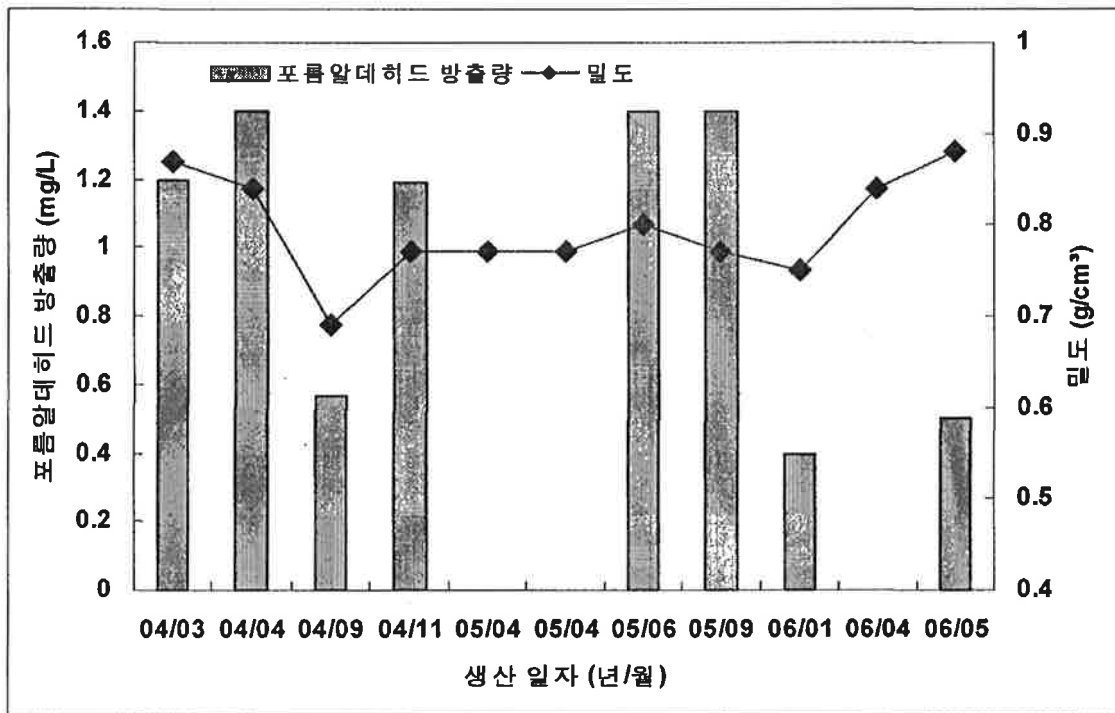
2004년부터 2006년에 걸쳐 공인기관에 의뢰하여 측정된 책상판 성능의 변화 추이에 대하여 <그림 7-54>에 포름알데히드방출량과 밀도, <그림 7-55>에 박리강도, 함수율, 흡수두께팽창률, <그림 7-56>에 상대 및 습윤시 휨강도, 평면과 측면의 나사못 유지력을 각각 나타내었다. 현재의 책상판에 대한 GR기준은 <표 7-16>과 같다.

먼저 책상판의 밀도는 0.7~0.9g/cm³ 으로 GR기준의 범위에 해당되며, 포름알데히드 방출 수준도 2004년과 2005년 한때 E₁기준을 겨우 만족한 시기도 있었으나 최근에는 상당히 낮은 수치를 보이고 있다.

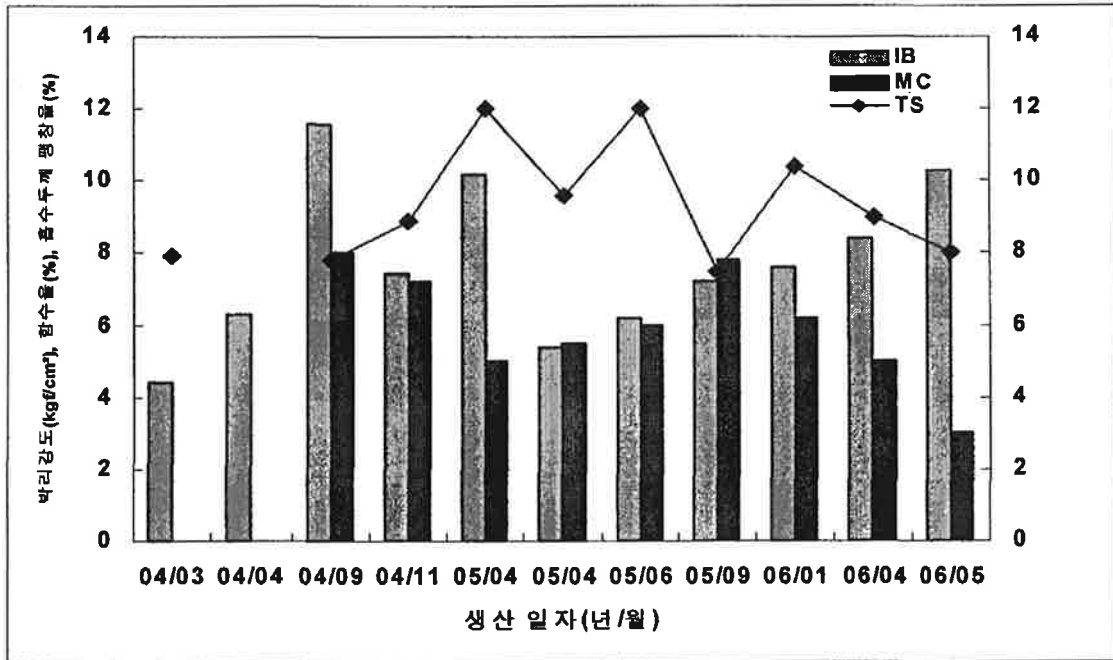
함수율은 3~7%로 다소 낮은 경우도 있으나, 박리강도는 8~12kg/cm², 흡수두께팽창률은 7~12%로 모두 GR기준을 만족하고 있다. 습윤시나 상대의 휨강도 모두 GR기준을 만족하고 있으며, 나사못유지력 또한 측면이 120, 평면이 140kgf로 모두 만족하고 있다.

<표 7-16> 책상판의 GR 기준

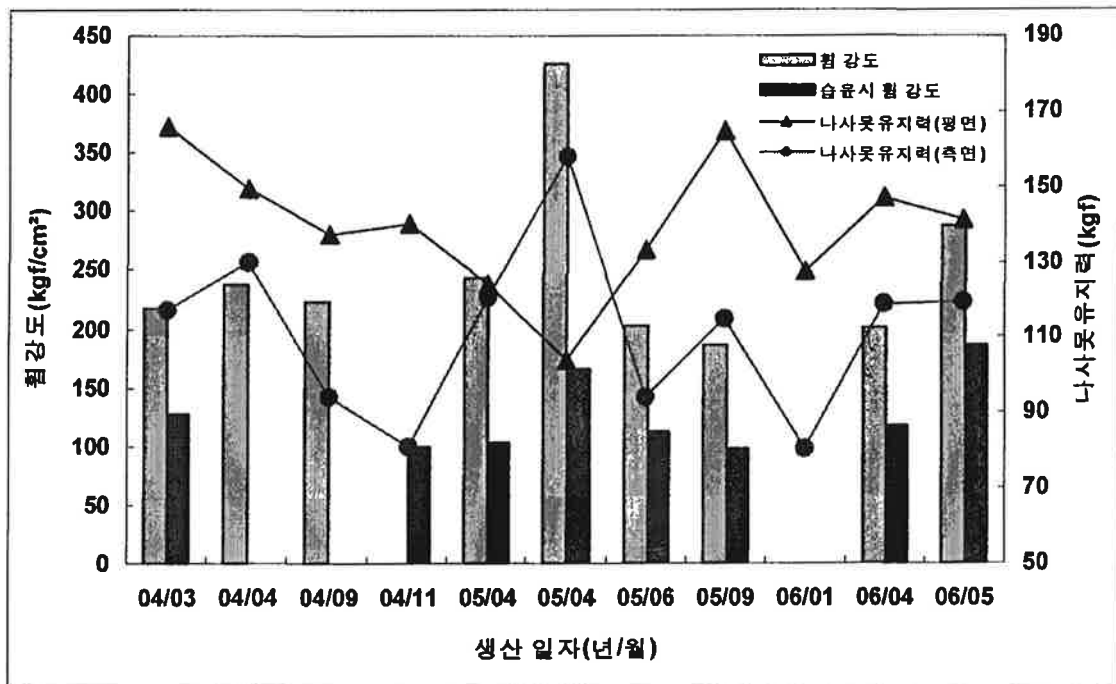
항 목	기 준			
밀도 (g/cm ³)	0.5~0.9			
함수율 (%)	5~13			
흡수두께팽창률 (%)	12 이하			
휨강도 (kgf/cm ²)	건조	184 이상	습윤	92 이상
박리강도 (kgf/cm ²)	3.1 이상			
나사못유지력 (kgf)	평면	71 이상	측면	36 이상
포름알데히드방출량 (mg/L)	E _i : 1.5 이하			



<그림 7-54> 연도별 포름알데히드방출량과 밀도의 변이



<그림 7-55> 연도별 박리강도, 함수율, 흡수두께팽창률의 변이



<그림 7-56> 연도별 휨강도와 나사못 유지력의 변이

8. 비포름알데히드계 수지에 의한 책상판의 제조기술 개발

지금까지 검토한 바와 같이 책상판의 제조에 있어 가장 민감한 성능적인 측면에서의 문제는 포름알데히드의 방출수준을 안정적으로 관리하는 것이며, 파티클의 함수관리에 의한 불량률의 최소화와 건조에 소요되는 에너지와 시간의 단축이다. 이와 같은 문제점을 근원적으로 해결하기 위해서는 포름알데히드계 수지 접착제가 아닌 비포름알데히드계수지계에서 그 해결책을 모색해야 할 것이다. 그 대표적인 비포름알데히드계 수지로서는 이소시아네이트계 수지가 적합할 것으로 생각되었다.

이소시아네이트는 물 뿐만 아니라 모든 활성수소화합물과 반응하여 강고한 결합상태를 형성한다. 특히 물이나 목질중의 활성수소와의 반응성이 뛰어나다. 종래의 포르말린계 수지는 물을 방출하면서 축합이 진행되고 접착제로서의 효과를 나타내는 것과는 반대로 이소시아네이트기는 잔존하는 물과 반응하여 폴리우레아구조를 형성하고 이것이 접착의 주가 되는 골격으로 형성된다. 따라서 이소시아네이트계 수지에 의한 보드 제조시 포름알데히드방출량 저감화, 무방출화, 포름알데히드계 수지의 반응촉진과 개질, 접착할 목질재료의 허용 함수율 범위의 확대, 내수성 등 각 물성의 개선 및 사용 수지량의 절감 등의 효과를 수반할 수 있을 것이다.

따라서 본 항에서는 성형품의 제조에 지금까지 전혀 적용된 적이 없는 이소시아네이트계 수지에 의한 책상판의 제조적성과 제조조건 및 성능을 평가하였다.

가. 재료 및 방법

1) 실험재료

가) 폐목질 재료

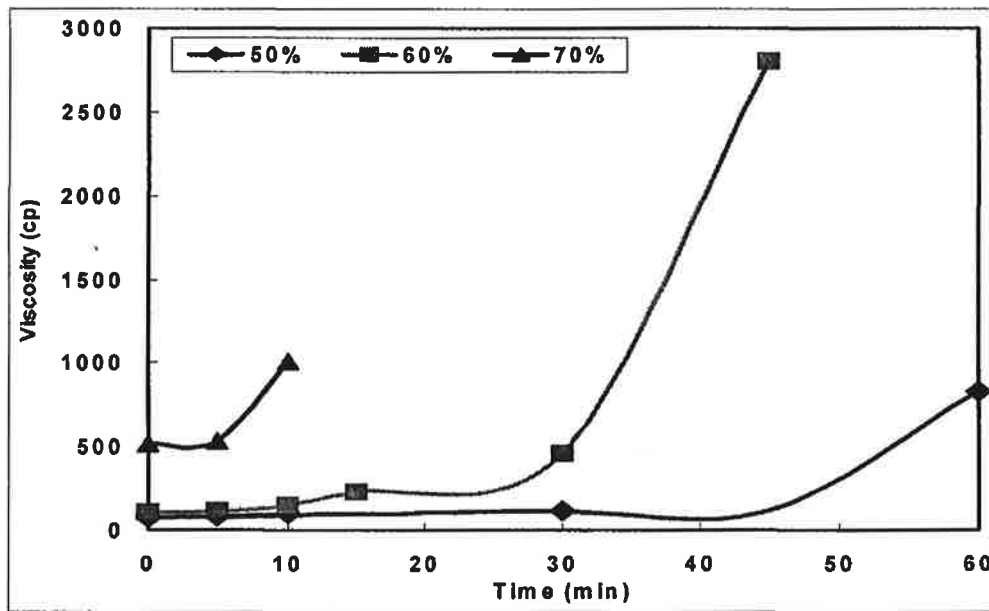
이소시아네이트계 수지에 의한 책상판의 제조에 사용한 목질 파티클은 현재 업계에서 사용하고 있는 것을 그대로 사용하였으며, 별도로 함수율을 조정하지 않은 파티클의 함수율은 2%였다.

나) 수지 접착제

이소시아네이트계 수지는 에멀전 타입으로 업계로부터 분양받아 사용하였으며, 수지의 pH는 2.6, 점도 276cp(스핀들 No. 3, 50rpm) 및 불휘발분 99.4%(105°C, 3시간)였

다. 또한, 수지는 고형분 50%로 물에 의해 에멀전화하여 사용하였다.

그러나 본 수지의 경우 에멀전화 한 후 방치시간에 따른 점도 변화가 비교적 심하기 때문에 가능한 한 빠른 시간 내에 사용하는 것이 바람직하며 <그림 7-57>에 고형분에 따른 에멀전 이소시아네이트 수지의 점도 변화를 나타내었다. 고형분 50%는 한 시간 이상 지나도 사용가능하나 고형분 70%는 20분 이내에 사용하는 것이 바람직하였다.



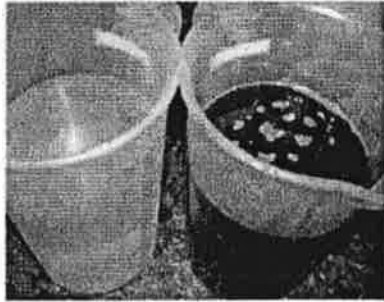
<그림 7-57> 이소시아네이트수지 에멀전의 고형분에 따른 점도의 경시변화

2) 실험방법

가) 책상판의 제조

책상판의 제조방법은 <그림 7-58>과 같이, 책상판 제조시 전부 이소시아네이트계 수지를 사용하면 이소시아네이트의 금속과의 반응성이 우수하여 프레스에 달라붙어 떼어내기가 매우 곤란하다.

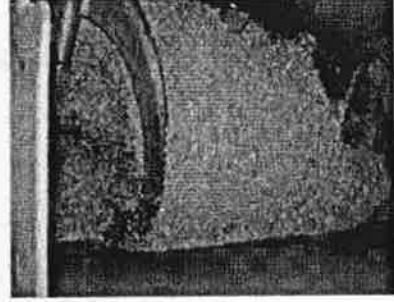
따라서 내부나 외부 이형제를 사용하여야 하나 본 연구에서는 양 표면에 크라프트지를 사용하여 먼저 각 성능을 평가하였다. 파티클은 4~20mesh에 보류되는 중충용의 파티클을 사용하였다. 함지율은 7.5%를 적용하였으며, 책상판의 성형조건은 상판온도 210℃, 하판온도 190℃, 압력 60kgf/cm²에서 가압시간은 1차 가압 130초, 2차 가압 82초를 적용하였다.



(A)



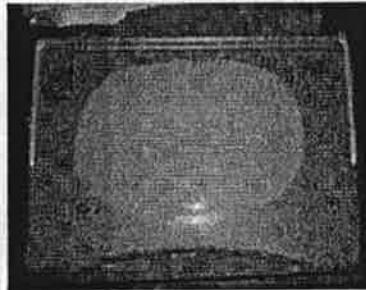
(B)



(C)



(D)



(E)



(F)

<그림 7-58> 이소시아네이트계 수지에 의한 책상판의 제조과정

(A) : 이소시아네이트 수지와 물 (B) : 물에 의한 에멀전화 (C) : 수지 도포
 (D) : 성형 및 가압 (E) : 완성된 책상판 (F) : 휨성질 시험편

나) 책상판의 성능평가

제조한 책상판의 성능평가는 파티클보드의 품질검사 기준인 KS F 3104에 준하여 실시하였다. 주요 측정항목은 밀도, 함수율, 휨성질(MOR, MOE), 박리강도, 흡수두께 팽창률 및 포름알데히드방출량이었으며 책상판의 휨강도는 평행방향으로 행하였다.

나. 연구 결과

1) 이소시아네이트 수지로 제조한 책상판의 포름알데히드방출량

함수율 2%로 건조한 중충용 파티클에 고형분 함량 50%의 에멀전화 이소시아네이트 수지를 사용하여 함지율 7.5%, 상판온도 210℃, 하판온도 190℃, 압력 60kgf/cm²에서 가압시간은 1차 가압 130초, 2차 가압 82초를 적용하여 제조한 책상판의 포름알데히드방출량은 0.35mg/L이었다. 2004년에서 2006년 사이에 기존의 UMF수지를 사용하

여 제조한 책상판의 포름알데히드방출량 0.4~1.45mg/L과 비교하여 낮은 수치를 나타내었다. 따라서 이소시아네이트 수지로 책상판을 제조하면 원료에 포함된 포름알데히드가 극단적으로 높지 않다면 포름알데히드의 방출로 인한 문제는 거의 야기되지 않을 것으로 판단되었다.

2) 이소시아네이트 수지로 책상판 제조시 파티클 함유율의 영향

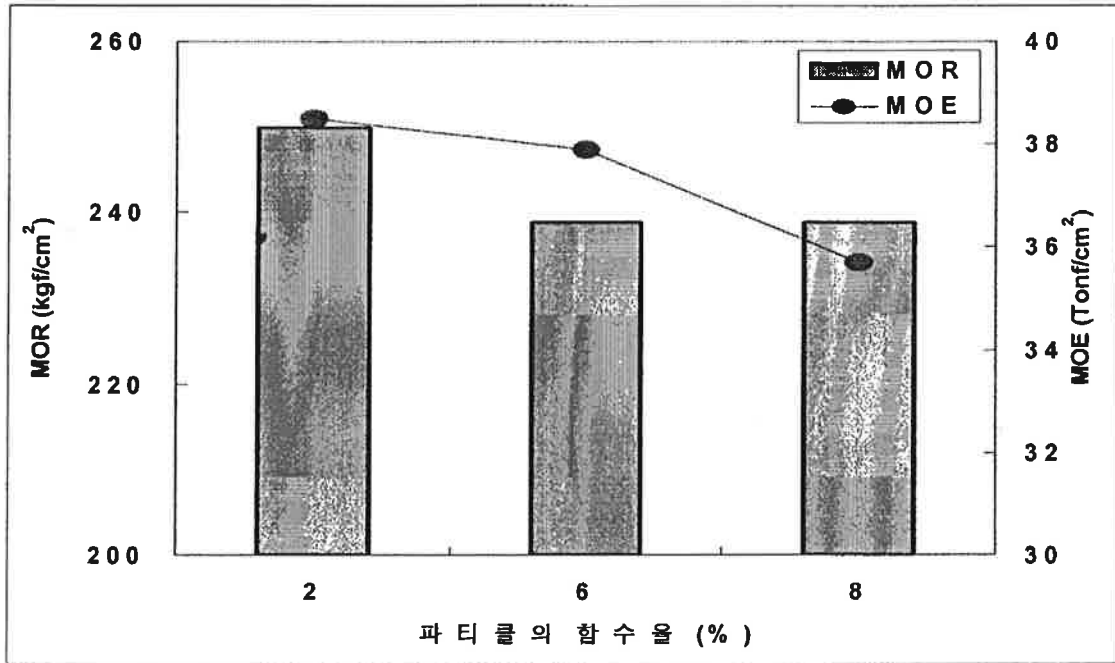
전항의 최근 3년간 UMF수지를 사용하여 책상판 제조시 발생하는 불량률의 변이에서 최근 극단적으로 증가한 불량유형의 하나가 핑크로 이는 주로 함유율의 관리가 적합하지 않거나 열압시 발생하는 수증기가 원활히 제거되지 않은 상태에서 해압할 경우 주로 발생된다. 즉 기존의 UMF 수지 사용시는 파티클의 함유율 관리가 매우 중요하며, 그 함유율도 거의 전건에 가까울 정도로 건조된 파티클을 사용하여야만 한다. 그러나 이소시아네이트는 비교적 높은 함유 수준에서도 접착이 가능한 수지로 알려져 있어 함유율 8%정도의 파티클로도 책상판의 제조가 가능하다면 에너지의 절감은 물론, 파티클의 건조시간 단축에 의하여 생산성의 향상에도 크게 기여할 수 있다.

<표 7-17> 파티클의 함유율과 이소시아네이트수지 책상판의 휨성질

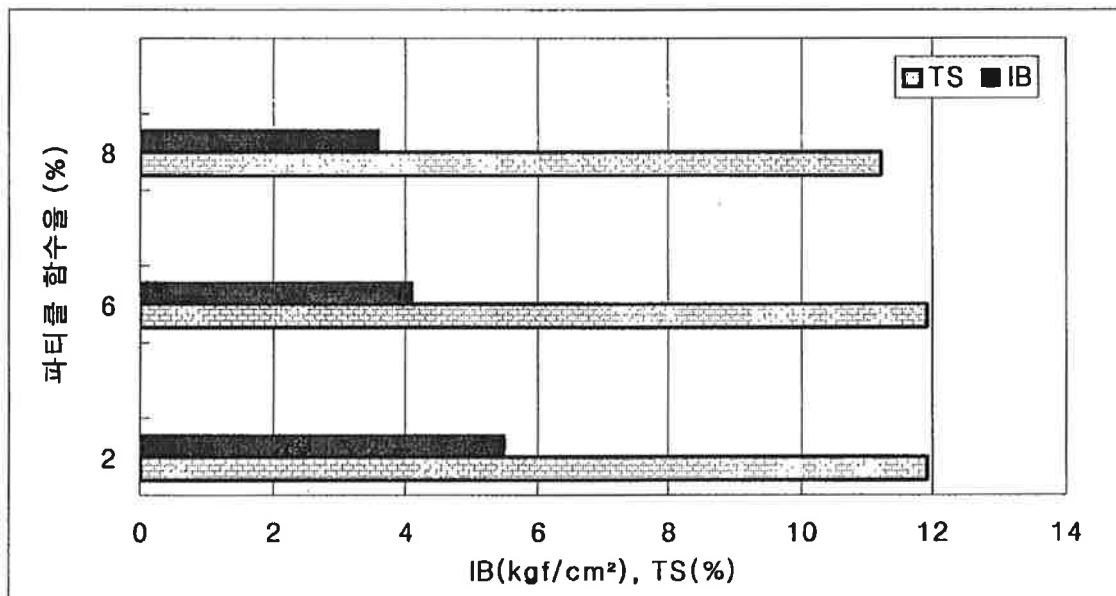
함수율 (%)	밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kg/cm ²)	휨영계수 (Tonf/cm ²)	회귀식 (상관계수)	밀도(g/cm ³)*
					0.7
2	0.68±0.02	229.6±24.9	36.0±3.0	영계수 $y = 118.19x - 44.27(0.88)$	38.5
				강도 $y = 976.09x - 433.39(0.88)$	249.9
6	0.67±0.04	225.1±23.1	35.3±3.9	영계수 $y = 90.40x - 25.41(0.88)$	37.9
				강도 $y = 488.82x - 103.24(0.74)$	238.9
8	0.69±0.03	232.2±30.8	34.8±3.3	영계수 $y = 108.50x - 40.30(0.93)$	35.7
				강도 $y = 867.17x - 368.21(0.69)$	238.8

* 밀도와 휨성질로부터 구한 회귀식에서 계산한 휨성질 값

함수율 2, 6, 8%로 조정된 파티클과 미건조(18%)의 중층용 파티클에 고품분 함량의 50% 에멀전화 이소시아네이트 수지를 사용하여 함유율 7.5%, 상판온도 210℃, 하판온도 190℃, 압력 60kgf/cm²에서 가압시간은 1차 가압 130초, 2차 가압 82초를 적용하여 제조한 책상판의 휨성질은 <표 7-17>, <그림 7-59>, 박리강도 및 흡수두께팽창률은 <그림 7-60>에 나타내었다.



<그림 7-59> 이소시아네이트수지 책상판의 휨성질에 미치는 파티클 함유율의 영향 (밀도 : 0.7 g/cm³).



<그림 7-60> 이소시아네이트수지 책상판의 TS 및 IB에 미치는 파티클 함유율의 영향
표에 나타난 회귀식으로부터 동일밀도 0.7g/cm³에서 구한 휨강도 및 휨영계수는 함

수율 6%와 8%에서는 거의 차이가 없었으며 2%에 비해 약간 낮았다. 그러나 건조를 하지 않은 함유율 18% 파티클로 제조한 책상판은 외형상은 별 이상이 없었으나, 시험편 제작시 쉽게 파괴되어 고형분 50%의 에멀전화 이소시아네이트수지로는 제조가 불가능하였다. 흡수두께팽창률은 파티클의 함유율에 따라 거의 차이가 없이 모두 GR규격을 만족하였으나, 박리강도는 함유율이 높을수록 감소하였다. 즉 에멀전화 이소시아네이트수지에 의해 파티클의 함유율 8%까지는 충분히 제조가 가능하나 그 이상에서는 수지의 고형분이나 열압시간 등의 조정이 필요할 것으로 생각되었다.

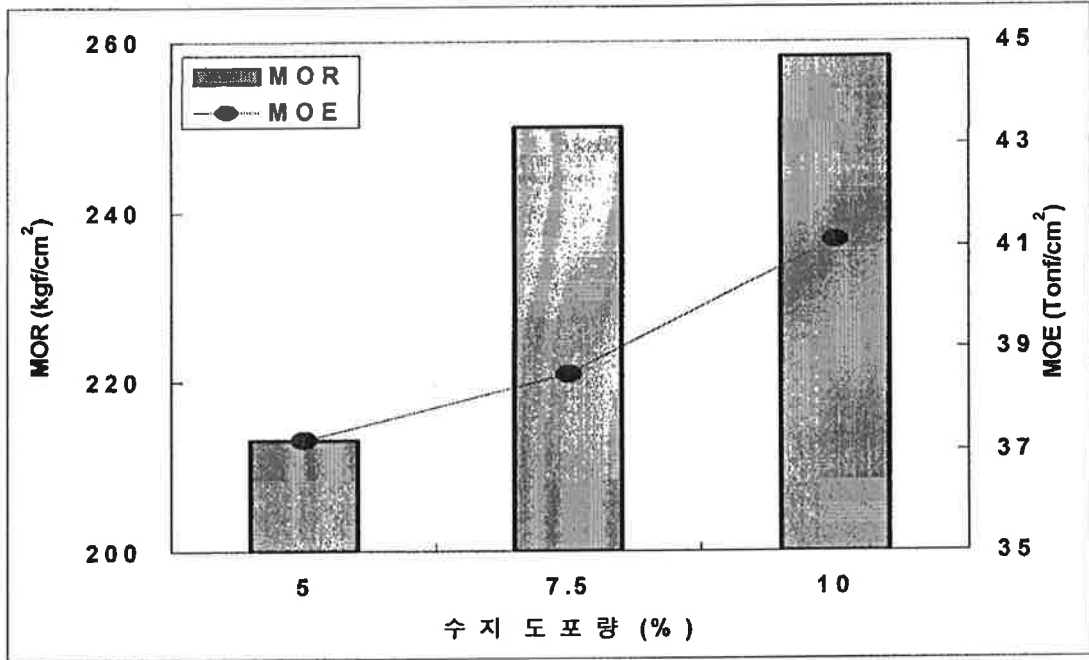
3) 이소시아네이트 수지로 책상판 제조시 수지 도포량의 영향

함수율 2%로 건조한 중충용 파티클에 고형분 함량 50%의 에멀전화 이소시아네이트 수지를 사용하여 함유율을 5, 7.5 및 10%로 변화하여, 상판온도 210℃, 하판온도 190℃, 압력 60kgf/cm²에서 가압시간은 1차 가압 130초, 2차 가압 82초를 적용하여 제조한 책상판의 휨성질은 <표 7-18>, <그림 7-61>, 박리강도 및 흡수두께팽창률은 <그림 7-62>에 나타내었다.

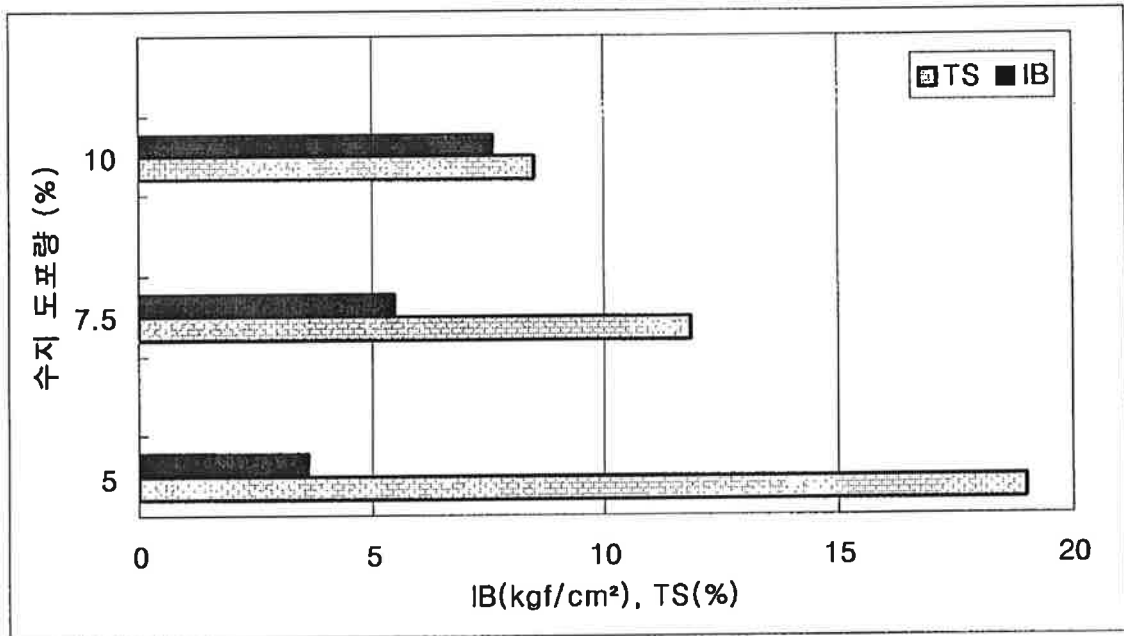
표에 나타난 회귀식으로부터 동일밀도 0.7g/cm³에서 구한 휨강도 및 휨영계수는 함유율이 5%에서 10%로 증가함에 따라 증가하였으며, 함유율 5%에서도 GR기준을 크게 상회하여 기존의 수지에 비해 거의 절반의 수지 도포율에서도 양호한 휨성질을 나타내었다. 박리강도도 함유율이 증가함에 따라 증가하였으며 5%도 GR기준을 만족하였으나 흡수두께팽창률은 함유율이 증가함에 따라 감소하였고, 5% 함유율에서는 GR 기준인 12%를 초과하였다. 따라서 함유율은 적어도 7%이상은 유지해야 할 것으로 판단된다.

<표 7-10> 수지 도포량과 이소시아네이트수지 책상판의 휨성질

도포량 (%)	밀도 (g/cm ³)	휨 강도 (kg/cm ²)	휨영계수 (Tonf/cm ²)	회귀식 (상관계수)	밀도(g/cm ³) 0.7
5	0.67±0.03	194.3±22.0	33.3±4.1	영계수 y = 119.70x - 46.55(0.91)	37.2
				강 도 y = 576.29x - 190.29(0.73)	213.1
7.5	0.68±0.02	229.6±24.9	36.0±3.0	영계수 y = 118.18x - 44.27(0.88)	38.5
				강 도 y = 976.09x - 433.39(0.88)	249.9
10	0.70±0.03	258.3±43.7	41.1±5.0	영계수 y = 159.24x - 70.36(0.93)	41.1
				강 도 y = 1152.9x - 548.83(0.63)	258.2



<그림 7-61> 이소시아네이트수지 책상판의 휨성질에 미치는 수지 도포량의 영향
(밀도 : 0.7 g/cm³).



<그림 7-62> 이소시아네이트수지 책상판의 TS 및 IB에 미치는 수지 도포량의 영향

4) 이소시아네이트 수지로 책상판 제조시 수지 고형분의 영향

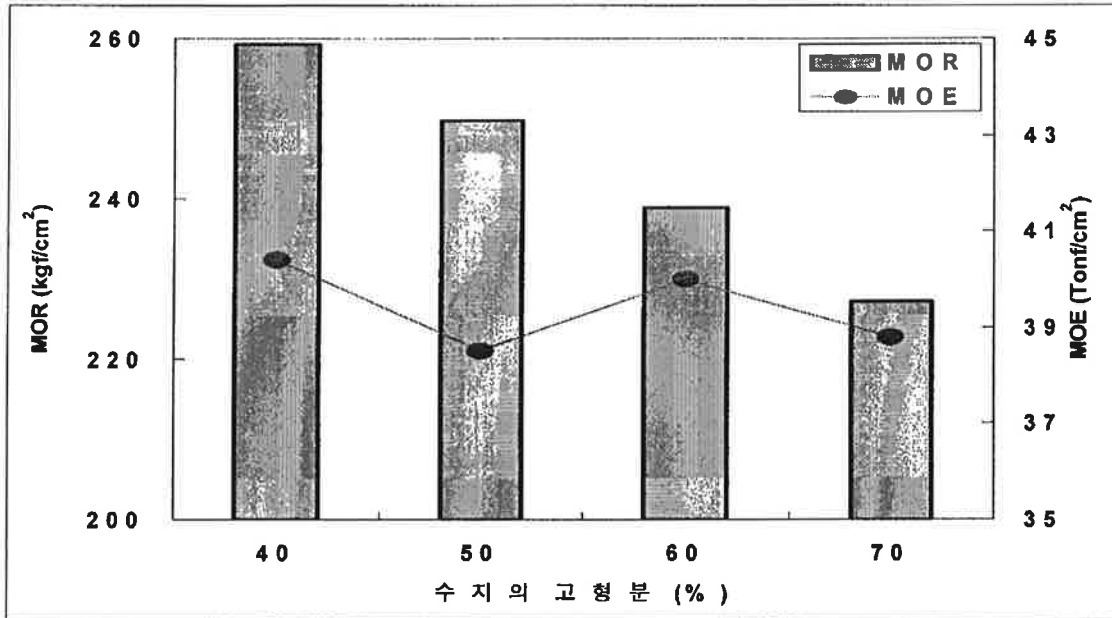
함수율 2%로 건조한 중충용 파티클에 고형분 함량 40, 50, 60, 70%로 변화시켜 에 멀전화한 이소시아네이트 수지를 사용하여 함지율 7.5%, 상판온도 210℃, 하판온도 190℃, 압력 60kgf/cm²에서 가압시간은 1차 가압 130초, 2차 가압 82초를 적용하여 제조한 책상판의 휨성질은 <표 7-19>, <그림 7-63>, 박리강도 및 흡수두께팽창률은 <그림 7-64>에 나타내었다.

표에 나타낸 회귀식으로부터, 동일밀도 0.7g/cm³에서 구한 휨강도 및 휨영계수는 수지의 고형분량이 40%에서 70%로 증가됨에 따라 감소하였으며, 가장 낮은 값을 나타낸 고형분 70%에서도 GR기준을 크게 상회하였다. 박리강도는 고형분이 증가함에 따라 증가하였으며 고형분 40%도 GR기준을 만족하였으나 흡수두께팽창률은 고형분 60%만 GR기준을 초과하였고 나머지는 모두 기준을 충족하였다.

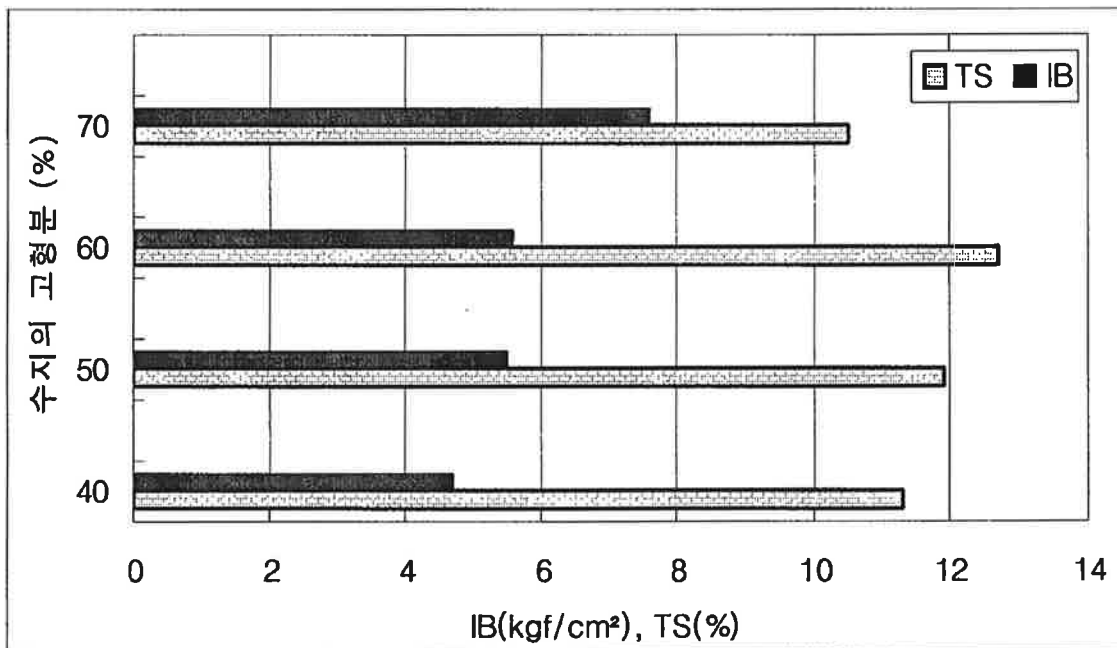
특히 이소시아네이트기는 수분과도 반응하기 때문에 고함수재에도 비교적 우수한 접착성능을 나타내는 것으로 알려져 있으나 고형분 50%의 수지로 제조한 책상판의 경우 외형은 유지되나 실질적인 강도성능은 거의 발휘되지 않았다. 이때의 매트 함수율이 20.7%로 매우 높았기 때문에 충분한 수분(수증기)의 제거가 이루어지지 않았기 때문이라고 생각된다. 따라서 수지의 고형분을 높게 조정하면 매트 함수율도 낮추고 책상판의 성능도 개선될 것으로 판단되어 고함수 파티클(미건조: MC 18%)을 사용하여 수지의 고형분을 60, 70%로 조정한 수지에 의해 책상판을 제조하고 성능을 평가하였다.

<표 7-19> 수지의 고형분과 이소시아네이트수지 책상판의 휨성질

고형분 (%)	밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨영계수 (Tonf/cm ²)	회귀식(상관계수)	
				영계수 y =	강도 y =
40	0.68±0.04	243.4±42.9	38.2±5.9	영계수 y = 132.73x - 52.52(0.98)	40.4
				강도 y = 965.98x - 416.93(0.98)	259.3
50	0.68±0.02	229.6±24.9	36.0±3.0	영계수 y = 118.19x - 44.27(0.88)	38.5
				강도 y = 976.09x - 433.39(0.88)	249.9
60	0.69±0.02	231.4±20.6	39.1±2.4	영계수 y = 77.63x - 14.30(0.65)	40.0
				강도 y = 622.66x - 196.85(0.56)	239.0
70	0.66±0.02	204.6±15.7	34.4±2.5	영계수 y = 113.10x - 40.36(0.96)	38.8
				강도 y = 575.75x - 175.71(0.62)	227.3



<그림 7-63> 이소시아네이트수지 책상판의 휨성질에 미치는 수지 고형분의 영향
(밀도 : 0.7 g/cm³)



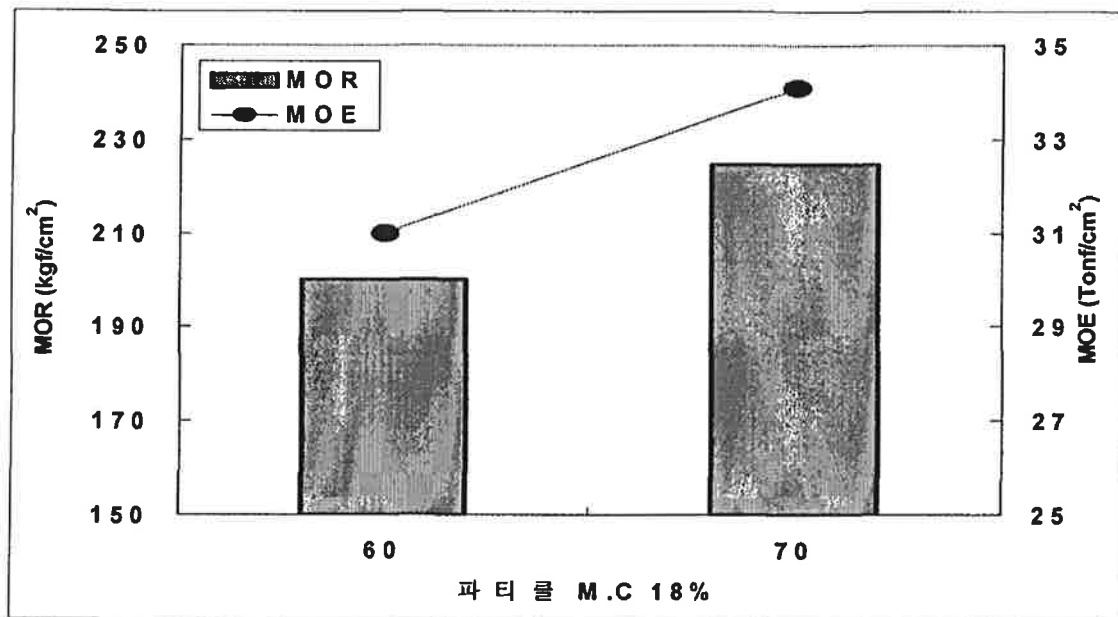
<그림 7-64> 이소시아네이트수지 책상판의 TS 및 IB에 미치는 수지 고형분의 영향

<표 7-20>, <그림 7-63>에 책상판의 휨성질은, 박리강도 및 흡수두께팽창률은

<그림 7-64>에 나타내었다. 고형분 60%일 때의 매트 함수율은 19.1%, 70%일 때는 17.7%였다. 앞에서 언급한 바와 같이 고형분 50%에서는 휨강도가 거의 발휘되지 않았으나 고형분 60% 이상에서는 GR기준을 만족하는 책상판의 제조가 가능하였으며, 고형분량이 증가할수록 우수하였다. 그러나 전항의 실험재료에서 제시한 바와 같이 고형분량이 증가하면 수지의 점도 상승이 촉진되어 가사시간에 제약이 있어 충분한 공정관리하에서 고형분의 조정이 수반되어야 할 것으로 생각되었다.

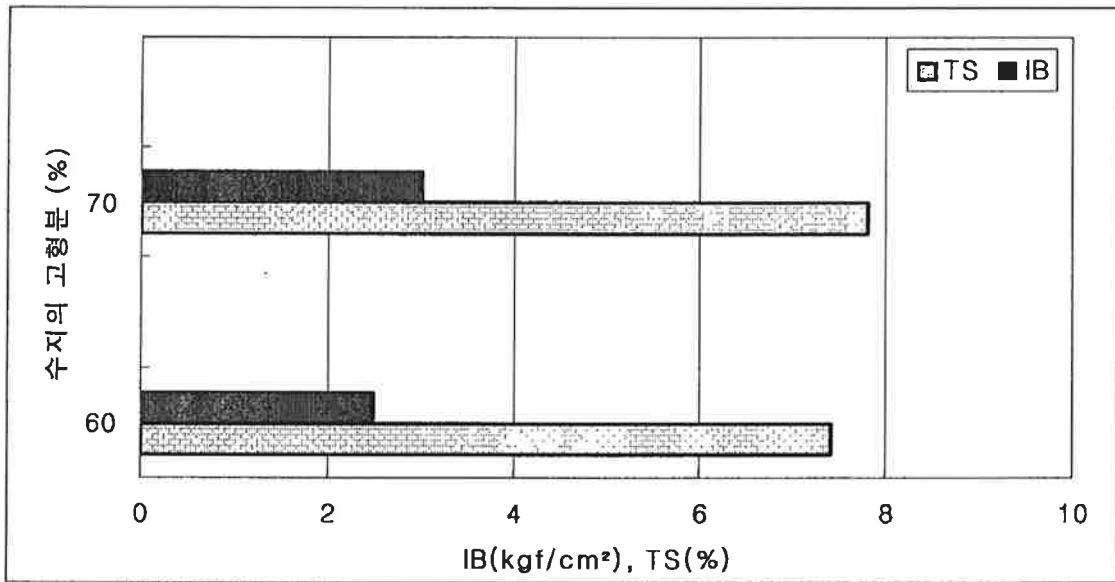
<표 7-20> 고함수 파티클(18%)에 대한 수지 고형분과 이소시아네이트수지 책상판의 휨성질

고형분 (%)	밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨영계수 (Tonf/cm ²)	회귀식(상관계수)	밀도(g/cm ³) 0.7
60	0.66±0.04	171.8±29.8	26.3±4.4	영계수 $y = 105.74x - 43.04(0.92)$	31.0
				강도 $y = 637.71x - 246.12(0.72)$	200.3
70	0.67±0.06	201.8±42.1	30.5±6.6	영계수 $y = 116.87x - 47.68(0.99)$	34.1
				강도 $y = 736.13x - 290.57(0.97)$	224.7



<그림 7-65> 고함수 파티클(18%)에 대한 이소시아네이트수지 책상판의 휨성질에 미치는 수지 고형분의 영향(밀도 : 0.7 g/cm³)

그러나 흡수두께팽창률은 오히려 저함수 파티클로 책상판을 제조할 때보다 낮았으며, 박리강도는 고형분 60%에서는 GR기준을 만족하지 못하였으나 70%는 겨우 만족하는 수준이었다. 이상의 결과에서 수지의 고형분은 파티클의 함수율에 따라 적절히 조정하는 것이 바람직할 것으로 생각되며, 적어도 매트 함수율 10%이하에서는 충분히 GR규격을 만족하는 책상판의 제조가 가능할 것으로 생각되었다.



<그림 7-66> 고함수 파티클(18%)에 대한 이소시아네이트수지 책상판의 IB 및 TS에 미치는 수지 고형분의 영향

5) 이소시아네이트 수지로 책상판 제조시 가압시간의 영향

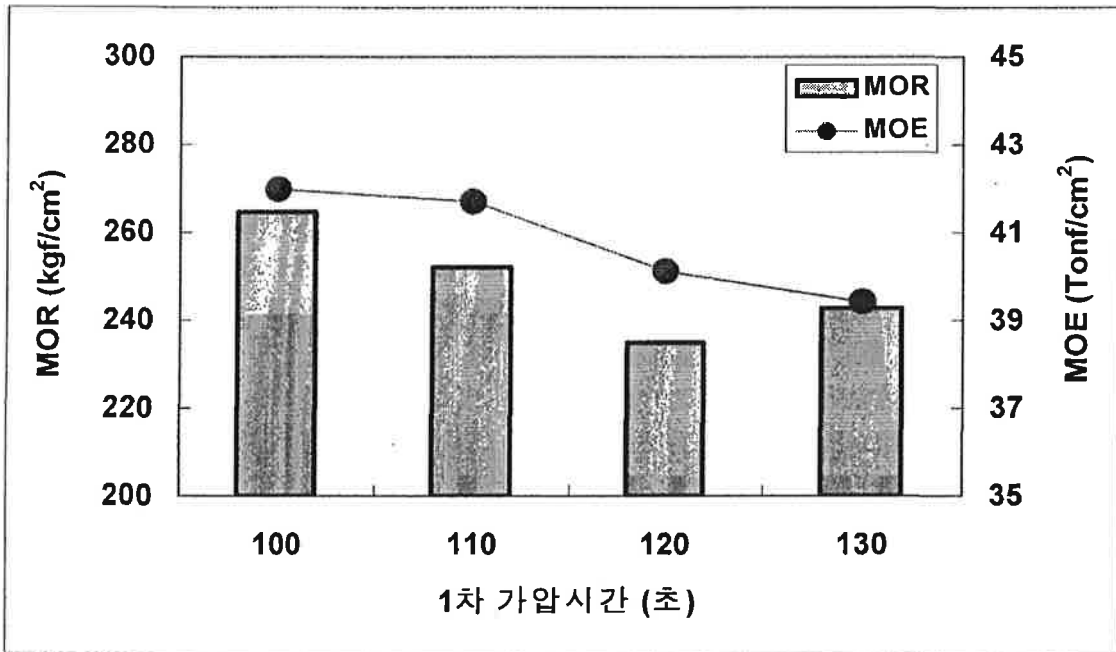
함수율 2%로 건조한 중충용 파티클에 고형분 함량 50%로 에멀전화한 이소시아네이트 수지를 사용하여 함수율 7.5%, 상판온도 210℃, 하판온도 190℃, 압력 60kgf/cm²에서 2차가압시간을 82초로 고정하고 1차 가압시간을 100~130초로 변화하거나 1차-2차 가압시간을 120-72, 130-82 및 140-92초를 적용하여 제조한 책상판의 휨성질은 <표 7-21>, <그림 7-67, 68>, 박리강도 및 흡수두께팽창률은 <그림 7-69, 70>에 나타내었다.

표에 나타낸 회귀식으로부터 동일밀도 0.7g/cm³에서 구한 휨강도 및 휨영계수는 2차가압시간을 82초로 고정하고 1차의 가압시간을 100초에서 140초로 변경하였을 때 시간이 길어질수록 감소하는 경향을 나타내었으며, 또한 1차 및 2차 가압시간에 각각 10초의 시간 차이를 두었을 때도 휨성질은 오히려 가압시간이 길 때 낮았다.

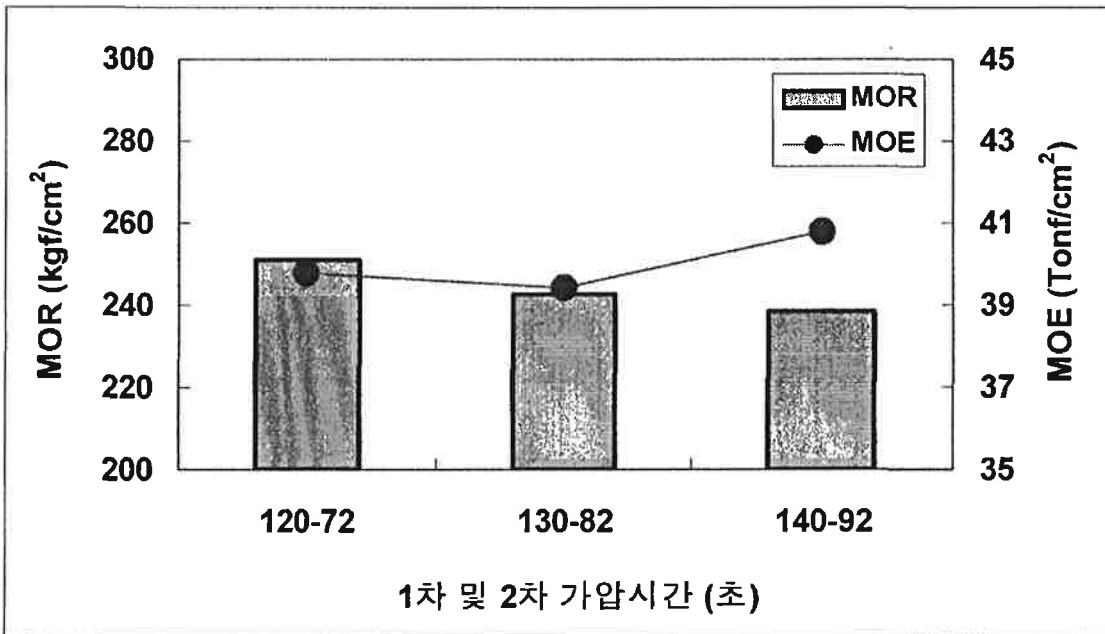
박리강도도 1차의 가압시간 100초일 때가 120~140초일 때보다 우수하였으며, 흡수 두께팽창률도 낮았다. 또한 1차 및 2차 가압시간에 각각 10초의 시간 차이를 두었을 때의 박리강도는 긴 가압시간이 약간 우수하였으나 거의 차이가 없었으며, 흡수두께 팽창률은 오히려 짧은 가압시간이 더 낮았다. 전체적으로 1차 및 2차의 가압시간이 짧은 쪽이 오히려 더 우수한 성능을 나타내고 있어 전체 가압시간의 현저한 단축이 가능할 것으로 생각되며, 이는 생산성의 향상에 크게 기여할 것으로 기대되었다.

<표 7-21> 가압시간과 이소시아네이트수지 책상판의 휨성질

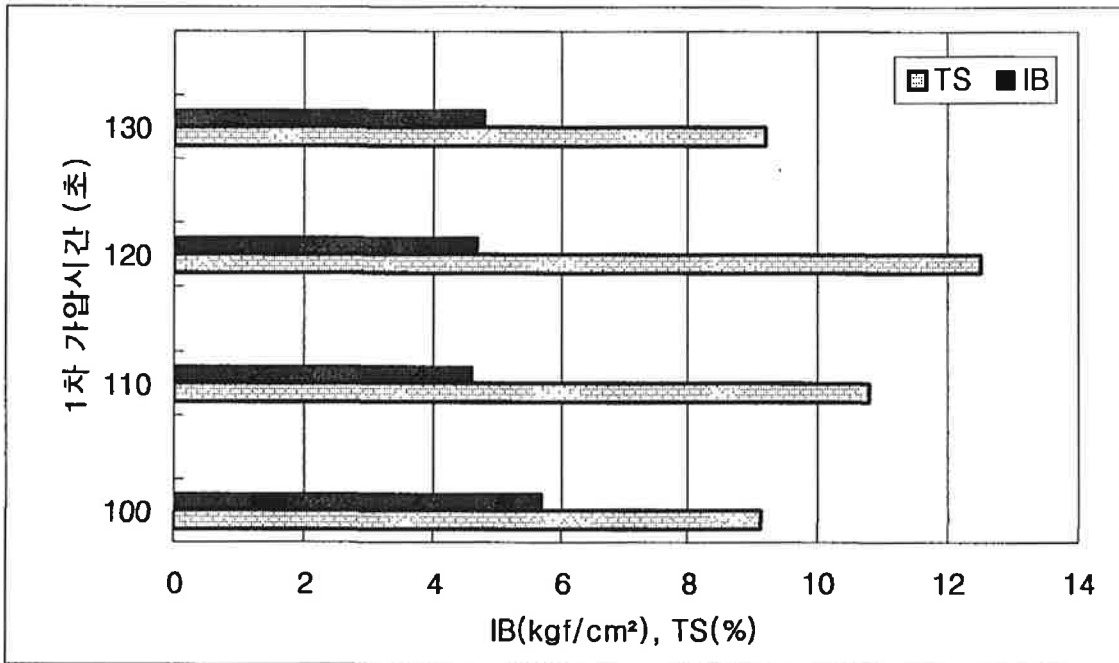
시간 (초)	밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨영계수 (Tonf/cm ²)	회귀식(상관계수)	밀도(g/cm ³)
					0.7
100-82	0.66±0.04	235.5±28.8	35.8±6.0	영계수 $y = 138.91x - 55.22(0.99)$	42.0
				강도 $y = 652.59x - 192(0.97)$	264.8
110-82	0.69±0.04	246.6±29.9	40.5±5.8	영계수 $y = 147.71x - 61.66(0.92)$	41.7
				강도 $y = 670.91x - 217.66(0.71)$	252.0
120-82	0.69±0.03	232.3±15.2	39.3±3.2	영계수 $y = 111.14x - 37.70(0.96)$	40.1
				강도 $y = 372.38x - 25.772(0.48)$	234.9
130-82	0.68±0.06	231.6±37.3	37.4±6.7	영계수 $y = 104.02x - 33.38(0.99)$	39.4
				강도 $y = 563.65x - 151.74(0.95)$	242.8
120-72	0.70±0.05	251.7±19.9	40.0±4.0	영계수 $y = 87.04x - 21.16(0.99)$	39.8
				강도 $y = 369.36x - 7.7484(0.71)$	250.8
140-92	0.66±0.02	219.1±17.1	36.9±2.7	영계수 $y = 97.35x - 27.32(0.78)$	40.8
				강도 $y = 483.31x - 99.787(0.49)$	238.5



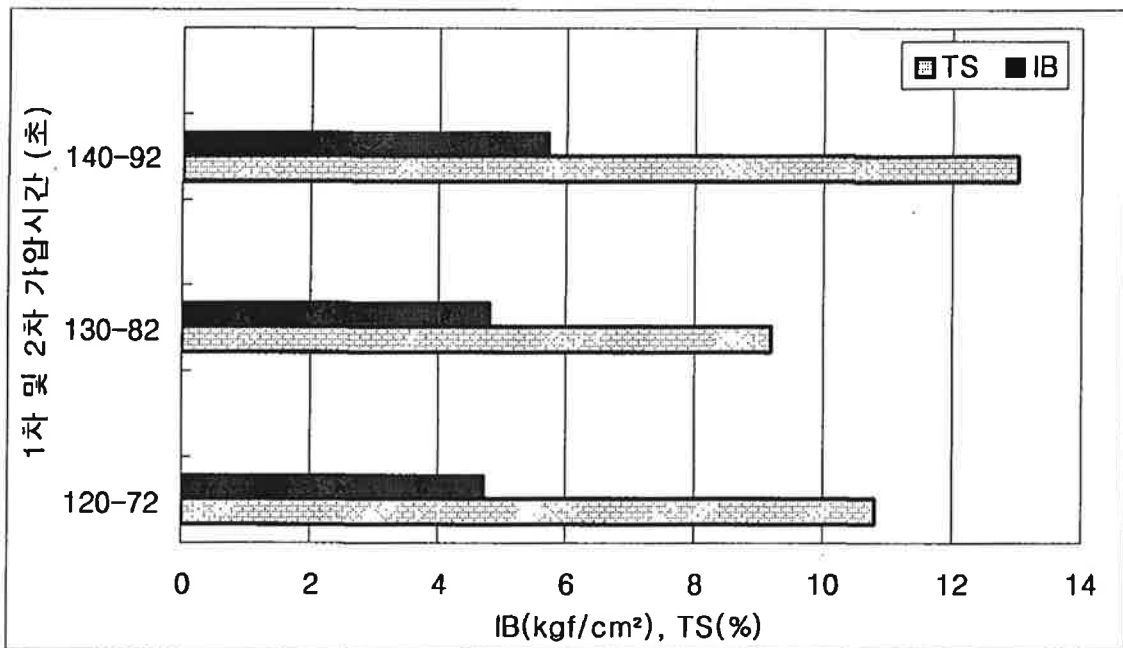
<그림 7-67> 이소시아네이트수지 책상판의 휨성질에 미치는 1차 가압시간의 영향
(밀도 : 0.7 g/cm³, 2차 가압시간 82초로 고정)



<그림 7-68> 이소시아네이트수지 책상판의 휨성질에 미치는 1차 및 2차 가압시간의 영향(밀도 : 0.7 g/cm³)



<그림 7-69> 이소시아네이트수지 책상판의 IB 및 TS에 미치는 1차 가압시간의 영향 (2차 가압시간 82초로 고정)



<그림 7-70> 이소시아네이트수지 책상판의 IB 및 TS에 미치는 1차 및 2차 가압시간의 영향

7) 기존의 요소·멜라민과 이소시아네이트 수지간의 성능 비교

함수율 2%로 건조한 중층용 파티클에 기존의 요소·멜라민수지(UMF, 고형분 56%, 함지율 12%) 및 에틸렌화 이소시아네이트수지(EPMDI, 고형분 50%, 함지율 7.5%)를 사용하여 다음과 같은 조건으로 책상판을 제조하여 그 성능을 비교하였다. 상판온도 210℃, 하판온도 190℃, 압력 60kgf/cm²에서 가압시간은 1차 가압 130초, 2차 가압 82초를 적용하였다. <표 7-22>, <그림 7-71>에 휨성질, <그림 7-72>에 박리강도 및 흡수두께팽창률을 나타내었다.

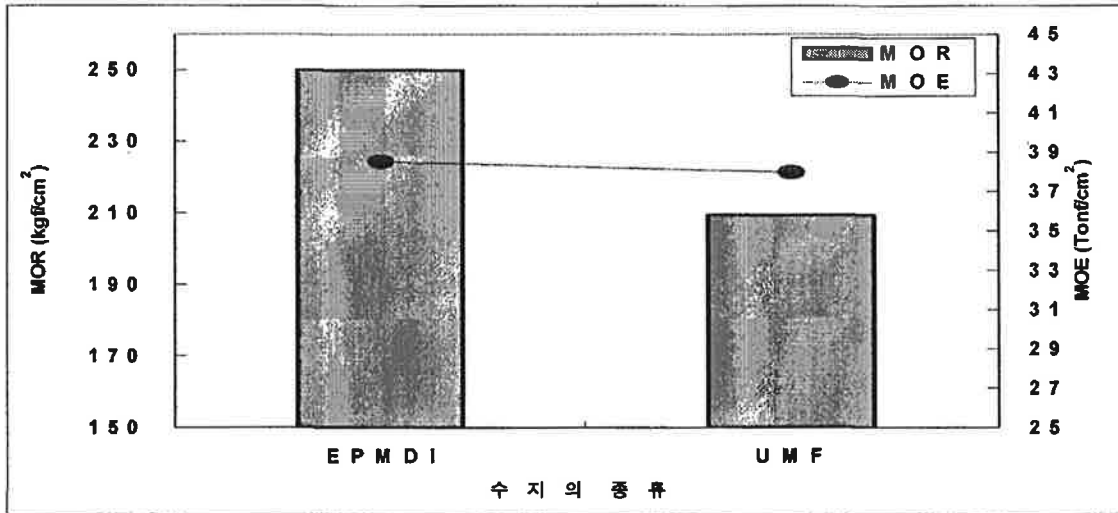
표에 나타낸 회귀식으로부터 동일밀도 0.7g/cm³에서 구한 휨강도 및 휨영계수는 EPMDI수지로 제조한 책상판이 현재 사용하는 UMF수지의 책상판보다 크게 우수하였으며, 박리강도와 흡수두께팽창률도 UMF 수지에 비해 우수하였다.

<표 7-22> 이소시아네이트와 UMF 수지 책상판의 휨성질 비교

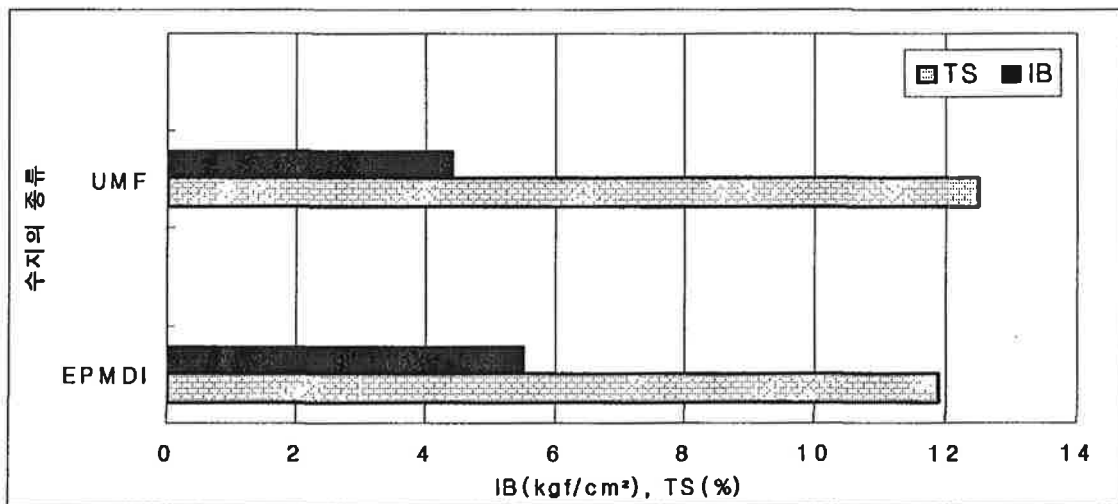
수지	밀도 (g/cm ³)	휨 강도 (kg/cm ²)	휨영계수 (Tonf/cm ²)	회귀식(상관계수)	
				영계수	밀도(g/cm ³)
EPMDI	0.68±0.02	229.6±24.9	36.0±3.0	y = 118.19x - 44.27(0.88)	0.7
				강 도 y = 976.09x - 433.39(0.88)	38.5
UMF	0.67±0.02	180.9±32.8	34.8±3.0	y = 122.01x - 47.44(0.97)	0.7
				강 도 y = 1104x - 563.32(0.69)	209.5

8) 이소시아네이트 수지에 의한 책상판 제조의 경제성

이소시아네이트 수지에 의한 책상판 제조의 경제성을 분석해보면 먼저 수지자체는 kg당 3,000원선으로 기존의 수지에 비해 3배 이상 고가이다. 따라서 책상판 제조시의 원가액을 제시하기는 곤란하나, 전체 제조원가에 대한 비율을 <표 7-23>에 나타낸 바와 같이 수지가 차지하는 비율이 약 3.6% 상승하였으며, 책상판 1개 제조시 약 217원의 수지원가가 상승되었다. 그러나 전 항에서 검토한 바와 같이, 사용 가능한 함수 범위가 UMF 수지의 2%에 비해 매우 높은 8% 정도까지도 가능하기 때문에 약 23원의 건조비를 줄일 수 있으며, 가압시간의 단축 등으로 노무비를 178원, 향상된 생산성 등에 의해 기타에서 24원의 원가 절감이 발생하기 때문에 충분히 적용가능성이 있을 것으로 기대되었다.



<그림 7-71> 이소시아네이트와 UMF 수지로 제조한 책상판의 휨성질 비교(밀도 : 0.7 g/cm³)



<그림 7-72> 이소시아네이트와 UMF 수지로 제조한 책상판의 TS, IB 비교

<표 7-23> 이소시아네이트와 UMF 수지의 생산원가 비율 비교(책상판 1개당)

항목	원재료(수지제외)	수지비	노무비	기타	계
EPMDI	59.7	15.7	14.9	9.7	100
UMF	59.8	12.1	18.5	9.6	100

다. 결과 요약

이상의 결과로부터 에멀전화 이소시아네이트계 수지에 의한 책상판의 제조가 가능하며 성능은 기존의 UMF수지보다도 거의 모든 부분에서 우수하였다. 제조 적성에서는 기존의 수지에 비해 매우 함수상태가 높은 8~10%정도까지도 큰 성능의 저하 없이 제조가 가능하여 건조시간과 에너지를 크게 감소시킬 수가 있으며 생산성 향상 효과도 매우 높을 것으로 기대되었다. 수지의 도포량은 UMF의 12%에 비해 거의 40% 이상 적은 7.5%에서 제조가 가능하며, 수지의 고형분량은 파티클의 함수 상태에 따라 조절할 필요가 있으며 함수율이 높을 때는 70% 정도의 높은 고형분으로 함수율이 낮을 때에는 40% 정도의 고형분에서 충분한 성능의 책상판 제조가 가능하였으며, 매트 함수율 10~15% 정도까지도 GR기준을 만족하는 책상판의 제조가 가능할 것으로 생각되었다.

생산성과 밀접한 관련이 있는 가압시간은 본 연구에서 채택한 가압시간 조건에서는 오히려 짧은 시간에서 우수한 성능을 나타내어, 최소 10%이상의 가압시간 단축효과가 있으며, 타 공정의 적절한 관리에 의해서는 보다 더 단축이 가능할 것으로 생각되었다.

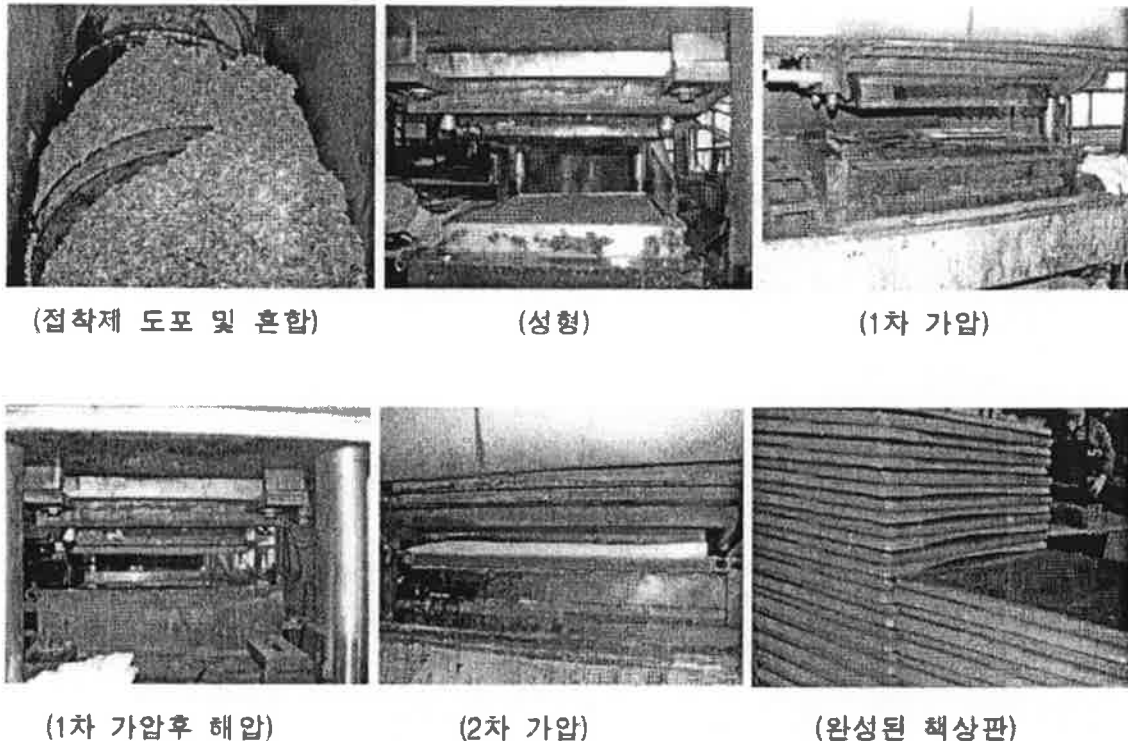
경제적인 측면에서도 수지 자체는 kg당 3,000원선으로 기존의 수지에 비해 3배 이상 고가이기 때문에 책상판 1개 제조시 약 217원의 수지원가가 상승된다. 그러나 원자재 건조비에서 23원, 노무비(생산성 향상)에서 178원 기타에서 24원의 원가 절감이 발생하기 때문에 충분히 적용가능성이 있을 것으로 생각된다.

단지 금후 해결해야 할 과제 중의 하나는 금속과의 우수한 접착성으로 인해 프레스 판에 부착되어 전 파티클에 이소시아네이트 수지를 사용하기에는 다소 무리가 따르며, 외국에서와 같이 내·이부 이형제의 개발이나 본 연구에 적용한 바와 같이 표층에는 기존의 수지를 사용하고 중층에만 이소시아네이트 수지를 사용하는 방법이 효과적일 것으로 생각된다.

9. 시제품 제작

지금까지 검토한 결과를 토대로 최적 조건에서 시제품을 제조하였다. 시제품은 2종류로 하나는 요소·멜라민 수지를, 다른 하나는 이소시아네이트 수지를 사용하여 각 10매의 책상판을 제조하였다.

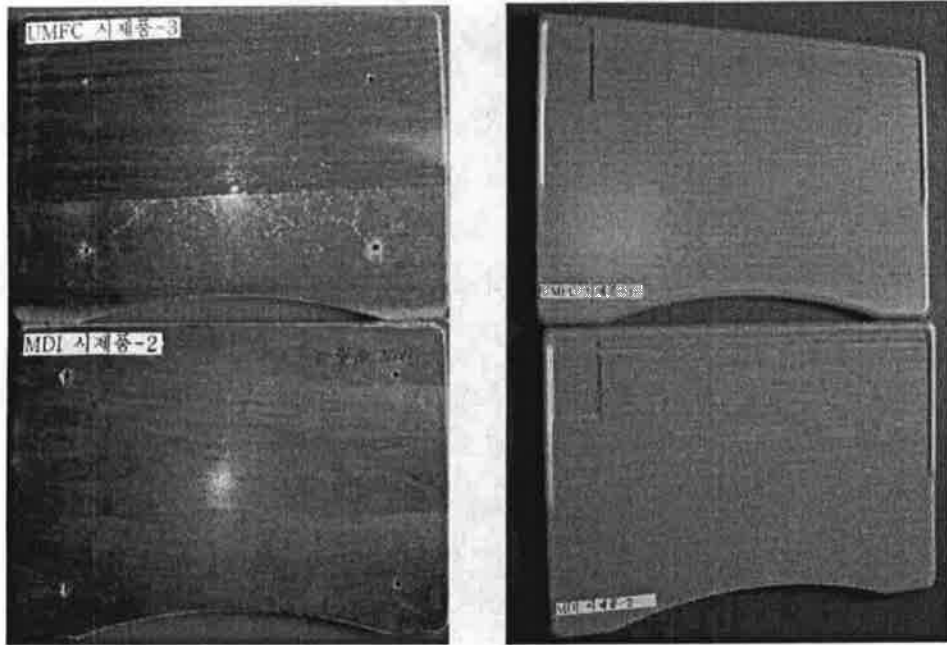
요소·멜라민 수지에 의한 성형은 표층용의 고운 파티클과 중층용의 거친 파티클의 비율이 30% : 70%였으며 함수율은 약 2%까지 건조하여 사용하였다. 수지 도포량은 표층용에는 10~12%, 중층용에는 10%로 하였으며, 온도는 190~210℃, 압력은 60kg/cm², 가압시간은 1차 130초, 2차 80초였다.



<그림 7-73> 시제품 제조 과정

이소시아네이트 수지에 의한 성형은 표층용의 고운 파티클과 중층용의 거친 파티클의 비율이 35% : 65%였으며 함수율은 약 2%까지 건조하여 사용하였다. 표층에는 프레스판에의 부착으로 인해 기존의 요소·멜라민수지를 10% 도포하였으며, 중층에는 고휘분 60%의 이소시아네이트 수지를 7%로 도포하였다. 온도는 190~210℃, 압력은

60kg/cm², 가압시간은 1차 130초, 2차 80초였다. 시제품의 제조 과정 및 제조한 시제품은 <그림 7-73, 74, 75>와 같다.



<그림 7-74> 시제품의 전면(우측)과 후면(좌측)



<그림 7-75> 조립한 학생용 책상 시제품

제 8 절 폐지를 이용한 기능성 복합보드 개발

1. 서 설

최근, 고도의 경제성장을 뒷받침하는 산업 활동의 결과로 산업쓰레기의 배출량이 급격히 증가하였으며, 활발한 소비활동으로 인한 생활쓰레기 배출량도 상당량 늘어나고 있다. 쓰레기 종량제 실시 이후, 일시적으로 쓰레기배출량이 감소하였으나 쓰레기 분리 및 수거된 재활용품의 일부를 제외하고는 효율적 이용방안이 적극적으로 제안되거나 실용화되지 못하고 있는 관계로 다시 쓰레기 배출량이 증가하고 있는 추세이다. 생활쓰레기의 배출량을 줄이기 위한 스스로의 노력도 중요하지만, 배출된 쓰레기를 분리하여 적당한 재료로 만들어 적소에 활용을 극대화시켜 자원으로써 재창조하는 노력이 보다 시급한 과제로 생각된다.

이러한 생활쓰레기 중 목질계 자원인 폐지는 제지산업에 현재 재이용되고 있지만, 대부분의 종이류 분리수거에 대한 중요성을 거의 인지하지 못하고 있으며, 분리수거에 대한 호응도도 매우 저하되고 있는 상황이다. 즉 일반적으로 신문지, 잡지, 골판지, 백상지, 코팅지 등의 세부적인 분리는 불가능하다는 문제를 내포하고 있어 분리된 종이류가 제지회사에 공급되지 못하는 경우도 많아지게 되었다. 혼합된 폐지의 경우에는 제지용 소재로의 사용이 사실상 어렵기 때문에 그 이용도가 매우 낮고, 대부분의 고지는 이용도가 제한적인 이유로 다시 소각 및 매립에 의해 처리되고 있는 실정이다. 이러한 원인으로 다이옥신과 침출수 발생 등에 따른 2차 환경오염이 환경적, 사회적 문제점으로 대두되고 있다. 현재 발생하고 있는 생활쓰레기 전체량의 약 27%를 점하고 있음에도 불구하고 자원으로써 활용되지 못하고 있으며, 분리 수거된 폐지류의 경우도 재생지의 원료로 사용되는 데는 많은 문제점이 있다. 이러한 이유로는 재생지 생산시 일정 수준의 동급·동질의 지류로 구성되어 있어야만 종이생산 원료로서의 이용이 가능하다. 분리 수거된 폐지류를 다시 신문지, 인쇄용지, 골판지 등으로 분류한다는 것은 막대한 인력이 소요되며, 소요인력 운용시 발생하는 인건비는 재생지 생산 단가 측면에서 현실적으로 불가능하기 때문에 재생지 생산업자들도 현재 거의 생산을 중단하고 있는 현실에 있다. 이러한 이유로 폐지류를 각각 분류하지 않고 사용할 수 있는 용도를 개발하는 문제는 실로 시급하다고 할 수 있겠다.

또한, 건축 산업의 발달과 함께 건축 내장소재 산업도 발달해 왔으며, 건축 내장 소재의 경우 목재, 유리, 합성고분자, 철판 등 실로 다양하게 사용되고 있다. 최근 들어 석유화학 공업의 발달로 저가의 합성고분자가 대량으로 사용되고 있으며, 현재에는 이러한 합성고분자의 경우 건축 내장 소재뿐만 아니라 사용이 필수적인 산업이 다량 발생하였기 때문에 합성고분자의 중요성은 매우 강조되고 있다. 이러한 상황에서 목질계 자원의 완전이용을 위한 많은 방법들이 연구되고 있지만, 최근에는 새로운 목질계 자원의 이용연구로 석유화학계에서 생산되고 있는 각종제품들과 유사한 기능을 보유한 재료를 개발하는 방법의 연구가 진행되고 있다. 따라서 이러한 폐지의 고부가가치화 및 새로운 용도 개발에 관한 연구가 필요하며 본 연구과제에서는 이러한 생활쓰레기 중 폐지류의 선별과 선별된 섬유 특성조사 및 이들 섬유를 이용한 복합소재 개발하고, 이를 이용하고자 하는 데 중점을 두고 진행하였다.

2. 폐지의 해리처리기술 개발

가. 재료 및 방법

1) 실험재료

본 과제의 공시재료는 본 경북대학교 내에서 발생하는 신문용지, 전산용지, 골판용지를 사용하였다.

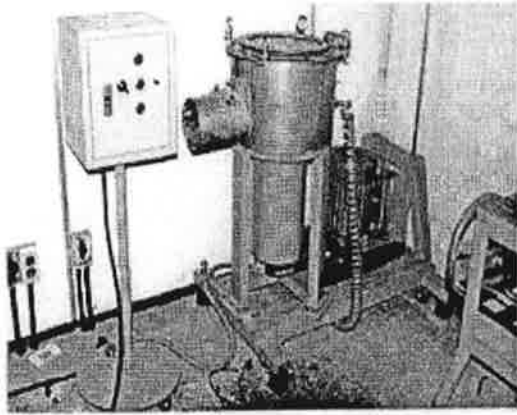
2) 실험방법

각 폐지는 본 연구기관에서 보유한 건식 지류 해리기를 이용하여 각 조건별로 건식해리 하였으며, 건식 해리된 섬유의 성상을 조사하였다. 원료의 성상분석은 해리시간에 따른 건식해리 폐지의 입자 크기를 고찰하고, 각 조건별 건식해리 섬유의 섬유장 측정 및 함수율을 측정하였다.

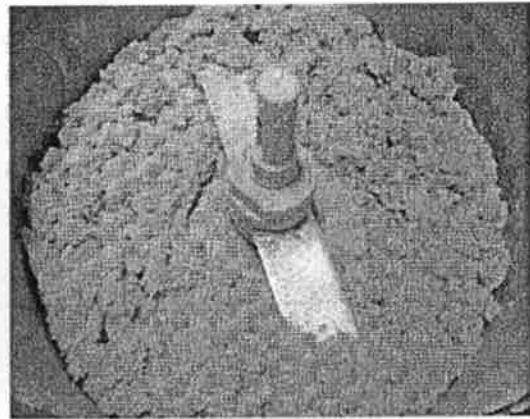
복합보드 제조를 위해서 각 섬유의 물리적 특성 구명은 반드시 요구되는 실험사항이라 할 수 있으며, 이에 따라 본 연구에서는 건식해리된 섬유의 추출성분 분석, 해리시간과 함수율에 따른 섬유분포 변화, 지종에 따른 입자크기별 섬유분포 변화 및 건식해리된 섬유의 회분함량을 각각 측정하였다.

가) 해리시간에 따른 폐지의 입자 크기 변화

본 연구실에서 배출되는 신문용지, 전산용지, 골판용지를 엄선하여 문서파쇄기를 통과시켜 0.2×2.5cm 크기로 절단된 시료를 원료로 하였다. 또한, 본 연구실에서 설계·제작한 단속식 건식지류해리기 <그림 8-1>를 사용하여 <표 8-1>의 조건과 같이 해리하였으며, 해리시간에 따른 신문용지, 전산용지, 골판용지의 해리상태를 <그림 8-3>에 나타내었다.



<그림 8-1> 건식 지류해리기



<그림 8-2> 해리된 폐지섬유

<표 8-1> 신문용지, 전산용지 및 골판용지의 건식해리 조건

구 분	해 리 조 건
시료중량(g)	150
회전속도(rpm)	5000
해리시간(분)	2, 4, 6, 8, 10, 15, 20

나) 해리섬유의 표면구조 조사

건식해리섬유를 성형 하기 위해서는 먼저 폐지의 입자크기를 결정해야 한다. 폐지의 입자크기에 따라 접착제 투입량, 수분첨가량, 성형 가공성 등에 영향을 미치기 때문에 폐지의 건식해리조건은 성형 가공시 반드시 선결되어야 할 중요 인자이다. 본 연구실에서 설계·제작한 단속식 건식지류 해리기를 사용하여 <표 8-2>의 조건과 같이 신문용지, 전산용지를 해리하였다. 각 조건별로 해리된 시료를 소량 취해 Schultz용액을 첨가하여 섬유를 염색한 후, 광학현미경으로 관찰하여 평균섬유장을 측정하였다. 섬유장 측정 및 해리의 균일성을 판단하여 적정 해리조건을 규명한 다음, 이를 기준으로 신문용지, 전산용지를 해리하여 공시재료로 사용하였다.

각 해리시간별로 건식해리된 시료를 소량 취해 시험관에 넣고, Schultz용액을 첨가하였다. 이를 60℃의 Water Bath에서 20분간 중탕하고 교반하여 섬유를 해리한 후, 해리된 섬유를 침전시켜 상등액을 제거하였다. 이를 충분히 세척한 후 현미경으로 관찰하여 평균섬유장을 측정하였다. 해리시간별로 건식해리한 폐지로부터 측정된 평균섬유장

을 <그림 8-4,5>에 나타내었다. 각 조건별로 해리된 폐지의 함수율은 전건법에 의해 측정하였다.

<표 8-2> 건식해리 조건

구 분	해 리 조 건
폐지종류	신문용지, 전산용지
시료중량(g)	150
회전속도(rpm)	5000
해리시간(분)	2, 4, 6, 8, 10, 15, 20

다) 폐지 해리시의 추출성분 분석

본 연구에 사용된 폐지를 신문용지, 전산용지, 골판지, 잡지 등으로 분리하여 그 구성성분 및 추출성분을 분석하였으며, 그 분석결과를 <표 8-4>에 나타내었다.

라) 해리조건별 원료의 성상

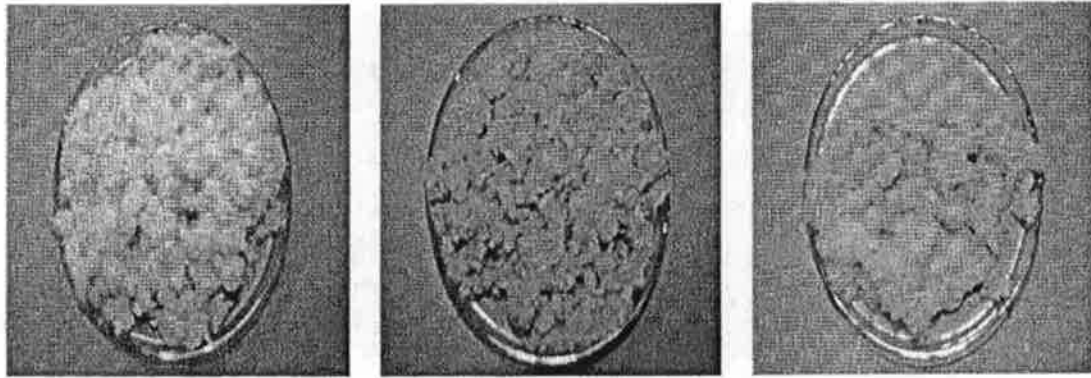
5,000 rpm, 10~30분간 건식해리된 신문용지 섬유입자의 입자크기별 중량분포를 측정하여 <그림 8-6>에 나타내었다. 또한, <그림 8-7>에 기건 상태의 시료를 해리한 섬유사진을 찍어 보았다.

나. 연구 결과

1) 원료의 성상조사 및 섬유화 특성조사

가) 해리시간에 따른 폐지의 입자 크기 변화

해리시간이 2분으로 가장 짧은 폐지와 해리시간이 가장 긴 폐지를 비교 하였을 때 해리시간이 2분인 폐지는 입자가 굵고 커서 문서파쇄기에서 통과한 형태를 그대로 지니고 있으며, 20분간 해리한 폐지는 입자가 작고 미세하여 솜털같은 형태로 됨을 육안으로 확인할 수 있었다. 따라서 신문용지와 전산용지는 해리시간이 길어질수록 섬유의 절단이 많아지는 관계로 섬유입자의 크기가 작아지는 현상을 관찰할 수 있었다.



① 전산용지

②신문용지

③골판용지

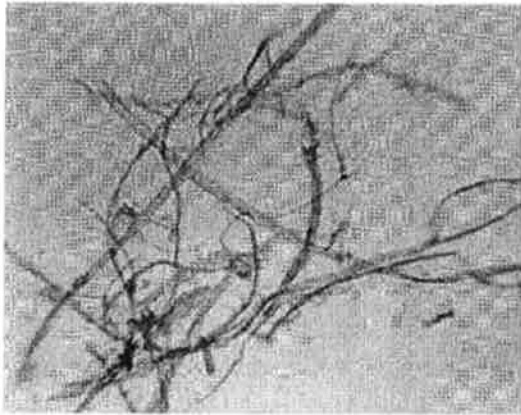
<그림 8-3> 건식 지류해리기를 통해 해리된 섬유

나) 해리섬유의 표면구조 조사

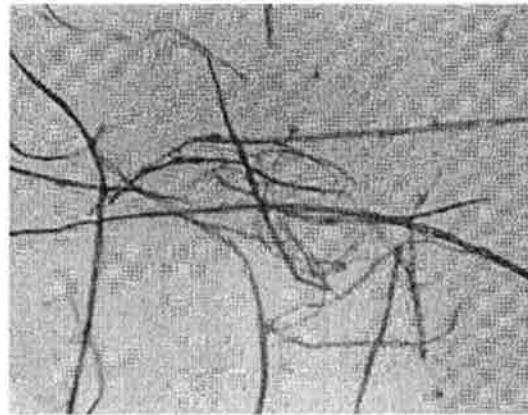
건식 해리시간에 따른 폐지섬유 입자를 비교하였을 때 해리시간이 2분인 폐지의 섬유형태는 입자가 덩어리진 상태의 덩치가 큰 형태로 Shredder를 통과한 입자형태를 유지하고 있으며, 20분간 해리한 폐지섬유는 섬유장이 절단되어 섬유장이 짧고 미세하여 섬유다발 형태로 됨을 육안으로 확인할 수 있었다. 따라서 신문용지와 전산용지는 해리시간이 길어질수록 입자의 크기가 점점 작아짐을 알 수 있었다.

평균섬유장은 전산용지의 경우 건식 지류 해리기에서의 해리시간이 2분일 때 172.8 μm , 20분일 때 74.5 μm 로서 해리시간이 길수록 평균섬유장이 점점 짧아진다는 사실을 알 수 있었다. 신문용지의 경우는 해리시간이 2분일 때 152.9 μm , 20분일 때 71.2 μm 로서 시간이 길어짐에 따라 평균섬유장이 짧아지기는 하나 전산용지만큼 현저한 차이는 보이지 않았다. 이렇게 신문용지의 원료가 전산용지에 비해 섬유장이 짧게 나타나는 원인은 신문용지의 경우 비교적 섬유장이 짧은 기계펄프가 많이 함유되었기 때문이라고 생각되었다.

입자의 상태, 평균섬유장 길이 등을 고려해 볼 때 최적 건식해리조건은 5,000rpm, 10분간이 적당할 것으로 판단되고 이 조건으로 건식해리 하였을 때의 섬유장 현미경 사진을 <그림 8-4>과 <그림 8-5>에 나타내었다.



<그림 8-4> 신문용지



<그림 8-5> 전산용지

<표 8-3>에 해리시간에 따른 폐지의 함수율을 나타내었다. 전산용지와 신문용지 모두 해리시간에 따라 함수율의 분포는 일정한 경향이 없는 것으로 나타나 해리시간이 폐지의 함수율에 영향을 미치지 않는다는 것을 알았으며, 전산용지의 경우는 평균 함수율이 4.9%, 신문용지의 경우는 6.1%로 신문용지의 함수율이 더 높게 나타났다. 이것은 여러 가지 복합적인 요인이 있다고 생각되나, 특히 전산용지와 신문용지의 원료의 차이에서 기인된 것이라 생각되었다.

<표 8-3> 해리시간에 따른 폐지의 함수율 (%)

폐 지	평균함수율 (%)	해 리 시 간 (분)						
		2	4	6	8	10	15	20
전산용지	4.85	4.84	4.84	4.82	4.93	4.94	4.87	4.73
신문용지	6.12	6.86	6.25	5.95	6.74	5.77	5.67	5.58

다) 폐지 해리시의 추출성분 분석

<표 8-4>의 결과에서 신문용지의 경우 기계펄프화에 의해 제조되었고, 풀판용지는 미표백 화학펄프로 구성되어 있음을 나타내고 있으며, 전산용지와 잡지의 경우 표백 화학펄프로 구성되어 있음을 추측할 수 있었다.

<표 8-4> 각종 폐지의 성분 분석 결과

폐 지	탄수화물(%)	리그닌(%)	무기물(%)	S : H 비*
신 문 용 지	76.0	19.4	4.1	74 : 26
골 판 용 지	80.0	14.3	5.7	68 : 32
전 산 용 지	81.1	5.3	13.6	16 : 84
잡 지	72.0	9.5	18.5	26 : 74

주) * : 침엽수펄프와 활엽수펄프의 구성비

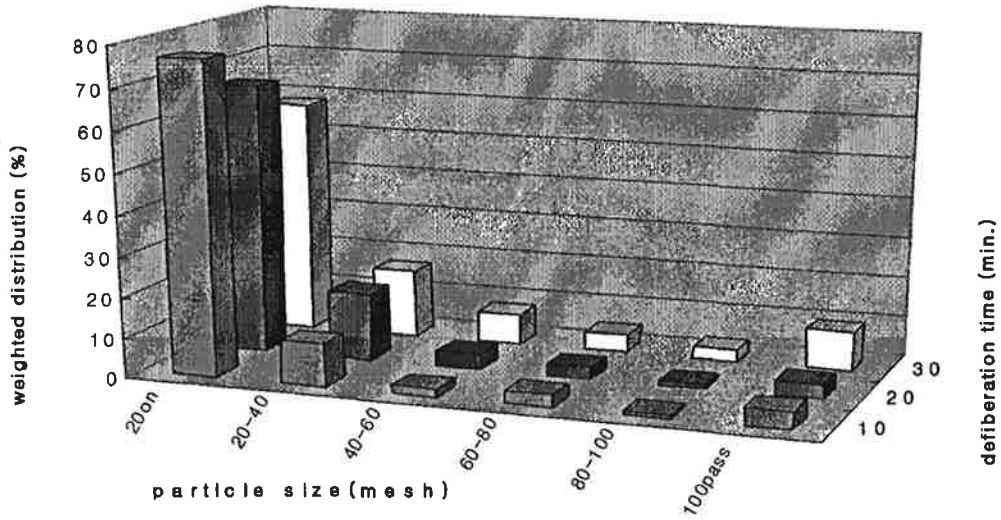
한편 현미경관찰에 따른 각 시료의 섬유비율 측정결과를 보면 신문지와 골판용지의 경우 주로 침엽수재 섬유로 구성되어 있으며, 전산용지와 잡지의 경우 주로 활엽수재 섬유로 구성되어 있음을 알 수 있었다.

무기물 함량은 잡지의 경우가 18.5%로서 가장 높게 나타났고, 신문용지의 경우 4.1%로 가장 낮게 나타났다. 통상적으로 무기물은 초지공정중 로딩제로 사용되는 탈크, 클레이 등 기타 무기물질에 기인하는 것으로 알려져 있으며, 종이제조 과정 동안 그 용도에 따라 다량의 피그먼트 등이 함유되어 진다. 특히 본 연구에 사용되는 폐지의 경우 대부분이 인쇄된 용지임을 감안한다면 상당량의 잉크가 함유되어 있을 것으로 판단되었다.

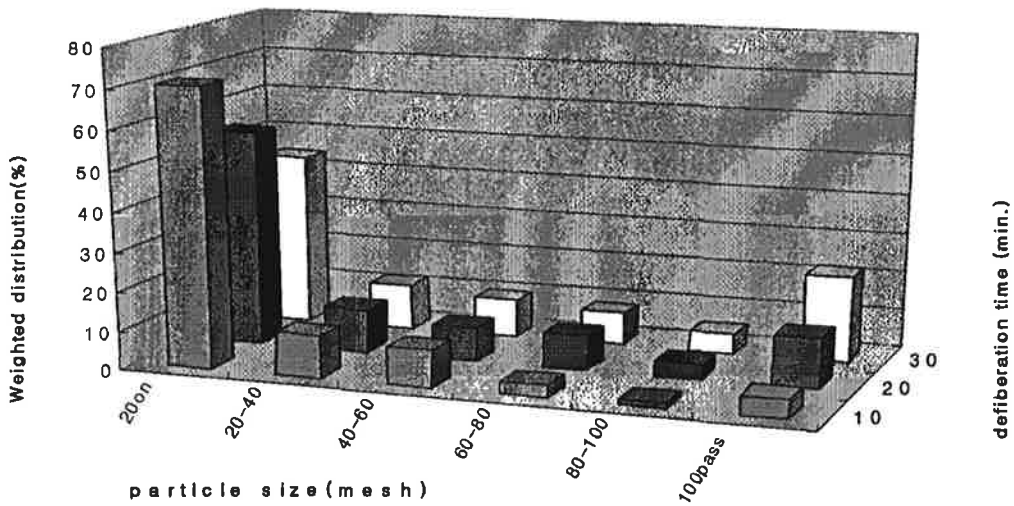
한편, 보통 코팅되지 않은 종이의 경우 무기물 함량이 2~5%이며, 전산용지와 잡지의 경우 안료의 충전과정이나 코팅과정 중에서 다량의 무기물 첨가가 이루어진 것으로 사료되지만 본 연구에 사용되는 경우 인체에 유해한 추출성분들은 발현되지 않았기 때문에 원료에 대한 문제점은 고려하지 않아도 될 것이다.

라) 해리조건별 원료의 성상

<그림 8-6>에 나타난 바와 같이 입자크기별 중량분포는 함수율의 차이와는 관계없이 20mesh 보류분의 비율이 가장 많고, 입자의 크기가 작아질수록 중량비가 감소하다가 100mesh 통과분의 비율에서는 높아지는 경향을 나타내었다. 한편, 전건상태의 신문지는 기건상태보다 20mesh 보류의 비율이 10% 이상 낮으며 100mesh 통과 비율 또한 10%이상 높았다.



[기건상태]



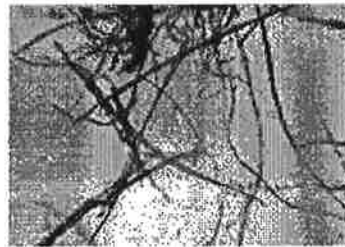
[전건상태]

<그림 8-6> 건식 해리된 신문용지의 기건 및 전건상태에서의 입자크기별 중량 분포

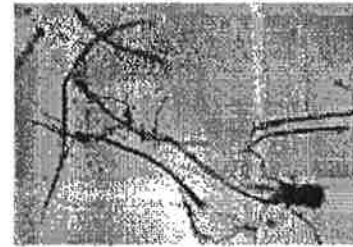
이러한 차이는 적정 수분을 가진 기건 입자와는 달리 전건 입자는 섬유 각질화가 발생하고 섬유의 자체 강도가 저하되므로 동일한 충격에도 쉽게 절단 및 파쇄되기 때문으로 생각된다. 또한 20mesh 보류 입자는 섬유가 아니라 종이 파편의 형상이고, 100mesh 통과 입자는 섬유라기보다는 과도하게 절단 및 파쇄된 미세분에 가깝다. 따라서 섬유의 형상으로 존재하는 입자 분포는 20~80mesh 범위로 판단되었다.



20 mesh on



20~40 mesh



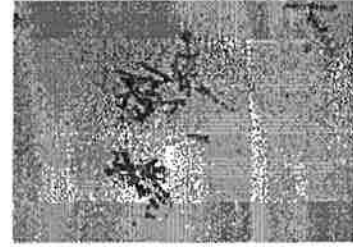
40~60 mesh



60~80 mesh

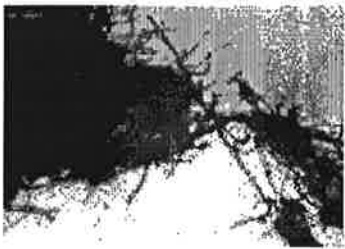


80~100 mesh



100 mesh pass

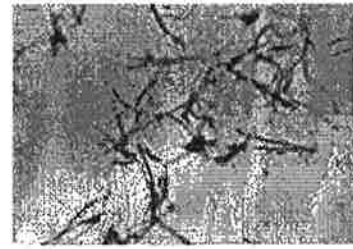
<그림 8-7(a)> 건식해섬된 신문용지의 입자분급에 따른 현미경 사진[기건상태]



20 mesh on



20~40 mesh



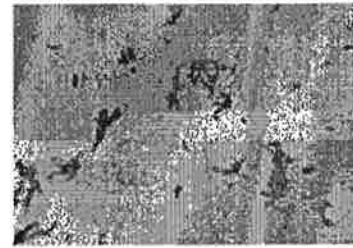
40~60 mesh



60~80 mesh



80~100 mesh

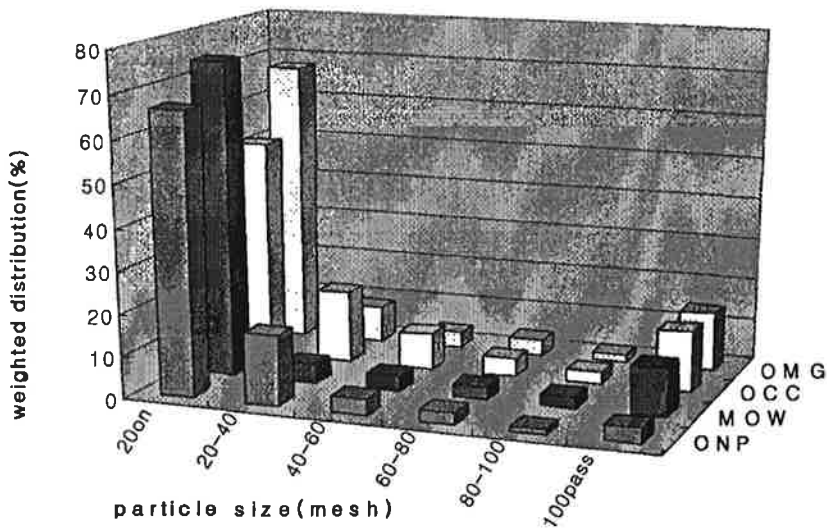


100 mesh pass

<그림 8-7(b)> 건식해섬된 신문용지의 입자분급에 따른 현미경 사진[전건상태]

<그림 8-7>에서 보는 바와 같이 기건 상태의 시료를 해리한 섬유 사진의 경우, 단계별로 섬유장이 감소하는 경향을 육안으로 쉽게 확인할 수 있으며 전체적으로 섬유의 형상을 쉽게 확인할 수 있었다. 또한 20mesh 보류 입자는 섬유입자로 해리가 되지 않은 종이 파편임이 관찰되었다.

100mesh 통과 입자는 섬유에 의해 절단되고 파쇄된 미세분임을 알 수 있었다. 전건시료를 해리한 섬유의 경우 기건시료와 비교하였을 때 전체적으로 섬유의 각질화가 많이 발생하였고 섬유자체의 절단 및 파쇄된 형상이 육안으로 두드러지며, 각 단계별로 분급되지 않은 채 산재하고 있는 미세분이 쉽게 확인되었다. 각 폐지를 5,000rpm, 20분간 건식해리하여 얻어진 섬유의 입자크기별 중량분포를 <그림 8-8>에 나타내었다.

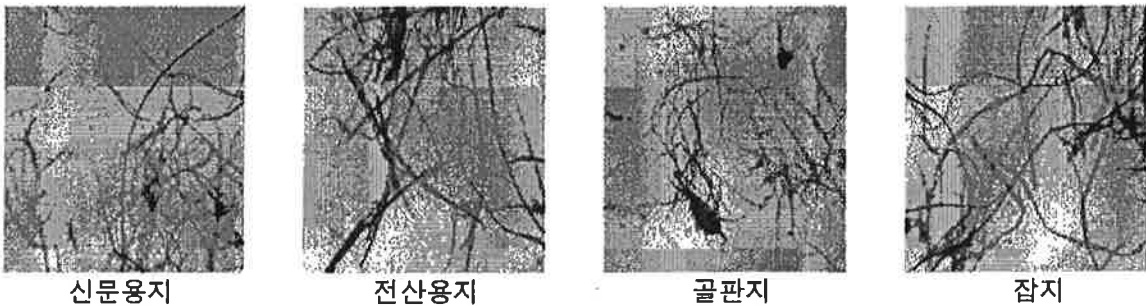


<그림 8-8> 건식 해리된 섬유의 입자크기별 중량 분포

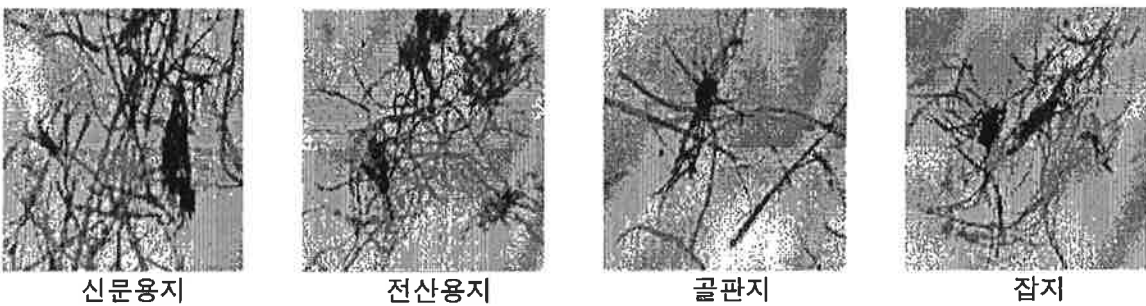
모든 지종에서 20mesh 보류 입자의 비율이 가장 많았고 입자의 크기가 작아질수록 비율이 감소하다가 100mesh 통과 입자의 비율은 높아지는 경향을 나타내었다. 원활한 해리가 이루어지지 않고 종이파편 형상으로 존재하는 20mesh 보류 입자를 비교해 볼 때 전산지와 잡지가 신문지보다는 10%, 골판지보다는 20%이상 높았다. 전산지의 경우 대부분 장섬유를 다량 함유하는 화학펄프로 구성되어 섬유간 결합력이 강하고, 초지 공정에서 첨가되는 약품이 해섬의 저해인자로 작용하여 해리성이 낮게 나타난다고 생각된다. 잡지의 경우 시트 표면에 코팅되는 도공액이 섬유간 바인더로 작용하여 해리성이 낮다고 생각된다. 그리고 골판지가 20mesh 보류의 비율이 가장 낮은 것은 골판지의 구성자체가 치밀하지 못하고 골심지가 재생펄프로 구성되어 자체의 단섬유 함량이 많음에 기인한다고 생각된다. 신문지를 제외한 모든 지종에서 미세분은 전체량

의 10% 이상이며 골판지는 재생섬유로 된 골심지가 해리시 단섬유의 다량 배출로 그 비율이 높아진다고 생각되며, 잡지는 다른 지류에 비해서 80~100mesh 통과로부터 단섬유 및 미세섬유의 함량이 높게 나타나는데 이것은 도공액이 섬유간에 접촉강화 역할을 하여 섬유 해리시 기계적인 힘에 의해 절단됨으로써 그 비율이 높아진다고 생각되었다.

각 지류별로 20~80mesh 입자의 중량비를 살펴 볼 때 골판지가 가장 높은 결과를 보여주었다. 이것은 골판지가 라이너지와 골심지로 구성되므로 기계적인 힘에 의해서 해리된 라이너지의 장섬유와 골심지의 단섬유가 혼합되어 섬유화의 비율이 높아진다고 생각되었다. <그림 8-9>는 5,000rpm. 20분의 조건에서 각 폐지의 20~40mesh 사이의 섬유분급 사진이다.



<그림 8-9(a)> 건식해섬에 의해 제조된 폐지 섬유의 현미경 사진[기건상태]



<그림 8-9(b)> 건식해섬에 의해 제조된 폐지 섬유의 현미경 사진[전건상태]

기건시료의 경우 각 지종 중에서, 신문용지는 가장 굵은 두께를 보이며, 전산용지는 가늘고 리본상의 형태로 엉켜 있으며, 골판용지는 신문용지보다 가늘고 전산용지보다

는 굵으며 잡지는 바인더의 결합력에 의해 섬유와 함께 떨어져 나간 입자들이 현저하게 관찰되었다. 전건시료의 경우 각 섬유에서 동일하게 미해리된 채 파쇄된 파편 형태의 섬유를 육안으로 쉽게 확인할 수 있었다.

각 지류별로 회분함량을 측정된 결과 신문용지 5.9% 전산용지 9.8% 골판용지 7.2%, 잡지 23.1%였다. 잡지의 경우 타 지류에 비해 회분함량이 높게 나타나는데 이것은 초지공정시 증량을 위해 첨가되는 무기약품과 도공원료의 함량차이에 의한 것으로 생각된다. 한편, 각 페이지를 5,000rpm, 20분간 건식해리하였을 때 입자크기별로 분류된 각 페이지의 회분 함량은 <표 8-5>에 나타내었다.

<표 8-5> 건식해리된 페이지의 회분함량

페이지종류	Ash (%)					
	20mesh 보류	20-40	40-60	60-80	80-100	100mesh 통과
신문용지	6.0	4.5	4.3	4.2	3.9	6.8
전산용지	9.5	5.1	4.8	5.5	4.4	14.1
골판용지	7.0	2.4	2.2	2.0	3.1	15.8
잡지	22.8	11.3	8.5	9.3	11.3	40.6

종이파편 형상으로 존재하는 20mesh 보류의 경우 원지류의 회분함량과 거의 같은 경향을 보이는데 반하여 20~100mesh에서는 그 함량이 감소하다가 100mesh 통과에서는 월등히 높은 회분함량을 나타내었다. 특히, 잡지의 경우 그 변화가 두드러지게 나타났다.

이러한 결과로 판단해 볼 때 전산지와 잡지의 경우 동일조건에서 건식해리 하였을 때 타지류에 비해 미세분 함량이 높게 나타나는 원인은 섬유자체의 특성뿐만 아니라 지류에 충전된 무기물 및 충전약품의 함량차이, 즉, 건식 해리시 파쇄되는 과정에서 섬유사이에 충전된 무기물들이 미세화되어 분산되어 있다가 분급시 100mesh 통과분에 다량 존재하여 이 결과 미세분 함량이 증가된다고 생각되었다.

다. 결과 요약

본 연구는 각종 다양한 특성을 지닌 미분별된 폐지 및 폐지들을 해리하여 이용함에 있어 건식해리시 각 섬유들의 형태, 크기, 특성들의 경향을 파악하여 해리조건 및 시료상태에 따른 해리특성을 탐색하였다. 본 연구에서 얻어진 결과는 다음과 같다.

- 1) 폐지를 건식법에 의해서 해리할 때 해리시간이 길어질수록 20mesh 보류입자의 비율이 줄어드는데 반해 100mesh 통과 입자의 비율이 점차적으로 증가하는 경향을 보였다.
- 2) 신문용지, 전산용지, 골판용지, 잡지를 동일 조건으로 건식 해리하였을 때 해리상태는 전산용지, 잡지, 신문용지, 골판용지 순으로 양호하였다.
- 3) 기건과 전건상태의 시료를 건식해리 하였을 때 전건시료의 해리는 기건상태에 비해 해리정도는 높으나 그에 비해 섬유가 과도한 파쇄 혹은 절단으로 인하여 생기는 미세분이 현저하게 증가하였다.
- 4) 가장 많이 배출되는 신문용지의 경우, 건식 지류해리기 5,000rpm에서 10분간 건식 해리 하는 것이 복합보드 제조를 위한 섬유제조시 최적조건으로 판단되었다.

3. 폐지를 이용한 고치환도 아세테이트 및 생분해성 필름 제조

가. 재료 및 방법

1) 실험재료

본 연구의 공시재료인 폐지는 경북대학교에서 보유한 건식지류 해리기를 이용하여 건식해리하였다.

2) 실험방법

가) 화학적 전처리

건식해리된 섬유의 화학적 전처리를 위해서 산소-알칼리 펄프화법에 의한 전처리를 <표 8-6>의 조건과 같이 시료 2g과 증해액을 봄베에 넣고 산소를 주입한 다음 일정 시간 반응시켰으며 이렇게 반응된 시료를 증류수, 아세톤 순으로 충분히 세척하였다.

<표 8-6> 건식해리된 섬유의 산소-알칼리 전처리 조건

구 성	조 건
펄프 중량 (g)	2
NaOH 농도 (%)	6
반응시간 (hr.)	2
반응온도 (°C)	200
초기 산소압력 (kgf/cm ²)	10

나) 생분해성 필름 제조

화학적으로 전처리된 시료를 Kitagawa법과 Hasegawa법에 의해 생분해성 필름을 제조하였으며, Kitagawa법에 따라 전처리된 시료를 0.8%의 농도가 되도록 분산시킨 후, 키토산은 1%의 초산에 용해시켰다. 이렇게 준비된 두 가지 용액을 일정비율로 혼합하여 일정량을 유리판에 부어 필름을 제조하였으며, 70°C에서 15시간동안 감압 건조하였다. Hasegawa법에 따라 전처리된 시료와 키토산을 일정비율로 혼합하고 용제에 대하여 0.8~1.2%의 비율로 50ml 용량의 삼각플라스크에 투입한 후 trifluoroacetic

acid(TFA)를 첨가하여 2일 동안 정치하여 용해시켰다. 용해 후 중합도 조절을 위해 초산을 첨가하였으며, 용액을 유리판에 부어 필름을 제조하였다. 그 다음 용제 제거를 위하여 2일 동안 정치시켰다.

이 때 필름의 두께는 $15\mu\text{m}\sim 25\mu\text{m}$ 가 되도록 하였다. 건조 후 필름은 1일 동안 1N NaOH 용액에 침지시켜 유리판과 분리시켰으며, 물로 충분히 세척을 한 후 하루 동안 상대습도 65%, 25°C 에서 컨디셔닝처리를 하였다.

각 조건별로 제조된 필름은 생분해성을 알아보기 위해서 목재부후균 중 갈색부후균인 구름버섯(*Coriolus versicolor*)과 부후개떡버섯(*Tricoderma viride*)를 이용하여 측정하였으며 배지조성은 4% 글루코오스, 0.3% 펩톤, 1.5% 맥아추출물을 혼합하였다. 각 필름의 크기를 $7\times 7\text{mm}$ 로 하여 6mesh의 유리구슬과 같이 시험관에 넣고 제조된 배양액 5ml를 첨가한 다음 autoclave를 이용하여 120°C , 1.5kgf/cm^2 의 압력하에서 20분간 살균하였다. 살균된 시험관에 공시균류인 구름버섯과 부후개떡버섯을 접종한 다음 진탕배양기에서 30일간 배양시키면서 필름을 분해시켰으며, 5일마다 필름의 중량감소율을 측정하여 생분해성을 검토하였다.

다) 셀룰로오스 아세테이트 제조

공시재료 10g을 1,000ml의 비커에 투입하고 초산 800ml, 무수초산 70ml, 황산 1ml를 투입하여 100°C 에서 1시간 동안 100rpm의 속도로 반응시켰다. 이렇게 반응시킨 것을 다시 20°C 에서 16시간 동안 교반시켰으며, 반응 후 glass filter(25G3) 여과하여 불용분을 제거하였다.

여과액을 300ml로 농축시켜 4배량의 메탄올에 적하시켜서 아세테이트를 침전시켰다. 침전물을 다시 원심분리기(4,000rpm)를 이용하여 분리시켜 아세테이트를 회수하여 건조시켰다(Sample I). 이것을 다시 무수메탄올에 적하시켜 분리후 위와 동일한 방법으로 반복 시행하여 셀룰로오스 아세테이트를 제조하였다(Sample II).

라) 제조된 셀룰로오스 아세테이트의 성상 분석

제조된 셀룰로오스 아세테이트의 화학적 성상을 알아보기 위해 Klason lignin법으로 리그닌 함량을 측정하였으며, CED점도법을 이용하여 중합도를 측정하였다. 치환도 측정은 제조된 셀룰로오스 아세테이트 1g을 250ml 삼각플라스크에 넣고, 75% 메탄올 40ml를 넣어 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ 에서 30분간 방치한 후 여기에 0.5N NaOH수용액 40ml를 첨가하고

15분간 반응시킨 후 뚜껑을 밀봉하여 실온에서 다시 48시간동안 방치하였다.

여기에 소량의 페놀프탈레인 지시약 넣고 0.5N HCl로 적정하였다. 다시 1ml HCl을 첨가하고 밀봉하여 진탕한 후 알칼리로 적정하여, 아래의 식에 의해 치환도를 측정하였다.

$$\text{Acetylation rate(\%)} = [(A - B) N_b - (C - D) N_a] \times 4.3 / W$$

A : 시료에 첨가된 NaOH의 ml	B : Blank에 첨가된 NaOH의 ml
C : 시료에 첨가된 HCl의 ml	D : Blank에 첨가된 HCl의 ml
N _b : NaOH 수용액의 규정농도	N _a : HCl 수용액의 규정 농도
W : 시료의 중량(g)	4.3 : 상수

$$\text{Acetic acid(\%)} = \text{Acetyl(\%)} \times 1.395$$

$$\text{치환도(D.S)} = 3.86 \times \text{Acetyl(\%)} / 102.4 - \text{Acetyl(\%)}$$

마) 제조된 셀룰로오스 아세테이트의 FT-IR 분석

제조된 셀룰로오스 아세테이트에서 셀룰로오스에 아세틸기의 반응유무와 잔존하는 수산기의 함량 그리고 카르보닐기의 유무를 알아보기 위하여 제조된 셀룰로오스 아세테이트의 시료를 KBr과 함께 미분쇄시킨 후 KBr 펠릿을 만들어서 FT-IR분석(PERKIN ELMER, 1600 FT-IR)을 하였으며, 이를 셀룰로오스의 FT-IR분석과 비교하였다.

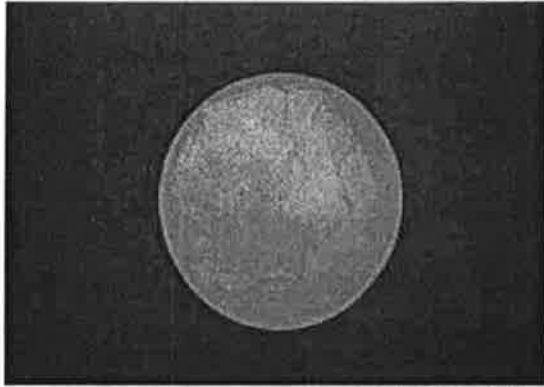
바) 제조된 셀룰로오스 아세테이트의 열분석

제조된 셀룰로오스 아세테이트의 열적 특성과 고분자소재로의 이용 가능성을 알아보기 위하여 시차주사열계량법(Differential Scanning Calorimetry, DSC 2910, TA Inst.) 분석으로 제조된 아세테이트 필름의 유리전이온도(T_g)를 측정하였다.

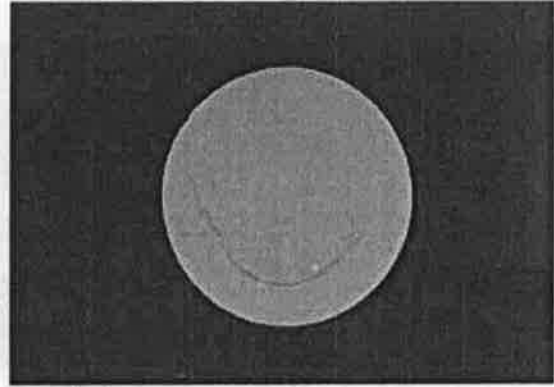
나. 연구 결과

1) 생분해성 필름의 제조

<그림 8-10>은 Kitagawa법으로 키토산을 합성하여 제조한 필름을 나타낸 것이다.



<그림 8-10> Kitagawa법에 의한 필름사진



<그림 8-11> Hasegawa법에 의한 필름사진

전처리된 시료를 0.8% 수용액으로 희석하고 키토산은 1% 초산수용액에 용해시킨 후 이 혼합액을 polystyrene 접시(Φ10cm)에 부어 성형한 필름은 사진에서 알 수 있듯이 폐지섬유들의 분산에 의해 필름 제조 후 필름 면에 폐지섬유들이 그대로 남아 있으며 제조된 필름은 불투명하였다. 또한 초산에 키토산이 섬유사이에서 바인더로 작용하여 형성된 필름상이므로 필름 제조에 사용된 섬유에 의한 강도뿐만 아니라 바인더로 작용하는 키토산에 의해 필름의 강도는 우수해지며 쓰레기봉투 등의 외관 및 표면 평활성이 중요하지 않은 목적으로 제조할 때는 적당할 것으로 생각된다.

<그림 8-11>은 Hasegawa법으로 키토산을 합성하여 제조한 필름을 나타낸 것이다. Hasegawa법으로 제조된 필름은 전처리된 폐지류를 TFA(Trifluoroacetic acid)에 키토산과 함께 용해시켜 제조하였으므로 제조된 필름은 투명하였으며 표면이 평활하였다. 그러므로 본 연구에서는 앞에서 설명한 Kitagawa법에 의한 필름의 성형보다 Hasegawa법에 의한 필름의 형성능이 우수하게 나타났으며, 투명한 필름 및 두께가 얇은 필름의 제조에 적당하다고 생각된다.

위의 결과들을 살펴보면, Kitagawa법으로 제조된 필름은 섬유의 강도와 키토산의 강도가 동시에 발현되어 강도면에서 우수하며 불투명하고 외관 및 표면 평활성이 중요하지 않은 필름의 제조에 적당하고, Hasegawa법으로 제조된 필름은 투명하고 표면이 평활하므로 사용용도에 따라 필름의 제조법을 달리하여 제조하여야 할 것으로 판단되었다.

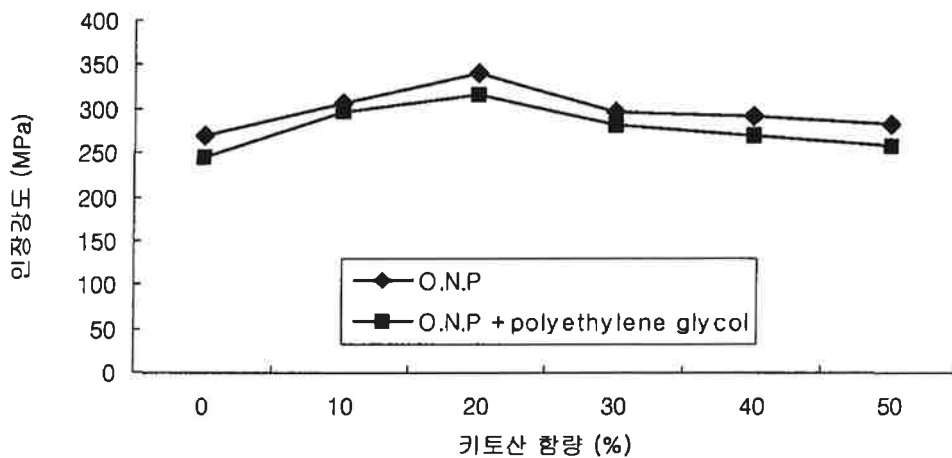
2) 제조된 생분해성 필름의 물리적 특성

모든 필름에서 요구되는 기계적 특성 중 가장 중요한 것은 인장강도이다. 이러한

이유로는 필름이 대부분 포장용이나 여과막 등으로 사용될 때 인장응력을 가장 많이 받기 때문이다. 그러므로 동일한 두께에서 인장강도가 큰 것이 기계적 측면에서 고려해 볼 때 우수하다고 할 수 있다. <그림 8-12>는 제조된 생분해성 필름의 인장강도의 변화를 나타낸 것이다.

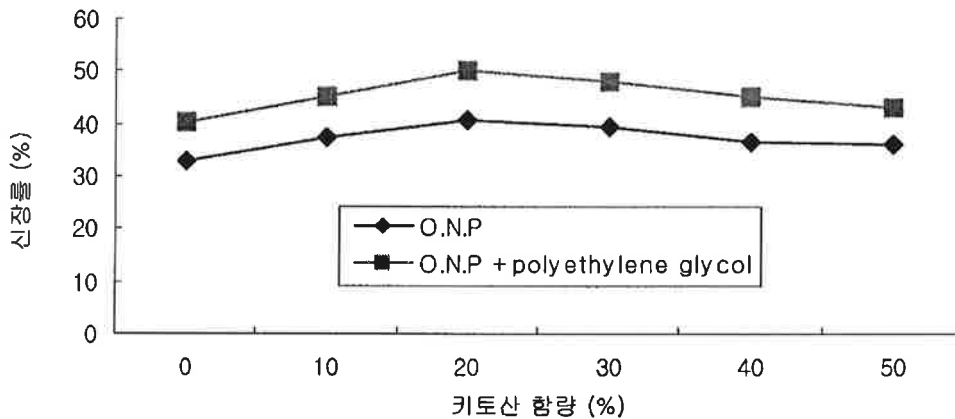
키토산 함량별 강도 증가율을 살펴보면, 키토산 함량이 10~20%일 때 인장강도가 가장 우수하였다. 제조된 필름에서 키토산은 schiff base의 작용에 의해 ester 결합이 형성되며 잔존하는 탄소의 수산기 간에 수소결합이 형성되어 필름을 형성하는 것으로 생각된다. 키토산 함량이 20%이상인 경우에는 인장강도가 점차 감소하였다. 이러한 이유는 첨가된 키토산이 탄수화물들과 반응을 하지 못하고 필름에 존재하게 되어 오히려 필름의 인장강도를 저해한 것으로 생각된다.

또한 일정량 이상의 첨가제를 첨가하면 필름의 강도저하가 심하게 발생하므로 본 연구에서는 필름무게에 대하여 25%만 첨가하여 제조하였다. 가소제로서 polyethylene glycol을 첨가하였을 때 인장강도의 변화를 살펴보면, 페지-키토산 혼합필름에서 polyethylene glycol이 첨가되었을 때의 인장강도는 첨가하지 않았을 때보다 감소하였다. 이러한 이유는 첨가된 polyethylene glycol이 페지의 탄수화물과 키토산 간의 결합을 방해할 뿐만 아니라 자체의 강도도 약하기 때문에 필름의 강도를 저하시킨 것으로 생각된다.



<그림 8-12> 제조된 생분해성 필름의 인장강도의 변화

<그림 8-13>는 제조된 생분해성 필름의 신장률의 변화를 나타낸 것이다. <그림 8-13>의 결과를 살펴보면, 위의 인장강도의 경우와 마찬가지로 키토산 함량이 20%일 때 신장률이 가장 높게 나타났으며, 가소제로 polyethylene glycol을 첨가한 결과를 살펴보면, 인장강도와는 반대로 신장률은 약 10%정도 증가하였다. polyethylene glycol이 필름제조시 첨가되어 폐지의 탄수화물과 키토산간에 결합하여 인장강도는 저하시키지만 polyethylene glycol의 유연성에 의해 필름의 신장률은 증가하는 것으로 생각되었다.



<그림 8-13> 제조된 생분해성 필름의 신장률의 변화

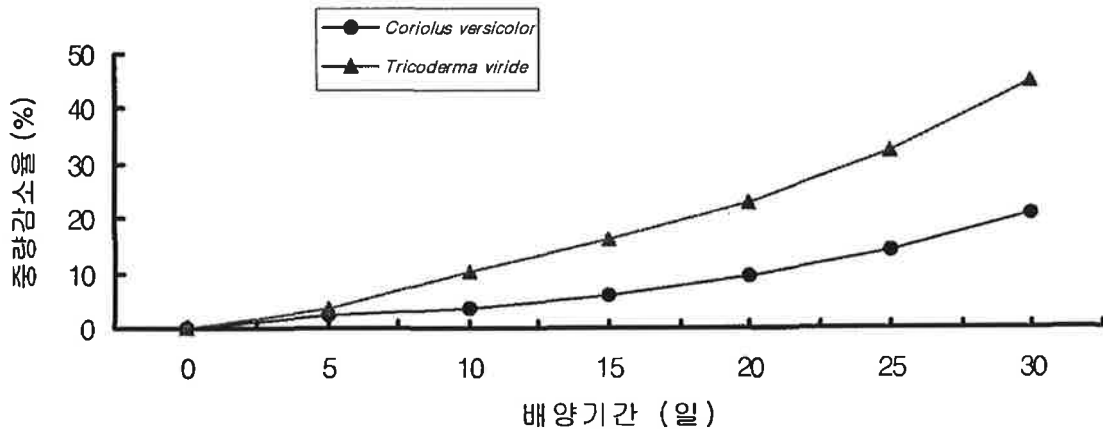
3) 제조된 생분해성 필름의 생분해성

제조된 필름의 생분해성을 알아보기 위하여 구름버섯과 부후개떡버섯을 이용하여 30일간 분해시켰으며, 이때 사용된 필름은 키토산 함량이 20%, polyethylene glycol이 25% 첨가된 것이었다.

<그림 8-14>의 결과를 살펴보면 백색부후균인 구름버섯의 경우 30일 경과 후 중량 감소율이 약 20% 정도였으며 갈색부후균인 부후개떡버섯의 경우 중량감소율이 45% 정도였다.

제조된 필름의 25%인 polyethylene glycol을 제외한 나머지는 폐지에서 유래되는 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 그리고 키토산의 탄수화물로 구성되어 있기 때문에 셀룰로오스를 주로 분해하는 갈색부후균인 부후개떡버섯에 의해서 중량감소가 크게 일어난 것으로 생각된다.

또한 가소제로 첨가된 polyethylene glycol이 키토산과 폐지의 탄수화물간 결합 간격을 늘림에 따라 필름의 결합구조가 첨가하지 않을 때보다 영성하게 되어 균류의 침투가 용이하게 되어 분해가 더욱 잘 일어난 것으로 생각된다. 폐지-키토산 혼합필름은 균류에 의한 분해, 즉, 자연에서 분해성을 가지는 생분해성 필름이라고 생각된다.



<그림 8-14> 폐지와 키토산 혼합필름의 생분해성 조사

4) 제조된 셀룰로오스 아세테이트의 정상 분석

셀룰로오스 아세테이트는 치환도의 정도에 따라 섬유나 필름, 고분자 성형물 등 아주 폭넓은 용도로 사용이 가능하므로, 본 연구에서는 사무용지를 이용하여 셀룰로오스 아세테이트를 제조하고, 셀룰로오스 아세테이트의 품질에 가장 크게 영향을 미치는 치환도를 측정하였다. <표 8-7>은 제조된 셀룰로오스 아세테이트의 수율, 치환도, 리그닌 함량, 중합도를 나타낸 것이다. 목재 및 아황산 펄프로 셀룰로오스 아세테이트를 제조하는 경우 셀룰로오스 수산기 대신에 분자량이 큰 아세틸기가 도입되어 중량대비 수율이 거의 100% 이상으로 얻어지지만, 본 연구 결과에서 수율이 90.32%~94.94%로 나타난 것은 사무용지 중에 존재하는 리그닌이 다량 제거되고, 잔존하던 잉크입자들과 무기물 성분들도 제거되었기 때문이라 사료된다. 제조된 셀룰로오스 아세테이트의 치환도 차이가 나는 것은 사무용지에 존재하는 잉크입자와 무기물들이 탄수화물에 도입되는 아세틸기 속도의 반응저해인자로 작용하기 때문으로 생각되지만, Sample II는 반응저해인자가 제거된 후에 제조되어 다소 높게 나타난 것으로 보인다.

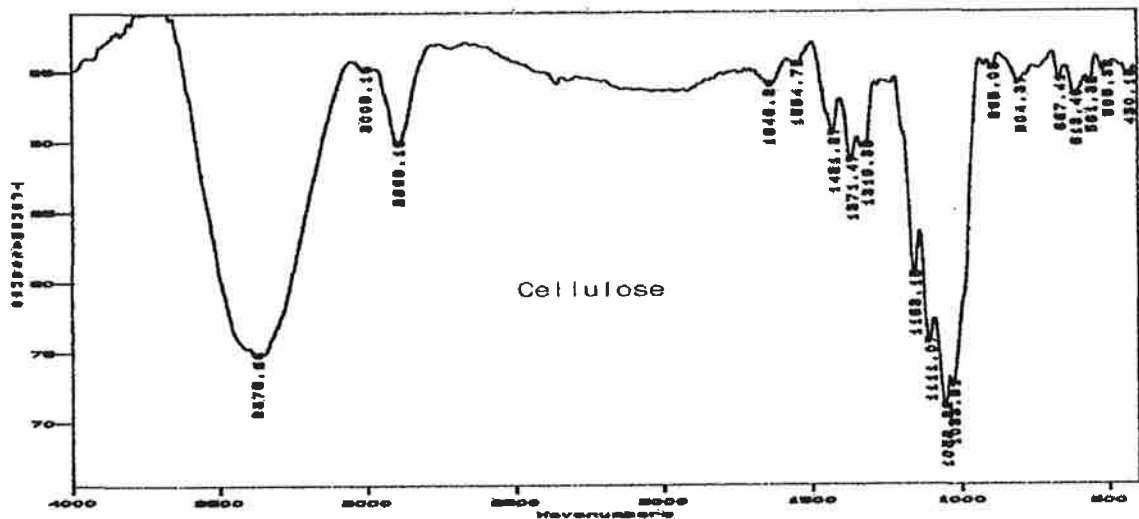
<표 8-7> 제조된 셀룰로오스 아세테이트의 화학적 조성

실험재료	수율 (%)	리그닌 함량 (%)	치환도	중합도
Sample I	94.94	0	2.23	186 이상
Sample II	90.32	0	2.47	186 이상

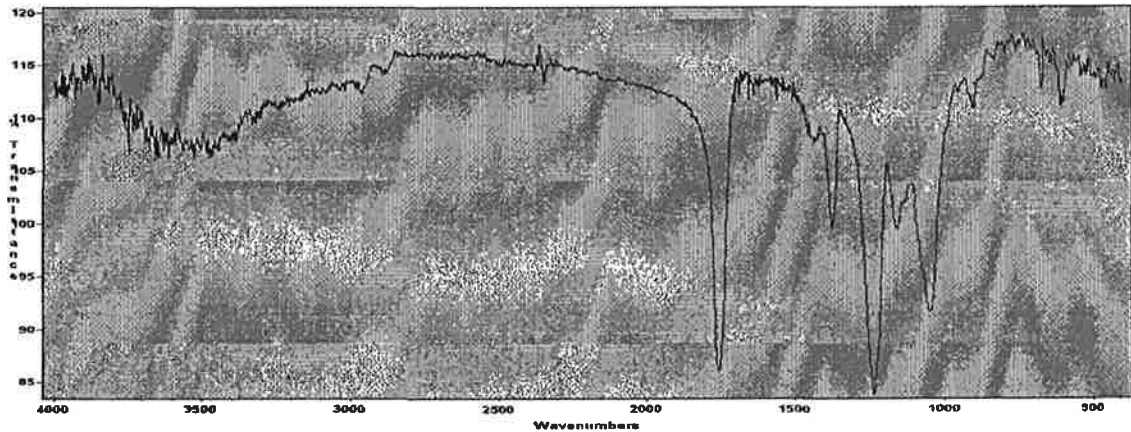
5) 제조된 셀룰로오스 아세테이트의 FT-IR 분석

본 연구에서 제조된 셀룰로오스 아세테이트는 아세틸화 정도를 조사하기 위해 FT-IR로 유리 수산기의 존재 유무와 carbonyl기의 존재여부를 조사하였다.

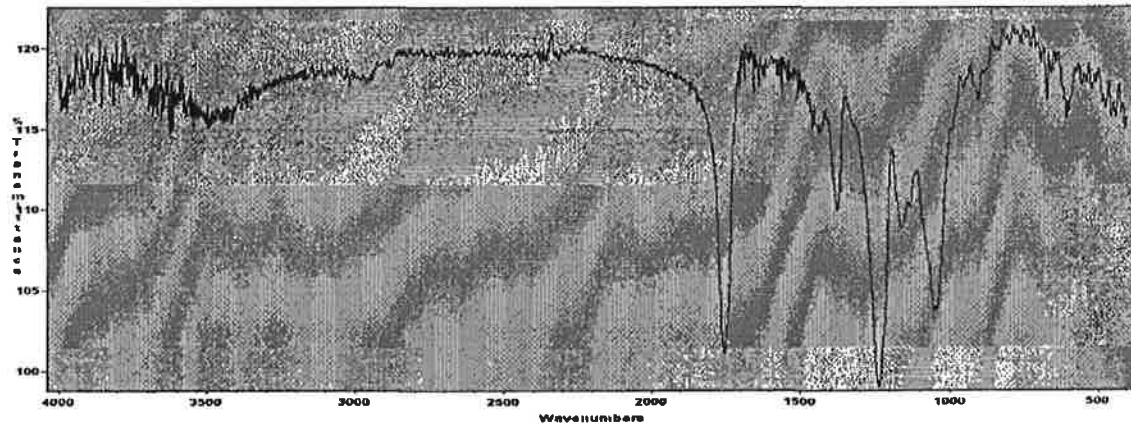
<그림 8-15>, <그림 8-16> 및 <그림 8-17>은 셀룰로오스와 제조된 셀룰로오스 아세테이트의 FT-IR 스펙트럼을 각각 나타낸 것이다. 각 스펙트럼을 비교해 보면 셀룰로오스의 FT-IR분석에서 나타난 $3,500\text{cm}^{-1}$ 부근의 수산기 피크가 제조된 셀룰로오스 아세테이트의 FT-IR분석에서는 확연히 줄어들음을 알 수 있었다. 그러나 셀룰로오스의 아세틸화 반응에 의해 나타나는 $1,200\text{cm}^{-1}$ 및 $1,750\text{cm}^{-1}$ 부근의 ester carbonyl기 흡수가 현저하게 높게 나타나는 것으로 보아 사무용지의 아세틸화 반응에 의해 C_2 , C_3 , C_6 에 존재하는 수산기가 아세틸기로 치환됨을 알 수 있었다.



<그림 8-15> 셀룰로오스의 FT-IR



<그림 8-16> 제조된 셀룰로오스 아세테이트의 FT-IR (sample I)



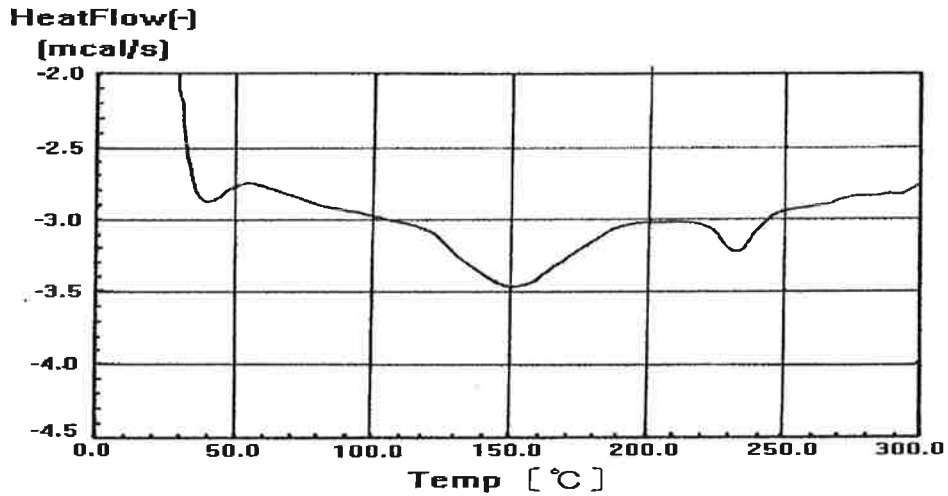
<그림 8-17> 제조된 셀룰로오스 아세테이트의 FT-IR (Sample II)

6) 제조된 셀룰로오스 아세테이트의 열분석

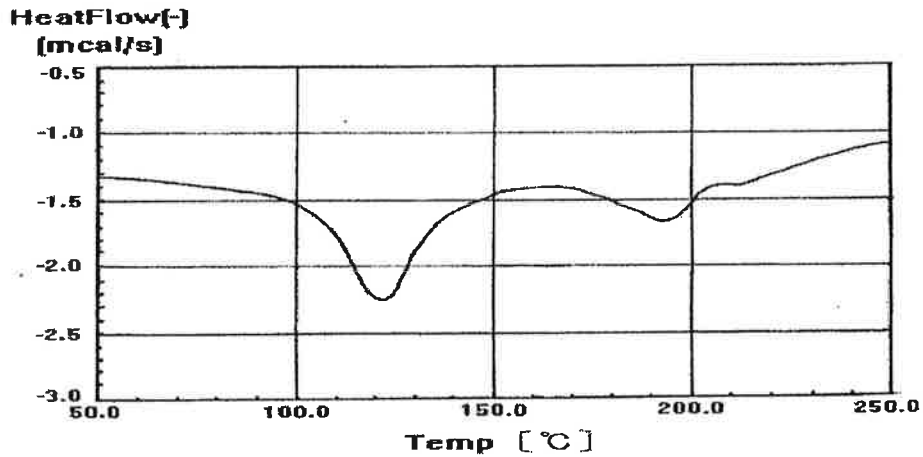
셀룰로오스 아세테이트의 가장 큰 장점은 열에 의해 용융이 되며 이러한 특성으로 방사섬유나 필름을 제조하는 데 용이하다는 것이다. 따라서 고분자의 열적 거동은 고분자의 물성에 있어서 매우 중요한 지표로 사용되고 있으며, 특히 제조된 아세테이트의 열용융성은 고분자 성형성에 매우 중요한 인자 중 하나이다.

본 연구에서는 공시재료로부터 제조된 셀룰로오스 아세테이트의 열분석 결과를 <그림 8-18>과 <그림 8-19>에 나타내었다. 그 결과를 살펴보면 제조된 셀룰로오스 아세테이트는 유리전이 온도와 용융점을 가지고 있어 열 용융이 가능한 것으로 생각된다. 제조된 셀룰로오스 아세테이트의 유리전이온도는 131.7℃와 121.7℃로 나타났으며, 각 셀룰로오스 아세테이트의 열용융점은 232.8℃와 195.4℃로 나타났다.

제조된 셀룰로오스 아세테이트(Sample II)의 경우 열용융점이 제조된 셀룰로오스 아세테이트(Sample I)보다 약 40°C 정도 낮아 합성고분자와의 혼용시 가소제와의 반응에 있어서 이점으로 작용할 것으로 보이며, 본 연구에서 제조된 셀룰로오스 아세테이트의 경우 열적 blending은 충분히 가능하리라 판단되었다.



<그림 8-18> 제조된 셀룰로오스 아세테이트의 DSC분석 (Sample I)



<그림 8-19> 제조된 셀룰로오스 아세테이트의 DSC분석 (Sample II)

다. 결과 요약

본 연구는 건식지류 해리기로 해리된 섬유를 화학적 전처리한 후 생분해 기능을 가진 필름과 고치환도 아세테이트를 제조하여 물성 및 기능성을 시험하였으며, 제조된 생분해성 필름의 이용가능성과 고품질의 셀룰로오스 아세테이트의 용도를 검토하여 이용 가능성을 평가하였다. 얻어진 결과는 다음과 같다.

- 1) 폐지의 화학적 전처리를 통하여 고분자 필름 제조시에는 Kitagawa법보다는 Hasegawa법으로 키토산을 합성하여 필름을 제조하는 방법이 필름 형성시 우수한 방법으로 나타났으며 용도에 따라 제조법을 달리할 수 있었다.
- 2) 제조된 필름의 인장강도는 차아염소산나트륨으로 70℃에서 4시간 동안 4회 반복처리한 골판지 폐지에 키토산을 20% 첨가하였을 때 최대였으며, 25%의 폴리에틸렌 글리콜을 첨가하였을 때, 인장강도는 감소하나 신장률은 증가하였다
- 3) 제조된 필름의 생분해성은 백색부후균인 구름버섯의 경우 30일 경과 후 중량감소율이 약 20%정도였으며 갈색부후균인 부후개떡버섯의 경우 중량감소율이 45% 정도였다. 이로써 제조된 필름은 균류에 의한 분해 즉 자연에서 분해성을 가지는 생분해성 필름이라고 판단된다.
- 4) 셀룰로오스 아세테이트의 제조는 폐지섬유 중에 잔존하는 수산기를 아세틸화 반응시켰으며 반복 시행으로 제조된 고치환도의 셀룰로오스 아세테이트의 치환도는 약 2.47로서, 이는 현재 상업용으로 사용되는 셀룰로오스 아세테이트보다 높은 치환도였다.
- 5) FT-IR분석으로 카르보닐기 도입여부를 입증하였으며, 열분석 결과로 열용융온도 (Tg)가 상업용 셀룰로오스 아세테이트보다 40℃ 정도 낮게 나타남으로써 합성고분자와의 합성에도 다소 유리한 점으로 판단되었다.
- 6) 이렇게 제조된 고치환도 셀룰로오스 아세테이트를 사용하여 사진용 필름이나 인조 섬유와 같은 고품질의 다양한 제품 제조가 가능하리라 생각되었다.

4. 폐지를 이용한 기능성 보드 제조

가. 재료 및 방법

1) 실험재료

본 연구실에서 배출되는 폐지류 중 제 2 항의 연구결과에 따라 신문용지를 엄선하여 건식지류해리기를 사용하여 5,000rpm에서 10분 동안 건식해리한 폐지섬유를 공시재료로 사용하였다.

폐지를 이용한 기능성 보드 제조의 기능성첨가물로 시중에 판매중인 벽체용 황토(GB-100, 황토나라)를 이용하였으며, 복합보드용 접착제로 액상 Resol형 페놀수지를 보드 제조에 사용하였다.

2) 실험방법

가) 기능성 배합물의 배합기술 분석 및 제품물성 평가

본 연구의 공시재료인 폐지는 본 연구실에서 보유한 건식지류 해리기를 이용하여 건식해리 하였으며, 건식해리된 섬유는 조사된 결과중 최적 조건의 섬유를 이용하였으며, 기능성 부여기술 분석 및 조사를 통하여 복합보드를 제조하여 물성 및 기능성 평가를 하였다.

나) 적정 성형공정 분석

복합보드 제조를 위해서 섬유와 기능성 첨가물과의 혼합시 물리적 특성에 큰 영향을 주는 성형공정중 구성요소별 혼합비율, 압체조건별 적정 성형조건과 성형조건별 성형상태를 분석하여 각각의 기초물성을 조사하였다.

이러한 폐지섬유에 기능성을 부여하기 위하여 첨가물로 황토를 배합하여 보드를 제작하였으며, 복합보드용 접착제는 액상 Resol형 페놀수지를 사용하였다. 보드의 제조가능성을 밝히기 위하여 적정 배합량 결정 및 성형조건을 검토하기 위하여 <표 8-8>과 같은 조건으로 보드를 제조하였다.

본 연구에서 사용된 제조조건에서 접착제의 혼합 및 도포 작업은 복합보드의 물성변이를 좌우하는 중요한 공정이므로 국립산림과학원에서 액상수지의 도포가 가능하게

자체 제작된 개량형 분체혼합기 <그림 8-20>을 사용하였다. <표 8-8>의 조건에서 함지율 10%, 압력 40kgf/cm², 온도 140℃로 고정한 후에 적정혼합비율, 시간과 수분에 따라 보드치수 3×210×210mm로 제조하였다.

<표 8-8> 적정혼합비율 및 성형조건

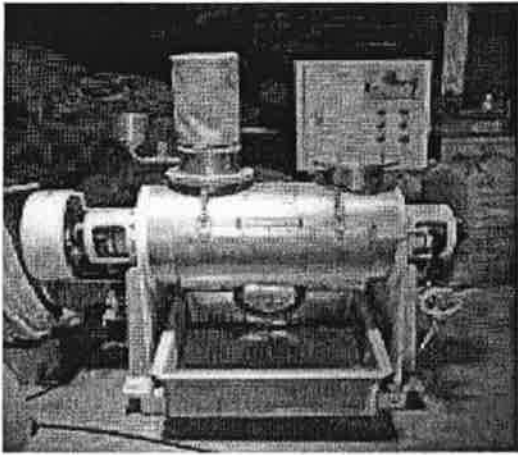
혼합비율(폐지 : 황토)	수지고형분(%)	수분량(%)	성형시간(min)
85 : 15	40	40, 50, 60	4, 8, 12
70 : 30	40	40, 50, 60	4, 8, 12
55 : 45	40	40, 50, 60	4, 8, 12

접착제 혼합 및 도포된 시료는 본 연구실에서 열압성형을 위해 제작된 4각 성형틀 내에 고르게 성형한 다음 열압하였으며, 보드성형시 발생하는 수증기가 원활하게 배출되도록 성형틀 4변에 배기구를 설치하였다. 열압경화가 완료된 보드는 냉각처리 하였으며, 온도 4℃, 습도 40%의 항온항습실에서 조습시킨 다음 물성을 측정하였다.

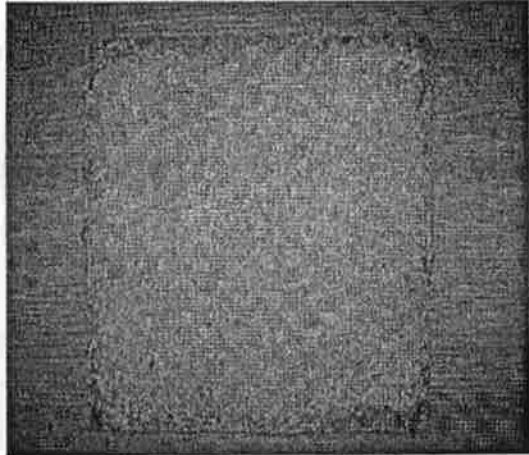
나. 연구결과

1) 기능성 보드 제조

보드 제조시 수분함량을 전체중량의 40%, 50%, 60%로 하여 열압성형을 하였으며, 혼합비율(폐지:황토)이 85:15의 비율일 때 압착시 손실되는 수지는 50%, 60%의 수분함량 조건에서 발생하였다. 또한 40%일 때 수지의 손실량은 없었으나, 물리적 성질은 수분함량이 폐지와 황토를 충분히 도포할 수 있는 50%일 때 적절한 것으로 보였다. <그림 8-21>은 위의 최적조건에서 제조된 공시재료와 기능성첨가물로 황토를 복합하여 제조한 기능성 보드의 사진이다.



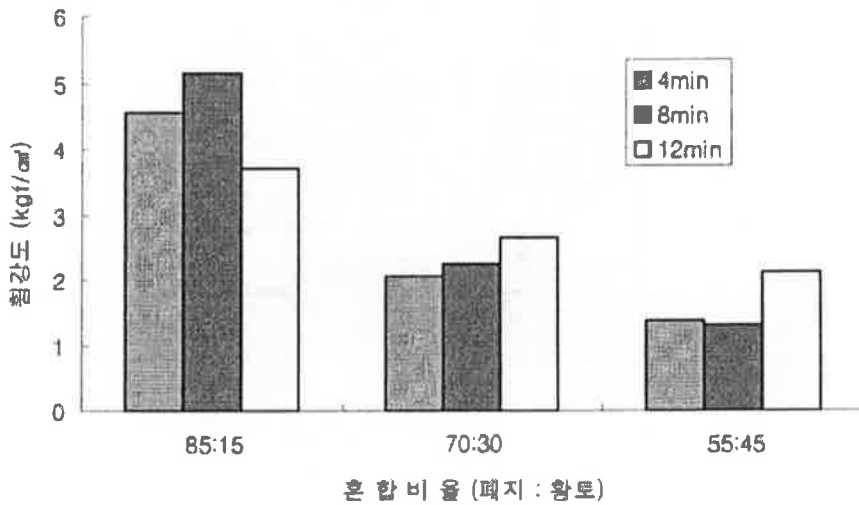
<그림 8-20> 액상수지 도포용 개량형
분체복합기



<그림 8-21> 황토를 이용하여 제조한
보드 사진

2) 제조된 기능성 보드의 물리적 특성

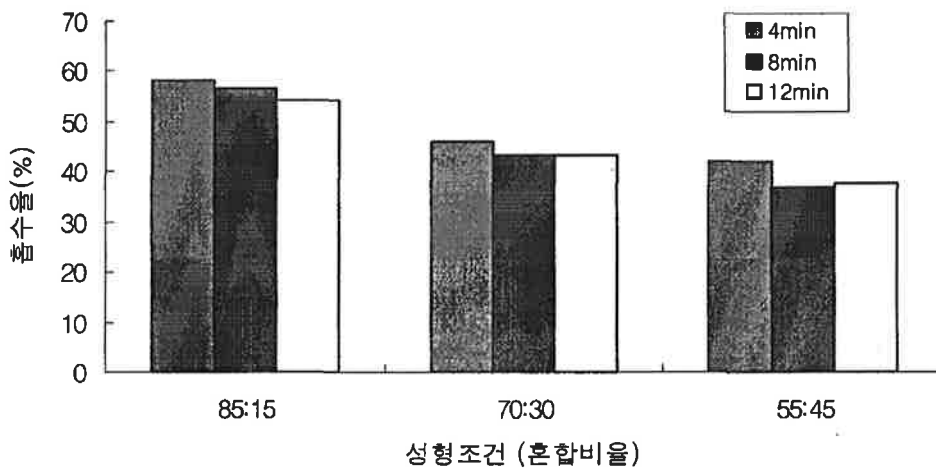
<그림 8-22>와 <그림 8-23>은 제조된 기능성 보드의 혼합비율과 성형시간에 따른 휨강도와 흡수율의 변화를 나타낸 것이다.



<그림 8-22> 성형조건별 휨강도 변화

<그림 8-22>에서 보면 보드의 중요한 특성인 휨강도가 황토의 비율이 낮은 성형조건에서 높게 나타나는 것을 알 수 있으며, 휨강도는 전반적으로 성형시간이 길수록

높았으며 가장 높은 휨강도를 나타낸 것은 성형조건이 혼합비율(폐지 : 황토) 85:15에서 8분 동안 열압·성형한 조건이었다. <그림 8-23>에서 보는 바와 같이 폐지의 혼합비율이 낮아지면서 성형시간이 길어질 때 보드의 흡수율은 낮아졌다. 이는 보드의 주원료인 폐지가 수분흡수의 요인일 것으로 생각되었다. 하지만 <그림 8-22>에서의 휨강도 변화에서 보듯이 폐지의 함량이 물리적 요인에 영향을 미치는 것으로 판단되었다.



<그림 8-23> 성형조건별 흡수율의 변화

<표 8-9> 제조된 보드의 혼합비율과 성형시간별 밀도 및 휨강도의 변화

성형조건	평균 밀도(g/cm ³)	평균 휨강도(kgf/cm ²)
85 : 15 (4분)	1.28	4.55
85 : 15 (8분)	1.32	5.14
85 : 15 (12분)	1.36	3.37
70 : 30 (4분)	1.29	2.07
70 : 30 (8분)	1.28	2.25
70 : 30 (12분)	1.41	2.64
55 : 45 (4분)	1.45	1.39
55 : 45 (8분)	1.54	1.30
55 : 45 (12분)	1.53	2.14

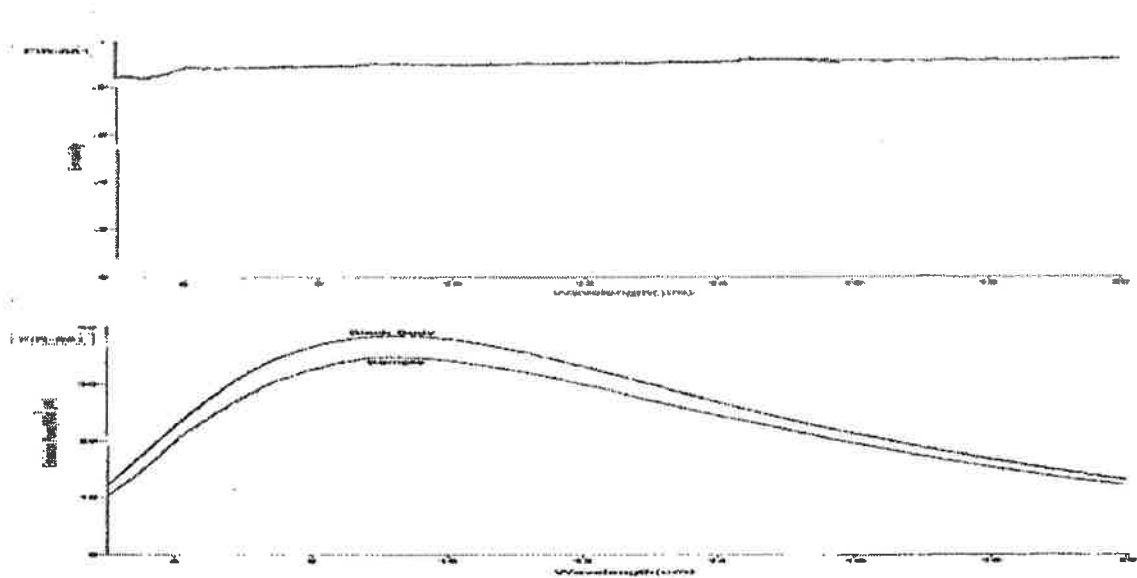
<표 8-9>를 보면 각 조건별 밀도는 황토의 비율이 높아질수록 점차적으로 늘어나는 것을 볼 수 있으나, 휨강도는 줄어드는 것을 알 수 있었다. 이는 황토의 비율이 늘어나면 일정량의 접착제로는 페지와 혼합이 어려워져 보드의 강도가 떨어진다는 것을 알 수 있었다. 휨강도는 성형시간이 길어질수록 증가하는 경향을 보이거나 혼합비율과 성형시간별 추이는 상이한 것으로 생각되었다.

3) 제조된 보드의 기능성 평가

<표 8-10>과 <그림 8-24>는 제조된 보드의 기능성 평가를 위한 원적외선 방출량 시험 결과이다. <표 8-10>에서 보는 바와 같이 원적외선방사율은 blank 시편(흑체 방사율 1.0)에 대해서 약 90% 정도 방사되는 정도를 보이고 있어 그 정도가 상당한 것으로 판단되었다.

<표 8-10> 제조된 보드의 원적외선 방출량

시험 항목	시험 결과
방사율(5~20 μ m)	0.902
방사에너지(W/m ²)	3.64 \times 10 ²



<그림 8-24> 제조된 기능성 보드의 원적외선방사율(상) 및 방사에너지(하)

* 방사에너지 : 위 curve- blank시편(흑체), 아래 curve- 보드 시험편

다. 결과 요약

본 연구는 건식지류 해리기를 이용하여 해리된 섬유와 기능성 첨가물을 이용하여 보드를 제조하여 그 물성 및 기능성을 시험하고 보드의 이용 가능성을 평가하였으며, 얻어진 결과는 다음과 같다.

- 1) 폐지를 동일한 조건에서 해리하였을 때 신문용지를 5,000rpm에서 10분간 건식해리하여 사용하는 것이 복합보드의 제조를 위한 섬유제조사의 최적조건으로 판단되었으며, 이러한 조건에서 제조된 섬유를 기능성첨가물인 황토와 혼합하여 보드를 제조할 때의 전체중량의 50%의 수분함량에서 혼합비율(폐지:황토) 85:15로 8분 동안 열압·성형하는 것이 가장 적절한 조건으로 나타났다.
- 2) 제조된 보드의 기능성 평가를 위해 원적외선방출량을 측정하였으며, 방사율이 90% 정도로 상당한 것으로 평가되었다.
- 3) 이러한 기능성첨가물을 사용한 보드 제조는 복합소재와 폐지의 혼합가능성을 보여주었으며, 경제적인 측면과 제조공정상의 단점의 검토 및 다양한 조건의 탐색 등의 지속적인 연구가 필요하다고 사료된다.

5. 완충용 폐지보드 제조기술 개발

가. 재료 및 방법

1) 실험재료

본 연구의 공시재료인 폐지는 경북대학교에서 보유한 건식지류해리기를 이용하여 건식해리하였다. 완충용 소재로 생활쓰레기 중 다량으로 배출되고 있는 폐합성섬유를 이용하였다.

2) 실험방법

가) 배합기술 분석 및 제품의 물성평가

본 연구의 공시재료인 폐지를 섬유화한 후 완충소재와의 배합기술을 분석, 조사하였으며 기능성을 평가하였다. 건식해리된 신문지 섬유와 폐합성섬유의 복합보드의 제조가능성을 밝히기 위해 먼저 배합량에 대해 검토하였으며, 목표밀도 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 의 보드를 제조하기 위한 폐지 배합비에 대해 조사하였으며 폐합성섬유의 변성기술에 대한 검토도 시행하였다.

나) 완충용 폐지보드의 제조

완충용 폐지보드를 제조하기 위해서 폐지섬유와 완충용 소재의 혼합시 특성에 영향을 주는 성형공정을 분석하여 각각의 기초물성을 조사하였다.

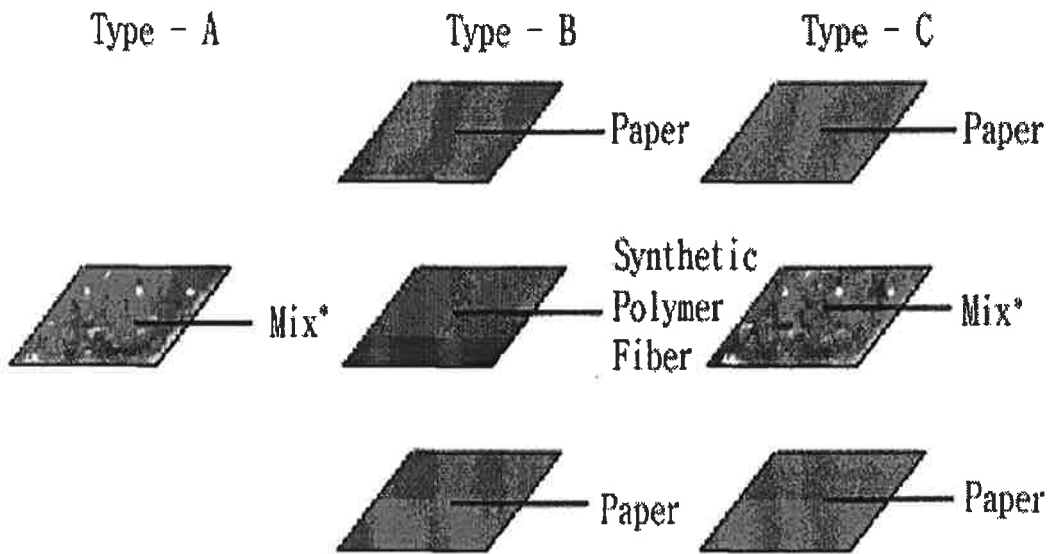
이를 위해 폐지와 폐합성섬유의 비는 중량비로 9 : 1로 하여 총 중량은 147g 이고 $3\times 210\times 210\text{mm}$ 의 보드를 제조하였다. 이때 폐지와 폐합성섬유의 적층배합 방법은 첫째 폐지와 폐합성섬유를 완전히 혼합하여 하나의 층으로 제조하였으며 두 번째는 폐지와 폐합성섬유를 각각 다른 층으로 적층하여 제조하였으며, 세 번째는 표면과 이면에는 폐지를 사용하며 심판은 첫 번째 방법과 같이 폐지와 폐합성섬유를 혼합하여 적층하는 방법으로 제조하였다. 이때 적정 성형조건을 검토하기 위하여 $30\text{kgf}/\text{cm}^2$ 와 $40\text{kgf}/\text{cm}^2$ 로 제조하였으며, 열판온도도 160°C , 200°C 로 다르게 하여 보드를 제조하였다. 이때 사용하는 접착제인 페놀수지의 중량비는 15%로 사용하여 보드를 제조하였다. 아래와 같이 복합보드를 제작하였으며, 제조방법은 <그림 8-25>의 모식도로 나타낼 수 있다.

Type A : 매트성형시 사용되는 전체 폐지와 폐합성섬유를 완전히 혼합하여 단층의 판을 제조하는 방법

Type B : 매트성형시 사용되는 전체 폐지와 폐합성섬유를 폐지-섬유-폐지 순서로 3단으로 나누어 적층하는 방법

Type C : Type B와 같이 3단으로 매트성형하는데, 표판과 이판에는 폐지, 심판에는 Type A와 같이 두 재료를 혼합하여 성형하는 방법

이렇게 제조된 완충용 폐지보드의 물리·기계적 특성을 조사 검토하였다.



<그림 8-25> 폐지와 폐합성섬유 제조방법 모식도

나. 연구 결과

1) 제조된 완충용 폐지보드의 적정 성형 조건

제조된 완충용 폐지보드의 열압조건에 따른 영향을 살펴보면, Type B를 사용하여 페놀수지(고형분 15%)를 22% 도포하고, 열판온도 160℃, 가압시간 10분의 1단압체의 동일한 조건에서 프레스의 압력을 30kgf/cm²과 40kgf/cm²로 다르게 하여 제조한 보드를 비교하였다. 30kgf/cm²과 40kgf/cm²으로 제조한 두 보드 모두 비교적 깨끗한 표면상태를

나타냈지만, 30kgf/cm² 성형 보드는 40kgf/cm² 성형 보드보다 끝단의 휨이 약간 더 컸다. Type C를 사용하여 제조한 두 보드의 평가도 40kgf/cm²이 30kgf/cm²보다 약간 더 평활했다. 보다 나은 평활도를 위해 열압시 40kgf/cm²이상의 압력이 필요하다는 것을 알 수 있었다.

또한, Type B를 사용하여 페놀수지(고형분 15%)를 22% 도포하고, 가압시간 10분, 압력 40kg/cm², 1단압체의 동일한 조건에서 열판온도를 160℃와 200℃로 다르게 하여 제조·비교하였다. 이때 160℃의 온도를 사용한 이유는 이것이 일반적인 페놀수지의 경화온도이기 때문이다. 200℃를 사용한 이유는, 더 높은 온도로 제조시 소재의 표면상태를 평가하기 위해서 실시하였다. 열판온도를 달리하여 제조한 두 보드를 비교할 때, 200℃의 보드의 경우 열판온도가 너무 높아 표면과 이면에 단열을 위해 붙여놓은 테르판지가 녹아 늘어붙었고 양면의 폐지와 분무한 페놀수지가 약간 연소해버리는 현상이 관찰되었다.

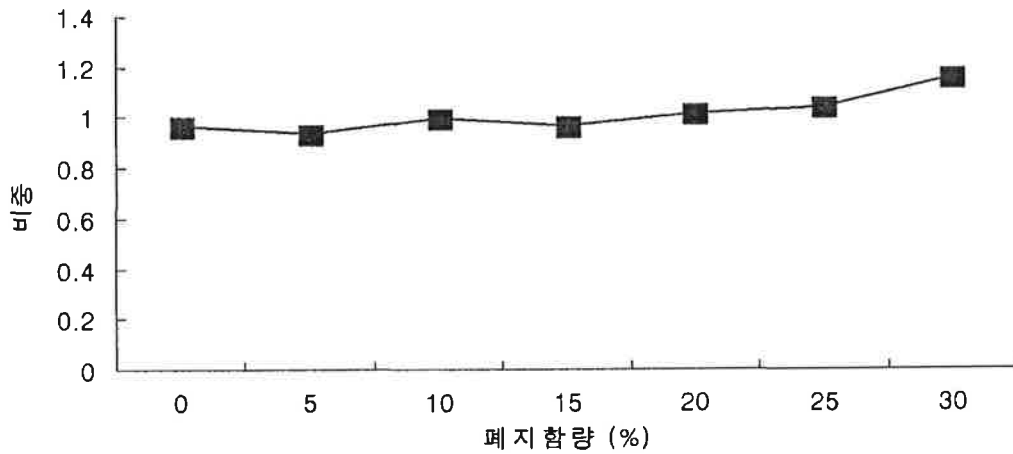
따라서, 열판온도 160℃에서, 위와 같은 조건을 적용하여 1단압체(압력 40kgf/cm²)로 열압시간을 8분과 10분으로 달리하여 보드를 제조·비교하였다. 두 보드의 표면성은 유사하였으나, 8분의 열압시간으로 제조한 보드는 모서리부분에서 큰 할렬이 나타났다. 그리고 10분의 열압시간으로 제조한 보드보다 평활성이 더 나빴다. 이것으로 보아 열압시간이 충분하지 않으면 열과 압력이 보드 내부까지 충분히 전달되지 않고 표면경도와 평활도도 나빠지게 된다고 생각되었다. 위의 사항을 종합해볼 때, 평활도와 층간 결합을 높이기 위해서는 열압시 40kgf/cm²이상의 압력과 10분이상의 열압시간이 필요하다고 판단되었다.

1단압체보다 더 높은 평활성과 표면상태를 얻기 위해, 동일한 조건을 사용하고 3단압체법을 사용하여 제조한 보드를 1단압체법으로 제조한 보드와 비교하였다. 3단압체 Type A와 1단압체법을 비교할 때, 3단압체 Type A는 초기열압시간이 충분하지 않아 내부결합이 약해져서 큰 할렬이 발생하였다. 3단압체 Type B와 1단압체법을 비교할 때, 3단압체 Type B는 표면상태는 큰 차이가 없었으나 평활도가 개선된 것을 알 수 있었다.

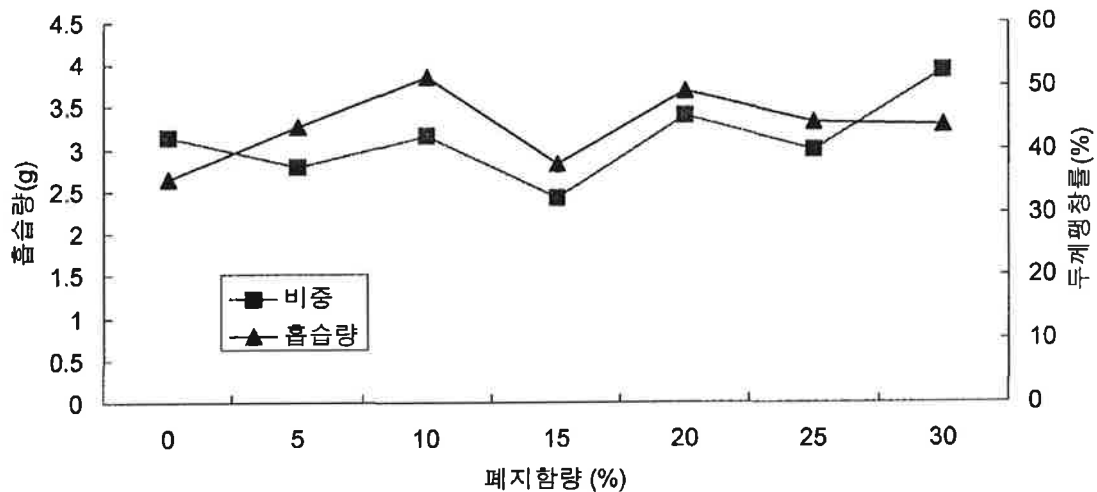
2) 제조된 완충용 폐지보드의 물리적 특성

<그림 8-26>에서와 같이 폐지와 폐합성섬유의 혼합비와 비중은 폐합성섬유의 혼합률이 커짐에 따라 밀도가 약간 상승하는 경향이 있었다. <그림 8-27>은 제조된 복합

보드의 흡습량과 두께팽창률을 조사한 것이다. 흡습량은 대략 2.5~4.0g 정도이고, A와 G(폐합성섬유 함량이 가장 높은 보드) 시편이 가장 높은 흡습량을 나타내었고 D(85:15)시편이 가장 낮은 흡습량을 나타내었다. 두께팽창률의 경우 대략 13.5~15% 정도로 KS규격(12%)을 넘어섰다. A(폐지보드)와 D 시편이 가장 낮게 나타났고 C와 E 시편에서 가장 높게 나타났다. 이것으로 보아 폐지와 폐합성섬유의 혼합비가 가장 적당할 때, 높은 내수성을 지닌다는 것을 알 수 있었다.

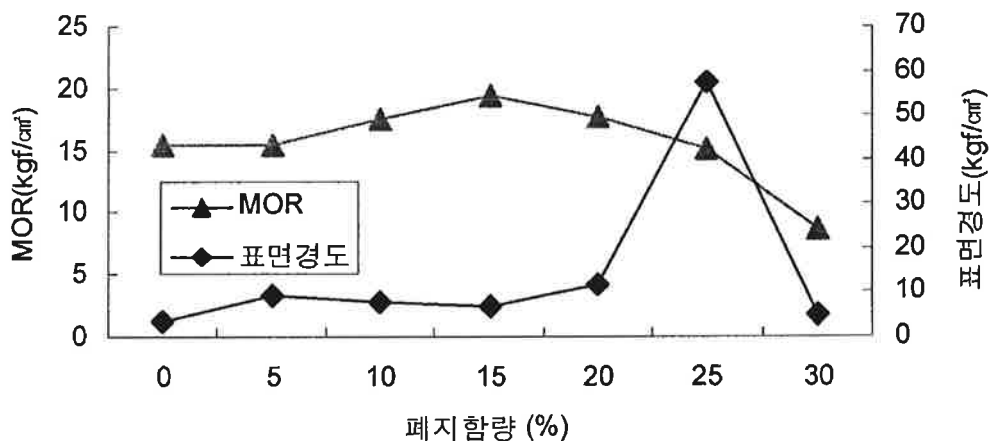


<그림 8-26> 폐지함량에 따른 비중의 변화



<그림 8-27> 폐지함량에 따른 흡습량 및 두께팽창률의 변화

<그림 8-28>은 제조된 완충용 폐지보드의 휨강도측정 결과이다. 폐지의 비율이 높은 시편의 경우 휨강도가 높게 나타났으며 폐합성섬유의 비율이 상대적으로 높은 경우 휨강도가 비교적 낮게 나타났다. 대략 8~18kgf/cm²의 강도를 나타내었다. 특히 폐지와 폐합성섬유 비가 85:15(D)일 때까지는 휨강도가 지속적으로 상승하고 있으나 그 이후에는 떨어지기 시작하는 것을 볼 수 있었다. 이것으로 보아 종이보드보다 적당한 혼합비로 제조한 복합보드재료가 더 높은 휨강도를 낼 수 있다는 것을 알 수 있었다. <그림 8-28>은 제조된 완충용 폐지보드의 표면경도의 변화를 살펴보면 폐지와 폐합성섬유 혼합비가 75:25(F)인 상태의 보드재료의 표면경도가 다른 조건들의 상태보다 월등히 높게 나타남을 알 수 있었다.



<그림 8-28> 폐지함량에 따른 휨강도와 표면경도의 변화

다. 결과 요약

본 연구는 폐지와 폐합성섬유로 완충용 폐지보드 제조의 가능성을 평가하고, 배합 기술 및 적정 성형공정 분석을 시행하여 이용 가능성을 평가하였으며, 얻어진 결과는 다음과 같다.

- 1) 완충용 폐지보드 제조방법은 두 원료를 나누어 폐지-폐합성섬유-폐지의 3층으로 적층하는 것이 가장 훌륭한 결과를 나타내었고, 접착제 함량은 15%, 열압온도는 160℃, 가압시간은 10분이 적절한 것으로 나타났다.

- 2) 평활한 표면상태를 얻기 위해 열압시간과 압력이 각각 8분→5분→3분, 40kg/cm²→30kg/cm²→20kg/cm²을 사용한 3단압체법을 사용하면 보다 나은 결과를 얻을 수 있었다.
- 3) 다양한 혼합비에 따라 제조한 보드의 평가에서, 비중은 거의 유사하였고 흡수량, 두께팽창률을 볼 때 종이 보드재료보다 폐지·폐합성섬유 복합 보드의 물성이 비교적 더 좋았고 특히 D(85:15)시편이 가장 좋았다.
- 4) 시제품을 제조하여 특성 평가를 한 결과, 무엇보다도 폐합성섬유의 원료특성이 완충성이 뛰어난 관계로 완충성 및 흡음성을 고려한 보드로의 추가적인 개발연구가 필요한 것으로 판단되었다.
- 5) 배합비율 및 폐합성섬유의 섬유길이의 조정 등에 의해 완충성도 간접적으로 조정할 수 있는 가능성이 보였기 때문에, 본 연구결과에서 고찰된 바와 같이 폐지와 폐합성섬유와 같은 폐기물로도 다용도의 범용 보드를 생산할 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 완전한 제조공정의 확립에 의해 산업화를 함으로써 복합소재의 생산에는 큰 문제가 없을 것으로 사료되었다.

6. 폐지를 이용한 고분자 복합소재 개발 및 현장 적용성 검토

가. 재료 및 방법

1) 실험재료

본 연구의 공시재료인 폐지는 경북대학교에서 보유한 건식지류해리기를 이용하여 건식해리하였다. 목질계 섬유는 용융상태에서 열가소성 수지와 혼합이 가능하며, 이러한 열가소성 수지의 용융온도는 목질계 섬유의 셀룰로오스가 열적으로 분해 가능한 온도인 200℃미만으로 이들은 서로 친화성이 있다는 것이 일반적인 것으로 보고 있다. 본 연구의 공시재료인 고분자소재는 현재 시판되고 있는 LDPP-TN131(SK-CHEM)와 LDPE-0800(LG-CHEM)을 사용하였다

2) 실험방법

합성고분자 복합폐지보드를 제조하기 위해서 섬유와 합성고분자와의 혼합시 물리적 특성에 큰 영향을 주는 배합기술과 성형공정을 분석하여 각각의 기초물성을 조사하였다.

가) 합성고분자의 배합기술 및 적정 성형공정 분석

건식해리된 신문지 섬유와 PE를 <표 8-11>과 같은 혼합조건으로 170℃로 예열된 성형기에 넣고 5분간 완전히 혼합시킨 후 다시 3분 동안 50rpm으로 회전하는 roll mixer에서 혼합한 후 복합체를 제조한 다음 상태를 검토하였으며, 마찬가지로 PP 또한 <표 8-11>과 같은 혼합조건으로 180℃로 예열된 성형기에 넣고 5분간 섬유와 완전히 혼합시킨 후 다시 3분 동안 50rpm으로 회전하는 roll mixer에서 혼합한 후 복합체를 제조한 다음 상태를 검토하였다. PE 100part와 PP 100part에 건식해리된 신문지 섬유의 함량을 10~100part로 변화를 주어 펄프함량이 복합체에 미치는 영향을 검토하였다.

<표 8-11> 수지에 대한 폐지 함량 비율

PE수지 100part에 대한 펄프 첨가량(part) PP수지 100part에 대한 펄프 첨가량(part)	
10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80

나) 제조된 합성고분자 복합폐지보드의 물리적 특성

PE와 신문지 섬유를 충분히 교반한 후 170℃로 미리 예열된 roll mixer에서 50rpm, 3분 동안 blending한 후 170℃로 예열된 열압프레기로 2×20×120mm 크기의 강도 측정용 시편을 제조하여 만능재료 시험기를 사용하여 인장강도를 측정하였다. 또한 PP의 경우에는 180℃의 roll mixer에서 같은 방법으로 시험하였다.

PE 100part에 건식해리된 신문지 섬유를 30part, MAH(무수말레인산) 0.75wt%를 넣고 동일한 조건에서 라디칼 개시제 TBPB(t-butyl peroxybenzoate)의 함량에 변화를 주어 복합체의 인장강도에 미치는 영향을 검토하였으며, PP의 경우에는 100part에 건식해리된 신문지 섬유를 70part, MAH(무수말레인산) 0.5wt%를 넣고 동일한 조건에서 라디칼 개시제 TBPB의 함량에 변화를 주어 복합체의 인장강도에 미치는 영향을 검토하였다.

PE 100part에 건식해리된 신문지 섬유를 30part 넣고 라디칼 개시제 TBPB 0.25wt%의 동일한 조건에서 MAH의 함량에 변화를 주어 복합체의 인장강도에 미치는 영향을 검토하였다. MAH는 원료와 충분히 혼합되기 위해서 3ml의 아세톤에 용해시킨 후 신문지 섬유-PE복합체와 충분히 교반시키고 170℃로 미리 가열된 brabender에 넣고 50rpm에서 3분 동안 blending하여 시편을 제조하였다

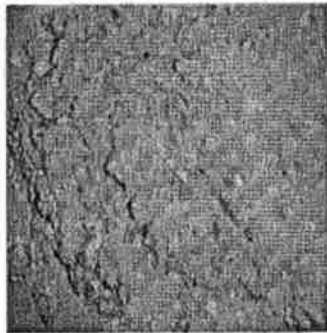
PE 100part에 건식해리된 신문지 섬유를 70part 넣고 라디칼 개시제 TBPB 0.25wt%의 동일한 조건에서 MAH의 함량에 변화를 주어 복합체의 인장강도에 미치는 영향을 검토하였다.

다) 펠릿의 제조

본 연구에서 고분자소재와 폐지의 혼합을 위해 각 공시재료들의 혼합정도를 확인하기 위하여 각각의 공시재료를 10:1, 5:1, 3:2 (고분자수지:폐지)로 <그림 8-29>의 공정으로 blender에 넣고 충분히 혼용되도록 140℃에서 20분간 blending하였다. 이렇게 blending한 후, 회전식 roll을 통과시켜 냉각하였다. 그 후 냉각된 재료를 펠릿형태로 절단하였다.

라) 제조된 펠릿의 물성 조사

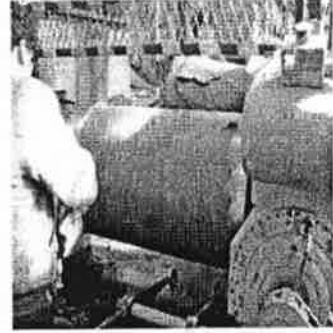
제조된 펠릿의 혼용 정도를 알아보기 위해서 표면 사진을 찍어보았으며, 복합고분자소재로의 활용이 가능한지를 알아보기 위하여 열적 특성을 TG-DTA(Differential Thermal Analysis)로 평가하였다.



① 폐지섬유 + 고분자소재



② 혼용과정



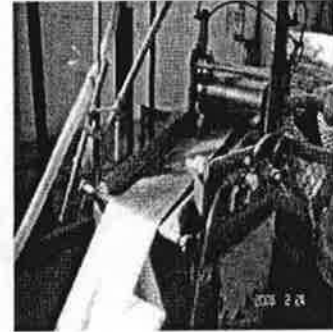
③ 회전식 roll 통과



④ 압출과정



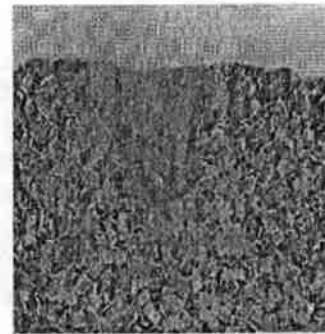
⑤ 냉각과정



⑥ 이송과정



⑦ 절단과정



⑧ 제조된 펠릿

<그림 8-29> 고분자수지와 폐지를 혼용한 복합고분자 소재 생산 공정

나. 연구 결과

1) 합성고분자의 배합기술 및 적정 성형공정 분석

건식해리된 신문지 펄프와 PE수지와와의 혼합에서는 섬유의 혼합비율이 40part까지는 비교적 PE수지와 혼합이 이루어지는 반면, 50part에서는 펄프와 PE수지간의 혼합이 불량해지는 것을 알 수 있었다. 한편, 펄프첨가량이 40part 이상에서는 혼합후 복합체

의 표면이 거칠어지며, 색깔도 펄프의 첨가량이 증가할수록 흑색을 띠게 되었다. 이와 같은 결과는 펄프의 첨가량이 증가할수록 혼합되는 펄프와 고점도의 PE수지와와의 혼합보다는 섬유간 엉김이 발생하여 섬유의 고른 분산이 이루어지지 않으며, 유동성이 감소하기 때문으로 생각한다. 한편 색깔의 경우, 펄프의 첨가량이 증가할수록 복합체의 색깔이 검게 변하게 됨을 알 수 있었다. 이와 같은 결과로 전식해리된 신문지 펄프와 PE수지복합체의 제조에 있어서 펄프의 첨가량은 PE수지 100g에 대하여 신문지 펄프 40g까지가 최대 첨가량이라고 생각되었다.

전식해리된 신문지 펄프와 PP수지와와의 혼합에서는 섬유의 혼합비율이 70part까지는 비교적 PP수지와 혼합이 이루어지는 반면, 80part에서는 펄프와 PE수지간의 혼합이 불량해지는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 PE수지복합체 제조의 경우와 동일한 이유로 초래되었으며, PP수지복합체의 제조에 있어서 펄프의 첨가량은 PP수지 100g에 대하여 신문지 펄프 70g까지가 최대 첨가량이라고 생각되었다.

한편, 신문지 펄프의 PP수지와와의 혼합과 PE수지와와의 혼합을 비교해 보면 첫째, brabender의 torque가 더 많이 걸리는데, 이러한 결과는 PP수지가 PE수지보다 점도가 높기 때문에 일어나는 것으로 판단되며, 둘째, PP수지복합체가 PE수지복합체보다 복합체에서 펄프의 배열이 더 치밀하게 나타나며, 이러한 결과는 펄프가 PP수지와 혼합에 있어서 고점도의 PP수지와와의 혼합이 섬유간의 엉김현상 등에 의하여 펄프와 PP수지간의 결합이 나빠지게 되기 때문으로 판단되었다. 이러한 결과로 인해 brabender에서 혼합이 될 때 펄프의 섬유들은 일정한 배향성을 가지게 되며, 혼합시 회전력에 의해 섬유의 배열이 치밀하게 된다고 생각되었다.

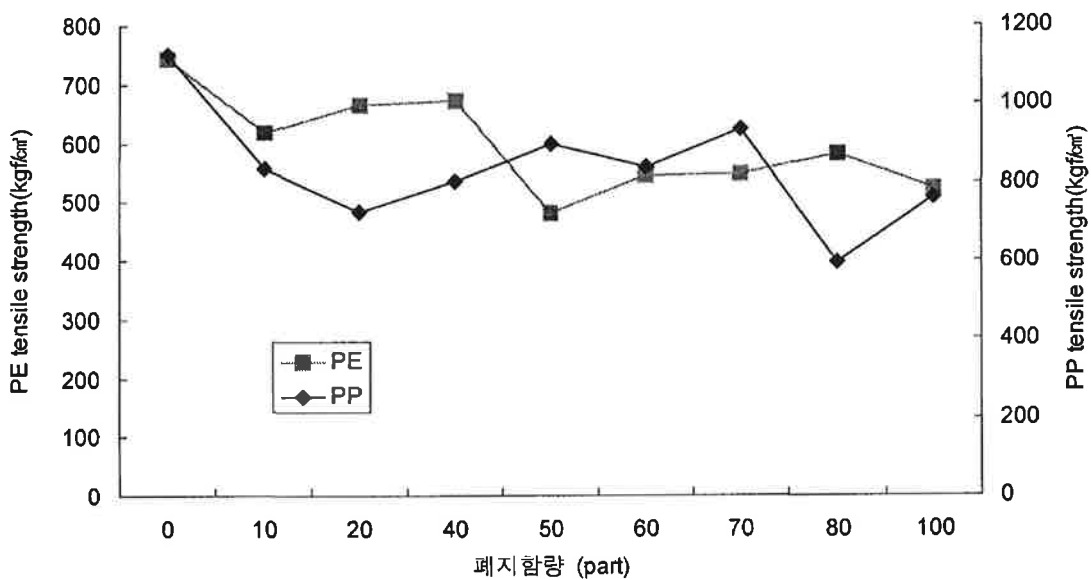
2) 제조된 합성고분자 복합폐지보드의 물리적 특성

<그림 8-30>은 제조된 합성고분자 복합폐지보드의 인장강도를 측정한 결과이다. <그림 8-30>에 나타나듯이 수지를 변성처리하지 않고 펄프를 수지에 대해 증량제로 사용하였을 때의 인장강도는 순 PE수지보다 낮게 나타났으며 수지에 대한 펄프함량이 40part일 때 인장강도는 상대적으로 제일 크게 나타났다.

<그림 8-30>처럼 신문지펄프-PE수지복합체와 마찬가지로 PP수지에 펄프를 첨가했을 때 인장강도는 순 PP수지보다 저하되고 PP에 대한 펄프함량이 70part일 때 인장강도가 상대적으로 제일 크게 나타났다. 이 때 순수 PP수지보다 인장강도가 낮게 나타나는 것은 섬유와 PP수지간 화학적 결합 없이 단순히 혼합된 상태로 성형되었기

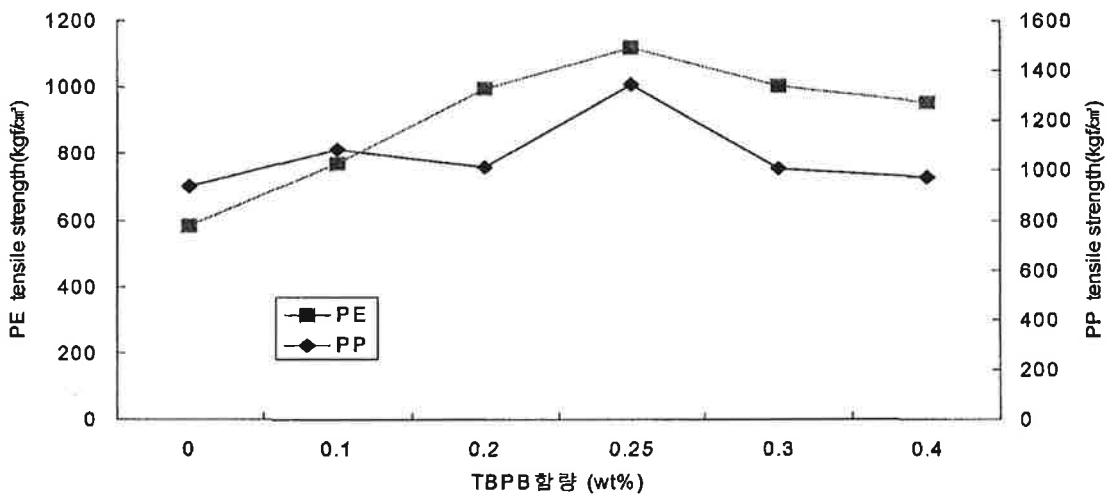
때문이며, PP수지의 경우 최적 펄프 첨가량은 70part라고 생각되었다.

<그림 8-31>은 제조된 합성고분자 복합폐지보드의 인장강도에 있어서의 TBPB함량의 변화에 따른 영향을 나타낸 결과이다. <그림 8-31>에 나타나듯이 PE수지 100part, 신문지 펄프 30part, 무수말레인산(MAH) 0.75wt%가 혼합된 복합체에서 라디칼 개시제의 함량이 0.25wt%일 때, 인장강도는 가장 크게 나타났으며 복합체의 인장강도는 첨가제를 넣지 않았을 때의 약 2배로 나타났다.



<그림 8-30> 폐지함량에 따른 PE, PP보드의 인장강도 변화

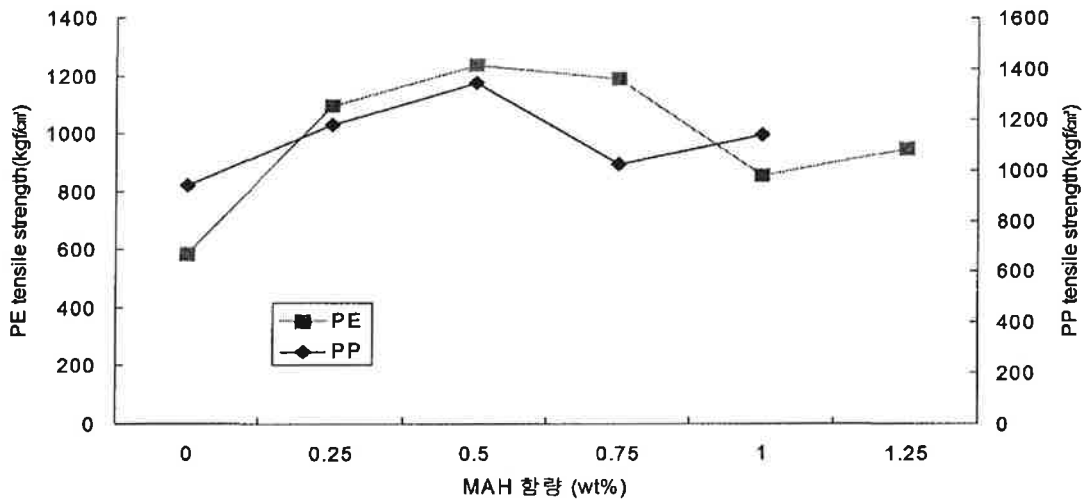
한편 TBPB의 첨가에 따른 인장강도의 증가는 폐지·수지 복합체 제조시 라디칼 개시제인 TBPB의 첨가로 섬유와 합성수지간 화학적 결합에 따른 영향으로 판단되며, 일정농도 약 0.25% 이상에서는 인장강도가 저감되는 현상을 보여 최적 TBPB 첨가량은 0.25wt%로 판단되었다.



<그림 8-31> TBPB 함량에 따른 PE, PP보드의 인장강도

<그림 8-31>에 나타나듯이 라디칼개시제의 함량이 0.25wt%일 때 복합체의 인장강도는 가장 크게 나타났으며 변성제를 첨가하지 않은 복합체의 인장강도와 비교해 보면 약 1.5배의 강도향상을 얻었다. 한편 PP수지와 PE수지의 경우 동일하게 라디칼개시제의 최적 첨가량은 0.25wt%로 나타났으며, 대조구에 비해 TBPB가 첨가된 복합체의 인장강도가 높게 나타난 것은 상기의 이유와 동일하기 때문으로 생각되었다.

<그림 8-32>는 제조된 합성고분자 복합체지보드의 인장강도에 있어서의 MAH함량의 변화에 따른 영향을 나타낸 결과이다.



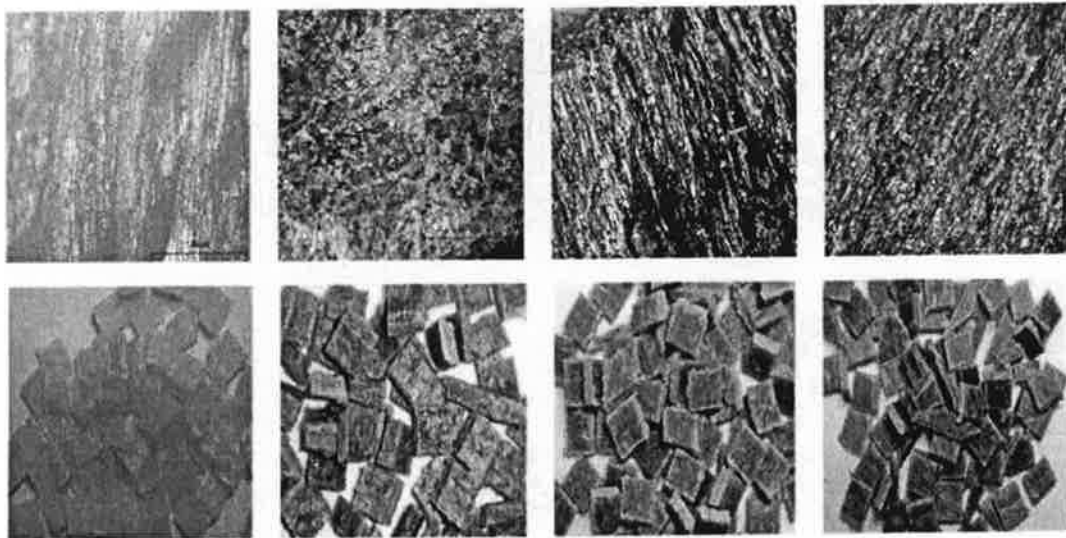
<그림 8-32> MAH 함량에 따른 PE, PP보드의 인장강도

<그림 8-32>에서처럼 라디칼 개시제(TBPB) 0.25wt%를 첨가한 신문지 펄프-PE수지 복합체에 무수 말레인산의 함량을 변화시켜 인장강도를 측정한 결과, 무수말레인산 함량이 0.5wt%일 때 인장강도는 가장 높게 나타났으며, 대조구에 대해 약 2배 정도의 높은 인장강도를 보였다. 이것은 무수말레인산에 의해 변성된 수지의 에스테르화에 의해 섬유와 합성수지간 화학적 결합이 발생하기 때문으로 생각되며, 무수말레인산 함량이 0.5wt% 이상일 때 인장강도가 저감되는 경향을 보여 최적 무수말레인산 첨가량은 0.5wt%로 판단되었다.

<그림 8-32>에서는 무수말레인산의 함량이 0.5wt%일 때 복합체의 인장강도는 가장 크게 나타났으며, 변성제를 첨가하지 않은 복합체의 인장강도와 비교해 보면 약 1.5배의 강도향상을 얻었다. 무수말레인산 첨가시 0.5wt% 첨가에서 가장 높은 인장강도를 보이다가 그 이상 첨가될 때 다소 인장강도가 저하되는 경향을 보이는 것은 수지의 과도한 변성에 의해 수지 자체의 강도가 저하되기 때문에 위의 결과를 초래한 것으로 생각된다.

3) 제조된 펠릿의 표면사진

<그림 8-33>은 혼용 비율별 펠릿의 사진 및 표면특성을 나타낸 것으로 폐지비율이 10% 미만일 경우 점성이 큰 수지의 특성을 보이며 20%가 되면 수지와 섬유의 분산성이 우수해지는 결과를 보였다. 그러나 30%가 되면 pellet의 자체 강도가 상당히 약해지며, 표면의 섬유 평활성이 저하되는 경향을 보였다.

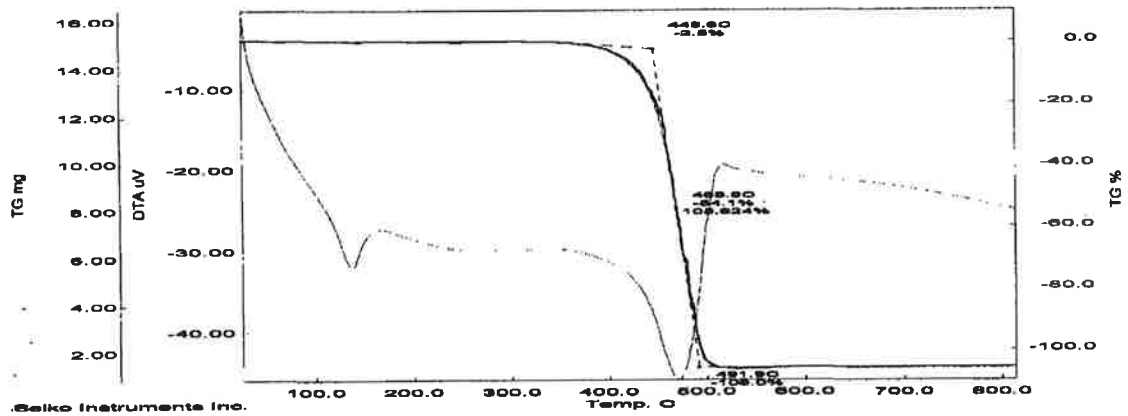


<그림 8-33> 혼용 비율별 펠릿의 사진 및 표면특성

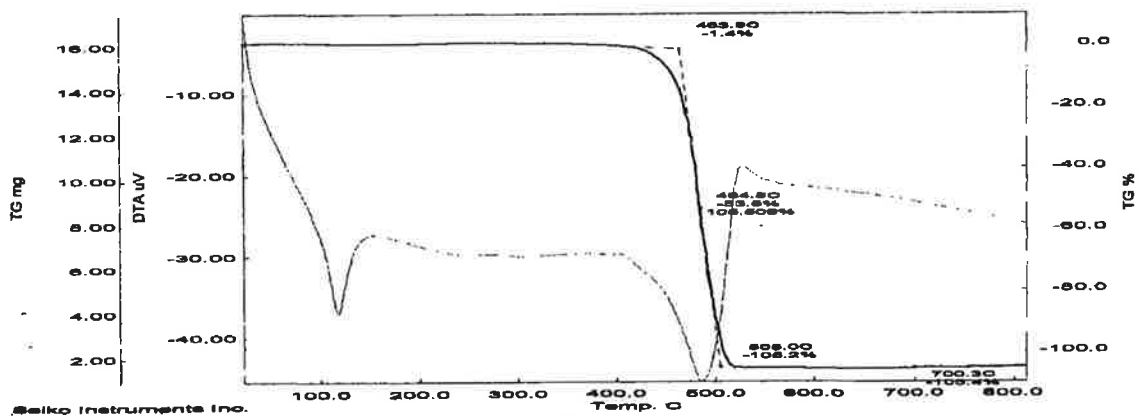
4) 제조된 펠릿의 열적특성

<그림 8-34>에서 보는바와 같이 LDPP-TN131(SK-CHEM) , LDPE-0800(LG-CHEM)의 경우 각각 445℃와 463℃에서 열적변화를 일으키기 시작하여 491℃, 505℃에서 변화를 마쳤으며, 공장에서 제작 사용 중인 상용고분자 펠릿의 경우는 200℃에서 변화를 시작하여 466℃에서 중량의 50% 이상 열분해 되었으며, 509℃에서 변화를 마쳤으나, 제조된 펠릿의 경우는 454℃에서 중량의 20%가 열분해 되기 시작하여 497℃에서 열적변화를 마쳤다.

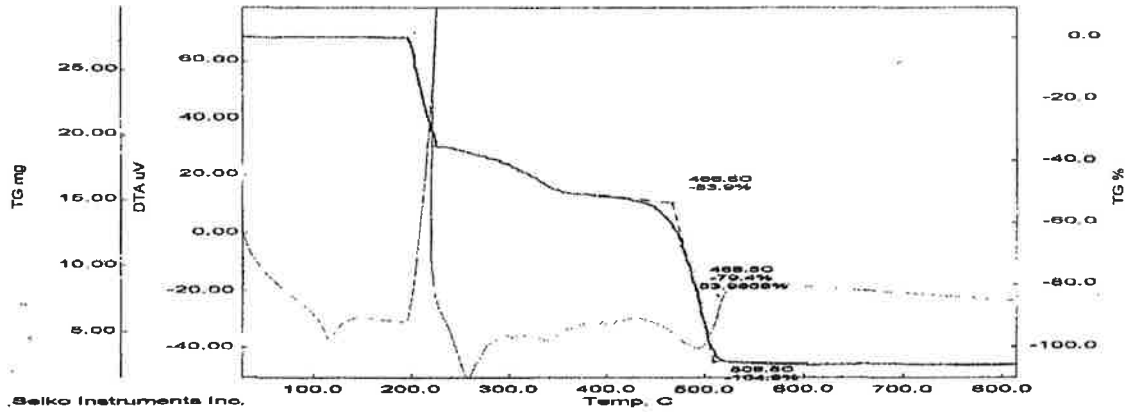
또한, 제조된 펠릿이 상용중인 기존의 펠릿에 비해 보다 높은 온도에서 열적변화를 시작하며, 중량의 변화 또한 적은 것으로 볼 때 열적특성이 우수하여 실용화 가능성이 높은 것으로 사료되었다.



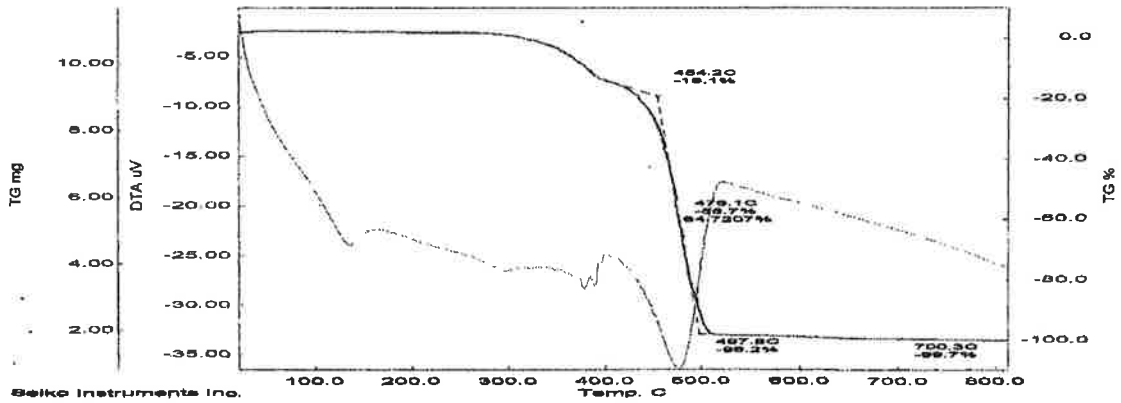
①



②



③



④

<그림 8-34> 제조된 펠릿의 열적 특성 (TG-DTA)

(① LDPP-TN131(SK-CHEM) ② LDPE-0800(LG-CHEM) ③ 상용고분자 펠릿 ④ 제조된 펠릿)

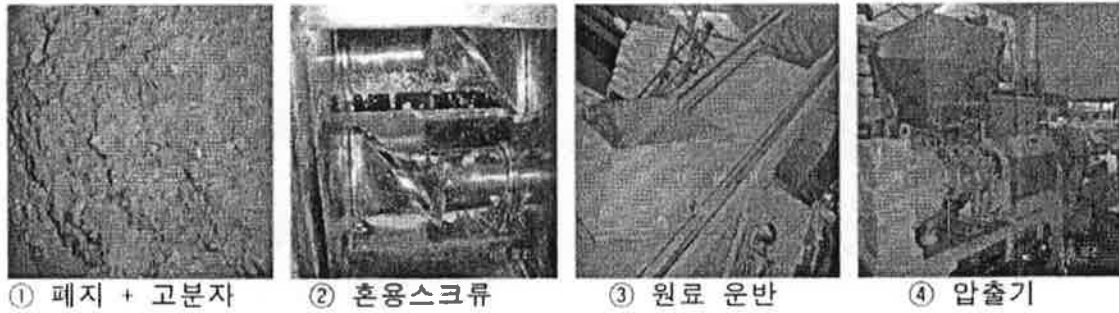
다. 현장적용시험 및 시제품 제조

1) 시제품 재료 및 설비

시제품 제작을 위한 재료로 제 8항에서 제조한 펠릿을 이용하였다. 또한 기능성을 부여하기 위하여 옥, 황토 등을 사용하였으며, 난연제 및 발포제를 사용하였다. 시제품 제작을 위해 (주)태영산업에 있는 압출기, 사출기 및 발포기를 임대하여 이용하였다.

2) 시제품 시트 제작을 위한 공정

<그림 8-35>는 시제품 시트를 제작 하는 공정으로서, 일반 상업용 시트 제작과 동일한 공정이다. 제조된 펠릿과 상용 고분자를 blending한 후에 압출기를 통하여 압출 후 냉각하면서 roll에 감아 제품을 생산하였다.



① 페지 + 고분자

② 혼용스크류

③ 원료 운반

④ 압출기

<그림 8-35> 제조된 펠릿을 이용한 시제품 공정

3) 시제품 시트 제작시 배합 조건

시제품 시트는 제 8항에서 제조된 펠릿과 상업용 고분자수지(LDPP-TN131(SK-chem) 또는 LDPE-0800(LG-chem))을 사용하여 <표 8-12>과 같은 조건으로 시트를 제조하였다. 상업 시트와 제작 시트는 동일한 조건에서 제작하였으며 단지 제조된 펠릿과 상용고분자의 비율만 달리하였다. 기능성 시트 제작시 부여하는 기능성에 영향을 주는 조건을 배제하기 위하여 착색제는 첨가하지 않았다.

<표 8-12> 시트 시제품 제조시 배합 조건

재 료	상용시트	제작 시제품시트	기능성 시제품시트	기능성 발포시트
제조된 펠릿	무	70%	70%	46%
상용고분자	90%	20%	20%	20%
가교제	7%	7%	7%	7%
첨가제	3%	3%	3%	3%
착색제	소량	소량	무	무
기능성 첨가제	무	무	소량 (방향 나염 옥 황토)	24%(발포제)

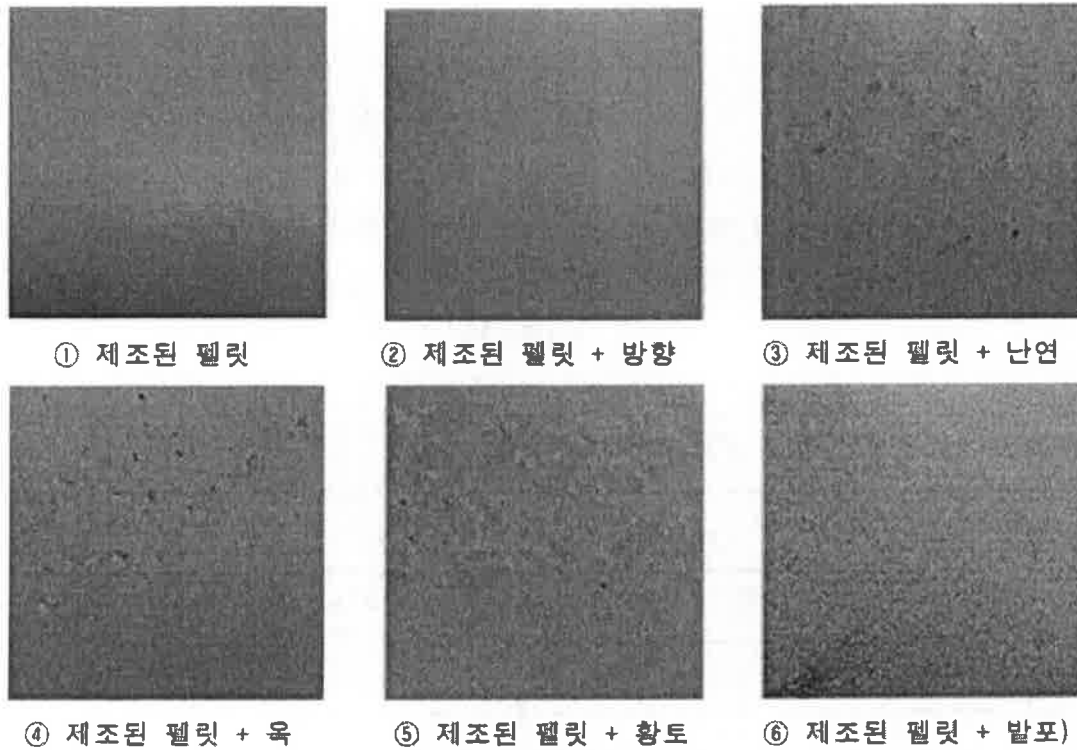
므로 원료로 쓰이는 펠릿을 제작할 때 완벽한 혼용이 가능하도록 기술 개선이 된다면 발포 성형 후 더 좋은 품질의 발포 시트를 생산할 수 있을 것으로 판단된다.

나) 제작된 시트의 물성 평가

제작된 시트의 물성과 기능성을 <표 8-13>와 <그림 8-37>에 나타내었다.

<표 8-13>에서와 같이, 제작된 시트의 기본 물성중 경도는 비슷하였으며, 인장강도는 기존 시트에 비해 약 10% 정도 높은 수준으로 평가되었다. 또한, 내마모성 평가에서는 폐지가 혼용되어 있는 바 기존 시트보다 낮은 수준으로 나타났으나, 마모량이 극히 미량으로 나타나 기존 시트의 특성에 크게 미달되는 것으로 판단하기에는 어려운 것으로 보인다.

기능성이 첨가된 각 시트중 방향성을 지닌 기능성 시트만이 기존 시트와 동일한 수준의 물성을 나타내었으며, 난연이나 옥, 황토 등과 같이 제 3의 첨가물이 혼입된 경우에는 그 물성이 기존 시트에 비해 떨어지는 것으로 나타났다. 또한, 폐지의 성질중 단점으로 판단되는 수분흡수로 인해 제작된 시트가 수분에 어떤 영향을 받는지를 확인하기 위해 흡수율을 측정해 본 바 0.2~2%정도 나타났다. 이는 기존 시트와 비교해 볼 때 비슷한 수준으로 판단되며 육안으로 확인해 보았음에도 제작된 시트의 형태에 큰 변화가 일어나지 않았다. 하지만 기능성이 부여된 시트의 경우 다소 높은 흡수율을 보였으나, 이 또한 제품의 기능에 영향을 줄 정도의 형태 변화를 보여 주지는 못하였다. 발포 시트의 경우에는 제품자체가 단열이나 충격을 흡수하기 위해 제작되었으므로 발포 공간 속으로 수분을 많이 함유하게 되어 흡수율이 높았으나, 한편 제조 시트의 발포 성능이 우수하다고 할 수 있다.



<그림 8-37> 제조된 펠릿을 이용한 LDPE 기능성 시트 사진

<표 8-13> 제작된 시트의 물성 및 기능성 평가

구분	듀로미터경도	인장강도(N/mm ²)	마모량(g)	흡수율(%)
LDPE 시트	52	9.5	0.003	0.28~1.18
polymer+fiber 시트	53	10.6	0.005	0.19~1.96
polymer+fiber 방향 시트	52	9.6	0.005	0.17~2.04
polymer+fiber 난연 시트	50	7.9	0.005	0.90~2.00
polymer+fiber 옥 시트	50	7.1	0.006	0.94~2.91
polymer+fiber 황토 시트	52	7.7	0.005	0.55~2.10
polymer+fiber 발포 시트		0.14		29.1~87.2

* 시험방법 : 듀로미터경도(D형) : KS M ISO 868:2001

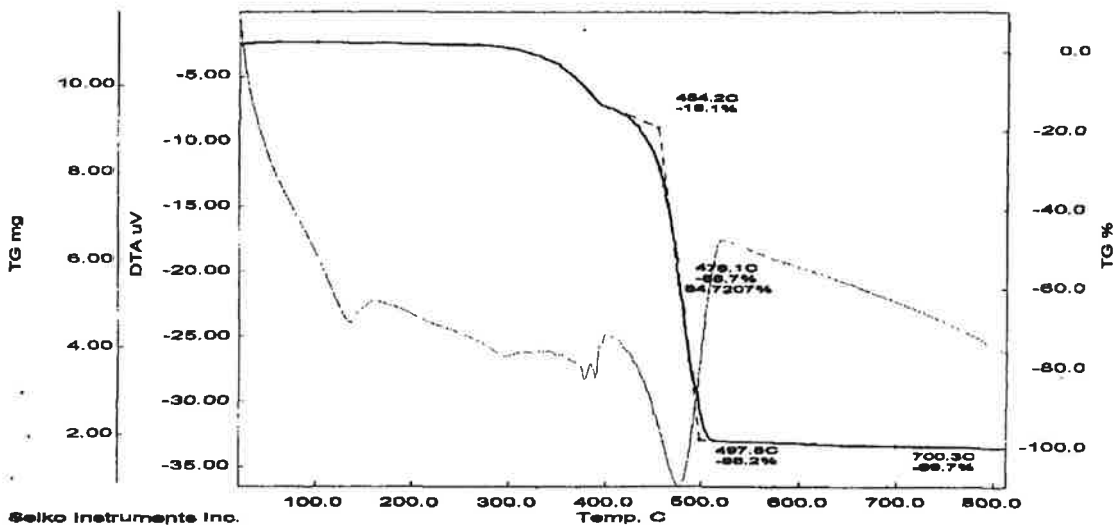
인장강도(1호형) : KS M 3006:2003 (시험속도:10mm/min) 단, 발포체(A법) : KS M 3014:2001

마모량(1000회전) : KS F 3111:2001

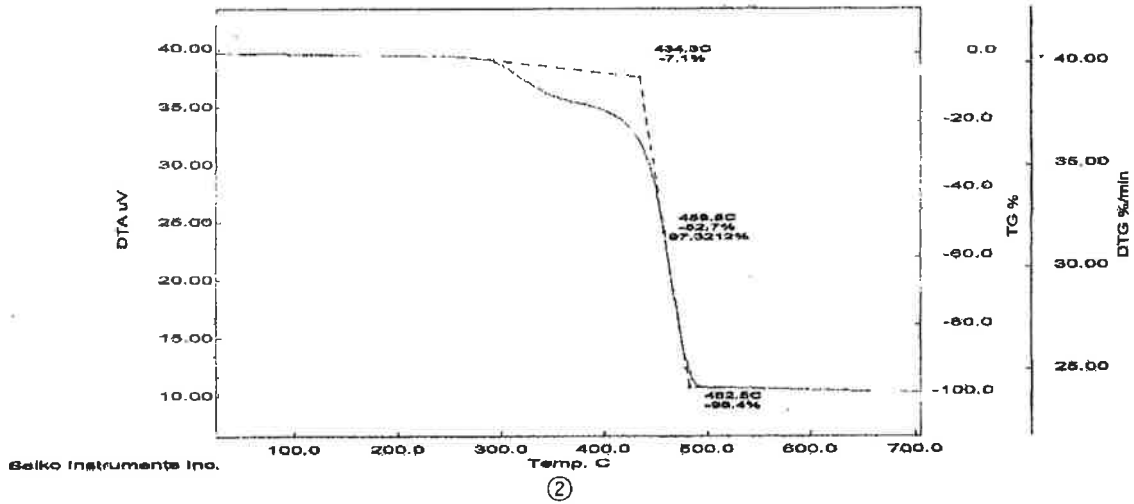
제작된 기능성 시트의 원적외선 방출량을 보면 <표 8-14>에서 보는 바와 같이 옥과 황토가 첨가된 시트의 경우 원적외선방사율은 blank 시편에 대해서 약 90%정도 방사되는 정도를 보이고 있어 그 정도가 상당한 것으로 판단되었다. 제작된 시트의 난연성을 평가하기 위해서 열분석을 하였으며 <그림 8-38>과 같이 나타났다. 이러한 결과는 앞서 제 8항에서 시행된 제조된 펠릿의 열적특성과 비교해 보면, 열분석 곡선 패턴이 유사하고 중량 변화가 다소 완만하며, 초기 중량 변화 온도가 다소 낮아졌다. 이러한 비교결과는 난연제가 첨가되었을 때 나타나는 결과와 유사한 것으로 판단되었다.

<표 8-14> 제작된 시트의 원적외선 방출량

시험 항목	Polymer + Fiber 옥 시트	Polymer + Fiber 황토 시트
방사율(5~20 μ m)	0.899	0.897
방사에너지(W/m ²)	3.62×10^2	3.62×10^2



①



(① 제조된 펠릿 ② 제조된 펠릿 + 난연)
 <그림 8-38> 제작된 시트의 기능성 평가 - 난연성 부여 시트의 열분석

<표 8-15> 제작된 시트의 열전도율

시험 항목	Polymer + Fiber 발포 시트
열전도율(W/mK, 평균온도20℃)	0.041

제작된 시트의 열전도율을 <표8-15>에 나타내었다. 측정된 열전도율 0.041 W/mK(0.035~0.039kcal/mh℃)의 값은 KS M 3808, 3809, 및 KS L 9012에 의한 해당 단열재 및 기타 단열재 구분에 따라 비드법 보온판 4호에 속하며 난연제로 사용하는 석면(0.022~0.039kcal/mh℃)의 기준에 포함되며, 건축재로 쓰이는 석고보드 (0.110~0.350kcal/mh℃)에 비해 상당히 우수한 것으로 측정되었다. 이러한 결과를 토대로 하면 제조된 펠릿으로 제조한 시트를 일반 펠릿으로 제조한 시트를 대용하여 사용하는 데 큰 어려움이 없을 것으로 판단된다.

4) 현장적용성 검토

시제품을 제작하면서 주 원료로 쓰이는 펠릿을 제작할 때의 작업 용이성이 기존의 상용고분자 혼용공정에 비해 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 해리된 섬유가 blending 기계로 이송될 때 많은 미세분이 발생하기 때문이며, blending 공정시 다량의 미세면

지가 기존 blending 설비를 해치는 경우가 발생할 수 있기 때문에 기존의 업체에서는 이러한 작업을 꺼려하는 경우가 많았다. 물론 이번 시제품 제작 시험을 도와준 (주)태영산업의 경우 새로운 기술개발에 많은 열의를 가진 기업으로 임대를 해 주었으나 개발된 기술의 보완이나 개선을 위해서는 기존 작업설비의 개선도 필요할 것으로 보인다. 하지만, 이러한 펠릿 제작 공정을 제외하면 이번 시제품 제작과 마찬가지로 펠릿을 제작한 후의 작업 용이성은 기존의 고분자 시트 제작공정과 큰 단점이 없는 것으로 보이며, 이는 주원료인 펠릿의 제작공정의 보완이 우선된다면 현장적용에는 큰 어려움이 없는 것으로 사료된다.

5) 경제성 분석

기존 고분자 시트를 제작할 때 쓰이는 상용고분자를 구입하기 위해서는, 용융흐름지수(M.I)와 용융점등과 같은 고분자 특성에 따라 상이하지만 평균소비자가로 kg당 1,600원선에 달한다. 하지만, 폐지와 혼합된 펠릿을 생산하기 위한 제조단가와 비교해 보면, 제조된 펠릿의 폐지함량이 전체중량의 15%~20%를 차지하고, 폐지 수거 및 구입에 드는 비용(폐지kg당 150원선)을 감안할 때, 시제품 제작 단가는 다음과 같이 산출될 수 있다.

<표 8-16> 시제품 제작시 제작비용 비교

단위 : 원

원료	공정	제조펠릿 사용시 (폐지20%)	제조펠릿 미사용	제작비용차이
상용고분자 (kg/1,600원)		384,000	480,000	96,000
폐지 (kg/150원)		9,000	0	-9,000
제작비용 (원)		393,000	480,000	87,000

※ 시트 제조를 위해 필요한 원료 300kg 기준 - (주)태영산업 1set

<표 8-16>에서 보는 바와 같이 기존공정으로 시트를 제작할 경우에 비해 87,000원 정도 비용을 절약할 수 있으며, 고분자 시트의 일일 생산량단위(톤/일)를 감안해 본다면 비용절감의 정도는 엄청난 것으로, 작업용이성과 같은 단점을 보완한다면 폐지를 이용한 복합재료를 이용하여 시트를 생산할 때의 경제성은 상당할 것으로 판단된다.

라. 결과 요약

본 연구는 폐지를 이용한 고분자 복합소재 보드를 제조함에 있어서 배합기술 및 적정 성형공정 분석을 하였으며, 제조된 폐지보드의 물성을 평가하여 그 이용가능성을 평가하였다. 얻어진 결과는 다음과 같다.

- 1) 건축내장재로 사용 가능한 물성을 보유한 폐지·수지 복합체를 제조하기 위해서는 PE수지의 경우 건식해리 펄프 40part와 PE 수지 100part로 제조한 시료의 물성이 가장 우수하였으며, PP수지의 경우 건식해리펄프 70part와 PP 수지의 경우 건식해리펄프 70part와 PP수지 100part로 제조한 시료의 물성이 가장 우수하였다.
- 2) 폐지·수지 복합체 제조시 수지를 변성할 수 있는 무수 말레인산의 첨가로 수지 자체 물성보다 약 40~60% 향상된 물성을 보유한 폐지·수지 복합체를 제조할 수 있었으며, 사출 성능 또한 우수하기 때문에 다른 공산품 소재로의 응용 또한 가능할 것으로 판단되었다.
- 3) 폐지와 고분자 소재와의 적정 혼합비율은 폐지 비율이 20%정도이며 더 많은 양의 폐지와 배합하게 되면 제조된 복합고분자 소재의 분산성과 평활성이 낮아지는 것으로 나타났다.
- 4) 제작된 펠릿의 경우 기존의 상용고분자에 비해서 열적변화와 중량의 변화가 적은 것으로 나타나, 이렇게 제작된 원료의 실용화 가능성이 높은 것으로 사료되었다.
- 5) 현장적용시험 및 시제품 제작을 통하여 제조된 고분자 복합소재를 이용한 상용화 가능성을 알아볼 수 있었으며, 또한 시제품 생산시 제작비용도 절감 할 수 있어 경제성 또한 우수한 것으로 사료되었다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에 의 기여도

1. 목질폐기물의 순환이용시스템 개선

본 세부과제는 목질폐기물의 재활용을 위한 선순환구조를 확립하기 위하여 2차 년도에는 목질폐기물의 배출·수집·재활용 실태조사를 실시하였으며, 3차 년도에는 목질폐기물 순환시스템의 적정화와 목질폐기물 재활용 촉진방안에 관한 연구를 수행하였다. 연구목적의 달성하기 위해 목질폐기물의 배출·수집·재활용 실태를 조사하고, 목질폐기물의 순환시스템의 적정화를 위하여 외국의 사례조사 및 폐목재 순환시스템의 내용 및 조건을 규명하였으며, 목질폐기물 재활용 촉진방안을 모색하기 위하여 관련 법령의 정비 및 합리적 정부지원 방안에 대한 대안을 제시하였다.

본 연구를 통하여 우리나라의 생활폐목재 및 건설폐목재에 대한 발생 및 처리에 관한 정확한 실태파악이 이루어졌다. 또한 실태조사 및 외국의 사례조사결과를 토대로 우리나라 폐목재 재활용의 문제점을 정확히 진단하고 우리의 실정에 맞는 정책대안을 제시할 수 있었으므로 연구개발의 목표는 100% 달성된 것으로 판단된다.

폐목재의 수집, 처리 및 재활용 과정상의 문제점을 기술적, 제도적, 경제적인 측면에서 검토하여 대안을 제시하였으므로, 폐목재 중간처리업체 및 폐목재 최종 재활용업체의 경쟁력 강화를 통한 폐목재 재활용 선순환체계의 확립에 기여할 수 있는 계기를 마련하였다. 또한 목재자급률 5%내외에 불과한 목재수급구조 하에서 폐목재자원의 가치를 새롭게 인식하고 폐목재자원을 단순소각 처리하는 것보다 파티클보드 원료로 사용하는 것이 훨씬 경제적이라는 점과 지속적인 재활용 기술개발의 필요성을 인식시키는 계기를 마련하였다고 판단된다.

2. 고성능 접착제의 합성·이용기술 개발

본 세부과제의 목적은 폐목재를 재활용해 아미노계 수지접착제로 제조하고 있는 파티클보드의 포름알데히드방출량을 저감하고자 하는 것이다. 이 같은 목적달성을 위한 본 연구의 목표는 연차별로 요소수지, 요소·멜라민수지 및 요소·EDMI 혼용수지의 합성 및 제조방법, 경화거동분석, 화학적 구조 분석 및 파티클보드의 포름알데히드방출량

과 물성을 평가하는 것이다.

따라서 본 연구의 목표는 대부분 달성되었으며 특히 요소수지의 기초적 연구와 포름알데히드 포집제의 자체 개발은 향후 요소수지 접착제의 저포름알데히드화에 기여할 것으로 기대된다. 또 요소·멜라민수지의 합성방법, 멜라민함량 및 F/U몰비에 대한 연구는 향후 요소·멜라민수지의 연구에 기초 자료로 활용될 것으로 기대된다. 마지막으로 요소·EMDI 혼용수지에 대한 연구는 향후 비포름알데히드계 목재접착제 연구와 이용에 크게 기여할 것으로 기대된다.

3. 폐목질 재생보드 제조실연시험

본 실연시험의 목적은 제2세부과제(과제명 : 고성능 접착제의 합성·이용 기숙개발)의 연구결과를 바탕으로 파티클보드의 포름알데히드 방출량을 저감하기 위한 폐목재 재생보드를 제조 실연하여 그 현장 적용성을 평가하고자 하는 것이다. 따라서 본 실연시험에서는 요소수지, 요소·멜라민수지 및 요소·EMDI 혼용수지를 현장에서 합성 및 제조하고 파티클보드 공장에 현장 적용하여 파티클보드를 제조하여 포름알데히드 방출량과 물성을 평가하였다.

본 실험에서 저몰비 요소수지 합성 및 요소·멜라민수지, 요소·EMDI 혼용수지 제조 실연은 당초 목표대로 성공적으로 이루어졌다. 특히 파티클보드의 포름알데히드 방출량 저감목표는 저몰비 요소수지, 포름알데히드 포집제인 요소·포름알데히드 프리폴리머(UFP) 및 요소·EMDI 혼용수지를 이용해 달성 할 수 있었다.

특히 저몰비 요소수지를 이용한 포름알데히드 방출량 저감 결과는 국내 최초로 현장 실연시험 결과로 향후 목재접착제 현장 실연 연구에 기초 자료가 될 것으로 판단된다. 아울러 요소·EMDI 혼용수지는 국내 목재접착제 연구에서 최초의 시도로 향후 연구에 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

4. 폐목질 재생보드의 제조기술 및 성능개선

본 과제는 연구개발 목표를 달성하기 위해 단계별 연계적인 실험이 수행되었다. 목질폐기물 파쇄 및 성상 조사, 재생파티클의 원료적성 및 제품물성 평가 과정에서, 재생칩과 파티클보드 제조 실태 파악이 이루어져 본 연구의 기술적 해결 접근에 도움

이 되었다. 특히, 다양한 폐목질원료(제재, 합판, PB, MDF, 폐침목 등)의 파쇄특성이 분석되었고, 원료종류 및 혼용방법별 보드제조 및 물성평가가 심층적으로 이루어졌다.

특히, 재생보드 원료의 입도를 개선코자 전처리(포습처리, 증기가열처리 및 수침가열처리)에 의한 재생칩의 팽윤효과를 구명하는 실험에 의하여 난연화 처리로 이어져 내화성 보드의 성공적인 제조 실현이 가능하였다. 본 과제는 폐목질원료의 보드원료화를 위한 기초적인 성질 구명, 재생보드의 물성 평가·개선 및 제조공정 요인의 평가라는 목표를 달성하였다.

본 연구개발 성과는 보드제조산업의 현장에서 원료, 보드물성 개선을 위한 방안을 제시함으로써, 산업 연관효과가 클 것으로 기대된다. 무엇보다도 보드원료로서 사용이 미흡한 생활폐목재를 보드원료로서 본격적으로 활용할 수 있는 연구데이터를 적립함으로써, 폐목질 재생업체 및 보드산업의 기술발전에 기여할 것이다.

5. 폐침목의 재활용기술 개발

매년 다량으로 발생하는 폐침목의 효율적인 재활용 방법을 개발하기 위하여 폐침목의 재질 및 크레오소트유의 잔류 특성, 크레오소트유의 제거 기술, 자원재활용 제품 개발 등을 중점적으로 검토하였다.

생물 및 전자현미경에 의한 조직관찰, 비중 및 강도적 성질 등의 조사를 통하여 폐침목의 재질은 오랜 기간 동안 외기에 노출되었음에도 불구하고 건전한 상태를 유지하고 있어 재활용 가치가 매우 높다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 폐침목의 크레오소트유의 잔류성, 즉 침투깊이, 잔류량 등을 KS규격에 준하여 조사하였다. 대부분의 폐침목은 약제의 침투성이 극히 불량한 난주입성 수종인 열대산 남양활엽수재로 구성되어 있어 침목 생산단계에서부터 크레오소트유의 침투가 잘 이루어지지 않아 매우 낮은 크레오소트유 잔류특성을 나타냈다. 이러한 특성은 폐침목을 재활용하는데 있어서는 오히려 이점이 될 수 있음이 확인되었다.

폐침목 중에 유해성의 크레오소트유가 잔류되어 있을 경우에는 재활용에 많은 제약이 따를 수 있다. 폐침목을 파티클 상태로 가공하여 알코올-벤젠 혼합용제나 염소계 표백제로 처리하면 잔류되어 있는 크레오소트유를 효율적으로 제거할 수 있는 것으로 밝혀졌다. 또한 혼합용제로 처리할 경우에는 추출 후에 약 96.3%의 용제 회수가 가능하여 재사용할 수 있는 것으로 조사되었다.

폐침목을 파티클보드용 원료로 재활용하기에는 현장 적용에 많은 문제점이 있음을 인식하고 새로운 용도 개발에 집중하였다. 폐침목의 크레오소트유의 낮은 잔류특성에 착안하여 최근 수요가 증가하고 있는 데크블럭(Deck block) 제조용 소재로 활용할 수 있는 방법을 검토하였다. 그 결과, 폐침목을 재활용할 경우에는 현재 판매되고 있는 열대산 활엽수 데크블럭 가격의 65% 수준에서 생산할 수 있음을 알 수 있었고 외관 상으로도 품질이 매우 우수하여 다른 용도에 비하여 재활용 가능성이 매우 높다는 결론을 얻었다. 따라서 개발된 폐침목을 재활용한 데크블럭 생산기술을 관련 기업체에 이전하여 실용화시킬 수 있을 것으로 판단된다.

6. 難재활용 폐목질자원의 열분해 이용

본 연구에서는 재활용이 곤란한 각종 폐목재를 활용하여 열분해 방법에 의해 탄화물과 목초액을 제조하여, 이들 물질의 토양개량제로서의 이용 가능성을 검토하는 한편, 값싼 재활용숯을 이용하여 포름알데히드 등 유해물질을 흡착하는 새로운 건축자재로 재활용하는 방안을 모색하고자 하였다.

각종 고분자필름으로 오버레이된 난재활용 폐목재의 토양개량제로서의 이용은 현행 환경 기준법상 곤란하다는 사실을 밝혔으며, 그 대안으로 재활용숯을 이용한 유해물질 흡착성 건축자재로서의 신용도 개발을 제안하여 불연성이면서 흡착성이 뛰어난 켈리 문양을 지닌 재활용숯 복합보드를 시제품으로 제시하여 당초 연구 목적을 충분히 달성하였다.

한편, 본 연구를 통하여 폐목재의 고품질 탄화물의 제조를 위한 적정 탄화온도 설정, 폐목재의 연기를 완전 연소할 수 있는 무연탄화장치의 개선, 폐목재에 혼재되어 있는 금속류와 비철금속류의 분리장치 개발에 관한 시도 등 향후 폐목재의 열분해 시설을 이용한 탄화물의 제조와 이용 분야의 적용에 있어 기술적인 발전에 크게 기여하였다.

7. 폐목질 성형제품의 제조기술 개선

학생용 책상판에 사용되고 있는 합판을 폐기 목질재료를 이용한 성형 책상판으로 대체하기 위하여 참여기업인 도림산업(주)과 공동으로 현 제조과정에서 파생되는 문

제점을 파악하고 그 개선대책을 원료, 수지 접착제 및 성형공정 최적화의 관점에서 검토하였다.

먼저 생산성 및 품질저하 요인분석을 통하여 주요 연구결과를 도출하였다. 주요내용으로는 책상판 제조시 원료의 종류 및 형상이 성능에 미치는 영향을 조사하여 재생 PB의 혼합비율이 70%를 초과하지 않도록 원료의 관리가 필요하다고 제시하였으며, 성형제품의 제조에는 요소·멜라민 수지가 적합하였으며, 수지조성은 포름알데히드 방출량을 고려할 때 F/(U+M) 몰비 1.35이하가 바람직하다는 결과를 도출하였다. 그러나 수지만으로 포름알데히드의 방출수준을 관리하기에는 어려움이 있어 그 원인과 대책을 검토하고, 그 원인이 재생 파티클에 포함된 포름알데히드가 잔존하여 재 방출되기 때문이라는 것을 확인하였으며, 포름알데히드의 방출량을 줄이기 위해서는 수지나 파티클에의 요소포착제 처리가 효과적이었다. 책상판의 성형공정에 있어 생산성 향상과 품질의 안정화에 관한 검토에서는 가압시간을 약 20초 정도 단축하여도 충분히 GR규격에 만족할 수 있었다.

책상판의 제조시 포름알데히드의 방출수준을 안정적으로 관리하고 파티클의 함수관리에 의한 불량률의 최소화와 건조에 소요되는 에너지와 시간을 단축하기 위한 방안으로는 성형품의 제조에 지금까지 적용된 적이 없는 이소시아네이트계 수지에 의한 책상판의 제조가 가능하다는 결과를 도출했다. 특히 파티클의 함수율 8%까지도 큰 성능의 저하 없이 제조가 가능하였고, 열압시간도 20초 이상 단축이 가능하였으며, 포름알데히드의 방출량도 0.35mg/L로 매우 낮아 사용할 수 있는 원료의 범위가 확대될 수 있는 계기를 마련하였다.

이상의 결과를 토대로 하여 기존의 요소·멜라민 수지와 본 연구에서 새롭게 적용성이 평가된 이소시아네이트 수지에 의한 시제품을 제조하였고, 본 연구를 통하여 연구개시전에는 불량률이 2.7%였으나, 2006년 현재에는 1.4%로 약 50% 이상 감소되는 효과를 얻었으며, 폐기 목질재료에 의한 성형기술 확립으로 타 제품에도 충분히 응용할 수 있는 가능성이 도출되었다.

8. 폐지를 이용한 기능성 복합보드 개발

본 연구과제의 연구개발 목표를 달성하기 위하여 폐지를 이용한 일련의 실험을 시행하였으며, 폐지의 재활용과 자원화라는 목적을 이루기 위한 기술을 개발하였다. 폐

자원을 효율적인 이용을 위해 폐지자원의 선별 및 분리를 통해 적절한 원료생산을 이룰 수 있었으며, 이러한 폐지자원의 다양한 이용을 위해 기능성 부여 기술을 개발하였으며, 개발된 기능성 부여 기술의 산업화 가능성을 평가하였다.

한편 본 연구결과에 의한 관련분야 기술발전의 기여도를 평가하면, 생활쓰레기 중 발생하는 폐지류의 자원화를 통해 구체적인 활용방안을 제시하여 생활쓰레기의 분리 및 수거를 용이하게 할 수 있을 것이다. 또한 생활쓰레기의 이용 극대화를 위한 국가차원의 기술경쟁력을 갖출 수 있으며, 매립 또는 소각 대상의 혼합폐지류의 활용극대화를 위한 종합시스템을 구축함으로써 환경오염방지, 자원절약, 최저비용절감을 도모하여 쾌적한 지역 환경을 조성할 수 있을 것이다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

1. 목질폐기물의 순환이용시스템 개선

제도개선 측면에서 본 연구에서 제시한 “폐기물관리법”, “건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률”, “자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률” 등의 개정을 위하여 산림청, 환경부, 건설교통부 등에 정책건의를 할 예정이다. 또한 폐목재가 다양한 성상으로 배출되기 때문에 이를 재활용하기 위한 기술개발을 추진하고 폐목재 재활용 제품에 대한 환경인증기준도 합리적으로 확립하기 위해서는 정부가 체계적으로 장기간에 걸쳐 지속적으로 연구 개발을 추진하여야 할 것으로 판단된다.

2. 고성능 접착제의 합성·이용기술 개발

본 연구 결과는 앞으로 아미노계 목재접착제의 연구개발의 기초 자료로 활용될 것이며 이를 위해 연구논문으로 발표할 것이다. 본 연구에서 자체개발한 요소수지접착제용 포름알데히드 포집제 합성방법은 특허출원 중에 있으므로 향후 목재보드업체에 기술을 이전하여 활용될 것이다. 향후 연구의 완결성을 위해서는 몇 가지 추가연구의 필요성이 제기되었다.

본 연구에서는 아미노계 접착제의 경화거동을 중심으로 연구되었으나 경화거동과 경화 후 접착력의 발현관계를 구명하기 위하여 향후 경화 후 가교결합의 구조를 연구할 필요성이 있다. 요소·멜라민수지의 경화거동은 부분적으로 연구되었으나 멜라민의 불안정성으로 인한 요소·멜라민수지의 저장성에 관한 연구가 필요하다. 요소·EMDI 혼용접착제의 경화거동과 포름알데히드 방출량과의 관련성에 관한 연구가 필요하다.

3. 폐목질 재생보드 제조실연시험

본 재생보드 실연시험 연구결과는 파티클보드의 포름알데히드 방출량 저감을 접착제 수지기술(resin technologies)을 바탕으로 하고 있다. 따라서 좀더 집중적이고 광범

위한 수지기술들의 응용에 대한 연구가 필요하며 이외에 보드제조 기술과 수지기술들의 적절한 조합으로 방출량을 저감하는 방법들에 대한 연구가 필요하다.

포름알데히드 포집제인 UFP의 성공적인 적용은 앞으로 중밀도섬유판(MDF)이 같이 아미노 수지를 사용하는 목질 보드제품의 제조에 적용가능 할 것으로 추정되므로 이에 대한 응용 연구가 더 필요하다.

4. 폐목질 재생보드의 제조기술 및 성능개선

본 과제는 목질보드산업을 위한 폐목질자원의 수급 촉진을 위한 원료, 공정요인, 물성개선 방법 등을 구명하여 기술 자료로 활용하기 위한 기반을 조성하였다. 최근 각 보드회사는 원료수급사정이 원활하지 못하여, 그간 사용하지 않던 생활폐목재를 소량 원료로 투입하고 있는 바, 본 과제에서 도출된 파쇄·선별 특성, 재생보드의 물성 연구결과는 이러한 현장과의 연계가 높다는 점에서 실용적인 도움을 줄 수 있을 것이다. 특히, 폐목질원료의 전처리와 결부한 내화처리보드 제조연구 결과는 건축내장용 소재를 개발하는 측면에서 타 연구에의 응용성이 매우 높다고 할 수 있다.

5. 폐침목의 재활용기술 개발

본 연구에서 검토된 폐침목 재활용 방법 중에서 경제성이 있고 실용화 가능성이 가장 높은 분야는 테크블릭 생산이라는 결론에 도달하였다. 따라서 현재 테크블릭을 생산하여 판매하고 있는 기업체에 개발된 재활용 기술을 이전하여 실용화를 추진함으로써 폐침목 재활용의 고부가가치화를 실현할 계획이다.

6. 난재활용 폐목질자원의 열분해 이용

각종 고분자필름으로 오버레이된 난재활용 폐목재의 열분해에 의한 탄화물 즉 재활용숯 이용한 유해물질 흡착성 건축자재는 현재 산업화가 진행 중에 있다. 본 연구의 전 과정을 통해 연구자는 재활용숯을 생산하는 폐목재 공장과 플라스틱용기를 생산하는 공장을 상호 연계하여 재활용숯 복합보드를 생산하게 하도록 유도하여 왔다. 금후 이번 연구 결과로 얻은 지식을 다양한 분야로 확대하여 산업적 투자 가치를 높여줌으

로서 원-원전략으로 산업화가 이루어지도록 노력할 것이다.

한편, 재활용숯의 신용도 개발을 위해서는 고유가 시대를 대비하여 나무에 비해 연기발생이 전혀 없고 발열량이 높은 인조목탄의 제조와 성능에 대한 추가 연구 지원의 필요성이 대두되고 있다. 아울러, 플라스틱, 철제류, 비철제류, 토양 등 각종 물질이 혼합된 난재활용 폐목재의 고도 이용을 위해서는 이물질을 분리할 수 있는 국산 장치의 개발이 시급한 것으로 생각된다.

7. 폐목질 성형제품의 제조기술 개선

폐기 목질재료를 이용한 학생용 책상판의 성형기술 개선으로 불량률을 50%이상 감소하는 효과를 얻었다. 이것은 원료의 철저한 관리와 최적의 조성을 갖는 수지 접착제의 합성기술 개발로 가능한 것으로 이들 기술은 가구용 문, 테이블 천판 등의 타 목질 성형제품의 제조분야에도 응용이 가능할 것으로 생각된다.

책상판의 제조시 포름알데히드의 방출수준을 안정적으로 관리하고 파티클의 흡수관리에 의한 불량률의 최소화와 건조에 소요되는 에너지와 시간을 단축하기 위한 방안으로는 성형품의 제조에 지금까지 적용된 적이 없는 이소시아네이트계 수지에 의한 책상판의 제조 가능성이 도출되어, 기업에 기술이전을 추진할 계획이다. 또한, 이후 새로운 책상판에 대한 수요가 발생되었을 때 기능성이나 다양한 색상과 패턴의 표면재로서 한지나 세라믹 코팅의 이용가능성을 확인할 수 있었다.

8. 폐지를 이용한 기능성 복합보드 개발

본 연구과제의 성과인 복합소재의 활용계획으로는 완충성을 고려한 노인, 어린이 놀이 시설물 등의 엑스테리어 용재료의 활용이 기대된다. 또한 강도를 개선한 판상소재 제조시, 공업용 소재로서 건축내장재, 바닥재, 인테리어소재 등에도 그 활용도가 기대되는 소재라 할 수 있겠다. 특히, 폐지를 이용한 복합소재를 이용할 경우 합성고분자를 원료로 하는 사출 및 압출 성형품의 응용 개발이 가능 할 것으로 보인다. 이렇게 될 경우 생활쓰레기 중 폐지를 원료로 사용하여 쓰레기 처리방안, 원가절감 및 쓰레기 처리시 발생하는 2차 오염을 억제하여 환경보전 등에 활용할 수 있을 것이다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 1 절 일본의 목질폐기물 재자원화대책 추진상황

1. 관련법령의 정비

일본에서는 1993년에 제정된 「환경기본법」을 토대로 21C 순환형사회의 기본 틀을 구축해 가기 위한 「순환형사회형성추진기본법」을 제정, 2001년 1월부터 시행하였으며, 이를 토대로 하여 폐기물의 적정처리를 명시한 「폐기물처리법」과 리사이클의 추진을 명시한 「자원유효이용촉진법」 등 폐기물 재자원화 촉진을 위한 실행법령을 일제히 재정비하여 2001년 4월부터 전면 시행하였다. 관계법령의 개요는 다음과 같다.

가. 폐기물처리법

- 다량의 폐기물 배출사업자에게는 산업폐기물처리계획의 작성을 의무화.
- 산업폐기물처리에 있어서 공공기관의 관여 추진.
- 폐기물 배출사업자의 책임을 강화, 폐기물 처리시설, 처리업 등의 허가요건을 강화.
- 폐기물의 적정한 처리를 추진(야외소각 금지 등).

나. 자원의 유효이용촉진법

- 재자원화를 1R(Recycle)에서 3R(Reduce, Re-use, Recycle)로 확대.
- 폐기물의 발생을 억제하는 규정을 도입(Reduce).
- 부품 등의 재이용대책을 도입(Re-use).
- 사업자에 대한 지정재자원화제품의 회수·리사이클을 의무화.

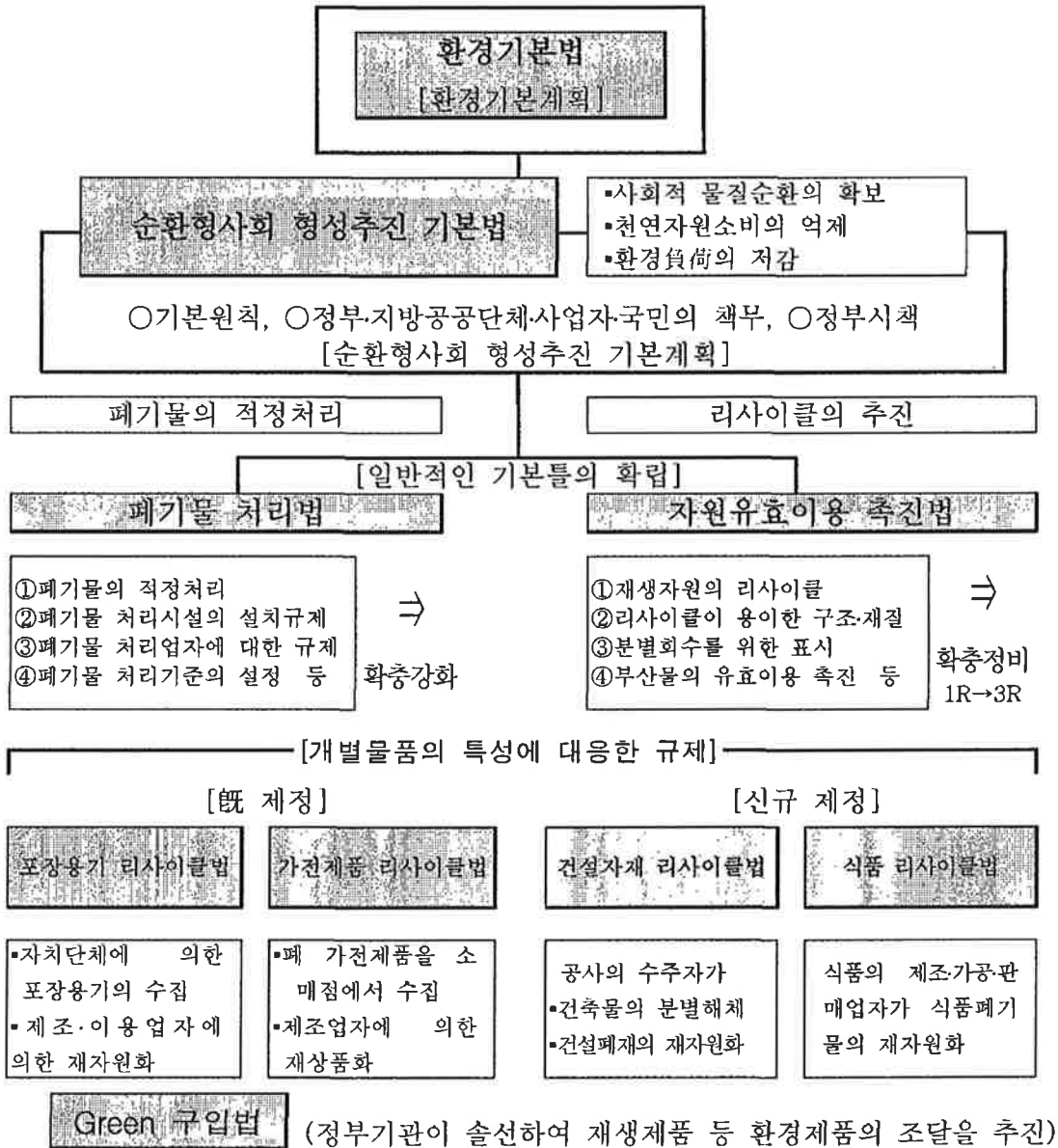
다. 건설자재 리사이클법

- 건축물 해체공사의 사전신고 의무화 및 해체공사사업자의 등록제 실시.
- 일정규모 이상의 건축물을 해체, 신축, 개축할 때 분별해체와 재자원화를 의무화.
- 목재, 콘크리트, 아스팔트는 특정건설자재로 지정되어, 2010년까지의 목표 재자원화

율(Reduce+Re-use+Recycle)을 95%로 설정.

라. 환경물품조달추진법(그린구입법)

- 정부, 관공서 등은 재생품 등 환경물품의 조달을 우선 추진.
- 그린 구입에 도움이 되는 환경물품에 관한 정보제공 추진.



<그림 1> 순환형사회 형성추진을 위한 일본의 법률체계

2. 건설자재 리사이클법의 개요

가. 건축물 등의 분별해체 및 재자원화의 의무화

- 일정규모 이상의 건축물이나 토목공작물의 해체공사 및 신축공사 등(대상건설공사)에 대해서는 그 건축물에 사용된 콘크리트, 아스팔트, 목재(특정건설자재)를 현장에서分別하도록 의무화 하였음.
- 대상건설공사의 수주자(元請업자, 下請업자 모두 해당)는 분별해체에 의해 발생된 콘크리트 폐재, 아스팔트 폐재, 폐목재(특정건설자재 폐기물) 등을 의무적으로 재자원화해야 함. 단 목재의 경우에 재자원화가 곤란한 경우에는 적절한 시설에 의한 소각처리를 의무화하였음.
- 종래에는 건축물 등을 기계적으로 해체하여, 혼합상태로 최종 처분하였으며 불법투기가 성행하였으나, 앞으로 분별해체에 의해 콘크리트폐재는 재생골재로, 목재는 칩 등으로 재생이용 해야만 함.

나. 분별해체 및 재자원화 등의 실시 확보를 위한 조치

- 발주자에 의한 공사의 사전신고, 元請업자로부터 발주자에 대한 사후보고, 공사현장에서의 표식 등을 의무화하였음.
- 수주자에게 적절한 비용을 지불토록 하기 위해 발주자·수주자 간의 계약 수속을 정비하였음.

다. 해체공사업자의 등록제도 시행

- 적절한 해체공사가 실시될 수 있도록 해체공사업자의 등록제도 및 해체공사현장의 기술관리자 배치가 의무화되었음.

3. 환경물품조달추진법(그린구입법)의 개요

2000년 제정된 그린구입법은 환경부하의 저감에 도움이 되는 원재료, 부품, 제품 및 역무(役務)를 「환경물품 등」이라고 정의하고, 국가 및 독립행정법인 등이 조달을 종합적 동시에 계획적으로 추진하기 위한 기본적인 사항을 정한 것이다. 국가 등이 스스로 솔선해서 「환경물품 등」의 계획적 조달을 추진함으로써 지방공공단체나 민간부문

에서도 대처를 확대하고, 국가 전체의 환경물품 등의 보급을 촉진하는 것을 목적으로 하고 있다.

그런구입법에서는, 14개 분야 101 품목에 대하여 적합 판단의 기준이 정해져 있으며, 기준의 책정에는 제삼자 인증의 환경라벨 「에코마크(Eco mark)」를 비롯한 기존의 기준이나 가이드라인 등을 참고로 하고 있다. 목질재료에 관해서는, 공공 공사자재로서 소경재(간벌재), 제재 등(제재·집성재·합판·단판적층재), 재생목질보드(파티클보드·섬유판·목질계 시멘트판)가 우선적으로 구입해야 할 환경부품(특정조달품목)으로서 인정을 받고 있다.

4. 에코마크 제도의 개요

에코마크(Eco mark)란 일상 사용되는 상품 중에서 생산에서 폐기에 걸치는 라이프 사이클(life cycle)을 통하여 환경에 대한 부하가 적고, 환경보전에 중요하다고 인정을 받은 상품에 붙여지는 표시이며, 소비자에게 환경보전의 계몽과 환경을 배려한 상품을 고르기 위한 기준 제시를 목적으로 하고 있다.

에코마크 사업은 국제표준화기구의 규격 ISO 14020(환경라벨 및 선언·일반원칙) 및 ISO 14024(환경라벨 및 선언·타입 I 환경라벨 표시·원칙 및 수속)에 준하고, (재)일본 환경협회에 의해 운영되고 있다. 이 제도는 「자주적으로 다양한 기준에 근거한 제삼자의 기관에 의해 라벨의 사용이 인정을 받는 제도」이며, 한국환경마크(한국 환경마크협회), 그린라벨(타이 환경연구소), 그린마크(타이완 환경개발기금), 뉴질랜드 환경초이스(뉴질랜드 에코라벨링 트러스트), 노르딕스완(북구 에코라벨링위원회, 북구5개국)과 상호인증을 행하고 있다.

목질재료에 관해서는, 에코마크 상품유형 No.111 「목재 등을 사용한 보드」, 에코마크 상품유형 No.115 「간벌재, 재·미이용 목재 등을 사용한 제품」 등 2가지 상품유형이 정해져 있다. 이것들의 인정기준은 2004년에 개정되어 현시점에서는 그린구입법에서의 특정조달품목에 대한 적합 판단기준보다 엄격하다.

4. 일본 목질보드산업의 대응

일본의 2004년도 파티클보드 생산량은 125만㎡로서 우리나라의 약 1.6배이다. 섬유판을 포함한 목질보드 총생산량은 연간 210만㎡로서 우리나라와 거의 비슷하며, 수입

량을 포함한 목질보드 총소비량은 우리나라에 다소 못 미치는 319만^m이다. 일본은 목질패널제품 중에서도 합판의 생산·소비대국(생산량 : 세계 5위, 수입량 : 세계 2위)으로서, 목질보드의 사용비율은 대체로 낮은 편이다.

일본은 우리나라보다 목재자원이 풍부하며 양질의 폐목재 원료 공급원인 제재, 합판산업의 규모가 크고, 목조주택으로부터 건전폐목재인 해체재 발생량이 많기 때문에, 목질보드산업의 원료사정은 우리나라보다 훨씬 유리하다.

이와 같은 여건에서도 목질폐기물의 재자원화는 목재산업분야의 핵심과제로서 적극적인 폐목재 재활용대책이 추진되어 왔으며, 폐기물처리법, 건설자재리사이클법, 그린구입법 등의 주요 실행주체로서 가이드라인을 설정하고 실행체계를 구축해 가고 있다.

특히 '건설자재리사이클법'에 목재를 특정건설자재로 지정하여, 해체공사시 분별해체 및 재자원화를 의무화시킴으로서, 목질폐기물의 재자원화가 한층 촉진되어질 것으로 여겨진다. 재자원화가 의무화된 특정건설자재 3종 중에서 아스팔트와 콘크리트는 이미 2010년도 재자원화 목표 95%를 달성하고 있는데 비하여, 목재의 재자원화율 아직 충분하지 않다. 건설리사이클법에 의해 연간 693만^{m³} 발생하고 있는 목조주택해체재의 재자원화가 의무화되었다. 단 폐재의 발생 현장에서 50km이내에 재자원화 시설이 없을 경우에는 소각에 의해 체적을 절감하면 최종처분장에서의 매립이 허가된다.

일본섬유판공업회 회원사에 대한 조사에 의하면, 목질보드류의 원료에 차지하는 건축해체재의 비율은 1998년에는 33%이었지만 2003년에는 54%로 증가하고 있어, 건설리사이클법의 시행 효과가 나타나고 있다. 목질보드류의 원료로서 사용되고 있는 건축해체재는 계산상 114만^m 정도가 되지만, 모든 폐기물 가운데 목질보드류 원료로서 재이용되어 있는 것은 155만^m 정도이다.

목질폐기물을 발생상태 그대로 받아서, 중간처리업자로서 목질폐기물 만으로 목질보드의 제조하고 있는 공장은 현재 2개사 2공장 밖에 없다. 그 밖의 공장에서는 중간처리업자에 의해 1차 파쇄된 재생칩을 받고 있다. 중간처리과정에서는 모든 폐기물은 같은 라인에 의해 가공되어, 출하되는 칩을 폐기물의 종류별로 분류하고는 있지 않기 때문에 건축해체재에서 유래하는 칩에 다른 폐기물에서 유래하는 칩이 혼입되어 있으며, 실제 건축해체재 사용율은 조사치보다 낮은 것으로 생각된다. 비목재산업에서 발생하는 폐기물에서 차지하는 건축해체재의 비율이 약 35%인 것으로 감안하면, 목질보드류 원료로서 재이용되어 있는 건축해체재료는 54만^m에 지나지 않는다.



<그림 2> 일본에서 폐목재의 주종을 이루는 주택해체재(左)와 파쇄칩(右)

5. 일본 파티클보드공업의 재활용시스템 구축 사례

가. 목질폐기물 재활용시스템의 구축경과

일본에서는 파티클보드 제조업체인 도쿄보드공업(주)가 성공적인 폐목재재활용 사례로 꼽히고 있다. 이 회사는 1984년부터 파티클보드를 생산하기 시작한 이래 합판 폐재를 주원료로 사용하였으나, 합판공장, 제재공장의 폐업 또는 생산량 감소로 원료 조달이 어려워짐에 따라 1988년부터 원료의 안정공급을 위하여 건축해체재, 폐목재 재생칩을 구입, 사용하기 시작하였으며, 1990년대에 들어서는 건설폐목재(주로 콘크리트거푸집), 파렛트, 포장재, 건축해체재 등의 목질폐기물을 100% 재활용하는 리사이클 업체로 발전하여, 세간의 주목을 받게 되었다.

그러나 처음에는 ①금속류 등의 異物質이 혼입되어 제조공정에서 화재나 분진폭발을 일으키기도 하였으며, ②물세척장치로 오염물질을 제거한 칩은 함수율이 높기 때문에 에너지가 많이 소요되고 생산성이 저하되며, ③원료의 품질에 따라 제품물성이 불균일하거나, ④계절별로 원료공급량이 불안정한 문제 등이 발생하였다. 또한 물세척 파티클의 건조에 따른 연소량의 증가로 보일러 배출기준(NO_x) 문제도 있어, 결국 배출량을 줄이기 위해서 제품생산을 줄이게 되는 상황에 이르렀다.

따라서 1990년 전후에 산업폐기물 등의 재활용을 위하여 자력식 선별기와 공기선별기를 조합한 건식 이물질제거시스템을 설치하고, 2축전단식 파쇄기, 회전충격식 파쇄기 등의 파쇄설비를 구비하였다. 또한 1991년부터 東京都로부터 산업폐기물처리업(수집운반 및 중간처리업)과 일반폐기물처리업의 허가를 각각 취득한 이래, 6개 자치단체

로부터 폐기물처리업의 허가를 취득하였다. 이상의 과정은 '합판폐재 사용→외부로부터 폐목재 칩 구입(원료비 지불)→폐기물처리업 허가 취득(처리비 받음)'의 순으로 요약할 수 있다.

나. 목질폐기물 재활용 현황

목질폐기물의 수집은 첫째 대형 건설업체와의 계약, 둘째 수집업체와의 계약, 自社가 직접 수집하는 등의 방법이 있다. 현재 이 업체가 사용하는 폐목재의 70%는 외부로부터 공장까지 운반해 주는 것이며, 나머지는 自社가 직접 수집하고 있다. 또한 외부에서 반입되는 폐목재의 약 60%가 콘크리트거푸집이다. 이 공장에서 사용하는 원료는 함수율이 13~15% 정도로 낮아 건조를 위한 에너지 비용이 절감되고 있다.

아울러 가로수, 공원수의 가지치기 폐잔재를 3~5% 정도 사용하고 있다. 콘크리트 거푸집을 보드원료로 사용할 경우에는 알칼리성(pH 10 정도)으로 인한 접착불량 문제가 있기 때문에 가로수 가지(생재)를 혼용하면 중화작용의 효과가 있다고 한다. 외부에서 들어오는 폐목재의 파쇄공정에서 발생하는 이물질은 주로 금속류(철, 비철)로서 5,000톤의 폐목재 중에서 30톤(0.6%)이 발생하며, 모래나 돌가루도 20~30톤 정도 발생한다.

외부에서 들어오는 폐목재류에 대하여 처리비로서 받는 금액은 콘크리트 거푸집 10,000~12,000엔/톤, 파렛트 2,500엔/톤, 가로수 가지 25,000엔/톤 정도이다. 건설폐기물은 임의 소각이 금지되어 있으며, 거푸집을 소각로로 처리할 경우 25,000엔/톤의 처리비를 지불해야 한다.



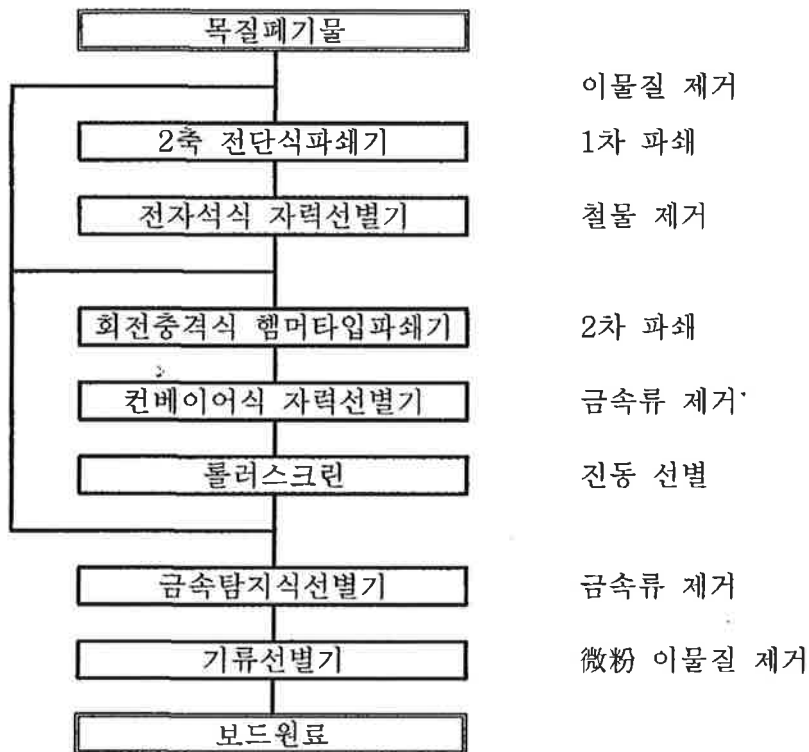
10噸車	合板	¥40,000円
	パレット	¥28,000円
4噸車	合板	¥22,000円
	パレット	¥16,000円
2噸車	合板	¥18,000円
	パレット	¥12,000円
台	資 1kg	¥12.50円

木質系以外の混入物はお断り致します。

<그림 3> 파티클보드공장에 선별, 운반된 폐목재류(左)와 처리요금표(右)

다. 목질폐기물의 보드원료화 공정

이 파티클보드 공장에서는 거푸집 등의 폐목재를 운반해 온 트럭으로부터 바로 포크리프트로 이축전단식 파쇄기에 투입하여 1차 粗碎한 다음, 회전충격식 햄머타입 파쇄기(슈리더파쇄기)로 2차 파쇄한다. 이후 다단계의 분리, 선별공정에서 오염물질이 제거되며, 물세척방법은 일체 사용하지 않는다. 폐목재의 파티클보드원료화 공정은 <그림 4>과 같다.



<그림 4> 목질폐기물의 파티클보드원료화 공정 (토코보드주식회사)

이와 같은 공정을 거친 원료로 파티클보드를 제조할 때에도, 원료상태가 제조공정 및 제품품질에 미치는 몇 가지 문제점이 있다. 가장 큰 문제는 금속류가 혼입될 경우, 링플레이커의 칼날을 손상시키며, 리파이너에 들어갈 경우 불꽃에 의해 분진폭발이 일어날 가능성이 있다. 또한 거푸집에 부착된 콘크리트의 분진량이 많아지면 접착제의 경화를 저해시키며, 劣化가 심한 폐목재로 인하여 보드 품질의 저하가 예상되기도

한다.

따라서 이 공장에서는 ①이물질 제거설비의 증설, ②불꽃검출기, 열센서, 화염감지기 등의 설치, ③건조기 출입구에 산소농도계와 경보장치의 설치, ④기계적 또는 구조적으로 각 공정의 차단 등의 대응을 하고 있다.

라. 목질폐기물의 재활용 촉진대책

1997년 6월에 폐기물처리법이 개정되고, 1998년 12월부터 '산업폐기물관리표' 제도가 전체 산업폐기물에 적용되고 있다. 이에 따라 건설폐기물을 주로 하는 목질폐기물은 적절한 처리가 이루어져 가고 있다. 그러나 장기간 주택착공량이 정체되어 왔기 때문에 파티클보드의 수요 또한 증가하지 않고 있다. 따라서 폐목재류의 처리요구는 증가하고 있지만, 충분히 받아드리지 못하고 있는 상황이다. 이에 대응하여 도쿄보드공업(주)에서는 폐목재 리사이클제품의 수요 확대를 위한 대책을 적극 추진하고 있다.

첫째는 '그린판매시스템'이다. 이는 주로 대형건설회사와 협정을 맺어 건설현장에서 배출되는 폐목재를 저렴한 요금으로 우선적으로 받아드리면서, 이 원료를 사용한 파티클보드를 다시 건설회사에 납품하는 방식이다. 1999년부터 시작하여 현재는 13개의 대형건설회사와 협정을 맺고 있으며, 더욱 협정 회사를 늘려 나갈 계획이다.

둘째는 '순회회수시스템'이다. 일본에서 파티클보드는 공동주택의 마루바닥재로 많이 쓰여지고 있으나, 중간 유통단계를 거쳐 판매되기 때문에 최종 소비자인 시공현장과의 연결에 어려운 점이 있다. 따라서 파티클보드의 배송처인 시공현장에 폐목재를 수집하는 파렛트나 용기를 설치하여, 파티클보드 제품을 배달하고 돌아올 때 수집된 폐목재를 운반해 오는 순회회수방식이다. 이와 같은 방식으로 同社 제품을 사용하는 경우에는 폐기물처리요금을 인하해 줌과 아울러 폐기물의 분리처리가 용이해지므로 건설폐기물 분별처리와 파티클보드의 적극적인 이용을 동시에 촉진시키고자 하고 있다. 이와 같은 노력으로 同社는 파티클보드의 수요를 계속 확대해 나가고 있다.

제 2 절 이태리의 목질폐기물 재자원화 현황

1. 이태리의 폐목재재활용 파티클보드 생산현황

이태리의 2004년도 파티클보드 생산량은 연간 366만m³(세계 7위)로서, 우리나라의 약 4.6배 규모이며, 동시에 연간 66만m³(세계 9위)를 수입하고 있다. 폐목재 재활용시스템이 구축된 1980년대 말에 생산량이 급증하였다. 생산된 파티클보드는 일부 터키, 홍콩 등으로 수출하며, 우리나라에도 이태리산 파티클보드가 소량 수입되고 있다. 이태리는 중소기업체를 포함하여 전체 48개의 파티클보드 공장이 있으며, 이 가운데 Fantoni社, Falco社와 같은 대형 업체는 우리나라 파티클보드공장 시설용량의 약 3배 규모에 달하는 단일 생산라인을 보유하고 있다.

<표 1> 이태리의 파티클보드 수급추이

(단위 : 1,000m³)

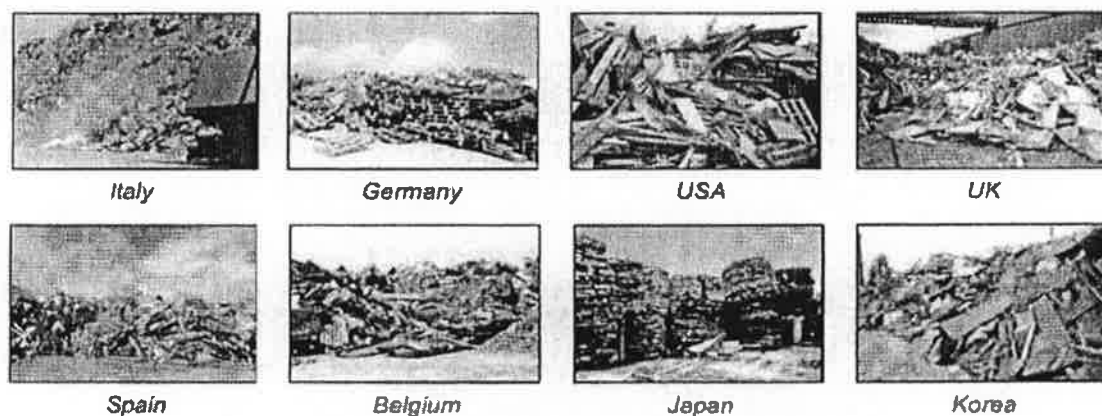
연도	생산량	수출량	수입량
1985	1,350	39	411
1986	1,400	43	346
1987	1,700	58	382
1988	3,090	50	308
1989	3,030	61	363
1990	3,050	61	361
1991	3,050	75	378
1992	2,265	57	444
1993	2,250	99	355
1994	2,202	121	346
1995	2,450	91	340
1996	2,205	128	340
1997	2,750	158	644
1998	2,950	202	642
1999	3,070	237	507
2000	3,200	360	583
2001	3,240	408	556
2002	3,300	485	675
2003	3,350	354	561

* 자료 : FAOSTAT(2005)

폐목재 원료의 파쇄, 투입, 선별, 분리 등의 리사이클 공정은 대체로 세계 최고 수준의 폐목재 리사이클설비 제조업체인 이태리의 PAL社 시스템으로 구성되어 있다. 그 밖에 2차파쇄는 Pallman社, 접착제 혼합은 iMAL社, 연속열압기는 Siempelkamp社의 설비가 주종을 이루고 있다. 생활폐목재 등 저질 원료는 다단계의 리사이클시스템에 의한 분리, 선별, 재파쇄공정을 거쳐 양질의 파티클보드를 생산하고 있으며, 긴진 폐목재는 통상적 공정으로 투입되어 저질폐목재와 혼합 사용된다. 폐목재 파쇄칩의 크기에 따라 Micro chip은 Knife ring flaker로, Macro chip은 Hammer mill로 재파쇄 과정을 거친다. 파티클보드용 접착제는 요소수지(UF) 또는 요소·멜라민수지(MUF)를 사용하며, 이태리의 파티클보드 포름알데히드방산량 기준(퍼포레이터법)은 유럽 국가들과 동일한 1등급(9mg/100g 이하)으로 규제하고 있다.

2. 이태리 파티클보드공업의 폐목재원료 사용현황

이태리에서는 1986년부터 생활폐목재와 같은 저급 폐목재를 재활용한 파티클보드를 본격 생산하였으며, 대규모 파티클보드 공장(Fantoni社, Falco社 등)에서는 전체 사용 원료의 80%가 생활폐목재가 주종을 이루는 저급 폐목질원료이며, 나머지 20%는 제재 죽더기, 물류 폐목재, 포플러 소경재, 톱밥 등을 사용하고 있다. 생활폐목재는 대부분 자치단체에서 수집하여, 중간 파쇄처리시설을 거쳐 1차 파쇄칩으로 공급되며, 이태리 국내의 폐목재원료 공급량이 부족하여 독일, 오스트리아, 슬로베니아 등 인접 국가로부터도 생활폐목재가 수입되고 있다.



<그림 5> 세계 각국의 생활폐목재 원료 (자료사진 : PAL社)



<그림 6> 이태리의 파티클보드공장에 반입된 저급 폐목재원료

이태리는 세계적인 파티클보드 생산국가이지만, 매우 질이 낮은 목질폐기물을 주원료로 사용하는 배경에는 다음과 같은 요인이 있는 것으로 여겨진다.

첫째, 시멘트 또는 점토벽돌을 주로 사용하는 이태리의 전통적인 건축양식에 의해 양질의 폐목재원료 공급원인 건설폐목재가 부족한 자원사정에 대응하여 저급 폐목재를 적극적으로 사용하는 순환이용체계가 정착되어 온 것이다. 둘째, 세계적으로 우수한 폐목재 리사이클설비 기술을 보유하고 있으며, 특히 파티클보드 공장의 설치단계에서부터 저급 폐목재 사용에 적합하도록 폐목재 재활용 공정시스템을 구축하였기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 이태리의 목재자원은 매우 빈약한 반면에 가구산업이 폐목재의 주요 공급원이 되고 있기 때문이다.

<표 2> 폐목재 종류별 목질보드(파티클보드, MDF) 원료의 등급 구분

폐목재 종류	Prime board7		Standard board	
	파티클보드	MDF	파티클보드	MDF
파렛트	8	6	10	8
전선드럼	8	6	10	8
포장재 (합판, OSB 등)	8	6	10	8
파일, 어류 상자	6	2	8	6
오염물질 혼합 톱밥	6	0	8	4
해체목재	4	0	6	0
폐 파티클보드	6	0	6	4
폐 MDF	2	0	2	4
해체가구	0	0	4	0
함침처리 목재	0	0	0	0

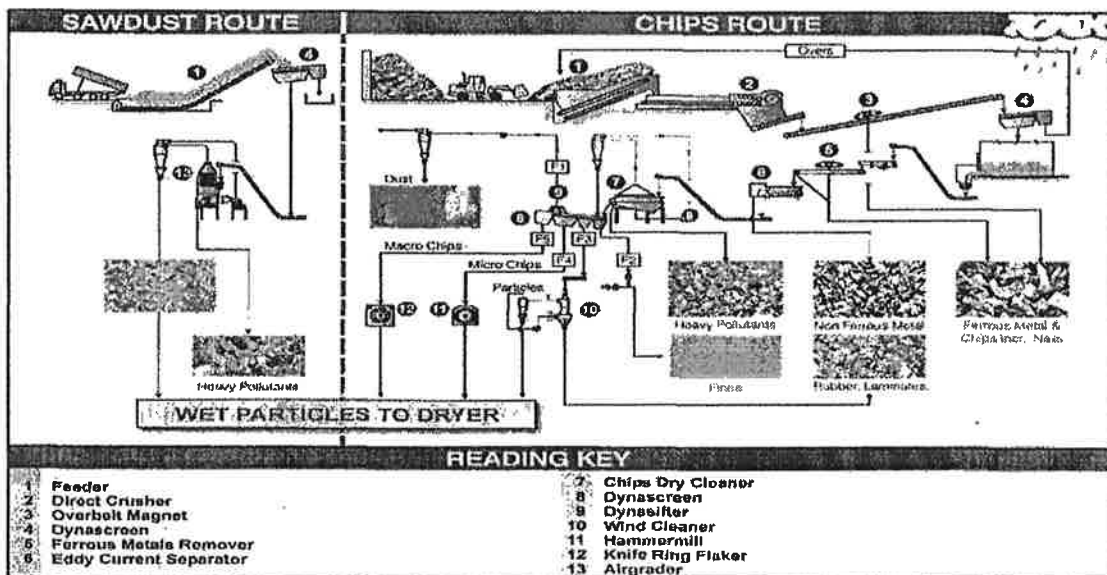
* 10=Excellent, 8=Good, 6=Fair, 4=Poor, 2=Very poor, 0=Not-usable

* 자료 : PAL社

3. 목질폐기물 리사이클 설비시스템

이태리의 PAL社(소재지 : 1-31047 Ponte di Piave, Treviso, Italy)는 1978년에 설립된 세계적인 폐목재 리사이클 설비시스템의 전문 개발·제작업체로서, 리사이클 설비를 비롯한 보드원료 제조장치, 접착제 혼합장치 등을 세계 각국에 수출하고 있다. 이태리의 주요 파티클보드 제조공장에서는 PAL社의 리사이클 설비를 사용하고 있으며, 다단계의 파쇄, 분리, 선별, 재파쇄 과정을 거쳐 저급 폐목재 원료를 이용한 파티클보드의 생산이 원활하게 이루어지고 있다. PAL社에서 개발, 생산하는 주요 폐목재리사이클 설비품목은 아래와 같다.

- 원목, 폐재 공급·이송장치 : feeder, mechanical conveyer
- 1차파쇄기 : pre-crusher, crusher, re-chippers
- 원료세정장치 : dry cleaner(건식세정기), centrifugal cleaner(원심력 세정기)
- 금속편 제거장치 : 철물제거, 비철금속제거
- 2차파쇄기 : knife ring flaker, hammermill
- 파티클선별기 : roll screen(W-rolls, V-rolls, D-rolls), oscillating screen(진동선별기)
- 오염물질제거장치 : wind sifter, densimat
- 계량공급장치 : belt scale, metering bin



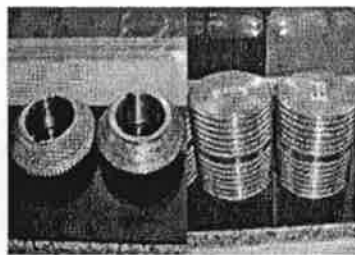
<그림 7> 폐목재 리사이클 설비시스템의 개요

또한 이와 같은 설비로 구성된 폐목재 리사이클 설비시스템의 개요는 <그림 6>에서 보는 바와 같이 다단계의 과정을 거치게 된다.

한편 PAL社 연구소 및 설비공장의 현장조사방문시에 同社가 보유하고 있는 파이롯트 설비시스템<그림 8>을 이용한 오염물질의 분리, 선별공정의 시범가동을 실시하였다. 이를 통하여 오염물질이 혼합된 저급 생활폐목제의 선별, 분리과정(Crusher→Roll screen(Dynascreen)→Metal remover→Wind sifter→Densimat 등)의 효율성 및 신기술의 수준을 확인하였다. 특히 생활폐목제에 혼합되어 분리, 제거가 어려운 플라스틱, 섬유류, 모래 등 각종 오염물질의 완벽한 자동 선별, 제거가 가능하였다.



리사이클 설비시스템 설명



파티클선별기의 roll



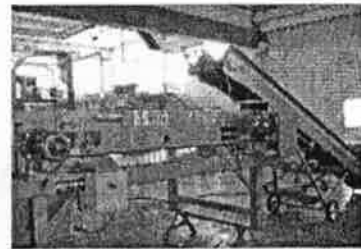
파티클선별기(roll screen)



폐목재 파쇄원료의 투입



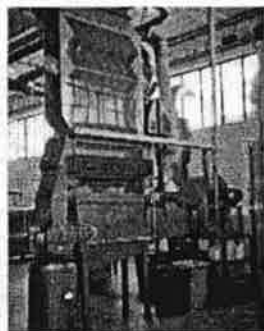
이물질이 혼합된폐목재원료



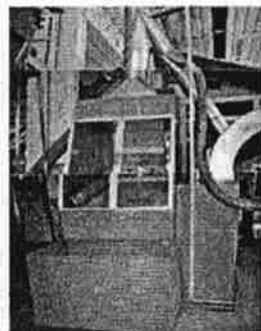
금속류(철, 비철) 제거장치



원료선별장치
(Dynascreen)



이물질제거장치
(Wind sifter)

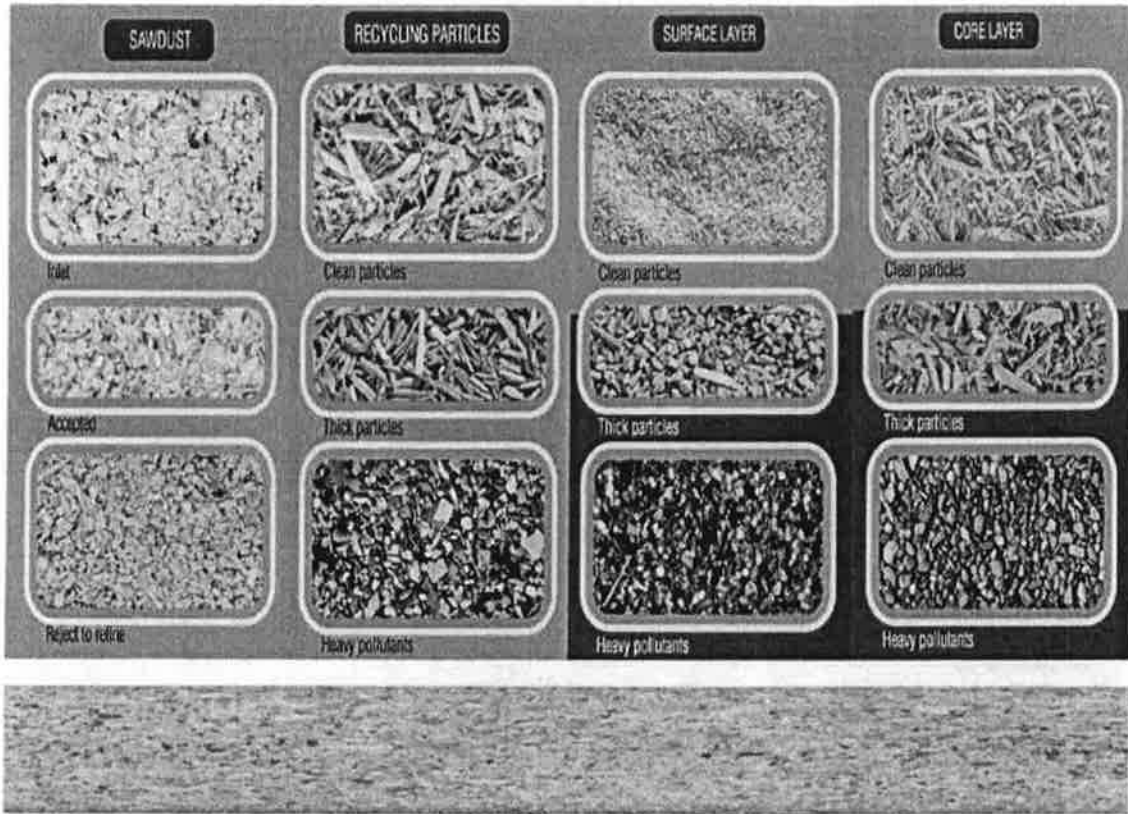


이물질제거장치
(Densimat)



精選된 파티클보드
원료

<그림 8> 폐목제의 오염물질 분리, 선별을 위한 파이롯트 설비시스템(PAL社)



<그림 9> 오염물질을 분리·선별한 폐목재 파티클(上)과 재생파티클보드의 단면(下)

<표 3> 리사이클 기술에 의한 파티클보드 제조효과

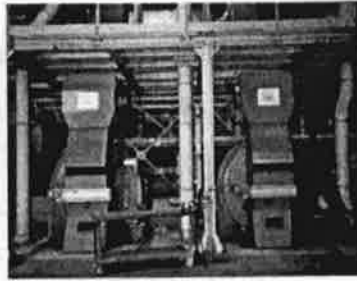
구 분	파티클보드 1m ³ 제조시	파티클보드 1,000ft ³ (두께 3/4") 제조시
폐목재소요량(Recycled wet wood)	0.9~0.92ton	3,509~3,588lb.
폐목재원료비	건전목재원료의 40~70%	
접착제소요량(전건무게)	48~52kg	187~202lb.
전력소비량	100kWh	177kWh
원료건조 열원소비량	건전목재원료의 40~70%	
보드의 표면상태	매우 양호	
보드의 기계적성질	기준에 적합	
최종제품의 미세광물질 함량	0.06~0.12%	

* 자료 : PAL社.

<그림 10>은 이태리의 대표적인 폐목재 재활용 파티클보드 회사인 Fantoni社(소재지 : 3010 Osoppo, Udine, Italy) 및 Falco社(소재지 : 44020 Pomposa, Ferrara, Italy)의 제조설비로서, 1일 생산용량은 Fantoni社 1,500m³(프레스 길이 38m), Falco社 1,200 m³로서, 단일 라인의 규모로는 국내 각 파티클보드공장 생산용량(400m³)의 3배 규모에 달한다.



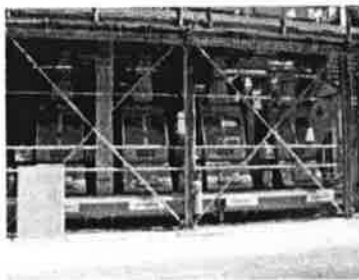
선별기(Roll screen)



파쇄기(Knife ring flaker)



파쇄기(Hammer mill)



이물질선별기(Densimat)



접착제 및 첨가제 탱크



생산된 파티클보드

<그림 10> 이태리 파티클보드공장의 제조설비(Fantoni社, Falco社)

제 3 절 목질재료용 접착제의 최근 동향

각종 목질재료의 접착에는 작업성, 경제성 및 비교적 접착성능이 우수한 아미노계 수지접착제가 현재 대부분 사용되고 있다. 대표적인 아미노계 수지인 요소수지는 값이 싸고 상태접착력이 비교적 양호하여, 합판이나 보드류 제조시에 대량 사용되고 있다. 그러나 현실적으로 내수성 및 내구성의 향상과 포름알데히드 방산량의 최소화라는 문제에 직면하고 있다. 각종 포름알데히드계 접착제로 제조한 합판으로부터 방출되는 포름알데히드 양은 요소수지 합판에서 가장 많고, 이어서 요소·멜라민수지 그리고 페놀수지가 가장 적다. 목질접착제품으로부터 주로 방출되고 있는 포름알데히드는 ① 조제한 수지 중에서 유리되고 있는 것, ② 경화반응 중에 생성한 것 및 ③ 경화수지 중의 디메틸렌 에테르결합 또는 메틸렌결합의 분해에 의한 것 등으로 분류할 수 있다. 따라서 이들의 포름알데히드 방출을 최소화하기 위해서는 수지의 제조과정에서는 요소에 대한 포름알데히드의 몰비를 낮추는 방법, 산성측에서 반응시키는 방법 등이 기본적이며, 목질재료 제조공정에서는 포름알데히드 포착제의 첨가와 저함수율 단판의 사용 등이 검토되고 있다. 그리고 제조한 제품의 후처리방법으로서도 압모니아 처리, 가열 송풍처리, 도장처리 등이 검토되어 왔다. 그러나 어느 방법을 적용하든 포름알데히드는 접착에 사용된 수지로부터 대부분이 방출되기 때문에 수지제조시 포름알데히드 양을 가능한 한 최소화하지 않고서는 그 효과를 기대하기 어렵다.

요소에 대한 포름알데히드의 몰비를 낮추면 수지의 겔화가 늦어지고, 우수한 내수 접착강도를 얻을 수 없다. 따라서 최근에는 요소수지에 멜라민을 첨가한 요소·멜라민수지로의 전환을 검토하고 있다. 요소·멜라민수지는 현재 콘크리트 형틀용 합판의 제조에 주로 사용되고 있으나, 앞으로 포름알데히드의 방출량 감소나 제품의 내수성 향상을 위해서는 파티클보드나 MDF의 제조에도 사용될 수 밖에 없다. 그러나 요소·멜라민수지도 포름알데히드가 주요 원료로 사용되기 때문에 근원적으로 포름알데히드 방출문제로부터 자유롭지 못할 것이다. 따라서 비포름알데히드계에 의한 목질제품을 제조하기 위한 방법으로서 이소시아네이트계 수지의 사용 현황을 살펴보았다.

이소시아네이트계 수지의 이소시아네이트 화합물로는 디페닐메탄다이소시아네이트 및 그 다핵체의 혼합물(PMDI)이 주로 사용된다. 이 PMDI를 목질보드의 바인더로서 사용하는 연구는 30여년 전에 독일의 노보판사와 바이엘사의 공동으로 시작된 이후

25년간의 생산실적을 가지고 있다. 예를 들어 1975년 독일의 노보판사가 파티클보드의 표층에는 페놀수지를, 내층에는 PMDI를 사용하였으며, 1980년 독일의 Kunz사는 전층에 PMDI를 사용한 보드를 상업적으로 생산한 이후, PMDI의 사용방법에 관해서는 설비업체, 보드제조업체 및 바이엘사의 노력으로 오늘날에는 상당히 최적화되어 왔다. 일반적으로 이소시아네이트계 수지접착제가 목질패널제품의 제조에 사용되는 형태에는 3가지가 있다. 첫째, 파티클보드나 MDF의 바인더로의 사용(주로 PMDI)하거나, 둘째, 수성고분자 이소시아네이트수지로서 집성재나 합판제조에 사용되며, 그밖에 기존의 접착제를 개량하기 위한 강도 증진제로 이용한다.

PMDI의 이소시아네이트기는 물과 반응하여 폴리우레탄을 생성할 뿐만 아니라 모든 활성수소화합물과 반응하여 강고한 결합상태를 형성한다. 특히 물이나 목질중의 활성수소와의 반응성이 뛰어나다. 종래의 포르말린계 수지는 물을 방출하면서 축합이 진행되고 접착제로서의 효과를 나타내는 것과는 반대로 MDI는 잔존하는 물과 반응하여 폴리우레아구조를 형성하고 이것이 접착의 주 골격을 형성된다. 일반적으로 이소시아네이트기와 활성수소와의 반응성은 지방족 1급아민>지방족 2급아민>방향족 아민>메틸올기>물>초산>지방산>아미드의 순이다.

PMDI로 보드를 제조할 경우, 포름알데히드방출량의 저감 및 무방출화, 포름알데히드계 수지의 반응촉진과 개질, 목질원료의 허용 함수율 범위의 확대, 내수성 우수 등 물성 개선효과 및 수지 절감효과 등으로 그 사용량은 최근에 들어 크게 증가하였다.

목질보드에 있어서 이소시아네이트 접착제가 우수한 접착성능을 발휘하는 요인으로서는 먼저 구조중의 우레탄결합이나 요소결합의 응집력이 높다는 것을 들 수 있다. 그 외에도 포르말린계 수지에 없는 이소시아네이트 수지의 특성으로서는 목재 칩 중의 수분과의 반응에 의해 야기되는 벌크화에 의한 앵커효과, 셀룰로오스 또는 리그닌의 수산기와 이소시아네이트기의 화학적 반응에 의해 강한 접착력이 형성되는 것으로 생각된다. Weaver 등은 다양한 함수율의 칩과 이소시아네이트 화합물과의 반응을 FT-IR로 측정하여, 칩 함수율 19~30%범위에서는 이소시아네이트기가 먼저 칩의 자유수와 반응한다는 것을 밝혔다. 또한 리그닌의 수산기가 셀룰로오스의 수산기보다 빨리 이소시아네이트기와 반응한다는 것도 밝혀졌다.

이상에서 언급한 바와 같이 비포름알데히드계인 이소시아네이트 수지에 의해 목질성형제품을 제조한다면 기존의 수지에서 얻기 어려운 많은 장점으로 인해 품질과 생산성의 향상을 도모할 수 있을 것으로 기대된다.

제 7 장 참고문헌

1. 목질폐기물의 순환이용 시스템 개선

- 1) 김외정. 1999. 폐목재발생실태 및 재활용 촉진방안. '99한국합판·MDF·파티클보드 심포지엄 : 101-121.
- 2) 박종영. 2000~2001. 일본의 목질폐기물 재자원화 추진상황(I~III). 임업연구원 임업정보 2000년 12월호: 13-18, 2001년 1월호: 13-20·3월호 : 18-25.
- 3) 박종영. 2005. 목질폐기물의 재자원화 실태와 향후 대책. 제4회 한국합판·MDF·파티클보드 심포지엄 : 11-44.
- 4) 시부자와. 2005. 일본의 목질폐기물 재자원화 현황과 장래. 제4회 한국합판·MDF·파티클보드 심포지엄 : 65-86.
- 5) 유성진. 2005. 파티클보드 산업의 폐목재 재활용 촉진전략. 제4회 한국합판·MDF·파티클보드 심포지엄 : 45-64.
- 6) 임업연구원. 2000. 폐목재의 수집체계 개선 및 재활용 촉진방안. 임업연구원 연구자료 제159호. 274pp.
- 7) 환경부. 2003. 제3차 자원재활용기본계획. 130pp.
- 8) 환경부. 2005. 2004 전국 폐기물 발생 및 처리현황.
- 9) 환경부. 2006. 2005 환경백서.
- 101) 富永洋司, 小林直子, 近江正陽. 1999. パーティクルボードからの木材チップの回収とパーティクルボードの再生. 木材工業 54(11) : 473-477.
- 11) 日本住宅・木材技術センタ. 1997. 木質廢棄物再資源化技術開發總集編. 130pp.
- 12). 秦野恭典, 漆澤龍也, 奥野好夫, 千葉保人, 野上英孝, 朴 鍾瑩. 2001. 木質材料を再利用したボード類の製造と性能(II). 第51回 日本木材學會大會 研究發表要旨集. 243pp.
- 13) 川井秀一. 1977. 新しい木質系材料の開發研究の現狀と今後の展望. 木材研究・資料 第33號 : 26-32.
- 14) 下野 健一 外 4人. 製紙スラッジの有效利用の現狀と資源化の研究動向, 静岡縣製紙工業試驗場報告, 31号 : 76-88.

2. 고성능 접착제의 합성 · 이용기술 개발

- 1) A. Pizzi, L. Lipschitz, J. Valenzuela, *Holzforschung*, 48 : 254-260.
- 2) B. R. Prime. 1997. Thermosets, in *Thermal Characterization of Polymeric Materials*, A. Turi, Ed., Academic Press, New York, Chapter 6, : 1380-1766.
- 3) C. Y. Hse, Z. Y. Xia, B. Tomita. 1994. *Holzforschung*, 48-53, 527.
- 4) G. E. Myers. 1983. *For. Prod. J.* 33(5) : 27-32.
- 5) G. E. Myers, K. A. Koutsky. 1990. *Holzforschung*, 44 : 117-122.
- 6) G. E. Myers, K. A. Koutsky. 1987. *For. Prod. J.*, 37-42, 56.
- 7) G. E. Myers. 1994. *In: Formaldehyde Release from Wood Products*, B. Meyer. B. A. K. Andrews, R. M. Reinhardt. Ed., American Chemical Society, 1986 : 8-14.
- 8) G. E. Myers. 1984. *For. Prod. J.*, 34-39, 35.
- 9) H. J. Borchardt. 1957. *F. Daniels, J. Amer. Chem. Soc.*, 79 : 41-46.
- 10) J. Y. Gu, M. Higuchi, M. Morita, C. Y. Hse. 1995. *Mokkuzai Gakkaishi*. 41-46, 1115.
- 11) K. Siimer, T. Kaljuvee, P. Christjanson. 2003. *J. Thermal Anal. Calorimetry*, 72 : 607-613.
- 12) M. McCaffery. 1970. *Laboratory Preparations for Macromolecular Chemistry*. McGraw Hill, New York, USA. p. 61.
- 13) M. Dunky. 1998. *Int. J. Adhesion & Adhesives*, 18-27, 95.
- 14) P. R. Steiner. 1973. *For. Prod. J.*, 23 : 32-38.
- 15) P. Christjanson, K. Siimer, T. Pehk, I. Lasn. 2002. *Hols als Roh-und Werkstoff*, 60 : 379-384.
- 16) R. Marutzky, 1986. *In: Wood Adhesives: Chemistry and Technology*, Vol. 2. A. Pizzi, Ed., Marcel Dekker Inc. : 307-387
- 17) S. Zeman, L. Tokarova. 1992. *Thermochemica Acta*, 202 : 181-186.

3. 폐목질 재생보드 제조실연시험

- 1) A. Go. 1988. *Proceedings of Particleboard/Composite Material Symposium*, Washington State University, Pullman, WA. : 123 - 132.

- 2) A.W. Christiansen and L. Gollob. 1985. J. Appl. Polym. Sci. 30 (6) : 2279 - 2289.
- 3) C. Adair. 1995. In: A.W. Christiansen and A.H. Conner, Editors, Wood Adhesives 1995, Forest Products Society, Madison, WI (1996) : 9 - 13.
- 4) H.E. Adabbo and R.J.J. Williams. 1982. J. Appl. Polym. Sci.27(4) : 1327 - 1334.
- 5) H.E. Kissinger, Anal. Chem. 29 (1957) : 1702 - 1706.
- 6) M. McCaffery. 1970. Laboratory Preparations for Macromolecular Chemistry, McGraw-Hill, New York, USA. p. 61.
- 7) R.C. Gupta and V.K. Sehgal. 1979. Holz und Hozverwertung 31 : 7 - 9.
- 8) R.B. Prime. 1997. (second ed.) In: E.A. Turi, Editor, Thermal Characterization of Polymeric Materials vol. 2, pp. 1380 - 1744 (Chapter 6).
- 9) S. Ellis and P.R. Steiner. 1991. In: A.W. Christiansen and A.H. Conner, Editors, Wood Adhesives 1990, Forest Products Research Society, Madison, WI : 76 - 85.
- 10) S. Ellis and P.R. Steiner. 1991. Wood Fiber Sci.23(1) : 85 - 97.
- 11) S. Ellis. 1996. Forest Prod. J. 46(9) : 69 - 75.
- 12) T. Sellers Jr. 1999. In: A.W. Christiansen and A. Pilato, Editors, International Contributions to Wood Adhesion Research, Forest Products Society, Madison, WI. : 31 - 47.
- 13) Z. Katovic and M. Stefanic. 1985. Ind. Eng. Chem. Prod. Re.24. : 1117 - 1122.

4. 폐목질 재생보드의 제조기술 및 성능개선

- 1) (사)한국합판보드협회. 2005. 합판 및 보드통계.
- 2) 한태형, 권진현. 2002. 파티클과 재생파티클의 혼합비율 및 제조조건이 보드의 물성에 미치는 영향. 제1회 한국가구학회 춘계학술대회 연구논문 발표집 : 13-16.
- 3) Chin-yin Hwang, Chung-yun Hse, and Todd F. Shupe. Effects of recycled fiber on the properties of fiberboard panels. Forest Products Journal. 55(11) : 61-64
- 4) Paladin, R. 2001. Turn urban forest into profitable value. Proceedings of the 5th European Panel Products Symposium. Llandudno, Wales. : 234-245.
- 5) Magic, C., G. Goroyias, N. Thompson, and R. Coulson. 2001. Recycling of urban wood waste into quality board products. Trends and prospects for the future. Proceedings of the 5th European Panel Products Symposium. Llandudno, Wales. : 246-252.

- 6) Paladin, R. 2002. Cleaning up urban forest. G:/PUB/SIM2002/ GÖTTINGEN/PAL_Abstract.doc. : 1-15.
- 7) (財)日本住宅・木材技術センター. 1993. 木質廢棄物再資源化技術開發事業報告書. 283pp.
- 8) (財)日本住宅・木材技術センター. 1996. 木質廢棄物再資源化技術開發事業報告書. 142pp.
- 9) 秦野恭典, 澁澤龍也, 奥野好夫, 千葉保人, 野上英孝, 朴鍾瑩. 2001. 木質材料を再利用したボード類の製造と性能(Ⅱ)- パーティクルボードのリサイクル上の問題點と製造條件の検討. 第51回 日本木材學會大會研究發表要旨集 p.243.
- 10) 秦野恭典, Tibor L. Alpar, 澁澤龍也, 茂木のり恵. 2002. 木質材料を再利用したボード類の製造と性能(Ⅲ)- 未使用エレメント添加による再生PBの性能回復. 第52回 日本木材學會大會研究發表要旨集 p.280.

5. 폐침묵의 재활용기술 개발

- 1) 조명원, 강승모, 김규혁, 구자운, 정두진. 2006. 크레오소오트 처리제로부터 토양으로 유출된 PAHs 성분의 함량분석. 한국목재공학회 2006 학술발표 논문집 : 116-117.
- 2) 한국목재공학회, 임업연구원. 2001. 철도목침묵의 내구성 향상과 향후 전망. 제6회 한국목재공학회 2001 산학연심포지엄: 58-62.
- 3) 한국열대목재연구원. 1996. 수입원목도감.
- 4) 한국표준협회. 1999. KS F 2206(목재의 압축시험 방법).
- 5) 한국표준협회. 1999. KS F 2208(목재의 휨시험 방법).
- 6) 한국표준협회. 2001. KS F 2198(목재의 밀도 및 비중 측정방법).
- 7) 한국표준협회. 2001. KS F 3025(토대용 가압식 방부처리 목재).
- 8) 한국표준협회. 2002. KS F 3026(바닥테크용 가압식 방부처리 목재).
- 9) 한국표준협회. 2003. KS F 3005(가압식 크레오소오트유 방부처리 침묵).
- 10) Abdurahim Martawijaya, Iding Kartasujana, Kosasi Kadir and Soewanda Among Prawira. 1992. Indonesian Wood Atlas Vol. I, II. Forest products research and development centre Bogor-Indonesia.
- 11) Brooks, K. M. 1996. Assessing the environmental risks associated with creosote treated piling use in aquatic environments. In: Proc. of the American wood preservers' Assoc. 92 : 70-103.

- 12) Environment Canada. 1992. Creosote impregnated waste materials. environment Canada, Western and Region, Edmondton, Alberta. 111pp.

6. 난재활용 폐목질자원의 열분해 이용

- 1) 국립산림과학원. 2004. 임산물품질인증지침. 연구자료 제227호. 229pp.
- 2) 국립환경연구원. 2005. 다이옥신의 이해와 대응. 49pp
- 3) 공석우 · 김병로. 2000. 미이용 목질폐잔재의 탄화 이용개발(Ⅱ) -수종의 목질재료 탄화와 탄화물의 특성. 목재공학 28(2) : 57-65.
- 4) 공석우, 김병로. 2002. 국산 주요 수종 및 목질재료 탄화물의 흡착 특성. 목재공학 30(3) : 33-40.
- 5) 권수덕. 2006. 우리나라 참나무류의 자원 분포. 숲과 목초액의 과학기술문화 통권 20호 : 24-29.
- 6) 김병로 · 공석우. 1999. 미이용 목질폐잔재의 탄화 이용개발(Ⅰ) -수종의 간벌재 탄화와 탄화물의 특성. 목재공학 27(2) : 70-77.
- 7) 이동욱, 김병로. 2002. 목질폐잔재 탄화물의 수질정화 효과. 목재공학 30(1) : 34-39.
- 8) 박상범. 1999. 대나무숯 · 죽초액의 제조법과 이용법. 205pp.
- 9) 산림청. 2005. 임업통계연보 제35호 : 308-309.
- 10) 최용순, 권구중, 황원중, 한태형, 권진현, 김남훈. 2000. 폐목재와 숯을 활용한 보드의 신용도 개발. 한국가구학회지 11(2): 67-72.
- 11) 한국에너지기술연구소 탄소재료연구회 역. 2000. 新 · 炭素材料入門. 283pp.
- 12) 환경부. 2004. 2004 전국 폐기물 발생 및 처리현황
- 13) 환경부. 2006. 환경표지대상제품 및 인증기준. EL609. 토양개량제
- 14) Nishiyama K, Hata T, Imamura Y, and Ishihara S. 1998. Analysis of chemical structure of wood charcoal by X-ray photoelectron spectroscopy. J. Wood Sci. 44 : 56-61.
- 15) Slocum D.H, McGinnes E.A Jr, and Beall F.C. 1978. Charcoal yield, shrinkage, and density changes during carbonization of oak and hickory. J. Wood Sci. 11(1): 42-47.
- 16) 鍵谷 司. 2004. 일본의 쓰레기 고형연료의 탄화처리기술의 현황과 동향. 숲과 목초

- 액. 통권 12호. 30-35.
- 17) 吉田 隆. 2001. 脱焼却最前線 廃棄物の炭化處理と有効利用～都市ごみ, 汚泥, 生ごみ, 廢木材の炭化と用途開發. 296pp.
 - 18) 石原茂久. 1998. 木質複合材料技術研究成果報告書, Chap.2. 炭素材料による機能性木質材料の開發, 木質複合材料技術研究組合編.: 209-374.
 - 19) 石原茂久. 2002. 新しい機能性炭素材料素材としての木炭の利用[II], 木材工業, 57(2) : 48-50.
 - 20) 石原茂久: 日本木材保存協會, 南方樹種利用推進事業報告書(1), 37-71(1983), (2), 4-42(1984), (3), 4-45(1985), (4), 3-38(1986), (5), 4-34(1997).
 - 21) (財)日本住宅・木材技術センター, (有)秋田三七三共同ビル. 2002. 平成13年度農林水産省補助事業. 木材産業技術實用化促進緊急對策事業報告書.
 - 22) 平成11~16年度林野廳補助事業間伐材等新利朋分野開拓事業: 「間伐材炭とカオリナイトを主材とする高機能性材料素材の開發とその応用」(社)全國木材組合連合會, 東洋電化工業(株)報告書(2000), 同(2001), 同(2002), (2003), 同(2004).

7. 폐목질 성형제품의 제조기술 개선

- 1) 김외정. 1999. 폐목재 발생실태 및 재활용 촉진방안. '99한국 합판・MDF・파티클보드 심포지움 : 101-122.
- 2) David C. Smith. 1996. Utilization of urban wood in the manufacture of particle and MDF. Forest Products Society. Proceeding No.7286 : 53-56.
- 3) John Barrie. 1996. Specifying recycled wood for new construction. Forest Products Society. Proceeding No.7286. : 137-139.
- 4) Pizzi, A. 1983. Release of formaldehyde by wood products. In : Wood Adhesives Chemistry and Technology. Eds. Pizzi, A. Chapter 10. Marcel Dekker, Inc., New York. : 307~388.
- 5) Vicente C, Mallari Jr, Shuichi Kawai, Hikaru Sasaki, Bambang Subiyanto and Tomoyasu Sakano. 1986. The Manufacturing of Particleboard (I). Mokzai Gakkaishi Vol. 32, No. 6 : 425-431.
- 6) 川井秀一. 1977. 新しい木質系材料の開發研究の現状と今後の展望. 木材研究・資料

第33號：26-32.

- 7) 堀江秀夫. 1998. 木質廢棄物の新用途. 木材工業 53(4)：156-160.
- 8) 富永洋司, 小林直子, 近江正陽. 1999. パーティクルボードからの木材チップの回収とパーティクルボードの再生. 木材工業 54(11)：473-477.
- 9) 大越 誠. 1999. 木材利用と環境影響物質. 木材工業 54(11)：516-520.
- 10) 河村文郎. 1999. 木質系廢棄物焼却處理. 木材工業 54(11)：551-553.
- 11) 原田壽郎. 1999. リサイクル資源の現況と將來. 第15回木質ボード・木質複合材料シンポジウム：36-45.
- 12) 獨立行政法人 土木研究所. 2005. 建設發生木材リサイクルの手引き(案). 大成出版社：1~47.
- 13) 松本 章, 西川介二・宍澤 忠・布村昭夫. 1983. カラマツ間伐木を原料とした構造用パーティクルボードの製造(第2報). 林産試月報 No.380：1-10.
- 14) 松本 章, 西川介二, 宍澤 忠, 布村昭夫. 1984. カラマツ間伐木を原料とする押し出し成形パーティクルボードの製造(第1報). 林産試月報 No. 395：1-9.
- 15) 佐々木 光. 東京大學木材研究所. 1987. 木質ボードの現況と今後の展開. 木材工業 Vol. 42-12：541-549.
- 16) 木下武幸. 1996. メラミン・ユリア樹脂接着劑のホルムアルデヒド放散量の低減(F1仕様). 第 17 回 木材接着研究會講演要旨集：70-77
- 17) 角田邦夫. 1998. 保存處理廢材のサイクル. 木材保存 Vol. 24-2：25-29.
- 18) 富永洋司. 小林直子, 近江正陽. 1999. パーティクルボードからの木材チップの回収とパーティクルボードからの再生. 木材工業 Vol. 54, No. 10：473-477.
- 19) 齊藤吉之. 1999. リサイクル(パーティクルボードへの利用). 木材工業 Vol. 54, No. 11：572-574.
- 20) 梶田 熙. 1999. リサイクル資源の現況と將來. 第 15 回 木質ボード・木質複合材料シンポジウム 要旨集：36-45.
- 21) 齊藤吉之. 1999. パーティクルボード工場に於ける一事例. 第 15 回 木質ボード・木質複合材料シンポジウム 要旨集：46-52.
- 22) 瓦田研介, 飯田孝彦, 近江正陽, 富永洋司. 2000. ユリアーホルムアルデヒド樹脂接着劑の合成條件が合板の初期ホルムアルデヒド放散に及ぼす影響. 日本接着學會誌 Vol. 36, No. 7：265-271.

8. 폐지를 이용한 기능성 복합보드 개발

- 1) “古紙의 제지원료이외의 용도에 대해서”. 1994. 紙・パ技協誌, Vol.48(10) : 7-17.
- 2) 권기훈외 4인. 2000. 폐지를 이용한 생분해성 고분자의 제조(I), 목재공학, 28(3) : 34-41.
- 3) 도금현. 1994. 목재의 용액화와 액화목재의 용도개발, 경북대박사학위논문.
- 4) 박상진, 이종윤 외 2명. 1993. 목재과학실험서 - 파티클보드 - : 312-314.
- 5) 이종윤외 3인. 1993. 목재화학, 선진출판사 : 369-372.
- 6) 이종윤외 3인. 1998. 건식해리된 폐지를 및 세단폐지를 사용한 만곡물드의 성형방법에 관한 연구, 한국목재공학회 : 336-340.
- 7) 이종윤외 3인. 2004. 폐지류 복합보드제조를 위한 해섬처리 및 특성분석, 한국목재공학회 : 88-92.
- 8) 이필우. 1997. 목질과 비목질계섬유를 활용한 복합재 연구. 목재공학 25(2) : 33-44.
- 9) 이학래, 손창만. 1996. 펄프제지공학, 선진문화사.
- 10) 이원희외 2인. 2003. 폐지와 폐합성섬유로부터 고분자 복합화 기술의 검토, 한국폐기물학회 : 449-456.
- 11) 일본목재학회(편). 1996. 목재의 과학과 이용기술IV, No.2. 산업·생활폐기물.
- 12) 임부국외 3인 . 1994. 도시폐기물로부터 알코올 생산(I), 목재공학, 22(4) : 7-12.
- 13) 정일영, 한천구, 정상진. 1995. 건축재료실험. 螢雪出版社.
- 14) 환경부. 1997. 환경백서, 1997년 통계자료.
- 15) G. Vazquez et al.. 1997. Acetosolv pulping of pine wood kinetic modelling of lignin solubilization and condensation., Bioresource Technology, 59 : 121-127.
- 16) J. Hasakawa et al. 1991. Reaction between chitosan and cellulose on biodegradable composite film formation, Industry and Engineer Chemical Research, 30(4) : 788-792.
- 17) Siraishi, N. and Kishi, H. 1986. Wood-phenol Adhesives prepared form carboxymethylated woodII, Mokuzai Gakkaishi, 32(7) : 520-526.
- 18) Tappi Test Methods. 1984. Ash in wood and pulp, TAPPI Press.
- 19) 中谷啓一. 1990. ウレタン發泡體の製造法, 日本特許公報, 平 3-8370.