

제2차년도
최종보고서

목재용 Microwave 진공 건조기 및
응용기술 개발

DEVELOPMENT OF MICROWAVE VACUUM
DRYER AND ITS APPLICATION TECHNOLOGY

연구기관
충남대학교

농림부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “목재용 Microwave 진공 건조기 및 응용기술 개발” 과제의
최종보고서로 제출합니다.

1999년 10월 일

주관연구기관명 : 충남대학교

총관연구책임자 : 강 호 양

면 구 원 : 이 관 영

보 조 원 : 문 준 호

곽 준 봉

김 신 형

빈 면

요 약 문

I. 제 목

목재용 Microwave 진공 건조기 및 응용기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

초고주파인 Microwave (M/W) 파를 이용한 목재 건조 기술은 1960년대 부터 미국, 러시아 등 선진국에서 꾸준히 연구 발전되어 왔으나 그동안 핵심부품인 마그네트론이 고가이면서도 안정성이 낮았으며, 목재의 대량 건조에 적당치 않아 크게 실용화되지 못했다. 그러나 최근 들어 가정용 전자렌지의 급격한 수요 증가에 따른 생산기술의 발전으로 마그네트론 가격이 낮아지고 안정성이 높아져 국내 목공예산업과 같이 소량으로 생산하는 업체에서 사용하기 적당한 건조기를 개발할 수 있게 되었다.

M/W 건조는 다음과 같은 장점을 가지고 있다. 물체를 직접 가열하기 때문에 대류 건조보다 에너지를 절약할 수 있으며 내부의 온도를 단시간에 높일 수 있다. 또 내부부터 가열되기 때문에 목재 표면의 건조온도차에 의한 표면할열을 현저히 줄일 수 있다. 함수율이 높은 부분을 선택적으로 가열할 수 있기 때문에 수분경사를 없앨 수 있다. 특히 공예품과 같이 복잡한 형상의 물체도 내부부터 균일하게 건조할 수 있다. M/W 출력 또는 조사시간을 조절하므로써 가열온도를 쉽게 제어할 수 있다. 온도, 습도 센서의 설치가 용이하기 때문에 자동 제어가 가능하다.

위의 장점 외에 일반 열기 건조로 건조하기 힘든 통나무와 같은 원통형 재료를 결함없이 건조할 수 있다. 원통형으로 만들 수 있는 목공예품은 무궁무진하다고 할 수 있다.

위와 같은 장점에 반해 목재 내부의 온도가 급격히 상승하기 때문에 M/W의 출력과 조사시간을 적절히 조절하지 못하면 내부가 타게 된다.

따라서 수종별로 적절한 M/W 건조스케줄의 개발이 선행되어야 한다. 또 건조실을 진공으로 만들어 줌으로써 목재 내부의 온도를 높이지 않고도 건조속도를 증가 시킬 수 있다. 대기압이 낮아지면 수분의 증발온도가 낮아지는 원리를 이용한 것이 M/W 진공 건조 방식이다.

우리나라는 전통적으로 목재를 많이 사용하여 왔으며 뛰어난 손재주로 훌륭한 목공예 기술이 계승 발전되어 왔다. 남원의 목기, 충무의 반상기, 광주 지역의 목세공품 등은 세계 시장에 내놓아도 손색이 없을 만큼 훌륭한 예술적 가치를 지니고 있다. 이러한 훌륭한 목공예품을 만들기 위해서는 소재인 목재를 먼저 잘 건조시켜야 오랜 시간 보존하여도 갈라지거나 틀어지는 결함이 발생하지 않는다. 그러나 대부분의 국내 목공예업체는 영세하여 투자비가 많이 드는 열기 건조시설을 갖추고 있지 못하다. 그러므로 저가이면서 에너지 효율이 높은 건조기의 개발이 요구되었다.

본 연구에서는 소규모 목공예 및 가구공장에서 사용할 수 있는 저가의 목재용 M/W 진공 건조기 모델을 설계, 제작하고 이를 이용하여 목재 수종과 가공품 종류에 따른 건조 스케줄 등 응용 기술을 개발하는 것을 목표로하였다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구는 2년에 걸쳐 수행된 것으로 위의 연구목적을 달성하기 위해 아래와 같은 내용 및 연구들을 수행하였다.

<1년차>

- 목공예용 수종의 M/W건조 특성 규명
- 목재용 진공 M/W 건조기 시제품 개발
- 건조실과 피건조물의 온도, 함수율 탐지 기술 개발

<2년차>

- 진공 장치 및 응축 장치 설치
- PC를 이용한 M/W 건조기 자동제어 장치 및 소프트웨어 개발
- 수종별 두께별 적정 M/W 건조스케줄 개발
- 가공목 건조 기술 개발

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 목재용 Microwave 진공 건조기 및 응용기술 개발

가. 침·활엽수재의 Microwave 건조곡선 예측

M/W오븐과 간이투과율 측정장치를 이용하여 활엽수 3수종 (물푸레나무, 오리나무, 아까시나무)과 침엽수 3수종 (소나무, radiata pine, Western hemlock)의 건조속도와 비투과율을 측정하였다. 건조속도와 평균함수율의 상관관계를 조사하여 회귀식을 만들고 이 회귀식을 이용하여 M/W 건조 중 목재의 함수율을 예측할 수 있는 함수율-건조속도 식을 유도하였다. 비투과율과 최대건조속도의 관계를 조사하였으며 적외선 열화상 처리장치를 이용하여 M/W건조 중 목재내부의 열 분포를 조사하였다.

본 연구 결과 M/W건조와 오븐건조의 수축률은 유의 차가 없음이 밝혀졌으며, 수종 내 비투과율은 수 부위에서 제일 낮았다가 점차 증가하여 심재와 변재의 천이 영역에서 제일 높아지나, 다시 수피 쪽으로 갈수록 낮아지는 경향을 모든 수종에서 보였다. radiata pine과 W. hemlock의 적외선 열화상을 비교하여 투과율이 높을수록 열확산이 잘 일어남을 확인할 수 있었다.

건조속도와 평균함수율의 관계는 대수회귀식과 잘 일치하였으며 건조속도에 비해 비투과율이 너무 낮은 W. hemlock을 제외하면 최대 건조속도와 대수회귀식의 기울기 모두 비투과율과 매우 높은 직선 상관관계를

보였다. 본 연구에서 유도한 함수율-건조속도 식은 M/W건조 중 목재의 함수율 변화를 예측하여 건조종료시점을 정확히 찾는 데 유용하게 사용될 수 있다.

나. 목재용 Microwave 진공 건조기 및 자동 조절 시스템 개발

본 시스템은 크게 마이크로파 가열장치, cavity, 진공장치와 자동 조절 및 기록 장치로 구성되어 있다. 마그네트론에서 발생하는 에너지는 cavity로 전송되어 cavity 내의 목재를 유전가열시킨다. 목재 속의 수분이 낮은 온도에서 증발되도록 cavity를 진공으로 유지한다. cavity의 load cell은 목재 무게를 건조 중에 연속적으로 PC에 전달하여 건조 스케줄을 조절할 수 있도록 해준다. Data logger는 목재에 심긴 열전쌍으로 목재 온도를 계속적으로 측정하여 디지털 신호를 PC에 보내준다. PC에서는 목재 무게와 온도를 가지고 마그네트론을 on/off 하여 목재가 스케줄에 따라 건조되도록 자동조절한다.

다. 목재용 Microwave 진공 건조기 자동 control 프로그램 개발

본 연구에 사용된 자동 조절 방식은 목재 온도를 스케줄에 따라 변화시키는 온도스케줄과 마이크로파의 조사시간을 조절하는 시간스케줄의 두 가지 이다. 온도스케줄은 피건조물인 목재에 열전쌍을 심어 이 온도가 정해진 값을 나타내도록 마그네트론을 on/off 시키는 것이고 시간 스케줄은 마그네트론의 on/off 시간을 컴퓨터에 기억시켜 정해진 시간만큼만 마이크로파를 조사하는 것이다.

온도스케줄은 목재의 온도가 일정한도를 넘지 못하도록 하기 때문에 처음 스케줄을 결정할 때 사용하며 M/W건조와 같이 온도가 급격히 변하는 건조 방식에 적합하나 온도감지 시스템에 문제가 발생하면 큰 손실을 입을 수

있다. 시간스케줄은 매우 익숙한 수종을 건조할 때 사용할 수 있으나 M/W건조와 같이 급격한 온도상승이 우려되는 경우 위험부담이 크나 조절이 간편하다.

본 프로그램에서는 자동조절 뿐만 아니라 목재의 온도와 무게 변화를 기록하고 실시간에 그래프로 화면에 나타냄으로써 건조로 내의 변화를 한눈에 볼 수 있다.

라 수종별 Microwave 진공 건조 스케줄 개발

전자렌지 오븐을 이용하여 아까시나무와 밤나무의 통나무를 건조하였다. 아까시나무와 밤나무는 건조가 매우 어려운 수종으로 알려져 있어 이들 건조에 마이크로파를 이용할 수 있는지 여부를 조사하였다.

마이크로파 건조는 투과율이 좋은 수종에 적합하나 이들 두 수종을 투과성이 좋지 못하기 때문에 투과성을 높이기 위해 증기, 자비 처리를 실시하였다. 증기처리는 autoclave에서 1기압 100℃ 수증기로 실시하였으며 자비처리는 autoclave에서 끓는 물에 담가 실시하였다.

전자렌지 오븐을 이용한 예비실험 결과를 중심으로 각 수종별 규격별로 온도와 시간스케줄을 적용하여 건조를 실시하였다. 앞에서와 마찬가지로 각 건조실험 별로 시편의 수종과 규격, 온도와 건조시간 등 건조실험 조건, 건조결과 등을 양식에 정리하여 건조속도, 건조결과 등을 한눈에 비교할 수 있게 만들었다.

일반적으로 3.0cm 판재는 건조가 잘 되었으나 이보다 두꺼우면 건조결함이 많이 발생하였다. 그러나 각재는 10cm라고 잘 건조된 것을 알 수 있다. 따라서 3cm 이상을 건조할 때는 반제품 또는 가공품 형태로 건조하는 것이 효율적으로 생각된다.

목재를 가공한 후에 건조하면 수축이 일어나 활열 등 결함이 발생한다.

그러나 M/W 진공 건조는 수축율이 일반 열기건조보다 적기 때문에 가공 후에 건조하여도 결함이 적게 일어날 가능성이 높다. 만일 이 같이 가공한 후에 건조하여도 결함이 적게 일어나고, 수축이 적게 된다면 필요없는 부분을 건조하므로 생기는 손실을 줄일 수 있다.

본 연구에서 가공 후 M/W 진공 건조를 자작나무, 오리나무, 물푸레나무를 이용하여 실시하였다. 그 결과는 매우 만족스러웠다. 오리나무와 물푸레나무 재기를 생재 상태에서 건조한 결과 미미한 할열을 제외하면 거의 100% 완벽하게 건조되었으며 자작나무 목침은 벌채 직후 발생한 마구리 할열을 제외하면 90%이상 건조결함 없이 건조되었다.

본 연구에 사용된 수종, 규격과 건조결과

수종	형태	두께(cm)	직경(cm)	건조결과
소나무	판재	3		우수
리기다소나무	통나무		25	양호
리기테다	판재	5		불량
	판재	3		우수
	각재	10X10		우수
라디에타 파인	통나무		20	양호
플라타너스	판재	3		우수
은수원사시나무	통나무		20	양호
밤나무	판재	3		우수
자작나무	각재,	9X12		우수
	통나무		12.5-21	양호
오리나무	가공품(제기)		15	우수
물푸레나무	가공품(제기)		15	우수

마. 통나무 길이에 따른 M/W 건조속도 및 온도상승속도 비교
은수원사시 통나무를 이용하여 목재 길이에 따라 건조속도와 온도상승속도가 어떻게 변하는지를 조사하였다.

본 실험 결과 통나무의 길이에 따른 건조곡선은 분명한 차이를 보였으며 시간당 건조속도는 각각 2.8%/hr (30cm), 2.0%/hr (60cm), 1.4%/hr (120cm)로 길이에 따른 차이가 분명하였다. 목재내부온도는 30cm시편은 다른 시편에 비해 분명히 낮은 온도를 나타냈으나 60cm 시편과 120cm시편은 거의 비슷한 온도를 나타냈다. 30cm시편은 수분이동거리가 짧기 때문에 가열된 내부수분이 즉시 밖으로 빠져 나오므로 내부온도가 낮아지게 된 것으로 생각된다.

바. M/W건조 후 판재 길이방향 수분 분포 측정

M/W건조시 목재 내 수분은 길이방향으로 이동하기 때문에 길이 방향 수분경사가 발생한다. 건조 후 길이방향 함수율 분포가 어떻게 형성되어 있는지를 조사하였다.

세 판재 중 마그네트론에 가까운 판재의 함수율이 더 낮았으며 마구리와 중앙 시편의 함수율이 그 사이에 있는 시편보다 높은 값을 나타냈다.

사. 연구결과에 대한 건의

본 연구의 핵심은 국내 최초로 초고주파인 마이크로파를 이용하여 목재를 단기간에 건조할 수 있는 산업용 건조기를 만드는 것으로 연구결과는 성공적이라고 할 수 있다. 그러나 마이크로파 건조기의 특성상 소규모 불량 밖에는 처리할 수 없다. 이러한 작은 처리 규모를 보완하는 방법은 건조기간을 단축하는 것인데 본 연구 결과 열기건조에서는 3-5일 걸리는 것을 30시간에 건조할 수 있었다. 전기에너지를 사용하기 때문에 에너지 비용이 많이 들것으로 예상하였으나 건조기간이 짧기 때문에 비용면에서 충분히 열기건조와 경쟁할 수 있다.

건조기 제조회사에서 본 연구결과를 이용하여 목재용 Microwave 진공건조기를 대량 생산한다면 500만원대로 만들 수 있을 것으로 생각되며

목공예공장, 제기공장, 특수목 가구공장, 목제악기공장 등에서 사용할 수 있다.

이 Microwave 진공 건조기의 장점은 설치공간을 조금 차지하고, 가동이 쉽다는 것이다. 통나무 건조에 유용하게 사용될 수 있다. 보통 목공예 또는 제기 공장에서는 원목상태로 오래 방치하여 건조하는데 이러한 방식이 건조결함을 줄이는데 도움이 된다고 알려져 왔다. 실제로 원목을 그대로 절단하여 대기에 방치하면 마구리에 많은 할열이 생긴다. 그러나 절단된 원목을 Microwave 진공 건조기로 즉시 건조하여 함수율 40%대로 낮추어 놓으면 마구리에 할열이 발생하지 않는다. 할열 뿐만 아니라 변색도 방지할 수 있다.

SUMMARY

1. Prediction of Microwave Drying Curves for Various Hardwoods and Softwoods

Three hardwood (ash, alder and black locust) and three softwood (white pine, radiata pine and Western hemlock) specimens were dried in microwave(M/W) oven and their drying rates were obtained. Their specific permeabilities were also measured by using a modified liquid permeability device. The correlation between the M/W drying rates and permeabilities of six species were statistically analyzed. It was revealed that within a species there is a logarithmic relationship between the M/W drying rates and average moisture contents and that among species there is a linear relationship between the M/W maximum drying rates and the average specific permeabilities. A exception was Western hemlock, which was of low permeability and of high drying rate. A MC-time equation, which showed a good agreement with the actual data, was derived. Thus Using this equation the moisture contents of wood and the drying end points of M/W drying could be predicted. Infrared images of the thermal distribution in wood were illustrated.

2. Development of Microwave Vacuum Dryer and Control System

The M/W vacuum dryer system developed in this project consists of microwave heating, cavity, vacuum and its auto-control system, and recording. Heat energy generated by magnetrons transmits into the cavity, where wood is loaded. The temperature of wood in the cavity rises by the dielectric heating.

A load cell of 100kg is also in the cavity, which weighs wood. The load cell is interfaced to PC in order to continuously record the weight of wood.

Thermocouples implanted in wood transmits the data of wood temperature to PC by RS232c interface device. Depending to the data of wood weight and temperature and the pre-set drying schedule the magnetrons do or don't operate repeatedly.

3. Development of Computer Programs for M/W Vacuum Dryer

There are two drying schedules applied to this project- temperature and time schedules. Thermocouples wires were implanted in wood and the M/W dryer were on and off depending on the temperature recorded. The temperature schedule controls the wood temperature depending on the computer settings. Meanwhile for the time schedule computer controls magnetrons on and off repeatedly.

For unknown species the temperature schedule is safer than the time schedule. Once the wood temperature rises over a critical point, wood may be damaged seriously. The time schedule can be applied only to well-known species.

4. Schedule Development of Microwave Vacuum Drying

The preliminary tests were conducted with chest nut and acacia using a modified microwave oven. On the top of the oven was drilled a hole of 2cm dia., through which a line linked a balance and a wood cradle. The balance is placed on the top of the oven.

It is known that the two species used this experiment are impermeable. Two improve there permeability some specimens were water-boiled or steamed. Though the pre-treatments improved the permeabilities of two species, they weaken the strength of wood and resulted in surface, end and internal checks.

Following the preliminary test, the boards and logs of ten species were dried in the M/W vacuum dryer. The kiln control system worked very well. In general the boards of 30mm thick were dried excellently without any drying defects. However the board of over 30mm results in some end- and surface-checks. Most logs were

dried well if the ends were coated with polyvinyl acetate chloride emulsion.

The brief results of M/W vacuum drying are listed in the next table.

The dimension and drying results of 10 species used in this experiment

Species	Type	Thickness (cm)	Diameter (cm)	Drying result
white pine	board	3		excellent
rigida pine	log		25	good
rigitaeda	board	5		less good
	board	3		excellent
	dimension	10X10		excellent
radiata pine	log		20	good
platanus	board	3		excellent
poplar	log		20	good
chestnut	board	3		excellent
birch	dimension	9X12		excellent
	log		12.5-21	good
alder	remanufactured		15	excellent
ash	remanufactured		15	excellent

5. M/W drying rates and temperature rising rates of logs

The dependency of the drying rate and temperature rising rate on the length of log were studied using poplar logs. The drying rates were 2.8%/hr, 2.0%/hr and 1.4%/hr for 30, 60 and 120cm long logs, respectively. It is clearly shown that the drying rate increase with the log length. The temperature of 30cm is lower than those of 60 and 120cm. It attributes that the moisture transfer path in 30cm is shorter than the others.

6. Moisture distribution of M/W Vacuum Dried Wood in Longitudinal

Direction

During M/W drying most vapor in wood moves in longitudinal direction and results in moisture gradient. This experiment was conducted to explicit the moisture distribution in longitudinal direction. The moisture contents at the ends and centers of boards were higher than the moisture contents at the mid between them.

CONTENTS

SUMMARY	11
CONTENTS	15
CHAPTER 1. INTRODUCTION	19
CHAPTER 2. DEVELOPMENT OF MICROWAVE VACUUM DRYER AND ITS APPLICATION TECHNOLOGY	23
Section 1. Prediction of Microwave Drying Curves for Various Hardwoods and Softwoods	25
1. Introduction	25
2. Material and Method	26
2.1 Material	26
2.2 Green MC and density	26
2.3 Shrinkage of M/W and oven drying	27
2.4 Liquid permeability	27
2.5 Temperature distribution	28
2.6 M/W drying rates	29
3. Results and Discussion	29
3.1 Shrinkage of M/W Vacuum and oven drying	29
3.2 Liquid permeability of various species	30
3.3 Radial distribution of specific permeability	31
3.4 Temperature distribution of M/W dried wood	33
3.5 M/W drying rates of various species	33
3.6 Specific permeability and drying rate	37
3.7 Drying defects	39
4. Conclusions	40
5. References	41

Section 2. Development of Microwave Vacuum Dryer and Control System . . .	42
1. Overview of system	42
2. Components of system	42
3. System Flow Chart	43
4. Dimension of M/W vacuum dryer	44
Section 3. Development of Computer Programs for M/W Vacuum Dryer . . .	45
1. Overview	45
2. Temperature-control computer program	47
3. Time-control computer program	53
4. OUTPUT files	59
Section 4. Schedule Development of Microwave Vacuum Drying	60
1. Pretesting with M/W oven	60
2. Schedule development of various species and dimensions . . .	67
3. M/W Vacuum drying for remanufactured products	102
Section 5. M/W drying rates and temperature rising rates of logs	104
1. Object	104
2. Material and method	104
3. Results	104
Section 6. Moisture distribution of M/W Vacuum Dried Wood in Longitudinal Direction	106
1. Object	106
2. Material and Method	106
3. Results	106
APPENDICES	109

목 차

제 출 문	1
요 약 문	3
I. 제 목	3
II. 연구개발의 목적 및 중요성	3
III. 연구개발의 내용 및 범위	4
IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의	5
SUMMARY	11
CONTENTS	15
목 차	17
제 1 장 서 론	19
제 2 장 목재용 Microwave 진공 건조기 및 응용기술 개발	23
제1절 침·활엽수재의 Microwave 건조곡선예측	25
1. 서 론	25
2. 재료 및 방법	26
2.1 공시재료 및 시편	26
2.2 생재함수율 및 생재밀도	26
2.3 M/W 건조와 오븐 건조의 수축률 측정	27
2.4 액체투과율 측정	27
2.5 목재 내부의 온도분포 측정	28
2.6 수종별 M/W 건조속도 측정	29
3. 결과 및 고찰	29
3.1 M/W건조와 오븐건조의 수축률 비교	29
3.2 수종별 투과율	30
3.3 비투과율의 방사방향 분포	31
3.4 M/W건조 중 내부온도 분포	33
3.5 수종별 M/W 건조속도	33
3.6 비투과율과 건조속도	37

3.7 건조결합	39
4. 결 론	40
5. 참고문헌	41
제2절 목재용 Microwave 진공 건조기 및 자동 조절 시스템 개발	42
1. 시스템의 개요	42
2. 시스템의 구성	42
3. 시스템 Flow Chart	43
4. 건조기 외형과 규격	44
제3절 목재용 Microwave 진공 건조기 자동 control 프로그램 개발	45
1. 프로그램의 개요	45
2. 온도스케줄 프로그램	47
3. 시간스케줄	53
4. OUTPUT files	59
제4절 수종별 Microwave 진공 건조 스케줄 개발	60
1. 전자렌지 오븐을 이용한 예비실험	60
2. 수종별 규격별 건조스케줄 개발	67
3. 가공 후 M/W 진공 건조	102
제5절 통나무 길이에 따른 M/W건조속도 및 온도상승속도 비교	104
1. 목적	104
2. 재료 및 방법	104
3. 결과	104
제6절 M/W건조 후 판재 길이방향 수분 분포 측정	106
1. 목 적	106
2. 재료 및 방법	106
3. 결 과	106
부 록	109

제 1 장

서 론

연구책임자 : 강 호 양
연 구 원 : 이 관 영
보 조 원 : 문 준 호
 곽 준 봉
 김 신 형

빈 면

초고주파인 Microwave (M/W) 파를 이용한 목재 건조 기술은 1960년대 부터 미국, 러시아 등 선진국에서 꾸준히 연구 발전되어 왔으나 그동안 핵심부품인 마그네트론이 고가이면서도 안정성이 낮았으며, 목재의 대량 건조에 적당치 않아 크게 실용화되지 못했다. 그러나 최근 들어 가정용 전자렌지의 급격한 수요 증가에 따른 생산기술의 발전으로 마그네트론 가격이 낮아지고 안정성이 높아져 국내 목공예산업과 같이 소량으로 생산하는 업체에서 사용하기 적당한 건조기를 개발할 수 있게 되었다.

M/W 건조는 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- 물체를 직접 가열하기 때문에 대류 건조보다 에너지를 절약할 수 있다.
- 내부의 온도를 단시간에 높일 수 있다.
- 내부부터 가열되기 때문에 목재 표면의 건조응력차에 의한 표면할열을 현저히 줄일 수 있다.
- 함수율이 높은 부분을 선택적으로 가열할 수 있기 때문에 수분경사를 없앨 수 있다.
- 공예품과 같이 복잡한 형상의 물체도 내부부터 균일하게 건조할 수 있다.
- M/W 출력 또는 조사시간을 조절함으로써 가열온도를 쉽게 제어할 수 있다.
- 온도, 습도 센서의 설치가 용이하기 때문에 자동 제어가 가능하다.

위의 장점 외에 일반 열기 건조로 건조하기 힘든 통나무와 같은 원통형 재료를 결함없이 건조할 수 있다. 원통형으로 만들 수 있는 목공예품은 무궁무진하다고 할 수 있다.

위와 같은 장점에 반해 목재 내부의 온도가 급격히 상승하기 때문에 M/W의 출력과 조사시간을 적절히 조절하지 못하면 내부가 타게 된다. 따라서 수종별로 적절한 M/W 건조스케줄의 개발이 선행되어야 한다. 또 건조실을 진공으로 만들어 줌으로써 목재 내부의 온도를 높이지 않고도 건조속도를 증가 시킬 수 있다. 대기압이 낮아지면 수분의 증발온도가 낮아지는 원리를 이용한 것이 M/W 진공 건조 방식이다.

우리나라는 전통적으로 목재를 많이 사용하여 왔으며 뛰어난 손재주로 훌륭한 목공예 기술이 계승 발전되어 왔다. 남원의 목기, 충무의 반상기, 광주 지역의 목세공품 등은 세계 시장에 내놓아도 손색이 없을 만큼 훌륭한 예술적 가치를 지니고 있다. 이러한 훌륭한 목공예품을 만들기 위해서는 소재인 목재를 먼저 잘 건조시켜야 오랜 시간 보존하여도 갈라지거나 틀어지는 결함이 발생하지 않는다. 그러나 대부분의 국내 목공예업체는 영세하여 투자비가 많이 드는 열기 건조시설을 갖추지 못하다. 그러므로 저가이면서 에너지 효율이 높은 건조기의 개발이 요구되었다.

본 연구에서는 소규모 목공예 및 가구공장에서 사용할 수 있는 저가의 목재용 M/W 진공 건조기 모델을 설계, 제작하고 이를 이용하여 목재 수종과 가공품 종류에 따른 건조 스케줄 등 응용 기술을 개발하는 것을 목표로하였다.

본 연구를 통해 제작된 목재용 Microwave 진공 건조기는 완전 자동 조절 장치를 갖춘 것으로 시제품 제작에는 3,000만원이 들었으나 대량 생산 시에는 이보다 훨씬 싼 가격 (500만원 예상)에 제작할 수 있을 것으로 생각된다.

2년의 짧은 기간이지만 10가지 수종의 통나무, 판재, 각재 등 여러 규격을 60여 회 건조하면서 건조효과가 최적인 건조조건을 찾아냈다. 아직도 많은 추가 실험을 통해 여러 가지 보완하여야 할 점이 있으나 본 보고서의 자료만으로도 충분히 Microwave 진공 건조기의 효과를 파악할 수 있을 것이다.

제 2 장

목재용 Microwave 진공 건조기 및 응용기술 개발

연구책임자 : 강 호 양
연 구 원 : 이 관 영
보 조 원 : 문 준 호
 곽 준 봉
 김 신 형

빈 면

제1절 침·활엽수재의 Microwave 건조곡선예측

1. 서론

보일러에 대한 엄격한 환경규제는 국내의 증기건조업체의 운영을 어렵게 하였으며 그 결과 목재를 적기에 건조하기 어렵게 되었다. microwave (M/W) 건조는 전기를 사용하기 때문에 환경오염의 문제가 전혀 없으며 열전달 매체를 통하지 않고 목재를 직접 가열하기 때문에 건조기간이 증기건조에 비해 매우 짧으며 에너지 효율이 매우 높다 (강, 1995a; 1995 b). 또 M/W건조는 흡수율이 높은 부분에 에너지 흡수가 더 많이 일어나므로 선택적인 건조가 가능하며 내층부터 건조되므로 표면할열을 예방할 수 있다 (Resch, 1968). 두꺼운 목재의 건조에 효과적이며 수축률이 적기 때문에 가공품 건조에 사용될 수 있다. 이에 반해 단점으로 수용재적이 적어 한번에 많은 양을 건조할 수는 없지만 증기건조에 비해 건조시간이 매우 짧기 때문에 회전수를 높일 수 있다.

M/W를 목재건조에 사용하려는 노력은 1960년대부터 시작되어 미국의 Resch (1967, 1968)와 McAlister (1971), Voss (1966) 등에 의해 집중적으로 연구되었다. 최근에는 Antti가 M/W오븐내에서 내부증기압과 온도분포, 건조속도를 연속적으로 조사하는 방법을 개발하여 물푸레, 너도밤나무, 참나무를 서로 비교하였으며(1992), 또 0.8 x 1.1 x 1.8 m의 대형 M/W 건조기를 이용하여 두께 40mm과 50mm의 pine과 spruce의 최적 건조조건을 찾아내었다 (1995). Zielonka 등(1997)은 M/W건조 중 목재내 온도분포모델을 Fourier식을 이용하여 만들어 실험치와 잘 일치함을 보였다.

Microwave 건조는 매우 급격히 진행되기 때문에 건조를 적당한 시점에 종료하는 것이 매우 중요하다. 만일 그렇지 못했을 경우 과건조되어 내부탄화가 일어나며 화재가 발생하는 경우가 종종있다. Microwave 건조에서는 목재가 전자기장 내에 놓여있기 때문에 증기건조에 사용하는 전기적인 방법으로 건조

로내 목재의 함수율을 측정할 수 없다.

지금까지 예비실험결과에 의하면 Microwave 건조속도는 건조초기 최대점까지 상승했다가 함수율에 따라 점차 감소하기 때문에 어느 시점의 건조속도, 즉 미분건조속도를 알면 그 시점의 목재 함수율을 예측할 수 있다.

본 연구에서는 6종의 침·활엽수재의 미분건조속도와 함수율의 관계를 조사하여 각 수종의 Microwave 건조곡선모델식을 만들었으며, 목재의 비투과율과 Microwave 건조속도의 관계를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료 및 시편

사용된 수종이 다양한 만큼 공시재료를 여러 경로를 통해 구입 또는 취득하였다. 물푸레나무(*Fraxinus rhynchophylla*)와 오리나무(*Alnus japonica*)는 전북 남원에 있는 어현동 목공예 단지에서 강원도에서 벌채하여 제기용으로 사용되는 길이 10cm 정도의 통나무를 생재상태로 구입하였다. 아까시나무(*Robinia pseudoacacia*)는 대전 인근 야산에서 벌채된 지 한 달이 못되는 원목을 구하였다. 소나무(*Pinus densiflora*)는 지리산에서 벌채된 원목을 3cm 두께로 판목 제재하여 구입하였으며 *radiata pine*(*Pinus radiata*)과 W. hemlock(*Tsuga heterophylla*)은 인근 제재소에서 두께 3cm 판재를 생재상태로 구입하였다.

2.2 생재함수율 및 생재밀도

생재 공시재료에서 3 x 3 x 3cm 시편을 수종별, 심변재별로 10-20개씩 준비하여 생재함수율은 전건법으로, 생재밀도는 水置換法으로 각각 구하였다 (표1).

Table 1. Average green moisture contents and green densities of various hardwoods and softwoods used in this study.

Species		Average green MC (%)	Average green density ^{a)} (g/cm ³)
ash	heartwood	55	0.64 ± 0.01
	sapwood	55	0.64 ± 0.02
alder	heartwood	51	0.54 ± 0.05
	sapwood	53	0.55 ± 0.06
black locust	heartwood	45	0.71 ± 0.01
J. red pine	heartwood	48	0.46 ± 0.04
	sapwood	164	0.39 ± 0.02
radiata pine	heartwood	51	0.32 ± 0.01
	sapwood	129	0.37 ± 0.03
Western hemlock	heartwood	58	0.43 ± 0.01
	sapwood	79	0.38 ± 0.02

a) based on oven-dry weight and green volume

2.3 M/W 건조와 오븐 건조의 수축률 측정

생재 공시재료에서 3 x 3 x 3cm 시편을 수종별, 심·변재별로 10개씩 잘라 무게를 재고, 水置換法으로 생재 부피를 구한 후 5개 시편은 60℃ 오븐에서, 나머지 5개 시편은 M/W오븐에서 무게변화가 매우 적을 때까지 건조한 다음 모두 꺼내어 103±2℃ 오븐에 넣고 전건시켜 무게를 측정하였다. 전건시편의 부피는 파라핀왁스 도포 후 水置換法으로 측정하였다. 파라핀왁스에 의해 증가한 부피는 아래와 같이 계산하여 보정하였다.

$$\Delta V_p = \frac{W_p - W_{od}}{\rho_p} \dots \dots \dots [1]$$

여기서,

ΔV_p : 파라핀왁스 부피

W_p : 파라핀왁스 도포후 목재무게 (g)

W_{od} : 목재 전건무게 (g)

ρ_p : 파라핀왁스의 밀도 (=0.9 g/cm³)

2.4 액체투과율 측정

액체투과율은 前報(허와 강, 1997)에서 사용하였던 간이 투과율 측정장치를 사용하였으며 본 연구에서는 reservoir의 압력을 진공 60cmHg로 맞추어 사용하였다.

투과율시편은 공시통나무 또는 공시판재의 수부터 수피 근처까지 일정한 간격으로 마이크로톰을 사용하여 섬유방향으로 쪼개었다. 시편의 평균 단면적은 14.5mm²로 최소 1개 이상의 나이테를 포함하도록 하였으며, 정확한 시편의 단면적은 투과율 실험 후 시편의 횡단면을 image analyzer로 확대하여 1mm²당 화소수로 계산하였다.

비투과율(K)은 Darcy의 법칙을 이용하여 아래 식으로 계산하였다.

$$K = 1.013 * 10^8 k \eta \dots\dots\dots [2]$$

$$k = \frac{Q/A}{\Delta P/L}$$

여기서,

K = 비투과율 (darcy)

k = 투과율 (cm⁴ / dyne s)

η = 물의 점성계수 (=0.01 dyne sec / cm²)

Q = 유동속도 (cm³ / s)

A = 단면적 (cm²)

ΔP = 시편 양단의 압력차 (dyne/cm² (1atm=1.013*10⁶ dyne/cm²))

L = 시편의 길이 (cm)

2.5 목재 내부의 온도분포 측정

적외선 열화상 촬영장치를 사용하여 목재 내부의 온도 분포를 일정한 시간 간격으로 촬영하여 열이 목재 내부에서 어떻게 확산되고 어느 곳에 'hot spot'이 발생하는지 관찰하였다. 사용된 적외선 열화상 촬영장치는 Inframetric사의 Model 760으로 Detector type은 HgCdTe, 파장대역은 8-12 um이다.

사용 수종은 radiata pine 변재와 Western hemlock 심재로 폭과 두께가 각각 10cm, 4.5cm 인 생재 판재를 횡단면 시편은 길이 35cm, 종단면 시편은

길이 20cm로 절단하였다. M/W오븐의 출력은 200W로 고정하였다. 처음 시편은 내부가 탈 때까지 가열하여 이 때 걸리는 시간을 알아 본 후, 두 번째 시편은 이 시간보다 약간 짧게 가열하고, 그 다음 시편은 더 짧게 가열하는 방식으로 가열시간을 균등하게 배치하였다. 가열된 시편은 M/W오븐에서 신속히 꺼내어 횡단면 시편은 시편 중앙을 횡단방향으로, 종단면 시편은 시편 중앙을 길이 방향으로 절단한 후 시편이 냉각되는 것을 막기 위해 가능한 한 신속히 촬영하였다.

2.6 수종별 M/W 건조속도 측정

M/W오븐 내 시편의 무게변화를 오븐 상부에 위치한 전자저울로 측정하였다. M/W오븐 천장에 직경 1cm의 구멍을 뚫어 저울과 시편을 M/W의 영향을 받지 않은 비닐 줄로 연결하였다. 시편의 건조속도는 전자저울의 RS232c Interface를 통해 PC에 10분 간격으로 자동기록 되도록 프로그램을 만들었다. M/W건조속도는 목재의 양에 영향을 받으므로 수종마다 비슷한 무게의 시편을 넣고 건조를 시작하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 M/W건조와 오븐건조의 수축률 비교

M/W건조시편과 60℃ 오븐건조시편의 수축률을 표2에 비교하였다. M/W건조는 목재내부부터 건조가 일어나기 때문에 열기건조에 비해 부피 수축률이 작다고 알려져 왔다(Avramidis et al., 1994). M/W건조는 표층보다 내층이 먼저 건조되므로 인장수축의 형태를 취하게 되어 수축률이 증기건조보다 작다. 그러나 본 실험 결과, 두 건조방법간 수축율 차이가 나타나지 않았다. 그 이유는 사용된 시편의 규격이 3 x 3 x 3cm로 작아 표층의 수축저항 효과가 감소되었기 때문인 것 같다. 미발표된 저자의 전처리방법과 건조방법에 따른 수축

를 비교실험에서도 동일한 결과를 얻었다.

Table 2. Comparison of volumetric shrinkages from green to oven-dry between oven- and microwave-dried hardwoods and softwoods.

Species		Average volumetric shrinkage (%)		
		Oven dry	M/W dry	Difference
ash	heartwood	12.8	13.7	-0.9
	sapwood	11.6	11.1	0.5
alder	heartwood	10.3	11.4	-1.1
	sapwood	11.5	10.6	0.9
black locust	heartwood	16.9	15.5	1.4
Japanese red pine	heartwood	11.1	11.4	-0.3
	sapwood	9.2	9.3	-0.1
radiata pine	heartwood	7.6	7.7	-0.1
	sapwood	9.3	9.4	-0.1
Western hemlock	heartwood	8.3	8.8	-0.5
	sapwood	10.9	11.1	-0.2

3.2 수종별 투과율

투과율 시편의 단면적 및 길이와 비투과율의 평균, 최대·최소값을 수종별로 표3에 나타냈다. radiata pine을 제외하고 심재와 변재의 구분이 뚜렷하지 않았기 때문에 심재와 변재를 모두 포함하여 평균, 최대·최소값을 구하였다. 평균 비투과율은 radiata pine 변재가 0.68 darcy로 가장 높았으며, 그 다음으로 소나무, 물푸레나무, radiata pine 심재, 오리나무, W. hemlock 순이며 아까시나무가 0.01 darcy로 가장 낮았다. 최대 투과율은 소나무가 2.82 darcy로 radiata pine 변재 1.21 darcy 보다 높았으나 전자의 최저 투과율은 0.005 darcy로 후자의 최저투과율 0.12 darcy에 비해 1/20에도 미치지 못하였다. 따라서 소나무의 투과율은 매우 변이가 큼을 알 수 있다. 즉 표준편차는 0.66 darcy로 소나무의 평균 비투과율 0.45 darcy보다 크다.

Table 3. Average specimen dimensions and average specific liquid permeabilities of some hardwoods and softwoods.

Species	Specimen dimension		Specific permeability (darcy)		
	Cross section area (cm ²)	Average length (cm)	Average	Max	Min
ash	1.59	4.9	0.40 ± 0.33	1.14	0.04
alder	1.39	3.2	0.14 ± 0.10	0.34	0.03
black locust	1.94	2.0	0.01 ± 0.01	0.04	0.002
J. red pine	1.28	5.1	0.45 ± 0.66	2.82	0.005
radiata pine heartwood	1.33	3.1	0.20 ± 0.21	0.48	0.003
sapwood	1.41	3.0	0.68 ± 0.59	1.21	0.12
W. hemlock	1.23	3.1	0.03 ± 0.03	0.08	0.003

활엽수 비투과율의 크기는 물푸레나무, 오리나무, 아까시나무 순이다. 아까시나무의 낮은 투과율은 도관의 타이로시스가 수분의 이동을 막고 있기 때문인 것으로 이해할 수 있으며, 이 때문에 건조가 매우 어려운 수종으로 알려져 있다.

침엽수의 투과율은 활엽수보다 비교적 높았으나 W. hemlock의 비투과율은 0.03 darcy로 훨씬 낮았다. 이는 W. hemlock시편의 대부분이 심재였던 때문에 일부 기인하지만 먼저 연구결과에서도 W. hemlock의 투과율은 다른 침엽수보다 매우 낮게 나타났다 (허와 강, 1997).

3.3 비투과율의 방사방향 분포

비투과율의 방사방향 분포는 그림2-1의 소나무 비투과율 분포에서 보듯이 심재의 수 부위에서 제일 낮았다가 심재와 변재의 천이 영역에서 제일 높아지나, 변재 영역에서는 수피 쪽으로 갈수록 다시 낮아지는 경향을 보였다. 이러한 경향은 모든 수종에서 나타났다.

소나무의 변재에서 비투과율이 일정하게 변하지 않고 요철을 나타내는 이유는 투과율 시편의 추재율이 균일하지 못한 때문이며, 실제로 시편의 추재율

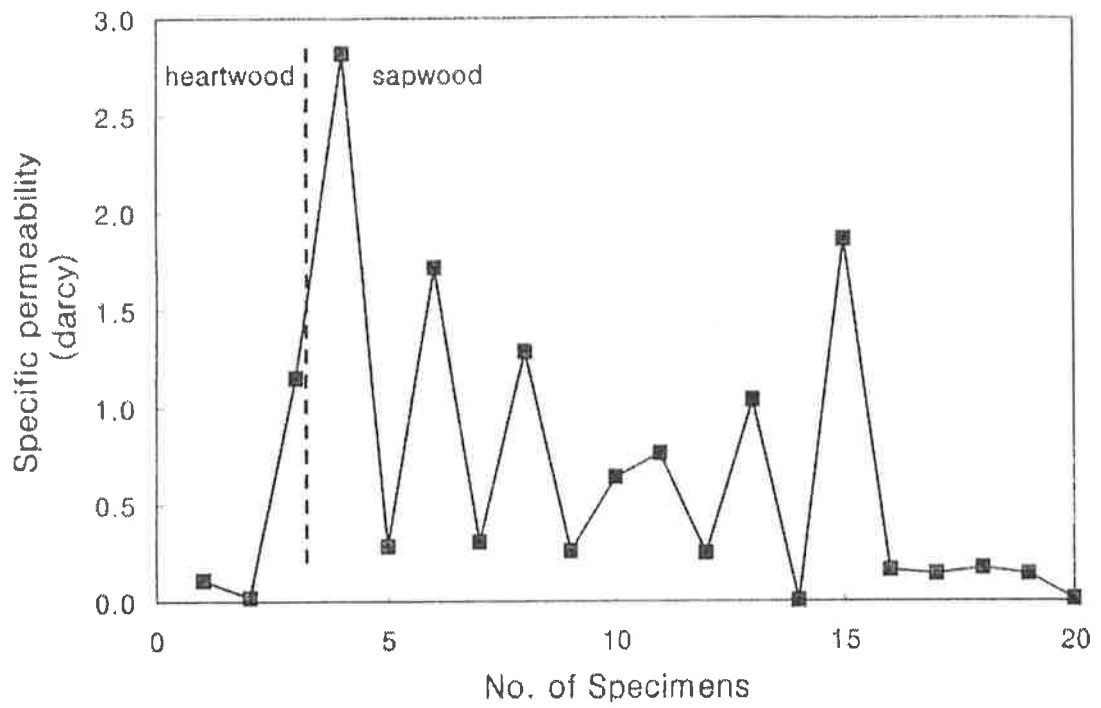


그림 2-1. 대표적인 방사방향 투과율 분포 (낙엽송)

을 균일하게 만들기는 불가능하였다. 춘재와 추재가 차지하는 비율에 따라 투과율이 달라진다고 알려졌는데 (Petty, 1970), 본 실험 결과도 이를 입증하였다.

3.4 M/W건조 중 내부온도 분포

Western hemlock 횡단면의 온도분포 사진을 그림2-2에 나타냈다. 평균함수율 97%, 56%, 35%에서의 최대온도는 각각 47.6℃, 76.5℃ 그리고 92.8℃였으며 이 온도에 도달하는 데 각각 4분, 14분, 25분 걸렸다. 평균함수율이 97%로 매우 높을 때에도 내부온도가 불균일한 분포를 나타낼 뿐만 아니라 평균함수율이 35%로 낮아졌을 때에는 더욱 불균일하여 몇 군데 'hot spot'이 발생하였다. 이 같은 현상은 Western hemlock의 매우 낮은 투과율(표 3)에 의해 열확산이 잘 일어나지 못한 때문으로 해석된다. Western hemlock은 35분 건조 후 내부가 완전히 타 버렸다.

이에 반해 radiata pine에서는 내층의 열이 표층으로 잘 이동하기 때문에 횡단면의 온도분포가 균일하였다. radiata pine의 열확산 모습은 횡단면 사진보다 섬유단면 사진에 잘 나타나고 있다 (그림2-3). 실험결과 radiata pine은 100분까지 오래 건조하여 함수율이 6%로 떨어지더라도 탄화가 일어나지 않고 건조가 잘 되었다. 따라서 M/W 건조의 성공여부는 투과율에 달려있다는 것이 증명되었다.

3.5 수종별 M/W 건조속도

모든 수종의 건조속도 변화는 일정한 패턴을 보였다. 건조 초기 가열기간에는 건조속도가 점차 상승하다가 최고점에 도달한 후에 완만하게 직선적으로 감소하다가 함수율 13-14% 지점부터 모든 수종이 대수적으로 급격히 감소하고 있다. 이러한 건조속도와 평균함수율의 관계를 가열기간을

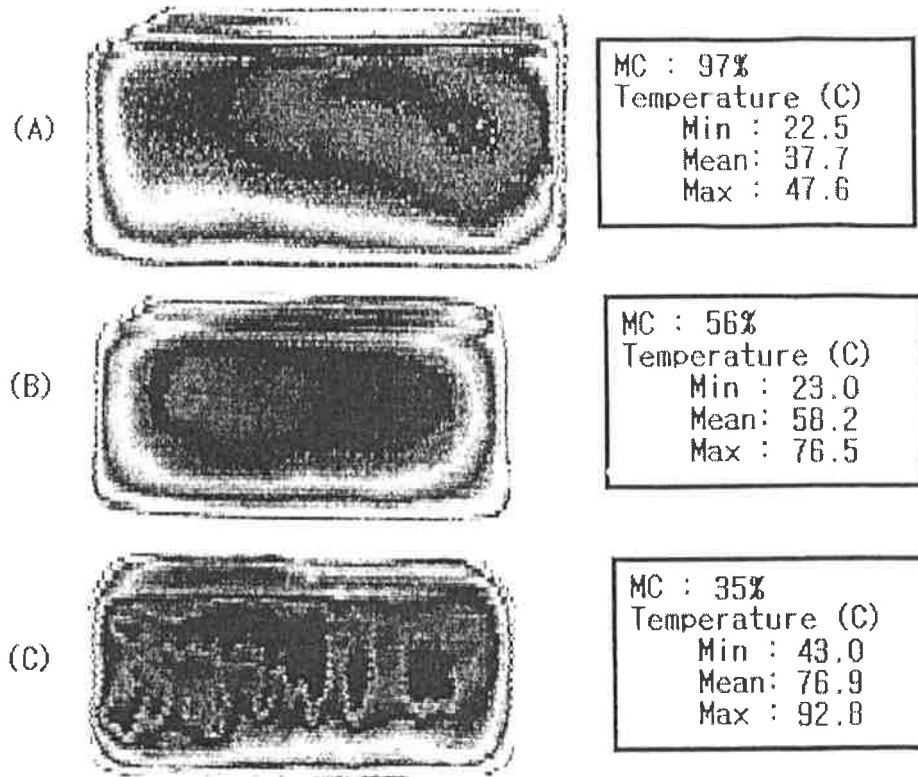


그림 2-2. M/W가열된 험록 횡단면의 적외선열화상

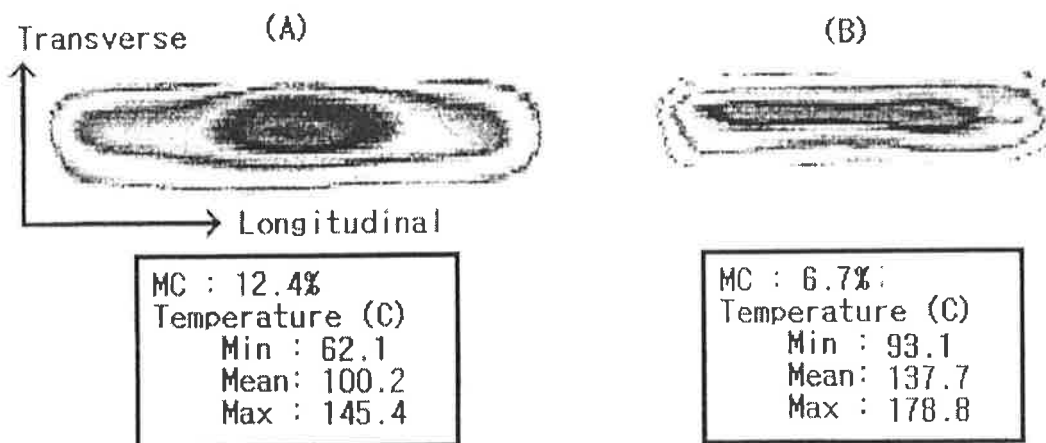


그림 2-3. M/W가열된 라디에타 파인 방사단면. 열이 섬유방향으로 확산되는 모습

제외하고 대수회귀로 표시한 결과 잘 일치하였다. 그림2-4에는 활엽수와 침엽수를 대표하여 물푸레나무와 radiata pine의 건조속도 그래프를 상승기간을 제외하고 그래프에 나타냈는데 절대상관계수 R^2 가 각각 0.94와 0.99로 매우 잘 일치하고 있다.

표 4의 최대 건조속도와 대수회귀식의 기울기를 비교하면, 활엽수는 정의 상관을 나타내고 있다. 즉 두 변수 모두 물푸레나무가 가장 크고, 오리나무, 아까시나무 순이다. 이 순서는 표 2의 비투과율의 순서와 매우 잘 일치하고 있다. 그러나 침엽수의 경우 최대 건조속도는 Western hemlock이 제일 빠르고, radiata pine, 소나무 순이나 대수회귀식의 기울기는 radiata pine, W. hemlock, 소나무 순이다. 이러한 불일치는 W. hemlock 때문에 발생하는 것으로 W. hemlock의 초기함수율은 127.9%로 소나무 62.9%, radiata pine 87.2% 보다 월등히 높기 때문인 것으로 추측된다. 침엽수의 비투과율은 radiata pine이 가장 높고, 소나무, W. hemlock 순으로 W. hemlock의 비투과율은 radiata pine의 1/20에 지나지 않았다 (표 3).

Table 4. Initial MC's, maximum drying rates and the logarithmic regressions for drying rate plots of some hardwoods and softwoods.

Species	Initial MC (%)	Max. drying rate (%MC/hr)	Regression equation	R^2
ash	37.5	3.5	0.9672 ln(x) + 0.2211	0.94
alder	38.8	2.4	0.8813 ln(x) - 0.5573	0.89
black locust	53.0	2.1	0.5472 ln(x) + 0.3152	0.83
Japanese red pine	62.9	5.1	1.2389 ln(x) - 0.2867	0.96
radiata pine	87.2	6.3	1.8010 ln(x) - 1.4956	0.99
Western hemlock	127.9	7.1	1.5701 ln(x) - 1.1896	0.93

모든 수종의 최대 건조속도에 대한 대수회귀식의 기울기의 관계식은 다음 직선회귀로 나타낼 수 있다.

$$b_1 = 4.2034x - 0.4913 \dots\dots\dots [4]$$

($R^2 = 0.8842$)

x : 최대 건조속도 (%MC/hr)

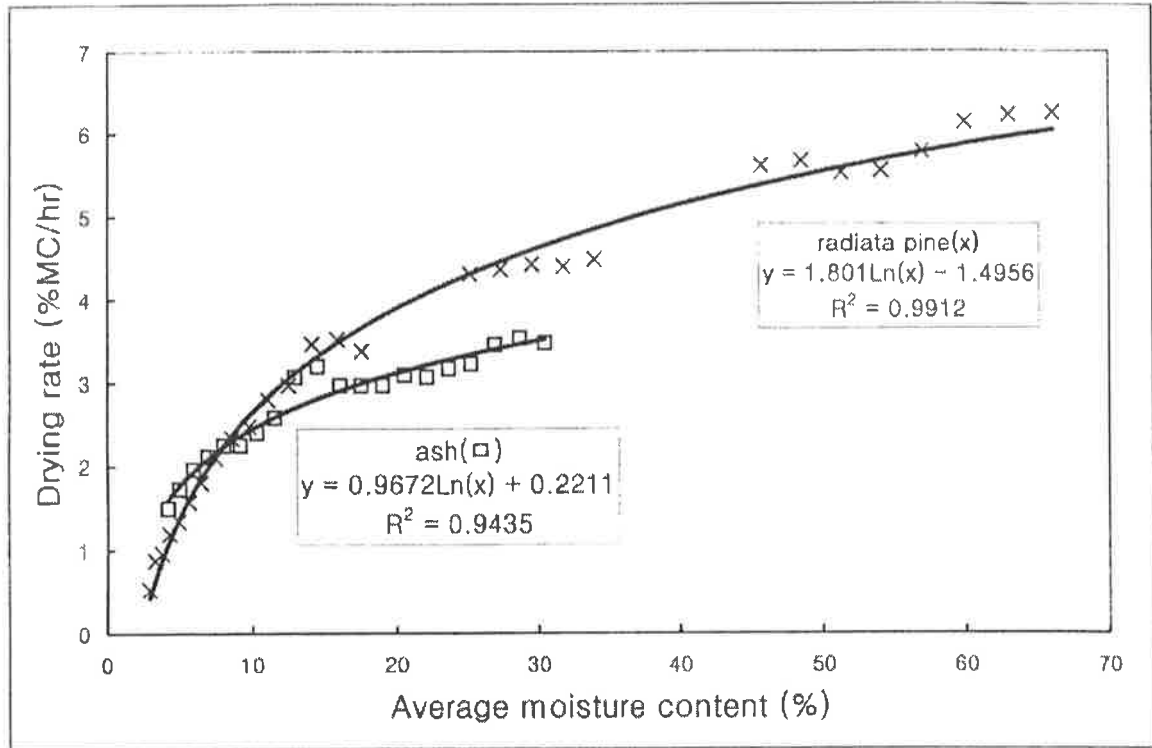


그림 2-4. 평균함수율에 대한 건조속도의 관계도

b_1 : 대수회귀식의 기울기 (%MC/hr)

따라서 최대 건조속도와 그 때의 평균함수율을 이용하여 대수회귀식의 기울기와 절편을 구할 수 있다. 따라서 평균함수율에 따른 건조속도의 변화를 예측할 수 있을 뿐만 아니라 건조속도를 측정할 수 있다면 현재 함수율을 알 수 있다.

대수회귀식을 다음과 같이 유도하여 함수율-건조시간 식을 만들었다.

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = b_1 \ln(M_1) - b_0 \dots\dots\dots [5]$$

$$\frac{M_2 - M_1}{t_2 - t_1} = b_1 \ln(M_1) - b_0 \dots\dots\dots [6]$$

$$M_2 = M_1 + (b_1 \ln(M_1) - b_0)(t_2 - t_1) \dots\dots\dots [7]$$

M_1, M_2 : 함수율 (%) ($M_1 > M_2$)

t_1, t_2 : 함수율 M_1, M_2 때의 건조시간

b_1 : 대수회귀식의 기울기

b_0 : 대수회귀식의 절편

식[7]을 이용하면 최대건조속도 때의 함수율부터 전건까지 일정시간 경과 후의 함수율을 예측할 수 있다. 그림2-5에 나타난 바와 같이 모든 수종의 함수율-건조시간 식이 실제데이터와 잘 일치하고 있다. 따라서 이 함수율-건조시간 식을 이용하면 M/W건조 중 함수율 변화를 예측하여 건조종료시점을 정확히 찾아낼 수 있다. 그러나 본 함수율-건조시간 식은 건조초기 가열기간을 예측할 수 없는 단점을 가지고 있어 이에 대한 보완이 필요하다.

3.6 비투과율과 건조속도

너무 낮은 비투과율을 보이는 W. hemlock을 제외하면 최대 건조속도와 대수회귀식의 기울기 모두 비투과율과 매우 높은 직선상관 관계를 보이고 있다. 이들의 직선회귀식은 다음과 같다.

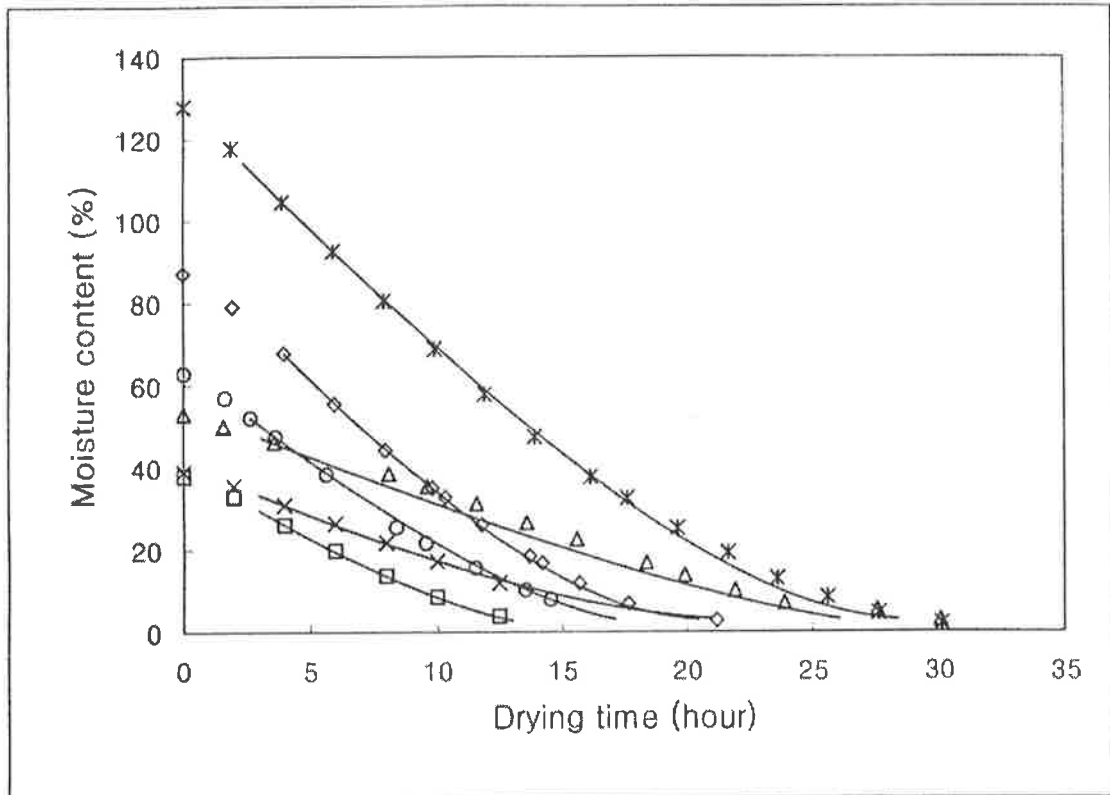


그림 2-5. 여섯수종의 건조곡선과 회귀선. 물푸레(口), 오리나무(x), 아까시나무(세모), 낙엽송(o), 라디에타 파인(마름모), 햄목(*)

$$U_{\max} = 0.1415 K - 0.2129 \dots\dots\dots [5]$$

$$(R^2 = 0.9179)$$

$$b_1 = 0.5353 K - 0.2459 \dots\dots\dots [6]$$

$$(R^2 = 0.9011)$$

K : 비투과율 (darcy)

U_{\max} : 최대 건조속도 (%MC/hr)

b_1 : 대수회귀식의 기울기 (%MC/hr)

따라서 비투과율을 측정하므로 건조속도를 예측할 수 있다.

3.7 건조결합

본 연구에서는 M/W 건조속도 측정만을 목표로하였기 때문에 건조결합을 자세히 조사하지 않았다. 다만 가능한 한 건조결합을 줄이기 위해 M/W 오븐의 출력을 70W로 매우 낮게 설정하여 건조하였다. M/W 건조 시 건조결합을 줄이기 위해서는 가열과 냉각을 적절히 조화시켜 목재내부의 온도가 너무 상승하지 않도록 실시하여야 하나 본 실험에서는 냉각기간을 두지 않고 연속적으로 건조하였다. 함수율 10%이하로 건조하여 육안으로 관찰한 결과 침엽수는 전혀 결합이 없었으나 활엽수 원목은 모두 큰 할열이 발생하였다. 따라서 활엽수재를 M/W 건조할 때는 깊은 주의가 요구된다.

4. 결 론

M/W오븐과 간이투과율 측정장치를 이용하여 활엽수 3수종 (물푸레나무, 오리나무, 아까시나무)과 침엽수 3수종 (소나무, radiata pine, Western hemlock)의 건조속도와 비투과율을 측정하였다. 건조속도와 평균함수율의 상관관계를 조사하여 회귀식을 만들고 이 회귀식을 이용하여 M/W 건조 중 목재의 함수율을 예측할 수 있는 함수율-건조속도 식을 유도하였다. 비투과율과 최대건조속도의 관계를 조사하였으며 적외선 열화상 처리장치를 이용하여 M/W건조 중 목재내부의 열 분포를 조사하였다.

본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. M/W건조와 오븐건조의 수축률은 유의 차가 없음이 밝혀졌다.
2. 수종 내 비투과율은 수 부위에서 제일 낮았다가 점차 증가하여 심재와 변재의 천이 영역에서 제일 높아지나, 다시 수피 쪽으로 갈수록 낮아지는 경향을 모든 수종에서 보였다.
3. radiata pine과 W. hemlock의 적외선 열화상을 비교하여 투과율이 높을수록 열확산이 잘 일어남을 확인할 수 있었다.
4. 건조속도와 평균함수율의 관계는 대수회귀식과 잘 일치하였다.
5. 건조속도에 비해 비투과율이 너무 낮은 W. hemlock을 제외하면 최대 건조속도와 대수회귀식의 기울기 모두 비투과율과 매우 높은 직선 상관관계를 보였다.
6. 본 연구에서 유도한 함수율-건조속도 식은 M/W건조 중 목재의 함수율 변화를 예측하여 건조종료시점을 정확히 찾는 데 유용하게 사용될 수 있다.

5. 참고문헌

- 강호양. 1995a. Golf Club Head용 감나무재의 Microwave 건조(I) - 30mm 판재의 건조경과와 온도변화. 목재공학 23(1):35-41
- 강호양. 1995b. Golf Club Head용 감나무재의 Microwave 건조(II) - 감나무 블럭의 건조경과와 온도변화. 목재공학 23(3):28-32
- 허종윤, 강호양. 1997. Pressure Bomb법을 이용한 섬유방향 액체투과성 측정. 목재공학 25(3):66-74
- Antti, A.L. 1992. Microwave drying of hardwood: simultaneous measurements of pressure, temperature, and weight reduction. Forest Products Journal 42(6):49-54
- Antti, A.L. 1995. Microwave drying of pine and spruce. Holz als Roh- und Werkstoff 53:333-338
- Avramidis, S. et al. 1994. Radio-frequency/vacuum drying of softwood: drying of thick western redcedar with constant electrode voltage. Forest Products Journal 44(1):41
- McAlister, W.R. and H. Resch. 1971. Drying 1-inch ponderosa pine lumber with a combination of microwave power and hot air. Forest Products Journal 2(3):26-34.
- Petty, J.A. 1970. Permeability and structure of the wood of Sitka spruce. Proc. Roy. Soc. Lond. B 175:149-166
- Resch, H. 1967. Drying of incense cedar pencil slats by microwave power. J. Microwave Power 2(2):45-49.
- Resch, Helmuth. 1968. Microwave for the drying of wood products. Holz als Roh- und Werkstoff 26(9):317-324
- Voss, W.A.G. 1966. Factors affecting the operation of high power microwave heating systems for lumber processing. IEEE Trans. IEA 2(3):234-243
- Zielonka, P. et al. 1997. The comparison of experimental and theoretical temperature distribution during microwave wood heating. Holz als Roh- und Werkstoff 55:395-398

제2절 목재용 Microwave 진공 건조기 및 자동 조절 시스템 개발

1. 시스템의 개요

본 시스템은 그림 2-6과 같이 구성되어 있다. 마그네트론에서 발생하는 에너지는 cavity로 전송되어 cavity 내의 목재를 유전가열시킨다. 목재 속의 수분이 낮은 온도에서 증발되도록 cavity를 진공으로 유지한다. cavity의 load cell은 목재 무게를 건조 중에 연속적으로 PC에 전달하여 건조 스케줄을 조절할 수 있도록 해준다. Data logger는 목재에 심긴 열전쌍으로 목재 온도를 계속적으로 측정하여 디지털 신호를 PC에 보내준다. PC에서는 목재 무게와 온도를 가지고 마그네트론을 on/off 하여 목재가 스케줄에 따라 건조되도록 자동조절한다.

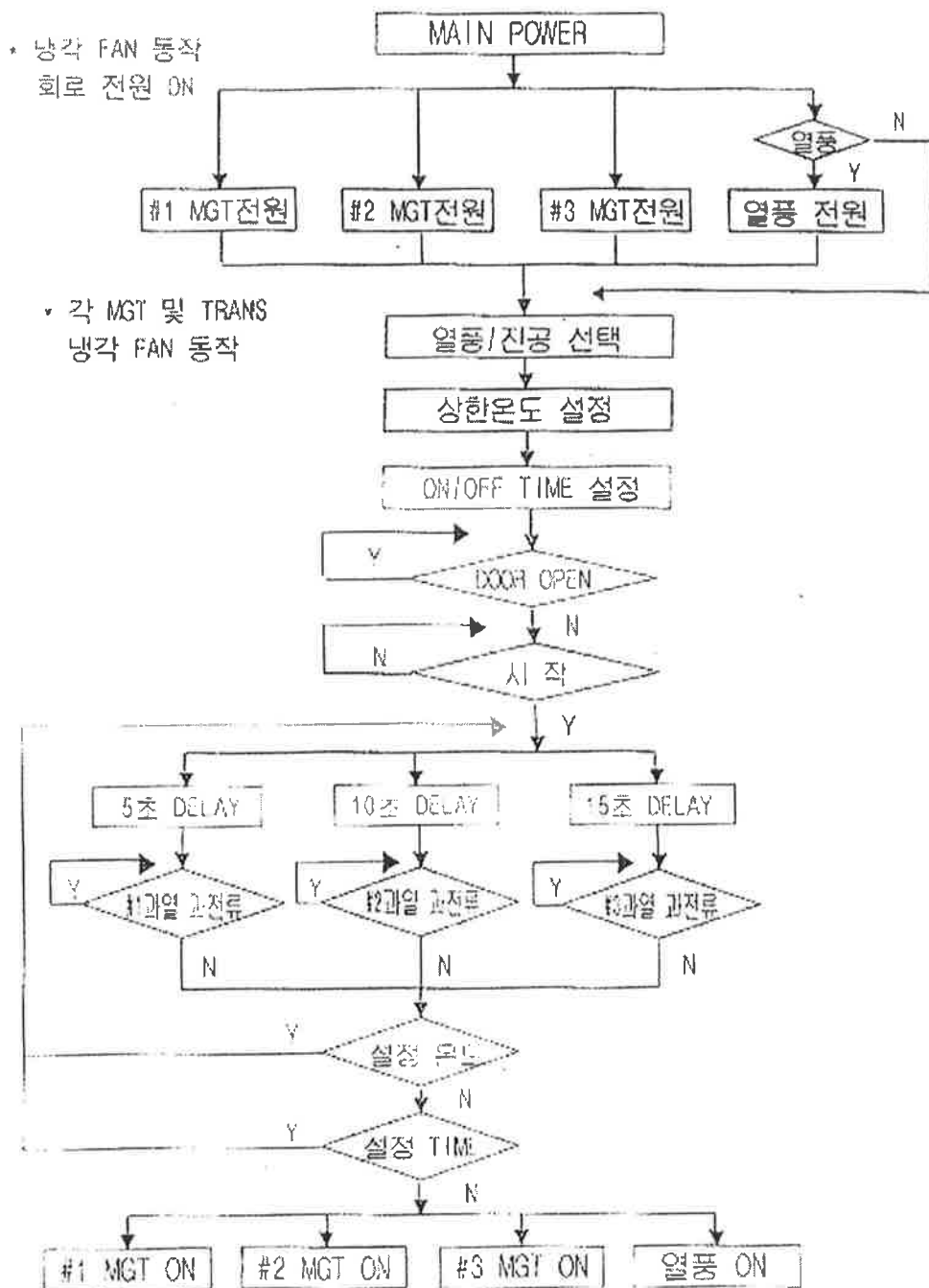
2. 시스템의 구성

high frequency power supply	-----	4500V, 450mA (3개)
microwave generator	-----	2450MHz, 1.5kW (3개)
waveguide system	-----	WR-340 (3개)
cavity system	-----	1500×700×584 (1set)
열풍 system	-----	5kW (1set)
전장 및 control	-----	PLC control (1set)
load cell and indicator	-----	100±0.01 kg (1set)
수압식 진공펌프	-----	600리터/분
Data logger	-----	20channel (1개)

3. 시스템 Flow Chart

건조시스템의 작동 flow chart는 아래와 같다.

① FLOW CHART



4. 건조기 외형과 규격

건조기 cavity, 마그네트론, control box의 외형은 그림 2-7과 같으며 규격을 설계도면 (그림 2-8)과 같다.

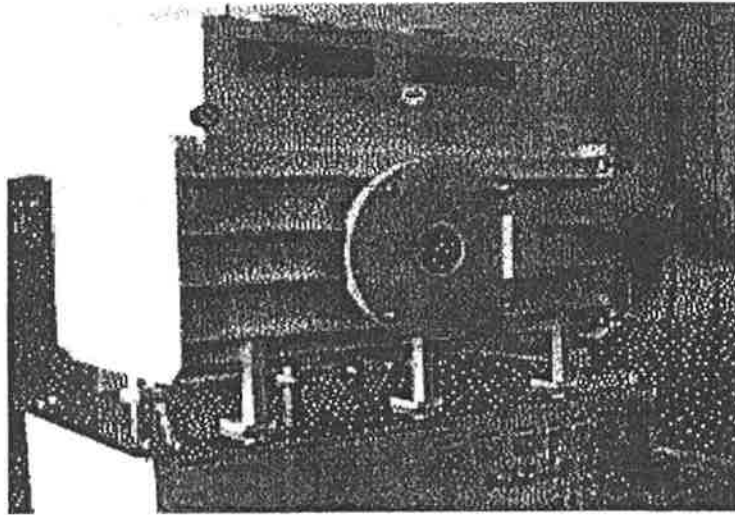


그림 2-7. 목재용 Microwave 진공 건조기

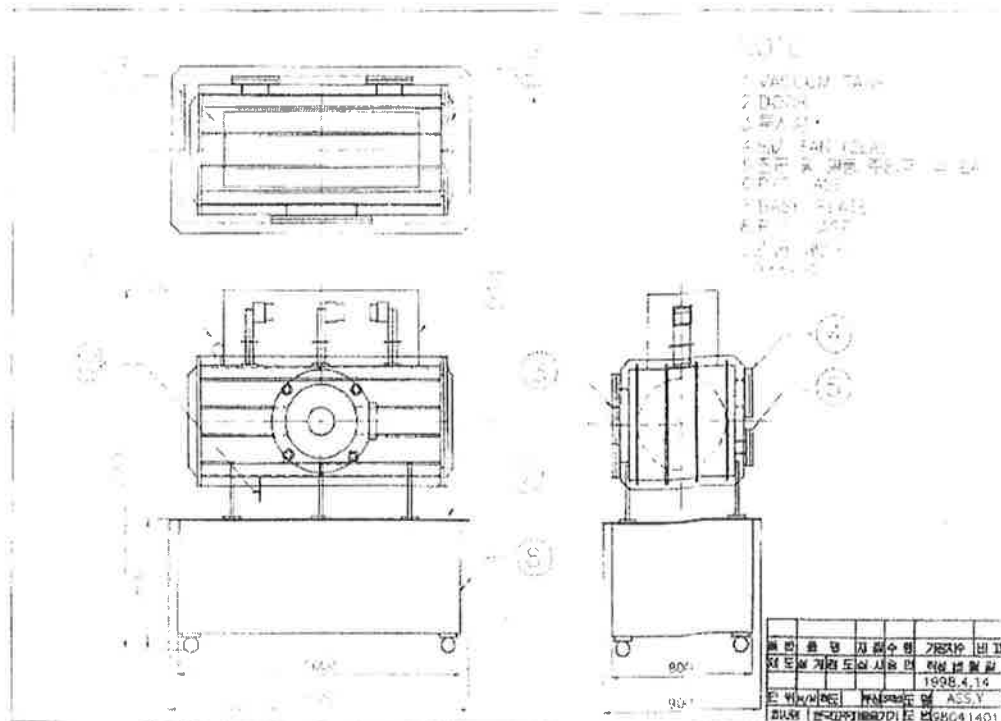


그림 2-8. 목재용 Microwave 진공 건조기의 도면

제3절 목재용 Microwave 진공 건조기 자동 control 프로그램 개발

1. 프로그램의 개요

본 연구에 사용된 자동 조절 방식은 목재 온도를 스케줄에 따라 변화시키는 온도스케줄과 마이크로파의 조사시간을 조절하는 시간스케줄의 두 가지 이다. 온도스케줄은 피건조물인 목재에 열전쌍을 심어 이 온도가 정해진 값을 나타내도록 마그네트론을 on/off 시키는 것이고 시간 스케줄은 마그네트론의 on/off 시간을 컴퓨터에 기억시켜 정해진 시간만큼만 마이크로파를 조사하는 것이다.

온도스케줄은 목재의 온도가 일정한도를 넘지 못하도록 하기 때문에 처음 스케줄을 결정할 때 사용하며 M/W건조와 같이 온도가 급격히 변하는 건조 방식에 적합하나 온도감지 시스템에 문제가 발생하면 큰 손실을 입을 수 있다. 시간스케줄은 매우 익숙한 수종을 건조할 때 사용할 수 있으나 M/W건조와 같이 급격한 온도상승이 우려되는 경우 위험부담이 크나 조절이 간편하다.

본 프로그램에서는 자동조절 뿐만 아니라 목재의 온도와 무게 변화를 기록하고 실시간에 그래프로 화면에 나타냄으로써 건조로 내의 변화를 한눈에 볼 수 있다.

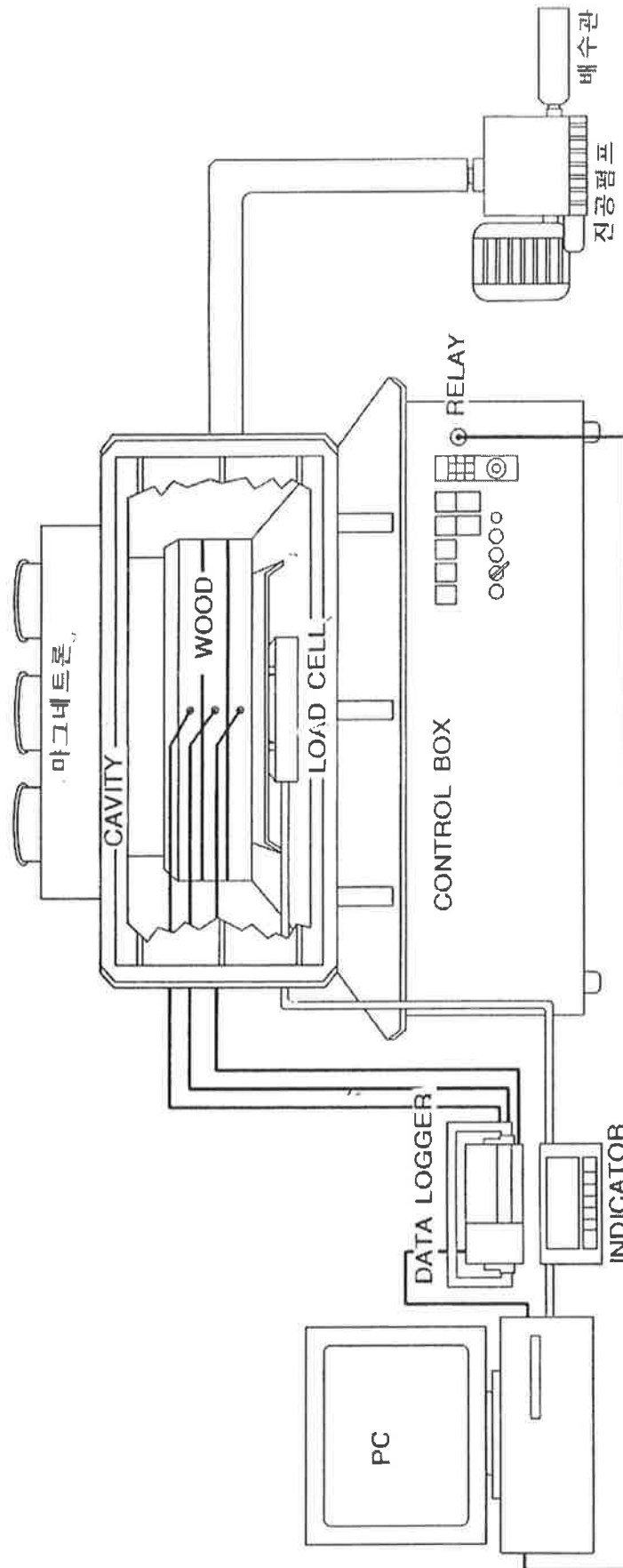


그림 2-6. 목재용 Microwave 진공 건조 및 자동제어 시스템

2. 온도스케줄 프로그램

<프로그램은 QBASIC으로 작성>

```

DIM flag, sttemp(10), sttime(10) AS INTEGER
DIM arrow(6), start(6), crit(6) AS INTEGER

10 CLS
SCREEN 12

'ON ERROR GOTO mwoff

'DEFINT F-N

  GOSUB Initial

  GOSUB mwoff
  GOSUB CHtemp
  GOSUB WTr record

  iniwt = VAL(weight$)
  oldwt = iniwt

  GOSUB Makebox

DO

  GOSUB CHtemp

  GOSUB WTr record
  GOSUB Epoint
  GOSUB Graph

LOOP WHILE INKEY$ = ""

IF flag = 1 THEN GOSUB mwoff

100 CLS

LOCATE 15, 20: PRINT " M/W Drying Is Completed !!!"

END

Initial:

  OPEN "COM1:9600,n,8,,cs,ds,cd" FOR RANDOM AS #11 'hydra logger

30 LOCATE 2, 9: PRINT "MW KILN OPERATING Program"
31 LOCATE 3, 9: PRINT "Wood Temp Control / Balance Recording "

  LOCATE 5, 12: PRINT "(if WOOD TEMP. <=20, schedule input stops)"

  ik = 1
  FOR i = 1 TO 10
40 LOCATE ik + 5, 9: PRINT "ENTER      th COND. WOOD TEMP. (20<C=<120): "
  LOCATE ik + 5, 15: PRINT i

  LOCATE ik + 5, 50: INPUT sttemp(i):

  IF sttemp(i) > 120 GOTO 40

  IF sttemp(i) <= 20 GOTO 51

  LOCATE ik + 6, 9: PRINT "ENTER      th COND. PERIOD (HR): "
  LOCATE ik + 6, 15: PRINT i
  LOCATE ik + 6, 50: INPUT sttime(i)

```



```

ik = ik + 2
NEXT i

51 LOCATE 27, 9: INPUT "Is drying schedule correct (type Y), or not (type N)?"; y$

IF y$ = "N" OR y$ = "n" THEN
CLS : GOTO 30

ELSE
END IF

condstep = i

totalrun = 0

FOR i = 1 TO condstep
totalrun = totalrun + sttime(i)
NEXT i

maxtemp = sttemp(1)

CLS
LOCATE 2, 9: PRINT "MW KILN OPERATING Program"
LOCATE 3, 9: PRINT "Wood Temp Control / Balance Recording "

LOCATE 4, 12: PRINT "Temperature setting( C) is :"; maxtemp

GOSUB Datetime
filem$ = arrow$(1) + arrow$(2) + arrow$(3)

60 filename$ = filem$ + ".dat"
file2$ = filem$ + ".tmp"

70 OPEN filename$ FOR APPEND AS #2
OPEN file2$ FOR APPEND AS #3

74 LOCATE 30, 1: PRINT "Press any key to stop!"
76 LOCATE 6, 10: PRINT "      Date           Time           Weight(g)      Temp (C) "

'start = VAL(LEFT$(TIME$, 2))

'testmin = 5 'interval for M/W recording
interval = 20'interval for weight recording 20 minutes
flag = 0
oldmin = -5000000
ontime = TIMER
woodtemp = 120

yrange = 20 'weight change range (20kg)

offtime = ontime
elapse = ontime

GOSUB Datetime

FOR i = 1 TO 6
start(i) = arrow(i)
NEXT i

PRINT #2, "      date           time           Weight(g)      Temp (C)"
PRINT #3, DATE$, TIME$, "MW operation starts"

RETURN

CHtemp:
COSUB WDtemp

```

```

IF (woodtemp <= (maxtemp + 5) AND flag = 0) THEN
  GOSUB MWon
  ELSEIF (woodtemp >= maxtemp AND flag = 1) THEN
    GOSUB mwoff

* ELSEIF (hightemp > (maxtemp + 20) AND flag = 1) THEN
* GOSUB mwoff

  ELSE
END IF

' period = TIMER - ontime
' IF period < 0 THEN period = period + 86400

' IF (period >= 300 AND flag = 1) THEN GOSUB Pause

RETURN

WDtemp:
  hightemp = -100!

  PRINT #11, "*TRG": prompt$ = INPUT$(4, #11)

  'Average wood temperature

  itest = 0
  tempsum = 0

  FOR j = 1 TO 5

    PRINT #11, "last? " + STR$(j): prompt$ = INPUT$(4, #11)
    INPUT #11, result$: resnum = ABS(VAL(result$))

    IF (resnum > (woodtemp + 30)) THEN GOTO 200'if TC open or temp. jump, goto next
    channel

    IF (resnum > hightemp) THEN hightemp = resnum

    tempsum = tempsum + resnum

    itest = itest + 1

200 NEXT j

  IF itest > 0 THEN woodtemp = tempsum / itest

  RETURN

WRecord:

OPEN "com2:2400,e,7,1,cs,ds,cd,RB2048" FOR RANDOM AS #1 'balance

  FOR i = 1 TO 5
    PRINT #1, "R": CHR$(13): CHR$(10):
    LINE INPUT #1, record$
  NEXT i

  CLOSE (1)

  weight$ = MID$(record$, 8, 16)

  GOSUB Datetime

* time1$ = TIME$: date1$ = DATE$

  diff = arrow(5) - oldmin

  IF diff < 0 THEN diff = diff + 60
  
```

```

LOCATE 7, 1: PRINT "Current data are ": today$, thistime$, weight$, woodtemp

IF diff >= interval THEN
  wtvalue = VAL(weight$)
  drate = (wtvalue - oldwt) / diff * 60
  PRINT #2, today$, thistime$, weight$, woodtemp

  LOCATE 11, 1: PRINT "Drying rate (g/hr) is: "; USING "###.###"; drate

  oldmin = arrow(5)
  oldwt = wtvalue

ELSE
  END IF

RETURN

MWon:
OUT &H202, &H0
ontime = TIMER
IF flag = 0 THEN offpiod = ontime - offtime
IF offpiod < 0 THEN offpiod = offpiod + 86400
totoff = totoff + offpiod
flag = 1

LOCATE 13, 10: PRINT "M/W oven is --ON"
RETURN

mwoff:
OUT &H202, &H1
offtime = TIMER
IF flag = 1 THEN onpiod = offtime - ontime
IF onpiod < 0 THEN onpiod = onpiod + 86400
totime = totime + onpiod
toton = toton + onpiod
flag = 0

LOCATE 13, 10: PRINT "M/W oven is -OFF"

GOSUB MWrecord

RETURN

MWrecord:

  intmin = ABS(TIMER - elapse) / 60

  IF (toton + totoff) <= .0001 THEN GOTO 2001

  onratio = toton / (toton + totoff)

2001 LOCATE 15, 10: PRINT "RATIO & TOTAL OP TIME (min) are ": onratio, totime / 60

' IF intmin >= testmin THEN

  PRINT #3, DATE$, TIME$, onratio
  toton = 0
  totoff = 0
  elapse = offtime

' END IF

RETURN

Pause:
IF flag = 1 THEN GOSUB mwoff

```

```

DO
LOOP UNTIL ABS(TIMER - offtime) > 10

RETURN

```

Epoint:

```

    GOSUB Datetime
    FOR i = 1 TO 6
    crit(i) = arrow(i) - start(i)
    NEXT i

    IF crit(3) < 0 THEN

        IF arrow(2) = 2 THEN
            crit(3) = crit(3) + 28
        ELSEIF (arrow(2) = 4 OR arrow(2) = 6) THEN
            crit(3) = crit(3) + 30
        ELSEIF (arrow(2) = 9 OR arrow(2) = 11) THEN
            crit(3) = crit(3) + 30
        ELSE
            crit(3) = crit(3) + 31
        END IF

    ELSE

    END IF

```

```

critical = crit(3) * 24 + crit(4) + crit(5) / 60 + crit(6) / 3600

```

```

LOCATE 9, 5: PRINT "Total DRYING time (hr) is :"; USING "###.###"; critical

```

```

nextstep = sttime(1)

```

```

FOR i = 1 TO condstep

```

```

IF critica1 < nextstep THEN
maxtemp = sttemp(i): GOTO 1200

```

```

ELSE
nextstep = nextstep + sttime(i + 1)
END IF

```

```

NEXT i

```

```

GOTO 100 'overtime

```

```

1200 LOCATE 4, 12: PRINT "Temperature Setting(C) is : "; maxtemp

```

```

RETURN

```

Datetime:

```

today$ = DATE$
arrow$(1) = (RIGHT$(today$, 2))
arrow$(2) = (LEFT$(today$, 2))
arrow$(3) = (MID$(today$, 4, 2))

```

```

arrow(1) = VAL(arrow$(1))
arrow(2) = VAL(arrow$(2))
arrow(3) = VAL(arrow$(3))

```

```

thistime$ = TIME$
arrow(6) = VAL(RIGHT$(thistime$, 2))
arrow(4) = VAL(LEFT$(thistime$, 2))

```

```
arrow(5) = VAL(MID$(thistime$, 4, 2))
```

```
RETURN
```

```
Makebox:
```

```
ybase = iniwt - yrange
```

```
LOCATE 16, 1: PRINT USING "###.#": iniwt;  
LOCATE 16, 6: PRINT "kg"
```

```
LOCATE 28, 1: PRINT USING "###.#": ybase  
LOCATE 28, 6: PRINT "kg"
```

```
WINDOW (0, 0)-(800, 600)  
LINE (0, 30)-(800, 300), 1, B  
LINE (100, 40)-(700, 40), 2  
LINE (100, 40)-(100, 290), 2  
RETURN
```

```
Graph:
```

```
LINE -(100 + (critical / totalrun) * 600, 30 + 250 / yrange * (VAL(weight$) - ybase))
```

```
RETURN
```

3. 시간스케줄

<프로그램은 QBASIC으로 작성>

```

DIM onperiod(10), offperiod(10) AS INTEGER
DIM STTIME(10)
DIM arrow(6), start(6), crit(6) AS INTEGER

10 CLS
   SCREEN 12

ON ERROR GOTO MWoff

'DEFINT F-N

   GOSUB Initial

   GOSUB MWoff

   GOSUB Wtrecord

   iniwt = VAL(weight$)
   oldwt = iniwt

   GOSUB Makebox

   GOSUB MWon

   DO

   GOSUB CHtime

   GOSUB Wtrecord
   GOSUB Epoint
   GOSUB Graph

LOOP WHILE INKEY$ = ""

100 CLS

LOCATE 15, 20: PRINT " M/W Drying Is Completed !!!"

   OUT &H202, &H1 'M/W KILN OFF

END

Initial:

   OPEN "COM1:9600,n,8,,cs,ds,cd" FOR RANDOM AS #11 'hydra logger

30 LOCATE 2, 9: PRINT "MW KILN OPERATING Program"
31 LOCATE 3, 9: PRINT "Time Control / Balance Recording "

   LOCATE 5, 12: PRINT "(if ON PERIOD <=0, schedule input stops)"

   ik = 1
   FOR i = 1 TO 10
40 LOCATE ik + 5, 9: PRINT "ENTER   th ON PERIOD (MIN): "
   LOCATE ik + 5, 15: PRINT i

   LOCATE ik + 5, 50: INPUT onperiod(i):

```

```

LOCATE ik + 6, 9: PRINT "ENTER      th OFF PERIOD (MIN): "
    LOCATE ik + 6, 15: PRINT i

LOCATE ik + 6, 50: INPUT offperiod(i):

IF onperiod(i) < .001 OR offperiod(i) < .001 THEN GOTO 51

LOCATE ik + 7, 9: PRINT "ENTER      th COND.  PERIOD (HR): "
    LOCATE ik + 7, 15: PRINT i
    LOCATE ik + 7, 50: INPUT STTIME(i)

    ik = ik + 3
    NEXT i

51 LOCATE 27, 9: INPUT "Is drying schedule correct (type Y), or not (type N)?": y$

IF y$ = "N" OR y$ = "n" THEN
    CLS : GOTO 30

ELSE
    END IF

condstep = i

    totalrun = 0

    FOR i = 1 TO condstep
        totalrun = totalrun + STTIME(i)
    NEXT i

    maxtemp = sttemp(1)

    CLS
    LOCATE 2, 9: PRINT "MW KILN OPERATING Program"
    LOCATE 3, 9: PRINT "Time Control / Balance Recording "

LOCATE 4, 12: PRINT "Temperature setting( C) is :"; maxtemp

GOSUB Datetime
    filem$ = arrow$(1) + arrow$(2) + arrow$(3)

60 filename$ = filem$ + ".dat"
    file2$ = filem$ + ".tmp"

70 OPEN filename$ FOR APPEND AS #2
    OPEN file2$ FOR APPEND AS #3

74 LOCATE 30, 1: PRINT "Press any key to stop!"
76 LOCATE 6, 10: PRINT "      Date      Time      Weight(g)      Temp (C) "

    'start = VAL(LEFT$(TIME$, 2))

    testmin = 5 'interval for M/W recording
    interval = 20'interval for weight recording 20 minutes
    oldmin = -5000000
    woodtemp = 120

    ontime = TIMER
    istep = 1
    yrange = 20 'weight change range (20kg)

    offtime = ontime
    elapse = ontime

GOSUB Datetime

```

```

FOR i = 1 TO 6
start(i) = arrow(i)
NEXT i

PRINT #2, "    date        time        Weight(g) Temp (C)"
PRINT #3, DATE$, TIME$, "MW operation starts"

RETURN

CHtime:
GOSUB WDtemp
IF woodtemp > 120 THEN GOTO 100

' PRINT "*****istep", istep, onperiod(istep)
' PRINT "***deltaon***", deltaon

IF flag = 1 THEN
deltaon = TIMER - ontime: IF deltaon < 0 THEN deltaon = deltaon + 86400
IF deltaon > (onperiod(istep) * 60) THEN GOSUB MWoff
END IF

IF flag = 0 THEN
deltaoff = TIMER - offtime: IF deltaoff < 0 THEN deltaoff = deltaoff + 86400
IF deltaoff > (offperiod(istep) * 60) THEN GOSUB MWon
END IF

RETURN

WDtemp:
hightemp = -100!

PRINT #11, "*TRC": prompt$ = INPUT$(4, #11)

'Average wood temperature

itest = 0
tempsum = 0

FOR j = 1 TO 5
IF j = 1 GOTO 200
IF j = 3 GOTO 200
' IF j = 5 GOTO 200

PRINT #11, "last? " + STR$(j): prompt$ = INPUT$(4, #11)
INPUT #11, result$: resnum = ABS(VAL(result$))

' IF (resnum > (woodtemp + 30)) THEN GOTO 200'if TC open or temp. jump, goto next
channel

IF (resnum > hightemp) THEN hightemp = resnum

tempsum = tempsum + resnum

itest = itest + 1

200 NEXT j

IF itest > 0 THEN woodtemp = tempsum / itest

RETURN

WTrecord:

```



```

OPEN "com2:2400,e,7,1,cs,ds,cd,RB2048" FOR RANDOM AS #1 'balance

    FOR i = 1 TO 5
    PRINT #1, "R"; CHR$(13); CHR$(10);
    LINE INPUT #1, record$
    NEXT i

CLOSE (1)

    weight$ = MID$(record$, 8, 16)

GOSUB Datetime

' time1$ = TIME$: date1$ = DATE$

    diff = arrow(5) - oldmin

    IF diff < 0 THEN diff = diff + 60

LOCATE 7, 1: PRINT "Current data are "; today$, thistime$, weight$, woodtemp

IF diff >= interval THEN
    wtvalue = VAL(weight$)
    drate = (wtvalue - oldwt) / diff * 60
    PRINT #2, today$, thistime$, weight$, woodtemp

    LOCATE 11, 1: PRINT "Drying rate (g/hr) is: "; USING "###.###"; drate

        oldmin = arrow(5)
        oldwt = wtvalue

ELSE
END IF

RETURN

MWon:
OUT &H202, &H0
ontime = TIMER
IF flag = 0 THEN offpiod = ontime - offtime
IF offpiod < 0 THEN offpiod = offpiod + 86400
    totoff = totoff + offpiod
    flag = 1

LOCATE 13, 10: PRINT "M/W oven is --ON"
RETURN

MWOFF:
OUT &H202, &H1
offtime = TIMER
IF flag = 1 THEN onpiod = offtime - ontime
IF onpiod < 0 THEN onpiod = onpiod + 86400
    totime = totime + onpiod
    toton = toton + onpiod
    flag = 0

LOCATE 13, 10: PRINT "M/W oven is --OFF"

GOSUB MWrecord

RETURN

MWrecord:

```

```

intmin = ABS(TIMER - elapse) / 60
IF (toton + totoff) <= .0001 THEN GOTO 2001
onratio = toton / (toton + totoff)
2001 LOCATE 15, 10: PRINT "RATIO & TOTAL OP TIME (min) are :"; onratio, totime / 60
IF intmin >= testmin THEN
PRINT #3, DATE$, TIME$, onratio
toton = 0
totoff = 0
elapse = offtime
END IF
RETURN

Pause:
GOSUB MWoff
DO
LOOP UNTIL ABS(TIMER - offtime) > 10
RETURN

Epoint:
GOSUB Datetime
FOR i = 1 TO 6
crit(i) = arrow(i) - start(i)
NEXT i
IF crit(3) < 0 THEN
IF arrow(2) = 2 THEN
crit(3) = crit(3) + 28
ELSEIF (arrow(2) = 4 OR arrow(2) = 6) THEN
crit(3) = crit(3) + 30
ELSEIF (arrow(2) = 9 OR arrow(2) = 11) THEN
crit(3) = crit(3) + 30
ELSE
crit(3) = crit(3) + 31
END IF
ELSE
END IF
critical = crit(3) * 24 + crit(4) + crit(5) / 60 + crit(6) / 3600
LOCATE 9, 5: PRINT "Total DRYING time (hr) is :"; USING "###.###"; critical
nextstep = STTIME(1)
FOR i = 1 TO condstep
istep = i
IF critical < nextstep THEN GOTO 1200
nextstep = nextstep + STTIME(i + 1)
NEXT i
GOTO 100 'overtime
    
```

1200

RETURN

Datetime:

```
today$ = DATE$
arrow$(1) = (RIGHT$(today$, 2))
arrow$(2) = (LEFT$(today$, 2))
arrow$(3) = (MID$(today$, 4, 2))
```

```
arrow(1) = VAL(arrow$(1))
arrow(2) = VAL(arrow$(2))
arrow(3) = VAL(arrow$(3))
```

```
thisime$ = TIME$
arrow(6) = VAL(RIGHT$(thisime$, 2))
arrow(4) = VAL(LEFT$(thisime$, 2))
arrow(5) = VAL(MID$(thisime$, 4, 2))
```

RETURN

Makebox:

```
ybase = iniwt - yrange
```

```
LOCATE 16, 1: PRINT USING "###.#"; iniwt;
LOCATE 16, 6: PRINT "kg"
```

```
LOCATE 28, 1: PRINT USING "###.#"; ybase
LOCATE 28, 6: PRINT "kg"
```

```
WINDOW (0, 0)-(800, 600)
LINE (0, 30)-(800, 30), 1, B
LINE (100, 40)-(700, 40), 2
LINE (100, 40)-(100, 290), 2
RETURN
```

Graph:

```
LINE -(100 + (critical / totalrun) * 600, 30 + 250 / yrange * (VAL(weight$) - ybase))
```

RETURN

4. OUTPUT files

OUTPUT 파일은 .DAT 와 .TMP의 두 가지가 만들어지며 파일명은 건조기 가동이 시작된 날짜로 인식된다.

표 1. 981010.DAT output 파일

date	time	Weight(g)	Temp (C)
08-10-1999	23:36:09	+0027.75kg	120
08-10-1999	23:56:00	+0027.50kg	55.25
08-11-1999	00:16:02	+0027.40kg	57.65
08-11-1999	00:36:02	+0027.35kg	59.6
08-11-1999	00:56:01	+0027.30kg	60.35
08-11-1999	01:16:01	+0027.25kg	61.6
08-11-1999	01:36:00	+0027.20kg	61
08-11-1999	01:56:00	+0027.15kg	63.15
08-11-1999	02:16:02	+0027.15kg	64.10001
08-11-1999	02:36:02	+0027.10kg	63.45
08-11-1999	02:56:01	+0027.05kg	65.15
08-11-1999	03:16:01	+0027.00kg	66.05
08-11-1999	03:36:02	+0027.00kg	65.3
08-11-1999	03:56:00	+0026.95kg	66.55
08-11-1999	04:16:02	+0026.90kg	67.5
08-11-1999	04:36:02	+0026.85kg	66.85
08-11-1999	04:56:01	+0026.80kg	68
08-11-1999	05:16:00	+0026.80kg	69.05
08-11-1999	05:36:02	+0026.70kg	68.25
08-11-1999	05:56:02	+0026.70kg	70.25

표 2. 981010.TMP output 파일

08-10-1999	23:36:08	MW operation starts
08-10-1999	23:45:14	.882427
08-10-1999	23:50:15	.7987043
08-11-1999	00:04:13	.3521831
08-11-1999	00:14:17	.2001624
08-11-1999	00:24:20	.2003582
08-11-1999	00:34:22	.2003648
08-11-1999	00:44:25	.1999239
08-11-1999	00:54:29	.2000696
08-11-1999	01:04:31	.2002986
08-11-1999	01:14:34	.2005084
08-11-1999	01:24:40	.2032243
08-11-1999	01:34:43	.2000396
08-11-1999	01:44:46	.2004179
08-11-1999	01:54:49	.2003454
08-11-1999	02:04:55	.2032042
08-11-1999	02:14:58	.2002889
08-11-1999	02:25:01	.2003256
08-11-1999	02:35:03	.1991728
08-11-1999	02:45:06	.1992506
08-11-1999	02:55:09	.2001559

제4절 수종별 Microwave 진공 건조 스케줄 개발

1. 전자렌지 오븐을 이용한 예비실험

전자렌지 오븐을 이용하여 아까시나무와 밤나무의 통나무를 건조하였다. 아까시나무와 밤나무는 건조가 매우 어려운 수종으로 알려져 있어 이들 건조에 마이크로파를 이용할 수 있는지 여부를 조사하였다.

마이크로파 건조는 투과율이 좋은 수종에 적합하나 이들 두 수종을 투과성이 좋지 못하기 때문에 투과성을 높이기 위해 증기, 자비 처리를 실시하였다. 증기처리는 autoclave에서 1기압 100℃ 수증기로 실시하였으며 자비처리는 autoclave에서 끓는 물에 담가 실시하였다.

전자렌지 오븐 상단에 전자저울을 얹고 전자렌지 상부에 뚫은 구멍을 통해 시편을 담은 접시와 끈으로 연결하여 시편의 무게변화를 연속적으로 측정하였다.

각 실험에 사용된 시편의 수종과 규격, 온도와 건조시간 등 건조실험 조건, 건조결과 등을 매 실험별로 양식에 정리하였다. 이 양식만 보면 건조속도, 건조결과 등을 한눈에 비교할 수 있다.

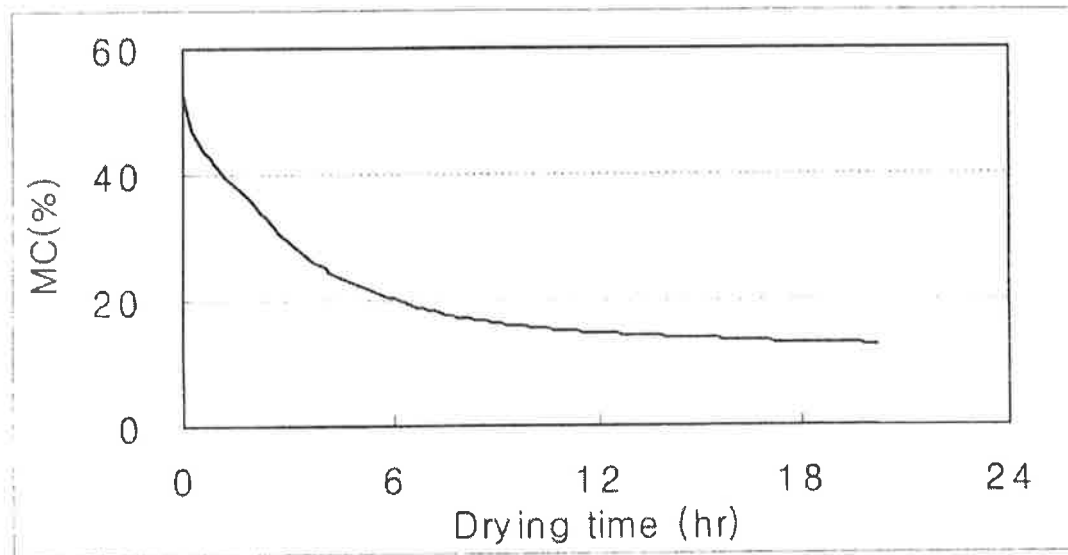
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW oven	온도스케줄			98/07/11			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
아카시아	통나무	1	52.9	13.0	11		16

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(℃)	100						
건조시간(hr)	20						

<그래프>



<결과>

- 내부할열과 윤할, 내부할열, 마구리할열 발생
- 특히 심재부에 할열이 많이 발생

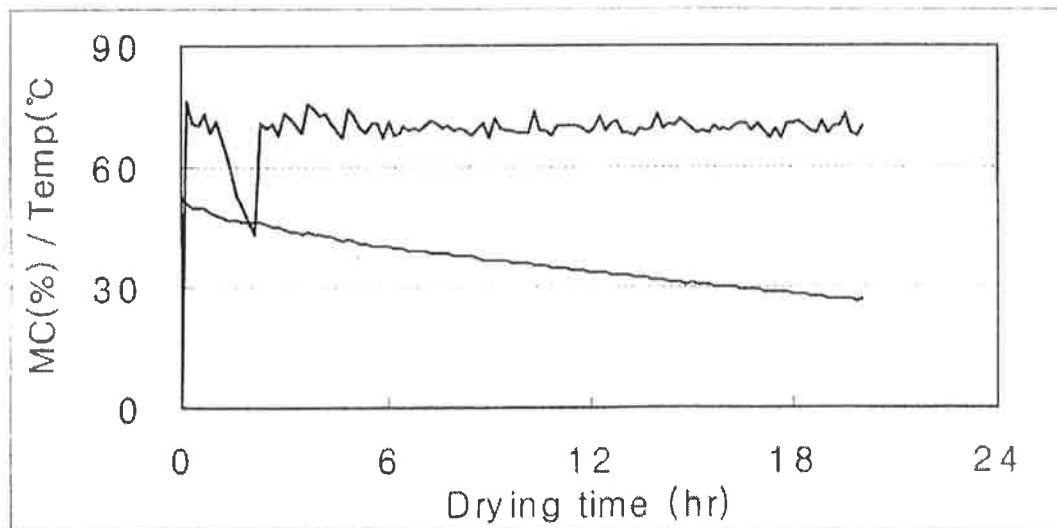
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW oven	온도스케줄			98/07/20			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
아카시아	통나무	1	52	26.9	9.5		14.5

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(°C)	70						
건조시간(hr)	20						

<그래프>



<결과>

- 통나무를 박피함
- V형 크랙은 없으나 마구리와 표면에 잔할열이 많이 발생

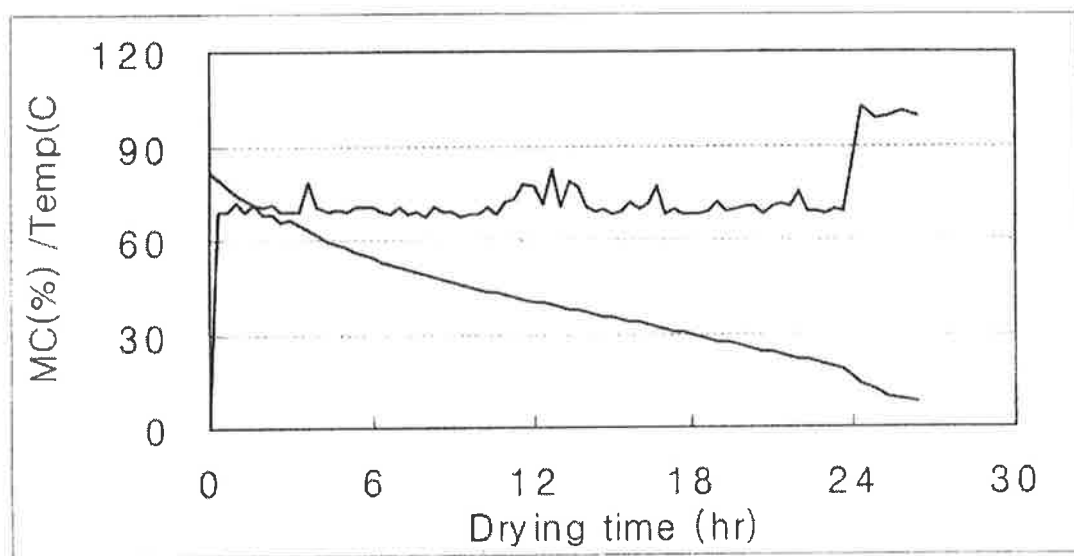
<건조조건>

건조방법		건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜		
MW oven (자비처리 2시간후)		온도스케줄			98/08/11		
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
밤나무	통나무	1	81.9	5.2			7

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(°C)	70	100					
건조시간(hr)	24	2					

<그래프>



<결과>

- 수 부위 할열
- 내부할열 발생

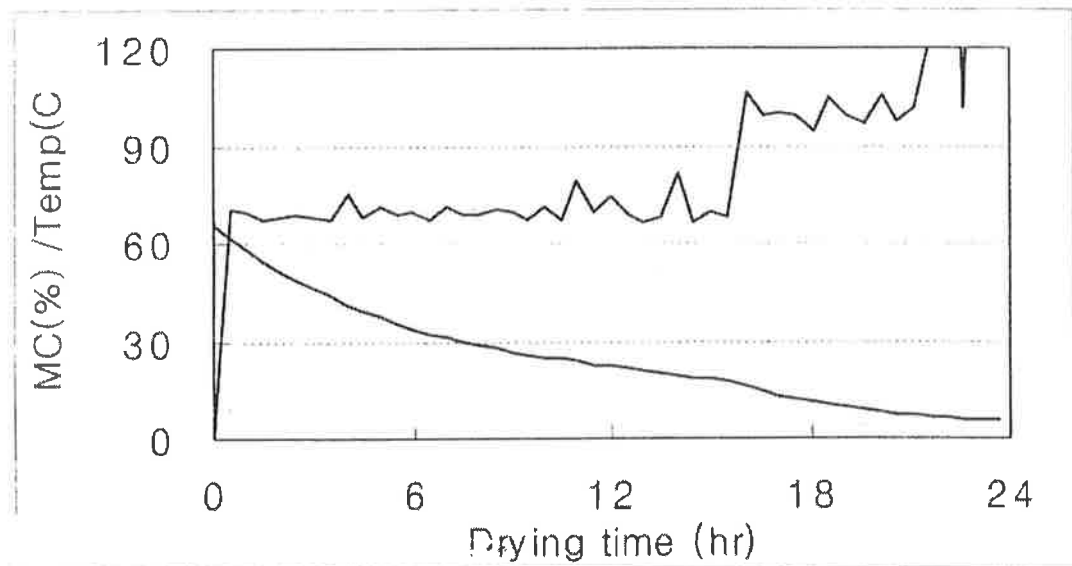
<건조조건>

건조방법			건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜	
MW oven (중기처리 4시간후)			온도스케줄			98/08/13	
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기 규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
밤나무	통나무	3	65.2	5.0	14~16		5

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(℃)	70	100					
건조시간(hr)	15.5	8					

<그래프>



<결과>

- V형 crack 발생

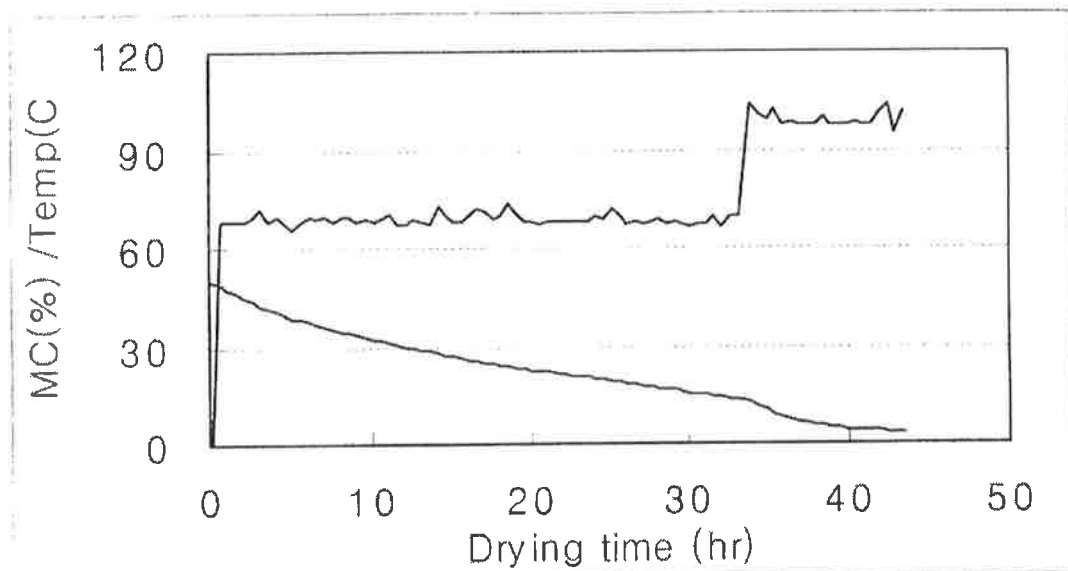
<건조조건>

건조방법			건조스케줄		MW출력	소요전력	날짜
MW oven (증기처리 3시간후)			온도스케줄				98/08/25
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기 규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
밤나무	통나무	1	50.0	3.8	15		8

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(°C)	70	100					
건조시간(hr)	33.5	10					

<그래프>



<결과>

- 증기처리 후 양쪽 마구리 수부위에 할열 발생
- 내부할열 발생

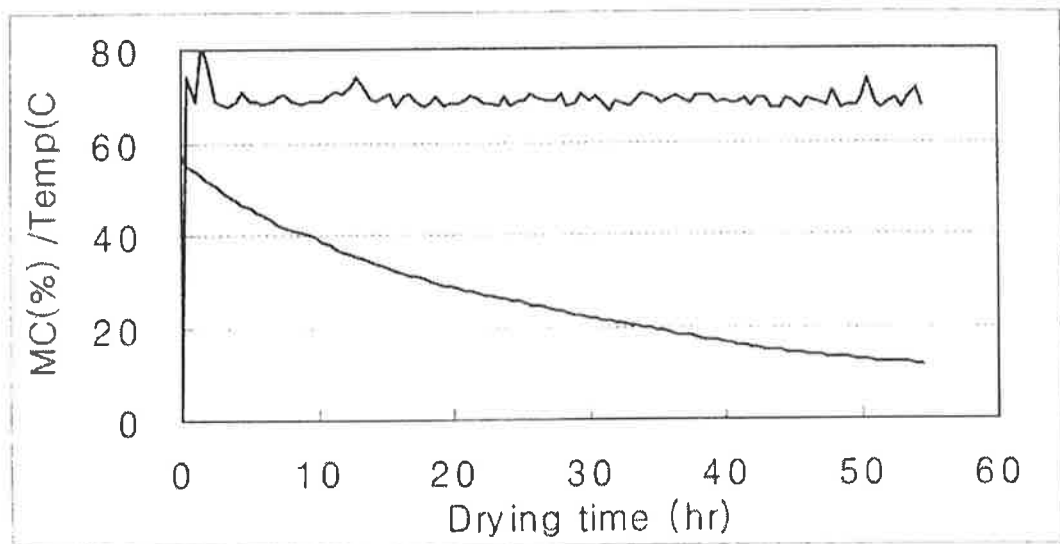
<건조조건>

건조방법		건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜		
MW oven (자비처리 2시간후)		온도스케줄			98/08/31		
수종	형태	수량	함수율 (%)		초 기 규 격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
밤나무	통나무	2	56.8	8.8	12~14		4.5~8

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(℃)	70						
건조시간(hr)	54.5						

<그래프>



<결과>

- 자비처리에 의해 마구리할열 발생
- 내부할열은 없으나 양쪽 마구리에서 깊이 0.5-1cm 가량 마구리할열 진행

2. 수종별 규격별 건조스케줄 개발

앞의 전자렌지 오븐을 이용한 예비실험 결과를 중심으로 각 수종별 규격별로 온도와 시간스케줄을 적용하여 건조를 실시하였다. 앞에서와 마찬가지로 각 건조실험 별로 시편의 수종과 규격, 온도와 건조시간 등 건조실험 조건, 건조결과 등을 양식에 정리하여 건조속도, 건조결과 등을 한눈에 비교할 수 있게 만들었다.

아래 표1은 연구에 사용된 수종, 규격별 건조결과를 요약한 것이다. 일반적으로 3.0cm 판재는 건조가 잘 되었으나 이보다 두꺼우면 건조결함이 많이 발생하였다. 그러나 각재는 10cm라고 잘 건조된 것을 알 수 있다. 따라서 3cm 이상을 건조할 때는 반제품 또는 가공품 형태로 건조하는 것이 효율적으로 생각된다.

표 1. 본 연구에 사용된 수종, 규격과 건조결과

수종	형태	두께(cm)	직경(cm)	건조결과
소나무	판재	3		우수
리기다소나무	통나무		25	양호
리기태다	판재	5		불량
	판재	3		우수
	각재	10X10		우수
라디에타 파인	통나무		20	양호
플라타너스	판재	3		우수
은수원사시나무	통나무		20	양호
밤나무	판재	3		우수
자작나무	각재,	9X12		우수
	통나무		12.5-21	양호
오리나무	가공품(제기)		15	우수
물푸레나무	가공품(제기)		15	우수

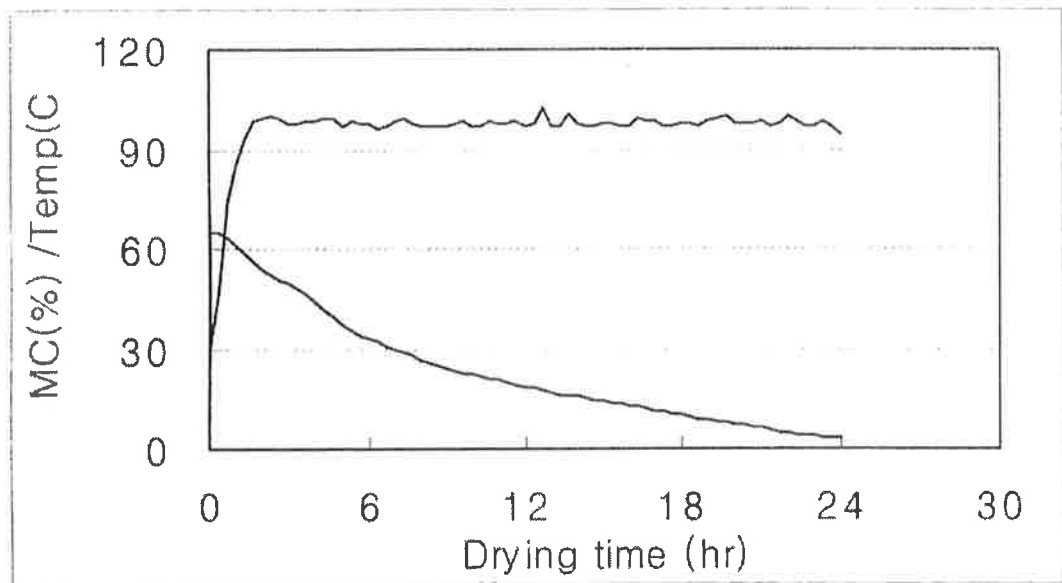
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln	온도스케줄	0.2mW	kW	99/02/20			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
소나무	판재	5	64.9	3.0	3.0	27-30	118-129

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(℃)	100						
건조시간(hr)	24						

<그래프>



<결과>

- 상태가 불량한 재목을 건조
- 건조상태 양호

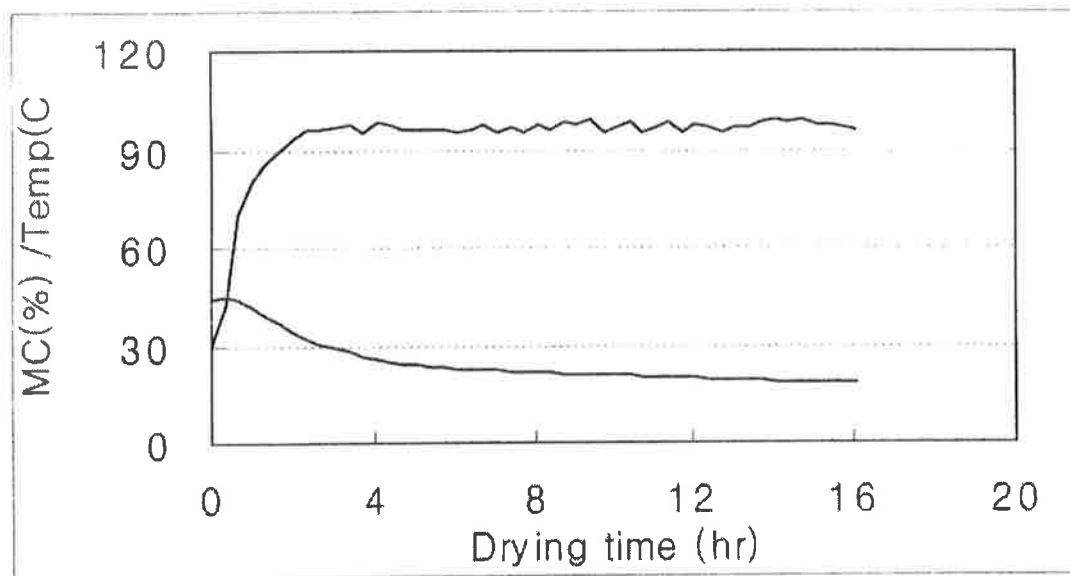
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln	온도스케줄	0.2mW	kW	99/02/25			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기 규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
소나무	판재	5	45	18	3.0	27-30	118-129

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(℃)	100						
건조시간(hr)	18						

<그래프>



<결과>

- 진공장치 고장으로 중도 정지
- 건조상태 양호

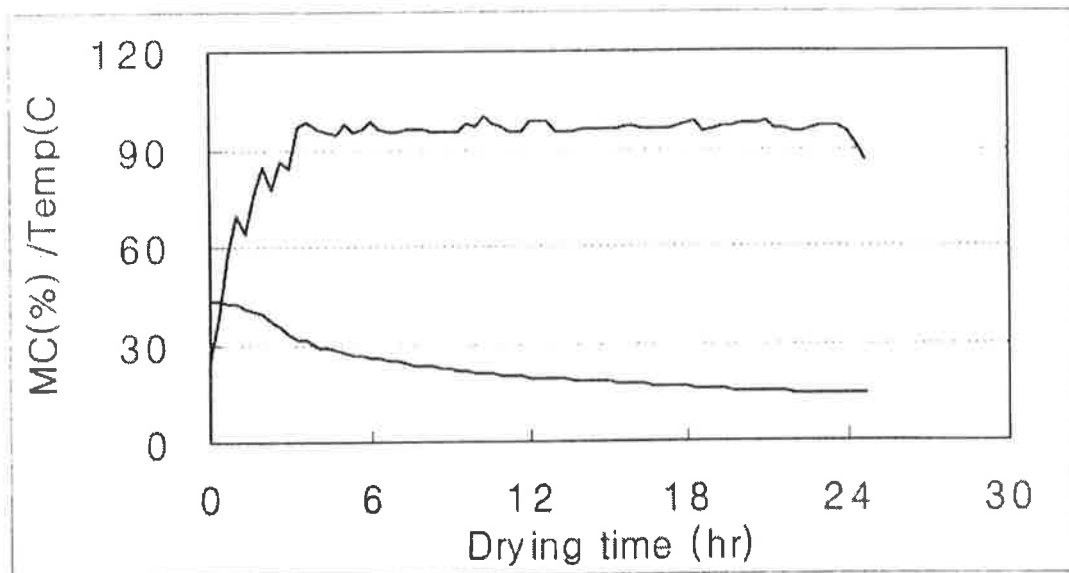
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln	온도스케줄	0.2mW	kW	99/03/03			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기 규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
소나무	판재	5	43.4	14	3.0	30	120

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(°C)	100						
건조시간(hr)	24						

<그래프>



<결과>

- 건조상태 양호
- 결함없으나 제 하단에 있는 판재는 건조가 덜 진행됨

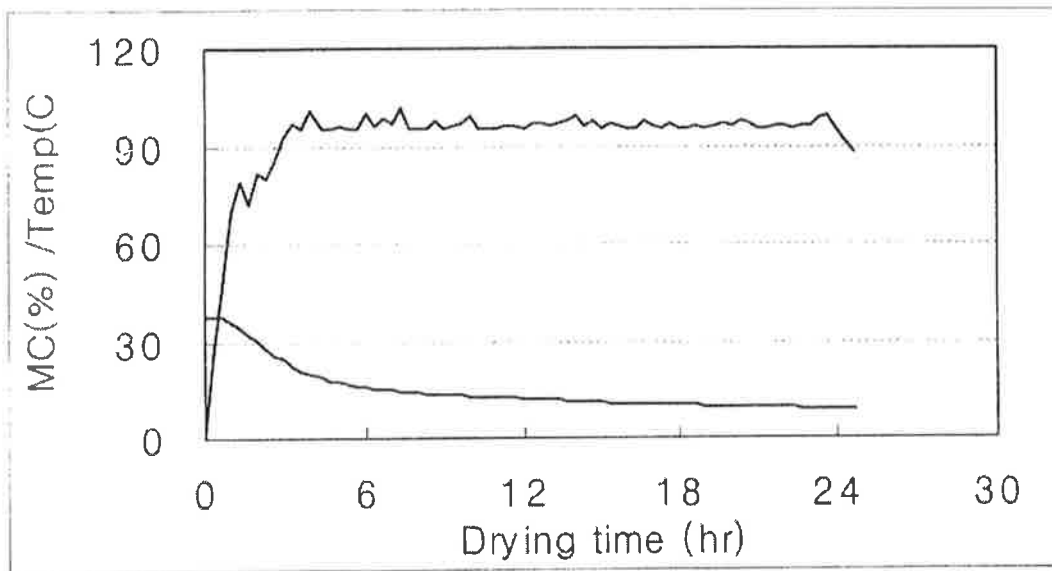
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln	온도스케줄	0.2mW	kW	99/03/04			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기 규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
소나무	판재	5	38	8.8	3.0	30	120

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(°C)	100						
건조시간(hr)	24						

<그래프>



<결과>

- 건조상태 양호
- 결함없으나 제 하단에 있는 판재는 건조가 덜 진행됨

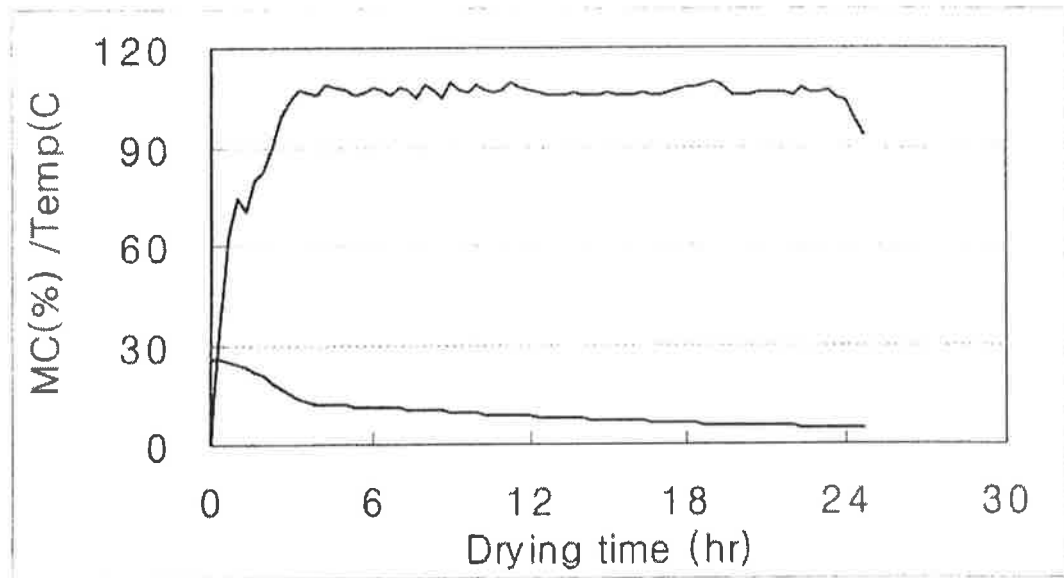
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln	온도스케줄	0.1W	kW	99/03/05			
수종	형태	수량	합수율 (%)		초기 규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
소나무	판재	5	25.3	6	3.0	20-30	140

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(°C)	110						
건조시간(hr)	24						

<그래프>



<결과>

- 건조상태 양호하나 용이 부위에 할열
- 그밖의 부위에서는 표면할열과 내부할열이 없음

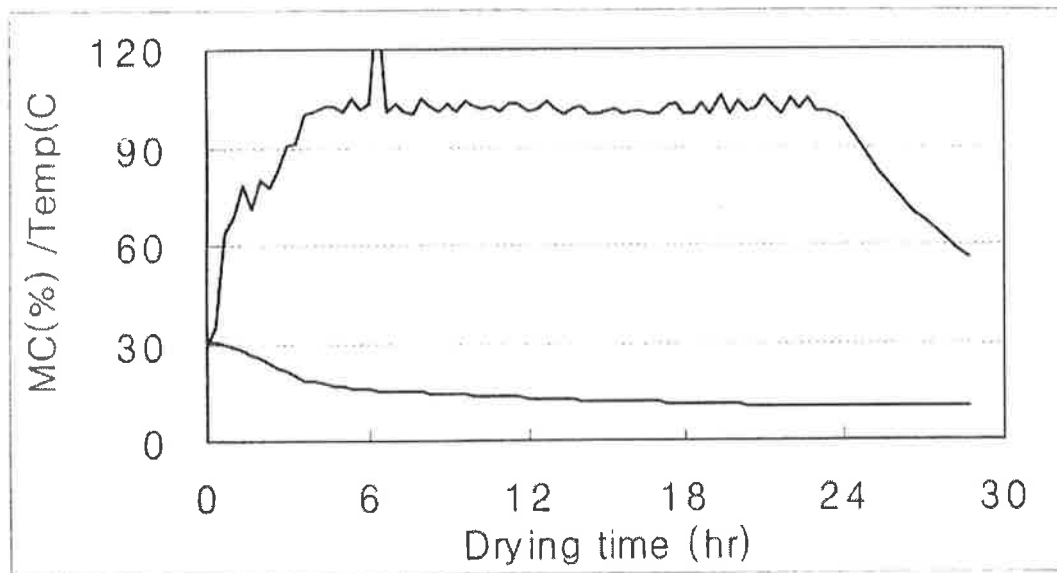
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln	온도스케줄	0.1W	kW	99/03/07			
수종	형태	수량	합수율 (%)		초기 규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
소나무	판재	5	30.3	10.5	3.0	20-30	140

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(℃)	105						
건조시간(hr)	24						

<그래프>



<결과>

- 건조상태 양호
- 표면할열과 내부할열이 없음

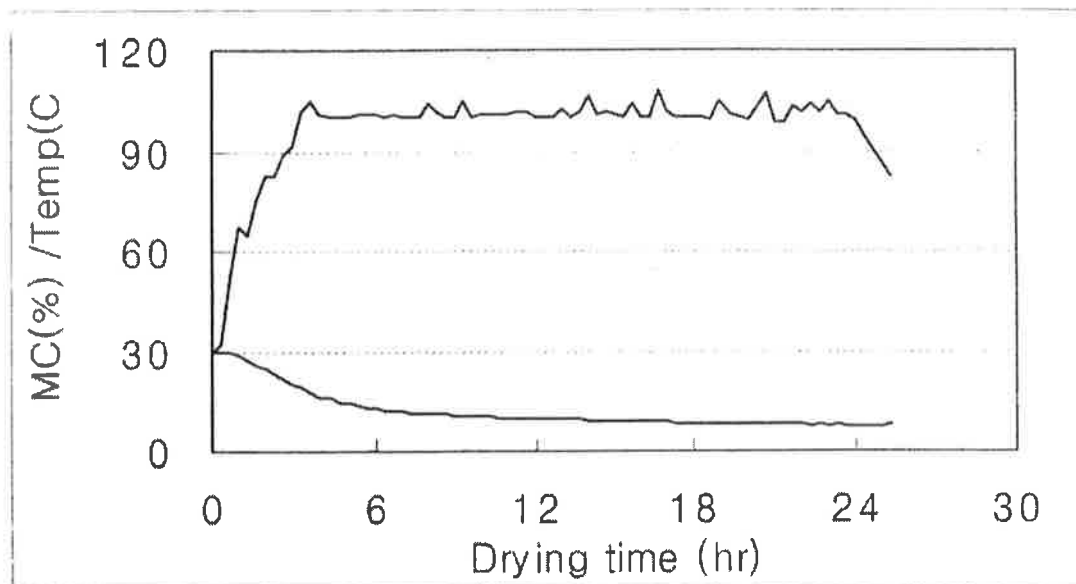
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln	온도스케줄	0.1W	kW	99/03/09			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기 규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
소나무	판재	5	29.7	7.7	3.0	20-30	140

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(°C)	105						
건조시간(hr)	24						

<그래프>



<결과>

- 건조상태 양호
- 표면할열과 내부할열이 없음

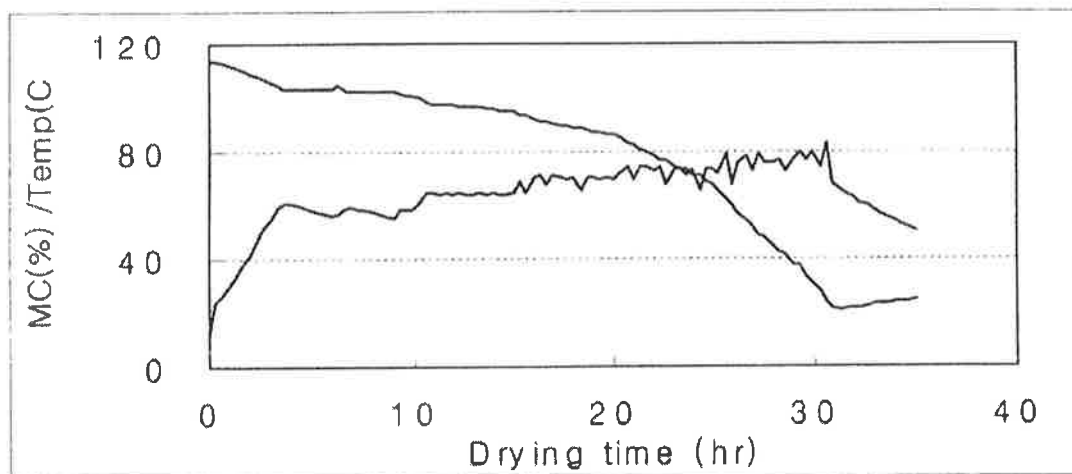
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln	온도스케줄	0.2mW	57 kW	99/08/08			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
리기다 소나무	통나무	1	114	30	25 (수피포함)		45.5

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(℃)	40	50	60	65	70	75	80
건조시간(hr)	0.5	0.5	9	5	5	5	5

<그래프>



<결과>

- 마그네트론2 하나만 작동하였더니 과부하가 걸려 과열되었음. 이후 다른 두 개의 마그네트론도 같이 작동
- 건조직후에는 마구리할열이 없었으나 실온에 방치후 잔할열 발생
- 목재온도가 매우 낮은 상태에서 건조

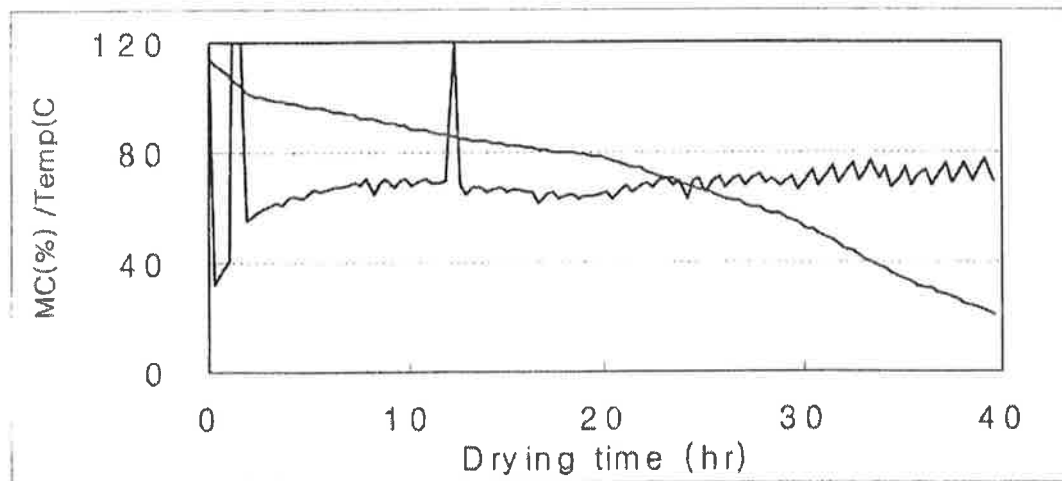
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln	시간스케줄	0.2mW	60 kW	99/08/10			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기 규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
리기다 소나무	통나무	1	115	26	24 (수피포함)		45

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
on-off(분)	4/1	2/8	3/7	4/6			
건조시간(hr)	2	18	10	10			

<그래프>



<결과>

- 마구리 도포하지 않음
- 마구리에 잔할열, 수에 작은 윤할 1개 발생
- 내부할열 없음

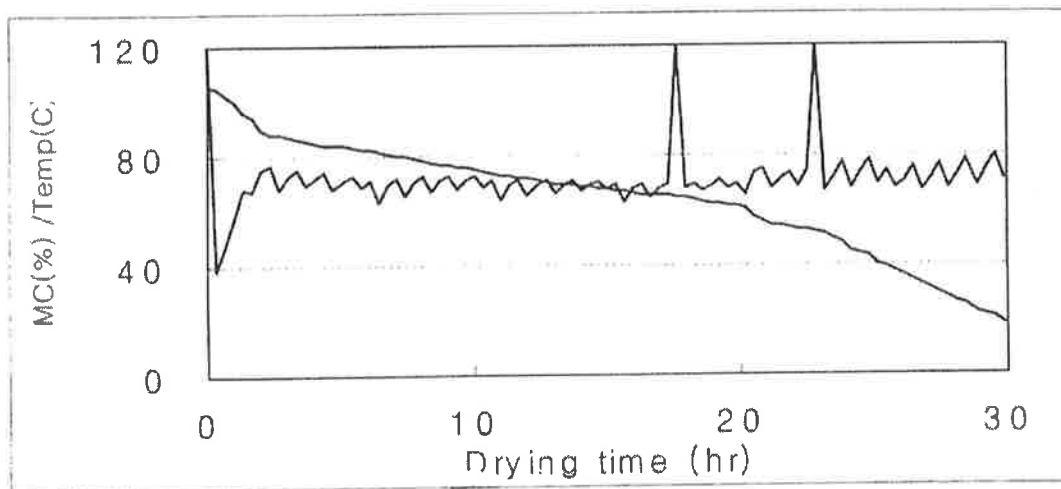
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln	시간스케줄	0.2mW	54 kW	99/8/12			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기 규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
리기다 소나무	통나무	1	105	24	25.0		35.5

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
on-off(분)	4/1	2/8	4/1	2/8	4/6		
건조시간(hr)	2	18	0.5	2.3	7		

<그래프>



<결과>

- PVAC접착제 마구리 도포
- 한쪽 마구리에 폭 2mm, 길이 5cm 활열 1개 발생하였으나 다른 쪽 마구리는 깨끗함
- PVAC접착제 도포로 마구리의 건조용력이 한곳으로 집중되어 하나의 활열만 발생한 것으로 추정
- 내부활열 없음

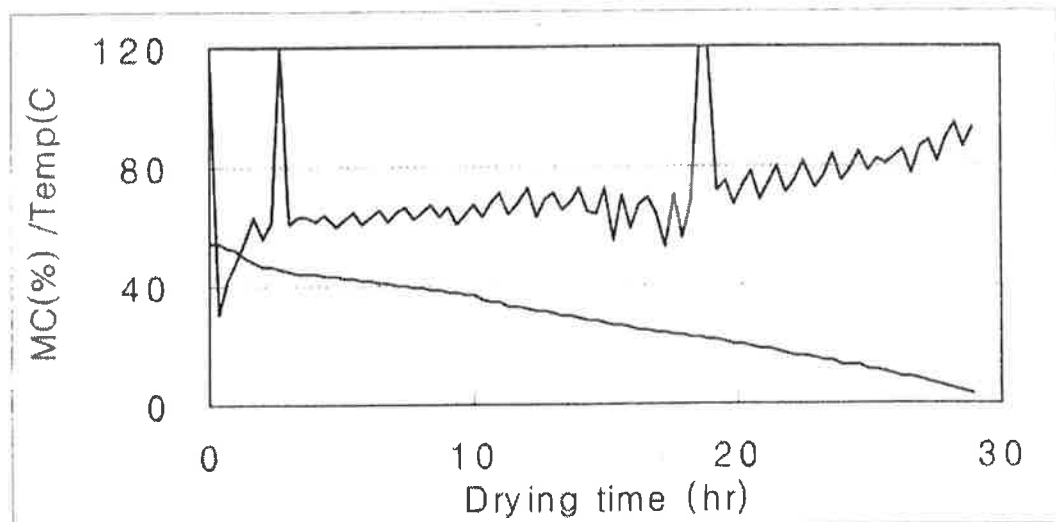
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln	시간스케줄	0.2mW	49 kW	99/08/15			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기 규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
리기테타	판재	3	54	18	5	22	90

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
on-off(분)	4/1	2/8	4/1	2/6	2/4		
건조시간(hr)	1.5	8.5	0.17	10	10		

<그래프>



<결과>

- 시간스케줄을 적용하면서 온도를 측정
- 온도가 100도℃이상 상승한 경우가 발생
- 최종평균함수율은 18%로 높았기 때문에 내부할열은 없었음

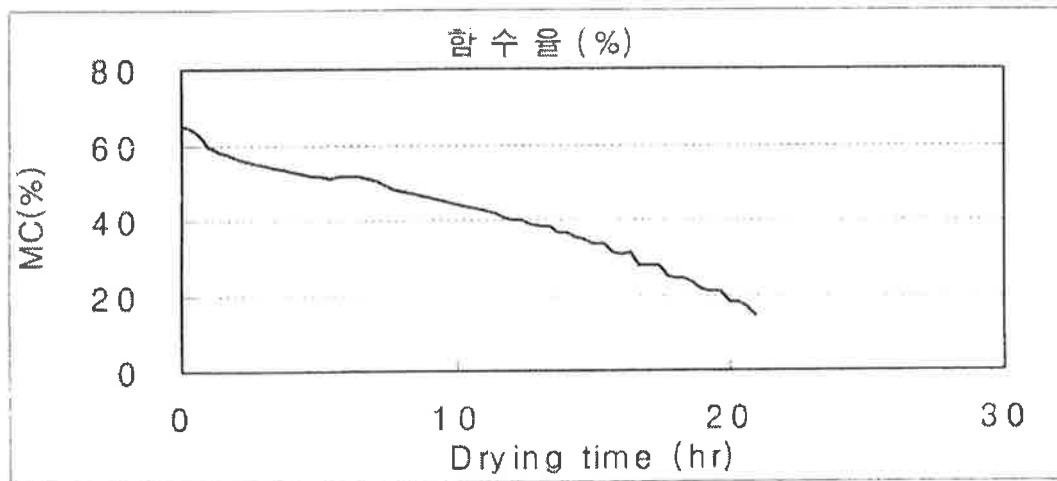
<건조조건>

건조방법		건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜		
MW kiln		시간스케줄	0.2mW	32 kW	99/10/04		
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
리기테타	판재	2	65.1	17.2	4.9~5.3	21~28	93

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
on-off(분)	4/1	2/8	2/6	2/4	2/3		
건조시간(hr)	1	9	5	5	1		

<그래프>



<결과>

- 건조조건이 매우 severe함
- 두 시편 모두 split와 표면할열이 심하게 발생
- 표면할열이 접선단면에 길이 20cm 정도로 각각 2개씩 발생
- 표면할열 깊이 최대 1cm
- 마구리할열이 split로 발전
- 마구리의 니스도장은 마구리 할열을 방지하지 못함

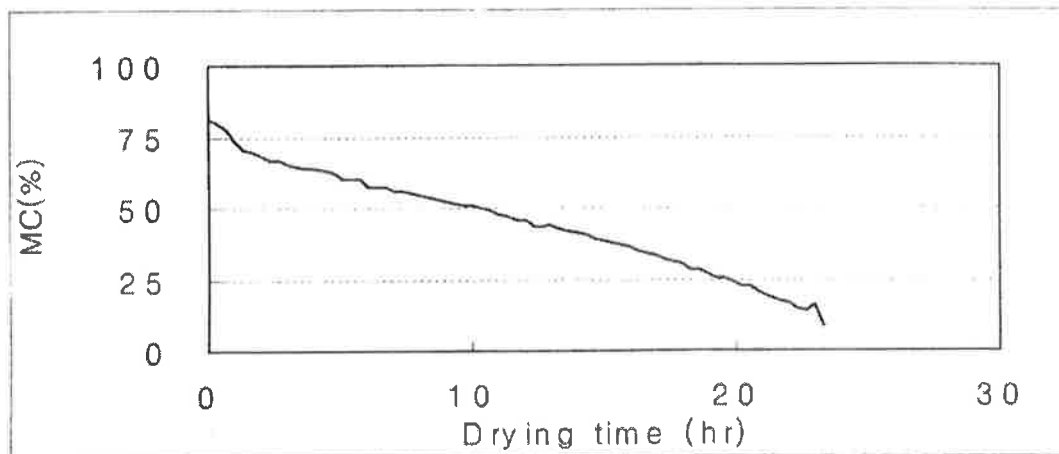
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln	시간스케줄	0.2mW	34 kW	99/10/05			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
리기테타	판재	3	81.1	11.2	3~3.3	17~25	88~98.6

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
on-off(분)	4/1	2/8	2/6	2/4	2/3		
건조시간(hr)	1	9	5	5	3		

<그래프>



<결과>

- 완벽하게 건조 됨
- 마구리 할열 없음, 표면할열 없음, 내부할열 없음
- 총 23시간 건조
- 마구리에 PVAC접착제 도포한 것이 마구리할열을 예방에 효과
- 같은 조건으로 5cm 판재는 마구리와 표면할열이 심하게 발생하였음

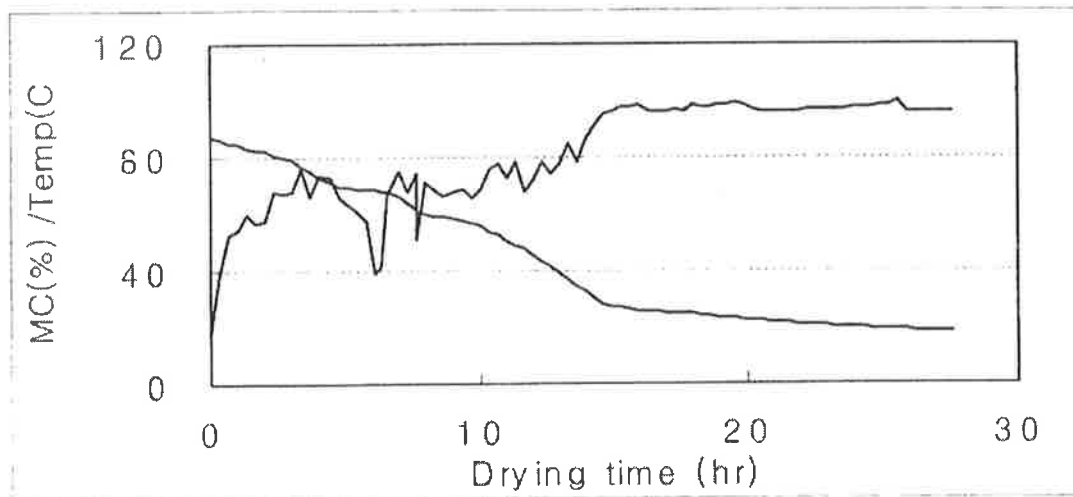
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln	온도스케줄	0.3mW	63 kW	99/07/18			
수종	형태	수량	흡수율 (%)		초기규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
리기테타	각재	5	86.8	18	10	10	91~94

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(℃)	100						
건조시간(hr)	27.6						

<그래프>



<결과>

- 내부 온도를 100℃로 건조
- 마구리에 작은 할열 (길이 2-6cm)이 하나 또는 두 개 발생
- 내부할열이 심하게 나타남
- 내부할열은 방사방향으로 가늘고 2-3개 연륜길이로 여러개 나타남
- 건조초 내부온도를100℃까지 급격히 상승시킴으로 인해 할열이 발생한 것으로 추정

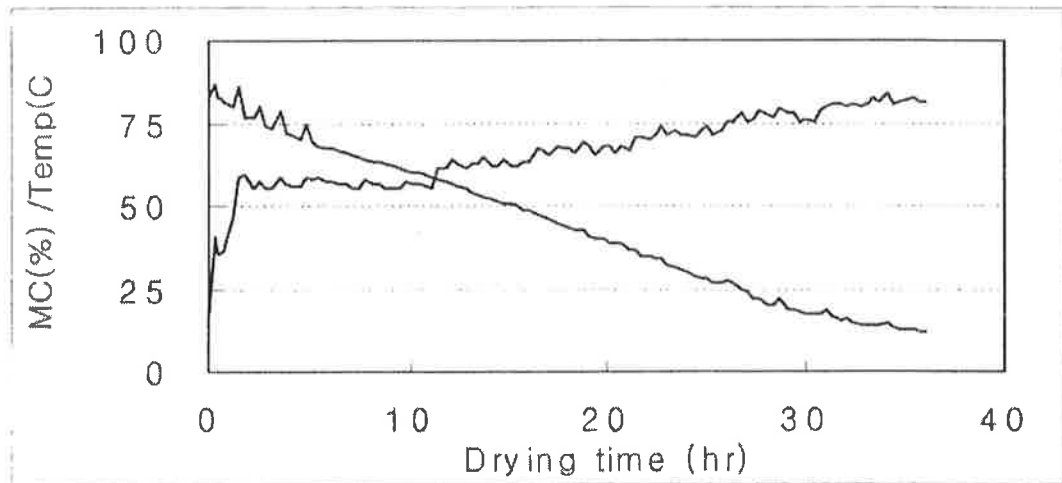
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln	온도스케줄	0.2mW	51 kW	99/07/31			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
리기테타	각재	2	83.2	11.6	10	10	88

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7	8
온도(°C)	40	50	60	65	70	75	80	85
건조시간(hr)	0.5	0.5	10	5	5	5	5	5

<그래프>



<결과>

- PVAC접착제 마구리 도포
- 시편을 5cm 간격으로 잘라 내부할열을 관찰
- 1번시편의 한쪽 마구리에서만 마구리할열이 15cm까지 진행. 나머지 마구리는 깨끗함
- 내부할열 없음

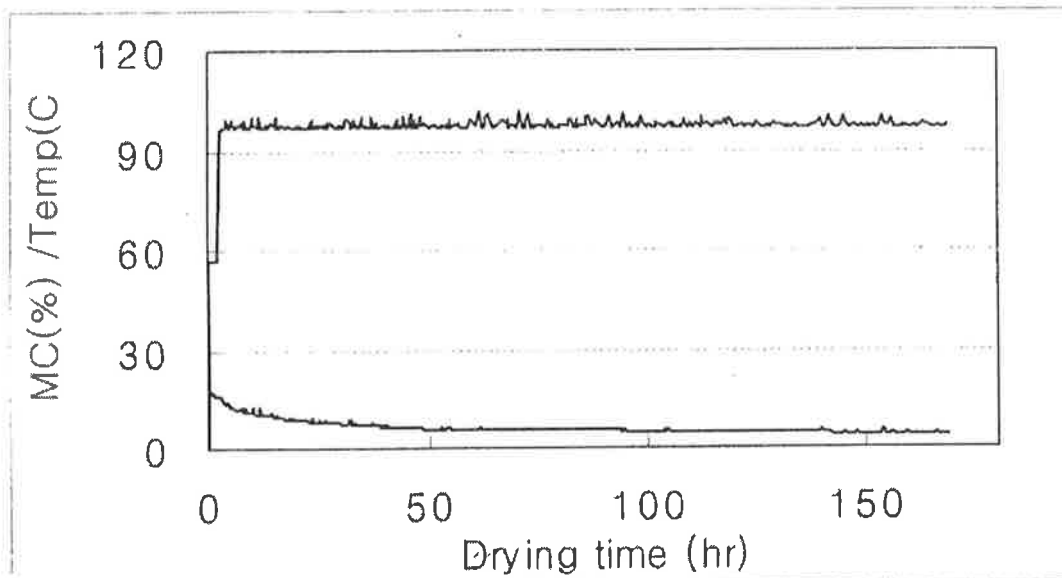
<건조조건>

건조방법		건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜	
MW kiln		온도스케줄	0.2mW	kW	98/12/21	
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기규격 (cm)	
			초기	말기	두께/직경	폭
radiata pine	통나무	1	17.0	3.9	20	120

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(℃)	100						
건조시간(hr)	168						

<그래프>



<결과>

- 오랜기간 천연건조되어 초기함수율이 매우 낮음
- 마구리할열과 split는 천연건조 동안 발생
- 길이방향 수분경사를 측정한 결과 마구리 함수율이 5%로 약간 높고 나머지 부위는 3.5-4.0%로 균일

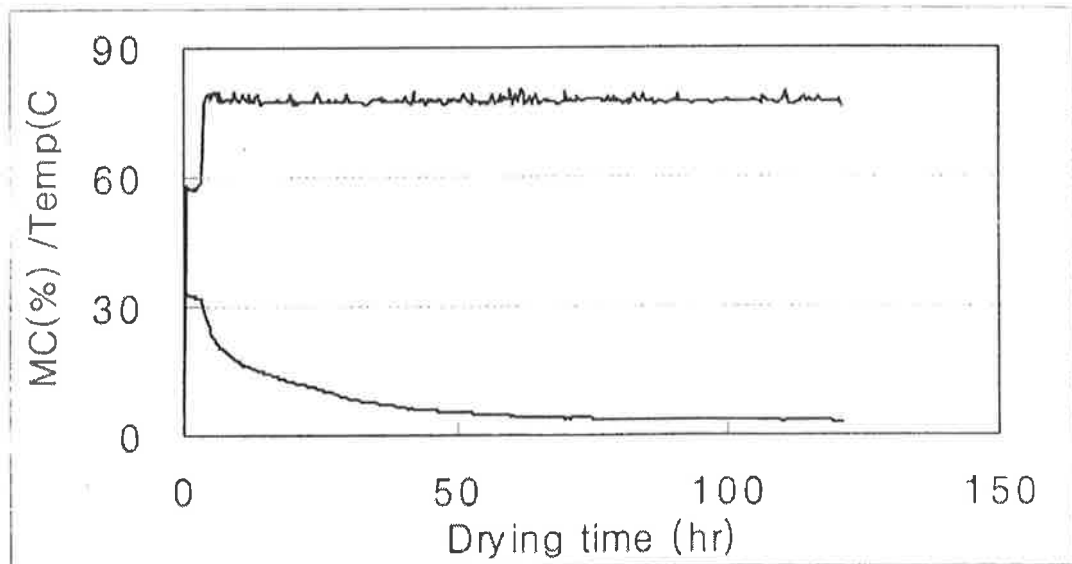
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln/진공	온도스케줄	0.2mW	kW	98/12/11			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기 규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
플라타너스	판재	4	33.2	3.6	3	29.2~33.5	89.3~120

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(°C)	80						
건조시간(hr)	121.2						

<그래프>



<결과>

- 건조 전에 있던 split 부위만 할열이 약간 더 진행
- 나머지 부위는 표면할열, 내부할열이 전혀 없음

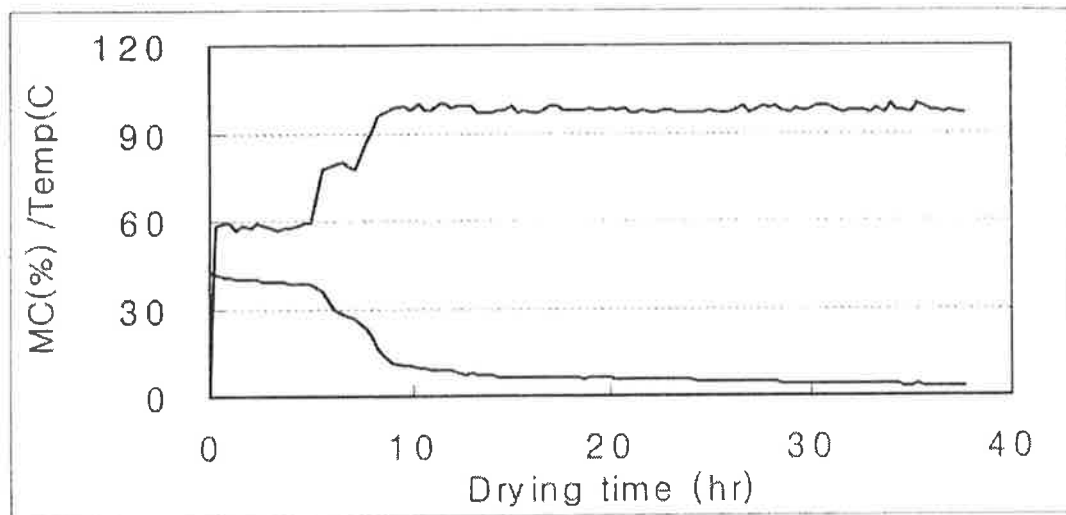
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln/진공	온도스케줄	0.2mW	kW	98/12/16			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
플라타너스	판재	4	42.2	3.2	3	30	90~120

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(℃)	60	80	100				
건조시간(hr)	5	2	60				

<그래프>



<결과>

- 용이 부위가 많이 갈라지고 80℃보다 cupping이 많이 발생
- 마구리에서 시작한 split는 건조 전에 발생하여 건조 중 더 발전
- 모든 결함은 용이 부위에서 발생하였으며 용이를 제외한 다른 부위는 양호하게 건조됨

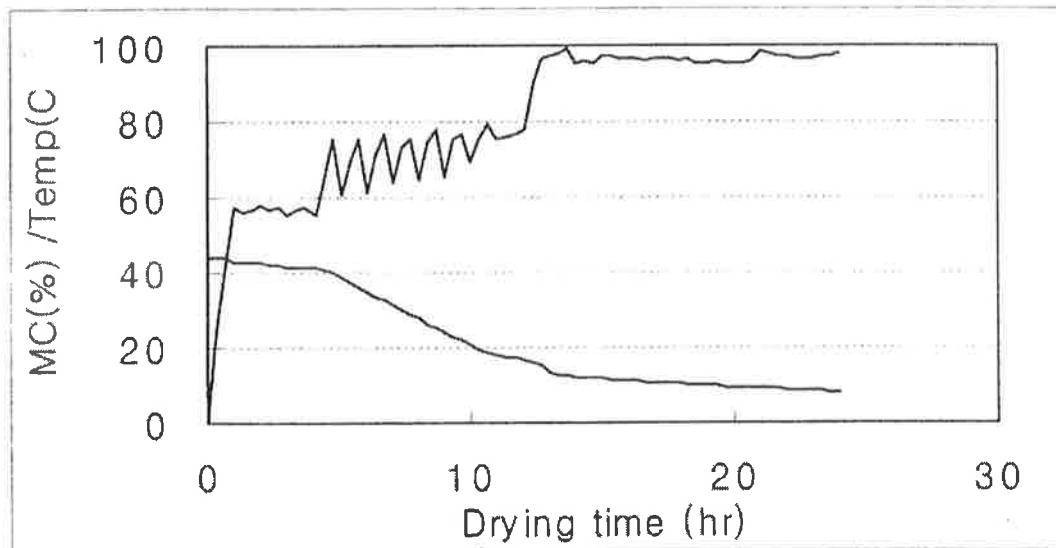
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln	온도스케줄	0.1mW	kW	99/03/15			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
플라타너스	판재	5	44.2	8.2	3		130

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(℃)	60	80	100				
건조시간(hr)	4	8	12				

<그래프>



<결과>

- 마구리 할열이 약간 내부로 진행
- 제일 위층 판재는 중앙의 표면할열이 길이방향으로 진행
- 강한 건조조건으로 생각됨

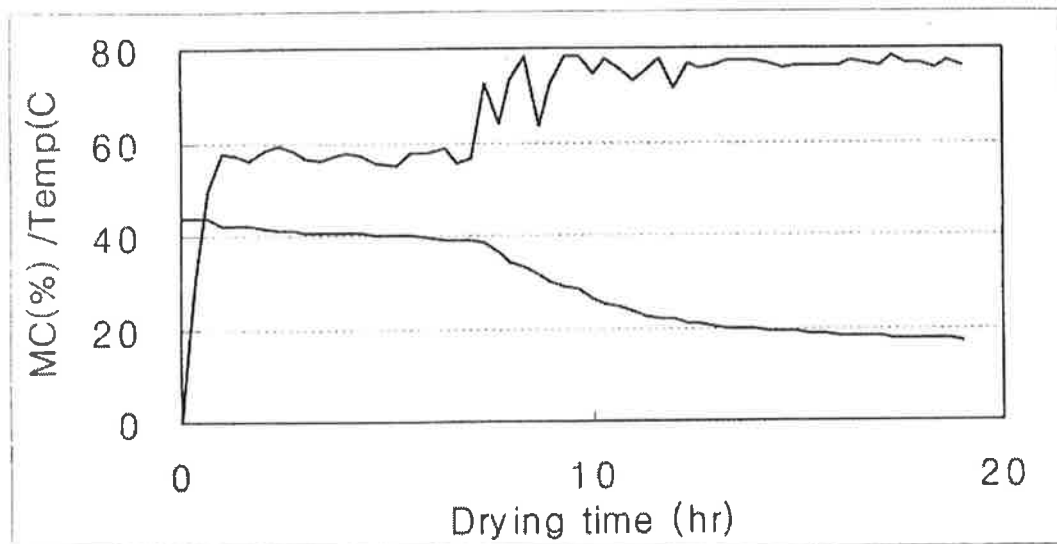
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln/진공	온도스케줄	0.1mW	kW	99/03/17			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기 규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
플라타너스	판재	5	44	17.2	3	다양	130

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(°C)	60	80					
건조시간(hr)	6	12					

<그래프>



<결과>

- 80°C를 넘지않는 건조스케줄 적용
- 완벽한 건조
- 내부할열, 표면할열 없음

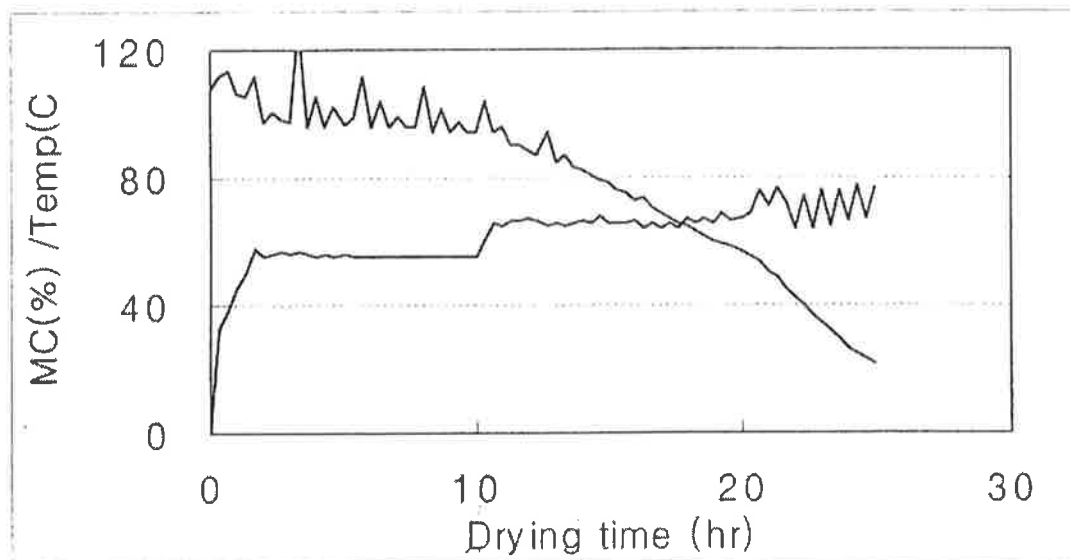
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln/진공	온도스케줄	0.1→0.2mW	kW	99/06/21			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
은수원 사시나무	통나무	1	107.8	21.5	20		50

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(℃)	60	70	80				
건조시간(hr)	10	10	5				

<그래프>



<결과>

- 0.1mW출력으로는 65℃이상 증가하지 않아 건조중간에 0.2mW출력으로 변경
- 마구리에 잔할열이 있으나 비교적 건조가 잘되었음
- 내부할열 없음

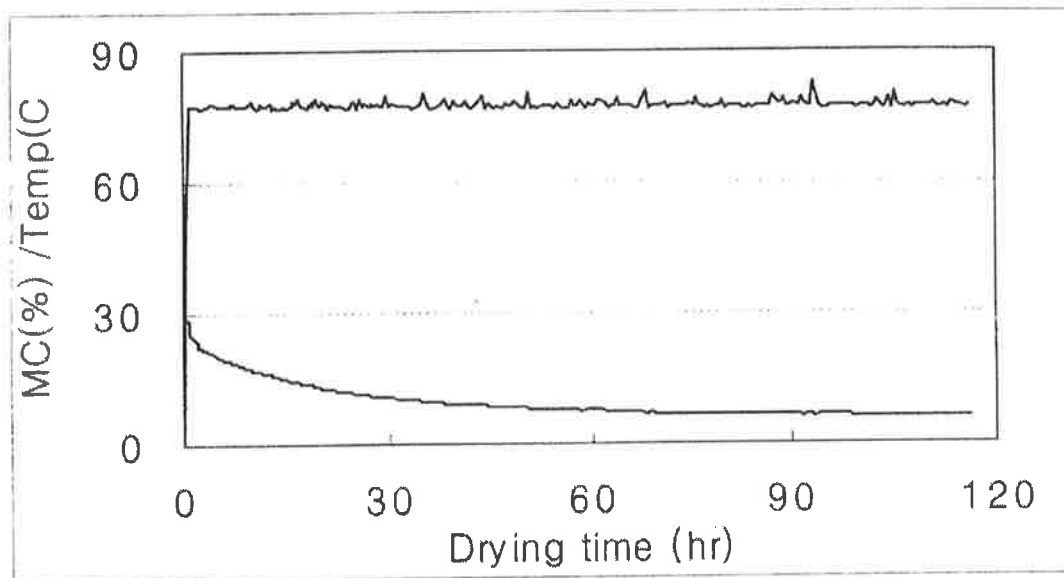
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln/진공	온도스케줄	0.2mW	kW	99/01/20			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기 규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
밤나무	판재	7	30.2	6.2	3	22~27	65~82

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(°C)	80						
건조시간(hr)	116						

<그래프>



<결과>

- 마구리 PVAC접착제 도포
- 마구리할열, 표면할열, 내부할열 없이 양호하게 건조됨

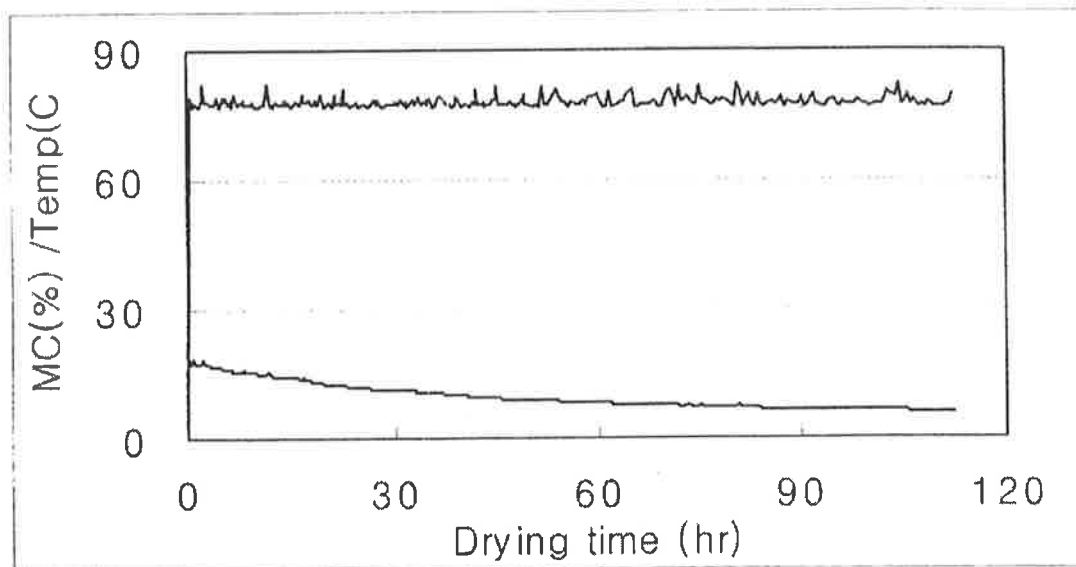
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln/진공	온도스케줄	0.2mW	kW	99/01/27			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기 규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
밤나무	판재	5	19.8	5.6	3	20~27	64~81

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(°C)	80						
건조시간(hr)	112.4						

<그래프>



<결과>

- 천연건조가 많이 되어있기 때문에 결함없이 함수율 5.6%까지 건조
- 초기함수율이 30%이하므로 80°C 건조가 가능

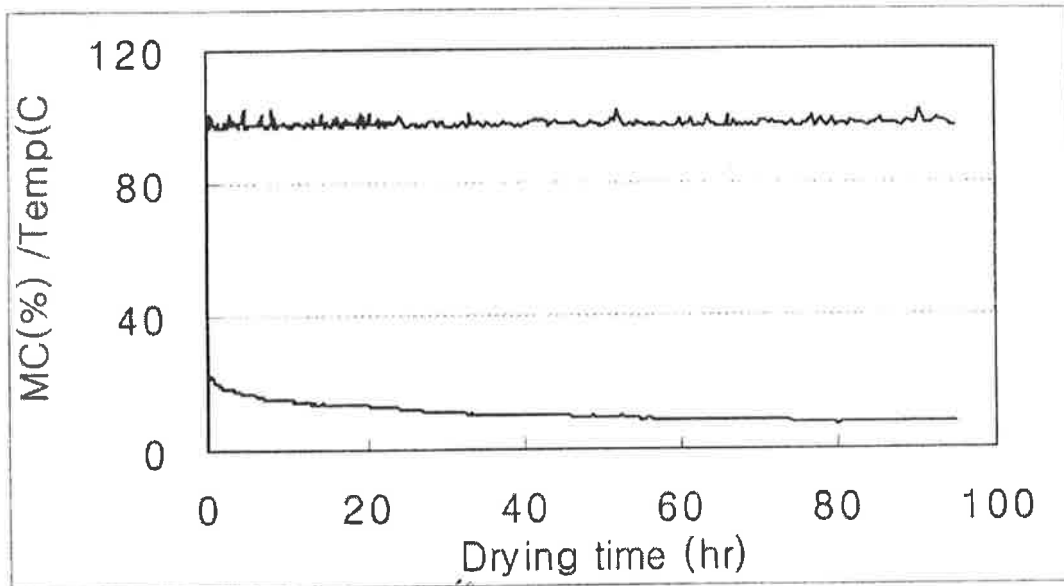
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln/진공	온도스케줄	0.2mW	kW	99/02/04			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기 규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
밤나무	판재	5	23.1	3.7	3	20~24	64

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(℃)	100						
건조시간(hr)	95						

<그래프>



<결과>

- 천연건조가 많이 되어있기 때문에 결함없이 함수율 3.7%까지 건조
- 초기함수율이 30%이하므로 100℃ 건조가 가능

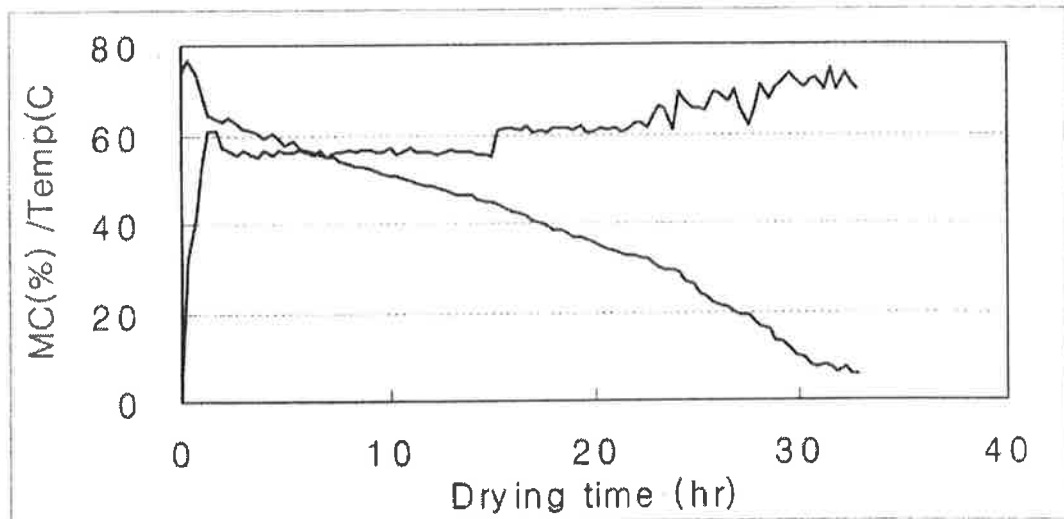
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln/진공	온도스케줄	0.2mW	kW	99/07/05			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
자작나무	목침용	8	74.2	10.25	8	14~18	25

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(°C)	60	65	70	75			
건조시간(hr)	15	8	5	5			

<그래프>



<결과>

- PVAC접착제를 수 부위에 만 도포. 수에는 마구리 할열이 없음
- 건조초기 마구리에 잔할열이 발생하였으며 수가 모서리에 있는 것은 수 할열이 표면할열로 발전
- 건조후 마구리할열이 단합
- 마구리 전체 PVAC접착제 도포 권장
- 표면할열 없음

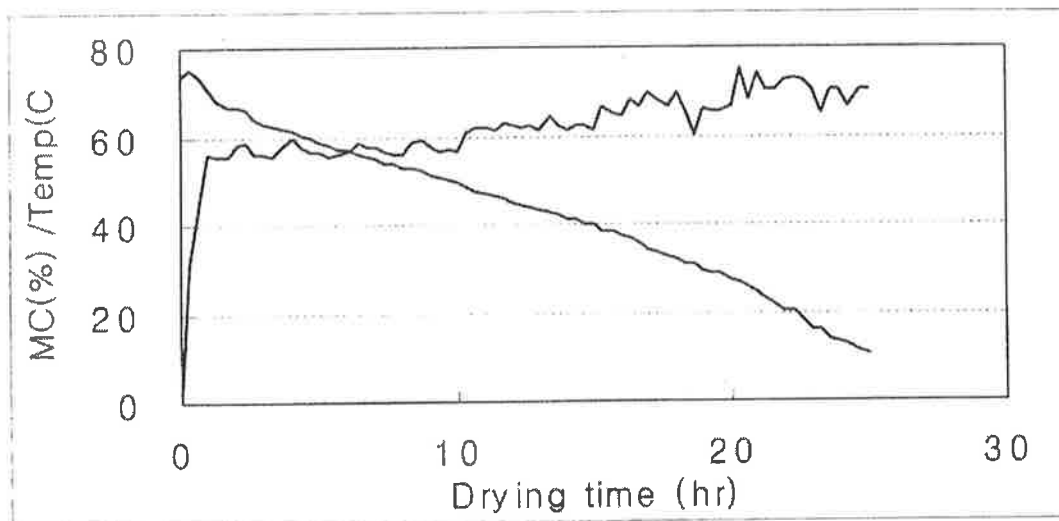
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln/진공	온도스케줄	0.2mW	40 kW	99/07/07			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
자작나무	각재	12	73.5	12.3	8	10	25

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(°C)	60	65	70	75			
건조시간(hr)	10	5	5	5			

<그래프>



<결과>

- PVAC접착제 마구리도포
- 완전박피
- 함수율 30-40%까지 초기온도 (60°C)를 유지하는 스케줄 적용
- 3번 마그네크론 밑에 있던 시편 9와 10에 9cm 정도의 마구리 할열 발생
- 표면할열, 내부할열 없음
- 작은 마구리할열은 1.5cm 절단 후에는 보이지않음

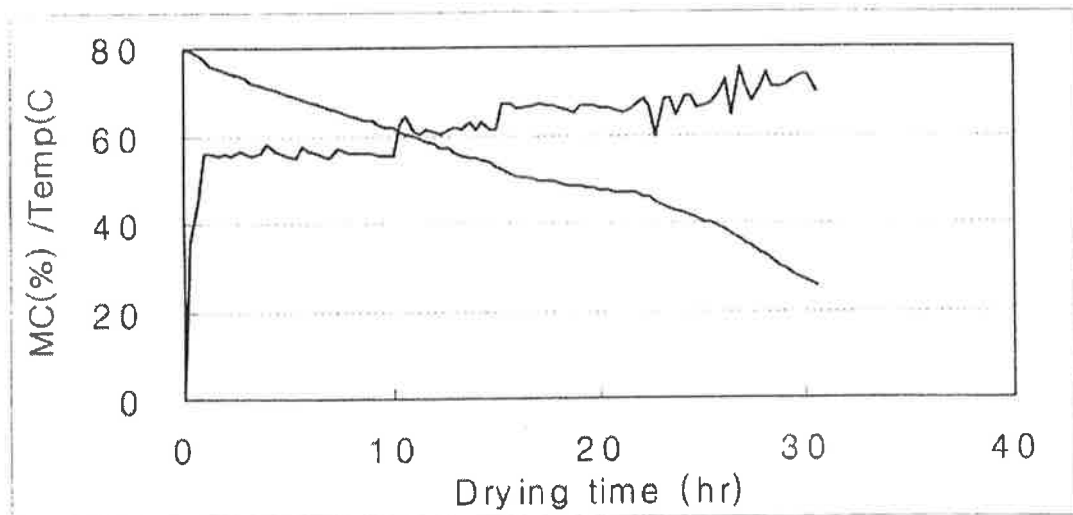
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln/진공	온도스케줄	0.2mW	46.7 kW	99/07/08			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기 규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
자작나무	각재	12	79.7	26.3	9	11	25

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(°C)	60	65	70	75			
건조시간(hr)	10	5	10	5			

<그래프>



<결과>

- PVAC접착제 마구리도포
- 마구리도포로 마구리 할열예방 효과가 큼
- 1번 마그네트론 밀이 과열되기 때문에 1번 마그네트론의 출력을 거의 0으로 줄여놓았음
- 최종함수율이 26.5%로 매우 높음

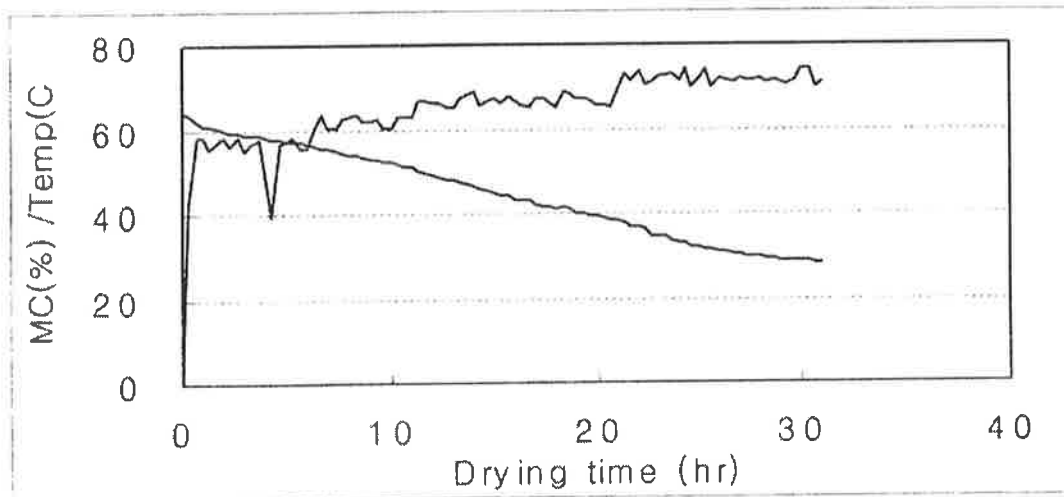
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln/진공	온도스케줄	0.2mW	58 kW	99/07/10			
수종	형태	수량	합수율 (%)		초기 규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
자작나무	규격재	12	63.9	11.2	11~13	9~10	25

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(℃)	60	65	70	75			
건조시간(hr)	6	5	10	10			

<그래프>



<결과>

- PVAC접착제 마구리도포
- 마구리도포로 마구리 할열예방 효과가 큼
- 내부할열 없음
- 건조 후 5시간 근처에서 정전으로 인해 건조 중단
- 2개 시편의 마구리 할열을 제외하고 건조가 잘됨

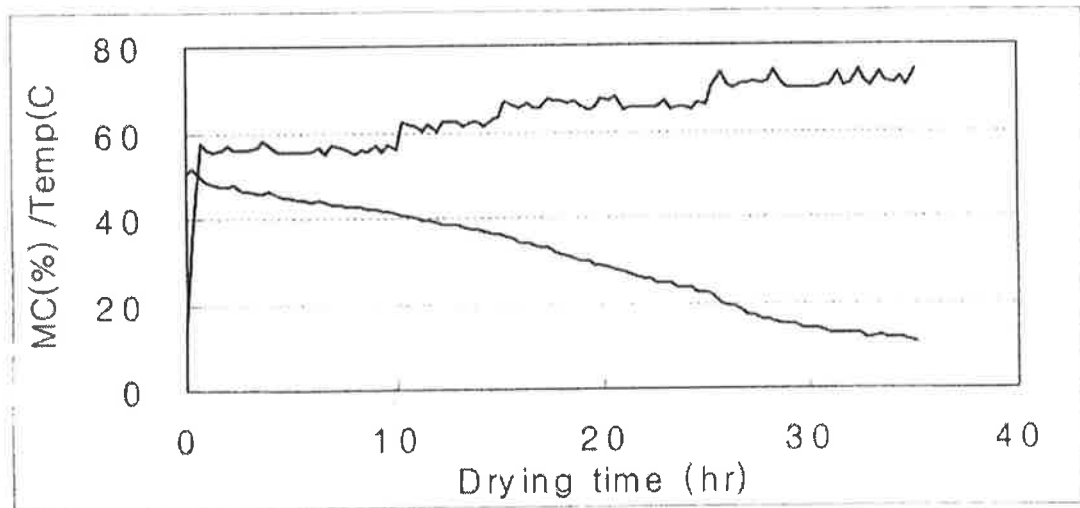
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln/진공	온도스케줄	0.2mW	45.5 kW	99/07/13			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기 규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
자작나무	규격재	12	50.9	11.8	11~13	8.5~9	25

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(°C)	60	65	70	75			
건조시간(hr)	10	5	10	10			

<그래프>



<결과>

- PVAC접착제 마구리도포
 - 마구리도포로 마구리 할열예방 효과가 큼
 - 내부할열 없음
 - 최종함수율이 평균 7-17%로 편차가 크고 표면의 함수율이 높아
- 60°C열기건조를 실시하여 함수율 5-7%로 떨어뜨림. 건조결함이 전혀 없음

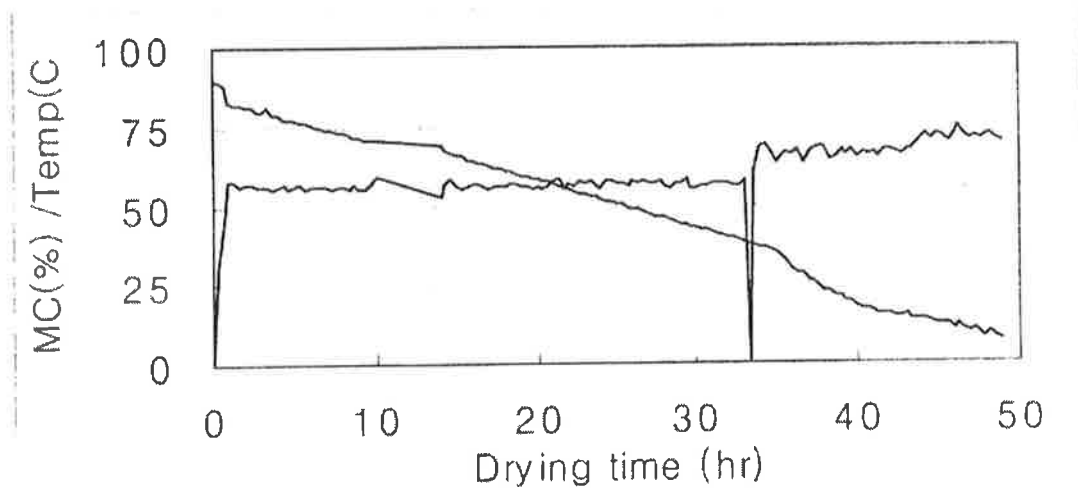
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln/진공	온도스케줄	0.2mW	kW	99/07/01			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기 규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
자작나무	통나무	6	89.2	11.6	12.5~21		25

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(℃)	60	70	75				
건조시간(hr)	33	10	5				

<그래프>



<결과>

- 마구리 도포하지 않음
- 60℃ 건조 후 시편3을 마구리부터 2cm씩 5개를 절단하여 함수율과 할열조사: 34-42%이고 마구리할열은 깊이 2cm를 넘지 않으나 수할열은 6cm까지 진행
- 건조후 측정할 마구리할열은 보통 깊이 2-4cm
- 표면과 내부할열 없음

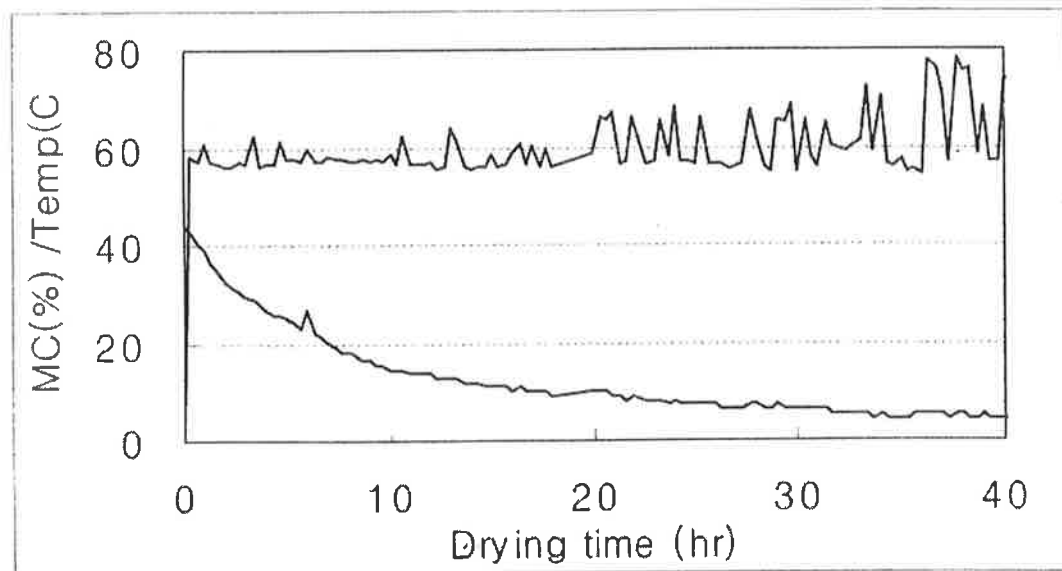
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln	온도스케줄	0.2mW	kW	99/02/18			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기 규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
남원제기 오리나무	가공품	10	43.5	6.6	14.8~17.5		7.5

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(℃)	60	65	70				
건조시간(hr)	18	13	8				

<그래프>



<결과>

- 잔할열이 마구리에 약간 나타났으나 샌딩으로 없어짐
- 내부할열 없음
- M/W건조 후 90℃ 열기건조를 수 시간 실시하므로 표면의 수분이 완전히 증발하여 함수율 6-8% 도달

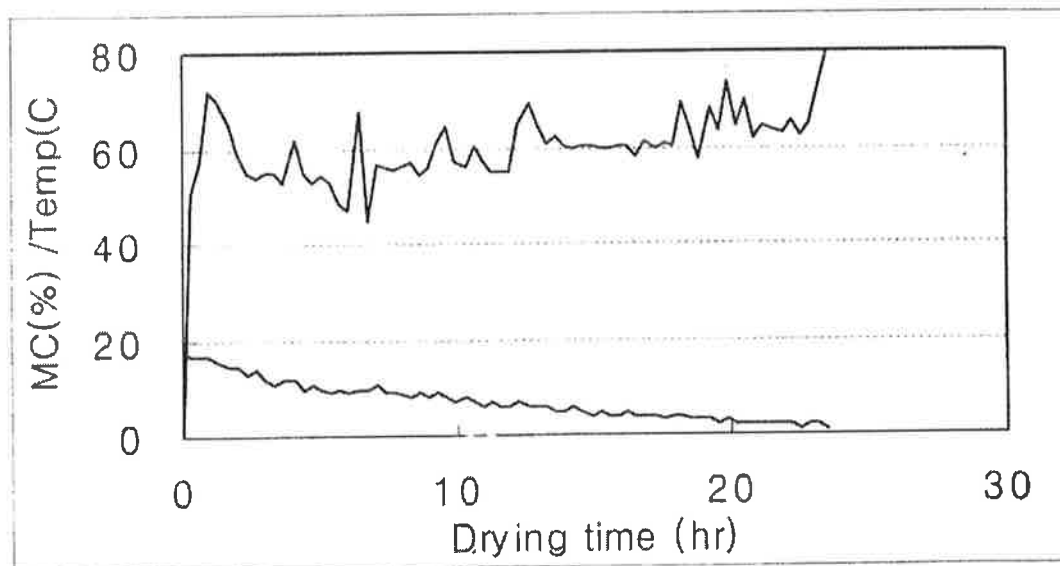
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln/진공	온도스케줄	0.1mW	kW	99/03/11			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
남원제기 오리나무	가공품	10	17.5	6.0	15~15.5		7.5

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(°C)	60	65	70				
건조시간(hr)	12	6	6				

<그래프>



<결과>

- 생재를 가공하여 남원에서 가져왔는데도 보관기간이 길어 많이 건조되어 있음
- 완벽하게 건조됨. 할열이 전혀 없음
- 가공하여 건조하므로써 필요없는 부분을 건조할 때 생기는 손실을 줄이고 건조속도가 매우 향상됨이 증명됨

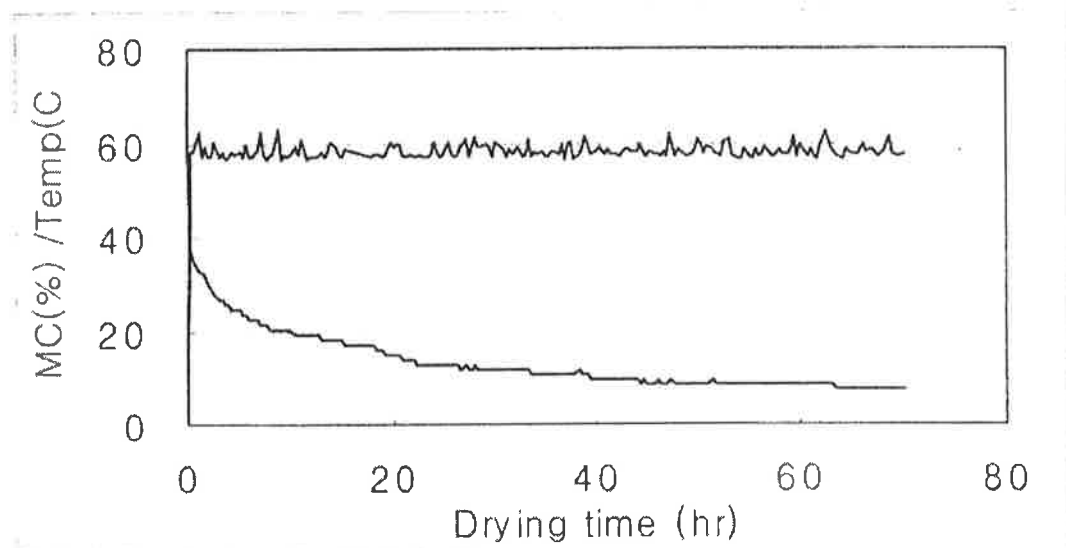
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln/진공	온도스케줄	0.2mW	kW	99/02/09			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
남원제기 물푸레나무	가공품	10	37.7	8.1	14~15		7.5

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(℃)	60						
건조시간(hr)	70						

<그래프>



<결과>

- 횡단면에 스프레이 본드 도포 (할열예방)
- 10개 시편 중 3개의 횡단면에 무시할 만한 미세할열 발생
- 건조상태 매우 양호

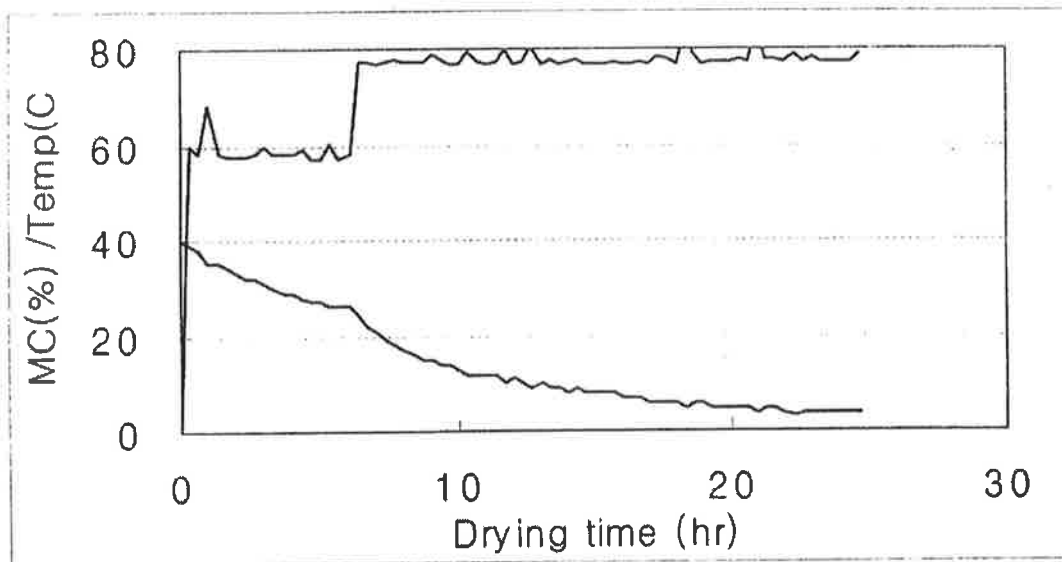
<건조조건>

건조방법	건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜			
MW kiln	온도스케줄	0.2mW	kW	99/02/17			
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
남원계기 물푸레나무	가공품	10	40.0	4.0	13.2~16.5		7.5

<건조스케줄>

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(℃)	60	80					
건조시간(hr)	6	16					

<그래프>



<결과>

- 작은 용이는 건전하였으나 큰 용이 주변에 할열이 발생
- 제기의 파인 부분이 밑으로 향하도록 배치 (할열을 줄일 것으로 예상)
- 건조된 상태가 매우 양호

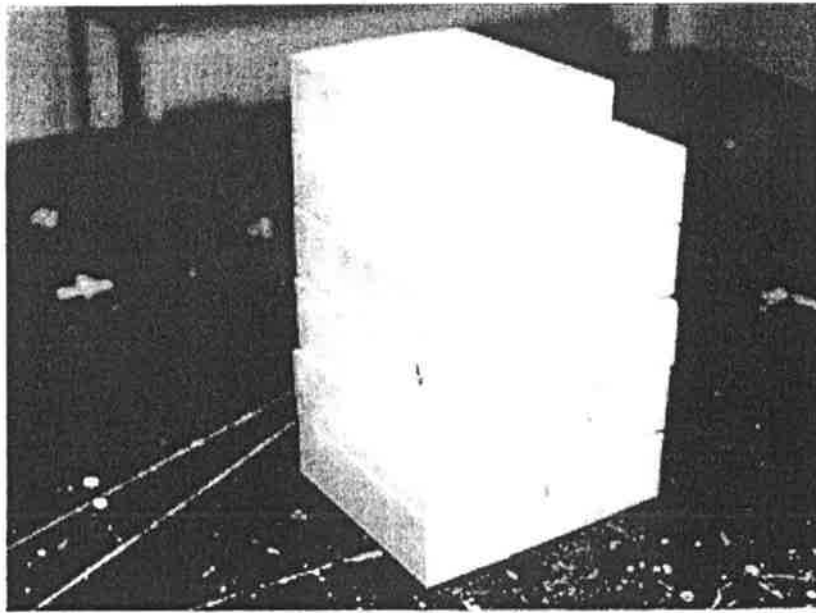
3. 가공 후 M/W 진공 건조

목재를 가공한 후에 건조하면 수축이 일어나 할열 등 결함이 발생한다. 그러나 M/W 진공 건조는 수축율이 일반 열기건조보다 적기 때문에 가공 후에 건조하여도 결함이 적게 일어날 가능성이 높다. 만일 이 같이 가공한 후에 건조하여도 결함이 적게 일어나고, 수축이 적게 된다면 필요없는 부분을 건조하므로 생기는 손실을 줄일 수 있다.

본 연구에서 가공 후 M/W 진공 건조를 자작나무, 오리나무, 물푸레나무를 이용하여 실시하였다. 그 결과는 매우 만족스러웠다. 자세한 건조 스케줄과 건조 결과는 4절2항에 자세히 기재되어 있다. 오리나무와 물푸레나무 세기를 생체 상태에서 건조한 결과 미미한 할열을 제외하면 거의 100% 완벽하게 건조되었으며 자작나무 목침은 벌채 직후 발생한 까구리 할열을 제외하면 90%이상 건조결함 없이 건조되었다. 이들 가공품의 건조 후 모습은 아래 그림과 같다.



오리나무와 물푸레나무로 만든 제기의 M/W 진공 건조 후 모습



자작나무로 만든 목침의 M/W 진공 건조 후 모습

제5절 통나무 길이에 따른 M/W건조속도 및 온도상승속도 비교

1. 목적

M/W건조시 목재내 수분이동은 주로 섬유방향으로 일어나므로 목재 길이에 따라 수분이동거리가 달라진다. 목재 길이에 따라 건조속도와 온도상승속도가 어떻게 변하는지를 조사한다.

2. 재료 및 방법

은수원사시나무 입목을 별채하여 직경이 9 내지 13cm, 길이 2.4m의 통나무 3개를 구하였다. 2.4m 통나무를 각각 2, 4, 8 토막으로 절단하여 120cm, 60cm, 30cm로 만들었다. 절단된 시편을 크기별로 M/W진공건조기에 넣고 3분on-2분off 3.3시간, 2분on-5분off 12시간 건조하면서 무게변화와 온도변화를 측정하였다.

3. 결과

- 통나무의 길이에 따른 건조곡선은 분명한 차이를 보였다.
- 시간당 건조속도는 각각 2.8%/hr (30cm), 2.0%/hr (60cm), 1.4%/hr (120cm)로 길이에 따른 차이가 분명하였다.
- 목재내부온도는 30cm시편은 다른 시편에 비해 분명히 낮은 온도를 나타냈으나 60cm 시편과 120cm시편은 거의 비슷한 온도를 나타냈다. 30cm시편은 수분이동거리가 짧기 때문에 가열된 내부수분이 즉시 밖으로 빠져나오므로 내부온도가 낮아지게 된다.

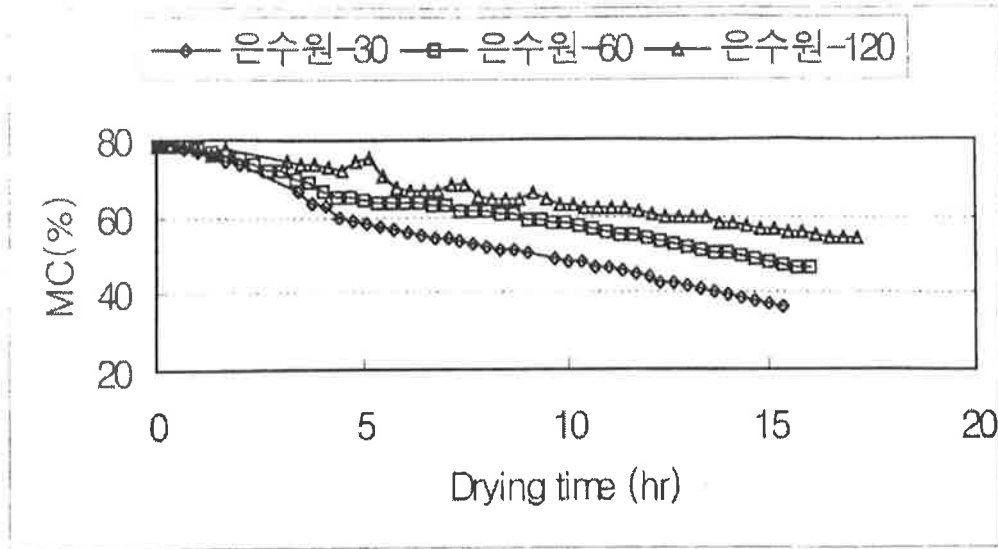


그림 2-9. 은수원사시나무의 통나무 길이별 건조곡선

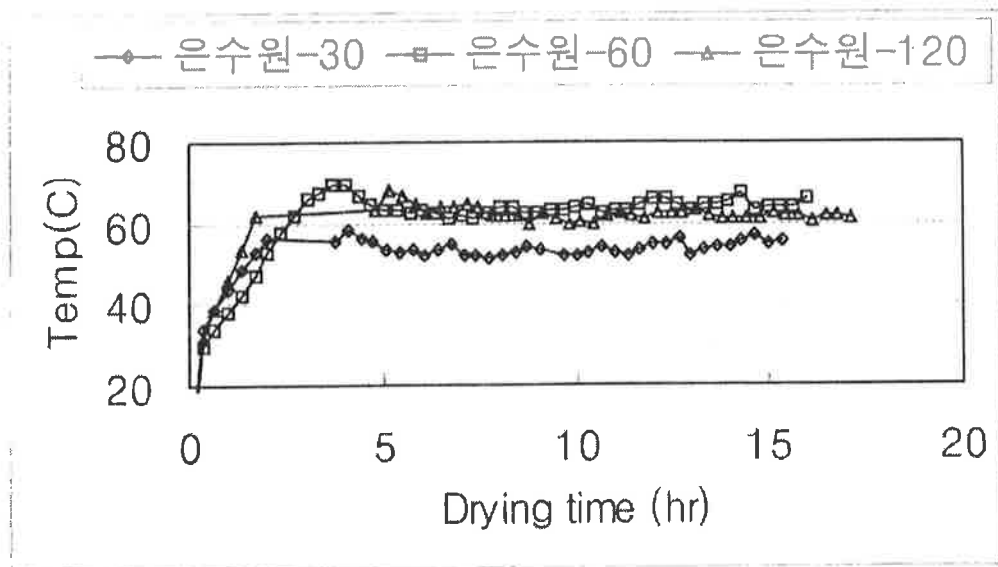


그림 2-10. 은수원사시나무의 통나무 길이별 온도상승곡선

제6절 M/W건조 후 판재 길이방향 수분 분포 측정

1. 목적

M/W건조시 목재 내 수분은 길이방향으로 이동하기 때문에 길이 방향 수분경사가 발생한다. 건조 후 길이방향 함수율 분포가 어떻게 형성되어 있는지를 조사한다

2. 재료 및 방법

아래와 같이 밤나무 판재를 M/W 진공 건조 한 후 폭 5cm의 시편을 길이 직각방향으로 잘라 각 시편의 함수율을 전건법으로 측정하여 함수율 분포 곡선을 만든다.

건조방법		건조스케줄	MW출력	소요전력	날짜		
MW kiln/진공		온도스케줄	0.2mW	kW	99/01/20		
수종	형태	수량	함수율 (%)		초기규격 (cm)		
			초기	말기	두께/직경	폭	길이
밤나무	판재	7	30.2	6.2	3	22~27	65~82

-건조스케줄-

순서	1	2	3	4	5	6	7
온도(℃)	80						
건조시간(hr)	116						

3. 결과

함수율 분포는 그림2-11과 같다. Board 1은 마그네트론으로부터 제일 먼곳에 위치하였으며 Board 2는 그 위에, 그리고 Board 6는 제일 가까이

위치하였다. 마그네트론에 가까운 판재의 함수율이 더 낮았다.

시편의 폭은 5cm로 1번 시편은 판재의 마구리이며 7번 시편은 판재의 중앙이다. 마구리와 중앙 시편의 함수율이 그 사이에 있는 시편보다 높은 값을 보인다.

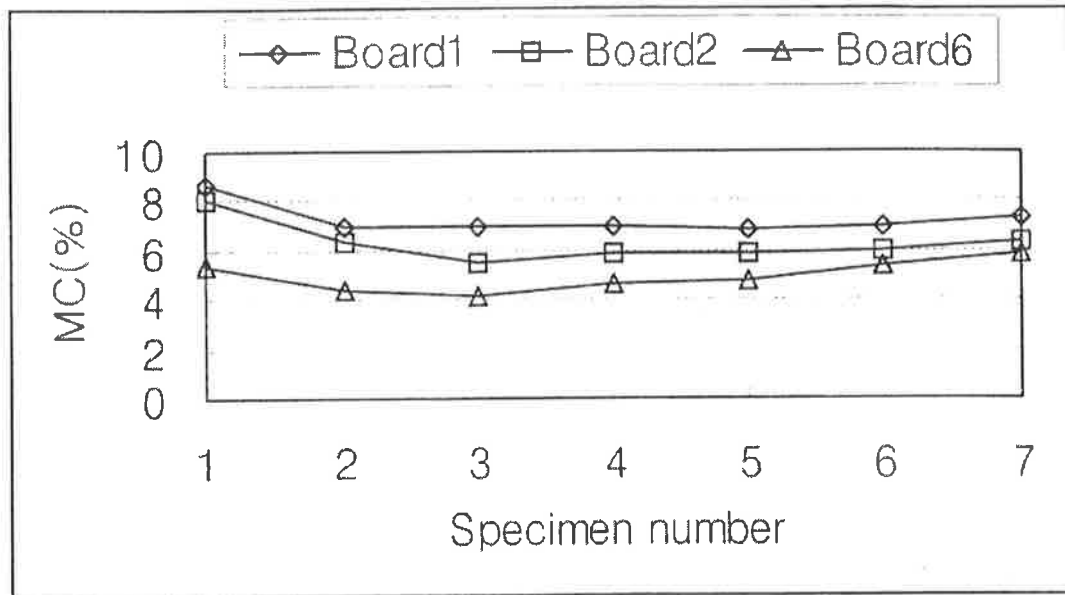


그림 2-11. 판재 길이 방향에 따른 함수율 분포

빈 면

부 록 1

특허출원 신청서

- 마이크로파를 이용한 건조장치 -

빈 면

관인생략

출원번호통지서



□ 3 □ 0 □ 2 □ 1 □ 2 □ 2

받는사람

(대리인)

이택순

주소

대전광역시 서구 둔산2동 917 이택순특허법률사무소

출원일자 1999.05.07

심사청구(유) 공개신청(무)

출원번호 10-1999-0016412

접수번호 1-1-99-0044304-49

출원인 강호양



특 허 청 장



919980006500



10111010000000000000

방식 심사 관	담 당	심 사 관

【서류명】 출원서

【권리구분】 특허

【수신처】 특허청장

【제출일자】 1999.05.07

【발명의 국문명칭】 마이크로파를 이용한 건조장치

【발명의 영문명칭】 A dryer using microwave

【출원인】

【성명】 강호양

【출원인코드】 4-1999-029583-8

【대리인】

【성명】 이택순

【대리인코드】 9-1998-000650-0

【포괄위임등록번호】 1999-032090-1

【대리인】

【성명】 강성혜

【대리인코드】 9-1998-000126-5

【포괄위임등록번호】 1999-032087-3

【발명자】

【성명】 강호양

【출원인코드】 4-1999-029583-8

【심사청구】 청구

【취지】 특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다.

대리인

이택순 (인)

대리인

강성혜 (인)

【수수료】

【기본출원료】	14	면	29,000	원
【가산출원료】	0	면	0	원
【우선권주장료】	0	건	0	원
【심사청구료】	3	항	205,000	원
【합계】			234,000	원

【감면사유】 개인

【감면후 수수료】 117,000 원

【첨부서류】 1. 요약서· 명세서(도면)_1통

【요약서】

【요약】

고주파 구동 전원을 발생하는 전원공급수단과, 전원공급수단으로부터 구동전원을 인가받아 마이크로파를 발생하는 마그네트론과, 내부에 건조대상물을 수용할 수 있는 공간이 형성된 본체와, 건조대상물의 온도변화를 감지하는 온도센서와, 본체내에 수용된 건조대상물의 하부에 설치되어 건조대상물의 연속적인 중량변화를 감지하는 로드셀(Load cell)과, 온도센서 및 로드셀의 감지결과를 입력받아 상기 마그네트론의 동작을 제어하기 위한 신호를 출력하는 제어부와, 건조대상물의 종류에 따른 건조시간 및 건조 조건등의 정보를 저장하고 상기 제어부에 제공하는 기억장치와, 전원공급수단으로부터 전원을 제공받아 본체내부의 공기를 흡입하여 외부로 배출하므로써 본체의 압력을 저하시키는 공기흡입장치와, 제어부의 제어신호에 따라 건조대상물을 예열시켜 유전율을 증가시키는 예열장치를 포함하여 구성됨을 특징으로 하는 마이크로파를 이용한 건조장치.

【대표도】

도 1

【색인어】

진공건조, 마이크로파, 로드셀

【명세서】

【발명의 명칭】

마이크로파를 이용한 건조장치(A DRYER USING MICROWAVE)

【도면의 간단한 설명】

- <1> 도 1은 본 발명에 따른 진공복재 건조장치의 구성을 나타낸 블록도,
- <2> 도 2은 본 발명의 실시예 따른 진공복재 건조장치의 외관을 나타낸 사시도,
- <3> 도 3은 도 2의 우측단면도,

<4> 도 4는 도 1에서의 전원공급장치와 마그네트론의 구성을 나타낸 회로도이다.

【발명의 상세한 설명】

【발명의 목적】

【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

<5> 본 발명은 건조 장치에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 진공상태에서 마이크로파를 이용하여 목재를 건조시키는 장치에 관한 것이다.

<6> 목재를 건조시키는 방법은 자연건조방법과 강제건조방법이 있다. 자연건조 방법은 단어가 의미하는 바와 같이, 대기중에 방치하여 시간의 경과에 따라 목재내의 수분을 증발시켜 건조하는 방법이고, 강제건조방법으로는 히터등의 전기적 발열체로부터 발생하는 열 또는 연료를 연소시켜 발생하는 열을 송풍시켜 건조하는 열풍건조 방법을 들 수 있다. 이러한 방법은 공기라는 매체를 가열하고 가열된 공기를 다시 피건조물의 표면부터 열을 전달시키는 대류전도 방식으로 건조시키므로 표면가열 및 고온공기의 유출에 의한 에너지의 낭비가 수반된다. 또한 이러한 열풍 건조장치에 의해 목재를 건조할 경우 목재의 특성상 목재 표면이 갈라지거나, 열전달의 차로 인해 목재의 외부와 내부의 건조상태에 차이가 발생한다. 그리고 목재의 내부까지 완전하게 건조시키기 위해서는 장시간동안 열풍에 건조할 경우 목재의 외부 변형등의 문제점이 있으며, 목재의 외부가 손상되지 않을 정도의 낮은 온도로 열풍을 송풍할 경우 건조에 많은 시간이 소요되어 처리능력이 현저하게 떨어지는 문제점이 있었다. 또한 열효율이 높지 않아서 건조에 많은 에너지가 소요되며, 가열온도의 제어도 용이하지 않으며, 따라서 건조공정을 자동화하는 데에는 많은 난

점이 있었다.

<7> 이러한 문제점을 해결하기 위해 대두된 기술이 마이크로파를 이용한 건조방법이다. 마그네트론을 이용하여 마이크로파를 방사하여 마이크로파가 목재의 중심부에서 반사되면서 파장과 복사열로서 목재내의 수분분자를 유전자열의 원리로 증발시키는 방법이다. 마그네트론은 주로 레이다와 마이크로파 오븐에 이용되는 발진관으로 양극의 동체 내면에 양극 익편이 방사상 설치되어 있으며, 그 중심부에 음극 필라멘트가 위치하 마그네트론 본체의 상·하부에 영구자석이 설치되어 구성된다. 축방향으로 가해지는 양극 동체의 +전압에 따른 자계에 의해 전자에 지름 0.01mm이하가 되는 회전운동을 주어 마이크로파를 발생케한다.

<8> 이러한 마이크로파를 이용한 건조방법은 열풍건조방법에 비해 크게 개선된 방법임에는 틀림없으나, 지금까지의 기술로는 건조시간을 미리 설정하여 마그네트론의 동작을 단순제어하는 것에 불과하였다. 따라서, 피건조대상 목재의 종류와 수분증발량의 변화에 따른 마그네트론의 실시간 제어가 불가능하였으며, 목재의 온도변화와 무관하게 설정된 시간동안 건조시키므로써 목재의 파손률이 높은 문제점을 가지고 있다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

- <9> 본 발명은 성형된 목재를 건조할 수 있는 장치를 제공함을 목적으로 한다.
- <10> 본 발명의 다른 목적은 목재의 건조에 소요되는 시간을 단축시키는 것이다.
- <11> 본 발명의 또 다른 목적은 외관의 변형없이 목재를 건조시키는 것이다.

<12> 본 발명의 또 다른 목적은 목재의 강도를 유지할 수 있는 건조장치를 제공하는 것이다.

<13> 본 발명의 또 다른 목적은 목재를 균일하게 건조시키는 것이다.

<14> 본 발명의 또 다른 목적은 건조대상 목재의 종류에 따라 효율적인 건조를 수행할 수 있는 건조장치를 제공하는 것이다.

<15> 이러한 목적들을 달성하기 위한 본 발명은 마이크로파에서 발생하는 에너지를 이용하여 목재를 건조하는 것을 특징으로 한다.

<16> 본 발명의 다른 특징은 진공상태에서 건조시키는 점에 있다.

<17> 본 발명의 세부적 특징은 고주파 구동 전원을 발생하는 전원공급수단과, 전원공급수단으로부터 구동전원을 인가받아 마이크로파를 발생하는 마그네트론과, 내부에 건조대상물을 수용할 수 있는 공간이 형성된 본체와, 건조대상물의 온도변화를 감지하는 온도센서와, 본체내에 수용된 건조대상물의 하부에 설치되어 건조대상물의 연속적인 중량변화를 감지하는 로드셀(Load cell)과, 온도센서 및 로드셀의 감지결과를 입력받아 마그네트론의 동작을 제어하기 위한 신호를 출력하는 제어부와, 건조대상물의 종류에 따른 건조시간 및 건조 조건등의 정보를 저장하고 상기 제어부에 제공하는 기억장치와, 전원공급수단으로부터 전원을 제공받아 상기 본체 내부의 공기를 흡입하여 외부로 배출하므로써 상기 본체의 압력을 저하시키는 공기흡입장치와, 제어부의 제어신호에 따라 건조대상물을 예열시켜 유전율을 증가시키는 예열장치를 포함하여 구성됨에 있다.

【발명의 구성 및 작용】

<18>

이하 첨부된 도면을 참조로 하여 본 발명의 구성과 그 구성에 따른 동작을 설명하기로 한다. 도 1은 본 발명에 따른 목재건조장치의 구성을 나타내는 블록도이다. 그 구성은 고주파 구동 전원을 발생하는 전원부(5)와, 상기 전원공급수단(5)으로부터 구동전원을 인가받아 마이크로파를 발생하는 마그네트론(6)과, 내부에 건조대상물을 수용할 수 있는 공간이 형성된 본체(9)와, 상기 본체내(9)에 수용된 건조대상물의 온도변화를 감지하는 온도센서(3)와, 상기 본체(9)내에 수용된 건조대상물의 하부에 설치되어 건조대상물의 연속적인 중량변화를 감지하는 로드셀(Load cell)(1)과, 상기 온도센서(3) 및 로드셀(1)의 감지결과를 입력받아 상기 마그네트론의 동작을 제어하기 위한 신호를 출력하는 제어부(2)와, 건조대상물의 종류에 따른 건조시간 및 건조 조건등의 정보를 저장하고 상기 제어부(2)에 제공하는 기억장치(2)와, 상기 전원부(5)으로부터 전원을 제공받아 상기 본체(9)내부의 공기를 흡입하여 외부로 배출하므로써 상기 본체(9)의 압력을 저하시키는 공기흡입장치(7)와, 상기 제어부(4)의 제어신호에 따라 건조대상물을 예열시켜 유전율을 증가시키는 히터(8)를 포함하여 구성된다.

<19>

도 2는 본 발명의 실시에 따른 진공목재 건조기의 외관을 나타내는 사시도이다. 본체(9)는 철판으로 제작되고, 전면에는 도어(31)가 설치되며 도어(31)에는 투시창이 구비되어 본체(9)내에서의 건조상황을 감시할 수 있다. 도어(31)와 본체(9)는 차폐 가스켓등의 씰링재로 접합하여 도어(31)를 통해 마이크로파가 누설되는 것을 방지한다. 마그네트론(6)은 본체(9)의 상부에 위치하며, 각 마그네트론

에서 발생하는 마이크로파의 발진주파수는 2450MHz이고, 발진출력은 1.5Kw이다. 본체(9)의 후면에는 본체(9)내의 공기를 흡입하여 진공상태로 만들기위한 공기흡입 장치(도시되지 않음)가 구성되어 있다.

<20> 도 3은 도 2를 우측면에서 바라본 측면면도이다. 본체(9)내에 수용된 건조 대상물(10)의 하부에 설치되어 목재가 건조됨에 따라 변화되는 중량을 연속적으로 감지하는 로드셀(Load cell)(1)이 본체(9)의 하단부에 설치된다. 목재의 표면에는 목재의 온도변화를 감지할 수 있는 온도센서(3)가 부착된다. 로드셀(1)과 온도센서(3)의 감지 데이터는 전송선을 통해 제어부(4)에 전달된다. 제어부(4)는 연속적으로 제공되는 각 데이터들을 인식하고, 기억장치(도시되지 않음)로부터 읽어들이는 피건조대상물의 건조조건 및 특성정보에 따라 마그네트론(6)의 동작을 제어하게 된다. 마그네트론(6)의 하단부에는 상기 마그네트론(6)으로부터 방사되는 마이크로파가 본체(9)내에 균일하게 분산시키는 스테러(Stirrer)(11)가 다수개 설치되어 있다.

<21> 한편, 상기 마그네트론(6)과 전원부(5)의 연결관계는 도 4에 도시된 바와 같이 고압트랜스(23), 고압콘덴서(25), 고압 다이오드(27)등으로 구성된다. 마그네트론(6)으로부터 마이크로파가 발생될 수 있도록 고주파전원이 공급된다. 즉, 제어부(4)의 마그네트론 구동신호에 따라 스위치(21)가 온(ON)상태가 되어 고압트랜스(23)의 일차권선의 일단자에 연결되며, 고압트랜스(23)의 2차권선 출력단자는 고압콘덴서(25), 고압다이오드(27)를 거쳐 마그네트론(2)에 연결된다. 각 소자(고압트랜스, 고압콘덴서, 고압다이오드)의 적정 내압은 DC 10kV 이상이다.

<22>

전원부(5)로부터 전원이 공급되면 마그네트론(6)은 마이크로파를 방출하게 되고, 마이크로파가 본체 내부로 조사된다. 전원부(5)의 출력은 직류전압 4500 V, 직류전류 450 mA의 출력을 갖도록 구성하는 것이 바람직하다. 공기흡입장치(7)는 마그네트론(6)과 동기되어 작동하여 본체(9)내의 공기를 외부로 강제배출시키므로 내부를 진공상태로 만들고, 마이크로파에 의해 가열, 증발된 습기를 강제배출시키는 역할을 수행한다.

<23>

마이크로파에 의해 수분을 가열하는 과정은 물분자 내에서 쌍극자 회전이나 진동이 발생해서 그 내부 마찰열에 의해 열이 발생하는 과정으로서 이는 당업자에게 자명한 사항이므로 이에 대한 상세한 설명은 생략한다. 마이크로파가 계속적으로 방사되므로써 목재에 직접 침투하거나 또는 본체 내벽에 반사되어 목재에 침투하면서 목재의 중심부에서 각 사방에서 침투된 마이크로파끼리 충돌하여 다시 외곽으로 반사된다. 이때, 외곽으로 반사되는 마이크로파의 파장과 복사열이 목재 내부 수분의 분자에 공진작용을 일으켜 목재내부에 열에너지가 끌고투 확산되게 하고, 수분을 중심부에서 목재의 표면쪽으로 밀어내어 목재내의 수분이 증발되어 건조된다. 이 때 수분 증발량은 로드셀(1)에서 검출되는 목재의 중량변화로 감지가 가능하다. 또한, 온도센서(3)는 목재표면 또는 내부에 설치되어 목재에 가해지는 마이크로파의 에너지가 목재에 전달되는 정도를 감지할 수 있는 산출근거로 사용되며, 목재온도가 정해진 온도 이상으로 올라가지 않도록 제어하는데 사용된다.

<24>

상기 로드셀(1)은 약 0kg~150kg 범위의 값을 중량감지 범위로 하고 있으며, 감지된 중량데이터는 온도센서(3)로부터 검출되는 데이터와 함께 전송선을 통해 제

어부(4)에 전달된다. 이 데이터들에 따라 제어부(4)는 목재내부에 포함된 수분량을 감지할 수 있으며, 기억장치내에 저장된 설정기준값과 비교하여 마그네트론(6)에 대한 제어값을 출력하게 된다.

<25> 예를 들어, 단풍나무의 적정 함수율이 10% 라 하면, 건조 전 로드셀(1)에 의해 감지된 중량과 건조 중, 실시적으로 측정되는 중량의 변화를 제어부(4)에서 인식하여 적정 함수율인 10% 정도가 되었다고 판단될 때, 마그네트론(6)의 출력을 차단하게 된다. 이 때, 제어부(4)의 제어에 기초가 되는 정보는 목재의 종류에 따른 적정 함수율 및 중량의 변화에 따른 함수율등의 자료로서 기억장치내에 저장되어 있어 제어부(4)에 제공된다. 외장재의 경우, 적정 함수율이 15% 인데 반해, 가구재는 8% 정도로 낮은 값을 갖는다. 따라서, 목재의 종류, 용도에 따라 건조시간이나 건조조건등을 차별화하여 건조시킬 수 있다.

【발명의 효과】

<26> 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명은 성형된 목공예등을 외관의 변형없이 짧은 시간내에 건조할 수 있는 효과를 갖는다. 또한, 목재의 종류에 따라 건조조건을 실시간으로 제어할 수 있는 효과를 갖는다.

【특허청구범위】

【청구항 1】

고주파 구동 전원을 발생하는 전원공급수단과,
상기 전원공급수단으로부터 구동전원을 인가받아 마이크로파를 발생하는 마그네트론과,
내부에 건조대상물을 수용할 수 있는 공간이 형성된 본체와,
상기 건조대상물의 온도변화를 감지하는 온도센서와,
상기 본체내에 수용된 건조대상물의 하부에 설치되어 건조대상물의 연속적인 중량변화를 감지하는 로드셀(Load cell)과,
상기 온도센서 및 로드셀의 감지결과를 입력받아 상기 마그네트론의 동작을 제어하기 위한 신호를 출력하는 제어부와,
건조대상물의 종류에 따른 건조시간 및 건조 조건등의 정보를 저장하고 상기 제어부에 제공하는 기억장치와,
상기 전원공급수단으로부터 전원을 제공받아 상기 본체내부의 공기를 흡입하여 외부로 배출함으로써 상기 본체의 압력을 저하시키는 공기흡입장치와,
상기 제어부의 제어신호에 따라 건조대상물을 예열시켜 유전율을 증가시키는 예열장치를 포함하여 구성됨을 특징으로 하는 마이크로파를 이용한 건조장치.

【청구항 2】

제 1 항에 있어서;

상기 로드셀의 중량감지 범위가 0kg~150kg의 범위를 갖는 것을 특징으로 하는 마이크로파를 이용한 건조장치,

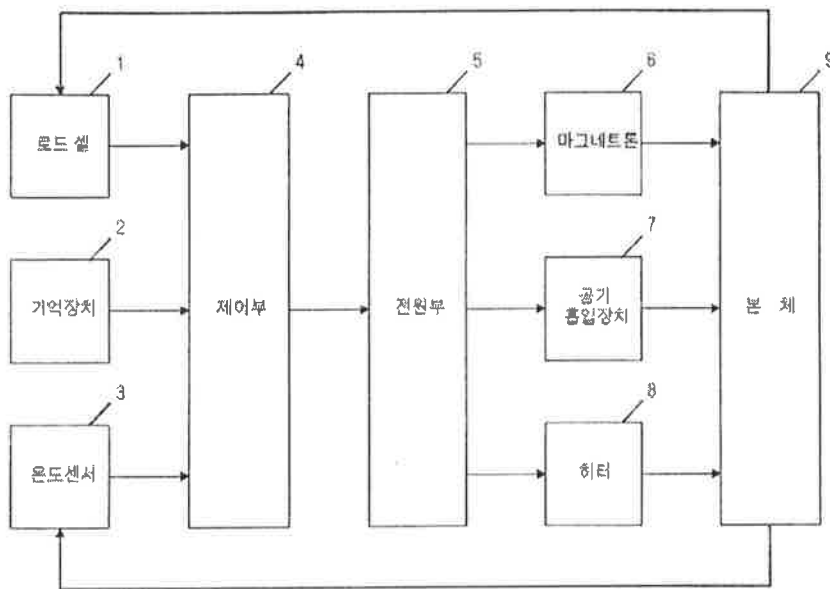
【청구항 3】

제 1 항에 있어서;

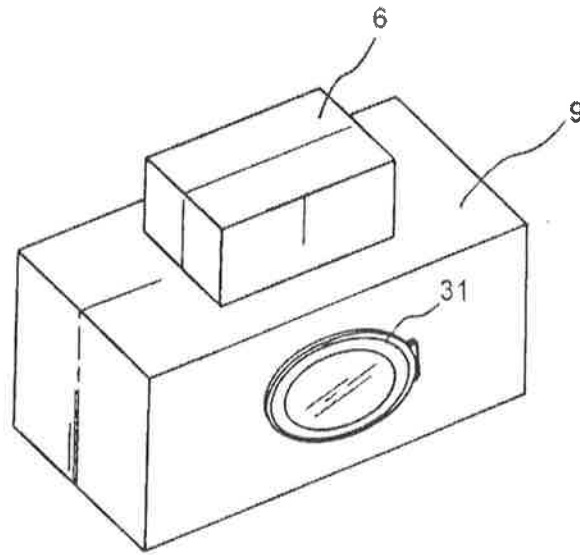
목공예품을 건조대상물로 하는 것을 특징으로 하는 마이크로파를 이용한 건조장치.

【도면】

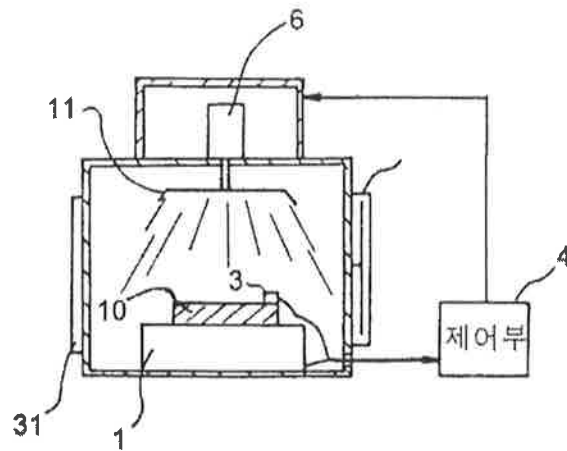
【도 1】



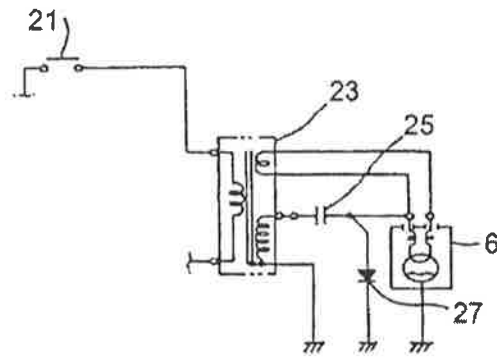
【도 2】



【도 3】



【도 4】



빈 면

부 록 2

목재용 Microwave 진공 건조기 사양서

빈 면

2 / 9	사 양 서												
<p>1. 장비의 명칭: MICROWAVE 목재 건조장치</p> <p>2. 장비의 개요: 본 장치는 MAGNETRON에서 발생하는 MICROWAVE 에너지를 CAVITY 내로 전송시켜 CAVITY 내의 목재를 유전 가열의 원리를 이용하여 열풍 또는 진공 상태에서 건조 시키는 장치이다.</p> <p>3. 장비의 구성</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%;">㉠ HIGH FREQUENCY POWER SUPPLY - - -</td> <td style="width: 20%;">4500V , 450mA (3식)</td> </tr> <tr> <td>㉡ MICROWAVE GENERATOR - - - - -</td> <td>2450MHZ , 1.5kW (3식)</td> </tr> <tr> <td>㉢ WAVEGUIDE SYSTEM - - - - -</td> <td>WR-340 (3식)</td> </tr> <tr> <td>㉣ CAVITY SYSTEM - - - - -</td> <td>1500 × 700 × 584 (1식)</td> </tr> <tr> <td>㉤ 열풍 SYSTEM - - - - -</td> <td>5kW (1식)</td> </tr> <tr> <td>㉥ 전장 및 CONTROL - - - - -</td> <td>PLC CONTROL (1식)</td> </tr> </table> <p>4. 장비의 주요사항</p> <ul style="list-style-type: none"> ㉠ 사용 전력 : AC 220V , 64A , 60HZ ㉡ HIGH FREQUENCY POWER SUPPLY <ul style="list-style-type: none"> ㉢ INPUT : AC 220V , 60HZ ㉣ OUTPUT : 양극 전압 : DC 4500V <ul style="list-style-type: none"> 양극 전류 : DC 450mA 음극 전압 : AC 3.15V 음극 전류 : AC 15A ㉢ 마그네트론 (MGT) : 2M121A (3SET) ㉣ 동작 방식 : 1) HOT START 방식 (음극 전압 인가 5초후 양극전압 인가 방식) 2) 반파 배전압 방식 ㉤ 출력 조정 방식 : 1) ON / OFF TIME 조정 2) CAVITY 내 온도 조정 3) SCIDACS 로 양극 전압 조정 4) 가동 MAGNETRON 수량 조정 		㉠ HIGH FREQUENCY POWER SUPPLY - - -	4500V , 450mA (3식)	㉡ MICROWAVE GENERATOR - - - - -	2450MHZ , 1.5kW (3식)	㉢ WAVEGUIDE SYSTEM - - - - -	WR-340 (3식)	㉣ CAVITY SYSTEM - - - - -	1500 × 700 × 584 (1식)	㉤ 열풍 SYSTEM - - - - -	5kW (1식)	㉥ 전장 및 CONTROL - - - - -	PLC CONTROL (1식)
㉠ HIGH FREQUENCY POWER SUPPLY - - -	4500V , 450mA (3식)												
㉡ MICROWAVE GENERATOR - - - - -	2450MHZ , 1.5kW (3식)												
㉢ WAVEGUIDE SYSTEM - - - - -	WR-340 (3식)												
㉣ CAVITY SYSTEM - - - - -	1500 × 700 × 584 (1식)												
㉤ 열풍 SYSTEM - - - - -	5kW (1식)												
㉥ 전장 및 CONTROL - - - - -	PLC CONTROL (1식)												

3 / 9

사 양 서

- ㉠ H.V.T , H.V.C , H.V.D 의 내압을 10KV 이상으로 한다.
- ㉡ 회로 보호를 위해 과전류를 검출한다.
- ㉢ MGT 와 TRANS 를 보호하기 위해 과열을 검출한다.

- ㉣ 측정 PART
 - ㉠ DISPLAY 방식 : DIGITAL , ANALOG PANEL METER
 - ㉡ 측정 항목 :
 - 1) 온도 METER : CAVITY 온도를 DISPLAY 하는 METER 이다.
 - 2) Ib 측정 METER : 발전하는 Ib를 DISPLAY 하는 METER 이다.

- ㉤ 도파관 SYSTEM
 - ㉠ RF - COUPLER
 - ㉡ DIRECTIONAL COUPLER

- ㉥ CAVITY SYSTEM
 - ㉠ 흡 배기부 : 35W FAN을 사용하여 목재가 건조 되면서 생긴 습기를 외부로 배출 시킨다.
 - ㉡ 열풍 주입부 : 5kW 열풍을 CAVITY로 주입 시킨다.
 - ㉢ 진공부 : 진공 펌프와 연결 CAVITY에는 진공 상태로 유지 시킨다.
 - ㉣ STIRRER 부 : 목재의 균일 가열을 위해 STIRRER를 회전 시킨다.

- ㉦ MAIN CONTROL
 - ㉠ 방식 : PLC CONTROL 방식
 - ㉡ 사용전압 : 단상 220V , 64A , 60HZ
 - ㉢ 각 부의 명칭
 - 1) Ib 측정 METER : 발전하는 양극 전류(#1,#2,#3)를 DISPLAY 한다.
 - 2) 온도 설정 METER : CAVITY내 온도를 DISPLAY 하고 설정된 온도에 도달하면 열풍 및 MGT를 OFF시킨다.

4 / 9	사 양 서
<p>3) TIME ON/OFF METER : 설정된 시간동안 MGT를 동작 및 정지 시킨다.</p> <p>4) 부저 : #1, #2, #3 MGT에 과전류가 발생했을시 2초 간격으로부저가 울린다.</p> <p>5) 진공/열풍 선택 스위치 : 장비를 동작하기전 진공 또는 열풍을 선택한다.</p> <p>6) 시작 스위치 및 LAMP : 본 장비를 동작 시킬때 누른다. (이때 LAMP가 켜진다.)</p> <p>7) 정지 스위치 및 LAMP : 본 장비를 정지 시킬때 누른다. (이때 LAMP가 켜진다.)</p> <p>8) 문 열림 LAMP : 장비의 앞문 , 옆문 또는 POWER SUPPLY CASE가 열렸을 경우 켜진다.</p> <p>9) MGT LAMP : (#1, #2, #3) MGT가 정상 발진했을 경우 켜진다.</p> <p>10) 과열 LAMP : (#1, #2, #3) MGT 또는 TRANS가 과열 되었을 경우 켜진다.</p> <p>11) 과전류 LAMP : (#1, #2, #3) MGT에 과전류가 발생했을때 켜진다.</p> <p>12) +5V CONNECTER : 외부로 부터 +5V 신호를 받아 MGT를 정지 시킨다.</p> <p>13) #1 MGT 전원 : 15A의 차단기로서 #1 MGT에 전원을 공급한다.</p> <p>14) #2 MGT 전원 : 15A의 차단기로서 #2 MGT에 전원을 공급한다.</p> <p>15) #3 MGT 전원 : 15A의 차단기로서 #3 MGT에 전원을 공급한다.</p> <p>16) 열풍 전원 : 30A 누전 차단기로서 METER 에 전원을 공급한다.</p> <p>17) 주전원 : 75A 의 누전 차단기로서 장비의 전원을 공급한다.</p> <p>18) TOWER LAMP : 장비가 동작 중일때 녹색 LAMP가 켜진다. 장비가 정지 중일때 적색 LAMP가 켜진다.</p>	

5. 동작 방법

- ㉠ 주전원 차단기를 ON 시킨다.
- ㉡ 동작시킬 MGT 차단기를 ON 시킨다.
- ㉢ HEATER를 동작 시키고자 할경우 차단기를 ON 시킨다.
- ㉣ 열풍 또는 진공을 선택 스위치로 선택한다.
- ㉤ CAVITY 내의 상한 온도를 설정한다.
- ㉥ POWER ON/OFF TIME을 설정한다.
- ㉦ 시작 스위치를 누른다.

- * 시작전에는 전기적 누전의 원인이 있는지 살펴본다.
- * 본 장비는 반드시 접지를 잡아야 한다.

6. 유의 사항

- ㉠ ERROR LAMP가 켜졌을때 상황
 - 1)문 열림 - 전면에 문이 열렸을때 LAMP가 켜진다.
 - 2)과전류 - 각 해당 MGT에 과전류가 발생했을때 LAMP가 켜진다.
 - 3)과열 - 해당 MGT 또는 TRANS에 과열이 발생했을 경우 LAMP가 켜진다. (이때 해당 회로만 차단 되었다 열이 식으면 자동으로 다시 ON된다.
- ㉡ 부저 울릴때 -(#1,#2,#3) MGT에 과전류가 발생했을 경우 약 2초간격으로 울린다.
- ㉢ 열풍이나 진공 중일때는 장비 뒷쪽에 있는 FAN 전원을 OFF 시킨다.
- ㉣ Ebm 조정용 SLIDACS를 220V 이상으로 하지 말것.
- ㉤ 장비가 동작 중일때 POWER SUPPLY 내부에는 고압이 흐르므로 접근하지 말것.
- ㉥ HEATER가 동작 중일때 장비 뒷쪽 HEATER 송풍로는 열이 많이 발생하므로 주의 할것.
- ㉦ 본 장비는 반드시 접지를 시킬것.

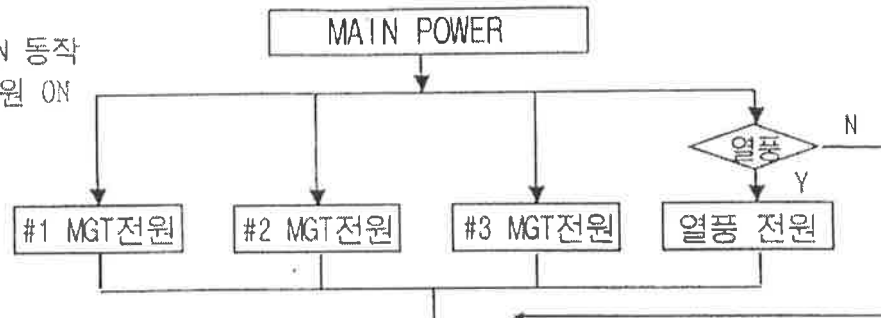
6 / 9	사 양 서
<p data-bbox="518 772 821 851">7. 유첨란</p> <ul style="list-style-type: none"><li data-bbox="614 929 1013 1008">① FLOW CHART<li data-bbox="614 1075 1141 1153">② 부품 PART LIST<li data-bbox="614 1220 837 1299">③ 도면<li data-bbox="614 1366 901 1444">④ 회로도	

7 / 9

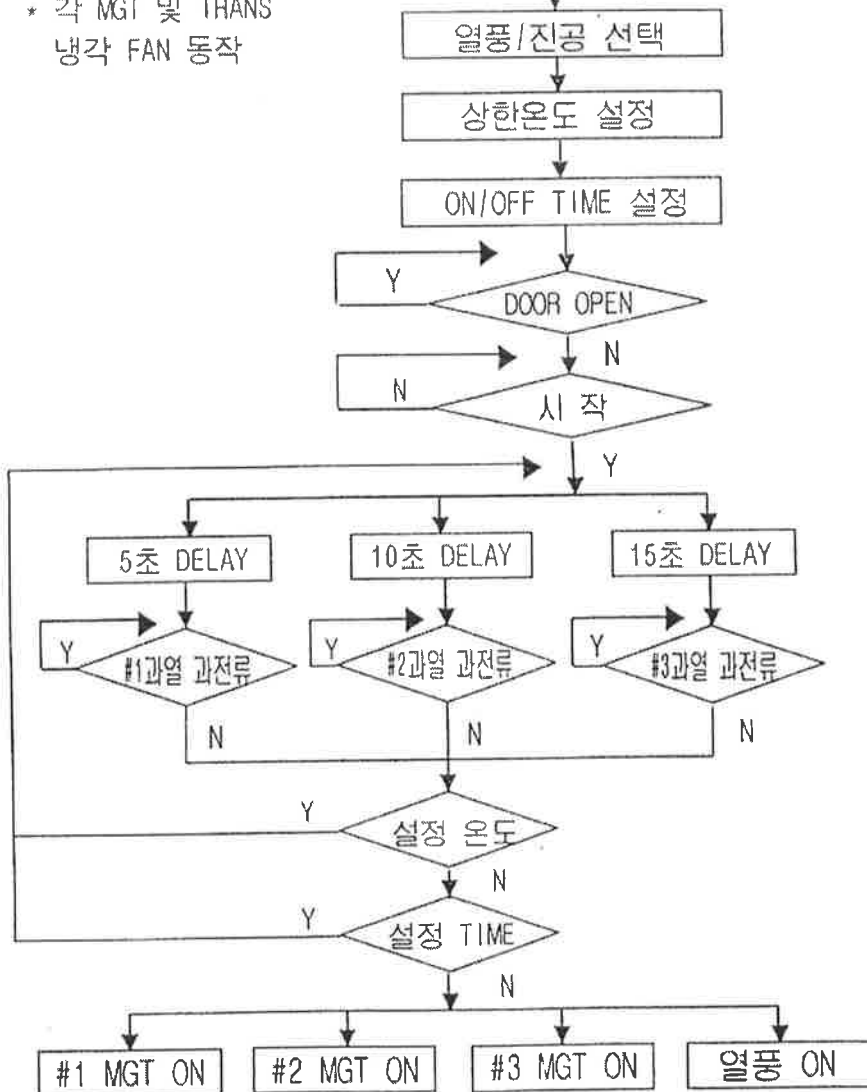
사 양 서

① FLOW CHART

* 냉각 FAN 동작
회로 전원 ON



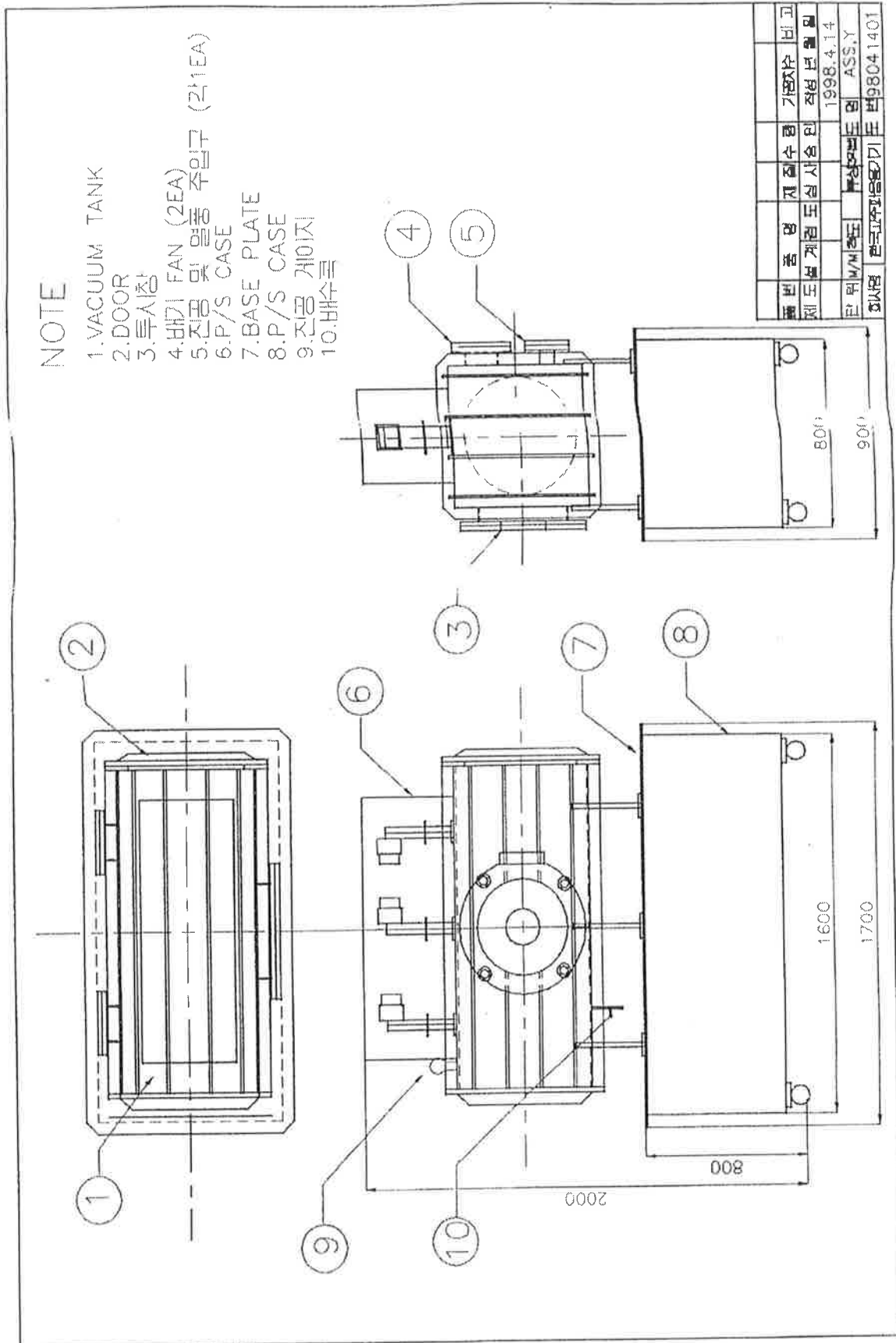
* 각 MGT 및 TRANS
냉각 FAN 동작



8 / 9	사 양 서			
② 부품 PART LIST				
순번	품 명	규 격	수량	비 고
1.	MAGNETRON	2M121A	3EA	고주파 발진
2.	TRANS	220/4500V	3EA	Ebm 인가용
3.	TRANS	220/6V	3EA	Ef 인가용
4.	고압 CAPACITY	0.86 μ F	12EA	
5.	고압 DIODE	HVR 350P	8EA	
6.	SLIDACS	2KVA	3EA	Ebm 조정용
7.	Ib METER	FS 10V	3EA	Ib 측정용
8.	TIMER	FX4H-2P	1EA	POWER ON/OFF
9.	온도 METER	DF2	1EA	POWER ON/OFF
10.	온도 SENSOR	PT 100 Ω	1EA	CAVITY 내부 온도 측정
11.	부저	DC 24V	1EA	과전류 경보등
12.	TOGGLE S/W	2단	1EA	진공/열풍 선택 스위치
13.	버튼 S/W	LAMP TYPE	2EA	POWER ON/OFF
14.	LED	황색, 적색	10EA	표시용
15.	배선용 차단기	15A	3EA	MGT 전원 인가용
16.	누전 차단기	30A	1EA	열풍 전원 인가용
17.	누전차단기	75A	1EA	주전원 인가용
18.	EOCR	SE-30R 220	3EA	과전류 검출용
19.	FAN	220V, 0.4A	6EA	냉각용
20.	FAN	220V, 0.125A	3EA	TRANS 냉각용

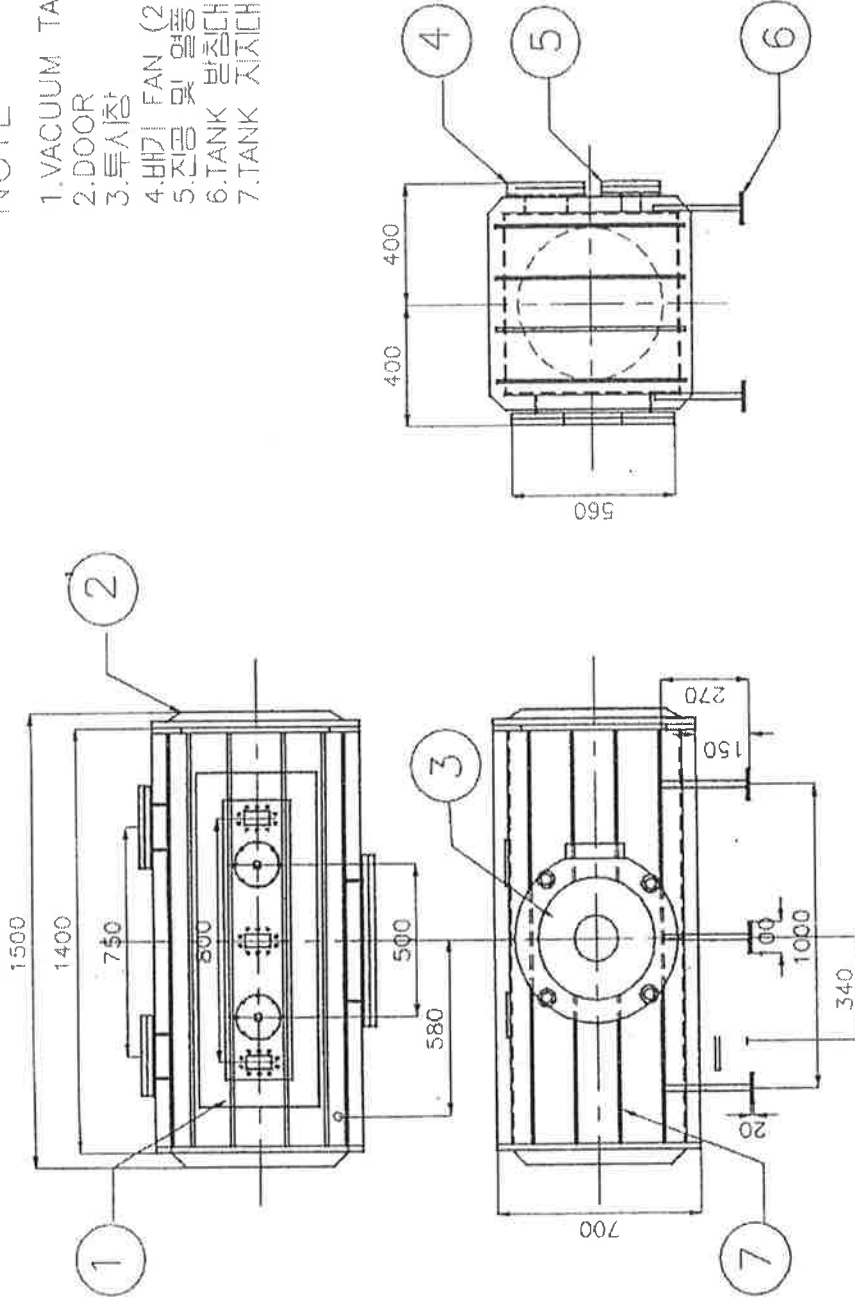
9 / 9 사 양 서

순번	품 명	규 격	수량	비 고
21.	RELAY	LY2	6EA	CONTROL 용
22.	PLC	MASTER IC30S	1EA	CONTROL 용
23.	SMPS	DC 24V	1EA	DC 24V 전원 공급용
24.	N/F	6A	1EA	NOISE 제거용
25.	저항	10W, 10Ω	3EA	1b 측정용
26.	TOWER LAMP	DC 24V	1EA	표시용



NOTE

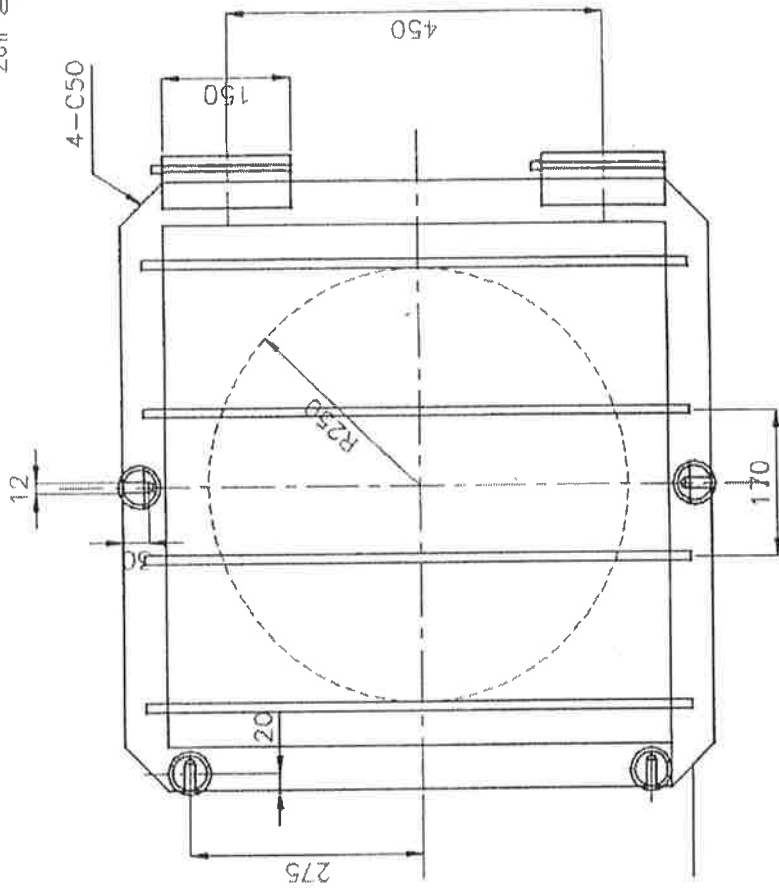
- 1. VACUUM TANK
- 2. DOOR
- 3. 투시창
- 4. 배기 FAN (2EA)
- 5. 진공 및 열풍 투입구 (각1EA)
- 6. TANK 받침대
- 7. TANK 지지대



품번	품명	수량	기준	비고
제0도	진공탱크	1	1998.4.14	
단위	개			
회사명	한국과학기술연구원			

NOTE

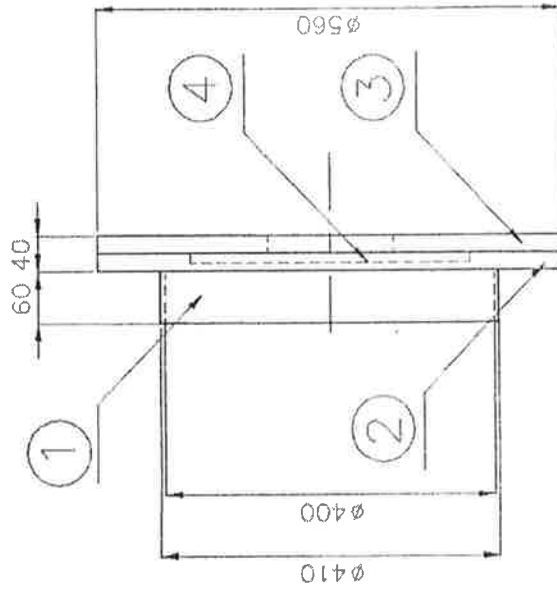
1.DOOR 지지대 3을
20에 용접



품번	품명	재질	수합
단위	설계	도면	DOOR ASS.Y
mm			
한국과학기술연구원		도면	9804140B

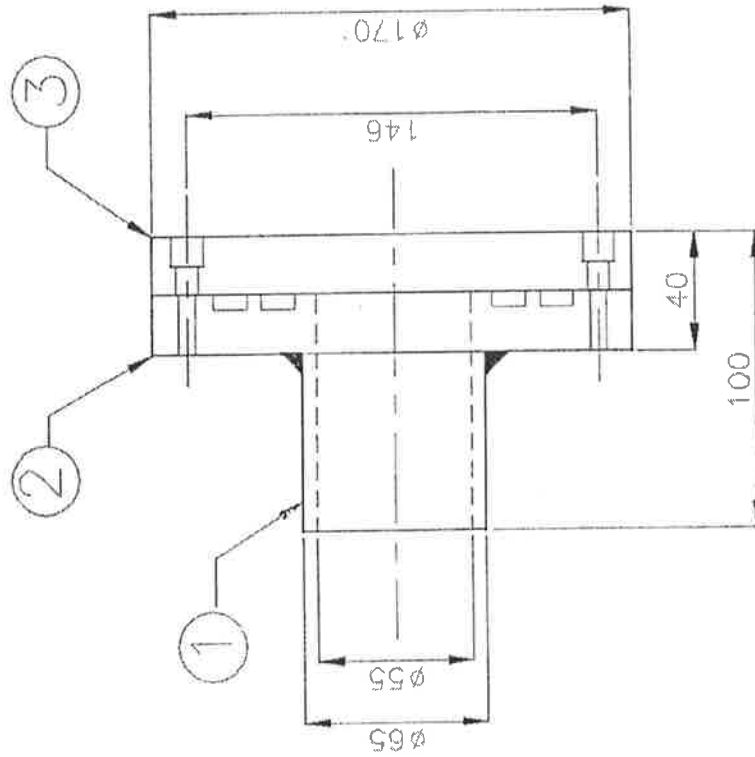
NOTE

1. ① 과 ② 용접

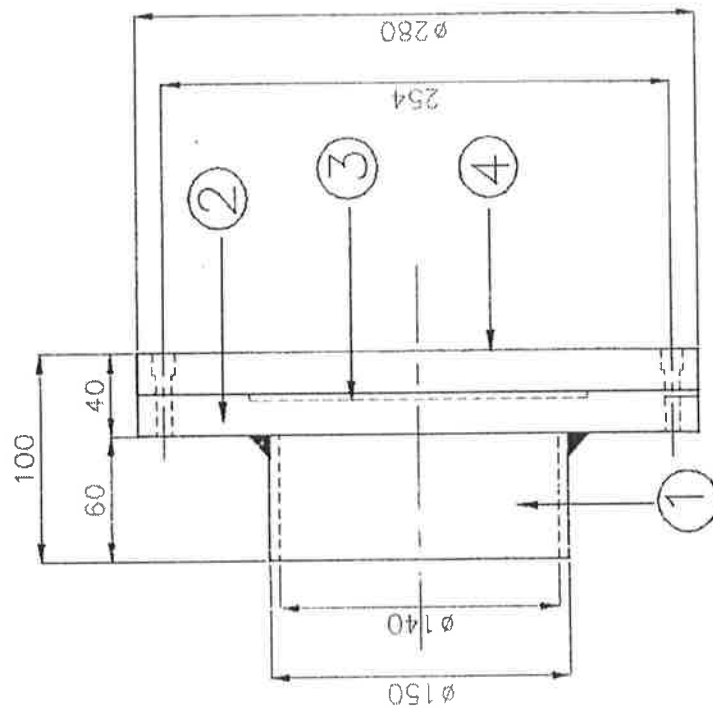


품번	품명	수량	1EA
타입	설계	도명	투시상 ASS.Y
mm		도번	98041411
한국주파용기기			

NOTE
1. ①. ② 용접



품명	제품명	재질	수량
단위	설계	인도	VACUUM MITER 조립부 ASS.Y
mm		명	
한국고주파용기기			도번 98041416



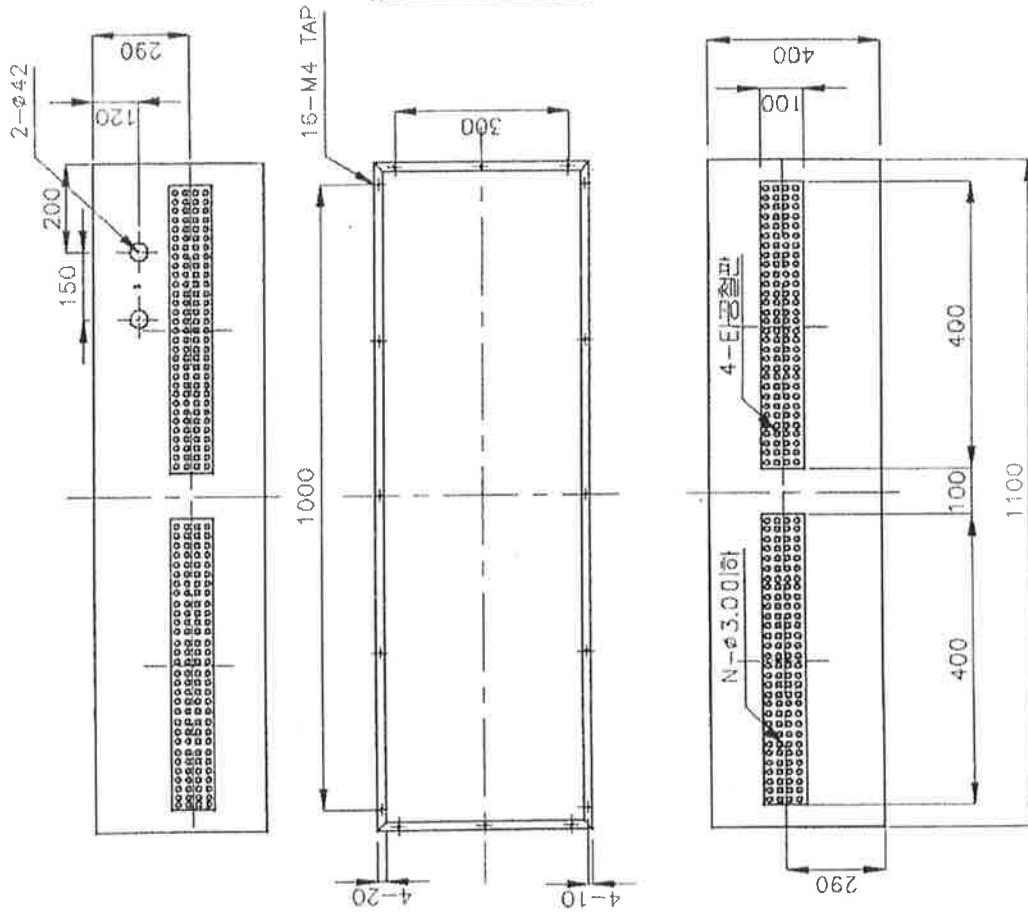
NOTE

1. ①. ② 용접

품명	수량	2EA
분류명	세	수
구분명	도	FAN BRACKET ASS.Y
제	인	도
검	수	도
기	기	도
한국과학기술연구원	도	98041421

NOTE :

1. 타공 SIZE : $\phi 3.0$ 이하
2. 연결부는 용접 할것.
3. 상/하면 치수에 유의
4. 두께 : 1.5T



표준 품 목	1EA	재질	수형	가공치수	비고
제 도	설 계	도 설	시 승 인	적 용	년 월 일
판 위	W/A	도	투	상/하면	도 명
회 사	명	한국국립중앙도서관	기	도	번
					1998.4.14
					W/G CASE
					98041426

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림특정연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림특정연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.