

제 2 차 년 도
최 종 보 고 서

D 676.3

L 688.3

L 293 H

V. 2

G 1166-0757

19702851

**벼짚을 이용한 농가형의
분해성 포장용기 제조 시스템 개발**

Development of Manufacturing System
of Degradable Packaging Materials using Rice Straw

kw 그 여 조

이 전 사 농 림 부 산 북

연구기관

한국식품개발연구원

농 림 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “벚꽃을 이용한 농가형의 분해성 포장용기 제조시스템 개발”과제의 최종보고서로 제출합니다.

1996. 11.

주관 연구 기관 : 한국식품개발연구원

총괄연구책임자 : 박 노 현

선 임 연구 원 : 정 진 응

연 구 원 : 홍 석 인

연 구 원 : 박 성 민

연 구 원 : 황 순 배

협동 연구기관명 : 대월농업협동조합

협동 연구책임자 : 최 석 규

협동 연구기관명 : 광운대학교

협동 연구책임자 : 홍 진 응

협동 연구기관명 : 신성전문대학

협동 연구책임자 : 안 병 국

요 약 문

I. 제 목

벚짚을 이용한 농가형의 분해성 포장용기 제조시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

석유화학공업의 발전과 함께 플라스틱 제품의 소비가 급증하면서 플라스틱을 원료로한 완충.포장재의 사용을 규제 또는 억제하려는 방안이 전 세계적으로 시행중에 있다. 특히 WTO의 ISO 14000에서 환경제재기준이 마련되어 이를 시행할 예정에 있기도 하다.

환경친화성의 포장소재에 대한 개발과 기존의 분해성 포장재에 대한 용도개발이 많은분야에서 지대한 관심을 갖고 있는 실정이다. 분해성 포장소재로는 종이류, 골판지, 목모 등의 셀룰로오스계와 옥수수 전분 등의 전분계를 들 수 있다.

최근에 와서 농산물용의 계란난좌, 청과물 트레이 그리고 공산품용의 가전제품들이 고지를 원료로한 펄프몰드제품으로 이용되고 있고, 향후 이의 소비량은 증가할 것으로 예측되고 있다.

국내의 목재펄프자원은 매우 부족하지만 일년생의 비목본섬유인 짚류자원은 풍부하므로 이를 분해성의 저급 포장소재로 개발, 이용한다면 부존자원의 활용과 환경보호 측면에서 지대한 효과가 예상된다. 또한 기존의 고지펄프를 벚짚펄프로 상당량을 대체할 수 있을 것으로 판단되어 이에 대한 연구를 수행하고 관련장치의 개발과 함께 적정 제조시스템을 제시하였다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 벚짚을 펄프몰드 포장소재에 활용하기 위하여 관련업계의 현황과 소비실태를 파악하였다.
2. 벚짚펄프를 포장소재로 활용하기 위하여 벚짚의 전처리 기술에 따른 리그닌의

제거와 펄프수율 그리고 물리적인 제특성 등을 분석하였다.

3. 벗짚펄프의 포장재 적응성을 알아 보기 위하여 가압성형과 진공성형에서 펄프용기와 공산품 완충재를 각각 제조, 분석하였고, 펄프제조와 관련된 실험용의 기계장치를 제작하였다.

4. 펄프몰드 제조공정을 단순화 시키고 부가가치 있는 펄프포장재로 발포형의 완충포장재를 선정하고 이에 대한 제조기술과 제조공정 그리고 기계장치를 개발하였다.

5. 벗짚을 포장소재로 한 농가형의 포장재 제조시스템을 제시하였다.

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

본 연구는 목재펄프 자원이 부족한 국내에서 산업적 가치가 비교적 낮고 일년생인 벗짚을 환경친화성의 포장소재 또는 포장용기로 이용하고자, 벗짚의 펄프화 기술, 펄프몰드 제조기술 및 포장용기 제조에 관한 연구를 수행하였고, 기존의 펄프몰드 제조방법을 보다 단순한 제조시스템으로 개발하여 다음의 결과를 얻었다.

1. 벗짚을 펄프화하기 위하여 화학기계와 열기계로 나누어 실험한 바, 포장소재에 적합한 제조방식은 제조공정이 단순하고 폐수발생이 없는 열기계 펄프방식이었다.

2. 벗짚펄프를 소재로 한 제품으로 종이 sheet와 펄프용기 그리고 발포 완충재를 제조하였고, 대표적인 포장재에 대하여 물리적 특성을 분석한 바 목재펄프로 제조된 경우와 차이가 없었다.

3. 벗짚펄프를 고지펄프로 대체하기 위하여 펄프몰드 제조업체에서 공산품 펄프몰드제품의 원료에 사용하였는 바, 고지펄프로 제조한 제품과 차이를 발견할 수 없어 벗짚펄프의 포장소재 적응성은 매우 좋았다.

4. 벗짚펄프를 가압성형방식의 식품용기 원료로 활용한다면 많은 양의 수입 천연펄프가 벗짚으로 대체할 수 있을 것으로 보였다.

5. 발포 완충재에 대한 제조기술을 개발하였고, 산업용의 Car stereo에 대한

제조실험을 수행하였는 바 외관상 관능상태가 우수한 것으로 보였다. 제품별 soft-ware 개발이 이루어진다면 볏짚소재 발포 완충재의 실용화는 어려움이 없었다.

6. 볏짚을 소재로한 펄프화기술과 성형용기 제조 그리고 발포 완충재 제조를 위한 제조공정 그리고 관련기계류의 기종을 확립하였고, 주요 기계류를 설계, 제작하여 성능실험 하였다.

7. 볏짚펄프를 원료로한 펄프제품은 소재공급과 제품제조부문으로 나누는것이 좋았다. 원료의 공급과 보관 그리고 수송등을 고려할 때 대단위 볏짚단지에 펄프제조 프랜트를 설치하고, 제품제조업체에서는 공급받은 펄프로 식품용기와 발포 완충재 그리고 진공성형몰드를 제조하는것이 바람직하였다.

여 백

SUMMARY

I. Title

Development of Manufacturing System of Degradable Packaging Materials using Rice Straw

II. Purpose of the study

The Predominant persistence of plastic packaging materials based on petrochemicals in the environment has resulted in a wide range of pollution and waste disposal problems. Consequently, world-wide environmental limitation and regulation on packaging materials based on petrochemicals plastics are of really sensitive problem. Especially, environmental regulatory standard in ISO 14000 is already prepared and to be carried out by WTO. Degradable packaging materials based on annually renewable biological products, for example, starch and paper sources, are considered as a solution to environmental problems, and the research and development using those materials have been intensively conducted during last several decades. Pulp moulded container made of recyclable papers and paper sludge, ones of these degradable materials, are expected to replace conventional plastics currently used for many packaging items, such as egg plate and fruit cushioning tray etc.

In this study, rice straw or agricultural by - products as substitution for paper sources, abundant resources in Korea, were used to develop the pulp moulded containers environmentally benign and small - scale manufacturing system.

III. Content of the study

1. Domestic and foreign pulp moulded container market and manufacturer survey
2. Development of the techniques on producing the moulded pulp trays and the foamed pulp cushioning materials from rice straw
3. Techniques to remove lignin from agricultural by - products and to develop pretreatment of rice pulp
4. Development of pilot - scale equipments for pulping, the press-moulding trays and the foamed pulp cushioning materials.
5. Comparison of physical properties of the rice straw pulp goods and the recycled paper pulp goods.

IV. Results and suggestion

The interest of the many industries in packaging materials arise from the need to minimize environmental pollution for the plastic packaging

To evaluate the possibility of rice straw resources as a environmentally-friendly the packaging materials, which the paper sheet, moulded pulp trays and foamed pulp cushioning materials were manufactured from rice straw through such a series of process as Chemi-Mechanical pretreatment, Thermo-Mechanical pretreatment, mechanical fiberizing, moulding, foaming and drying,

The results are as follows :

1. Thermo-Mechanical rice straw pulp had economical profits as a production method of pulp from rice straw, it has simply processing of manufacture and not waste water.
2. Thermo-Mechanical rice straw pulp made under condition of rotating digester

temperature 170°C and heating time 30min. Moulded pulp, press-moulding tray and foamed pulp cushioning materials were manufactured using Thermo-Mechanical rice straw pulp had not different physical properties from recycled paper pulp.

3. Traditional moulded pulp products have lower productivity than plastic products, the press-moulding method and the foaming method as the efficient moulding processes had higher productivity than traditional method as the vacuum-moulding method.

4. We obtained a pulping technique, to manufacture technique for a moulded pulp container and the foamed pulp cushioning materials. Also, we had developed of processing a manufacturing and a pilot-scale equipment for pulping, the press-moulding trays and the continuous Microwave dryer.

5. From this study, it is recommended to utilize agricultural residues such as rice straw as a fiber source of the environmentally-friendly packaging materials.

여 백

CONTENTS

Chapter 1. Introduction

Section 1. Background of the Study	19
Section 2. Trends of the Study	20
Section 3. Purpose and Contents of the study	21
1. Purpose of the study	21
2. Contents of the study	21

Chapter 2. Manufacturing and Characteristics of Cushioning Materials

Section 1. Cushioning materials	23
Section 2. Theory of Cushioning materials	24
1. Vibration	24
2. Impact	31
Section 3. Cushioning Materials of Plastic	38
Section 4. Cushioning Materials of Degradable	41
Section 5. Cushioning Materials of Moulded pulp	42
1. Kinds moulded pulp	45
2. Characteristics of moulded pulp	45
3. Processing of moulded pulp	46

Chapter 3. Manufacturing and Using of Rice Straw Pulp

Section 1. Introduction	48
Section 2. Materials and Methods	50
1. Materials	50
2. Experiment apparatus	50
3. Experiment methods	53

4. Measurement Items	55
Section 3. Results and Discussion	56
1. Studies on the physical property of Chemi-Mechanical rice straw pulp for the pretreatment methods	56
2. Analysis of the physical property on Manufacturing methods of Thermo-Mechanical rice straw pulp	65
3. Adoption testing of moulded pulp for the rice straw pulp	74
4. Manufacture testing of moulded pulp trays by the press-moulding methods	79
5. Development of the manufacture processing and the pilot-scale equipments for the Thermo-Mechanical rice straw pulp	82
Section 4. Conclusion	86
Chapter 4. Techniques to Manufacture of the Foamed Pulp Cushioning Materials	
Section 1. Introduction	89
Section 2. Materials and Methods	89
1. Materials	89
2. Experiment methods	90
3. Measurement methods	91
Section 3. Results and Discussion	95
1. Measuring of physical property for the moulded pulp trays and the foamed pulp cushioning materials	95
2. Effect of mixing ratio of rice straw pulp for the foamed pulp cushioning materials	97
3. Manufacturing and testing of foamed pulp cushioning materials ...	104
4. Design and construction of continuous Microwave dryer	107

Section 4. Conclusion	112
Chapter 5. Small-scale Manufacturing System of the Packaging Products	
Section 1. Introduction	113
Section 2. Processing and Methods of Manufacturing	109
1. Manufacturing system of rice straw pulp	113
2. Processing of the press-moulding methods	115
3. Methods of manufacturing for the foamed pulp cushioning materials	116
Section 3. Conclusion	117
Chapter 6. Summary	
References	119

여 백

목 차

제 1 장 서 론	
제 1 절 연구배경	19
제 2 절 연구동향	20
제 3 절 연구목적 및 내용	21
1. 연구 목적	21
2. 연구 내용	21
제 2 장 완충포장재와 유통현황과 제특성	
제 1 절 완충포장	23
제 2 절 완충포장의 일반적 이론	24
1. 진 동	24
2. 충 격	31
제 3 절 플라스틱 완충포장재	38
제 4 절 분해성 완충포장재	41
제 5 절 펄프물드 완충포장재	42
1. 펄프물드의 종류	45
2. 펄프물드의 특성	45
3. 펄프물드의 제조방법	46
제 3 장 벗짚펄프의 제조 및 이용기술에 관한 연구	
제 1 절 서 론	48
제 2 절 재료 및 방법	50
1. 실험재료	50

2. 실험장치	50
3. 실험방법	53
4. 측정항목	55
제 3 절 결과 및 고찰	56
1. 화학기계 벗짚펄프의 전처리 조건에 따른 제특성	56
2. 열기계 벗짚펄프의 제조방법별 제특성 분석	65
3. 벗짚펄프의 펄프몰드 적용실험	74
4. 가압성형에 의한 용기제조실험	79
5. 열기계 벗짚펄프의 제조공정 및 기계장치 개발	82
제 4 절 결 론	86
제 4 장 발포 완충포장재의 제조기술에 관한 연구	
제 1 절 서 론	89
제 2 절 재료 및 방법	89
1. 실험재료	89
2. 실험방법	90
3. 측정방법	91
제 3 절 결과 및 고찰	95
1. 벗짚펄프 완충재와 펄프용기의 물성값 측정	95
2. 발포제와 벗짚펄프의 혼합비율이 완충재 물성에 미치는 영향	97
3. 산업용 발포 완충재의 제조실험	104
4. 연속식 Microwave dryer의 설계·제작 및 성능실험	107
제 4 절 결 론	112

제 5 장	농가형의 포장재 제조시스템	
제 1 절	서 론	113
제 2 절	제조공정 및 제조방법	113
	1. 벗짚필프 제조시스템	113
	2. 가압성형 포장용기 제조공정	115
	3. 발포 완충재의 제조방법	116
제 3 절	결 론	116
제 6 장	요 약	117
참 고 문 헌		119

여 백

제 1 장 서 론

제 1 절 연구배경

산업사회가 발전하면서 폐기물과 환경 배출물들은 급증현상을 보이게 되었고, 최근에 와서는 인간과 생태계까지도 위협하고 있다. 이에 선진국의 여러나라에서는 환경문제에 관심을 갖게 되었고, 환경보호의 필요성을 인식하였다.

주요 선진국을 중심으로 환경과 관련된 표준화 작업이 국제표준화기구(ISO : International Standardization Organization)에서 지구의 환경보호라는 명목하에 추진되고 있으며 이는 우루과이 라운드(UR)이후 그린 라운드(GR)라는 또 하나의 무역 장벽을 예시하고 있다. 이러한 국제정세는 우리나라의 환경정책에도 큰 영향을 미치게 되어 90년대에 들어와 녹색운동, 환경보존, 그린스카우트, 1회용의 포장재 사용억제 등과 같은 환경보호 움직임이 활발히 진행되고 있다.

정부에서는 매립지의 부족과 새로운 매립지 확보의 어려움을 극복하기 위하여 쓰레기 종량제를 1996년 1월부터 실시하게 되었고, 상품보호에 사용되었던 포장재가 환경부담의 큰 요인으로 등장하게 되었다. 특히, 가전제품이나 OA기기 포장재로 사용되었던 발포폴리스티렌(EPS : Expanded Polystyrene)은 썩지 않고 질량에 비하여 상대적으로 부피가 커서 쓰레기 매립시 많은 공간을 차지함으로써 사용에 제한을 받게 되었고 종이 등과 같은 다른재료(펄프몰드, 골판지)의 포장재로 대체하려는 환경정책이 거론되고 있다.

이와같이 환경보호에 대한 인식이 높아지고 환경오염 포장재에 대한 법적규제가 전세계로 확산되면서 펄프몰드(molded pulp) 포장재나 각종 지류포장재 등의 셀룰로오스를 소재로 하여 제조된 포장재의 중요성이 새로이 부각되었다. 천연펄프와 고지류 등의 지류소비는 문화수준이 높아지고 산업이 발달하면서 매년 증가하게 마련이다. 우리나라의 경우는 펄프의 자급율이 낮고 고지자원의 해외 의존도도 높아 향후 지구환경 보존을 위한 국가간 협약과 타국의 산업자원보호를 고려할 때 포장재 원료용의 지류공급은 어느때 보다도 중요하다고 볼 수 있다.

따라서 본 연구는 산업적 가치가 비교적 낮으면서 일년생의 비목본섬유인 벚짚이 포장소재에 이용된다면 부존자원의 활용과 환경보호에도 기여할 것으로 보여, 벚짚의 전처리, 펄프의 성형제조기술 및 완충재의 제조기술 그리고 관련기계장치를 개발하게 되었다.

제 2 절 연구동향

벚짚을 소재로한 연구내용으로는 사료와 펄프분야에 관한 것이 있다.

벚짚은 줄기와 잎이 차지하는 비율이 각각 40%, 60%이며 마디는 10 ~ 20개 정도로 이루어져 있다⁽¹⁾. 줄기의 가장 바깥부분은 표피(epidermis)로 감싸여 있으며, 내측은 소유관속(small vascular bundle)이 분포되어 있는 목질의 후막조직(sclerenchyma)과 대유관속(large vascular bundle)이 분포되어 있는 유조직(parenchyma)으로 구성되어 있다. 벚짚의 중심강(central lumen)은 목질정도가 약한 목수(pith)로 싸여 있다. 벚짚 잎의 외부는 기동세포(bulliform cell)와 표피에 의해 싸여 있고 사부(phloem)와 목질부(xylem)가 존재하는 유관속은 유관속초(mesophyll)에 의해 둘러 싸여 있으며 유관속은 보통 엽육조직에 혼입되어 있는데 비하여 후막조직은 주로 유관속의 위쪽이나 아랫부분에 존재한다.

Han과 Garrett⁽²⁾은 짚류 등의 농업 부산물에 대한 영양가치는 건초에 비하여 조단백질, 칼슘, 카로틴, 대사에너지 및 정미에너지의 함량이 낮은데 비하여 세포막 구성 성분 중 리그닌과 실리카의 함량은 높다고 하였으며, Gould⁽³⁾는 리그닌이 섬유소의 소화율을 낮추는 가장 중요한 인자라고 보고하였다. 반면에 Jakson⁽⁴⁾은 벚짚이 다른 짚류와는 달리 줄기가 잎에 비하여 소화율이 높다는 연구결과를 보이기도 하였다.

펄프화를 위한 연구는 1921년 미국의 루지아나주에서 일년생 식물섬유를 구조제용 보드의 원료로 사용한 사례⁽⁵⁾가 있고, Marners 등⁽⁶⁾은 벚짚, 밀짚 등 일년생 식물섬유의 폭쇄펄프화 연구를 수행하고 펄프수율 및 특성변화를 조사연구하였으며, Alcaide 등⁽⁷⁾은 밀짚, 보리짚 등의 농업부산물 5종에 대한 제지섬유적 가치를 평가하였다. 또

한 Jim 등⁽⁸⁻¹⁰⁾은 벚짚섬유와 밀짚섬유 간의 제지성질 차이에 대한 물성연구를 수행하였고, Nederven등⁽¹¹⁾은 제지산업에 짚펄프의 적용가능성을 살펴보았으며, Jakate 등⁽¹²⁾은 벚짚을 소다 펄프화방법에 있어서 anthraquinone 첨가에 따른 효과를 조사하였다. 우리나라에서는 1960년초 전 등⁽¹³⁻¹⁵⁾에 의하여 제지용 펄프자원으로의 산업적 이용을 위하여 처리방법별에 따른 조직의 변화와 수율 그리고 색상 등의 제특성에 관한 연구가 수행되었다.

이상과 같이 벚짚이나 보리짚 등에 대한 사료화나 펄프화에 관한 연구결과에서 짚류는 소화율이 낮고 영양가치가 낮은점으로 사료원료로 실용화가 되지 않고 있으며, 또한 제지용의 펄프 대체소재에서도 목재펄프에 비하여 품질저하로 실용화가 되지 않은 상태에 있다.

제 3 절 연구목적 및 내용

1. 연구목적

벚짚을 분해성의 포장소재로 개발하여 기존의 펄프 포장소재인 고지펄프를 대체하고, 진공성형의 펄프몰드 제조방법을 부가가치 있는 포장재의 개발과 함께 단순공정의 제조시스템으로 개발하는데 있다.

2. 연구내용

첫째, 벚짚을 펄프몰드 포장소재에 활용하기 위하여 관련업계의 현황과 소비실태를 파악하였다.

둘째, 벚짚펄프를 포장소재로 활용하기 위하여 벚짚의 전처리 기술에 따른 리그닌의 제거와 펄프수율 그리고 물리적인 제특성 등을 분석하였다.

셋째, 벚짚펄프의 포장재 적응성을 알아 보기 위하여 가압성형과 진공성형에서 펄프용기와 공산품 완충재를 각각 제조, 분석하였고, 펄프제조와 관련된 실험용의 기계장치를 제작하였다.

넷째, 펄프몰드 제조공정을 단순화 시키고 부가가치 있는 펄프포장재로 발포형의

완충포장재를 선정하고 이에 대한 제조기술과 제조공정 그리고 주요 기계장치를 개발하였다.

다섯째, 벗짚을 포장소재로 한 농가형의 포장재 제조시스템을 제시하였다.

제 2 장 완충포장재의 유통현황과 제특성

제 1 절 완충포장

완충포장은 제품을 수송과정에서 외부로부터 충격과 진동을 방지하여 제품을 보호하는데 있다. 완충재의 요구특성으로는 완충성, 탄성 안전성, 복원성, 내파손성, 내마모성, 인장강도, 내습성, 곰팡이 저항성, 내약품성 및 환경적성 등을 들 수 있다. 이 가운데 가장 중요한 인자로는 완충성이다. 즉, 진동, 충격 등의 에너지를 흡수하여 내용물이 전달 수 있는 감쇄진동으로 변화시키는 것이다. 탄성 안정성과 복원성도 중요한 성질이다. 일정한 하중이 장시간 가해지면 탄성이 저하되어 하중을 제거하여도 변형이 완전히 복원되지 않는다. 이는 정적하중에서의 변형과 이에 대한 복원능력이 완충재의 중요한 성능을 좌우한다고 볼 수 있다. 온·습도에 대한 치수 안정성의 문제도 포장에 중요한 성질이며, 내용물을 둘러 싸는 경우에는 인장강도 등의 특성이 특히 중요하다.

완충포장재를 가장 단순하고 적절하게 분류하는 방법은 표 2-1과 같이 구조와 기본 재료를 기준으로 구분한다⁽¹⁶⁾.

표 2-1. 완충재료와 종류

구 분		종 류
메트형 섬유구조	섬유질	종이, 펄프, 짚, 목재펄프, 대팻밥, 목화섬유, 펠트
	동물질	섬유판, 섬유소와딩, 바가스, 황마, 아마
	무기질	헤어록, 양모 펠트 유리섬유, 금속, 석면
세포형 구조	보통탄성 고탄성	콜크, 목재 천연탄성체, 합성탄성체
파상형, 주름형, 성형형 구조		
입상재료		툽밥, 콜크 분말, 짚콘, 세편으로 된 탄성체
완충장치		스프링, 현기장치, 고리 용수철

제 2 절 완충포장의 일반적 이론

제품에 대한 포장의 목표는 저렴한 방법으로 제품을 파손시키지 않고 운송하여야 한다. 그러기 위해서는 제품이 운송 도중에 파손의 위험성으로부터 벗어나야 할 것이다. 따라서 포장과 제품은 열악한 유통환경에도 견딜 수 있도록 설계되어야 하며 제품과 포장은 최종 소비자에게 도달되어 포장이 제거되고 이것이 다시 회수될 때까지 맞닥뜨릴 수 있는 모든 위험요소로부터 견딜 수 있어야 한다. 그러나 유통 중의 위험요소는 매우 다양하기 때문에 포장제품이 처하게 될 상황을 정확하게 예견한다는 것은 거의 불가능하다.

예를 들어 포장된 제품이 한 장소에서 다른 장소로 옮겨진다면 이 제품이 맞닥뜨릴 수 있는 여러가지 경우를 살펴보면 제품은 회사 내의 창고로 운반되는 과정에서 적재 및 하역을 거치게 되며 트럭에 실려 중간집하장으로 운송되고 이것은 다시 다른 지역의 중간집하장으로 이동되며 여기서 최종 목적지까지 운반된다.

이와 같이 비교적 단순한 유통경로를 거치게 되는 데도 포장제품은 약 12~15회의 적재, 하역과정을 겪게 되고 4~5회의 트럭운송이 필요하게 된다. 더 복잡한 경우는 40회 이상의 적재, 하역과정과 철도, 트럭, 대형 트레일러, 선박, 항공기 등이 동원되기도 한다.

포장제품이 유통과정을 통해 동적하중을 받게 되는 주요 요인은 다음과 같다.

- ① 수동하역 : 포장제품을 인력에 의해 운반하거나 적재, 하역시 떨어뜨리는 경우
 - ② 창고하역 : 포크리프트, 컨베이어 등의 기계하역 장비를 사용할 때 받는 하중
 - ③ 차량에 의한 충격 : 트럭, 화차, 선박, 항공기 등에 의한 운반시 출발, 정지 등에 의한 충격
 - ④ 차량에 의한 진동 : 도로나 철도 위를 달릴 때 또는 엔진작동에 의한 진동
- 이상의 4가지 여건은 포장제품에 진동과 충격을 주게 되므로 유통으로 인한 손상을 최소화하는 설계가 되어야 하며 제품 자체도 이러한 요인을 충분히 고려하여 설계되어야 할 것이다.

1. 진동

제품이 유통되는 과정에서 진동의 영향을 받게된다. 여러 가지 복합적이고 기계

적인 진동과 이에 수반되는 가속도의 포장화물은 물리적인 손상을 입을 수 있다. 그림 2-1에서와 같이 스프링에 일정한 무게를 갖고 있는 단순진동시스템을 가정해 보자.

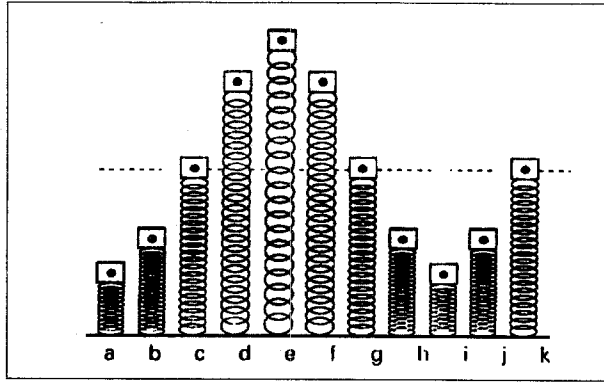


그림 2-1 수직방향의 단순진동

진동스프링 무게추 시스템을 수학적으로 표현하면 다음과 같다.

$$X = A \sin(pt) \quad \text{-----} \quad (1)$$

단, X : 시간 t에서 진동무게추의 변위, A : 진폭, t : 시간

회전주파수(circular frequency) P는

$$P = 2\pi f \quad \text{-----} \quad (2)$$

단, f : 주파수

진동중에 있는 무게추에서 중요한 요소는 무게추의 속도와 가속도이며 무게추의 속도는 시간변화에 대한 변위로 정의 된다. 즉

$$V = \frac{dx}{dt} = \frac{d(A \sin(pt))}{dt} = Ap \cos(pt) \quad \text{-----} \quad (3)$$

가속도 a 는

$$a = \frac{dv}{dt} = -Ap^2 \sin(pt) \quad \text{-----} \quad (4)$$

좀더 쉽게 접근하기 위하여 스프링은 무게가 매우 가벼우므로 그림 2-2와 같이 무게가 없는 선형 스프링을 가정하여 본다.

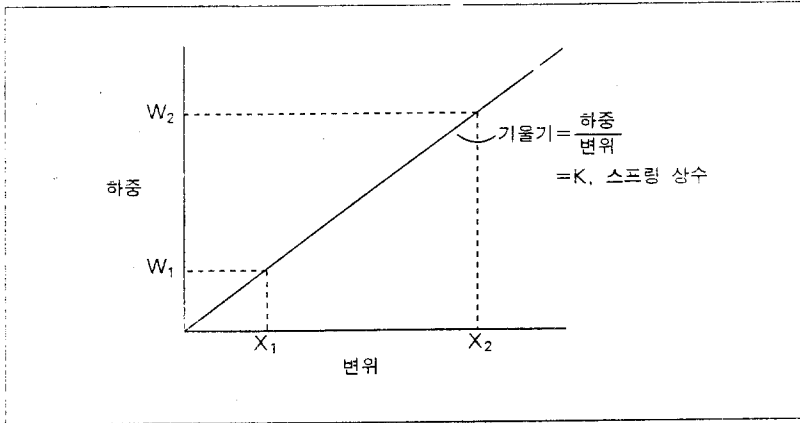


그림 2-2 선형 스프링의 하중-변위 선도

스프링의 하중-변위 선도는 직선으로 나타낼 수 있다. 하중-변위 기울기를 스프링 상수 K 라 하며 다음 식으로 계산된다.

$$K = \frac{W_2 - W_1}{X_2 - X_1} \quad \text{-----} \quad (5)$$

단, W : 무게, X : 변위

스프링 탄력에 의한 위 방향의 힘과 지구 중력작용에 의한 아래방향 힘 F_s 가 작용하는데 이는 $F_s = KX$ 로 표현된다. 어떤 선형스프링 위에 특정하중이 올려져 있다면 시스템이 정지상태에 있을 때 아래방향의 변위를 측정할 수 있는데 이를 정적변형(static deflection) δ_{st} 라 한다.

$$\delta_{st} = \frac{W}{K} \quad \text{-----} \quad (6)$$

선형스프링 계수 K , 원형주파수 P , 무게추의 중량 W 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$P^2 = \frac{Kg}{W} \quad \text{-----} \quad (7)$$

$$P = 2\pi f \quad \text{-----} \quad (8)$$

스프링 무게추 시스템은 자유운동하에서 항상 동일한 주파수로 진동하게 되는데

이 주파수를 자연 주파수(natural frequency)라 하고 f_n 으로 표시한다.

진동하중에 의한 최대속도 및 가속도를 나타낼 수 있는 사인곡선운동(sinusoidal motion)으로 부터

$$V_{\max} = Ap \quad \text{-----} \quad (9)$$

$$a_{\max} = Ap^2 \quad \text{-----} \quad (10)$$

을 얻는다.

서로 다른 진동특성을 가진 스프링과 쿠션의 결합에 대해 설명하고자 한다. 그림 2-3은 무게 W 를 받치고 있는 병렬식 두 개의 스프링을 나타낸 것이다. 각 스프링의 스프링 상수는 각각 K_1 , K_2 라 하고 서로 다른 수치를 가지고 있다고 하면 이 스프링과 같은 효과를 가진 스프링 1개로 대체하였을 때 이 스프링의 상수가 K_e 라고 한다면 K_e 는 K_1 이나 K_2 보다는 큰 수치가 될 것이다. 만약 하중에 의해 각 스프링의 길이 X 만큼 압축되었다면 첫번째 스프링에 작용하는 힘은 $F_1 = K_1X$ 가 되고 두번째 스프링에는 $F_2 = K_2X$ 만큼의 힘이 작용하게 된다.

즉,

$$W = F_1 + F_2 \quad \text{-----} \quad (11)$$

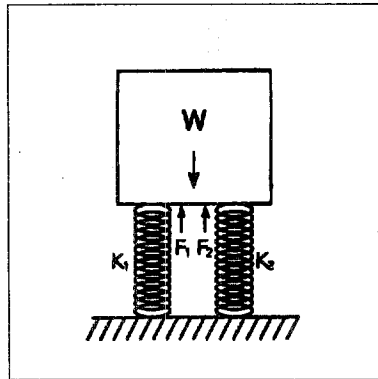


그림 2-3 두 스프링의 병렬식 연결

위로 떠 받치려는 스프링의 힘은 정확하게 하중 W 가 아래방향으로 작용하는 힘과 일치한다. 따라서 동등한 힘을 가진 한개의 스프링에 대해서는

$$F_e = F_1 + F_2 \quad \text{-----} \quad (12)$$

$$K_e X = K_1 X + K_2 X \quad \text{-----} \quad (13)$$

$$K_e = K_1 + K_2 \quad \text{-----} \quad (14)$$

따라서 병렬식 스프링에 있어서의 단일 스프링 상수는 스프링 상수의 합으로 표현된다.

그림 2-4는 직렬로 연결된 모습을 나타낸 것이다.

이 시스템은 X만큼 압축되었지만 X는 두 스프링이 압축된 거리의 합이다.

$$X = X_1 + X_2 \quad \text{-----} \quad (15)$$

따라서

$$X = \frac{W}{K_e} \quad X_1 = \frac{W}{K_1} \quad X_2 = \frac{W}{K_2}$$

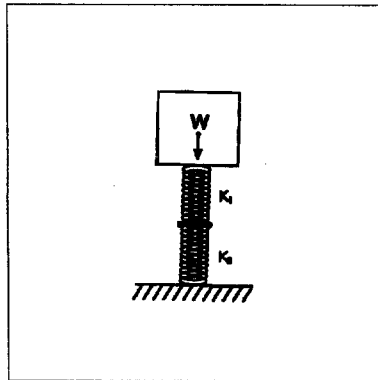


그림 2-4 두 스프링의 직렬식 연결

이 시스템은 X만큼 압축되었지만 X는 두 스프링이 압축된 거리의 합이다.

$$X = X_1 + X_2 \quad \text{-----} \quad (15)$$

따라서

$$X = \frac{W}{K_e} \quad X_1 = \frac{W}{K_1} \quad X_2 = \frac{W}{K_2}$$

이를 대입하면

$$\frac{W}{K_e} = \frac{W}{K_1} + \frac{W}{K_2} \quad \text{-----} \quad (16)$$

여기서 W를 소거하면

$$\frac{1}{K_e} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} \quad \text{-----} \quad (17)$$

이 된다.

탄성계수 E는 쿠션이 하중을 받을 경우 스트레스와 스트레인에 관계되는 인자로서 두께변화에 대한 단위면적당 작용하는 힘의 비율을 의미한다. 스프링 상수와 관련하여 다음과 같은 관계가 성립된다.

$$K = E \cdot \frac{\text{면적}}{\text{두께}} \quad \text{-----} \quad (18)$$

스프링-무게추 시스템의 자연주파수 f_n 을 알고 있는 상태에서 적제함에서의 진동과 같이 시스템의 외부로부터 스프링 무게추 시스템에 진동이 가해질 때 입진동(入振動)과 강제운동에 의해 생긴 강제주파수 f_f , 진폭, 그리고 최대가속도가 어떻게 변하는지를 살펴보면 실험과 수학적 분석을 통하여 입·출진동(input and output vibration)에 대해 다음과 같은 3가지 원칙을 알 수 있다.

1. 출진동(出振動)은 자연주파수가 아닌 강제진동 주파수에서 일어난다.
2. 스프링-무게추 시스템의 진동에서의 출진폭(出振幅)은 강제진동의 입진폭(入振幅)에 증폭계수(magnification factor)를 곱한 값으로 표현된다.
3. 스프링-무게추 시스템의 최대가속도는 강제진동에서의 최대가속도에 증폭계수를 곱한값으로 표현된다.

출최대가속도 = 입최대가속도 × 증폭계수

증폭계수 M은 다음과 같이 정의된다.

$$\text{증폭계수 } M = \frac{\text{출진폭}}{\text{입진폭}} = \frac{\text{출진동}}{\text{입진동}} = \frac{1}{1 - \left(\frac{f_f}{f_n}\right)^2} \quad \text{-----} \quad (19)$$

만약 $f_f \rightarrow f_n$ 이면 $M \rightarrow \infty$, $f_f = f_n$ 이면 공명현상이 일어난다.

강제진동은 포장화물의 유통과정에서 일어나는데 제품과 포장시스템이 커다란 증폭계수를 갖게되는 것을 피하기 위해 자연주파수와 강제주파수가 비슷한 값을

갖게 하지 않는다.

진동하는 물체를 가만히 놔두면 진동은 멈추게 된다. 어떤 시스템은 유입된 에너지로 인해 진동이 일어나지만 마찰을 통해 즉, 감폭이라는 현상을 통해 결국 소멸되고 만다. 스프링-무게추 시스템은 진동에너지의 시스템 마찰손실로 표현되는 감폭계수(damping coefficient) C 라 하며 한계감폭계수(critical damping coefficient) C_c 와 관련지어 측정할 수 있다.

$$C_c = 2\sqrt{\frac{KW}{g}} \quad \xi = \frac{C}{C_c} \text{라 하면} \quad \text{-----} \quad (20)$$

$\xi = 1$: 한계감폭

$\xi > 1$: 과대감폭

$\xi < 1$: 과소감폭

$\xi < 1$ 일 때 스프링-무게추 시스템은 운동이 시작되면 일정주파수로 진동되나 감소되는 진폭을 나타낸다. 이 때 자유진동 주파수 f'_n 은

$$f'_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{Kg}{W} (1-\xi^2)} \text{가 되며}$$

$$f'_n = f_n \sqrt{(1-\xi^2)} \quad \text{-----} \quad (21)$$

감폭에 의한 에너지 소멸로 진폭의 변위감소는

$$\ln \left(\frac{A_1}{A_2} \right) = \frac{2\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \text{이다.} \quad \text{-----} \quad (22)$$

진폭의 감소를 알게 되면 감폭계수를 알 수 있고 진동이 소멸되는 율을 계산할 수 있다. 감폭은 강제운동의 결과에도 영향을 미치고, 한계 감폭분율이 증가함에 따라 증폭계수는 감소한다. 포장실무에서는 M값이 쉽게 산출 될 수 있지만 실제로는 감폭이 존재하므로 실제값과 다소 차이가 난다는 것을 알 수 있다.

어떤 제품의 진동 감응성은 제품내의 요소나 제품의 공명 혹은 비공명(파손)을 일으키는 유통환경에서 영향을 받아 일어나는 진폭의 입진동주파수로 규정한다. 진동 감응성은 유통중의 입진동에 대해 제품의 반응을 최소화하는 포장설계에 이용되며 진동 감응성을 결정하는 방법은 첫째, 제품의 자연주파수를 파악하고 둘째,

유통과정에서 일어나는 자연주파수를 파악하고 셋째, 유통과정에서 일어나는 진폭 때문에 제품이 진동할 경우 파손이 일어나는지 여부를 파악한다.

만약 제품의 자연주파수가 유통중에 일어나는 주파수와 일치할 경우 제품에 대한 시험을 사전에 실시하여야 한다. 제품시험의 목적은 제품이 자연주파수 상태로 진동되었을 때 손상여부를 조사하기 위해서이며 제품이 손상을 받는 경우 이 때의 주파수대를 측정하여 제품을 이 주파수 범위에서 보호할 수 있도록 포장설계를 하든지 아니면 유통중에 일어나는 주파수대에 공명하지 않도록 조치를 취하여야 한다.

실제로 유통중 제품과 포장에 가해지는 진동력(vibrational force)은 단일 주파수나 Sin과 진동만 일어나지는 않는다. 이러한 자유진동은 서로 다른 주파수와 진폭을 가진 Sin과 진동이 혼합된 형태라 볼 수 있다. 따라서 단일 주파수에 의한 포장제품의 시험으로는 파손 가능성을 예측하는데 충분하지 못하다. 대부분의 포장제품은 자유진동 시험에 의한 파손 가능성을 예측한다.

2. 충격

포장작업이 이루어지는 지표면 근처에는 중력장이 거의 일정하므로 모든 물체는 같은 중력의 끌어당기는 힘을 받게 된다. 결과적으로 지구에 의해 물체에 가해지는 아래방향의 힘은 스프링 저울로 측정 할 수 있다. 이 힘은 물체의 무게를 말하며 무게는 질량과 중력가속도의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$\text{무게} = \text{질량} \times g \quad (g=9.8\text{m}/\text{sec}^2)$$

G값은 포장작업이 이루어지는 장소에서는 변화가 거의 없기 때문에 무게는 일정하다. 지구상에 존재하는 물체가 받는 아래 방향의 힘을 "1G"라 한다. "1G"는 가속도의 증가로 인해 물체의 무게가 커지는 것을 표현하는 수단이다. 어떤 물체의 무게가 10kg이라 할때 이 물체가 "10G"의 가속도하에서는 100kg의 무게로 계측된다. 가속도의 증가는 중력가속도가 변하기 때문에 일어나는 것이 아니고 물체가 갑자기 움직이기 때문에 일어나게 된다. 포장에서는 이러한 변화가 진동, 충격 혹은 파손 등을 일으키게 된다.

$$V_f = V_i + at \quad , \quad V_f = \sqrt{2gh} \quad \text{-----} \quad (23)$$

$$X_f = X_i + V_i t + \frac{1}{2} at^2$$

단, V_f : 최종속도, V_i : 최초속도, a : 가속도, t : 시간,

X_f : 시간 t_f 에서의 물체의 위치, X_i : $t=0$ 일 때 물체의 위치

유통과정 중에는 포장화물을 떨어뜨리거나 던지는 등의 부적절한 취급을 할 수 있다. 이러한 경우 포장화물은 바닥이나 트럭적재면, 파렛트 혹은 다른 포장화물과 충돌하게 되며 이 충격은 양쪽 물체에 기계적인 충격을 일으키게 한다.

이것을 물리적인 면에서 보면 기계적인 충격은 물체의 위치, 속도 혹은 가속도가 갑자기 변할 때 일어난다고 말할 수 있다. 이 충격은 가속도의 급속한 증가에 이어 매우 단시간 내에 급속한 감속을 가져오는 특징이 있다. 일반적으로 포장화물에 가해지는 충격치는 0.02초 동안 지속되고 약 150G의 크기 혹은 높이의 충격을 받게 된다.

다음의 그림 2-5와 같은 포장시스템을 가진 모델을 가정해 보자. 여기서 민감한 부분이라는 것은 제품 내부에서 가장 파손되기 쉬운 부분을 말하며 기계적인 충격에 의해 가장 쉽게 파손되는 부위라고 말할 수 있다.

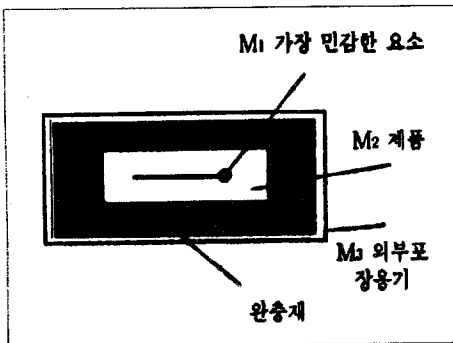


그림 2-5 일반적인 포장시스템

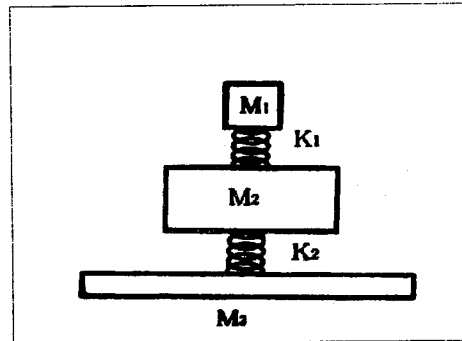


그림 2-6 단순화한 스프링 무게추 모델

이 모델을 단순도식화 하면 그림2-6과 같다.

M_1 : 민감요소의 무게

M_2 : 제품의 무게

M_3 : 외부 포장용기의 무게

K_1 : 민감요소를 나타내는 스프링 무게추 시스템의 선형 스프링 상수

K_2 : 완충시스템의 선형 스프링 상수

좀 더 단순히 하기 위해 외부 포장용기 무게를 무시하고 충격을 받을 때 영구 변형되지 않는다고 가정한다. 포장시스템은 완벽하게 단단한 바닥으로 부터 충격을 받는다고 가정하고, 민감부분의 질량은 제품의 질량에 비해 무시할 수 있는 정도라고 가정하자.

그림 2-7에서 포장제품을 높이 h 에서 떨어 뜨릴 때 A에서의 위치에너지 PE는

$$PE = M_2gh = W_2h \quad \text{-----} \quad (24)$$

C지점에서의 외부 포장용기는 바닥표면에 닿게 된다. 이 지점에서 제품이 완충재에 압박을 가함으로써 완충재의 아래방향 변위 X_2 를 쥔 수 있다

C지점에서 시스템의 운동에너지 KE는 다음과 같다.

$$KE = \frac{1}{2} M_2V_1^2 \quad \text{-----} \quad (25)$$

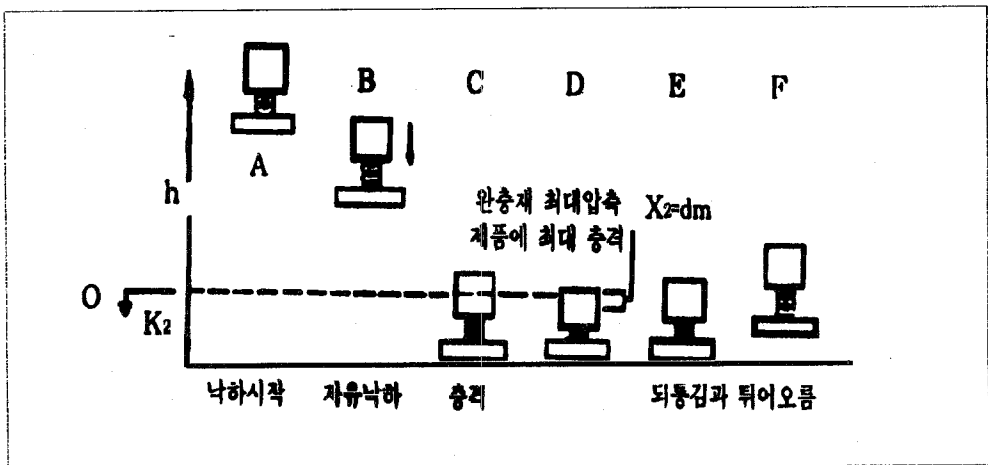


그림 2-7 포장 시스템의 충격

이 지점에서의 운동에너지는 초기 위치에너지와 같다.

포장용기가 바닥에 떨어져 닿은 직후 완충재는 이 운동에너지를 흡수하며 이 때 완충재에 흡수된 에너지 양은

$$E = \frac{1}{2} K_2 X_2^2 \quad \text{-----} \quad (26)$$

단, X_2 : 완충재에 둘러 싸여있는 제품의 아래방향 변위

D지점에서 완충재는 시스템의 운동에너지를 전부 흡수하게 되고 제품의 아래 방향속도는 0에 접근하게 된다. 이점에서 완충재는 최대변형(dm)을 나타내게 되는데 최대압축 dm은 X_2 의 최대치가 된다.

$$E_{\max} = \frac{1}{2} K_2 dm^2 \quad \text{-----} \quad (27)$$

$$KE = W_2 h = E_{\max} = \frac{1}{2} K_2 dm^2 \quad \text{-----} \quad (28)$$

$$\therefore dm = \sqrt{\frac{2W_2 h}{K_2}} = \sqrt{2h \delta_{st}} \quad (\text{단, } \delta_{st} = \frac{W_2}{K_2})$$

제품에 의해 완충재에 가해진 힘에 저항하는 최대 반발력 P_{\max} 는 $X_2 = dm$ 일 때 일어난다.

따라서

$$P_{\max} = K_2 X_2 = K_2 dm = K_2 \sqrt{\frac{2W_2 h}{K_2}} = \sqrt{2K_2 W_2 h} \quad \text{-----} \quad (29)$$

제품에 적용되는 최대가속도 G_m 은 다음과 같이 정리된다

$$G_m = \frac{P_{\max}}{W_2} = \sqrt{\frac{2K_2 W_2 h}{W_2^2}} = \sqrt{\frac{2K_2 h}{W_2}} \quad \text{-----} \quad (30)$$

$$\therefore dm = \frac{2h}{G_m}$$

따라서 최대 압축력은 최대 가속도와 낙하높이의 함수로 표현될 수 있다.

유통과정에서 포장화물은 대개 1ms에서 50ms 사이에서 지속적인 기계적 충격을 받게 된다. 이 충격 지속시간은 약어로 τ (tau)로 표시된다. 충격시 완충포장 제품의 변위 X_2 는 $X_2(t) = dm \sin(W_2 t)$ 로 표현된다. 그림 2-8에서 $W_2 = 2\pi f_2$ 일때

$$f_2 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_2 g}{W_2}} \quad \text{이다}$$

단, f_2 : 완충재 K_2 로 포장된 제품 M_2 의 자연주파수

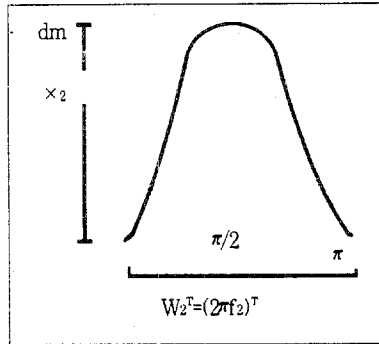


그림 2-8 충격지속시간과 최대 변위

완충 포장제품의 자유진동 지속시간 T_2 는 그림 2-9에서와 같이 충격지속시간의 두배에 해당된다

$$\frac{1}{f_2} = T_2 = 2\tau \quad \text{-----} \quad (31)$$

식 (31)에 $f_2 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_2 g}{W_2}}$ 을 대입하여 정리하면

$$\tau = \pi \sqrt{\frac{W_2}{K_2 g}} \quad \text{-----} \quad (32)$$

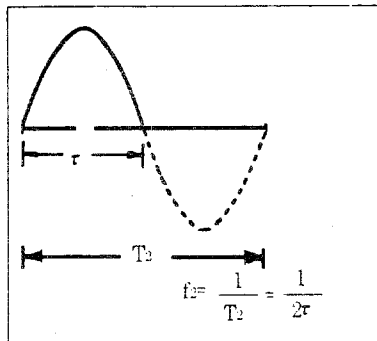


그림 2-9 충격지속시간과 자연진동기간

충격현상을 정확히 파악하고 유통중 충격으로부터 제품을 보호하려면 충격시 제품에 가해지는 충격반응을 비교해 보아야 한다. 민감요소에 일어나는 최대가속도 G_e 는 제품등급 G_m 을 비교함으로써 증폭계수(Amplification Factor : A_m)는 다음과 같이 정의된다.

$$A_m = \frac{G_e}{G_m} \quad \text{-----} \quad (33)$$

민감요소에 대한 최대가속도 G_e 는 제품의 증폭계수 A_m 과 G_m 의 곱으로 정의된다.

$$G_e = A_m G_m \quad \text{-----} \quad (34)$$

충격시 증폭계수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$A_m(0 \leq t \leq \tau) = \frac{f_1/f_2}{f_1/f_2 - 1} \sin \frac{2N\pi}{f_1/f_2 - 1} \quad \text{-----} \quad (35)$$

단, N : 정수, f_1 : 민감요소의 자연주파수, f_2 : 충격주파수

충격 직후 증폭계수는

$$A_m(t \geq \tau) = \frac{2(f_1/f_2) \cos(f_1/f_2)}{1 - (f_1/f_2)^2} \quad \text{-----} \quad (36)$$

식 (35), (36)에서 얻어진 A_m 의 최대값은 식 (34)에 사용할 수 있는데, 이것은 f_1 과 f_2 의 상관관계에 의해 달라진다.

1. $f_1/f_2 < 1$, f_1/f_2 or $\frac{1}{2} T_1 > \frac{1}{2} T_2 = \tau$ 일때

충격지속시간이 민감요소의 자연진동기간의 절반보다 작을 경우 최대증폭은 충격이 끝난 후 일어나게 되며 $A_m = A_m(t > \tau)$ 가 된다.

2. $f_1/f_2 > 1$, f_1/f_2 or $\frac{1}{2} T_1 < \frac{1}{2} T_2 = \tau$ 일때

충격지속기간이 민감요소의 자연진동기간의 절반보다 클 경우 최대증폭은 충격지속기간 동안 일어나게 되며 $A_m = A_m(0 \leq t \leq \tau)$ 가 된다.

f_1/f_2 의 비율이 커질수록 A_m 은 1에 접근하는데 이것은 충격이 민감요소에 직접적으로 전달됨을 의미한다. 제품의 손상을 방지하기 위해서는 민감요소가 견딜수 있는 최대가속도를 알아야 한다. 민감요소가 파손되지 않고 견딜 수 있는 최대 한

계점을 G_s 라 하고 민감요소에 G_s 이상의 충격가속도가 전해지면 제품이 손상된다.

제품의 최대가속도 G_m 은 낙하높이 h , 제품중량 W_2 , 완충재와 포장용기 및 제품의 완충특성 등과 밀접한 관계가 있다. 충격지속시간은 제품중량과 완충특성에 따라 변한다. 유통중 충격에 관한 제요소를 규명하기 위해서는 포장제품과 완충특성 그리고 낙하높이 등을 알아야 한다. 모든 제품의 유통과정은 제각기 다른 특성을 가지고 있으므로 정확한 낙하높이와 충격의 정도 등을 알기가 쉽지 않다. 포장제품의 부피가 커지거나 무게가 무거울수록 대개 낙하높이가 낮아지게 마련이다. 제품내의 민감요소에 전해지는 충격은 충격 pulse 지속시간과 민감요소의 자연주파수에 따라 달라진다. 따라서 제품 파손은 제품에 가해지는 최대충격과 충격지속시간에 가장 많은 영향을 받는다. 실제로 제품의 파손특성은 최대충격진폭(G_m), pulse 지속시간(τ), 속도변화(ΔV)의 3가지 요소중 2가지에 의해 결정된다.

그림 2-10의 half sine pulse 그래프에서 속도변화는 다음과 같이 정의된다.

$$\Delta V = \frac{2}{\pi} G_m g \tau \quad \text{-----} \quad (37)$$

단, $\frac{2}{\pi}$: half sine pulse의 면적에 대한 형상인자(shape factor)

$G_m \cdot g$: 정점충격가속도 m/sec^2

τ : 지속시간(sec)

식 (37)의 상관관계를 이용하여 파손영역곡선(Damage Boundary Curve)을 작성하면 충격의 크기와 지속시간을 고려하여 그림 2-11과 같이 y축을 정점충격가속도, x축을 속도변화총량으로 하여 도식한다. 그림에서 A지점은 정점가속도와 속도변화량이 모두 파손을 일으키는 영역에 속해 이 범주에 들면 제품이 파손된다. B지점은 정점가속도는 상당히 크지만 속도변화량이 상대적으로 적어 충격펄스 지속시간이 매우 짧다. 따라서 이 범위에서는 제품이 짧은시간 동안 반응하지 않으므로 파손되지 않는다. C지점은 충격지속시간은 길지만 가속도가 제품에 파손을 일으킬 만큼 크지 못하다. 어떤 제품에 대하여 파손영역곡선을 도식하여 보면 여러 형태의 충격시 제품의 손상여부를 미리 알 수 있다..

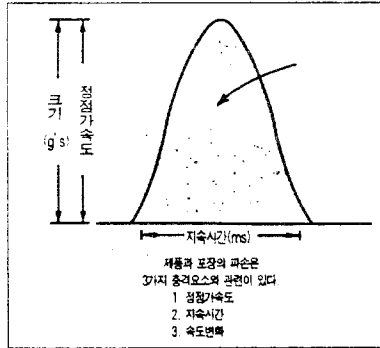


그림 2-10 충격 Pluse

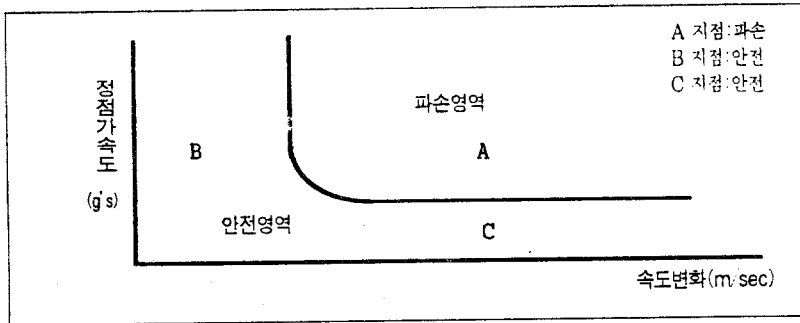


그림 2-11 파손영역곡선

제 3 절 플라스틱 완충포장재

플라스틱 포장재가 사용하기 시작한 것은 석유화학공업이 발전하기 시작한 1920 ~ 1930년경이었고 1950년경에는 LDPE 포장재질이 등장하면서 압출 sheet와 film의 가공기술의 발달과 함께 PP(Polypropylene), Nylon, PS(Polystyrene) 등의 소재가 급속 성장을 하게 되었다.

가볍고 경제적이면서 성형이 용이하고 완충성능이 뛰어나기 때문에 타재료와 경쟁 없이 많은 인기를 받았던 스티로폴 완충재가 갑자기 천덕꾸러기로 바뀌게 된 것은 잘 썩지 않는 난분해성 성질을 갖고 있기 때문이다. 선진국에서는 수입제품 포장에

EPS(expanded polystyrene)의 사용을 금지하거나 높은 처리비용을 부과하고 있어 효과적이고 경제성 있는 대체 포장방법이 개발되지 않은 시점에서 포장에의 어려움을 겪고 있다. 근래에 와서 플라스틱계 완충재를 대체하기 위한 방법으로 골판지, 하니콤, 펄프몰드 등의 종이류 완충재와 팝콘 등의 전분계 발포 완충재의 개발이 선진국 중심으로 추진중에 있다.

국내의 열가소성 플라스틱제품의 생산량은 1994년말 기준 622만톤이었으며 포장용기와 포장재등의 생산추이는 표 2-2와 같았다. 1995년말 기준 30여개의 발포 폴리스틸렌 제조업체로 부터 생산된 발포 폴리스틸렌 양은 건축용 단열재와 포장완충용(건축용의 약 30%)을 합하여 약 840,000톤에 이른다. 환경보호에 대한 관심과 규제가 그다지 심하지 않았던 1980년대에는 매년 30%이상의 EPS 소비증가율을 보이면서 생산업체에서는 호황을 맞았었다. 그러나 최근에 와서는 사용량의 억제와 매립부담금제도 등의 환경관련 규제가 가속화 되면서 약 6% 미만의 완만한 증가를 보이고 있다.

표 2-2 플라스틱 관련제품의 출하추이

(단위 : 천톤, 백만원)

항목 \ 년도	'88		'89		'90		'91	
	생산량	금액	생산량	금액	생산량	금액	생산량	금액
포장 용기	26	30,821	24.9	29,631	54.2	64,498	62.8	74,732
포장재	41.1	48,909	40.6	48,314	38.8	46,172	45.3	53,907
합계	67.1	79,730	65.5	77,945	93.0	110,670	108.1	128,639

플라스틱 포장재는 압출성형과 가압성형으로 제조되고 있고, 가압성형의 플라스틱 생산공정은 Resin(P.S) → Extrusion → Sheet → Rolling → Heating(약 300℃) → Pressing moulding(약 200℃) → Cutting → Product의 순이며 대부분이 자동화 공정 시스템으로 생산된다. 완충포장재는 Resin을 2 ~ 30배로 발포하여 제품으로 생산, 사용되고 있다. 즉, 2배 발포제품은 그림 2-12의 접시류와 도시락 용기를 들 수 있고, 10배 발포제품으로는 즉석라면의 컵용기 그리고 30배로 발포된 제품은 건축단열재이다. 발포 플라스틱 포장재의 장단점을 나열하면 표 2-3과 같다.

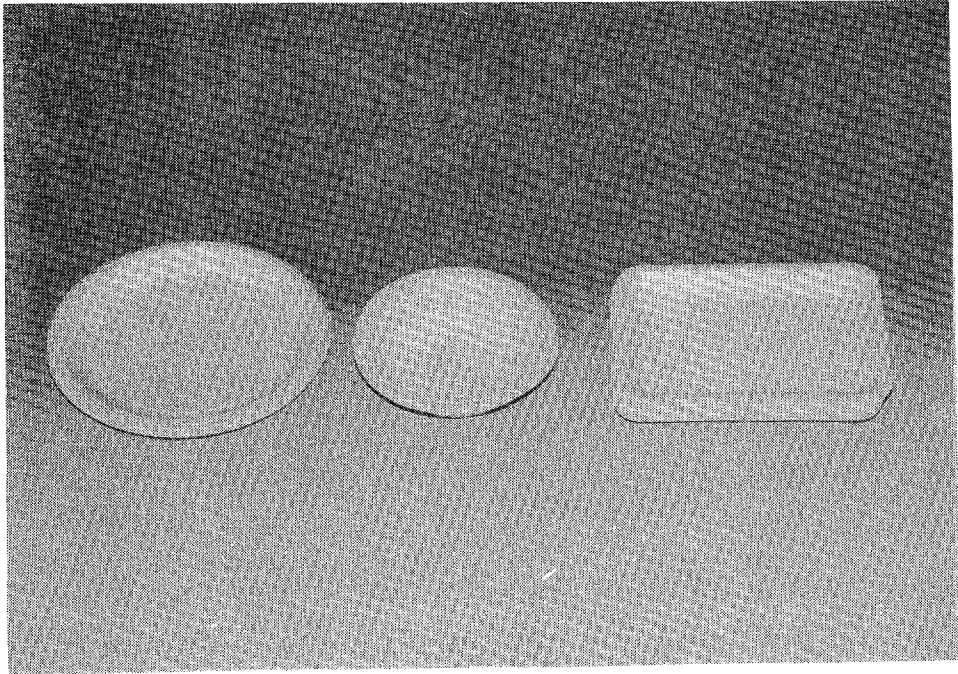


그림 2-12 플라스틱 트레이

표 2-3 발포 플라스틱 포장재의 장·단점

장 점	단 점
1. 완충성이 뛰어나고 성형이 자유로워 상품의 세심한 부분까지 보호한다. 2. 증기가열로 만들어져 세균의 부착이 없어 위생적이다. 3. 단열성이 우수하여 가열·냉동식품의 보관에 적합하다. 4. 생산시에 에너지 소비량이 상대적으로 적고 사용원료도 적어 경제성이 높다. 5. 부피가 크고 눈에 쉽게 띄어 회수가 쉬우며 재활용이 용이하다.	1. 단위 중량당 부피가 크므로 쓰레기 발생량이 상대적으로 많다. 2. 썩지 않으므로 매립시 지반약화 및 주변 환경변화에 영향을 미친다. 3. 부피가 상대적으로 커서 회수, 운반시 경제성이 맞지않아 회수가 어렵다.

즉, 장점이 단점보다 많기는 하나 단위 중량당 체적이 상당히 크므로 폐기시에 쓰레기 발생량이 상대적으로 많아지고 썩지 않는다는 것은 매립시 지층에 차단막을 형성

하여 자연 순환작용을 막을 뿐 아니라 지반을 약화시킬 수 있는 단점으로 지적되고 있고, 특히 부피가 크다는 것이 회수에 있어서 경제성 측면에서 약한점이다. 그러나 최근에 스티로폴 원자재 제조업체 6개사와 (사)한국발포스티렌재활용협회(KFRA)가 EPS의 운반에 있어 경제성 회복을 위한 방안으로 감용기를 개발, 보급하면서 사용된 페스티로폴을 회수하여 이를 재활용하는 방안이 추진중에 있다⁽¹⁷⁾. 또한 정부에서는 95년 1월 1일 부터 쓰레기 종량제를 실시하면서 페스티로폴에 대하여도 재활용 대상 품목으로 96년 3월 1일 부터 일부지역에서 시작하였고 97년 1월 1일 부터는 전국적으로 확대할 것으로 보여 플라스틱 완충재의 앞날은 새로운 국면을 맞게 되었다.

제 4 절 분해성 완충포장재

환경 친화성의 포장소재로는 종이제품과 천연고분자 소재품을 들 수 있다. 종이제품의 완충포장재는 일본과 유럽에서 펄프폴드, 골판지 및 결합섬유 등의 형태로 연구개발되어 사용되고 있으며, 천연 고분자를 소재로한 제품은 유럽의 몇몇 국가에서 연구가 진행되어 상품화되고 있는 실정이다. 분해성 소재를 이용한 완충포장재에는 결합섬유 완충재, 과일 수송용 트레이, 루스 펄 완충재, 완충 골판지, 골판지 완충패드, 판지를 이용한 섬유격막구조, 전분을 이용한 압출성형 충전재 등이 있다.

결합섬유 완충재는 충격흡수, 내마찰성에 의한 표면보호, 단열성, 흡수성 등이 우수한 소재로 플라스틱 폼과 에어 버블 완충재를 대체할 수 있고, 과일수송용 트레이는 수송중 파손되기 쉬운 과일을 안전하게 수송하도록 고안된 것으로 A골, E골 골판지를 조합한 것으로 강도보완, 다단적재 그리고 공기순환이 잘 되도록 제작된 것이다. 루스 펄 완충재는 미표맥 크라프트지를 이용한 완충재이며, 완충 골판지는 발포 폴리우레탄이 분사·코팅된 라이너보드와 편면 골판지를 결합시킨 것이다. 또한 종이와당의 일종인 Pad Pack, 종이를 얇게 썰어 사용하는 지모제품의 Eco/Sizzle pack, 지류로 된 격자구조의 Honey 시리즈 포장재 등도 있다.

제 5 절 펄프몰드 완충포장재

최근 산업계를 주도하고 있는 대기업에서는 환경친화적 이미지를 내세운 제품생산에 많은 노력을 하고 있다. 특히 전자업계에서 두드러진 현상을 보이고 있는데 이는 단순히 제품의 이미지를 노린 홍보가 아니라 펄프몰드와 같은 환경친화소재를 실질적으로 사용하려는 노력을 보이고 있다. 환경에 대한 인식이 미미했던 90년대 초반 해도 스티로폴로 전자제품을 포장하는 추세였으나 환경부에서 96년부터 점차적으로 가전제품에 스티로폴의 사용을 제한한다는 발표와 함께 스티로폴 소비의 30%를 펄프몰드나 지류 등의 포장재로 대체토록 한 바 있다. 이러한 발표와 함께 펄프몰드 생산업체에서는 제품의 개발과 설비증설에 박차를 가하였었다. 그러나 97년부터 페스티로폴을 재활용 품목으로 한다는 정책변경이 있으면서 펄프몰드 생산업체에서는 어려운 국면을 맞게 되었다.

펄프몰드는 1936년에 덴마크에서 계란난좌와 계란팩용으로 처음 사용하기 시작하였으며, 미국과 일본은 1950년대에 들어와서 사용하기 시작하였다. 우리나라는 표 2-4와 같이 미국, 일본 등지에서 매년 약 1억 5천만원어치를 수입하였고 1993년부터는 수입량이 줄기 시작하였다. 자체 생산은 1993년에 영국과 덴마크로부터 기술을 도입하여 달걀 트레이에 상업적으로 사용하였으며, 공산품과 가전제품은 1994년도부터 적용하기 시작하였다.

표 2-4 년도별 Pulp Mould 수입현황

년 도	중 량(kg)	수 량(천본)	금 액(US\$)	금 액(원)
1989	65,450	18,487	129,476	103,580,800
1990	75,936	486	176,671	141,336,800
1991	160,839	1,220	285,364	228,291,200
1992	80,812	1,005	199,769	159,815,200
1993. 2	24,500	324	43,745	34,996,000
TOTAL	407,492	21,522	835,025	668,020,000

표 2-5 국내의 펄프몰드 제조업체의 생산품목과 생산능력 (1996년)

회 사 명	주 요 생 산 품 목	일일생산량	소 계 지
(주)한 일	계란난좌, 청과물트레이	40 ton	전북 김제시
(주)보성하림	가전제품, 공업용완충재	10 ton	인천광역시 남동공단
(주)호 산	계란난좌, 공업용완충재	20 ton	충북 음성
(주)옥 성	가전제품, 공업용완충재	5 ton	경기 안산 시화공단
(주)오성리사이클	가전제품, 공업용완충재	2 ton	경기 안성
태영판지공업	가전제품, 공업용완충재	30 ton	경기 평택
(주)한국조일	가전제품, 공업용완충재	5 ton	경기 광주
(주)태성펄프몰드	가전제품, 공업용완충재	30 ton	충남 천안
동양하이폴드	가전제품, 공업용완충재	5 ton	경기 광주
풍년기업사	가전제품, 공업용완충재	5 ton	경기 안산 시화공단

표 2-5는 국내의 펄프몰드 생산업체에 대한 생산품목과 생산능력을 나타낸 것이며, 표 2-6은 국내 pulp mould 시장현황 그리고 표 2-7는 국내에서 펄프몰드를 완충제로 활용하고 있는 제품류를 나타냈다. 국내의 펄프몰드 생산업체는 10개 업체이며 이중 2 ~ 3개 업체는 농산품과 식품용을 생산하고 나머지 업체들은 공산품용이나 가전제품 용을 주로 생산하고 있으며 연간 생산능력은 약 5만톤으로 추정되고 있다. 국내 생산 업체들의 기계설비는 일본, 덴마크, 아이슬랜드 및 영국 등지에서 1993년 이후 수입 설치하였으며, 적용품목류는 1차 식품류의 경우는 계란난좌와 청과물 트레이가 주종을 이루고 있고, 공산품으로는 컴퓨터, 송수신기, 오디오, 진공청소기, 소형 TV, 팩시밀리 등의 전자제품이었다.

표 2-6 국내 Pulp Mould 시장현황(1992년)

용 도	수요량(ton)	비율(%)	금액(천원)	비고
계란트레이	270	62	324,000	제일성형공업 제조
	118	27	243,151	덴마크 수입(플무원식품)
소 계	338	89	567,151	
청 과 용	-	-	-	
공 업 용	50	11	312,000	수입(삼성카메라)
총 계	438	100	879,151	

표 2-7 국내에서 펄프몰드를 완충재로 사용하고 있는 품목류 .

적 용 업 체 명	펄 프 몰 드 를 사 용 중 인 제 품
1 차 식 품 류	계란난좌(30개용), 계란팩(6개,10개용), 청과물(사과,배)트레이 육묘포트류, 공산품류(완구, 종합선물세트)
삼 성 전 자(주)	14 및 15인치 컴퓨터 모니터, 컴퓨터 본체, 팩시밀리, VCR, 위성송수신기, 위성방송수신기, 워커맨, 대형 TV, 뮤직비디오
L G 전 자(주)	14인치 컴퓨터 모니터, VCR, 팩시밀리, 14인치 TV, 전자밥솥, 공기청정기, 통신용 삐삐, 진공청소기
대 우 전 자(주)	14인치 컴퓨터 모니터, VCR, 팩시밀리, 무선전화기, 카 오디오
기 타 업 체	복사기(신도리코), 뮤직오디오(인켈), 카오디오(인켈)

일본의 펄프몰드 시장은 표 2-8과 같이 1992년 현재 520억원 수준이었고 주된 생산 업체는 大石산업, 일본몰드공업, 十條팩, (주)대성, 나고야몰드, 八日市펄프, 일본하이팩, KAMI 상사, 玉子제지, 일본 TEX공업, 本州제지, 일본 TECH, 大일본인쇄, 不二콘 제작소, SANWOO, 일본 SEKISO공업 등 17사가 있으며 이들 업체가 생산하는 품목류는 국내와 유사하였다. 생산능력은 연간 약 10여만톤 규모이며 업체의 기술수준도 상당한 수준에 도달된 상태여서 중국과 말레이시아 등의 아시아 국가에 플랜트 수출 단계에 있다. 유럽지역의 대표적인 펄프몰드 생산업체는 독일의 HARTMANN-SCHWEDT GMBH, 덴마크의 BRODRENE HARTMANN, 핀란드의 ENSO-GUTZEIT, 스페인의 CELULOSAS MOLDEADAS HARTMANN 등 약 30여 업체가 있으며 미주지역과 동남아 그리고 중동지역등에도 약 60여 업체가 가동되고 있다.

표 2-8 일본 Pulp Mould 시장현황(1992)

용도 \ 항목	수요량(ton)	비율(%)	금 액 억원(억원)	비 고
계란용	24,000	40	32(208)	대석 산업 일본 MOULD
청과용	18,000	30	24(156)	
공업용	18,000	30	24(156)	
총 계	60,000	100	80(520)	

1. 펄프몰드의 종류

펄프몰드는 폐지를 용해시켜 액상화한 다음 이를 금형으로 성형한 것이다. 금형의 표면에 Wire mesh가 부착되었고 금형 안은 액상화 된 탱크에서 진공상태를 유지하도록 하여 성형물을 얻는다. 성형방법에 따라 진공 탈수성형방법과 Press 탈수성형방법이 있다. 진공탈수는 Soft Mould와 Hi-Mould의 두가지가 있다. Soft Mould는 청과물, 계란팩 및 농업용 자재용 등과 같이 형상이 간단한 제품에 적용되며 크기는 1 ~ 5Kg 범위이다. 반면에 Hi-Mould는 공업용이나 가전제품 등과 같이 형상이 복잡한 제품에 적용되며 크기는 1 ~ 20kg의 범위이다. 그리고 Press 탈수성형방법은 10 ~ 100kg의 모터, 엔진, 자동차 부품 등의 중량물에 적합하다.

2. 펄프몰드의 특성

- . 우수한 완충성 : 펄프몰드는 모든 형태를 입체성형 할 수 있다. 리브(Rib)구조에 의하여 발포스티로폴 완충재에 못지 않게 완충력과 내하중성을 갖는다.

- . 포장의 Down Sizing : 두께가 얇고 포장 후의 용적을 작게 할 수 있기 때문에 물류경비의 절감이 가능하다.

- . 환경 적합성 : 펄프몰드의 원료는 신문지, 골판지, 사무용지 등의 천연섬유이므로 사용 후의 회수, 재자원화가 가능하며 소각할 경우는 유독가스의 발생도 없고 연소 온도도 낮기 때문에 소각로를 손상시킬 염려가 없다. 또한 흡속에 매립되면 시간의 경과와 더불어 분해된다.

그러나 플라스틱 수지에 비하여 원료가격이 비싸고 생산성이 약 3~4배 정도로 떨어져 EPS 제품에 비하여 약 50 ~ 100% 정도 비싼 것이 흠이며, 펄프몰드는 EPS와 같이 소재 그 자체에 완충력을 가지고 있지 않고 구조에 의해 강도와 완충성을 나타내고 있으므로 적재량, 운송조건 및 보관조건등에 따라 구조설계를 하여야 한다. 특히 전자업체에서 모델의 잦은 변경으로 금형제작에 따른 비용부담이 크고, 유통과정에서 분진의 발생과 흡습으로 강도저하에 대한 문제가 대두되고 있다.

3. 펄프몰드의 제조방법

펄프몰드의 제조공법은 그림 2-13과 같다. 즉, 고지나 폐지를 Pulper에 넣고 물과 혼합하면서 이물을 제거한 다음 펄프는 농도조절과 균질화를 위하여 3단계의 농도조절 탱크로 이송된다. 농도 조절과정에서 지력증강제와 습기방지제 등을 종이 중량의 0.5 ~ 1.0% 정도 첨가하고 원질을 성형조건에 적합하도록 약 5%정도 조절한다. 조절된 조합액은 진공성형기에서 흡입성형(진공흡인시간 : 3 ~ 5 sec, 진공도 : 160torr정도)한 다음 성형된 몰드는 표피의 순간건조(직화식버너 : 15 ~ 20sec)를 거친 다음 건조대로 이송하여 진공해제로 부터 이형된다. 이형된 펄프몰드는 150℃~200℃ 범위의 열풍에서 25min 정도 컨베이어형태의 연속건조기를 통하여 제품으로 만들어진다.

● MOLD 製造工程概略圖

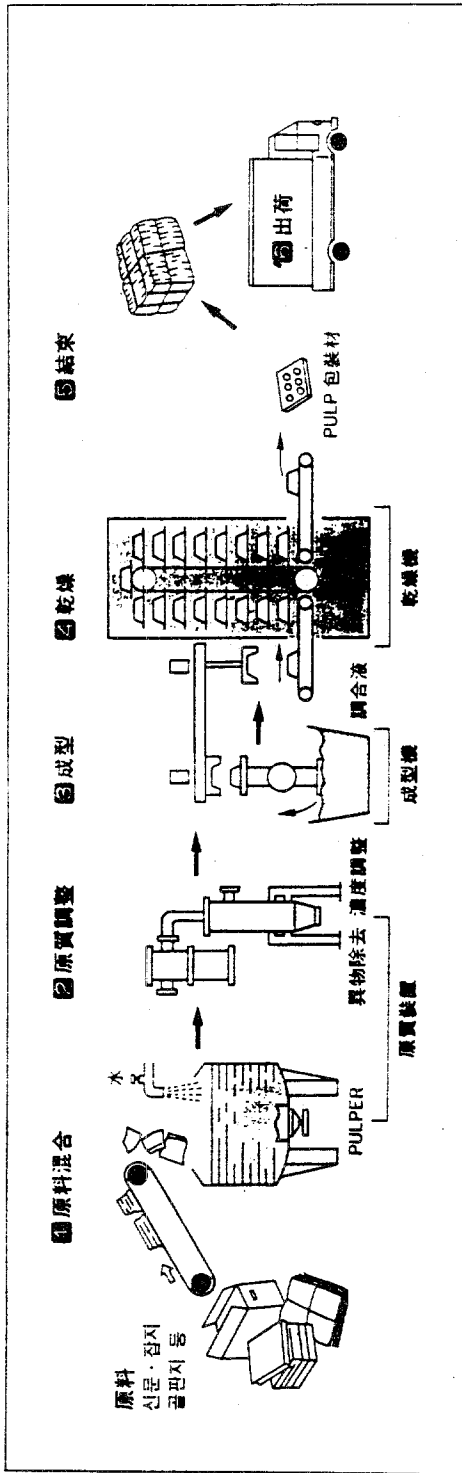


그림 2-13 펄프몰드 제조공정도

제 3 장 벗짚펄프의 제조 및 이용기술에 관한 연구

제 1 절 서 론

천연소재를 활용하여 환경친화적 포장재로 개발하려는 연구노력이 활발한 가운데 포장재로 광범위하게 이용되고 있는 자원이 셀룰로우스이다. 펄프자원이 부족한 국내의 실정에서 대체 섬유자원으로 농업부산물의 활용검토는 매우 바람직할 것으로 판단된다. 비목본 섬유자원인 벗짚을 포장소재로 이용한다면 환경보호 뿐 아니라 사료나 퇴비로의 재활용에도 효율적일 것으로 보인다. 본 연구는 섬유자원 가치를 지니고 있는 벗짚을 포장소재로 활용할 수 있도록 펄프 제조기술과 이용기술 그리고 관련장치의 개발연구를 수행하였다.

표 3-1은 국내의 고지수입 현황을 나타낸 것이다. 1994년에 천연펄프 160만 5천톤이 수입되었고 고지는 145만 6천톤이 수입되었다.

표 3-1 국내의 고지수입량 (PPI, July 1994)

(단위 : 천톤)

종류	나라	한 국	일 본	중 국	대 만	홍 콩	필리핀	인도 네시아	태 국	말레 이시아	상가 포르
종이·판지											
소비량(kg/人)		127.5	225.1	17.2	205	219.5	11.5	9.6	30.2	62	217.8
생산량		5,804	27,762	18,200	3,907	193	518	2,600	1,418	663	95
수입량		494	1,060	2,448	992	1,100	280	92	325	1,120	835
수출량		695	763	222	651	20	39	592	44	245	320
국내소비량		5,619	28,059	20,426	4,248	1,273	759	2,100	1,699	1,538	610
펄 프											
생산량		447	10,593	15,290	315		100	1,400e	200	140e	0
수입량		1,605	3,288	516	845		54	50e	215	NA	14
수출량		0	1	7	40		0	200e	0	0	0
국내소비량		2,052	13,880	15,779	1,120		154	1,550e	405	140e	14
폐 지											
회수량		2,518	14,836	4,661	2,286	500	260	340e	630	180e	190
수입량		1,456	417	604	1,531	0	178	900e	354	30e	0
수출량		0	46	16	0	300	0	0e	0	0e	80
국내소비량		4,003	14,841	5,249	3,817	200	435e	1,240e	984	210e	110
회수률(%)		48	51.3	22.8	53.8	39.3	34.3	16.2	37.1	11.1	31.1
이용률(%)		69.0	53.5	28.8	97.7	103.6	84.0	47.7	69.4	31.7	115.8

표 3-2는 국내의 농업부산물 원료생산량을 나타낸 것이다. 년도별로 다소의 생산량 차이는 있겠으나 벃짚은 매년 약 820만톤, 왕겨는 약 150만톤이 생산되고 있었고 이들의 소비는 표 3-3과 같이 퇴비로 53% ~ 66%가 이용되고 있으며 사료나 연료와 같이 부가가치있는 부문으로의 활용도는 낮은 것으로 나타났다.

표 3-2 국내의 농업부산물 원료현황

농업 부산물	생산량(1000M/T)	비 율(%)
벃짚	8,228	69.5
왕겨	1,487	12.6
보릿짚	560	4.7
기타 곡물 부산물	141	1.2
특용작물 부산물	328	2.8
두류 부산물	444	3.8
과일부산물	468	4.0
서류부산물	187	1.6
총 계	11,843	100.0

표 3-3 농업부산물의 이용현황

부산물 \ 이용현황	퇴비 (%)	사료 (%)	연료 (%)	시장매매 (%)	폐기 (%)	기타 (%)	계 (%)
벃짚	53.1	26.6	11.6	2.1	0.3	2.9	100.0
왕겨	66.2	1.3	30.2	0.5	0.4	1.4	100.0
보릿짚	68.5	2.3	25.2	0.1	0.6	3.4	100.0
기타 곡류 부산물	18.0	38.5	14.4	28.2	0.9	-	100.0
특용작물 부산물	5.2	8.0	70.6	0.1	15.4	0.7	100.0

제 2 절 재 료 및 방 법

1. 실험재료

벼짚시료는 전북 부안군 백산면 평교리에서 생산된 것으로 두부(head)와 불순물을 제거한 후 경부(stem)와 엽부(leaf)를 1cm의 크기로 절단하여 원료로 사용하였다. 벼짚의 성분조성은 표 3-4와 같다

표 3-4 The component of rice straw and rice hull.

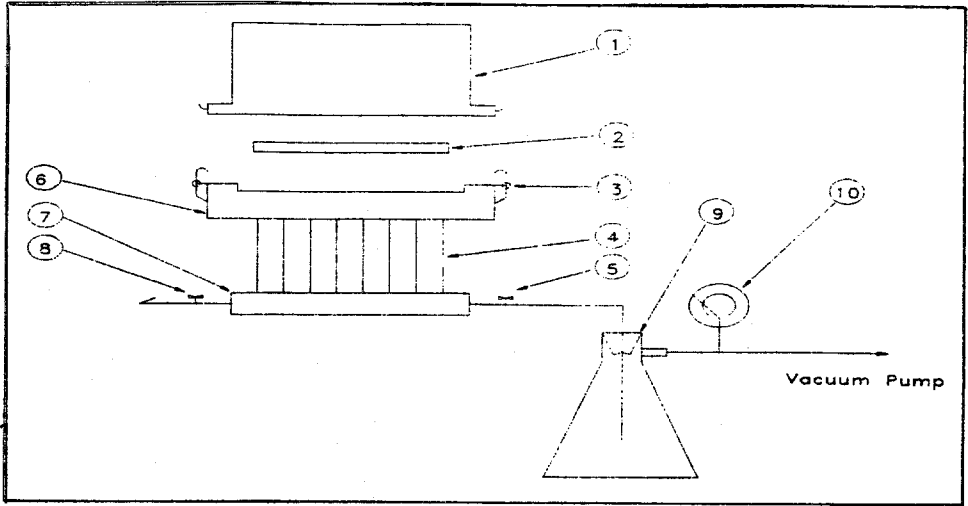
Component	Rice straw	Rice hull
Moisture content (%)	9.88	6.25
Ash (%)	14.25	17.98
Cold-water solubles (%)	9.94	2.08
Hot-water solubles (%)	11.83	5.78
1 % NaOH solubles (%)	35.59	28.91
Alcohol-Bezene extract (%)	1.73	0.61
Holocellulose (%)	71.12	73.67
Klason lignin (%)	25.21	38.90

2. 실험장치

가. 펄프탈수장치

벼짚을 펄프화 시킨 다음 펄프 현탁액에 함유된 물기를 제거하기 위하여 제조한 장치로 그림 3-1과 같았다.

즉, 몸체는 아크릴로 제작하였으며 상단 ①과 하부 ⑥으로 구성되었고 상단과 하부 사이에는 100mesh의 sieve ②가 놓여지었다. sieve위에 펄프 현탁액을 넣고 진공 펌프에 연결된 water trap ⑨와 water drainage ④, ⑦을 통하여 상단 ①에 있는 펄프 현탁액이 탈수되도록 하였다.

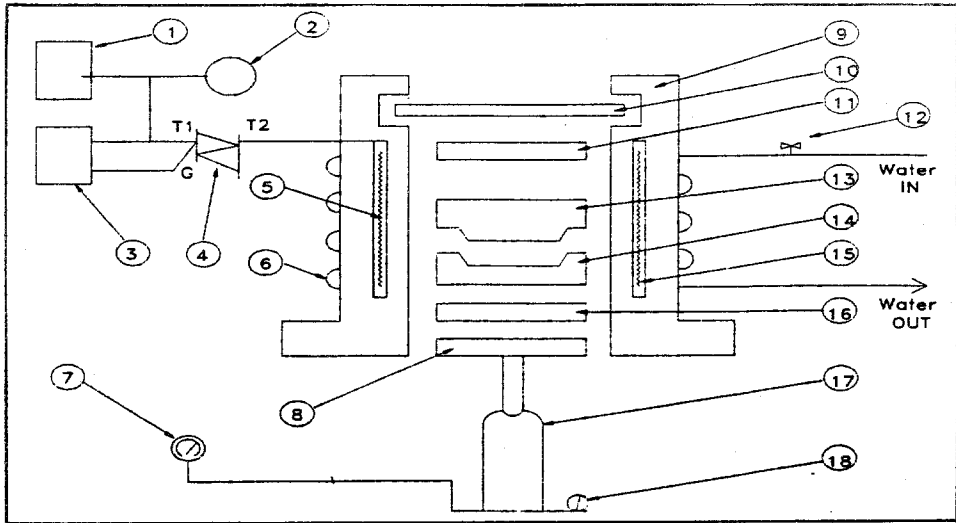


1. 상단 몸체 2. 100mesh sieve 3. 조인트 고리 4. water drainage
 5. 진공밸브 6. 하부 몸체 7. water drainage 8. water drainage 밸브
 9. water trap 10. 진공계이지

그림 3-1. 펄프탈수장치의 구조도

나. 열압성형장치

탈수된 펄프를 성형 및 1차 건조하기 위하여 그림 3-2와 같은 열압성형장치를 제작하여 사용하였다. 금형하판 ⑭에 펄프를 넣고 상판 ⑬을 올려 놓은 다음 압력재 ⑩을 이용하여 상판받침대 ⑩까지 올려 놓는다. 이때 금형에 있는 펄프는 성형이 되고 가열히터 ⑤는 온도조절기 ③과 조절장치 ④로부터 금형판을 가열시켜 1차 건조된 용기를 얻을 수 있다.

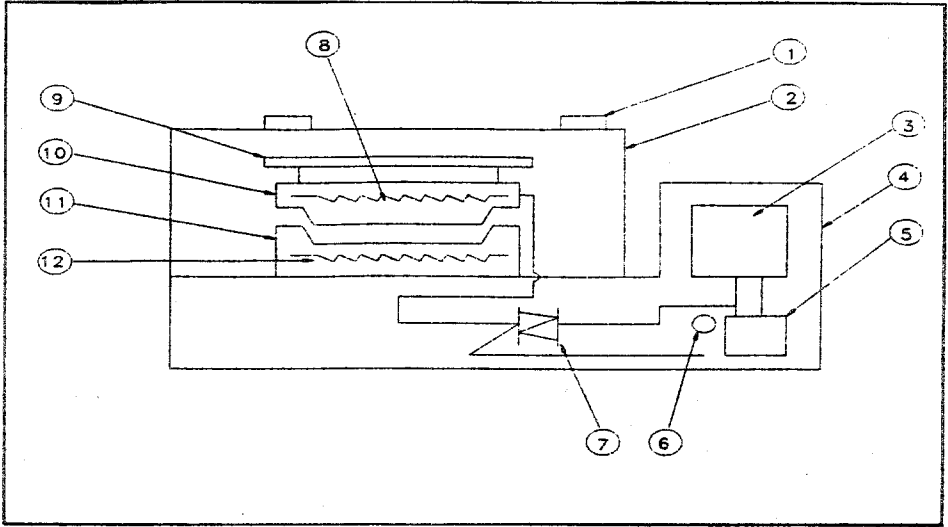


1. 타이머 2. 안전스위치 3. 온도조절기 4. 온도조절장치(35A)
5. 히터(220V, 1.5kW) 6. 냉각수 7. 압력게이지 8. 하부받침대
9. 기본틀 10. 상판 받침대 11. 상판 높이 조절 12. 냉각수 솔레노이드 밸브
13. 금형 상판 14. 금형 하판 15. 히터(220V, 1.5kW) 16. 하부 높이 조절
17. 압력 잭(jack) 18. 잭(jack) 잠금장치

그림 3-2. 열압성형장치의 구조도

다. 펄프용기 건조장치

열압성형장치에서 성형 및 1차 건조된 tray를 펄프용기로 사용할 수 있도록 건조하는 장치로 그림 3-3과 같다. 즉, 금형상판 ⑩과 하판 ⑪ 사이에 펄프tray를 넣고 건조시키는 것으로 상판과 하판 내부에는 가열히터가 내장되었다. 가열히터는 온도조절기 ③으로 부터 제어토록 하였고 금형은 상판의 자중에 의해 가압건조되도록 만든 구조이다.



1. 케이스 커버 손잡이 2. 케이스 커버 3. 온도조절기 4. 케이스
5. 파워 스위치 6. 히터램프 7. 온도조절장치 8. 금형 상판 히터(1.5kW)
9. 금형 상판 손잡이 10. 금형 상판 11. 금형 하판 12. 금형 하판 히터(1.5kW)

그림 3-3. 펄프용기 건조장치의 구조도

3. 실험방법

가. 화학기계 벗짚펄프(Chemi - Mechanical Straw Pulp)

벗짚(수분함량 : 9%)을 1cm 크기로 절단한 다음 농도별(0.5% ~ 3%)의 수산화나트륨(NaOH) 수용액과 중량대비 1 : 10의 비율로 혼합한 다음 상온에서 18시간 침지 후 물에서 3회 세척, 탈수하였다. 세척된 벗짚은 본 연구에서 개발한 Beater에 넣고 연속분쇄 후 진공탈수기에서 탈수하여 화학기계펄프로 사용하였다.

나. 열기계 벗짚펄프(Thermo - Mechanical Straw Pulp)

1cm 크기로 절단된 벗짚을 Rotating Digester에 벗짚과 물과의 중량대비 1 : 30의 비율로 넣고 증해온도를 140℃, 150℃, 160℃ 및 170℃로 하였고 증해시간은 30분, 1시간 그리고 2시간으로 달리하면서 증해하였다. 증해된 Straw chip은 원통용기

에 Spiral Rotor가 장착된 고농도 Pulper에서 가열과 동시에 절단 헤리되도록 하였다. 헤리된 벗짚은 헤리컬 기어가 부착된 Beater에서 연속 Beating하면서 고농도의 열기계펄프로 제조하였다.

다. 포장용기 및 펄프몰드 제조

(1) 종이 sheet 제조

제래식의 한지제조공장(업체명: 대성농산, 소재지:충남 보령군 미산면)에서 화학기계 벗짚펄프를 원료로 하여 두께 0.8mm의 종이sheet를 제조하였다. 제조공정은 벗짚펄프를 발(대나무 제품)로 뜨기 위하여 콘크리트 탱크에 미량의 결합제와 벗짚펄프를 넣고 5%농도로 균질화시켰다. 균질된 펄프탱크에 발(크기 : 60cm x 110cm)을 넣고 좌.우 및 상.하작용을 4회 정도 반복으로 발에 펄프를 부착시켰다. 발에서 펄프 sheet를 이완하기 위하여는 바닥에 미리 준비된 발 위에 펄프가 부착된 발을 뒤집어 놓고 통나무 roller로 2회 정도 rolling하였다. 이렇게 약 300회 ~ 500회를 반복한 후 가압 press에서 12시간 정도 압착 탈수시켰다. 이때 펄프 sheet내에 함유된 많은 양의 수분이 제거되고 sheet는 한장씩 이완되었다. 이완된 sheet는 가열수를 열매체로 사용하는 판형열교환기 위에 놓고 5초 ~ 10초 정도의 짧은시간으로 건조공정을 거친다. 건조된 종이는 건조과정 중에 발생된 비틀현상을 바로 잡기 위하여 놀림기구에서 면을 고르게 만들었다.

(2) 진공성형에 의한 펄프몰드 완충재 제조

산업용으로 운전하고 있는 펄프몰드 제조업체(업체명: 오성리싸이클, 소재지: 경기도 안성군 미양면)에서 화학기계 벗짚펄프와 열기계 벗짚펄프를 원료로 하여 전자 부품용 완충포장재를 제조하였다. 제조공정은 성형탱크(벗짚펄프농도 5%) → Rotary 성형기에서 진공성형(진공도 : 160torr, 진공흡인시간 : 5 sec) → 표면건조(직화식 버너에서 20초간 순간건조) → 건조기로 이동 → 성형물 이완 → 건조(열풍건조온도 : 130℃, 건조시간 : 25 min)의 순이었다.

(3) 가압성형에 의한 농산물 트레이 제조

(가) 벗짚종이의 가압성형

화학기계 벗짚펄프를 재래식의 한지공장에서 종이 sheet로 만든 다음 이를 포장용기로 만들기 위하여 가로 20cm x 세로 13.5cm로 절단하여 분무기수 후 열압성형장치에 넣고 성형한 다음 펄프용기 건조장치에서 가압건조하였다.

(나) 골판지 원지의 가압성형

골판지 원지를 포장용기 소재로 이용하기 위하여 두께 1mm의 골판지 원지를 가압성형하였다. 기건상태의 골판지 원지를 수분함량 10%, 30% 및 50%로 가수한 다음 건조온도 120℃에서 가압건조하였다.

(다) 펄프용기의 가압성형

화학기계 및 열기계 벗짚펄프에 물을 첨가하여 0.6% 농도로 조절한 후 이를 펄프탈수장치에 투입하여 40초간 감압탈수하였다. 감압탈수한 매트상 시료는 열압성형장치와 펄프용기 건조장치를 거쳐 두께 1.2mm의 펄프용기를 제조하였다.

4. 측정항목

가. 펄프의 lignin 함량

펄프내에 함유된 lignin은 산가수분해법을 이용하여 측정하였다⁽¹⁸⁾.

$$\text{lignin}(\%) = \frac{W_3 - G}{W_0} \times 100$$

단, W_3 : 처리 후 시료의 全乾무게 + 글래스필터의 무게(g)

G : 글래스필터의 무게(g)

W_0 : 처리 전 시료의 全乾무게(g)

나. 펄프의 물성측정

실험용으로 제조한 트레이 및 sheet의 인장강도(tensile strength), 경도(Hardness) 및 탄성도(elasticity)는 load cell 25kg의 Texture Analyzer(Model TA, XT 2, Stable Micro Systems, UK)로 측정하였다. 인장강도 측정시 시편의 길이는 145mm, 폭은

10mm, 두께는 1.5mm로 하였으며 head speed는 0.2mm/s, span은 100mm이었다. 경도는 경도측정용 probe가 시료 표면으로 부터 1.0mm 까지 이동할 때 받는 힘 가운데 최고값을 kg으로 나타냈으며, 탄성도는 변형력이 제거되었을 때 변형된 시료가 변형되지 않은 상태로 회복되는 비율로 나타내었다.

다. 펄프용기의 Whiteness 측정

가압성형된 펄프용기의 색도를 건조온도별에 따라 측정하기 위하여 6분간 열판건조한 다음 Color Measuring System($\Sigma 90$, Nippon Denshoku, Japan)을 사용하여 용기 표면의 Whiteness를 측정하였다.

라. 현미경 조직의 관찰

실험에 사용된 용기 및 sheet의 단면조직은 SEM auto coating unit(E5200, Polaron Equipment LTD)로 코팅한 다음 주사전자현미경(Stereoscan 250 MK2, Cambridge, England)으로 관찰하였다.

제 3 절 : 결 과 및 고 찰

1. 화학기계 벗짚펄프의 전처리 조건에 따른 제특성

가. 펄프수율

NaOH 수용액의 처리농도에 따른 벗짚의 전처리 수율과 전처리 후 기계적 beating과정을 거친 벗짚펄프를 100mesh 체(sieve)를 통과시켜 얻은 펄프수율을 측정한 바 Fig. 3-4와 같았다. 그림에서와 같이 NaOH의 농도가 증가하면 펄프수율은 전반적으로 감소하는 경향을 보였고, 전처리 수율은 0.5%에서 1.5%의 NaOH 농도 범위에서 급격히 감소하다가 1.5%에서 3% 범위에서는 완만한 감소현상을 보였다. 또한 벗짚펄프에 존재하는 holocellulose, Klason lignin의 함량을 Fig. 3-5에 나타내었는데 NaOH의 농도가 증가하면서 holocellulose의 함량은 변화가 거의 없는 것으로 나타났으나 리그닌 함량은 약간 감소하는 경향을 보였다.

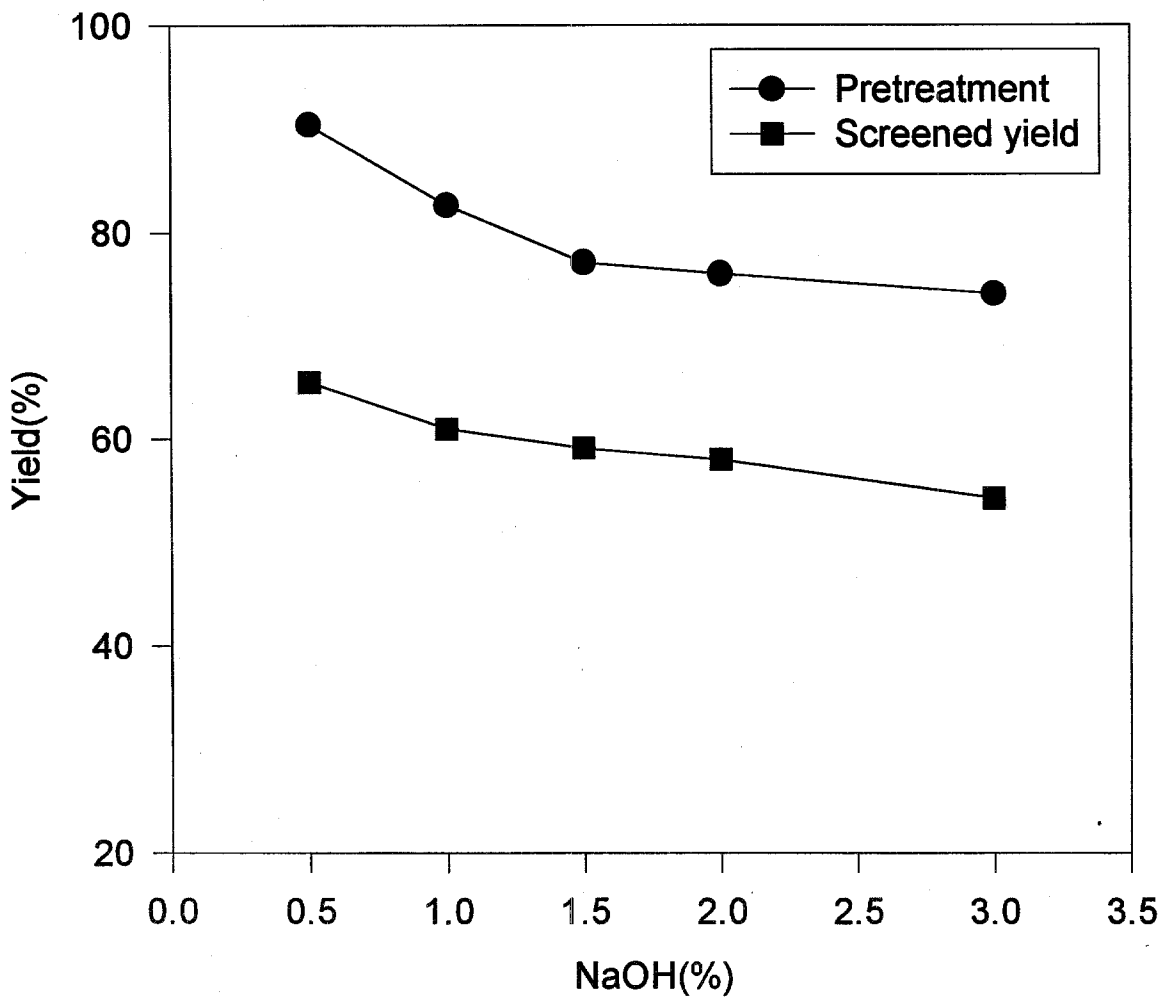


Fig. 3-4 Pretreatment yield and screened yield of rice straw.

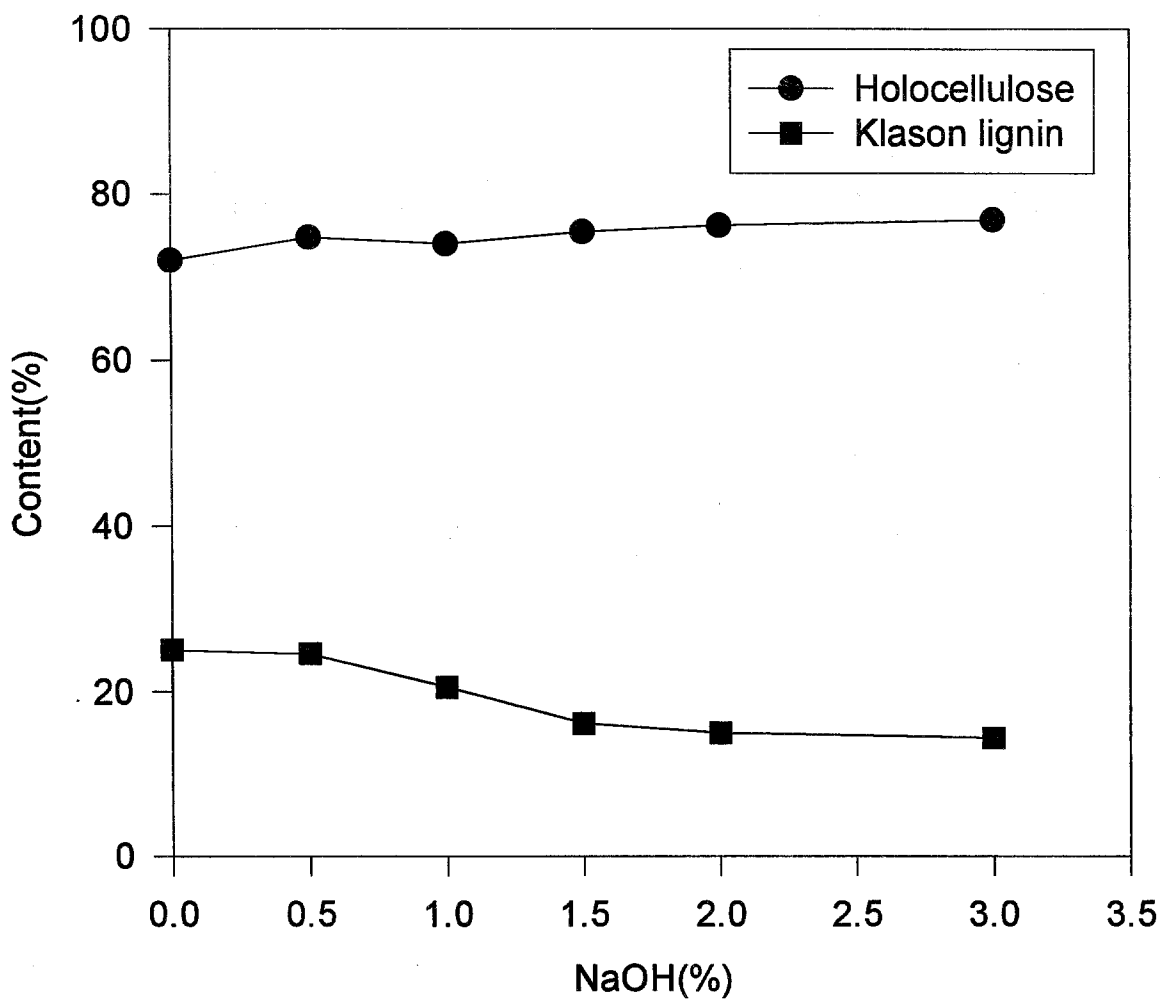


Fig. 3-5 Holocellulose and Klason lignin content of rice straw pulp.

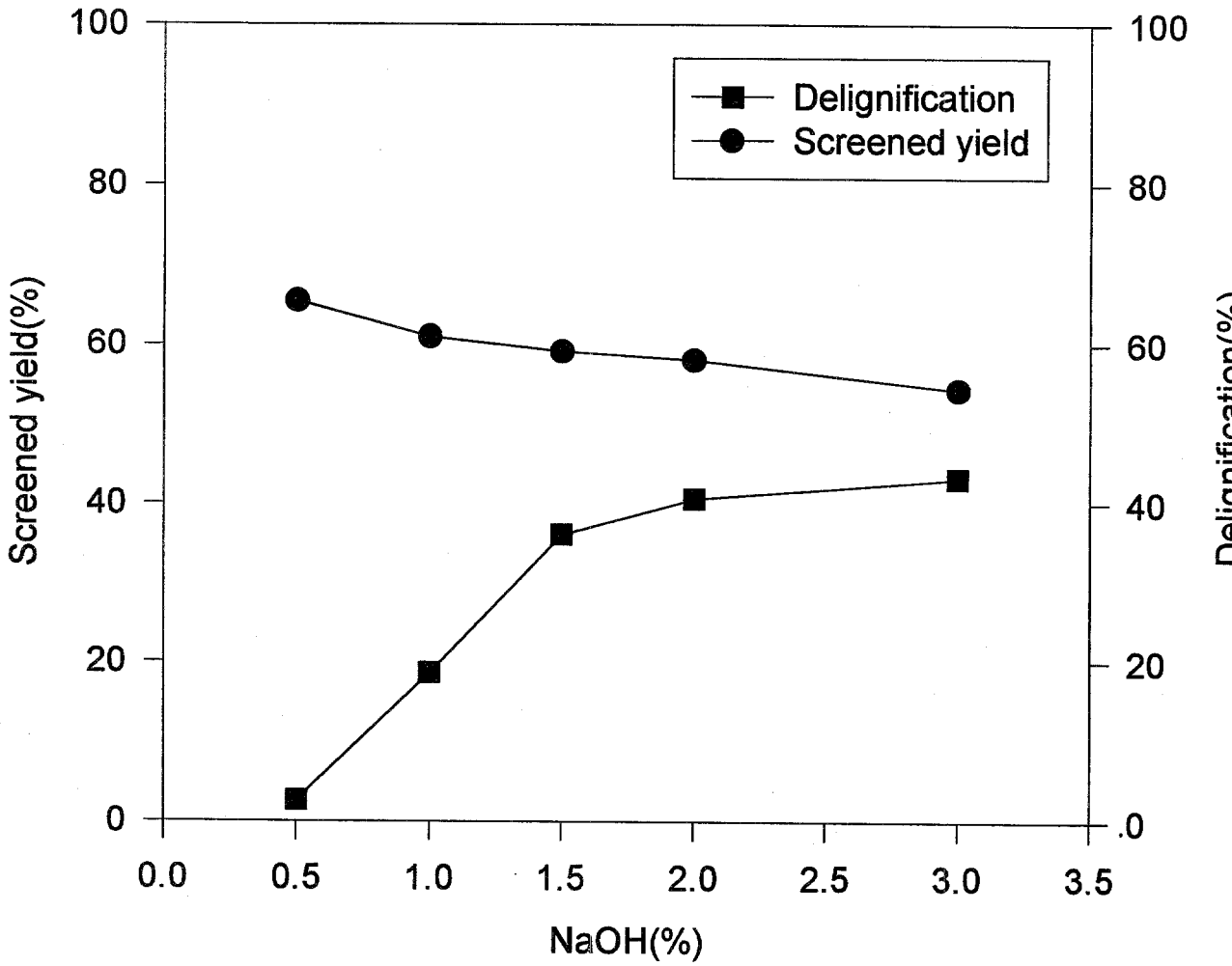


Fig. 3-6 Yield and delignification of rice straw pulp.

NaOH 농도에 따른 펄프수율과 탈리그닌과의 관계를 Fig. 3-6에 나타내었다. NaOH 농도가 증가하면 탈리그닌이 증가하는 경향을 보였고, 특히 0.5%에서 1.5% 농도범위에 탈리그닌 정도가 많이 진행되었음을 알 수 있었다. 이와 같은 현상은 벗짚의 현미경적 관찰에서도 알 수 있듯이 일정 농도 이상에서 NaOH 침지처리에 의해 세포벽 조직은 이완과 팽윤현상이 심하게 발생하고 기계적 beating에 의해 리그닌의 일부가 제거되기 때문에 탈리그닌 현상을 보인것으로 사료되었다.

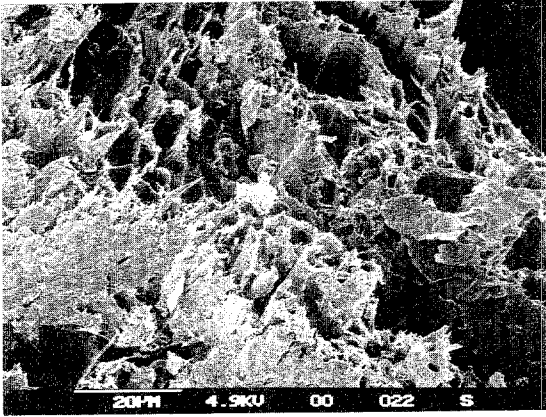
나. 조직의 관찰

NaOH 수용액의 전처리에 의한 벗짚의 세포조직 변화를 관찰하기 위하여 기건상태의 벗짚, 증류수에 24시간 침지시킨 벗짚, NaOH 수용액에 24시간 침지시킨 벗짚을 각각 주사전자현미경을 이용하여 관찰하였다. Fig. 3-7의 (a)는 기건상태 벗짚의 횡단면을, (b)는 증류수에 침지한 벗짚, (c)는 0.1% NaOH 수용액에 처리한 벗짚, (d)는 3% NaOH 수용액에 처리한 벗짚의 횡단면 세포조직의 모습이다. 기건상태의 벗짚은 세포 각각의 형태가 분명하게 관찰되지 않고 오그라들어 있는 현상을 하고 있으며 증류수에 침지한 경우 세포벽이 약간 팽윤되어 있는 것을 알 수 있다. 한편 NaOH 수용액에 침지한 벗짚은 세포벽의 팽윤이 뚜렷이 관찰되었고 NaOH 농도가 증가할수록 팽윤정도가 증가하는 경향을 보였는데 이와 같은 결과는 활엽수를 냉알칼리 수용액에 처리하였을 때 세포벽 섬유부분의 면적이 증가한다는 연구결과⁽¹⁹⁾와 유사하였다.

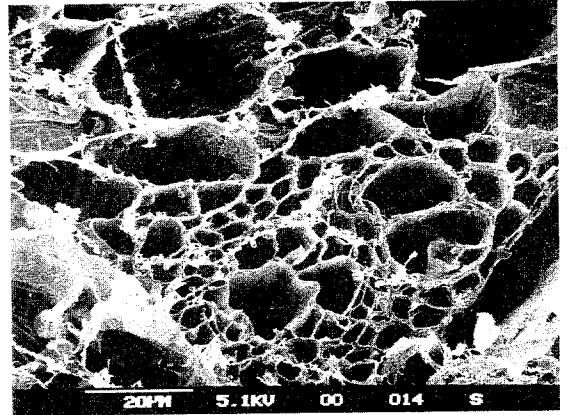
다. 색도변화

Fig. 3-8은 NaOH 수용액의 농도에 따른 벗짚펄프의 색도변화를 나타낸 것이다. 즉, NaOH의 농도가 증가함에 따라 L(명도)값은 변하지 않았으나 a(녹색 - 적색)값은 약간 감소하는 경향을 보였으며 b(청색 - 황색)값은 완만한 증가를 나타냈다.

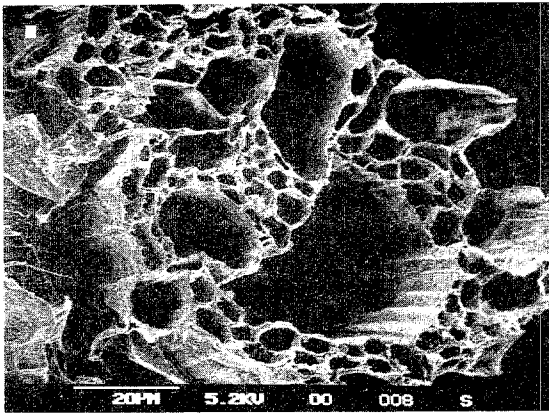
Fig. 3-9는 NaOH 수용액의 농도에 따른 펄프용기 표면에 대한 색도변화를 L, a, b값으로 나타낸 것이며, Whiteness값은 Fig. 3-10이었다. 건조온도가 증가함에 따라



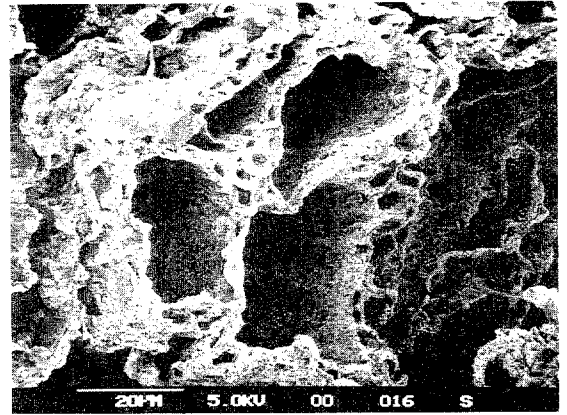
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 3-7 벗짚 세포조직의 변화

(a) 기건상태 (b) 증류수 침지 (c) 0.1% NaOH 침지 (d) 3% NaOH 침지

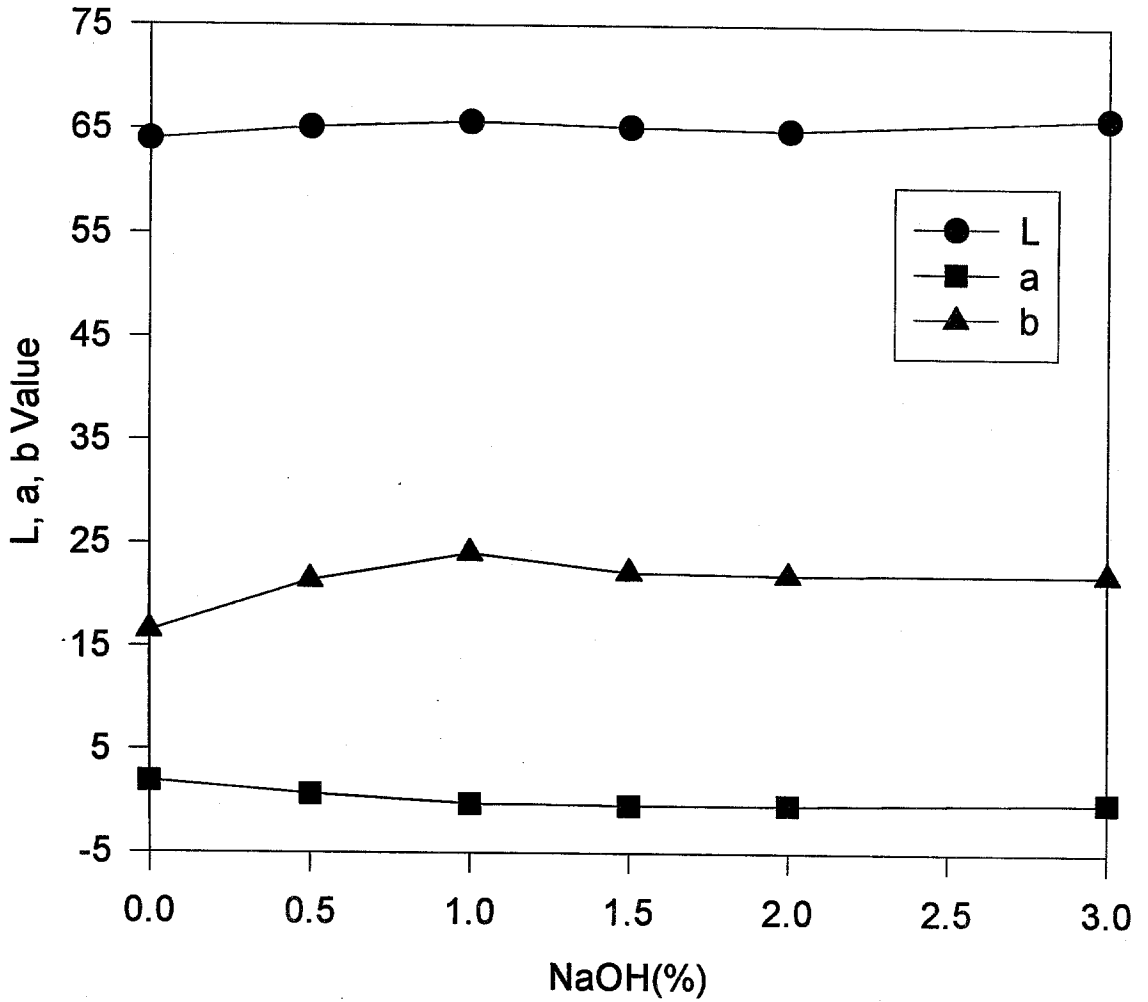


Fig. 3-8 Effect of NaOH pretreatment on the color of the rice straw

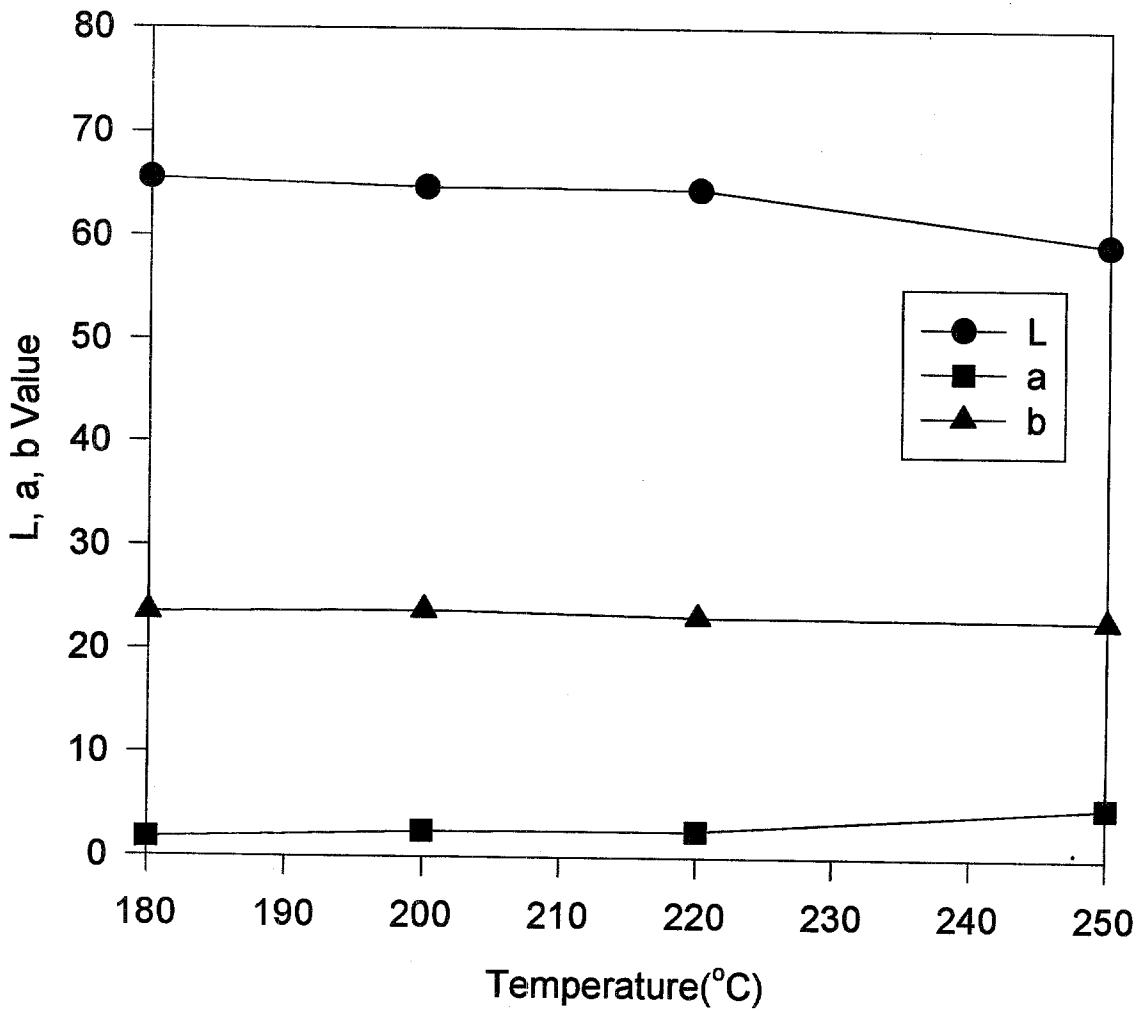


Fig. 3-9 Effect of drying temperature on Hunter L, a, b value of the tray.

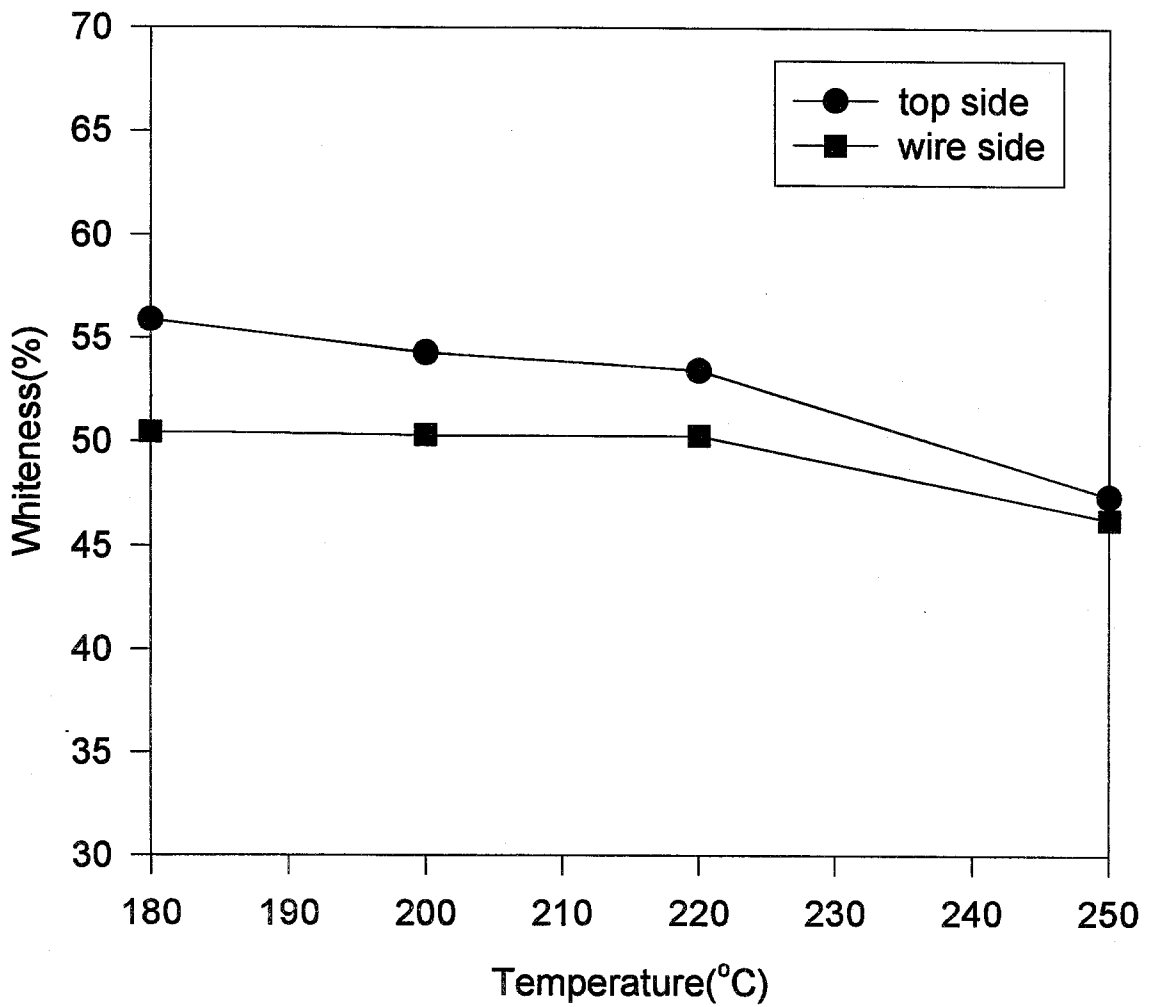


Fig. 3-10 Effect of drying temperature on whiteness of the tray.

L(명도)값은 점차 감소하고 a값은 약간 증가하는 경향을 보였으며, 220℃까지는 온도증가에 따라 명도면에서 큰 영향을 받지 않았으나 250℃의 온도에서 건조한 트레이는 명도에서나 미관에서 불량한 결과를 나타내었다. 또한 Whiteness는 와이어면과 상부면 모두 온도증가에 따라 감소하는 경향을 보였고 동일온도에서는 상부면의 Whiteness가 더 높게 나타났다. 몰드제품에서는 변형과 변색이 중요한 인자이므로 본 실험에서 적용한 180℃에서 220℃의 온도범위에서는 3%의 NaOH로 침지 전처리 한 벗짚 자체의 명도와 유사한 명도값을 나타내어 펄프용기의 변색현상이 크게 발생하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 250℃에서 열판건조한 경우는 명도값이 60 미만을 보여 펄프용기 표면이 그을릴 만큼 변색됨을 알 수 있었다.

라. 펄프용기의 건조실험

건조시간에 따른 펄프용기의 함수율 변화를 Fig. 3-11에 나타내었다. 건조초기로부터 3분에서 5분 경과시 건조온도에 따라 함수율의 차이는 비교적 크게 나타났고 6분만에 180℃를 제외한 모든 온도에서 함수율이 10% 미만에 도달하였다. 일반적으로 펄프 성형포장재의 건조에는 열풍건조, 원적외선건조 등이 주로 사용되고 있으나 본 실험에서는 열판건조방식을 적용하여 펄프용기를 건조하였는바 적정건조조건은 건조온도 200℃이상이며 건조시간 6분 정도가 소요됨을 알 수 있었다.

또한 건조과정에서 건조온도별에 따른 펄프용기의 수축율을 Fig. 3-12로 나타낼 수 있었다. 즉, 길이 방향, 폭 방향 모두 건조시간이 경과함에 따라 증가하는 경향을 보였고 고온일수록 수축율은 컸으며 5분 이후에 비교적 일정한 수축율을 보였다. 특히 폭 방향의 수축율이 길이 방향 수축율 보다 약 3배 정도 크게 나타났다. 펄프몰드 포장재와 같은 섬유질 성형포장재를 공업포장용 완충재로 사용할 경우 치수 안정성은 매우 중요한 인자로 작용하기 때문에 적절한 건조조건을 구명하여 변형 및 수축을 방지하는 기술이 요구된다.

2. 열기계 벗짚펄프의 제조방법별 제특성 분석

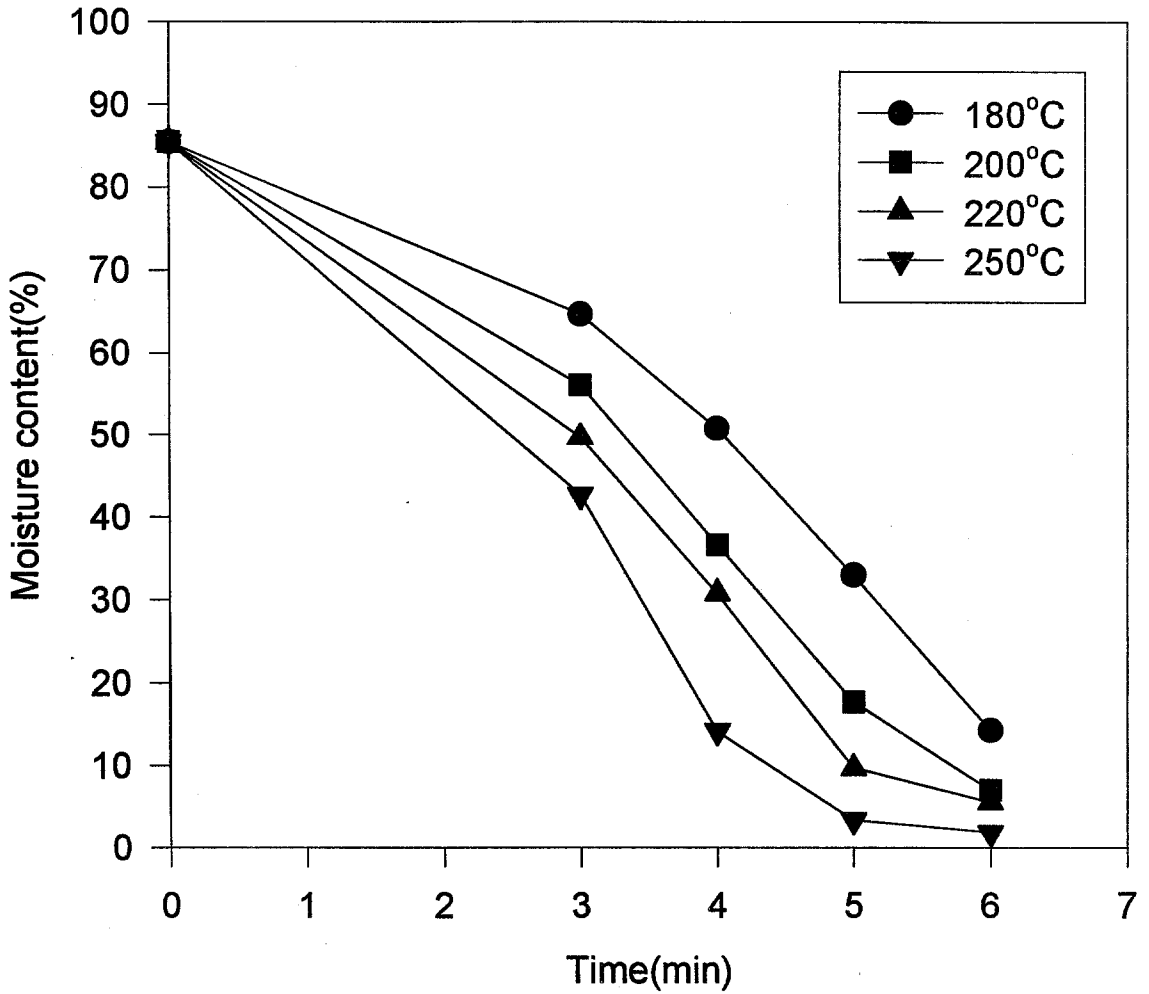


Fig. 3-11 Effect of drying temperature on moisture content of the tray.

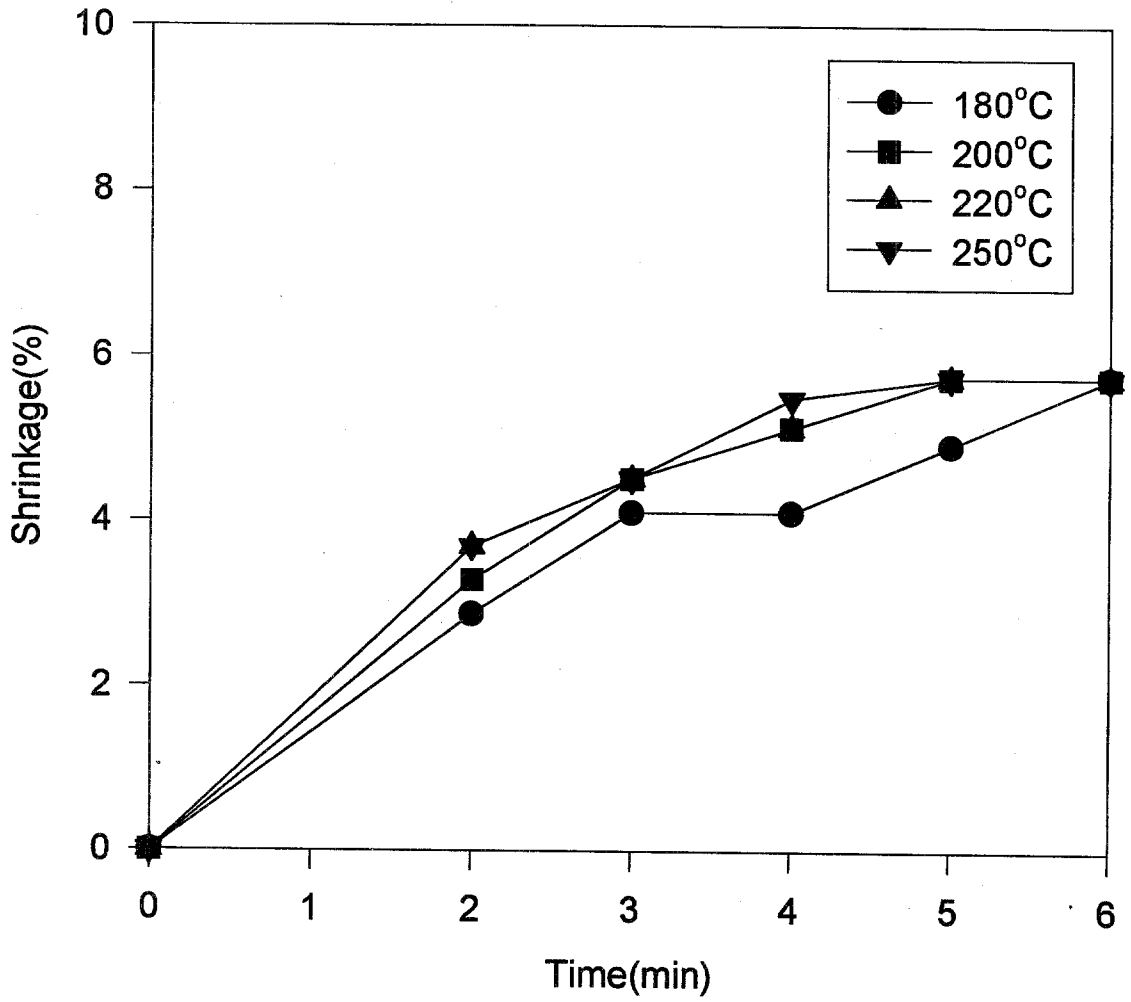


Fig. 3-12(a) Effect of drying temperature on shrinkage in width of the tray.

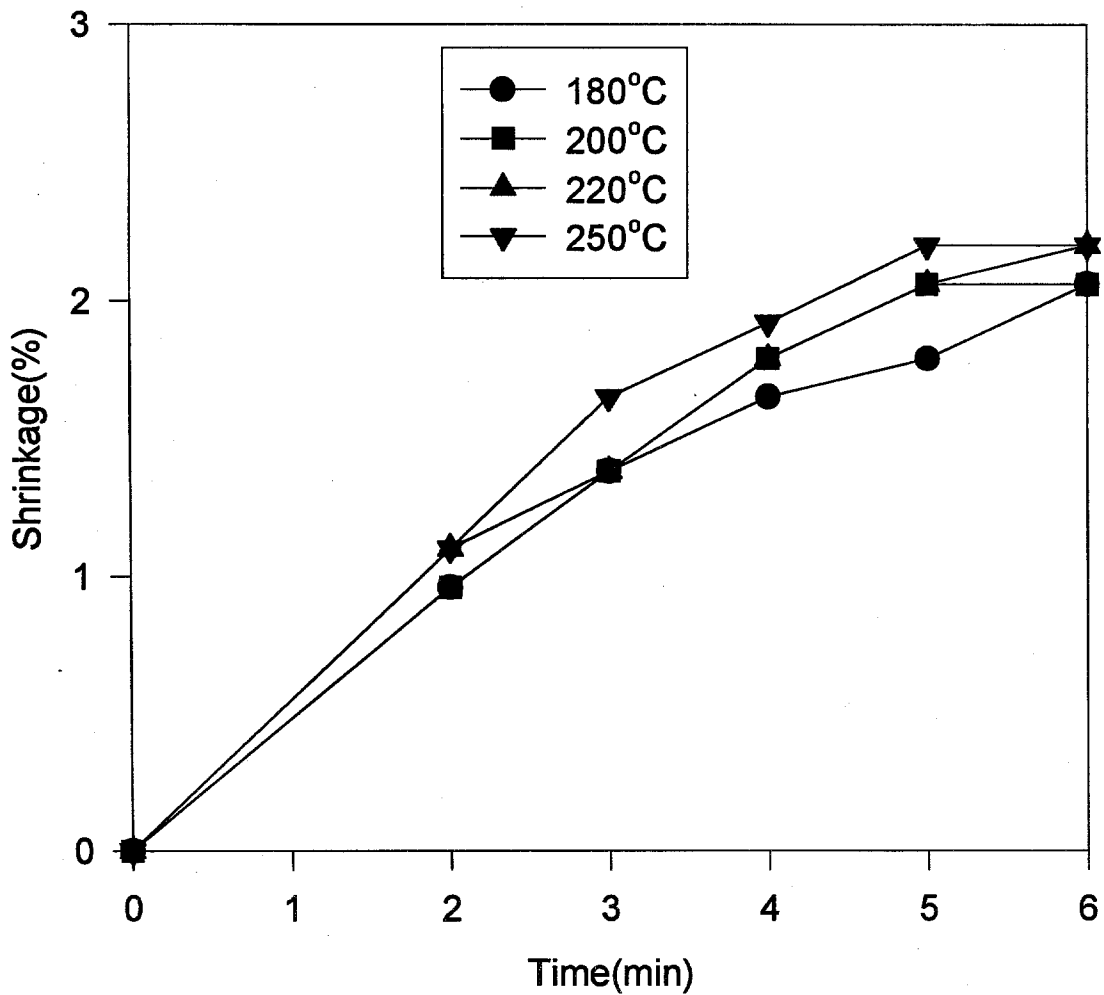


Fig. 3-12(b) Effect of drying temperature on shrinkage in length of the tray.

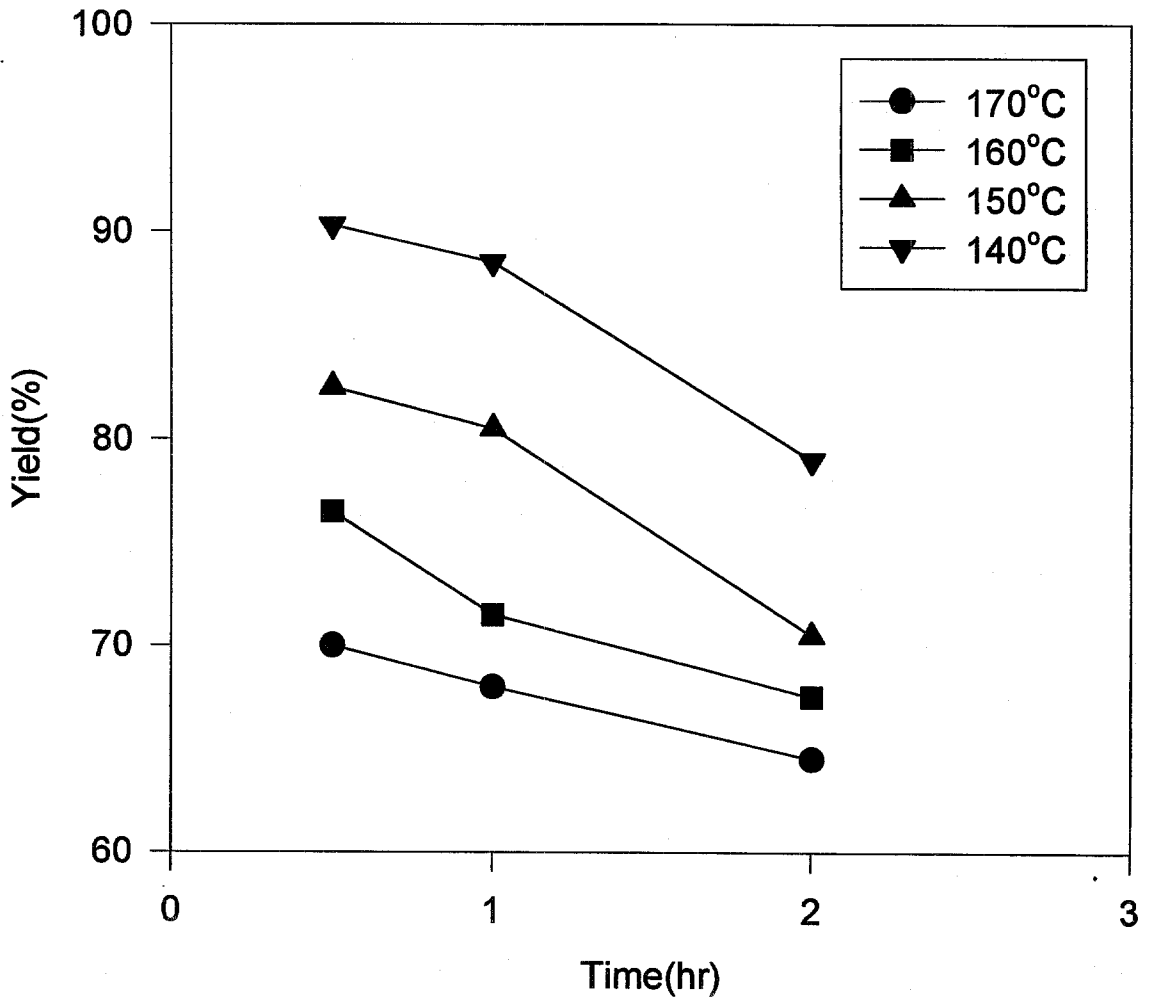


Fig. 3-13 Pretreatment yield change of rice straw pulp.

가. 펄프수율

증해온도와 증해시간에 따른 열기계 벗짚펄프의 수율을 측정한 바 Fig. 3-13과 같았다. 즉, 170°C의 증해온도에서 30min ~ 2hr 동안의 증해는 65% ~ 70% 범위의 수율을 얻을 수 있었고, 140°C에서는 80% ~ 90% 범위의 수율을 얻을 수 있어 증해온도가 높고 증해시간이 길수록 수율은 떨어지는 것으로 나타났다.

나. 리그린의 변화

펄프중에 함유한 리그린의 변화를 측정한 바 Fig. 3-14와 같았다. 즉, 증해온도가 높을수록 리그린의 함량은 높게 나타났고, 동일온도에서의 리그린 함량은 증해시간이 길수록 낮아지는 현상을 보였다. 증해온도가 높을수록 리그린 함량이 높은것은 백분율로 계산되는 수치이므로 탈리그린(Delignification)과 함께 cellulose계가 고온하에서 리그린에 비하여 상대적으로 많은 양 용출하거나 분해되어 제거되기 때문⁽²⁰⁾으로 사료된다.

다. 조직관찰

Rotating digester에서 절단벗짚을 140°C와 160°C 그리고 170°C에서 1시간씩 증해하여 만든 펄프용기의 단면을 60배 확대 촬영한 결과 Fig. 3-15와 같았다. 온도가 낮을수록 섬유장의 조직은 거칠게 나타났고 팽윤정도는 온도가 높을수록 증가하는 것으로 보였다. 160°C와 170°C에서 처리한 펄프조직에서는 유의적 차이를 볼 수 없었으나 140°C와의 차이는 큰 것으로 판단된다. Fig. 3-16은 170°C에서 1시간 처리된 트레이를 정면과 측면에 대하여 39배 확대 촬영한 것이다. 펄프를 탈수후 성형과정에서의 섬유장 배열이 측면과 정면이 다를 수 있다. 이는 펄프몰드제품의 인장강도와 압축강도 그리고 탄성도 등의 물성치를 개선함에 있어 조직의 배열방법, 강도보강제 및 결합제 등의 첨가에도 참고가 될 것이다. 특히 벗짚을 포장소재의 펄프로 제조하는데에는 섬유장의 길이를 임의로 조절할 수 있으므로 현미경 관찰을 통하여 인장강도와 경도 그리고 cushion등과의 관계를 고려한 적정 운전조건을 규명할 수 있다.

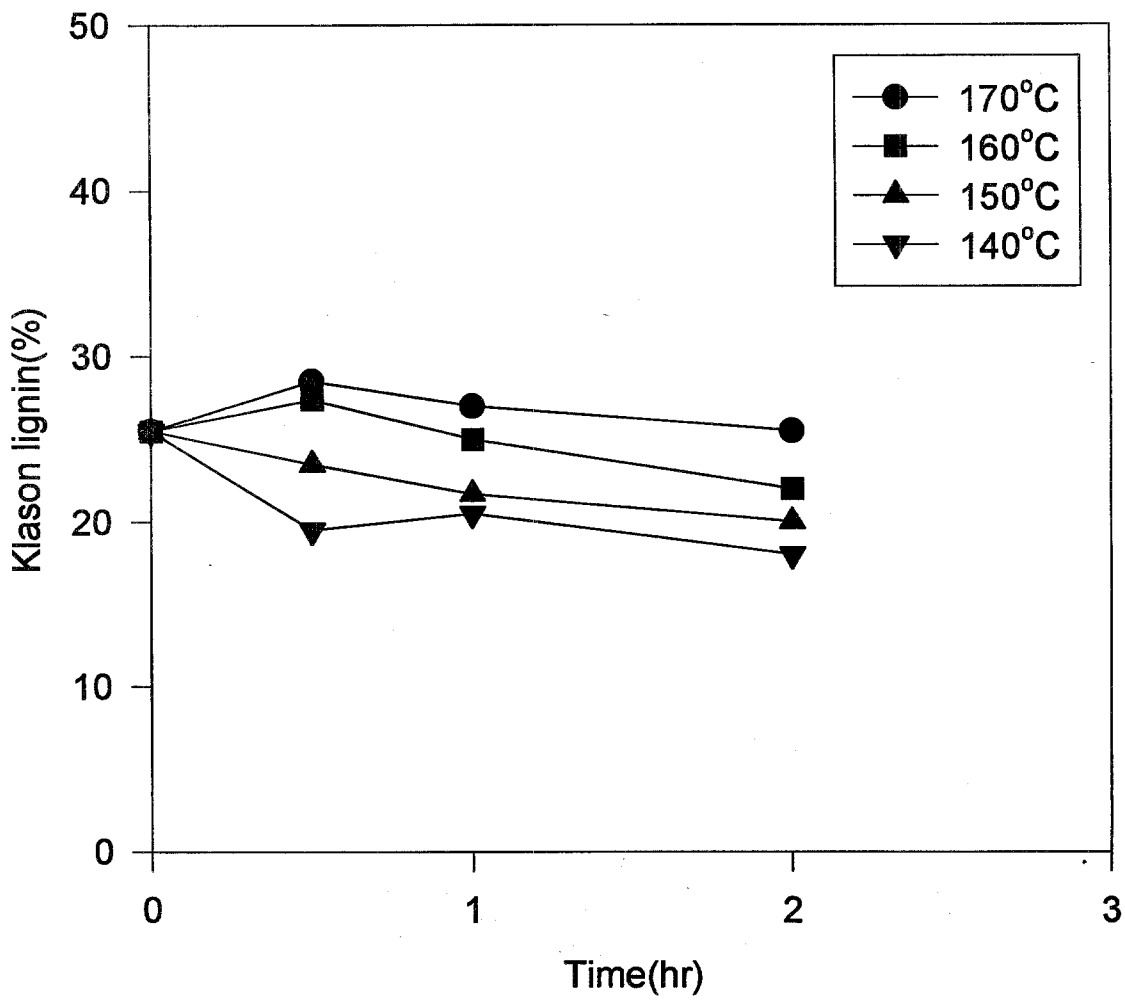
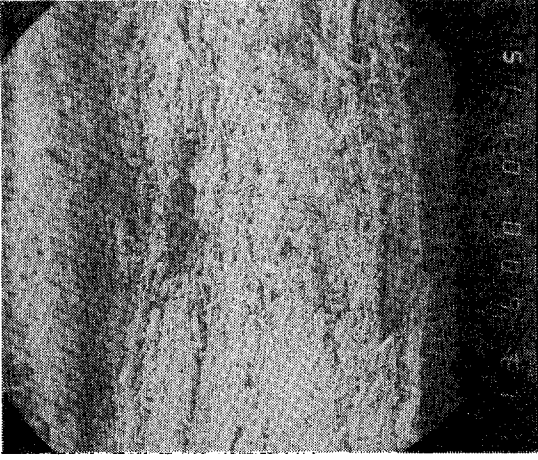
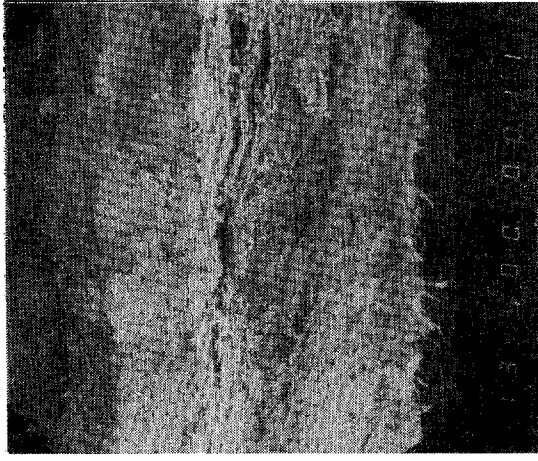


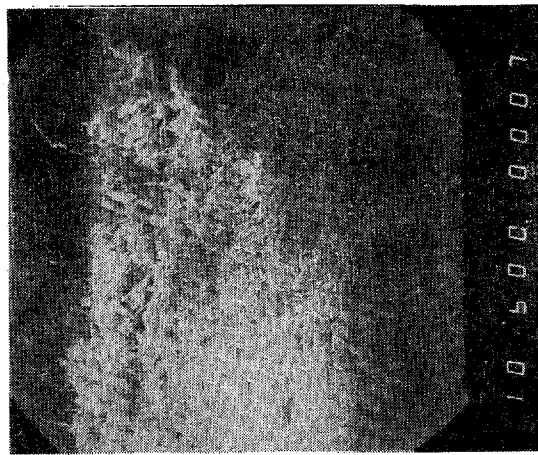
Fig. 3-14 Klason lignin change of rice straw pulp.



(a)



(b)



(c)

그림 3-15 Cross-section of rice straw pulp
(a) at 140°C (b) at 160°C (c) at 170°C

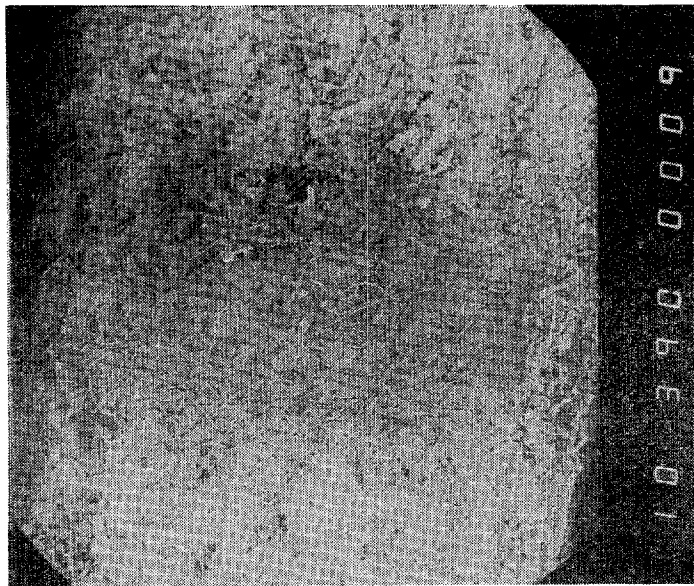
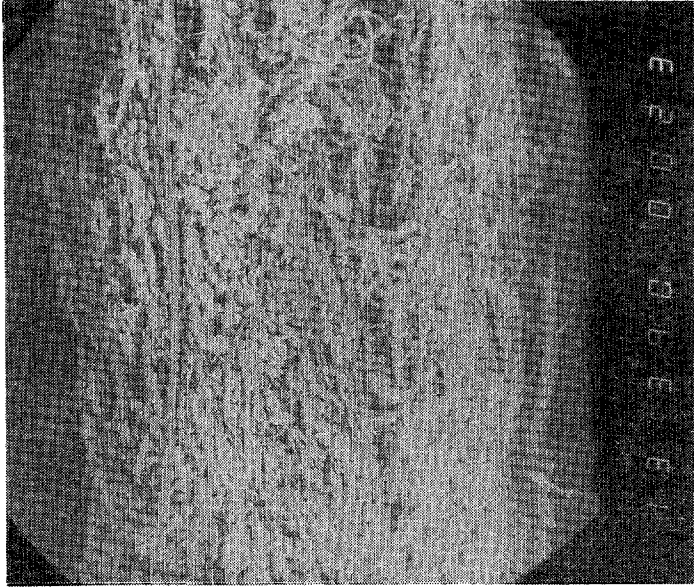


그림 3-16 Cross and front of rice straw pulp at 170°C

라. 펄프용기의 강도적 성질

증해온도와 시간을 달리하면서 제조한 열기계 벗짚펄프와 유통중에 있는 국내의 펄프몰드제품에 대하여 인장강도와 경도 그리고 탄성도에 대한 특성치를 측정된 바 Fig. 3-17, Fig. 3-18 및 Fig. 3-19와 같았다.

Fig. 3-17에서 고지를 원료로 하여 제조된 국내 펄프몰드용기의 인장강도는 $5,400\text{g}/\text{cm}^2$ 부근이었고, 수입제품은 $2,800\text{g}/\text{cm}^2$ 이었으며, 벗짚펄프로 제조된 용기의 인장강도는 증해온도와 증해시간에 따라 차이를 보이고 있었다. 동일한 증해시간에서 170°C 에서만 증해시간이 증가할수록 인장강도가 낮아지었고, 나머지 4가지 온도 조건에서는 높아지는 것으로 나타났다. 고지 펄프몰드용기는 결합제를 소량씩 혼합하여 성형하는 Know-How를 갖고 있지만 본 실험의 열기계 벗짚펄프는 결합제를 사용하지 않았기 때문에 고지 펄프몰드용기에 비하여 낮게 측정된 것으로 사료되며 상품화하는데는 어려움이 없을 것으로 보였다.

Fig. 3-18은 경도를 측정된 것이다. 수입제품용기의 경도는 15.2kg 이었고 국내 펄프용기는 7.5kg 이었으며 열기계 벗짚펄프용기는 $12\text{kg} \sim 15\text{kg}$ 의 범위에 있었다. 증해시간이 길수록 경도는 떨어지는 현상을 보이고 있었고 열기계 벗짚펄프의 제조조건에서 경도특성은 펄프몰드용기 조건을 충족하고 있는 것으로 나타났다.

Fig. 3-19는 탄성도를 나타낸 것이다. 국내 고지펄프용기는 0.85, 수입용기는 0.92이었으며 열기계 벗짚펄프용기는 0.8 ~ 0.93의 범위에 있었다. 탄성도는 증해온도와 시간에 큰 영향을 받지 않고 있었고, 국내의 고지펄프용기에 비하여 높은 것으로 보여 고지대체용으로의 활용도가 높았다.

3. 벗짚펄프의 펄프몰드 적응실험

고지나 폐.휴지 등을 원료로 하여 농산물 및 공산품의 펄프몰드를 대량생산하고 있는 펄프몰드 제조업체에서 벗짚펄프의 활용 가능성을 알아 보기 위하여, 벗짚을 화학기계 및 열기계 처리한 펄프를 생산 Line에 투입하고 공산품용 펄프몰드를 제조

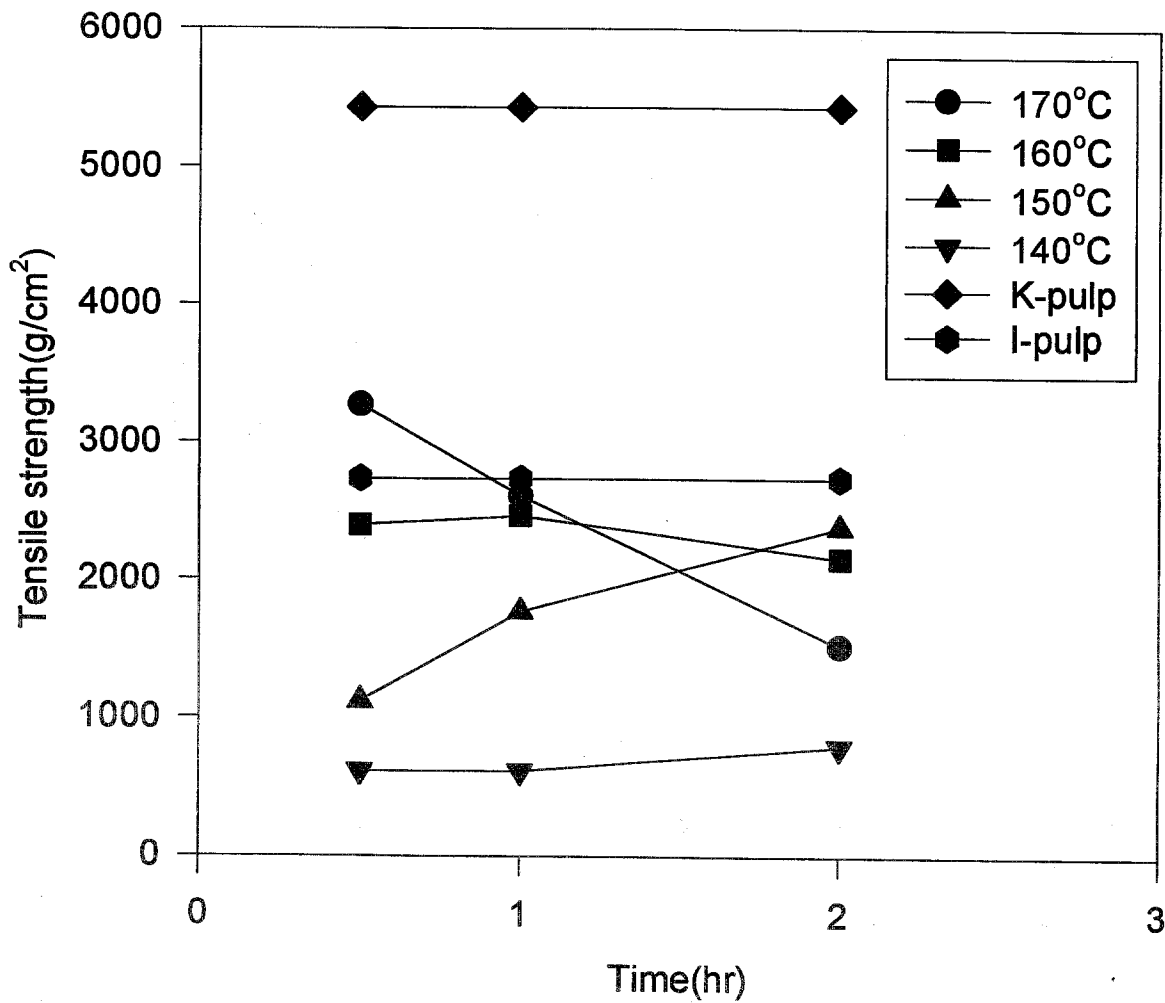


Fig. 3-17 Tensile strength change of rice straw pulp.

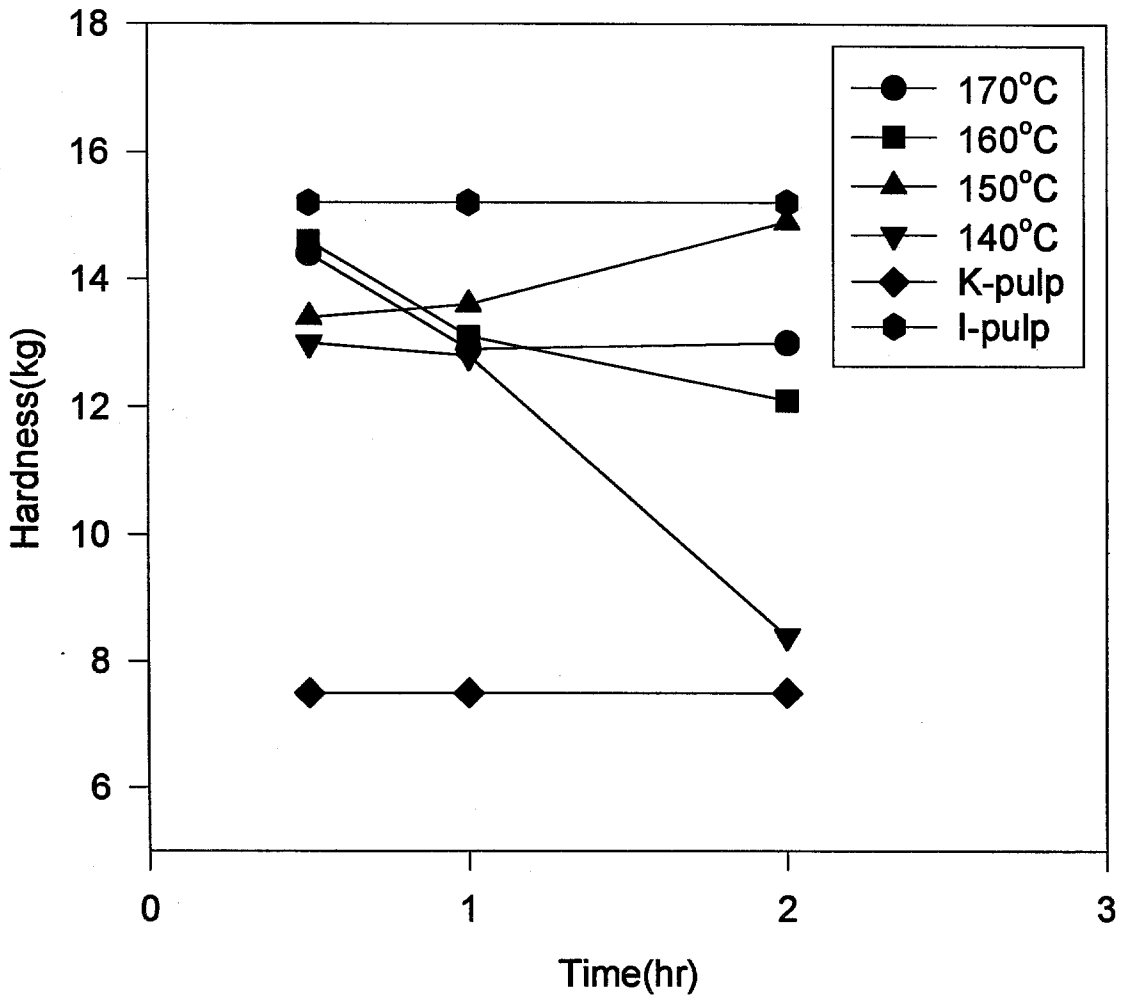


Fig. 3-18 Hardness change of rice straw pulp.

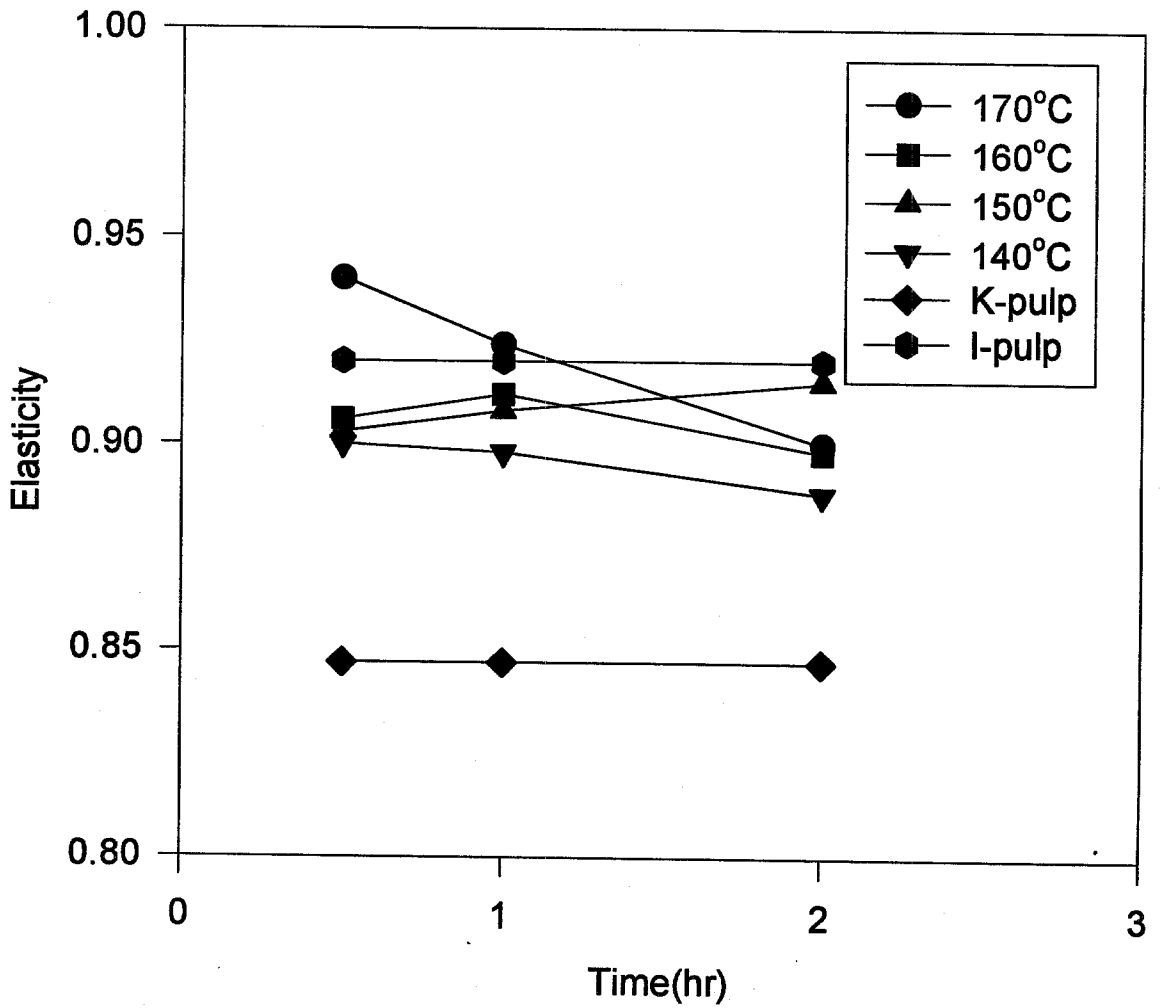


Fig. 3-19 Elasticity change of rice straw pulp.

하였다. 성형에 사용한 몰드는 전자제품의 완충포장재이었으며 제조공정은 고지를 원료로한 제조공정과 동일하였으며 원료배합은 벗짚과 고지의 비율을 5 : 5로 한 경우와 벗짚펄프 100%로 한 경우로 나누어 제조하였다.

그림 3-20은 원료 배합비별로 제조된 완충재이다. 펄프몰드제품은 품질평가에 관한 실험방법이 정립되어 있지 않은 상태이므로 펄프몰드에 제품을 담은 후 낙하, 충격 및 진동시험 등을 통하여 제품손상여부와 외관상태의 관능평가로 이루어지고 있다. 외관시험으로는 펄프몰드의 성형성, 건조에 의한 수축율, 분진 발생을 등이 이루어지고 있고 소재에 대한 물성치로는 인장강도, 경도, 탄성도, 섬유장의 길이, 리그린 함량 등의 측정을 통하여 분석하고 있다. 본 실험에서는 포장재용 펄프자원을 벗짚으로 대체하는데 그 목적이 있었기에 산업용 기계장치에서의 성형성과 건조후의 수축관계 그리고 선택관계 등의 관능상태를 보았다.

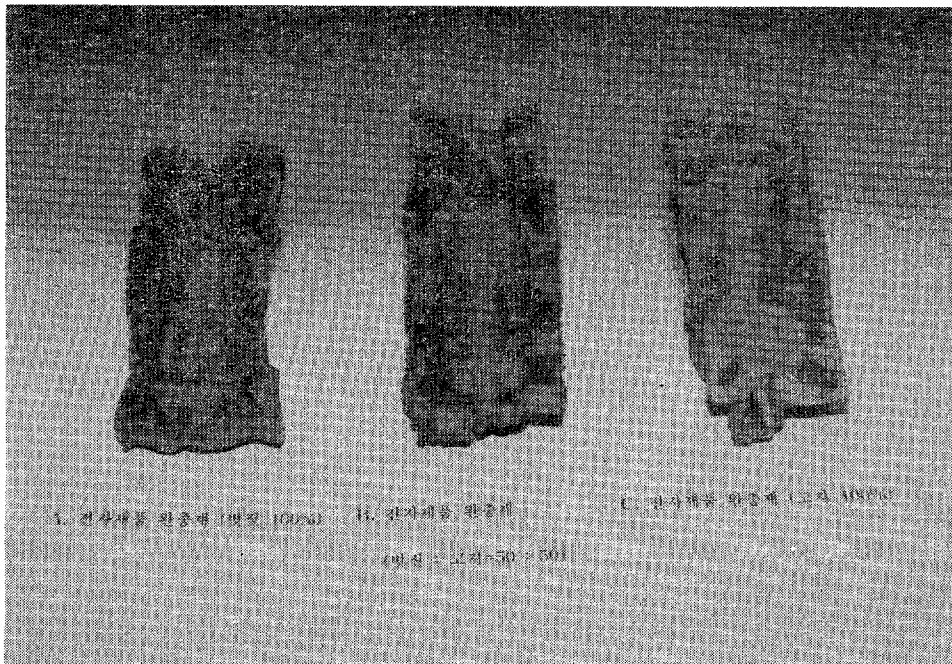


그림 3-20 원료 배합비별 완충재

즉, 벚짚펄프를 원료로 한 경우에서도 고지를 원료로 한 경우와 마찬가지로 순조로운 성형성을 보였고, 건조를 위한 이형에서도 문제가 없는 것으로 실험과정에서 알 수 있었다. 다만 금속몰드에 부착되어 있는 망이 40mesh 정도이므로 섬유장의 길이분포가 고루지 못한 경우에 성형후의 성형면이 깨끗하지 못한 점이 발견되었다. 섬유장의 길이가 너무 긴 경우에는 기존의 40mesh망에서 성형면이 깨끗하지 못하였으므로 mesh를 낮추거나 운전과정에서 진공도 조절이 요구되었고, 섬유장의 길이가 고지보다 짧을 경우에는 망에 끼는 경우가 발생하고 건조후에도 인장강도에 문제가 있을 것으로 보여 고지와 동일비율로 혼합, 제조하는 것이 바람직한 것으로 나타났다. 일반적으로 고지의 섬유장은 800μ 내외이며 벚짚은 650μ 에서 3480μ 범위이며 밀짚의 평균섬유장은 1090μ 로 보고되고⁽²¹⁻²²⁾ 있어 벚짚의 펄프몰드 소재가 성능은 매우 높다. 건조후의 수축율과 소요 건조시간에서도 고지펄프와 유사하였으며, 분진 발생율은 벚짚의 섬유장이 고지의 섬유장 보다 길기 때문에 실효성이 더 있으며 cushion도 좋을 것으로 판단되었다. 특히 벚짚은 전처리 방법에 따라 섬유장의 길이를 조절할 수 있으며 선택도 탈색 또는 염색 등을 통하여 임의 조절이 가능하므로 다양한 형태의 펄프몰드 포장재로 사용할 수 있음이 확인되었다.

4. 가압성형에 의한 용기제조실험

가. 벚짚 종이sheet의 가압성형

기존의 펄프몰드제품이 플라스틱제품에 비하여 생산성 측면에서 복잡한 제조공정과 생산능률 저하로 실용성을 잃고 있고, 다만 제품의 포장 특성상 또는 환경규제 등을 이유로 일부 사용되고 있다. 본 실험은 생산성이 높은 새로운 형태의 제조공정을 개발하기 위한 연구로 벚짚을 종이 sheet로 제조한 다음 분무기로 수분함량 30%로 조절하여 가압성형하였다. 그림 3-21은 실험으로 부터 얻은 건조품이다. 벚짚을 종이sheet로 제조하는 공정은 오래전 부터 많은 연구자^(13,15)로 부터 수행되어 왔고, 종이용도에 적합한 제특성과 분석 등이 이루어진 상태이나 저급의 종지로 제조한 후

두꺼운 판지형태의 포장재로 활용하는 연구는 없었다.

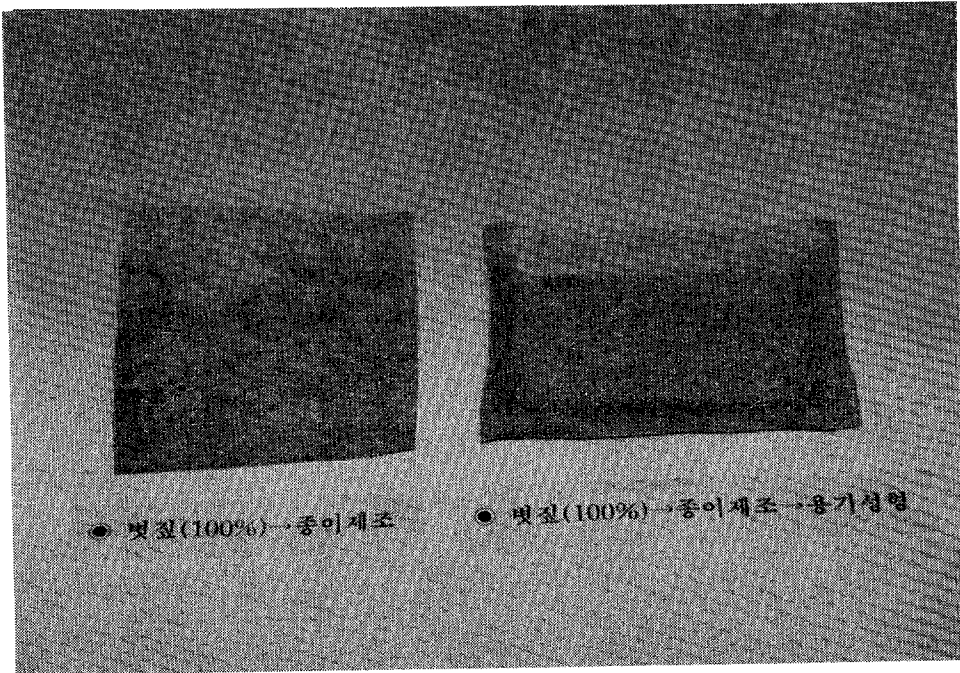


그림 3-21 벗짚펄프를 이용한 종이와 용기

벗짚펄프를 종이sheet로 제조하는데 열기계 벗짚펄프는 화학기계 벗짚펄프에 비하여 sheet제조과정에서 발에서의 이완과 건조후의 sheet와의 분리가 어려웠다. 반면에 화학기계 벗짚펄프는 열기계 벗짚펄프에 비하여 제조과정이 복잡하고 수산화나트륨의 회수와 세척,탈수 등으로 인한 제조경비 부담이 높아 포장소재의 저급펄프로 이용하는데는 다소의 문제점을 갖고 있었다. 제조된 종이sheet를 분무가수하여 가압 및 건조 등을 수행하였는 바 지류용기로 활용하는데에는 적정의 결착제 선정과 가공공정의 단순화를 통하여 해결 될 수 있을 것으로 보였다.

나. 골판지 원지의 가압성형

골판지 상자용 원지를 농산물 포장용기로 활용하기 위하여 기건상태의 원지를 10%, 30% 및 50%의 수분함량으로 분무, 가수한 후 120℃에서 가압건조하였다. 그림 3-22는 30%의 수분함량의 원지를 120℃에서 1분간 가압건조한 제품이다. 건조온도가 120℃보다 높을 경우에는 원지의 표면이 타는 현상을 보였고, 수분함량이 30%보다 낮은 경우는 건조후 절곡된 부분의 유지가 약하여 용기로의 역할을 못하였으며 수분함량이 높은 경우는 건조시간이 길게 나타나 생산성에 문제가 있는 것으로 나타났다. 실험에서 나타난 골판지 원지의 가압성형조건은 30%의 수분함량에서 건조온도 120℃로 건조, 성형하는 것이 바람직한 것으로 나타났다

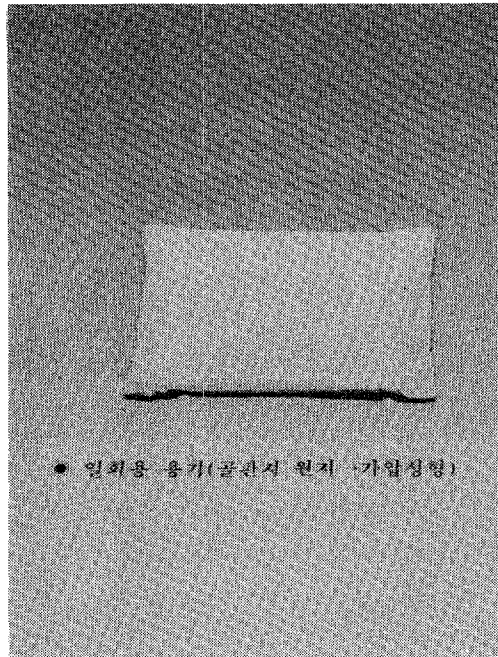


그림 3-22 골판지원지를 이용한 용기

다. 벗짚펄프의 가압성형

벗짚으로 제조된 화학기계 벗짚펄프와 열기계 벗짚펄프를 원료로 하여 채소용 용기를 가압성형하였다. 펄프 현탁액에 물을 첨가하여 0.6%의 농도로 조절한 다음

트레이 1개당 2500ml 씩 취하여 감압탈수장치로 부터 40초간 탈수하였다. 감압탈수시킨 매트상 시료를 용기 형상의 몰드가 부착된 열압성형장치로 옮겨 20초 동안 가압하면서 1분 10초 동안 유지하여 용기 형태를 만들었다. 성형된 용기는 동일한 형상의 몰드가 장착된 가압성형 고온건조장치에 옮겨 건조하였다. 실험에서 얻은 건조물은 그림 3-23과 같다. 즉, 벗짚펄프를 탈수/가압성형에 의한 용기제조는 섬유장의 길이와 펄프제조 방법별에 관계없이 성형성과 건조특성이 우수한 것으로 나타났고 벗짚펄프의 함유율은 100%까지 가능하였다. 섬유장의 길이가 고지의 섬유장 보다 짧을 경우에는 결합력과 인장강도가 기존 펄프몰드 트레이에 비하여 약할 것으로 보이나 벗짚의 평균섬유장(1450 μm)이 고지(800~1000 μm)보다 길기 때문에 큰 문제가 없는 것으로 사료되었다. 제조공정이 복잡할 것으로 보여 실용화하는데 많은 시간이 소요될 것이 예측되었으나, 최근에 가압성형방식의 펄프용기 제조장치가 개발되어 이용되고 있는 점을 고려할 때 벗짚펄프의 활용성은 매우 높아질 것으로 판단된다.

5. 열기계 벗짚펄프의 제조공정 및 기계장치 개발

벗짚을 펄프화할 수 있는 제조방법으로는 화학기계 벗짚펄프와 열기계 벗짚펄프로 나눌 수 있었다. 화학기계 벗짚펄프는 수산화나트륨의 첨가와 벗짚의 세척, 탈수 등의 공정으로 펄프제조비용이 열기계 벗짚펄프에 비하여 높고 관련설비도 복잡하여 저급용의 포장소재 펄프용에는 적합하지 않았다. 성형성과 건조변형도 등의 제특성 요구에 화학기계 벗짚펄프와 열기계 벗짚펄프 모두는 충족하는 것으로 성형실험을 통하여 확인하였으나 실용화를 위한 제조공정은 열기계 벗짚펄프로 추진되어야 할 것으로 판단되어 이에 대한 제조공정을 설정하고 주요 기계장치를 설계, 제작하였다. 열기계 벗짚펄프 제조공정으로는

Straw → Straw cutter → Dust separator → Rotating digester → Hydra pulper → Tank → Refiner(or Beater) → Pulper tank 이며, 주요 기계장치는 Rotating digester, Hydra pulper 및 Beater를 들 수 있었다.

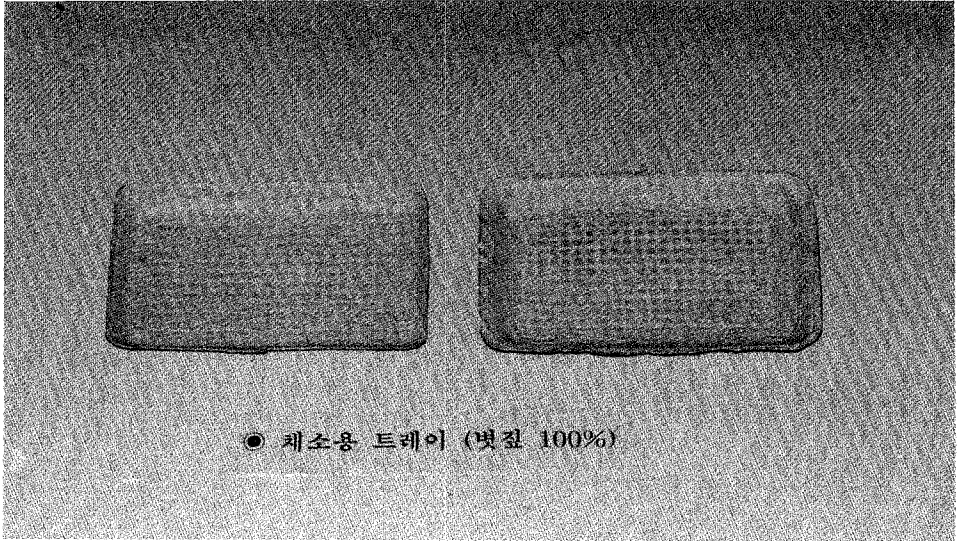


그림 3-23 벼짚펄프를 이용한 가압성형 건조물

여 백

가. Rotating digester

일정한 크기로 절단된 볏짚을 물과 혼합한 후 고온고압조건에서 증해할 수 있는 장치이다. 볏짚과 물이 고압하에서도 혼합이 될 수 있도록 본체가 종방향으로 저속 회전토록 설계, 제작하였다. 그림 3-24는 실험용 회전증해기의 시작품이다. 증해과정에서 증해액이 누설되지 않으며 온도와 시간 그리고 회전속도를 제어할 수 있도록 설계하였으며 안전변의 부착으로 안전에도 유의하였다. 온도측정은 CA센서를 사용하였고 digital display 부착으로 증해액의 온도를 확인토록 하였으며 사용한 회전속도는 2RPM이 적정치이었다. 장치의 규격은 용기용량이 20리터이며 재질은 SUS 316으로 하였고, 동력은 220V x 6Kw x 3상으로 열원은 전기히타이었다.

나. Hydra pulper

증해된 Straw chip을 원통용기내에 넣고 회전하는 Spiral rotor에 의해 고농도로 해리할 수 있는 장치로 그림 3-25와 같이 제작하였다. 증해정도와 펄프의 용도에 따라 해리정도를 달리 할 수 있도록 Rotor의 회전수를 500RPM ~ 1500RPM으로 조절할 수 있도록 설계하였으며 해리시간을 최소화하기 위하여 Spiral type을 선택하였으며, 용기내 바닥에는 전기히타를 내장하였으며 제어는 무접점방식을 택하였다.

장치의 규격은 용량이 20리터이며 재질은 SUS 304으로 하였고, 농도는 15 ~ 20%까지 제조할 수 있도록 하였다.

다. Beater

Hydra pulper에서 해리된 볏짚을 펄프로 만드는 장치이다. 해리된 볏짚이 연속적으로 해섬되도록 해리컬 기어가 부착되어 있어 이들 사이로 해리볏짚이 연속적으로 들어가면서 beating토록 설계, 제작되었다. 그림 3-26는 Beater의 시작품이다.

장치의 규격은 20리터이며, 크기는 1.3m x 0.5m x 0.6m이며 해리컬 기어의 회전수는 500RPM으로 고정되었다.

위의 Rotating digester, Hydra pulper 및 Beater는 볏짚을 기계적 펄프로 제조할 뿐 아니라 왕겨와 보리짚 그리고 밀짚등에도 사용할 수 있도록 제작되었다.

제 4 절 결 론

최근에 와서 고지나 폐지를 이용한 펄프몰드제품으로는 농산물의 계란난좌, 청과물 트레이 그리고 공산품의 전자 및 가전제품등에 일부 사용되고 있으나, 향후 펄프 포장소재의 소비량은 증가할 것으로 예측된다.

국내 목재펄프 자원은 매우 부족한 실정에 있으나 일년생의 비목본섬유의 벗짚과 왕겨펄프자원은 풍부하므로 이를 분해성의 포장소재로 개발한다면 원료수급에서 만이 아니라 사회적, 경제적 차원에서도 지대한 효과가 있을 것으로 판단되었다.

(1) 벗짚의 전처리 수율은 NaOH 농도가 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 해섬된 벗짚펄프 중에 존재하는 holocellulose의 함량은 약간 증가하고 Klason 리그닌은 약간 감소하는 경향을 보였다.

(2) 펄프용기의 열판건조에서 6분만에 10% 미만의 함수율을 얻을 수 있었고, 건조중 수축율은 길이 방향, 폭 방향 모두 건조시간이 경과함에 따라 증가하는 경향을 보였으며 고온일수록 용기의 수축율은 크게 나타났다.

(3) 벗짚을 펄프로 개발하기 위하여 화학기계 펄프와 열기계 펄프로 나누어 제조, 실험하였고, 포장소재로의 경제성이 있는 펄프는 열기계 펄프이었다.

(4) 열기계 펄프 제조장치로 Rotating digester, Hydra pulper 및 Beater를 선정하고 이를 설계, 제작하였으며 제작기계에 대한 성능과 운전적정조건을 찾기 위하여 채소류용 포장용기를 제조, 열물성을 측정한 바 펄프몰드 소재로의 적응성이 매우 좋았고 개발기계의 성능도 우수한 것으로 나타났다.

(5) 열기계 벗짚펄프는 Rotating digester에서 가열온도 170℃, 가열시간 30분으로 증해하는 것이 가장 좋은 것으로 나타났고, 물성값에서도 기존의 고지펄프몰드 제품보다 우수한 것으로 나타났다.

(6) 국내의 펄프몰드 생산업체에서 산업용 기계설비에 벗짚펄프를 원료로한 공산품 완충포장재를 제조 실험한 바 종이펄프로 제조된 완충포장재와 성형성, 건조특성 및 제반 물성특성 등에서 차이를 보이지 않아 펄프몰드 소재로 실용화 하는데는 문제가 없었다.

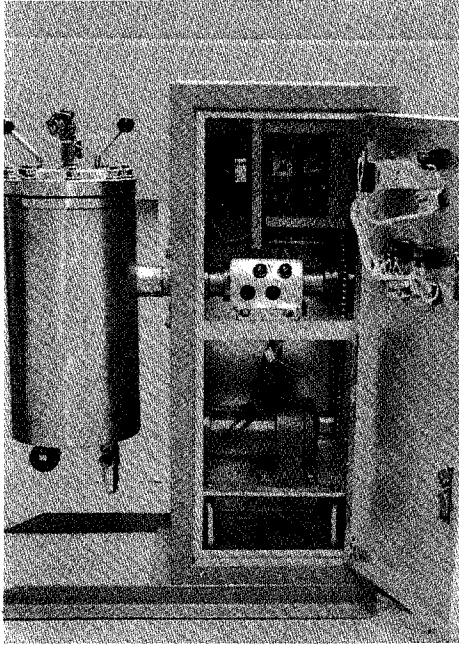


그림 3-24 The picture of Rotating digester

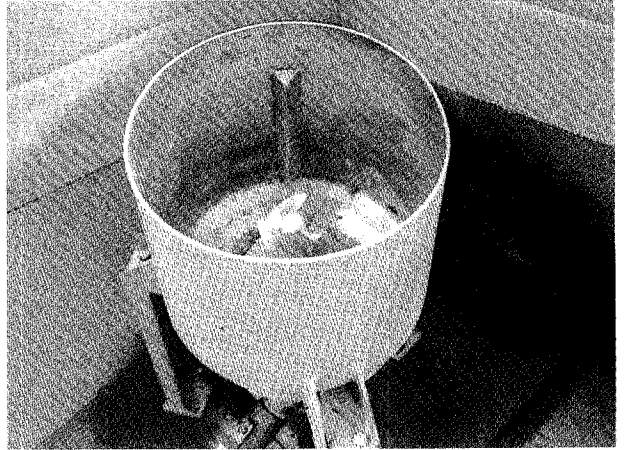


그림 3-25 The picture of Hydra pulper

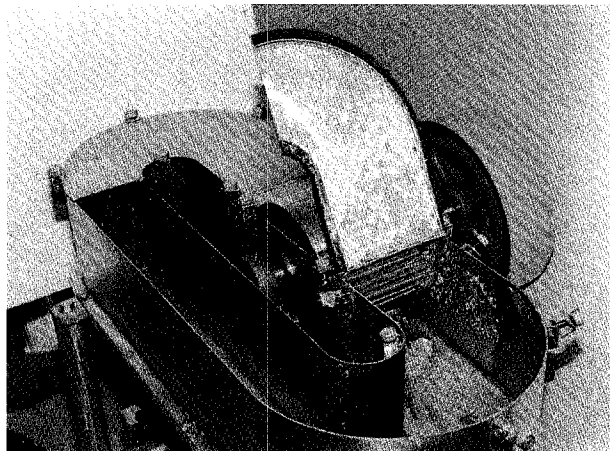


그림 3-26 The picture of Beater

여 백

제 4 장 발포 완충포장재의 제조기술에 관한 연구

제 1 절 서 론

발포 폴리스틸렌 완충재는 어떤 완충재 보다도 저렴한 제조비용과 우수한 완충 특성으로 활용의 범위가 매우 넓지만 재활용이나 재사용에는 큰 기대를 갖고 있지 못하였다. 플라스틱 포장재가 난분해성이면서 연소시 다량의 유독가스를 방출하는 환경오염의 발생물질로 지목받으면서 학계와 업계 그리고 연구소 등에서는 대체소재 개발에 노력을 기울였다. 그러나 플라스틱 소재를 대체할 수 있는 실효성 있고 실용 가능한 결과는 얻지 못하였고 천연소재인 셀룰로오스에 많은 관심을 갖게 되었다.

국내.외의 많은 업계에서는 93년과 94년에 펄프몰드산업에 지대한 관심을 가지게 되었고, 정부에서는 플라스틱 사용규제등의 환경정책 발표와 함께 환경친화성 포장재로 펄프몰드의 인기는 매우 높을 듯하였다. 그러나 국내의 환경정책이 폐스티로폼을 재활용 가능품목으로 바뀌면서 펄프몰드업계는 어려움을 맞게 되었다.

일반적으로 펄프소재의 포장재 성형 방법은 주로 감압이나 가압방식에 의해 이루어지고 있어 이는 폴리스틸렌 성형방법에 비하여 생산성이 떨어지고 경제성도 없는 공정이다.

따라서 본 연구는 기존의 발포 폴리스틸렌이나 스폰지 등과 같이 큐슨이 있는 고 부가가치의 펄프몰드제품을 벗짚펄프로 개발하고자 발포성형방법을 도입하였고, 단순공정으로 제조할 수 있는 새로운 완충포장재 제조시스템을 모색하였다.

제 2 절 재료 및 방법

1. 실험재료

○. 주재료 : 열기계 벗짚펄프와 고지펄프를 발포 완충재의 주재료로 사용하였으며, 이들을 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 및 0:100의 비율로 혼합한 후, 부재료를 넣어

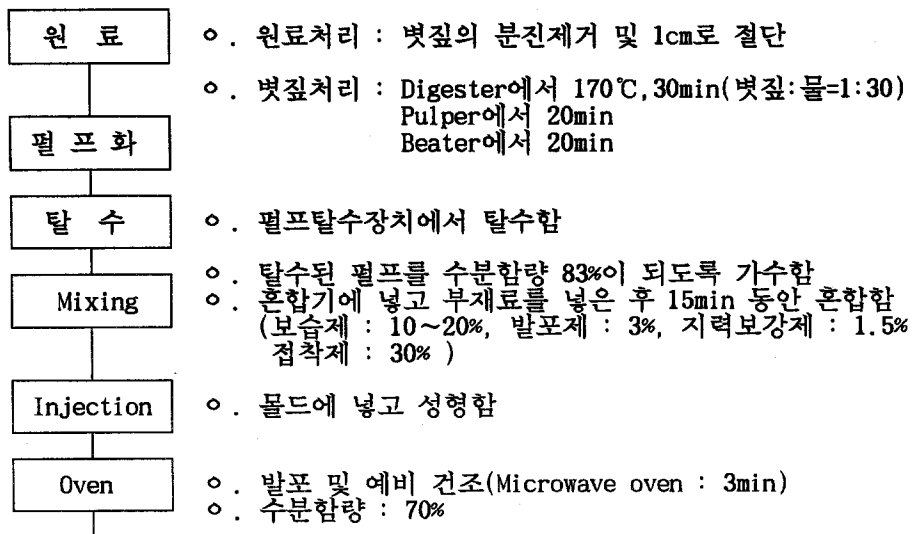
제조하였다.

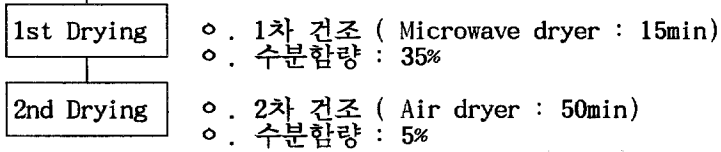
○. 부재료 : 펄프에 혼합된 부재료는 보습제로 글리세롤, 발포제로 CELLCOM계의 CELLCOM-F(제조업체 : (주)금양)와 UNICELL계의 ADst(제조업체 : 동진화성공업), 지력보강제로 EPOMINE(제조업체 : 우진 산업(주) 그리고 접착제로는 젤라틴계 SL-426와 WS-56(제조업체 : 한국접착제응용연구소)를 사용하였다.

2. 실험방법

가. 제조공정

기건상태의 벗짚을 1cm 크기로 세절한 후 Digester에 벗짚과 물과의 증량대비 1:30으로 넣은 후 170℃에서 30분간 가열하여 증해시켰다. 증해진 벗짚은 pulper에 넣고 20분간 pulping한 후 Beater에서 20분 정도 Beating하여 벗짚펄프를 얻을 수 있었다. 펄프는 펄프탈수장치에 옮긴 후 진공탈수시키고 탈수된 펄프를 수분함량 83% 되도록 가수 후 보습제, 발포제, 지력보강제 및 접착제 등을 넣은 후 혼합기에서 혼합하였다. 혼합된 원료는 P.C(Polycarbonate)재질의 몰드에서 성형 후 Microwave oven에서 3분 정도 가열과 함께 발포효과를 얻었다. 발포성형된 몰드는 1차건조와 2차건조를 거쳐 수분함량 5%미만의 최종제품을 얻을 수 있었다.





나. 실험방법

(1) 물성측정용 시편제조

현재까지 발포 완충재와 펄프용기에 대한 공인규격과 품질평가방법이 정립되지 않은 상태이므로 유사방법을 택하였고, 이에 적합한 시험규격의 시편을 제조하였다. 시험방법은 KS A 1224(포장용 발포 폴리에틸렌 완충재), KS M 6672(쿠션용 연질 우레탄폼), KS A 1012, KS A 1013, KS M 7082, KS M 7020 및 KS M 3831-92 등의 한국산업규격을 적용하였고, 시편의 종류는 열기계 벗짚펄프와 고지펄프와의 혼합비율에 따른 시편 5종과 열기계와 화학기계 벗짚펄프로 제조된 펄프용기이었다.

(2) 산업용 발포완충재의 제조실험

열기계 벗짚펄프를 소재로한 발포완충재로 Car stereo를 선정하고 이에 적합한 몰드를 제작한 후, 상기 제조공정에 따른 성형품을 만들었다.

(3) 연속식 Microwave dryer의 설계,제작 및 성능실험

열선의 침투깊이가 깊고 단기간에 높은 온도를 얻을 수 있는 가열열원으로 Microwave를 선정하고, 펄프몰드 완충재에 적합한 연속식의 건조기를 설계,제작한 후 제작된 건조기에서 건조성능실험을 수행하였다.

3. 측정방법

가. 밀도와 비용적

시험편의 치수를 측정하여 부피를 구하고 이 값을 무게로 나누어 밀도를 계산하였으며 밀도의 역수를 취하여 비용적을 구하였다.

나. 파열강도

시험편을 물렌형 파열강도시험기(제조업체 : 진성정밀)에 완전히 고정하고 시험편이 파열될 때까지 압력을 가하여 그 때의 최대압력을 측정하고 이를 시험편의 파열강도로 하였다.

다. 압축강도

압축시험기(제조업체 : 진성정밀)를 사용하여 12mm/min의 정속도로 하면서 시험편 두께의 50% 변위에 해당하는 압축량을 주었을 때의 압축하중을 측정하고 압축면적으로 나누어 kg/cm^2 로 나타내었다.

라. 충격하중

아이쥬드 충격시험기를 사용하여 시험편의 한 끝을 고정하고 해머로 1회의 충격을 주어 그 때 시험편에 의해 흡수된 에너지를 측정, kg.cm 로 표시하였다.

마. 노화성

치수(길이, 나비, 두께)를 측정한 후 만능물성시험기(Instron)을 사용하여 100mm/min의 속도로 시험편을 압축변위도가 50%일 때의 압축하중을 측정하고, 항온항습기에서 온도 50°C , 상대습도 95%의 조건하에서 2주간 폭로한 후 실내에서 1시간 방치 후 전과 동일하게 재압축하여 폭로 전후에 있어서 압축응력의 차와 폭로전의 압축응력과의 비율을 백분율로 노화성을 산출하였으며, 압축응력은 다음식에 따라 계산하였다.

$$S = \frac{P}{L \times W}$$

단, S : 압축응력(kg/cm^2), P : 하중(kg), L : 시험편의 길이(cm),

W : 시험편의 나비(cm)

바. 파손 감소도

시험편의 무게를 0.001g까지 측정한 후 시험편 윗면에 무게 500g, 지름 38mm 인 원통형 추를 250mm높이에서 10회 낙하한 후 무게를 측정, 아래식에 따라 파손

에 따른 무게손실을 산출하였다.

$$\text{무게손실율(\%)} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100$$

단, W_0 : 낙하시험 전의 무게 (g), W_1 : 낙하시험 후의 무게 (g)

사. 유연성

시험편을 직경이 100mm의 지름을 가진 원통축에 붙여서 180° 구부린 후 그 모양을 관찰하였다.

아. 압축 크리프

시험편에 0.1kg/cm² 에 해당하는 정하중 10kg을 가하고 1시간 후 두께를 측정하고 초기두께로 한다. 초기두께 측정 후 10kg하중을 가한 상태로 24시간 경과 후 두께를 측정하고 초기두께에 대한 두께 손실율을 다음식으로 산출하였다.

$$\text{두께손실율(\%)} = \frac{T_0 - T_1}{T_0} \times 100$$

단, T_0 : 초기두께 (mm), T_1 : 24시간 경과 후의 두께 (mm)

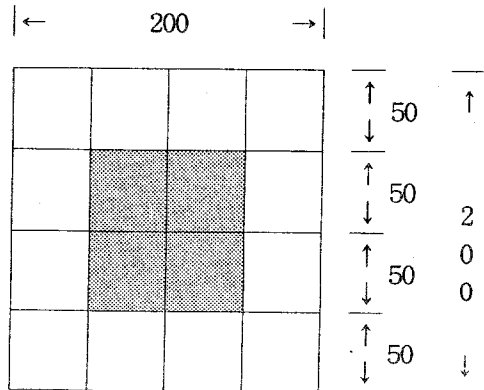
자. 열안정성

두께 30mm, 길이 및 나비는 각각 200mm, 그 중앙부에 가로 및 세로방향으로 평행하게 3개의 직선을 50mm 간격으로 긋고(아래그림 참조) 田 표시부분의 길이를 측정한 후 시험편을 무하중 상태로 70±2℃의 항온조에서 2시간 가열한 후 꺼내어 실온에서 1시간 방냉 후 길이를 측정하여 선 수축율을 다음식에 따라 산출하였다.

$$\text{선수축율(\%)} = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \times 100$$

단, L_0 : 시험전의 치수 (mm)

L_1 : 시험후의 치수 (mm)



차. 흡수성

시험편의 길이, 두께, 나비를 측정된 후 무게를 0.01g까지 측정하고 상온의 증류수에 시험편을 수면 밑으로 담가 24시간 흡수시킨다. 시험편을 꺼내어 공기중에서 5분간 방치한 후 무게를 측정하여 다음식에 따라 흡수율을 산출하였다.

$$\text{흡수성(\%)} = \frac{wt_1 - wt_0}{L \times W \times T} \times 100$$

단, wt_0 : 최초의 무게, wt_1 : 흡수후의 무게, L : 최초의 길이

W : 최초의 나비, T : 최초의 두께

타. 투기도

50cm x 30cm의 시험편을 투기도 측정장치에 장착하고 0에서 100ml까지의 눈금이 바깥통의 모서리를 지날 때 까지 요하는 시간을 초시계로 측정하였다. 즉 645mm²가 면적의 시험편을 공기 100ml가 통과하는데 요하는 평균시간을 구하였다.

파. 투습도

온도 40±1℃, 습도 90±2%의 공기가 0.5~2.5m/sec 속도로 순환되는 항온항습기에 28cm² 면적을 가진 투습컵에 화학분석용 무수염화칼슘을 넣고 봉합한 시험편을 2시간 동안 흡수시킨 다음 무게를 달아 처음 시험체 무게로 하고, 다시 24시간 동안 흡수시킨 후 무게를 측정하여 다음식에 의하여 투습도를 측정하였다.

$$\text{투습도(g/M}^2\text{/24hr)} = \frac{\text{24시간후의 시험체의 무게} - \text{처음 시험체의 무게(g)}}{\text{컵의 투습면적(cm}^2\text{)}}$$

카. 응기의 최대압축하중

시료를 불균형한 하중을 받지 않도록 정확히 압축판 중앙에 놓고 Instron을 사용하여 압축속도 10mm/min로 압축하중을 가하여 변형 및 손상이 생길 때의 하중값을 측정하였다.

하. 온도측정

Microwave dryer 내부에서의 온도측정은 일반 온도센서로 측정이 어려우므로 가열물 표면에 접촉형의 온도측정 Label(제조원 : Thermax)을 부착하여 색깔변화에 의한 방법으로 온도를 측정하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 볏짚펠프 완충재와 펄프용기의 물성값 측정

고지펠프 100%(A-1), 볏짚펠프 50%+고지펠프 50%(A-2), 볏짚펠프 75%+고지펠프 25%(A-3), 볏짚펠프 100%(A-4)로 제조한 발포 완충재 4종류와 열기계 볏짚펠프(B-1), 화학기계 볏짚펠프(B-2) 그리고 발포폴리스틸렌(B-3)의 용기 3종에 대한 물성값을 측정하였다.

품목별 측정항목과 사용된 기기는 표 4-1과 같았으며, 측정결과는 표 4-2와 같았다.

즉, 볏짚펠프 혼입량이 많을수록 밀도는 $0.169(\text{g}/\text{m}^2)$, $0.172(\text{g}/\text{m}^2)$, $0.185(\text{g}/\text{m}^2)$ 및 $0.261(\text{g}/\text{m}^2)$ 로 높아지었다. 노화성과 파손감소도 그리고 압축 크리프는 낮아지는 현상으로 나타나 발포완충재 소재로서 볏짚펠프가 고지펠프 보다 우수함을 보이고 있었다. 또한 흡수성에서도 볏짚펠프 혼입량이 많을수록 적은것으로 측정되었다.

펠프용기의 물성값에서 파열강도는 폴리스틸렌 용기, 열기계 볏짚펠프용기 및 화학기계 볏짚펠프의 순으로 높게 나타났고, 투기도는 폴리스틸렌이 600sec으로 가장 높았고, 화학펠프용기는 16sec 그리고 열기계 펄프용기는 3.7sec로 폴리스틸렌에 비하여 펄프용기의 투기성은 우수함을 보여 주었다. 반면에 투습도에서는 폴리스틸렌이 $60(\text{g}/\text{m}^2/24\text{hr})$ 이었고 펄프용기는 $4500\sim 5000(\text{g}/\text{m}^2/24\text{hr})$ 범위로 매우 높게 측정되었다.

표 4-1. 물성값 측정방법과 관련규격

시료	시험항목	사용기기명	관련규격
완 중 재	밀도	전자저울(OHAUS,日)	KS A 1224
	노화성	만능물성시험기(INSTRON,美) 항온항습기(TABAI,日)	
	파손감도	추(50g)	
	유연성	원통추	
	압축크리프	추	
	열안정성	항온건조기(JEIO,日)	
	흡수성	Water Bath(國)	
	마모성	알루미늄관	
	pH	pH Meter(日)	
	영구 압축주름율	만능물성시험기(INSTRON,美)	
T R A Y	과열강도	과열강도시험기(Mullen Type)	KS M 7082
	투기도	투기도시험기(TOYOSEIKI,日)	KS M 7020
	투습도	투습컵 항온항습기(TABAI,日)	KS A 1013
	최대 압축하중	만능물성시험기(INSTRON,美)	KS A 1012

표 4-2. 냇짚펄프 발포 완중재와 펄프용기의 물성값

○. 냇짚펄프 발포 완중재

시료 시험항목	A - 1	A - 2	A - 3	A - 4
밀도(g/m ³)	0.169	0.172	0.185	0.261
노화성(%)	69	72	-	65
파손감소도(%)	0.7	0.3	-	0.2
유연성	부러짐	부러짐	부러짐	부러짐
압축크리프(%)	13	8	1	2
열안정성(%)	0	0	0	0
흡수성(%)	56	62	54	49
마모성	흠발생없음	흠발생없음	흠발생없음	흠발생없음
pH	7.6	6.8	6.3	6.2
영구압축줄음율(%)	44	37	-	44

* - 표시는 시료 결과치 없음.

○ . 펄프용기 Tray

시 료 시험항목	B - 1	B - 2	B - 3
과열강도(kgf/cm ²)	2.7	1.2	3.8
투기도(sec)	3.7	16.0	600 ↑
투습도(g/m ² /24hr)	4486	5018	60
최대압축하중(kg)	14.9	9.5	31.3

2. 발포제와 벗짚펄프의 혼합비율이 완충재 물성에 미치는 영향

열기계 벗짚펄프를 고지펄프에 100%, 75%, 50%, 25% 및 0%로 혼합하고, 발포제는 ADst, CELLCOM-F, 무발포제 3종류로 하였고 다른 부재료는 동일하게 혼합, 제조한 발포 완충재에 대하여 밀도와 비용적, 과열강도와 압축강도 그리고 충격하중을 측정하 바 Fig 4-1, Fig 4-2, Fig 4-3 , Fig 4-4 및 Fig 4-5를 얻을 수 있었다.

즉, 벗짚펄프의 혼합비율 증가에 따른 발포 완충재의 밀도와 비용적의 변화는 Fig. 4-1, Fig. 4-2와 같이 펄프원료 중 벗짚펄프의 조성이 75% 수준까지 증가함에 따라 발포 완충재의 밀도는 점차 증가하는 경향을 보였으며 발포제를 사용하지 않고 포장재를 제조한 경우 타 발포제를 사용한 경우보다 전반적으로 밀도가 높게 나타났다. 또한 ADst를 사용한 경우는 CELLCOM-F, 무발포제에 비해 완충재의 비용적이 크게 나타났으며 CELLCOM-F와 무발포제를 사용한 경우는 벗짚펄프의 혼합비율이 증가할수록 비용적은 감소하는 경향을 보였다. 일반적으로 대표적인 플라스틱 발포제의 밀도는 발포 폴리에틸렌이 0.03~0.4g/cm³, 발포 폴리우레탄이 0.02~0.06g/cm³, 발포 폴리스틸렌이 0.016~0.03g/cm³의 값을 갖는 것으로 알려져 있으며⁽²³⁾ 성형품, 블록상, 세편상 등 모두 그 사용형태에 있어 겉보기 밀도는 가능한 작은 쪽이 바람직하다고 볼 때 플라스틱 발포 완충재의 장점으로 이해할 수 있다. 또한 습식흡인성형법에 의해 신문지 고지만으로 제조된 펄프몰드 트레이의

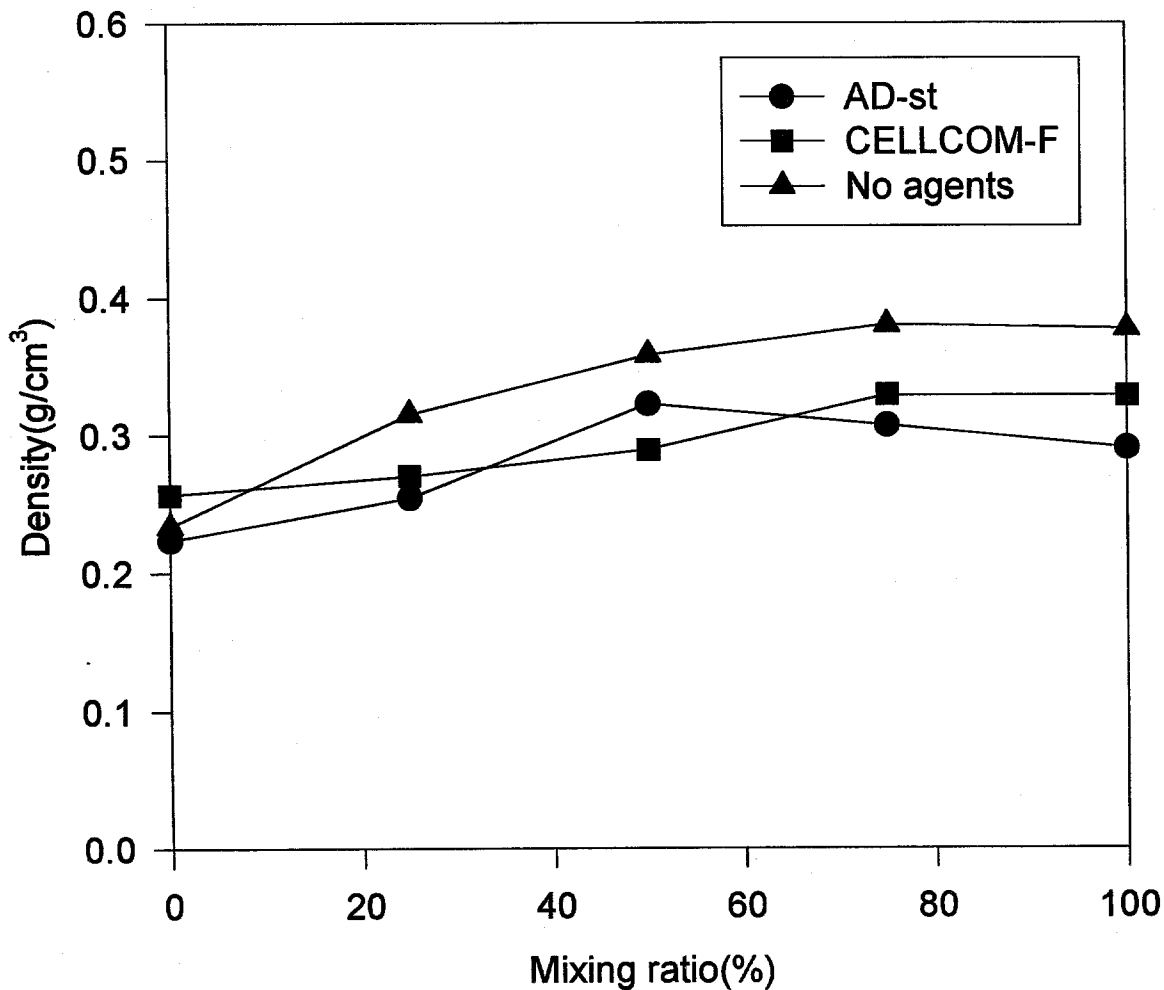


Fig. 4-1 Effect of mixing ratio of rice straw pulp on density of foamed pulp cushioning materials.

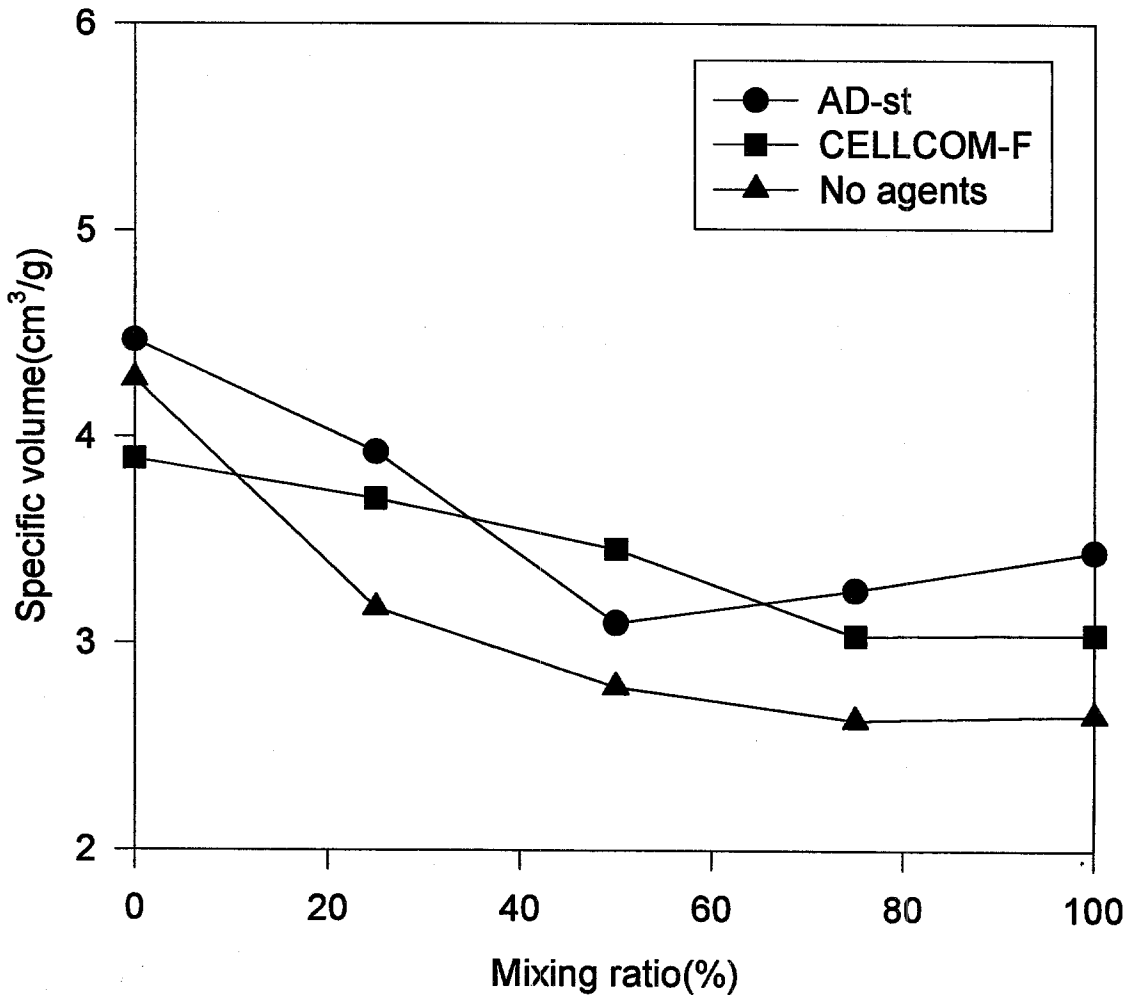


Fig. 4-2 Effect of mixing ratio of rice straw pulp on specific volume of foamed pulp cushioning materials.

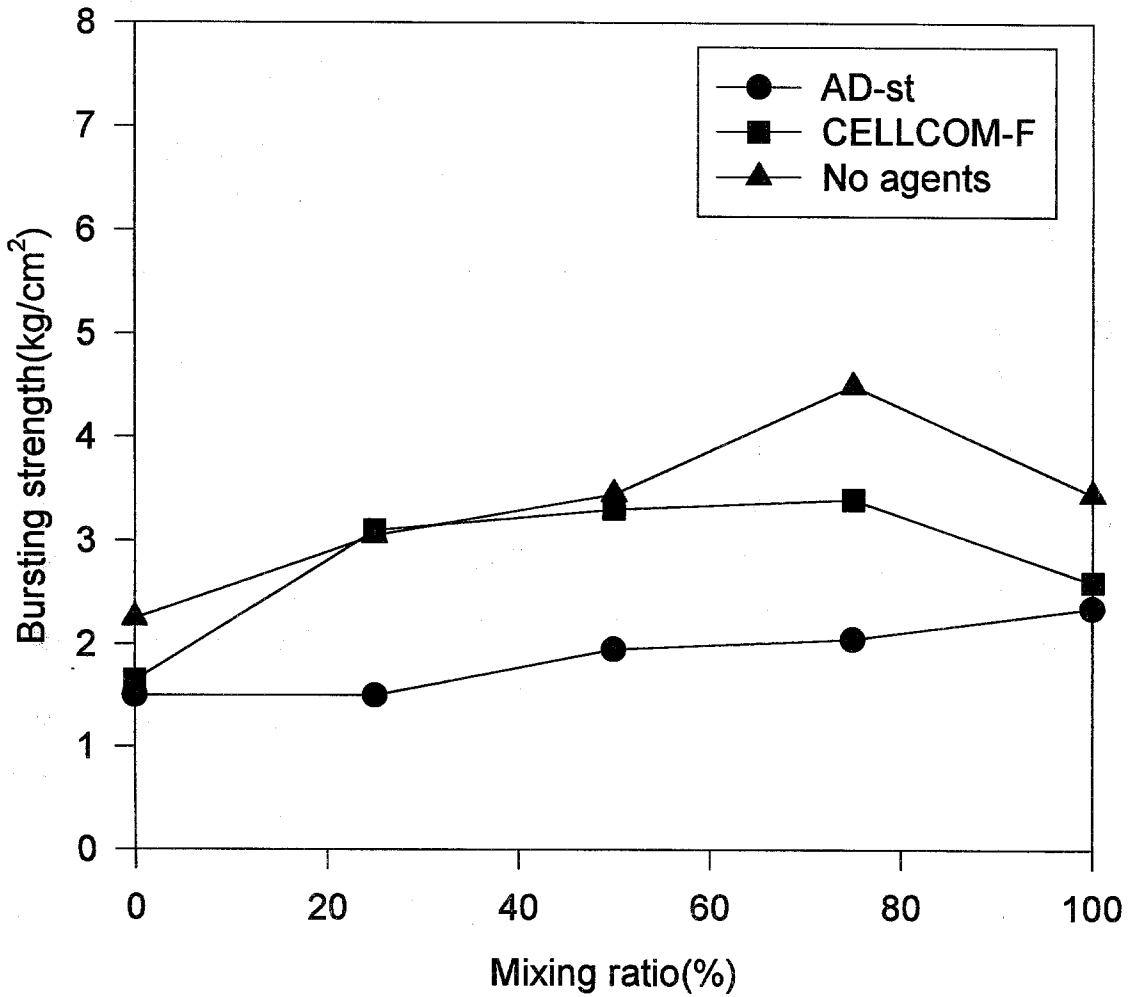


Fig. 4-3 Effect of mixing ratio of rice straw pulp on bursting strength of foamed pulp cushioning material.

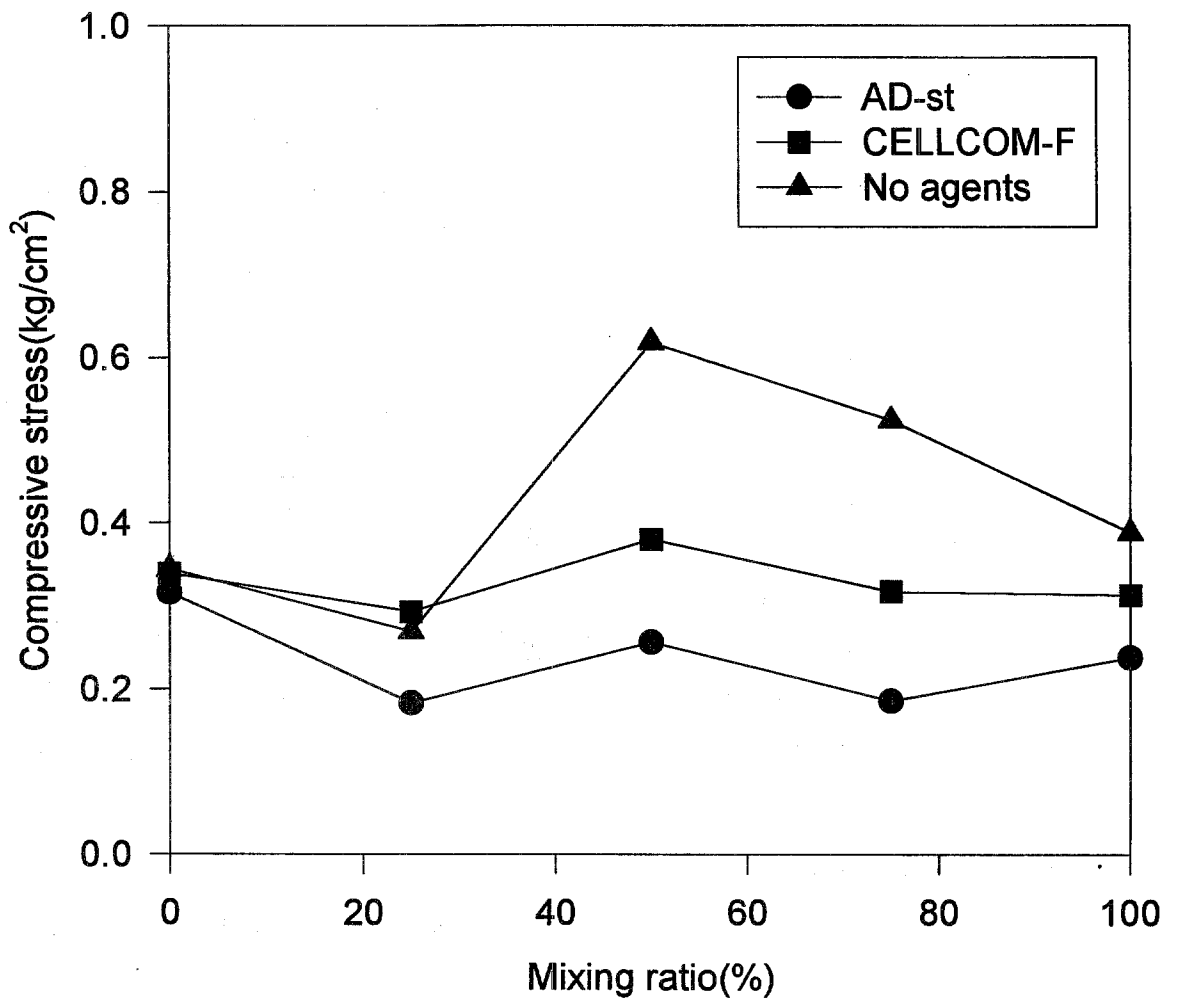


Fig. 4-4 Effect of mixing ratio of rice straw pulp on compressive stress of foamed pulp cushioning material.

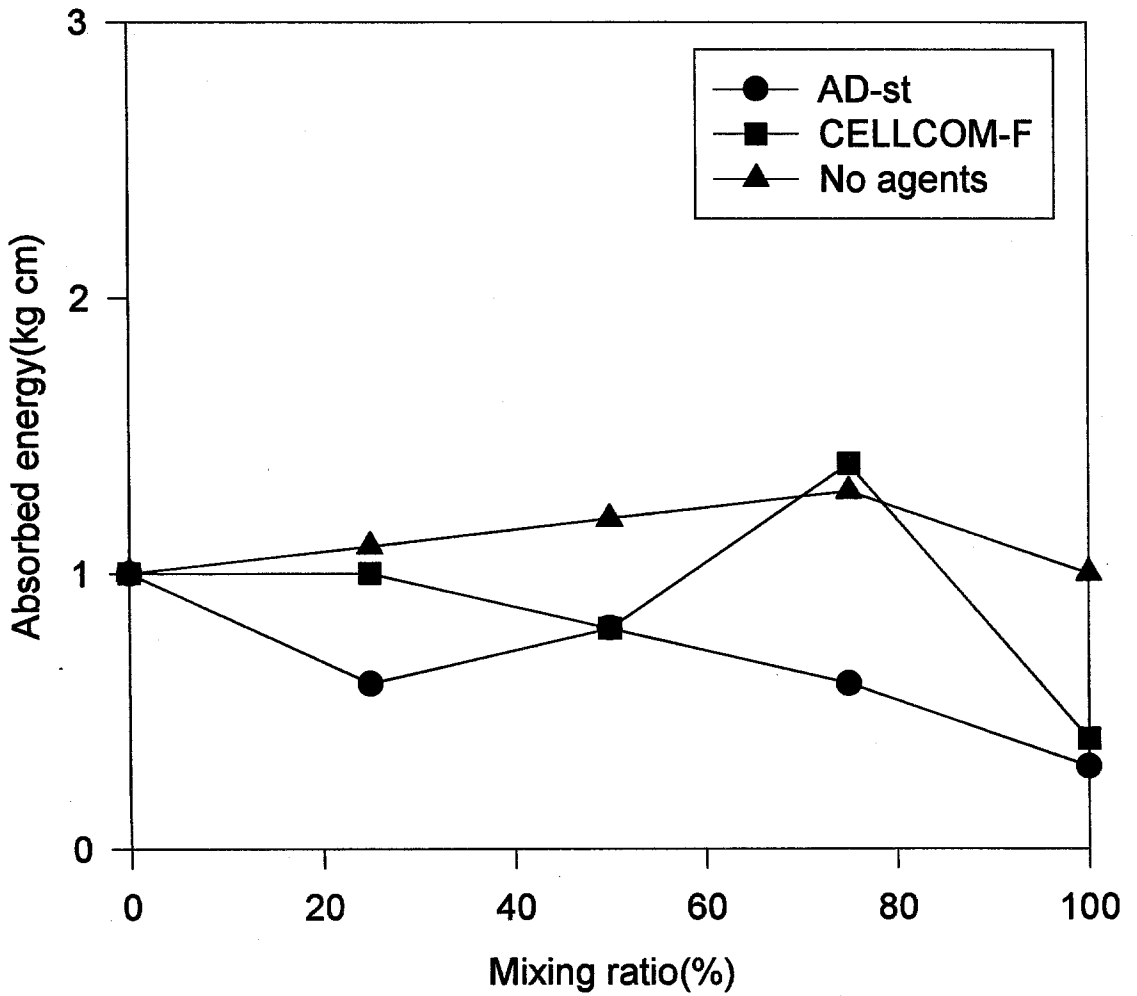


Fig. 4-5 Effect of mixing ratio of rice straw pulp on absorbed energy of foamed pulp cushion material.

밀도는 0.22g/cm^3 , 가성소다 처리 후 기계적 해섬을 거친 벗짚펄프만으로 가압성형에 의해 제조된 벗짚 성형용기의 밀도 0.303g/cm^3 등과 비교해 볼 때⁽²⁴⁾, 본 연구에서 제조된 발포 완충재의 밀도는 기존 화학기계 벗짚펄프 완충재에 비해 크게 변화되지 않았지만 Table 4-2의 A-3과는 차이를 보여 제조 Know-How를 통하여 밀도조절이 가능하였다.

벗짚펄프의 혼합비율 증가에 따른 발포 완충재의 파열강도는 Fig. 4-3과 같았다. CELLCOM-F, 무발포제의 경우 펄프원료 중 벗짚펄프의 조성비율이 증가함에 따라 파열강도는 점차적으로 증가하다가 100%가 되면서 약간 감소하는 추세를 보였으며 발포제 ADst를 사용한 경우는 벗짚펄프의 조성비율이 100%에 달할 때까지 파열강도도 계속적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 발포제 ADst를 사용하여 제조한 경우 전체 혼합비율에 있어서 타 발포제에 비해 파열강도가 비교적 낮게 나타났고 섬유간의 결합상태도 불량한 것으로 조사되었다. 또한 전반적으로 발포제를 사용하지 않은 경우가 가장 큰 파열강도를 갖는 것으로 조사되었으며 섬유결합 상태나 결합강도가 발포제를 사용한 경우보다 우수한 것으로 평가되었다.

벗짚펄프의 혼합비율 증가에 따른 발포 완충재의 압축응력 변화를 Fig. 4-4에 나타내었다. 시험편의 50%변위를 주는 압축시험결과, 압축응력은 무발포제의 경우 벗짚펄프 50% 조성에서 가장 높게 나타났고, 전반적으로 무발포제, CELLCOM-F, ADst의 순으로 압축응력이 높게 나타났다. 밀도 0.012g/cm^3 인 발포 폴리스틸렌 혹은 밀도 0.037g/cm^3 인 발포 폴리에틸렌의 경우 변위 50%일 때 압축응력은 약 1kg/cm^2 전후로서 벗짚펄프로 제조한 발포 완충재 중 가장 압축강도가 높은 것으로 측정된 벗짚펄프 50% 혼합수준에서 무발포제의 경우 압축응력이 약 0.62kg/cm^2 를 나타내었으므로 플라스틱 발포 완충재에 비해 밀도가 높은 점을 동시에 고려할 때 상대적으로 낮은 압축응력을 갖는 것으로 측정되었다.

벗짚펄프의 혼합비율에 따른 발포 완충재에 대한 충격시험 결과는 Fig. 4-5와 같았다. 완충 포장재에 의해 흡수된 흡수에너지는 전반적으로 무발포제의 경우가

타 발포제를 사용한 경우보다 비교적 높았으며 75% 함유된 넷짚펄프 완충재에서 높은 흡수에너지를 나타내고 있었다. 특히, CELLCOM-F를 사용하여 제조한 경우 75% 혼합수준에서 흡수에너지가 가장 크게 나타났다. 일반적으로 충격시험은 재료의 파단에 요구되는 흡수에너지를 측정하는 것으로 발포 폴리스틸렌 완충재의 충격저항 성능을 평가하는 시험이나 본 연구에서 제조된 발포 완충재는 그 특성상 파단이 불가하고 햄머의 충격에 대한 저항성 혹은 충격력의 흡수정도를 측정하는 방법으로 사용하였는데 그 결과 발포제의 종류에 있어서는 무발포제가 비교적 양호한 결과를 나타내었으며 신문고지만을 원료로 사용하여 제조한 경우 발포제에 따른 차이는 없는 것으로 측정되었다.

3. 산업용 발포완충재의 제조실험

넷짚펄프를 소재로한 발포성형물의 물리적 성질과 성형적성은 고지와 유사한 것으로 나타났고 발포완충재로의 활용성도 높은 것으로 판단되었다. 또한 발포성형에 관한 제조공정과 배합비는 반복실험으로 부터 알 수 있었다. 산업용의 발포완충재로 Car stereo를 선정한 후 그림 4-6과 같은 성형몰드와 그림 4-7의 성형물을 제조하였다.

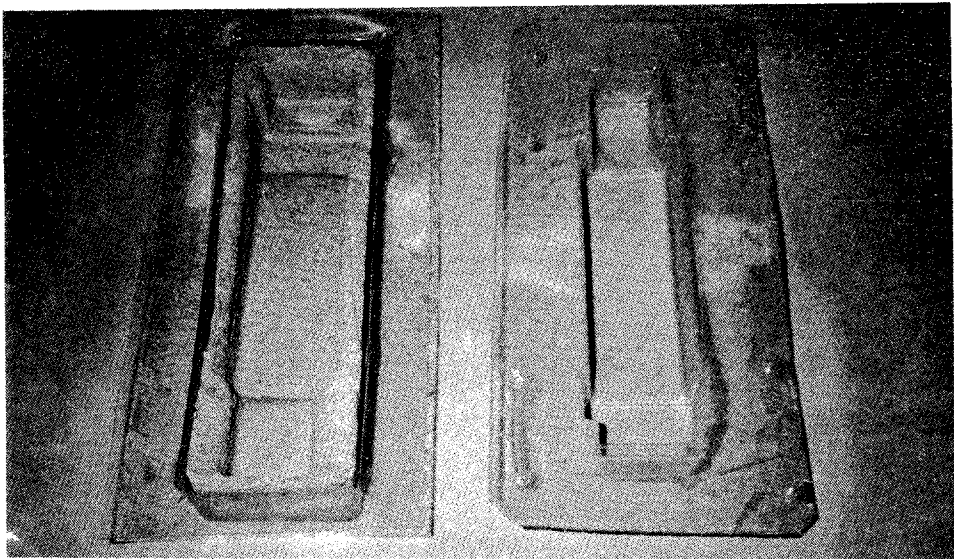


그림 4-6 발포성형을 위한 P.C 성형몰드

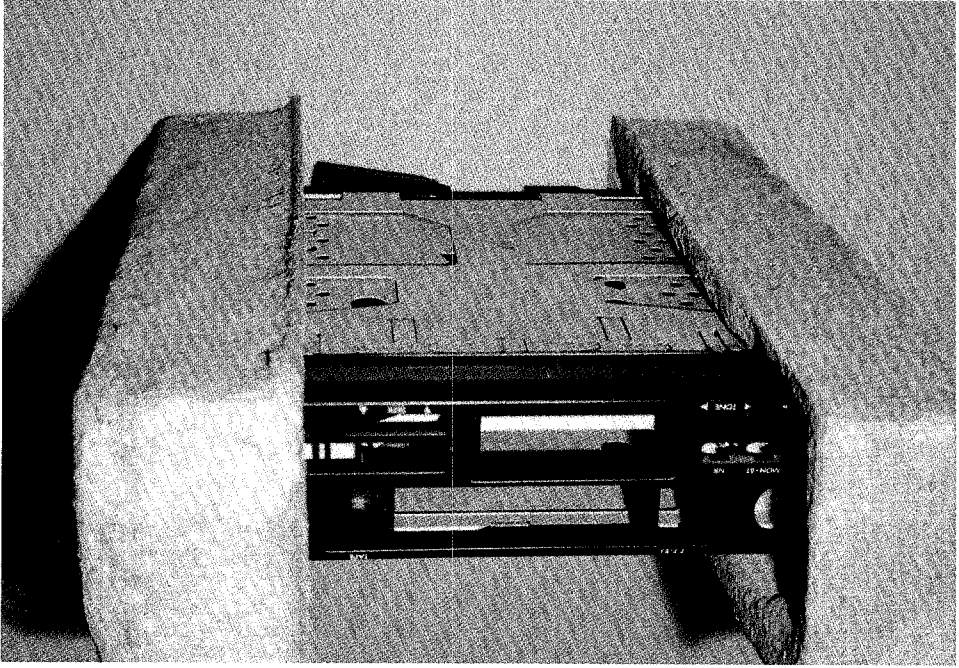


그림 4-7 Car stereo의 발포 완충재

발포성형을 위한 몰드는 고온에서 변형이 생기지 않는 재질을 선택하여 만들었다. 벗짚펄프와 부재료를 혼합하여 몰드에 넣은 후 고온 단시간에 발포될 수 있도록 Microwave oven 에서 발포시킨 후 건조과정에서 비틔현상이 많이 일어나는 수분함량 범위까지 Microwave dryer에서 건조를 수행하였고, 수분함량 35% 이하 부터는 열풍건조기에서 마무리건조하였다.

제조된 성형물은 외관상으로 충격흡수력이 우수하였고, 제품보호에서도 좋은 것으로 판단되었다. 특히 제조공정이 단순하고 시설비도 저렴하며 제조기술도 기존의 펄프몰드 제조방법에 비하여 쉬운 것으로 보였다. 즉, 산업용의 벗짚펄프 제조는 벗짚 → 이물제거 → Cutter M/C → Rotating digester → Pulper → Beater(또는 Refiner) → Filter → Separator → Pulp의 순으로 제조함이 좋았고, 발포성형을 위한 제조공정은 벗짚펄프(수분함량 83%) → 첨가제 혼합 → 몰드에 주입 → 순간 가열발포 → 1차건조 → 이형 → 2차건조 → 최종제품의 순이었다.

여 백

4. 연속식 Microwave dryer의 설계, 제작 및 성능실험

(가) Microwave dryer의 설계, 제작

발포성형에서 제조공정에 따른 주요장치로는 혼합기와 건조기를 들 수 있다. 혼합기는 기존의 기성품을 구입, 사용할 수 있었으나 건조기는 건조중 변형이 없고, 발포가 일어날 수 있는 순간 가열원이어야 된다. 따라서 가열원으로 Microwave를 선택하였고 이를 이용한 연속식의 건조기를 설계, 제작하고 성능실험을 수행하였다.

그림 4-8은 건조기의 단면도이며 그림 4-9는 연속식 Microwave dryer의 외형을 나타낸 그림이다.

건조장치는 고주파 전원장치, 도파관 system, Cavity system, 콘베이어 system 및 Main control로 구성되었다. 마그네트론은 OM75S를 2set 설치하였고, 2450MHz의 전자파를 얻을 수 있도록 하였다. Cavity는 입구부와 출구부 그리고 건조부로 구성하였고, 콘베이어를 밑에 설치하여 콘베이어 위로 시료가 들어가면서 건조되도록 하였다. 이때 전자파가 밖으로 누설되지 않도록 내부에 전자파 흡수재를 부착하였다. 또한 피건조물이 연속적으로 공급, 가열될 수 있도록 콘베이어의 속도와 배기팬의 속도 그리고 전자파의 출력을 임의 조절할 수 있도록 제작하였다.

(나) Microwave dryer의 성능실험

고지펠프와 벚짚펠프를 100:0, 50:50 및 0:100의 비율로 혼합한 3종의 발포 완충재 시료를 크기 10cm x 10cm x 2.5cm로 각각 제작한 후 건조특성을 보았다.

건조장치의 conveyor는 0.25~0.3m/min의 속도로 이송되었으며, Microwave의 출력은 양극전류를 0.1~0.15A의 범위에서 조정하면서 건조되었다. 또한 수분제거를 위하여 배기팬을 가동시켰고 건조시료의 콘베이어 통과시간은 6분이었다.

Fig 4-10은 3종의 완충재 시료의 건조곡선을 나타낸 것이다.

즉, 두께 2.5cm, 초기수분 71~73%의 완충재 시료는 건조 30분 후에 약 35~42%의 수분함량을 보였다. 벚짚함량이 높을수록 건조속도는 빠른것으로 나타나 100%의 벚짚펠프 시료에서 건조 30분 후에 35%의 수분함량을 얻을 수 있었다.

- 1: 腔室 (CAVITY)
- 2: 传送系统 (CONVEYOR SYSTEM)
- 3: 门 (DOOR)
- 4: 电源 (POWER SUPPLY)
- 5: 控制面板 (CONTROL PANEL)

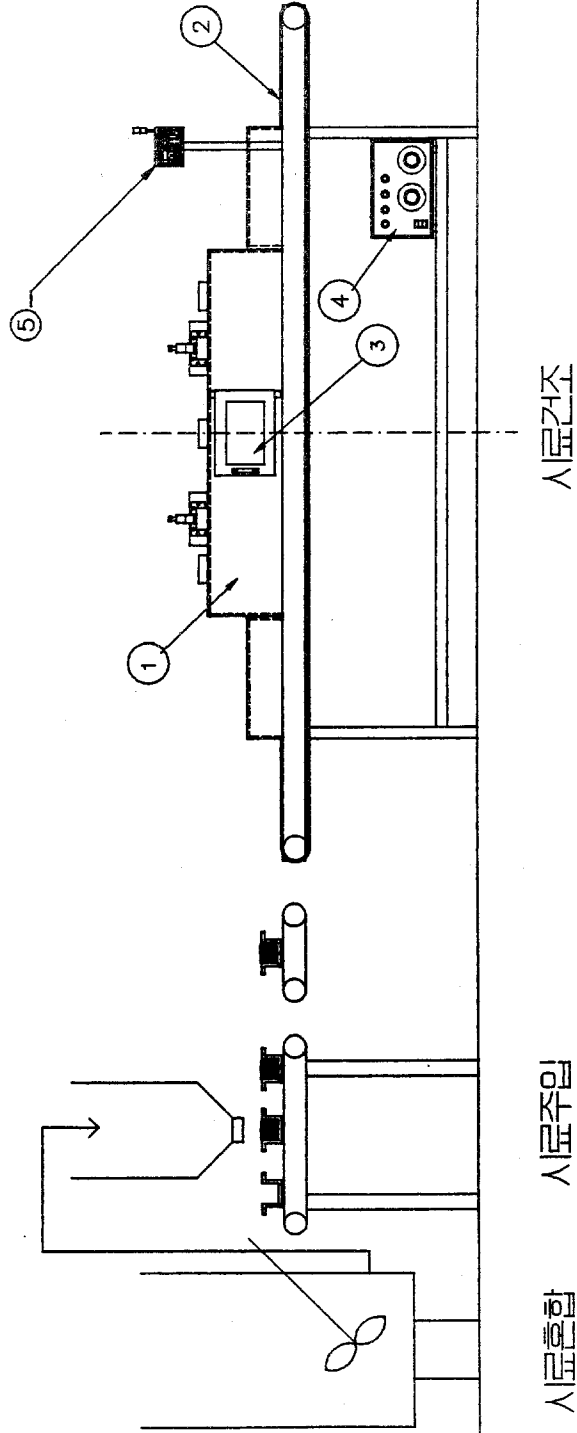


그림 4-8 Microwave dryer의 단면도

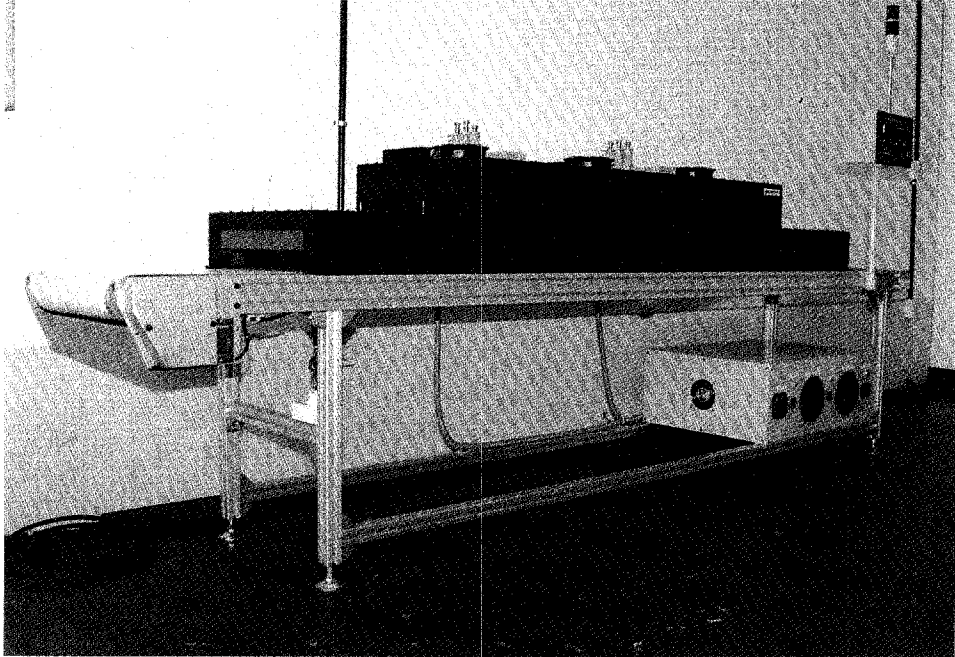


그림 4-9 Microwave dryer의 외형도

또한 발포 완충재에서 건조과정중 변형임계수분함량은 약 35%내외인 것으로 실험과정에서 알 수 있었다. 본 연구로 부터 개발된 연속식의 Microwave dryer를 발포 완충재의 1차 건조기로 이용한다면 건조시간 30분에 변형임계수분함량 이하로 건조할 수 있었다.

여 백

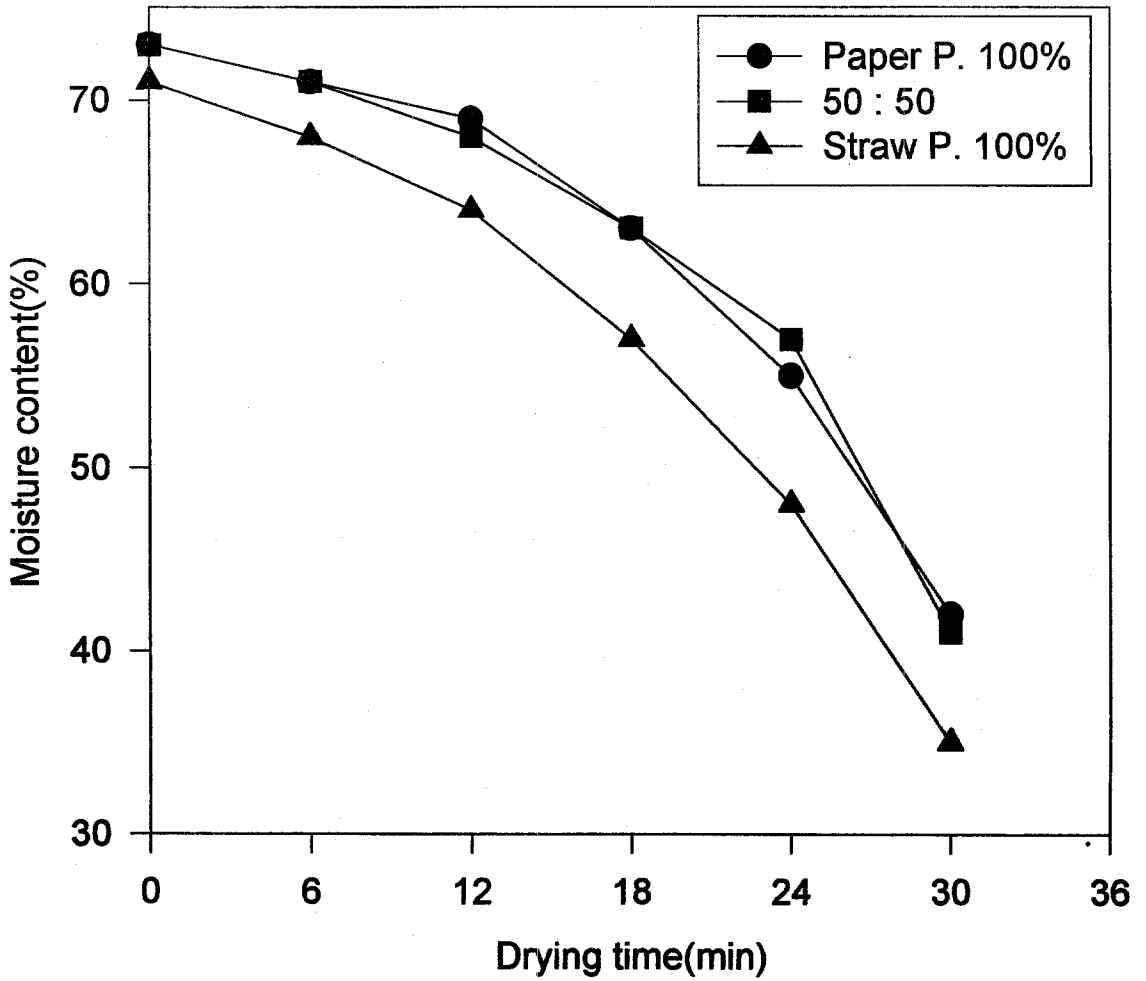


Fig. 4-10 Comparison of drying time on various foamed pulp cushioning material.

제 4 절 결 론

신문고지로 부터 제조한 고지펄프에 열기계 펄프화법으로 제조한 볏짚펄프의 혼합비율을 달리하면서 제조한 발포 완충재의 물성변화를 조사하고 활용가능성을 보았다. 그 결과는 다음과 같다.

가. 볏짚을 소재로한 발포 완충재의 물리적 특성은 주재료인 펄프의 배합비율, 발포제의 선택과 혼합량 그리고 부재료의 혼합 등에 따라 압축강도, 파열강도 및 충격하중 등에 차이를 볼 수 있어 제품별에 따른 제조 Know-How를 요구하였다.

* 나. 볏짚펄프의 혼입량이 많을수록 발포 완충재의 밀도와 파열강도는 증가현상을 보였으며, 노화성과 파손감소도 그리고 압축크리프 등은 낮아지는 현상으로 보여 볏짚펄프가 고지펄프 보다 완충소재로서의 물리적 특성이 우수하였다.

다. 산업용 발포 완충재로 Car stereo를 선정하고 실증실험을 수행한 바 개발품의 외관상 관능상태는 우수한 것으로 나타났고, 볏짚을 소재로한 산업용의 발포 완충재의 제조기술과 제조공정을 정립할 수 있었다.

라. 발포 완충재 건조에 적합한 건조열원으로 Microwave를 선택하였으며, 이를 열원으로한 연속식의 Microwave dryer를 설계, 제작하였다. 제작된 건조기에서의 건조효율은 일반 열풍건조기 보다 우수한 것으로 나타났다.

제 5 장 능가형의 포장재 제조시스템

제 1 절 서 론

농업부산물인 벚짚의 활용도를 높이고 환경공해의 주범으로 주목받고 있는 플라스틱 포장 소재를 벚짚펄프로 대체하기 위한 연구가 수행되었다.

환경친화성 포장재 가운데 펄프를 소재로한 포장제품과 식품용기류에 관심이 높아지면서 업계와 연구기관에서는 관련 설비의 제작과 금형설계 그리고 후처리 기술에 대한 연구가 추진중에 있다.

본 연구는 원료수급이 용이하고 가격이 저렴한 벚짚펄프를 저급류의 포장재와 식품용기 등에 활용할 수 있도록 펄프제조와 제품개발 그리고 관련 설비에 대한 장치를 개발하고, 이를 능가형 또는 소규모의 플랜트에서 생산할 수 있도록 제조공정과 제조시스템을 제시하였다.

제 2 절 제조공정 및 제조방법

1. 벚짚펄프 제조시스템

벚짚을 펄프화하는데는 화학기계펄프와 열기계펄프가 있다. 품질면에서는 화학기계펄프가 열기계펄프 보다 좋으나 제조경비나 환경공해 등의 제반 상황을 고려할 때 포장재나 포장용기에 적합한 제조방법은 열기계펄프이다. 열기계펄프의 제조공정은 다음의 그림 5-1과 같다.

즉, 벚짚을 콘베이어에 의해 절단기로 이송하면 1cm 크기로 절단되고 절단된 벚짚은 Dust Separator에서 분진과 이물이 제거된다. 분진이 제거된 벚짚은 Roating Digester 에서 고온고압하로 가열증해된다. 증해된 벚짚은 Hydra-Pulper에서 해섬하고 해섬된 벚짚은 Chest에 모아진 다음 Mono Pump로 일정량이 Refiner나 Beater에 공급되어 연속적으로 펄프를 만들게 된다. 만약 제조된 펄프를 생산Line에 바로 투입하지 않고 Pulp mould생산업체나 Pulp용기업체로 이송될 경우에는 연속식 탈수기에서 수분함량 45~50%의 범위로 탈수 후 운송하면 된다. 연속식 탈

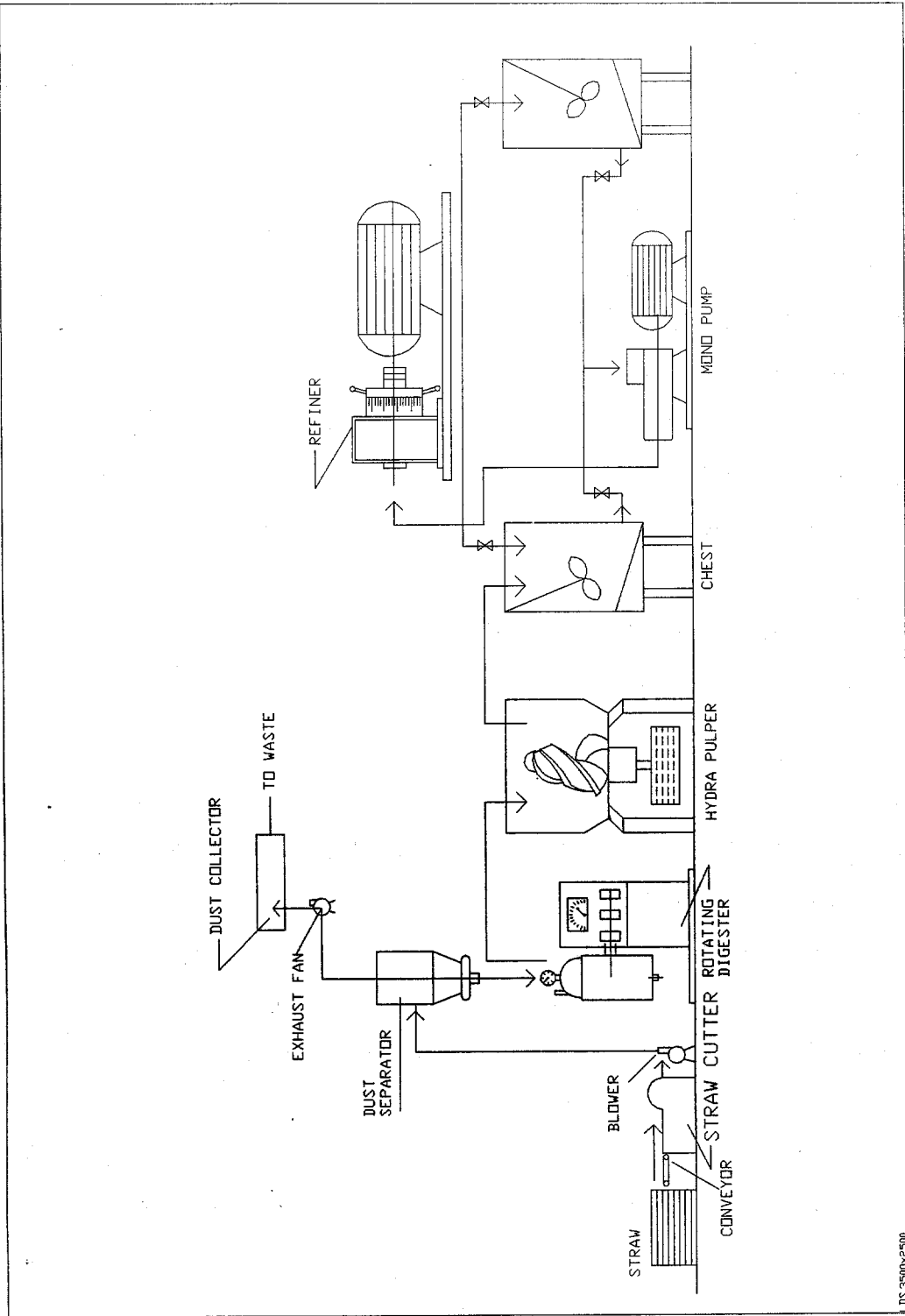


그림 5-1 열기계 펄프의 제조공정

IDS 3500x2500

수기는 진공증발농축방법으로 폐수처리장치에서 이용되는 구조가 적합하다. 상기의 제조공정별 단위기계류는 국내 기계제작업체에서 제작이 가능한 품목이며 일부 주요기계류는 본 연구에서 실험용 규모로 설계, 제작하였다.

2. 가압성형 포장용기 제조공정

최근 천연펄프를 원료로한 도시락 용기와 식품용기가 일본에서 개발되어 시판하면서 국내에서도 (주)한일이 기술을 도입하고 대량 생산체제로 들어갔다. 1차년도 연구사업이 끝날 당시 에 펄프소재가 플라스틱 소재를 대체하기 위한 문제점으로 기존의 펄프몰드 제조공정으로는 생산성이 매우 떨어지므로 새로운 공정개발이 요구됨을 지적한 바 있다. 특히 가압성형기술의 기계장치가 개발될 경우 벗짚펄프를 소재로한 포장재 제조기술은 급진전 될 것으로 전망하였으나, 불과 1년이 지나기 전에 펄프를 소재로한 가압성형의 대량생산기계가 실용화 되고 있음은 매우 바람직한 현상이며 이는 벗짚펄프의 활용도를 높일 수 있는 것이다.

현재 산업적으로 사용중인 가압성형 용기제조장치의 제조방법은 다음과 같다. 결합재 등의 부재료가 혼입된 천연펄프가 가압성형장치의 No. 1몰드에 정량 이송되어 성형과 탈수공정을 갖게된다. 다음으로 No. 2와 No. 3의 몰드로 각각 이송하면서 건조과정을 갖게 되고 마지막의 No. 4 몰드에서 마무리 건조와 함께 제품이 이송되도록 설계,제작되었다. 하나의 기계장치에서 펄프를 정량이송, 성형, 건조 및 제품이송이 이루어지고 있다.

가압성형방식의 기계장치는 플라스틱 성형기와 개략적 비교에서 생산량에 그다지 차이가 없을 것으로 보였다. 제조업체에 따라 차이는 있으나 통상 플라스틱 성형기는 한 Line에서 초당 5 ~ 6개의 tray를 생산할 수 있고, 진공성형의 펄프몰드는 초당 1 ~ 2 개의 tray를 그리고 가압성형방식은 초당 4 ~ 5의 생산이 가능하였다.

플라스틱 성형방식과의 큰 차이를 보이지 않고 있는 가압성형방식에서 수입,사용하고 있는 천연펄프를 저렴한 벗짚펄프로 대체한다면 플라스틱 포장용기와의 경쟁

력은 가일층 높을 것으로 보였다.

3. 발포 완충재의 제조방법

상기의 벚짚펄프 제조공정에 따라 제조된 펄프를 수분함량 83%로 조절한 후 그림 5-2와 같이 접착제와 보습제 그리고 발포제와 지력보강제 등을 적당량 혼합한 후 성형몰드에 주입하여 Micro-wave oven에서 발포 및 예비건조를 한다. 이때 수분함량은 약 70% 정도로 낮아진다. 성형몰드의 상,하 가운데 포장물과 접촉되지 않는 부분의 몰드를 제거하고 이를 연속식의 Microwave dryer에서 수분함량 35%까지 건조시킨 다음 나머지 몰드를 제거하고 열풍건조기에서 수분함량 5%까지 건조하여 최종제품을 얻는다.

제 3 절 결 론

벚짚을 소재로한 환경친화성의 포장소재와 펄프용기 제조에 관한 연구를 수행하고 다음의 결과를 얻었다.

가. 벚짚펄프를 소재로한 펄프몰드제품과 펄프용기 제조에 관한 기술과 제조공정 그리고 펄프화를 위한 관련장치를 개발하였다.

나. 생산성이 높은 가압성형방식의 용기제조기술과 제조공정 그리고 부가가치가 있으면서 단순공정으로 제조가 가능한 발포 완충재의 제조기술을 개발하고 주요기계장치를 설계, 제작하였다.

다. 벚짚을 펄프제품 원료로 활용하는데에는 소재공급과 제품제조 부문으로 구분하고, 원료의 공급과 보관 그리고 수송등을 고려할 때 대단위 벚짚산지에 펄프화 제조 프랜트를 설치함이 효율적이다.

라. 벚짚펄프는 열기계 펄프 제조시스템이 경제적이었고, 제조된 펄프가 제품제조업체에 공급되면 제조 Know-How 개발과 함께 식품용기, 발포 완충재 및 진공 성형몰드 등을 제조하는 것이 바람직하다.

제 6 장 요약

본 연구는 목재펄프 자원이 부족한 국내에서 산업적 가치가 비교적 낮고 일년생인 벚짚을 환경친화성의 포장소재 또는 포장용기로 이용하고자, 벚짚의 펄프화 기술, 펄프몰드 제조기술 및 포장용기 제조에 관한 연구를 수행하였고, 기존의 펄프몰드 제조방법을 보다 단순한 제조시스템으로 개발하여 다음의 결과를 얻었다.

1. 벚짚을 펄프화하기 위하여 화학기계와 열기계로 나누어 실험한 바, 포장소재에 적합한 제조방식은 제조공정이 단순하고 폐수발생이 없는 열기계 펄프방식이었다.

2. 벚짚펄프를 소재로 한 제품으로 종이 sheet와 펄프용기 그리고 발포 완충재를 제조하였고, 대표적인 포장재에 대하여 물리적 특성을 분석한 바 목재펄프로 제조된 경우와 차이가 없었다.

3. 벚짚펄프를 고지펄프로 대체하기 위하여 펄프몰드 제조업체에서 공산품 펄프몰드제품의 원료에 사용하였는 바, 고지펄프로 제조한 제품과 차이를 발견할 수 없어 벚짚펄프의 포장소재 적응성은 매우 좋았다.

4. 벚짚펄프를 가압성형방식의 식품용기 원료로 활용한다면 많은 양의 수입 천연펄프가 벚짚으로 대체할 수 있을 것으로 보였다.

5. 발포 완충재에 대한 제조기술을 개발하였고, 산업용의 Car stereo에 대한 제조실험을 수행하였는 바 외관상 관능상태가 우수한 것으로 보였다. 제품별 software 개발이 이루어진다면 벚짚소재 발포 완충재의 실용화는 어려움이 없었다.

6. 벚짚을 소재로한 펄프화기술과 성형용기 제조 그리고 발포 완충재 제조를 위한 제조공정 그리고 관련기계류의 기종을 확립하였고, 주요 기계류를 설계, 제작하여 성능실험 하였다.

7. 벚짚펄프를 원료로한 펄프제품은 소재공급과 제품제조부문으로 나누는 것이 좋았다. 원료의 공급과 보관 그리고 수송등을 고려할 때 대단위 벚짚단지에 펄프제

조 프랜트를 설치하고, 제품제조업체에서는 공급받은 펄프로 식품용기와 발포 완충재 그리고 진공성형몰드를 제조하는 것이 바람직하였다.

참 고 문 헌

1. Grist, D.H., Rice. Longmans, London.
2. Han, I.K. and W.N. Garrett., Improving the dry matter digestibility and voluntary intake of low quality roughages by various treatments, Korean J. Anim. Sci. 28, 199, 1986.
3. Gould, J.M., Alkaline peroxide delignification of agricultural residues to enhance enzymatic saccharification. Biotechnol. Bioeng. 26, 46, 1984.
4. Jackson, M.G., Treating Straw for Animal Feeding, FAO Animal Production & Health Paper 10, Rome
5. Macdonald, R.G and Franklin, J.N., Pulp and Paper Manufacture, 2nd ed., vol. 2, 68, McGRAW -Hill Book Company, New York, 1969.
6. Mamers, H., Menz, D. and Yuritta, J.P., Appita 33(3), 201, 1979.
7. Alcaide, L.J., Baldovin, F.L. and Herranz, J.L.F., Tappi J. 76(3), 169, 1993.
8. Jin, B., Hasuike, M. and Murakami, K., Mokuzai Gakkaishi, 34(11), 923, 1988.
9. Jin, B., Hasuike, M. and Murakami, K., Mokuzai Gakkaishi, 36(5), 374, 1990.
10. Jin, B., Hasuike, M. and Murakami, K., Mokuzai Gakkaishi, 36(9), 732, 1990.
11. Nederveen, G.V. and Hellenberg, G.H., Tappi 39(9), 631, 1956.
12. Jakate, D.N., Venkoba Rao, G., Swamy, V.S.R., Swamy, C.V., Goplchand, K. and Arma, G.S.R.P., Tappi 64(6), 124, 1981.
13. 전 풍진, 대한화학회지, 7, 74, 1963.
14. 전 풍진, 성 주경, 한양대 논문집, 2, 104, 1962.
15. 김 윤호, 전 풍진, 한양대 논문집, 2, 97, 1962.
16. 안 병국, 환경친화 지류포장 완충재의 현황과 전망, 골판지포장·물류, 한국골판지포장공업협동조합, 2, 1995.

17. 김 병권, 페스티로폴의 재활용 품목지정과 향후 재활용 추진계획, 포장세계, 산업 디자인포장개발원, 76,1996.
18. 신동소의 4인 : 임산화학, 향문사, 1994.
19. Rydholm, S.A., Pulping Processes, 412, John Wiley & Sons, Ltd., New York, 1967.
20. 조남섭 : 한국펄프종이공학회, 12(1), 3-11, 1980.
21. Casey, J.P., Pulp & Paper, 3rd, John Wiley & Sons, New York, 1, 525, 1980.
22. Alcaide, L.J., Baldovin, F.L. and Herranz, J.L.F., Evaluation of agricultural residues for paper manufacture. Tappi J., 76, 3, 1 169, 1993.
23. 산업디자인포장개발원, 포장기술편람(1988)
24. 안병국, 한국펄프종이공학회지, Vol 26, No 4, p33 (1994)