

GOVP1200725674

최	종
보	고
서	

국산재 활용도 향상을 위한 목재 검색 및  
분류 시스템 개발  
Development of Wood Scanning and  
Sorting System for the Enhancement  
of Domestic Wood Utilization

전 남 대 학 교  
주식회사 건조기술

농 립 부

## 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “국산재 활용도 향상을 위한 목재 검색 및 분류 시스템 개발” 과제  
의 최종보고서로 제출합니다.

2007년 5월 25일

주관연구기관명 : 전남대학교

총괄연구책임자 : 이 형 우

연 구 원 : 설 재 흥

연 구 원 : 김 병 남

연 구 원 : 김 경 용

연 구 원 : 전 인 상

연 구 원 : 최 낙 주

연 구 원 : 신 남 용

참 여 기 업 명 : 주식회사 건조기술

## 요 약 문

### I. 제 목

국산재 활용도 향상을 위한 목재 검색 및 분류 시스템 개발

### II. 연구개발의 목적 및 필요성

지금까지 국산재의 활용도가 지극히 낮았던 원인도 역시 국산재의 품질이 불안정하고 제재 및 가공수율이 매우 낮았던 것에서 주 원인을 찾을 수 있다. 특히, 국산 활엽수재의 경우 수종이 매우 다양하나 수종별 임목축적이 극히 적고 직경이나 형질 역시 열악하여 이용을 포기한 상태라 할 수 있다. 따라서 국산재의 활용도를 높이기 위해서는 제재 및 가공 수율향상과 품질평가를 통한 분류로 품질을 안정화시켜야만 한다. 만일 국산재의 활용도를 더 이상 높이지 못하여 국산재 이용을 포기하게 된다면 대한민국 임업의 발전은 불가능하게 되며, 결국 목재와 가공기계, 그리고 가공기술까지 선진 외국에 의존하는 불행한 사태를 맞게 될 것은 자명한 사실이다.

본 연구에서는 화상처리와 비파괴 계측을 통하여 공정에 투입되는 목재의 형상과 규격, 재색 및 함수율을 자동으로 검색, 각 품질 등급별로 분류할 수 있는 시스템을 개발하여 국산재를 활용한 목재산업의 부흥에 기여하고자 하였다.

### III. 연구개발 내용 및 범위

국산 소경원목을 대상으로 원목 형상 검색 및 제재 시뮬레이터를 개발하고, 이로부터 생산된 제재목의 형상과 표면결함을 검색, 인식하는 시스템을 개발하였다. 한편, 제재목의 표면결함을 인식하여 최고의 수율을 보장할 수 있는 재단프로그램을 개발하였다. 동시에 제재목의 함수율을 비파괴적인 방법으로 연속 측정할 수 있는 시스템을 개발, 전술한 검색 시스템과 통합된 시스템을 완성하였다.

#### IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

원목과 제재목 형상 및 제재목 표면 결함을 검색, 인식할 수 있었으며, 검색 결과를 이용하여 제재 및 재단의 수율을 추정할 수 있었다. 한편, 목재의 수분 함량에 따른 가열시 온도상승 범위를 이용하여 연속적인 함수율 추정이 가능하였다.

## SUMMARY

### (영문 요약문)

Automation of wood processing is strongly required to improve the productivity and quality of wood products in wood industry which is one of the most labor-intensive industries. Classification of surface defects on wood boards such as knots is one of the important steps towards a completely automated wood processing system.

In this study 3-dimensional log and lumber scanning system was developed to optimize the lumber manufacturing and cutting process. The possibility of classifying wood surface defects by image processing technique was investigated. Algorithm for the automatic determination of threshold value was developed to enhance the flexibility of image processing system. Two different approaches, grid method and tile method, were developed to enhance the speed in extracting features from images. Grid method showed slightly higher processing speed and tile method proved much more stable in determining threshold values. Tile size of 5x5 pixels or 6x6 pixels was found to be proper to get stable results with reasonable processing time.

Algorithm for the classification of wood surface defects, such as knot, check, and bark, on three Korean domestic species, *Pinus densiflora*, *Quercus acutissima*, and *Carpinus laxiflora* was also developed. Ground and clear wood region were removed and 8 features were extracted from each label and

filtering conditions were developed for each species and each defect. Filtering was executed to separate dummy labels from the labels which included real defect. Error rates in classifying knots on *Pinus densiflora* and *Quercus acutissima* were lower than 1% and error rates in classifying check and bark in *Quercus acutissima* and *Carpinus laxiflora* could be lowered to below 13%.

## CONTENTS

### (영 문 목 차)

CHAPTER 1. INTRODUCTION OF PROJECT	10
1. Technical Aspects	10
2. Economical and Industrial Aspects	12
3. Social and Cultural Aspects	13
CHAPTER 2. THE PRESENT STATE OF R&D	14
CHAPTER 3. CONTENTS OF PROJECT	16
SECTION 1. Introduction	16
SECTION 2. Development of Log Scanning Technology	18
SECTION 3. Development of Lumber Scanning and Defect Recognition Technology	45
SECTION 4. Optimization of Lumber Manufacturing and Cutting Process	94
SECTION 5. Development of Continuous-Type Nondestructive Lumber Moisture Content Measuring System	125
SECTION 6. Conclusions	151

CHAPTER 4. ESTIMATION OF ACHIEVEMENTS and CONTRIBUTIONS	153
CHAPTER 5. PLANS for UTILIZATION of R&D RESULTS	154
CHAPTER 6. ADVANCED FOREIGN INFORMATION COLLECTED	155
CHAPTER 7. REFERENCES	157
APPENDICES	162
1. Example on Lumber Database	163
2. Data for Defect Determination using Neural Networks	171
3. Program for Continuous-Type Nondestructive Lumber Moisture Content Measuring System	174



## 목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	10
1. 기술적 측면	11
2. 경제·산업적 측면	12
3. 사회·문화적 측면	13
제 2 장 국내외 기술개발 현황	14
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	16
제 1 절 서론	16
제 2 절 원목 형상 인식기술 개발	18
제 3 절 제재목 형상 및 결합 인식기술 개발	45
제 4 절 제재 및 재단 최적화 기술 개발	94
제 5 절 연속식 함수율 측정 시스템	84
제 6 절 결론	125
제 4 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도	151
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	153
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	154

제 7 장 참고문헌	157
부록	162
1. 제재목 데이터베이스 작성 예	163
2. 신경망을 이용한 결함관정을 위한 데이터	171
3. 고에너지 광원을 이용한 연속식 함수율 측정시스템 프로그램	174

## 제 1 장 연구개발과제의 개요

목재 또는 목질자원을 이용한 재료는 오랜 옛날부터 인류의 생활에 필수적인 중요한 재료로 여겨져 왔다. 최근에는 소득수준의 향상으로 목재에 대한 요구가 크게 증대되고 있으며 특히, 새로운 개념의 목조주택이 활발히 보급되기 시작하여 바야흐로 목재를 근간으로 하는 주거문화시대의 도래를 예견해 볼 수 있을 정도이다. 그러나 목질자원이 급속히 감소되고 환경보호에 대한 인식이 날로 높아짐에 따라 목재 수요의 90% 이상을 수입에 의존하고 있는 국내 목재산업계는 목재 수급의 어려움뿐만 아니라 원재료인 원목의 직경이나 형질 등 품질의 지속적인 저하라는 새로운 문제에 직면하고 있다. 이처럼 저질의 원료를 사용하게 되면 제재목이나 집성재 등 목제품의 품질 또한 저하될 가능성이 매우 높아지므로 공정중 제품 품질에 따른 분류체계가 필수적이다. 지금까지의 품질평가는 주로 작업자의 관능에 의해 이루어져 정확한 평가를 통한 품질의 안정화를 기하기 어려웠다.

한편, 지금까지 국산재의 활용도가 지극히 낮았던 원인도 역시 국산재의 품질이 불안정하고 제재 및 가공수율이 매우 낮았던 것에서 주 원인을 찾을 수 있다. 특히, 국산 활엽수재의 경우 수종이 매우 다양하나 수종별 임목축적이 극히 적고 직경이나 형질 역시 열악하여 이용을 포기한 상태라 할 수 있다. 따라서 국산재의 활용도를 높이기 위해서는 제재 및 가공 수율향상과 품질평가를 통한 분류로 품질을 안정화시켜야만 한다. 만일 국산재의 활용도를 더 이상 높이지 못하여 국산재 이용을 포기하게 된다면 대한민국 임업의 발전은 불가능하게 되며, 결국 목재와 가공기계, 그리고 가공기술까지 선진 외국에 의존하는 불행한 사태를 맞게 될 것은 자명한 사실이다.

본 연구에서는 화상처리와 비파괴 계측을 통하여 공정에 투입되는 목재의 형상과 규격, 재색 및 함수율을 자동으로 검색, 각 품질 등급별로 분류할 수 있는 시스템을 개발하여 국산재를 활용한 목재산업의 부흥에 기여하고자 하였다.

본 연구의 개발에 대한 기술적, 경제·산업적 및 사회·문화적 측면에서 필

요청은 다음과 같다.

## 1. 기술적 측면

목재가공의 일반적인 공정은 제재와 재단 및 건조로부터 시작된다. 이 과정에서 목재가공 전반에 걸친 수율이 결정된다. 지금까지는 오랜 동안의 제재실무경험이 축적된 전문가들이 원목의 형상과 규격을 보고 제재 전략을 결정하였으나 그들이 이미 노쇠하여 작업현장을 떠나고 있는 반면 젊은 인력들은 3D 업종 기피현상에 의하여 본 업을 극도로 기피, 이미 전문인력난에 봉착해 있다. 따라서 선진 외국에서는 제재 전반에 걸친 작업을 무인 자동화하려고 애써왔으며, 현재 자동화에 의한 작업이 이루어지고 있다.

제재 및 재단 공정의 자동화를 이루기 위해서는 기본적으로 원목의 형상과 규격을 자동적으로 파악하는 작업이 선행되어야 한다. 특히, 형상과 규격이 매우 열악한 국산재의 활용도를 높이기 위해서는 목재의 형상과 규격을 자동적으로 인식, 최고의 수율을 보장할 수 있는 제재 및 재단 전략을 결정해주는 시스템이 요구된다.

한편, 목재는 원천적으로 다량의 수분을 지니고 있으므로 건조과정은 필수적이거나 수종에 따라, 그리고 동일 수종이라도 각 제재목마다 함수율이 달라 과건조나 미건조 등 함수율 변이에 따른 문제점이 속출하게 되고 결국 건조와 관련된 문제가 최종 제품의 품질을 열악하게 만드는 주 원인이 되는 경우가 많다. 따라서 on-line 방식의 비접촉, 비파괴식 함수율 측정방법을 개발, 연속적으로 목재의 함수율을 파악하고 각 함수율 그룹별로 분류하는 공정이 절실히 요구되고 있다.

본 연구에서 구축하고자 하는 국산재 이용 집성재 제조공정 자동화를 위한 전반적인 흐름도는 그림 1과 같다.

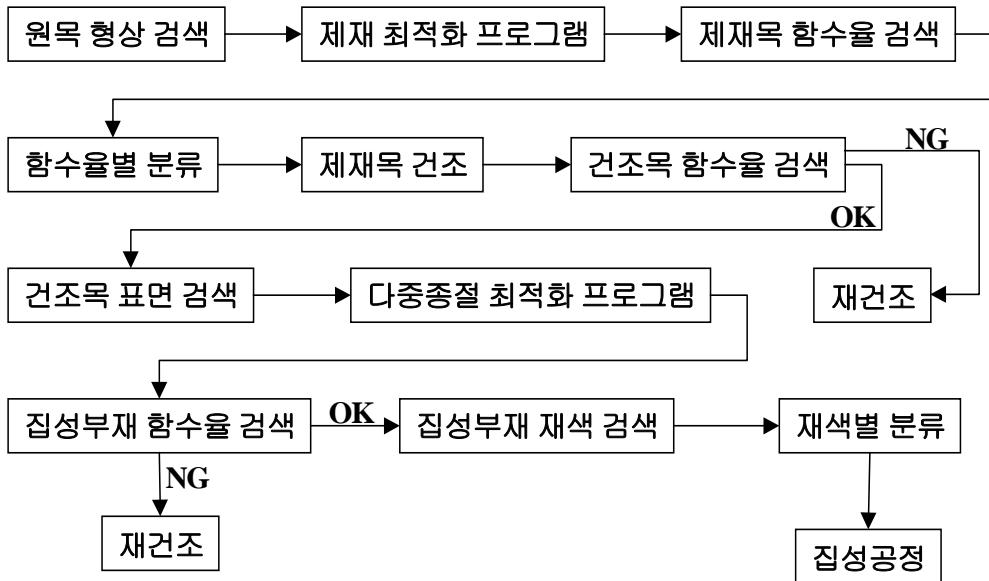


그림 1. 국산재 이용 집성재 제조공정 자동화 시스템 흐름도.

## 2. 경제·산업적 측면

형질과 규격이 모두 열악한 국산재의 활용도를 높이기 위해서는 수율의 향상과 함께 가장 적합한 용도의 개발이 필수적이다. 대규모의 목재를 생산하기 어려우므로 결국은 소규격의 목재를 다시 조합하여 원하는 치수의 제품을 생산해 낼 수 있는 집성재가 현재로서는 가장 적합한 대안으로 여겨지고 있다. 집성재 제조공정에서는 옹이나 부후 또는 심한 할렬 등의 결점부분을 모두 제거해야만 그 품질을 안정화시킬 수 있기 때문에 제재와 건조후 작업자들이 목재의 상태를 육안으로 관찰, 재단하고 있다. 그러나 작업자들의 판단 착오나 작업시간의 지연 등으로 재단수율이 낮아지고 생산성이 저하되는 문제점들이 발생하고 있다. 따라서 2차 재단공정에서도 비접촉, 비파괴형의 형상 및 규격, 그리고 결합부분 검색과정 자동화가 요구되며, 그 검색결과에 따라 자동적으로 최고의 수율을 보장하는 재단 전략을 결정해야 한다.

### 3. 사회·문화적 측면

목제품은 이제 단순한 재료가 아닌 인간의 정서와 관련된 재료가 되어 있다. 즉, 목재의 무늬와 재색을 통하여 인간은 아름다움과 따듯함을 느끼게 된다. 집성제품은 대부분 실내장재로 쓰이는 것이 일반적으로 특히, 재색에 대한 관리가 요구된다.

국산재의 수종이 매우 다양함이 지금까지는 문제점으로 지적되어 왔지만 바꾸어 생각해보면 수종이 다양한 만큼 다양한 무늬와 재색의 재료가 확보되어 있음을 의미하기도 한다. 즉, 국산재로 집성부재를 제작하고 각 집성부재의 재색을 자동으로 판별, 분류할 수 있다면 통일된 재색의 집성제품뿐만 아니라 여러 가지 다양한 재색의 집성부재들이 조합되어 매우 색다른 디자인의 집성제품을 생산할 수 있을 것이며, 이는 곧 국산재의 고부가가치와 직결될 것이다.

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

최근 가장 우수한 검색방법으로 인정받고 있는 화상처리기술은 목재공업분야에서도 도입을 시도, 산업화를 위한 개발이 진행되고 있는 단계로 McMillin(1984)은 목재가공 자동화시스템을 개발하는 과정에서 공간적 계조수준차를 이용한 화상조각분석에 기초한 기계시각시스템의 정확도가 57 ~ 88%에 이르는 것으로 확인한 바 있다. 또한, Wada(1991)는 집성부재의 용이검색에 일차원 CCD 카메라를 이용한 바가 있다.

최근에는 미국의 몇몇 회사가 실제 산업현장에서 적용이 가능한 목재검색용 시스템을 개발, 본 분야에 대한 사업화를 본격적으로 시도하고 있다. 그러나 완벽하고 정확한 검색을 위해서는 높은 해상도의 화상이 요구되나 그 엄청난 양의 화상정보를 처리하려면 역시 많은 시간이 소요되어 생산성과 관련된 문제점들이 발생하기도 한다. 따라서 적절한 양의 화상정보를 획득, 가장 신속하게 정보를 처리할 수 있는 algorithm의 개발이 핵심기술로 부상하고 있다.

국내에서는 본 연구팀이 일반 CCD camera를 이용하여 목재표면의 용이를 검출하는 기술을 개발한 바 있으나 실험실 수준의 연구였으며, 실제 목재산업 현장에 적용하기 위한 기술개발이 요구된다. 한편, 그 외에는 국내에서 목재와 관련된 화상처리 검색시스템의 개발 예가 없었다.

목재자원의 고갈은 누구나 예상하고 있는 바, 앞으로의 목재산업 발전방향은 당연히 목재자원의 절약을 위한 기술개발이 될 것이다. 적용 가능한 모든 기계 및 전자 관련 기술들을 총동원하여 인류 최후의 자원인 목재를 최고의 효율과 최소의 비용으로 가공, 이용하는 기술은 이미 우리에게 가장 절실한 과제가 되고 있다. 특히, 형질과 규격이 매우 열악한 국산재의 활용도 개선이 가장 시급한 우리에게는 미룰 수 없는 과제가 되고 있고, 따라서 본 분야에 대한 전망은 매우 밝은 것으로 판단된다.

목재의 95%를 수입하고 있으며, 목제품 생산을 위한 대부분의 주요 설비나 장치들을 수입에 의존하고 있는 국내 목재산업의 현실을 고려할 때 더 이상의 기

술 및 장비 도입은 3D 업종 기피현상에 의한 인력부족으로 작업자의 상당 부분을 외국인력에 의존해야만 하는 상황에서 산업에 필요한 거의 모든 자원을 수입에 의존하게 되는 불안한 상태를 초래하게 될 것이다.

한편, 선진외국의 시스템은 자국의 목재자원이나 또는 세계적으로 가장 일반적으로 사용되고 있는 수종에 맞추어 설계, 제작되어 있으므로 우리 국산재를 활용하기 위한 시스템에는 적합할 수가 없다. 특히, 목재는 학술적으로 동일 수종이라 할지라도 산지에 따라서 매우 다른 특성을 지닌 경우가 상당히 많기 때문에 해당 국가의 수종을 가공하기 위한 기술은 그 국가에서 가장 적합하게 설계, 제작할 수 있는 것이다. 그러므로 본 연구에서 지향하고자 하는 방향과 기술도입은 일치하지 않는다.



## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1 절 서론

목재수요의 90% 이상을 수입에 의존하고 있는 국내 목재산업계는 목재 수출국들의 자원보호정책과 최근의 환율상승에 의한 목재가격 앙등이 계속됨에 따라 목재 이용효율 극대화에 대한 관심이 고조되고 있는 실정이며, 아울러 목재가공 현장의 열악한 노동환경으로 인한 인력수급의 문제를 해결하기 위해서도 목재가공공정 자동화에 대한 연구가 절실한 실정이다.

목제품의 품질에 영향을 미치는 인자로는 재료적 측면에서 강도와 함수율 등을 들 수 있으며, 외관적 측면에서는 표면상의 결함과 재색, 그리고 목리 등을 들 수 있다. 목재의 강도는 인위적으로 조절하기 어려운 인자이지만 목재 표면의 결함은 재단공정을 통하여 인위적으로 제거가 가능하므로 지금까지 숙련된 작업자가 육안에 의하여 결함을 인식, 목제품의 품질을 관리하여왔다. 그러나 작업자의 정신 및 신체적 상태에 따라 의사결정기준이 변화하는 등 제품 품질과 재단 수율 안정화에 대한 문제가 지적되고 있다. 그러므로 전술한 바와 같이 목재가공공정의 자동화는 필연적인 사항으로 결함인식과정의 자동화 역시 절실히 요구되고 있다.

목재 표면에 존재하는 결함으로는 수피, 웅이, 둥근모 등과 같은 구조적 결함과 부후균이나 곤충의 침해에 의한 생물학적 결함, 그리고 절삭과 건조과정에서 발생할 수 있는 가공결함 등으로 나눌 수 있다. 특히, 웅이는 가장 일반적인 결함으로 목제품의 품질에 영향을 미치는 바가 크다. 한편, 각 결함들은 각각 고유한 계조값과 크기 및 형태를 지니고 있으므로 작업자의 시각을 대체할 수 있는 화상처리기술을 개발한다면 결함인식과정의 자동화는 가능할 것이다.

청각이나 촉각에 비하여 매초 100배 정도의 정보를 얻을 수 있기 때문

에 인간의 5감중 가장 중요한 감각기관으로 할 수 있는 인간의 시각기능을 대신할 수 있는 화상처리기술은 작업자의 심리상태나 피로도 등에 따라 작업속도 및 직업일관성이 변화되는 단점을 극복함으로써 궁극적으로 제품의 질을 향상시키고 고른 작업성취도를 확보할 수 있는 장점으로 인하여 다양한 산업분야에서 많은 관심이 집중되고 있다.

목재공업분야에서도 부품의 규격측정, 결합인식을 통한 목제품의 품질관리, 목편의 기하학적 특징 및 방향성 판단에 의한 목질관상제품 생산, 목재절삭분야의 절삭면 조도 및 공구의 마모도 판정, 목재 물리학 분야의 생장율, 추재율, 치수안정성, 파괴메카니즘, 목과율, 할렬의 측정, 목재 구조학분야의 세포의 크기와 형태인식, 목재 보존분야의 부후검색, 약제 침투성 판단 등 다양한 분야에서 화상처리기술을 응용하기 위한 연구가 목재공업분야의 선진국이라고 할 수 있는 미국, 일본 및 유럽을 중심으로 계속되고 있다.

그러나 국내에서는 다양한 산업분야에서 화상처리기술의 도입에 매우 적극적인 시도가 이루어지고 있는 반면 목재산업분야에서는 화상처리기술 도입에 대한 긍정적인 인식의 부족으로 인하여 관련 기술의 축적이 매우 부족한 실정이다.

제재소에서 벌채된 원목을 입고하여 제재공정을 거치게 되는데 주로 작업자의 판단에 의해서 제재작업을 수행하게 된다. 원목의 형상은 많은 변수가 작용하는 공정이다. 원목의 직경, 원목의 굽음상태, 원구와 말구의 상황 등의 외부적인 요인과 원목내부의 결함의 내부적인 요인 등에 의해서 제재수율에 영향을 줄 수 있다. 따라서 제재수율에 관계되는 적절한 원목 정보가 제재 자동화시스템에 제공될 경우, 고수율의 제재라인을 구축할 수 있기 때문에 원목정보로써 이러한 변수들을 정확히 인식하기 위한 여러 종류의 인식시스템이 도입되었다. 제재공정을 위해 현재 상용화되어 있는 인식시스템 중에서 비교적 저가의 장비인 영역카메라를 이용하여 원목형상인식에 관하여 연구해 보고자 한다. 또한 인식되어진 원목의 형상을 이용하여 가상의 3차원적인 공간에서 제재작업을 시도해보고자 한다.

본 연구에서는 가까운 장래에 빠른 속도로 다가올 국산재 활용의 시대에 대비하여 가장 활용도가 높을 것으로 예상되는 국산재중에서 침엽수의 대표적 수종인 소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.)와 활엽수의 대표적 수종인 참나무 중 상수리나무(*Quercus acutissima*)를 대상으로 제재목 database를 개발하였다. 개발된 database는 그 활용성 및 국산재 가공효율 탐색을 위하여 Thomas(1995)가 개발한 다중 종질우선 공정 모형(ROMI-RIP simulator)에 입력, 그 결과를 비교 분석하였다. 한편, 목재가 포함하고 있는 결함의 자동 인식을 위하여 화상처리기술을 개발하였다. 특히, 목재가 포함하고 있는 결함중 가장 수율에 커다란 영향을 미치는 용이의 인식을 위한 화상처리 알고리즘을 개발하여 향후 목재가공 자동화에 대비하고자 하였다.

한편, 목재가공공정에서 컨베이어 위를 이동하고 있는 목재를 가상하여 제재목의 규격과 목제품의 품질에 영향하는 표면결함들을 대상으로 그 형태와 크기 및 위치를 인식할 수 있는 화상처리기술을 개발하고자 하였다. 또한, 목재표면에 존재하는 주요 결함들의 인식을 위하여 결함으로 인식된 각 영역의 면적과 평균 계조값 및 가로·세로 길이 비율 등 모두 8가지의 특성을 개발, 결함인식의 기준으로 사용하였으며 수종별로 가장 효과적인 기준적용절차를 밝히므로써 결함 인식의 오차를 줄이는 동시에 처리대상 수종에 대한 유연성을 확보하고자 하였다. 또한, 컨베이어 위를 이동하고 있는 목재의 규격이나 표면상태에 관련된 모든 자료들이 database의 형태로 작성되도록 하여 이후 실제 산업현장에 대한 적용 가능성을 타진하고자 하였다.

## 제 2 절 원목 형상 인식기술 개발

### 1. 서론

원목의 형상인식기술은 원목의 외형을 컴퓨터상에서 데이터화하여, 제재공정에서 제재수율의 예측 및 제재수율을 높이기 위한 기본기술이다. 원목의 형상정보

는 원목의 원구와 말구의 직경, 원목의 굵은 상태 및 원목의 내부 결함 등이 있으며, 이를 바탕으로 제재공정의 자동화에 이용될 수 있다. 현장에서 작업자가 원목을 제재할 때 전적으로 작업자의 경험에 의한 판단으로 제재가 행해지고 있다. 작업자는 원목내부에 존재하는 변이를 파악하기 어렵고, 최고의 제재수율을 보장할 수 없다. 따라서 제재수율에 관계되는 적절한 원목의 정보가 제재 자동화 시스템에 제공될 경우, 고수율의 제재라인을 구축할 수 있다. 또한 작업자가 직접 제재를 할 때에도 위와 같은 정보가 제공되면 효과적인 제재를 할 수 있을 것으로 판단된다.

1960년대말 McAdoo(1969)와 Tsolakides (1969)가 소경재의 가공공정에 대한 컴퓨터 모형과 모의실험에 의한 원목 제재수율 예측방법을 제시한 이후 많은 관심이 고수율 제재공정의 모형화(Hallock (1976))에 집중되었다. 그 후 광학시스템, 초음파장비, X-ray, microwave, 자기공명시스템(NMR)등의 다양한 기종의 시각시스템을 이용하여 원목의 형상을 입력받고자 하였다. Echols(1973)은 X-ray를 이용하여 목재의 밀도에 의한 목재내부를 단층촬영을 시도하였으며, Gardner 등(1980)은 입목상태에서 나무를 대상으로 X-ray를 이용하여 목재 내부의 결함을 비파괴적으로 검출하는 방법을 제시하였으며, Wagner등(1989)을 시작으로 Li등(1996)과 Davis등(1996)은 CT-scanner를 이용하여 단층촬영을 이용한 원목의 형상 및 원목의 내부결함을 모델링 할 수 있는 연구를 실시하였다. 또한, Chang등(1991)은 NMR을 이용하여 활엽수 원목의 모델링을 하였다.

실제로 Aune등(1995)은 X-ray를 이용하여 원목을 스캔하므로써, 제재공정에 이용하였다. Kline등(1993)은 목재정보를 데이터화하여 입력받기 위해, 다양한 종류의 기계시각장비를 복합적으로 이용하여 활엽수의 정보를 검출하였다.

Fromm등(2001)은 식물학적 접근을 위해 입목상태의 가문비나무와 참나무를 대상으로 음지의 가지와 양지의 가지간의 함수율차를 조사하는데 단층촬영을 이용하기도 하였다(그림 2).

Thomas(2002)는 원목의 3차원 표면형상을 입력받기 위해 3차원 레이저 스캐너를 도입하였으며, 그림 3과 같은 원목의 3차원적 형상을 획득하였으며, 3차원 레이저 스캔 시스템의 입력범위를 초과하여 3%의 원목형상데이터 손실이 있음을

볼 수 있다. 또한 영역카메라를 이용하여 그림 4와 같이 활엽수 원목의 용이와 같은 각종 표면결함 검출을 시도하였다.

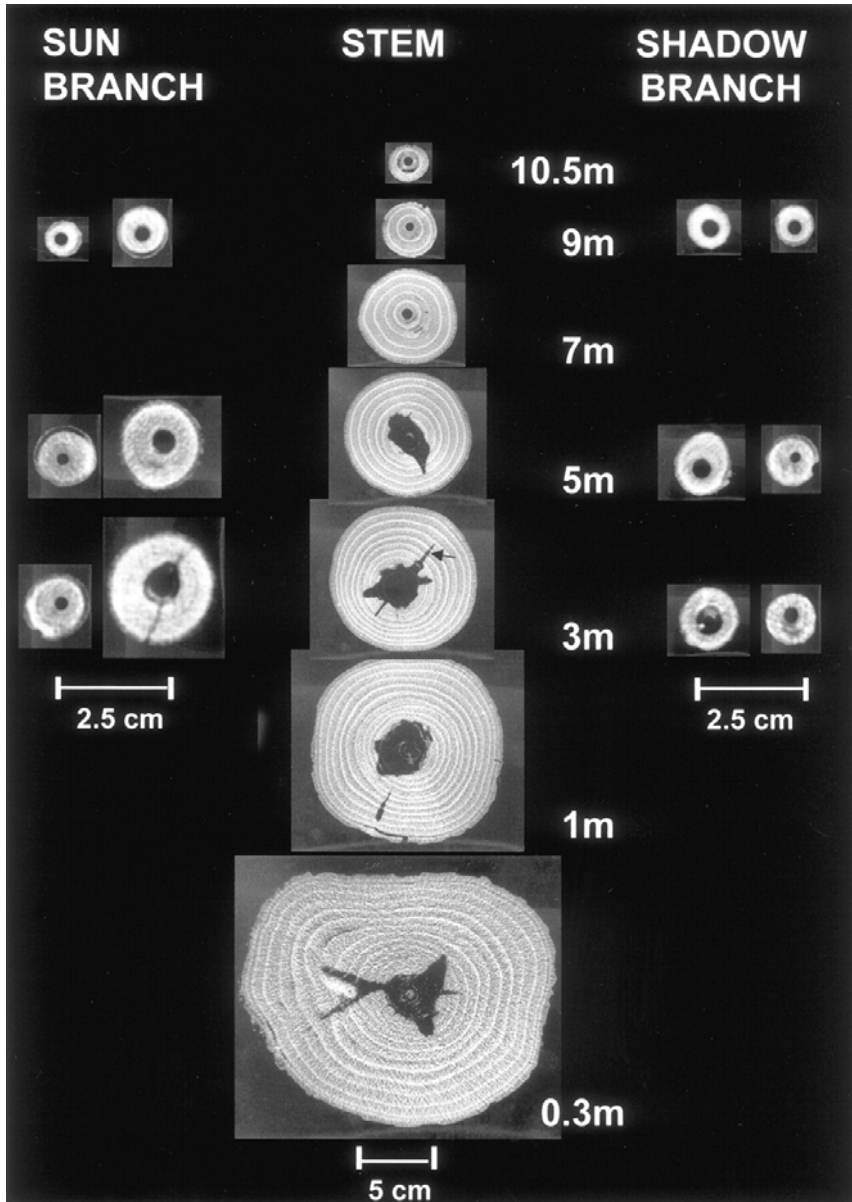


그림 2. 14년생 가문비나무 원목의 CT images ((Wood(1993))).

본 연구에서는 원목의 형상을 입력받기 위해 영역카메라를 여러 위치에 배치하여, 원목의 3차원적 형상을 컴퓨터로 재구현하여, 제재공정을 위한 자료로 활용하고자 한다.

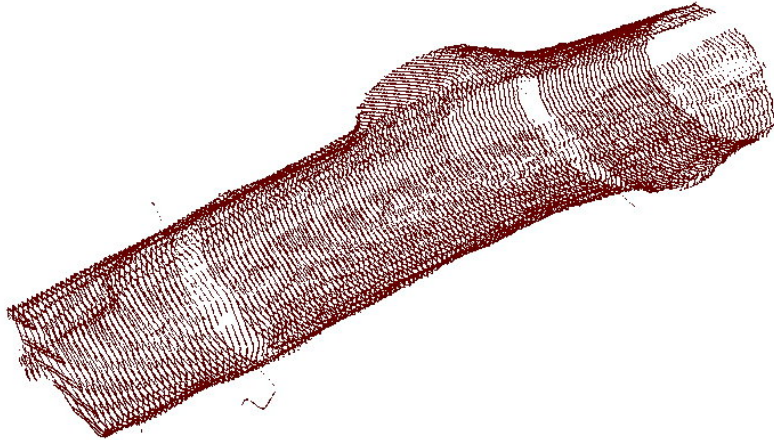


그림 3. 적참나무의 원목 topology.



그림 4. 원목의 외부 결함형태.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 원목의 3차원 형상인식

원목의 형상인식 알고리즘 개발을 위하여 대상물을 고정대에 고정시킨 상태에서 2대이상의 카메라를 이용하여 여러 방향에서 원목에 대한 화상정보를 입력 받을 수 있도록 설계하였다. 3차원 공간에 존재하는 원목을 카메라를 통하여 2차원의 화상정보로 변환하여 획득하게 된다. 이렇게 입력된 2차원 평면의 화상정보는 모델링 소프트웨어를 이용한 3차원객체로 재구성된다.

#### 1) 화상 획득용 공시시편

원목의 형상을 모델링하기 위하여 국산 육송(원구직경: 18cm, 말구직경: 15cm)을 1.8m~2.0m길이로 횡절하여 수피가 보존된 상태의 원목을 공시시편으로 이용하였다.

#### 2) 화상처리시스템구조

##### 가) 구조물

화상처리에 이용되는 카메라와 조명을 고정하기 위해, 그림 1.4 같이 카메라의 화각과 직경 30cm의 가상 원목의 영상을 획득할 수 있도록 거리를 고려하여 1m x 1.8m x 3.6m 크기의 프레임 구조로 제작하며, 조명과 카메라를 고정할 수 있도록 바닥으로부터 높이 51cm로 좌측과 우측에 고정대를 설치한다.

##### 나) 조명

조명은 대상물에 대한 화상처리작업을 실시할 때 핵심적으로 고려되어야 하는 사항중의 하나이다. 따라서 조명은 영상의 색이 왜곡되지 않도록 주광색 형광등(18W)을 사용하였다. 천장에 6개를 등간격으로 설치하였으며 그림 1.4와 같이 좌우 고정대에 각각 설치하여 총 18개의 조명이 설치하였다. 이렇게 설치된 조명은 원목화상을 획득할 때, 충분한 밝기를 제공하며, 조명에 의해 발생하는 원목의 그림자를 최소화한다.

#### 다) 카메라

원목의 형상인식 알고리즘 개발을 위해 대상물체를 고정시킨 상태에서 원목의 좌측과 우측에서 각각 4대의 카메라가 동시에 촬영하며, 원구와 말구를 각각 1대의 카메라가 촬영하여, 총 10대의 카메라를 이용하여 원목의 형상을 입력받고자 한다. 복수의 화상을 동시에 입력받고자 한다면 다채널 CCD형 영역카메라와 네트워크방식의 카메라를 이용할 수 있다. 본 연구에 이용된 카메라는 각각 웹 서버기능이 탑재된 네트워크 카메라로 각 카메라는 네트워크 허브에 연결된다. 또한 네트워크 허브에 1대의 화상입력용 컴퓨터가 연결되어 각 카메라로부터 원목의 위치별 화상을 입력받는다(그림 1.5).

일정거리에서 카메라를 이용하여 획득할 수 있는 면적은 카메라의 렌즈 규격에 따라 제한된다. 본 연구에 이용된 카메라(Qrio IPCam 300S)는 화각이 58°의 표준렌즈군이며 카메라로부터 평면과 수직인 상태에서 1m거리의 물체를 스캔할 경우, 폭 545mm, 높이 405mm인 640x480화소의 화상을 실제 획득할 수 있다(그림 5).



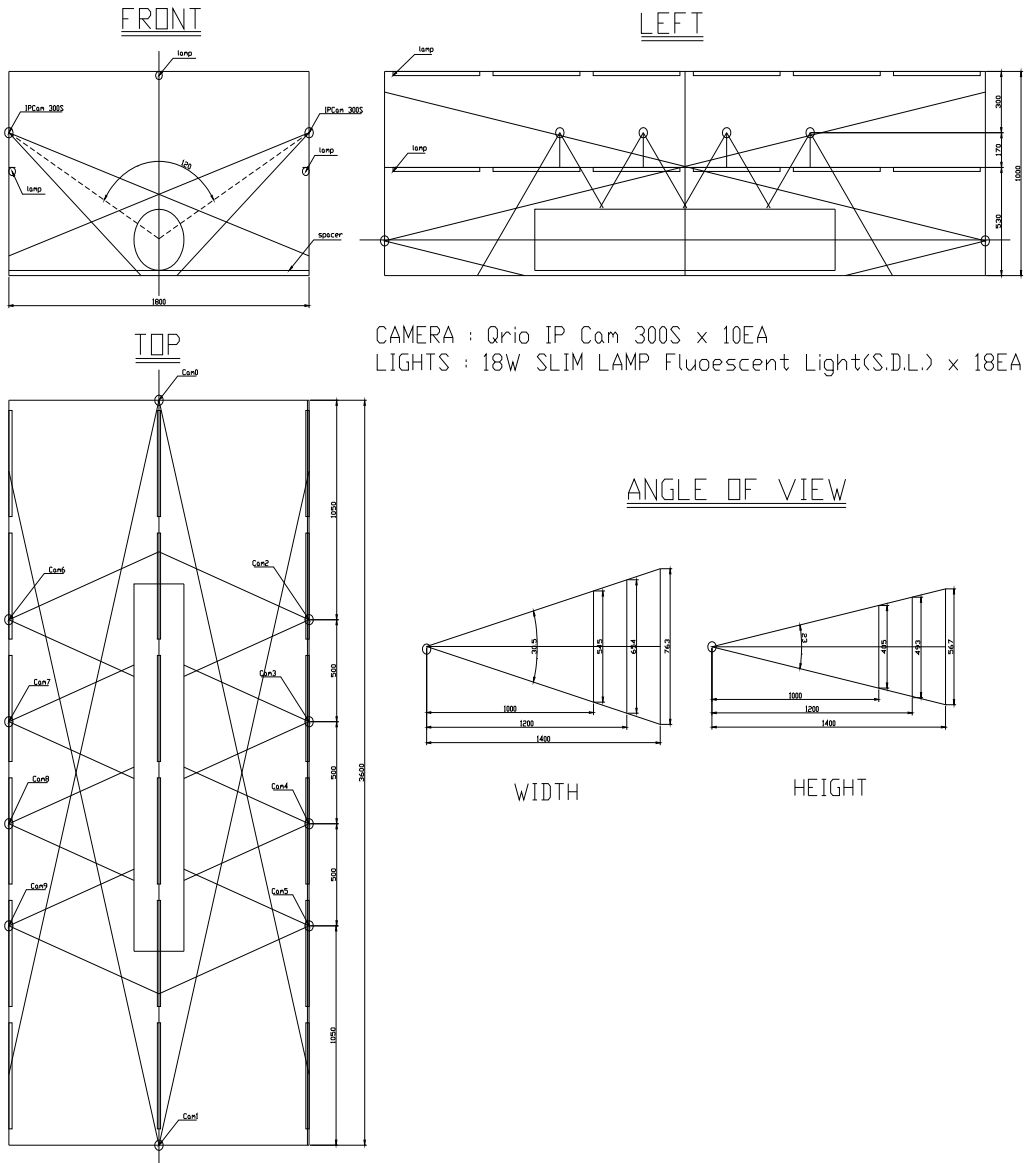


그림 5. 고정식 원목 검색장치의 구조.

## 라) 원목형상인식 프로그램

개발틀은 Borland C++ builder 5.0을 이용하였으며, 카메라에서 제공하는 Active-X 라이브러리(WEBVW 1.0 type library 1.0)를 이용하여 화상을 획득하였다. 프로그램은 웹서버 기능을 장착한 8대의 카메라에 동시에 TCP/IP 네트워크를 통하여 접속한 후에 화상캡처 명령을 통하여, PC에서는 화상을 JPG파일 형식으로 저장하였다. 프로그램에서 화상파일을 읽어 들여서 화상처리를 통하여 3차원 좌표를 구성하였다.

## 3) 카메라 교정

교정되지 않은 카메라는 기하학적인 데이터 영상을 입력받을 수 있는 센서로서의 기능이 없다고 할 수 있다. 필히 교정된 카메라를 사용해야 한다. 또한 3차원 대상물을 2차원의 영상으로 변환했을 때, 대부분의 3차원 정보는 소실된다. 거리 개념이 포함된 3차원의 좌표를 재생시키기 위해서는 1대의 카메라로 각기 다른 시점에서 2장 이상의 영상을 획득하거나, 2대 이상의 카메라를 이용하여 각각의 영상을 획득하는 방법이 있다. 2대의 카메라를 이용하는 스테레오 카메라는 양안시차개념을 이용하여 입체영상을 생성시키는데 사람의 눈과 같이 최소한 좌·우로 구성된 두 장 이상의 평면영상을 획득해야 한다. 또한 각 영상들은 동일점을 포함하고 있어야 한다.

입체카메라는 2대의 카메라 배열에 따라 3가지로 구분된다. 평행축방법은 2대의 카메라를 고정된 상태에서 평행하게 유지하는 방법이며, 2대의 카메라각도를 좌우로 자유롭게 제어해야 하는 교차축방법과 카메라의 이동을 좌·우로 자동제어 해야 하는 수평이동축 방법이 있다. 본 논문에서는 카메라가 고정된 상태에서 평행하게 배열되는 평행축방법을 이용하였다(Sonka(1998)).

본 연구에서는 대상물의 좌측과 우측에 각각 4대의 카메라를 설치하였다. 그림 6와 같이 4대의 카메라는 입체영상을 생성시킬 수 있어야만 한다. 따라서 인접한 카메라는 동일점을 내포할 수 있도록 각 카메라는 50cm 간격으로 설치하였

다.

원구와 말구의 영상 획득을 위한 카메라는 Zhang(1998)의 2차원 기반의 교정알고리즘을 이용하였다. 3장의 평면 직교패턴화상을 이용하여 회전과 이동에 관여하는 외부파라미터를 교정하고, 카메라왜곡을 보정하는데 이용되는 내부파라미터를 교정한다(1-1). 카메라가 구조물에 그림 6과 같이 장착된 상태에서 양쪽 8대의 카메라는 수평이 되게 유지하며 중앙바닥을 향하게 한다. 또한 인접한 카메라가 동일점을 포함할 수 있도록 동전을 바닥에 위치시킨 상태에서 카메라헤드를 움직여 카메라 각을 조정하였다. 직교패턴이 인쇄된 A4크기의 인쇄물을 여러 곳에 이동시키면서 카메라 당 3장 이상의 화상을 입력받아 교정을 실시한다.

#### 4) 원목의 형상인식 알고리즘

원목의 형상을 인식하기 위해 가상의 3차원 공간을 프로그램을 통하여 구성하였으며(그림 7), 다음과 같은 방법으로 원목을 3차원 모델링 하였다.

- 가) 원목의 원구화상과 말구화상을 통하여 원목의 양쪽의 단면형상을 구한다.
- 나) #1번 화상과 #5번 화상을 이용하여 원구부위를 원점(0,0,0)으로 정한다.
- 다) 각 화상의 정중앙에서 화소값이 RED채널 90-200, GREEN채널 87-160, BLUE 채널 130-180의 조건에 합당한 값만을 채우기(flood-fill) 알고리즘을 이용하여 원목영역을 구별한다.
- 라) 각 화상에서 원목의 횡단면상의 최외곽 좌표를 길이방향으로 30화소 간격으로 획득한다.
- 마) (#1, #5), (#2, #6), (#3, #7), (#4, #8)에 해당하는 각 좌표에서 양단의 공통지점을 찾는다.
- 바) 각 화상을 공통지점을 기준으로 조합하여 좌측과 우측의 좌표와 단면폭(직경)를 구한다.
- 사) 좌측과 우측의 좌표의 중앙을 중심좌표로 지정한다.
- 아) 구해진 중심좌표들을 연결하여 원목의 3차원 중심선을 구한다.

자) 중심좌표에 단면길이의 크기로 원구형상을 배치한다.

차) 배치된 원구형상의 각 좌표에 대한 3차원좌표를 추출한다.

카) 3차원 좌표를 2차원 창에 표시한다.

$$\begin{pmatrix} sx \\ sy \\ s \end{pmatrix} = C[R T] \begin{pmatrix} X \\ Y \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1-1)$$

$$C = \begin{pmatrix} k_w f & 0 & u_o \\ 0 & k_v f & v_o \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix}, T = \begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{pmatrix}$$

x : x-coordinate

y : y-coordinate

s : scale factor,

C: the camera intrinsic matrix

R : rotation matrix,

T : translation matrix

ku, kv : scale factor to convert from metrix to pixel units

f : forcal length

u<sub>o</sub>, v<sub>o</sub> : the coordinates of the principal point in pixels

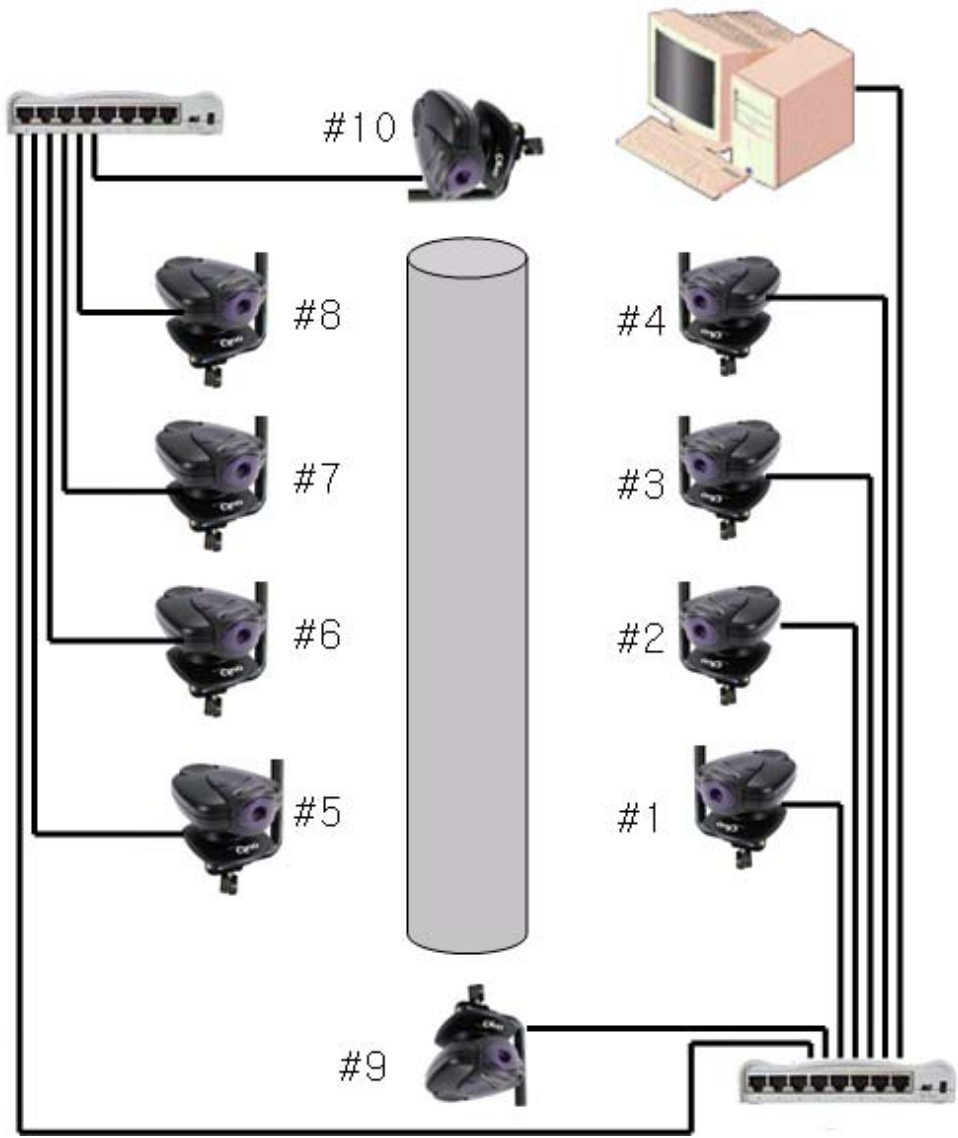


그림 6. 다중 카메라 검색의 카메라network구조.



그림 7. 원목형상 획득 창.

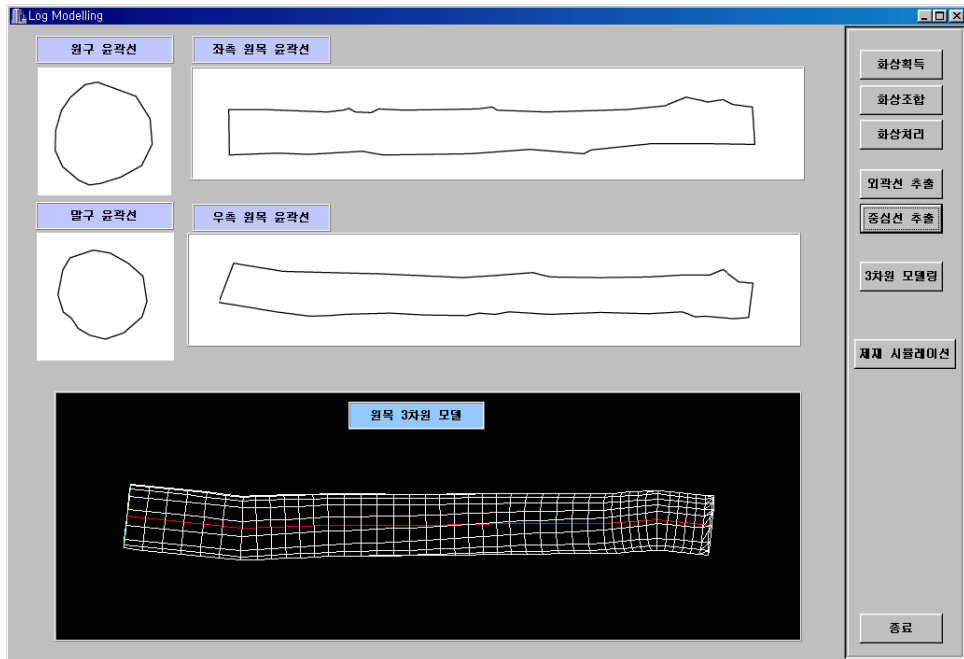


그림 8. 3-D 원목모델링 시스템.

## 나. 이송 중 원목의 3차원 형상인식

본 연구에서는 컨베이어 상에 이송되고 있는 원목의 형상을 컴퓨터로 데이터 화할 수 있도록 인식 알고리즘을 개발하여 실제 제재공정에 원목형상인식에 이용할 수 있는 시스템을 개발하고자 하였다.

### 1) 화상 획득용 공시시편

원목의 형상을 모델링하기 위하여 국산 육송(원구직경: 18cm, 말구직경: 15cm)을 1.8m길이로 횡절하여 수피가 보존된 상태의 원목 6개를 공시시편으로 이용하였다.

### 2) 화상처리시스템구조

#### 가) 구조물

길이 3m, 벨트 폭 56cm의 벨트컨베이어를 제작하고, 이송속도를 자유로이 조절할 수 있는 인버터를 장착하였다(그림 9). 화상처리에 이용되는 카메라와 조명을 고정하기 위해, 고정대를 설치하였다. 또한 컨베이어가 작동 중에 발생하는 진동에 의한 입력화상의 흐려짐을 방지하기 위해 고정대는 컨베이어와 분리하였다(그림 10).

#### 나) 조명

영상의 색이 왜곡되지 않도록 주광색 형광등(18W)을 사용하였다. 천장에 4개를 설치하여 카메라로부터 입력되는 화상에 균일한 조명이 조사되도록 하였으며, 천장에 설치된 조명에 의한 원목의 그림자를 최소화하기 위해 바닥에 형광등 2개를 추가로 설치하였다(그림 11).

#### 다) 카메라

원구와 말구의 화상입력을 위해 카메라 #1과 카메라 #2를 설치하였으며, 원목의 원주형상 입력을 위해 컨베이어 면에 수직방향(카메라 #5), 수평방향(카메라 #4), 45°방향(카메라 #3)으로 카메라를 설치하였다(그림 11).

일정거리에서 카메라를 이용하여 획득할 수 있는 면적은 카메라의 렌즈 규격에 따라 제한된다. 본 연구에 이용된 카메라(Qrio IPCam 300S)는 화각이 58°의 표준렌즈군이며 카메라로부터 수직평면과 1m거리에서 폭 545mm, 높이 405mm를 640x480화소의 화상을 실제 획득할 수 있는 카메라이다.

#### 라) 라인 레이저

본 연구에서는 각 카메라들을 공통된 지점이 포함되도록 하기 위해 기준점 역할을 수행할 수 있는 라인 레이저를 사용하였다. 라인 레이저는 시스템 천정에 설치되며 직진성이 있는 선형의 레이저빔을 수직으로 컨베이어 상에 조사한다. 이렇게 조사된 선형의 레이저빔은 그림 12와 같이 100mm x 90mm의 사각형을 형성한다. 사각형의 모서리 지점은 화상처리시 기준점으로 이용된다. 또한 입력된 화상에 존재하는 원목의 직경을 파악할 수 있는 기준자료로 활용된다. 컨베이어벨트를 가로지르는 2개의 선분과 컨베이어벨트와 평행하게 중앙부에 조사되는 2개의 선분은 카메라 교정에 이용된다. 화상처리시 카메라 #2에서는 원목의 굴곡에 의해 생성된 라인 레이저의 변형된 선을 통하여 원목의 상층부 형상을 추출하였다.

#### 마) 원목형상인식 프로그램

원목이 벨트컨베이어 위를 일정한 속도로 이동하기 때문에, 화상입력



프로그램은 일정시간 간격으로 5대의 카메라로부터 화상을 동시에 획득해야 한다. 원목형상입력 프로그램은 화상입력속도가 초당 4프레임으로 화상입력용 전용하드웨어가 설계되지 않은 상황에서 네트워크 상에서 이루어지는 화상입력작업은 제한적일 수밖에 없다. 실제 네트워크 상에서 이루어지는 순수한 화상데이터의 전송량은 1프레임당 307,200(해상도 640x480 pixels)바이트이고, 초당 4프레임의 화상을 5대의 카메라에서 전송을 하기 때문에 총 6,144,000바이트이다. 5대의 카메라에서 1초에 20장의 화상정보가 전송되며, 과도한 화상의 입력이 이루어지면 프로그램 프로세서가 정지상태가 되기 때문에 주의해야 한다.

본 연구에서는 서버기능을 탑재한 카메라를 이용하여 컨베이어 상을 이동하는 원목의 화상을 전송받게 되는데, 이 정보를 화상파일로 저장하여 원목형상인식 프로그램을 작성하였다.

### 3) 화이트 밸런싱

한 대 이상의 카메라를 사용하는 경우에는 각 카메라의 색상 특성이 서로 다를 수 있다. 이를 해결하기 위해 이미 획득된 화상의 컬러채널의 R, G, B값들의 평균과 표준편차를 구하였다. 화상으로부터 입력되어진 화소값에 대해 수식 (1-2)와 같이 보정을 실시하여, 화상에 화소값을 재입력시켰다. 화이트 밸런싱 작업을 통하여 이기종간의 색상의 차이를 제거할 수 있었다(그림 13).

$$\begin{aligned}\alpha &= 255 - m_{red} - 2\sigma_{red} \\ \beta &= 255 - m_{green} - 2\sigma_{green} \\ \gamma &= 255 - m_{blue} - 2\sigma_{blue}\end{aligned}\quad (1-2)$$

$\alpha$  : compensation value of red channel.

$\beta$  : compensation value of green channel.

$\gamma$  : compensation value of blue channel.

$m_{red}$  : average of the pixels value of red channel.

$m_{\text{green}}$  : average of the pixels value of green channel.

$m_{\text{blue}}$  : average of the pixels value of blue channel.

$\sigma_{\text{red}}$  : standard deviation of the pixels value of red channel.

$\sigma_{\text{green}}$  : standard deviation of the pixels value of green channel.

$\sigma_{\text{blue}}$  : standard deviation of the pixels value of blue channel.



그림 9. 3-D 원목검색 시스템.



그림 10. 원목 이송.



그림 11. 카메라와 조명 장치.

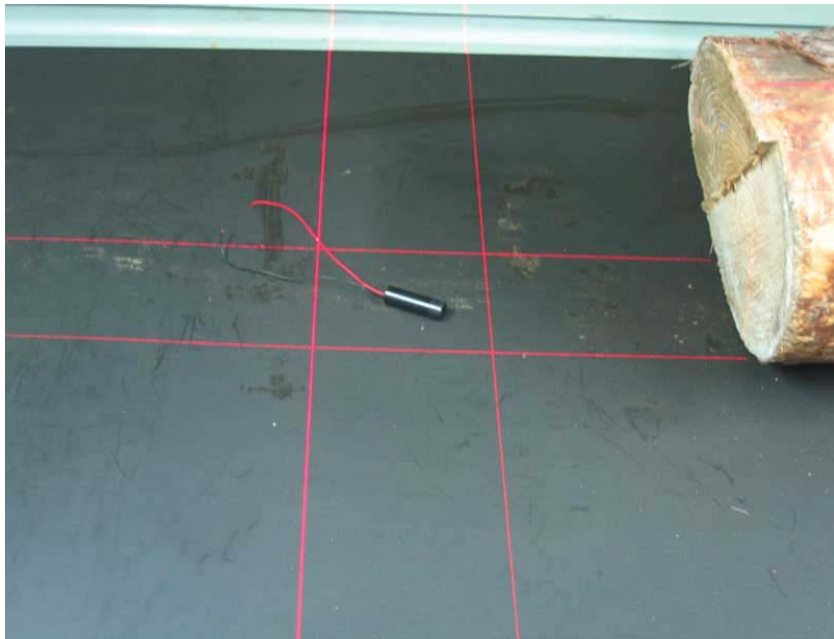
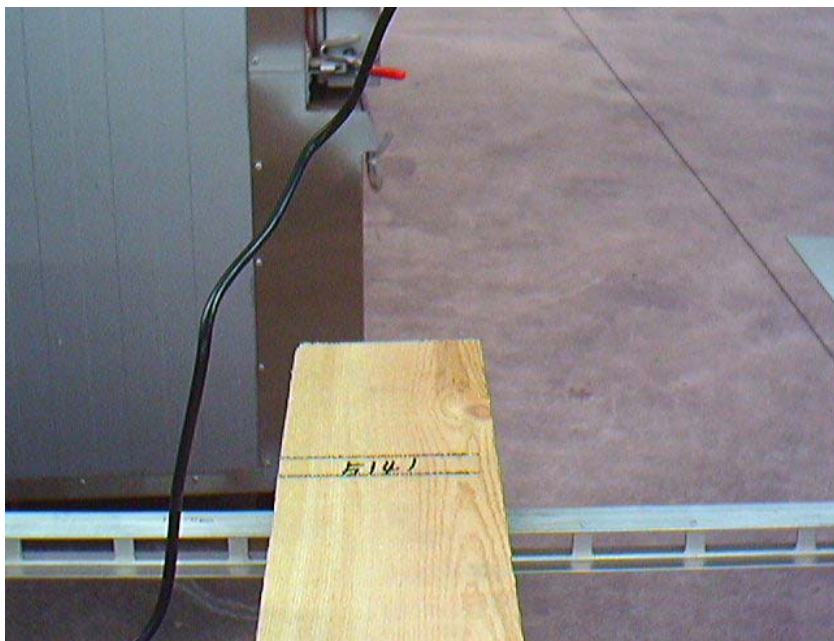


그림 12. 카메라 보정을 위한 Line laser.



(a) before white balancing



(b) after white balancing

그림 13. White balancing의 효과.



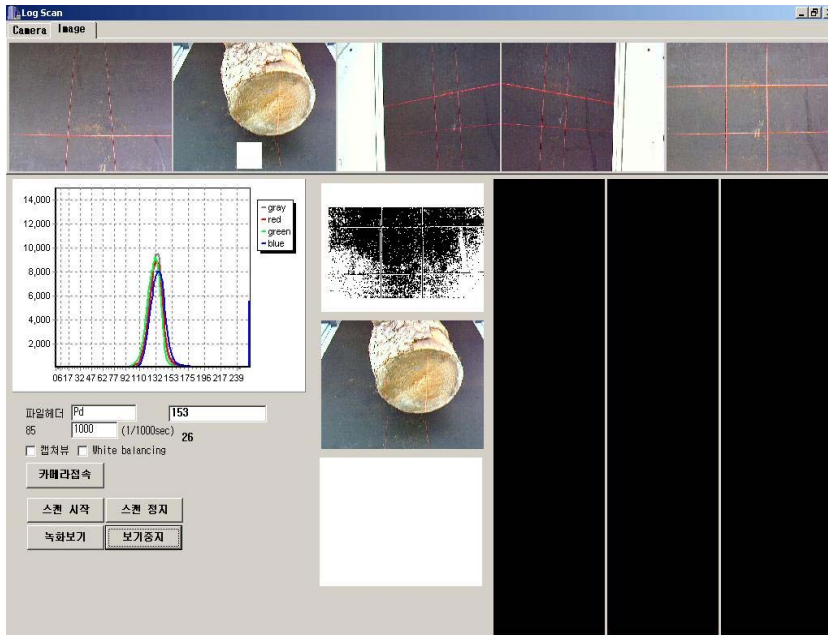


그림 14. 원목 검색 시스템 프로그램 1.

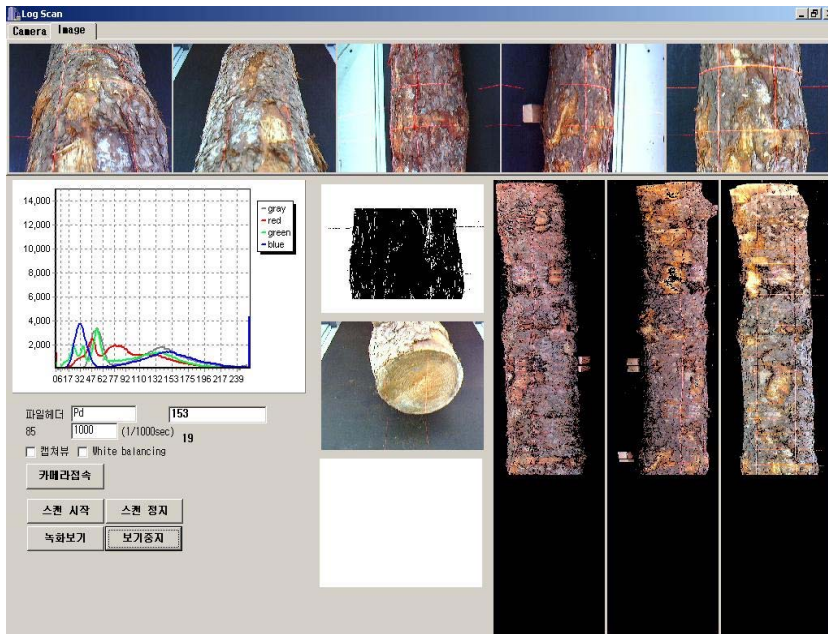


그림 15. 원목 검색시스템 프로그램 2.

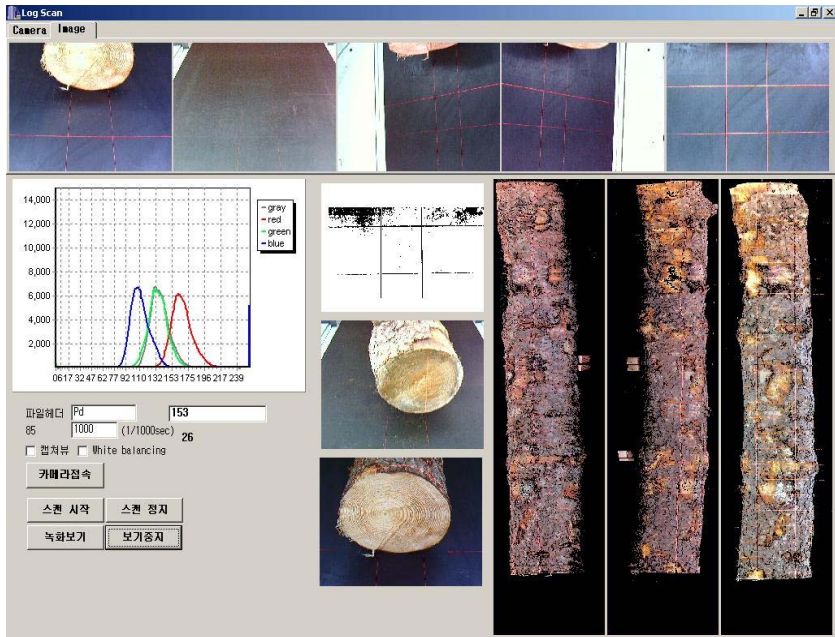


그림 16. 원목 검색시스템 프로그램 3.

#### 4) 화상처리 알고리즘

원목의 표면 형상을 인식하기 위해 가상의 3차원 공간상에서 3차원 좌표를 생성시키는 것이 핵심이다. 다음과 같은 순서로 3차원 좌표를 생성하였다.

##### 가) 원목의 이송중 원구면 화상획득

그림 14를 보면 2번째 카메라로부터 전송된 화상에 흰색 사각형이 그려져 있다. 사각형 영역내의 화소값 평균치가 급격한 변화를 보이면 프로그램은 어떤 물체가 이송되어 사각형에 존재한다고 인식하고, 프로그램 중앙영역에 있는 원구부 창에 화상을 저장하게 된다. 그림 14에서는 원목의 그림자에 의해 원구면의 화상을 입력받았다.

#### 나) 원목의 원주부 화상입력

원주부는 카메라 #5번에서 입력되는 5번 화상을 중심으로 원주부 화상입력 알고리즘이 제작되었다. 카메라 #5번은 시스템 중앙의 수직 위치에 설치되어 있어서 원목이 존재하지 않는 상태는 컨베이어벨트만의 화상이 입력되어 원목의 유무를 쉽게 판정할 수 있었다.

5번 화상에서 결정된 화상의 길이방향의 입력영역을 이용하여 3번 화상과 4번 화상을 획득하여 그림 15와 같이 배열하였다.

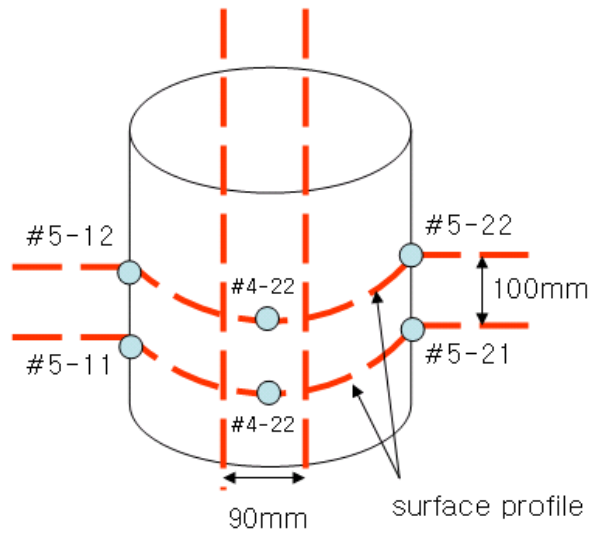
#### 다) 원목의 말구면 화상획득

5번 화상에서 감시영역((250, 353),(450,453))의 평균화소값이 급상승하거나 급하강하였을 때 원주부의 화상입력을 종료하고 1번화상을 원목의 말구면으로 지정하고 그림 16과 같이 말구부 창에 화상을 이동시킨다.

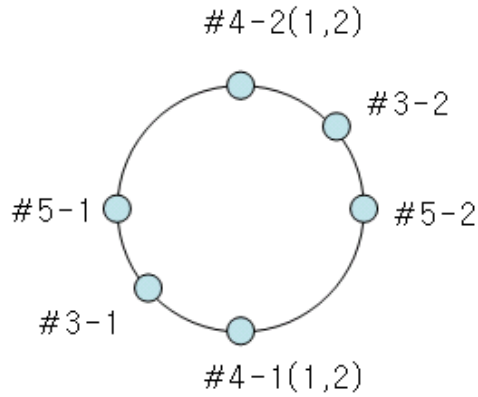
#### 라) 원목형상

이렇게 생성된 화상들은 그림 1.16(a)와 같이 배경부와 접하는 부위를 좌표로 획득하여 그림 1.16(b)와 같이 3차원좌표로 구성한다. 생성되는 좌표는 길이방향으로 50mm 간격으로 원목의 표면형상 좌표를 생성하였다.





(a) coordinates on the log surface



(b) coordinates at the cross section

그림 17. 3-D 원목 모델 생성.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 정지상태의 원목에 대한 형상인식

그림 17을 보면 고정대에 위치한 원목을 대상으로 화상처리를 하기 위

하여 각 카메라로부터 입력된 화상을 조합한 것을 볼 수 있다. 조합된 화상은 조합되기 전의 화상에서 확실한 기준점이 없어서 조합된 상태에서는 정합이 이루어지지 않았다는 것을 볼 수 있다. 그림 18의 원목의 형상을 생성시킨 메쉬를 보면 원구와 말구의 정보와 중심선(path)을 이용하여 단면정보를 생성하였기 때문에 실제 원목의 형상과는 차이가 많이 발생하였다. 특히 기준선의 부재로 인한 이웃하는 화상간의 정합에 문제가 발생하였으며, 좌측과 우측의 2장의 화상만으로는 갑작스런 형상의 변화를 계산하기 어려웠다. 그러나 원목의 굽음정도는 중심선의 변화를 이용하여 파악할 수 있었다.

#### 나. 이송중인 원목의 형상인식

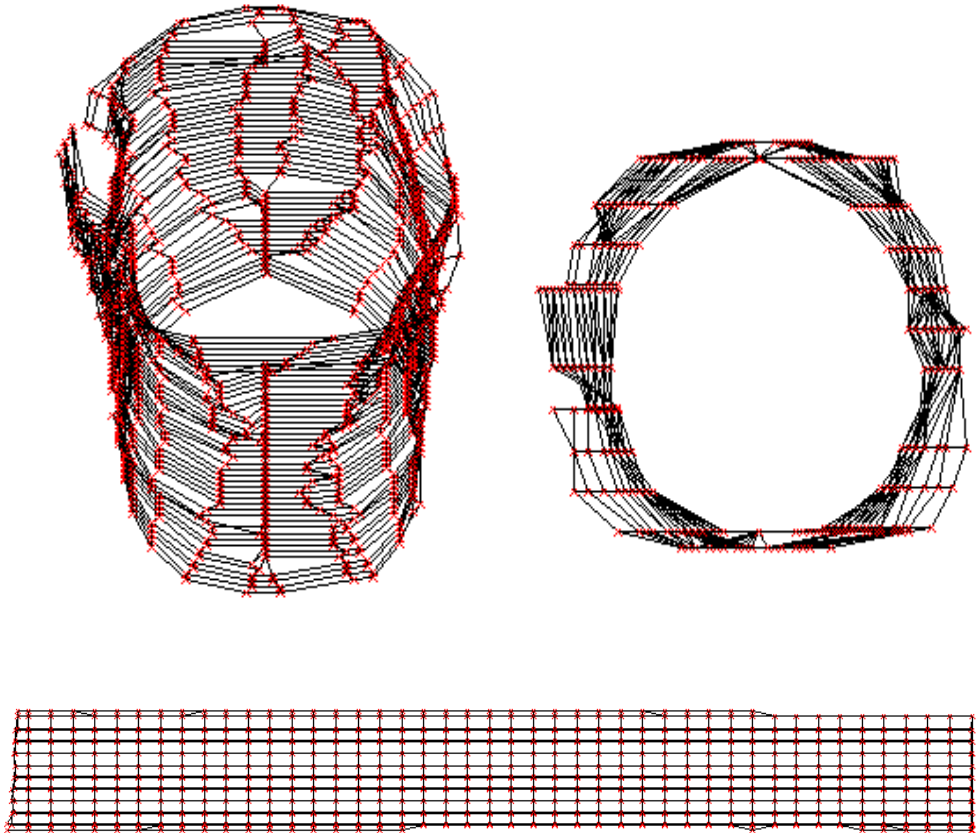
5대의 카메라를 이용한 원목형상인식 프로그램은 길이방향으로 5cm 간격에 좌표로 작성되었고, 원목의 단면형상은 27개의 좌표로 작성되었다. 이렇게 작성된 좌표들을 이웃하는 좌표들과 선분으로 연결하였을 때 그림 18과 같은 3차원 메쉬를 이루었다. 이렇게 작성된 원목형상인식 프로그램으로는 완전히 제거되지 않고 남아있는 줄기부분을 묘사하는 것과 세세한 부분까지 표현하기에는 한계가 있었다.

그림 17과 같이 원목을 스캔하였을 때, 원목의 단면에서 상부만을 스캔하기 때문에 하부의 데이터를 작성하기 위해 원구와 말구의 형태와 상부의 정보를 이용하였다. 따라서 원목의 전체적인 형태를 인식하는 것은 가능하지만 정확성이 요구되는 용도에는 한계가 있을 것이다. 본 연구에서는 이렇게 작성된 3차원 원목형상 데이터는 재단모의실험에 이용하였다.

#### 다. 이송중인 원목의 송재속도

본 논문에서 이송속도를 18.5min/m로 하여 2m의 원목을 이송시킬 때 6.4초가 소요되었다. 또한 카메라 1대에서 6.4초 동안 26장의 화상이 전송되었기 때문

에 초당 30.8cm를 획득하였고, 초당 4프레임의 화상입력속도를 고려하면 1 프레임의 화상에서 입력받아야할 길이는 7.7cm이다. 1 프레임의 화상에서 획득해야할 길이방향의 화소수는 480화소 중에 153화소를 입력받게 되었다. 따라서 한 장의 화상에서 실제로 입력되는 화상영역은 폭 640화소에 높이 153화소 영역이었다. 여기서 화상 한 프레임당 유효화소수가 153개이고 실제로 480개의 화소 중 400개의 화소만 처리한다면 송재속도가 18.5m/min의 2.6배를 향상시킬 수 있기 때문에 원목의 이송속도를 최대 47.8m/min까지 설정하고 원목의 형상을 인식할 수 있을 것이다.



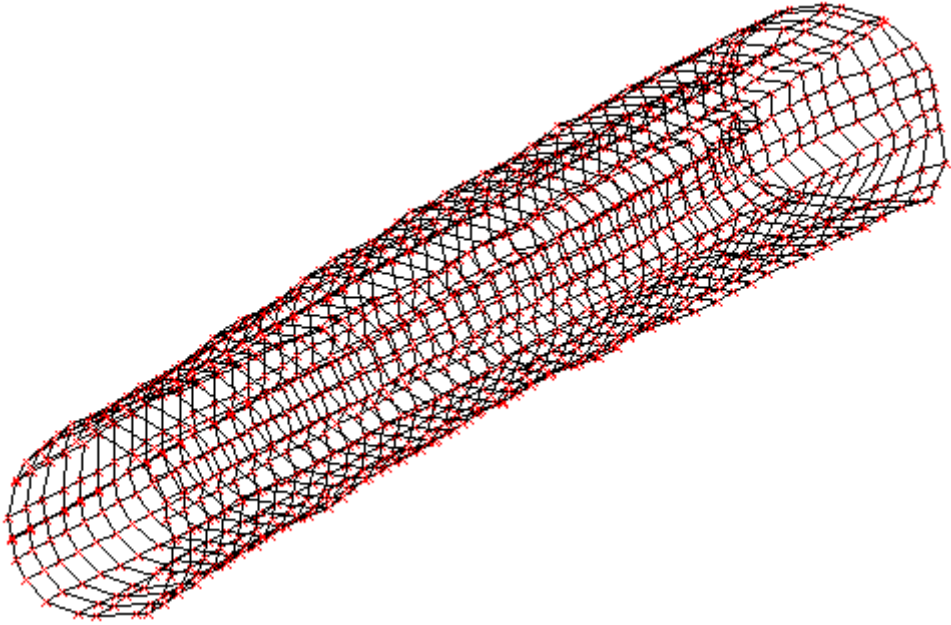


그림 18. 원목의 3-D mesh 모델.

#### 4. 결론

원목의 형상인식에 있어서 레이저스캐너를 이용할 경우 정밀한 원목형상을 획득할 수 있으나 너무 고가의 장비이기 때문에 복수의 영역카메라를 이용하여 원목의 형상을 인식하고자 하였다. 고정식 원목형상 인식은 원목의 길이가 증가함에 따라 영역카메라가 소요가 증가하는 단점이 있으며, 본 연구에서 이용한 방법은 기준선의 부재로 인한 정확한 화상들의 정합이 이루어지지 않았다는 문제가 있었다. 좌우의 두 대의 카메라를 통한 화상을 이용하여 세밀한 원목의 형상을 획득하지 못했으나 원목의 굽음정도는 파악할 수 있었다.

화상처리시스템은 고속으로 흘러 들어오는 목재에 대한 화상을 획득하여 화상을 처리하여야 하므로 최대한 처리속도를 향상시켜야 한다. 그러나 처리속도로 인한 결함인식의 정확도가 떨어지지 않도록 해야 하므로 이러한 관점에서 최대한 정확도를 높이는 동시에 인식속도를 빠르게 할

수 있어야 한다. 본 연구에서 원목을 형상을 검색하는데 있어서 네트워크 서버를 장착한 카메라를 이용하여 각각 다른 방향에서 원목의 화상을 입력받아 컴퓨터로 전송하였다. 총 5대의 카메라로부터 동시에 처리할 수 있는 화상의 수는 각 카메라당로부터 1초에 4장씩 입력되어 총 20장의 화상을 처리하게 되었다. 이송중인 원목의 형상인식은 고정식 원목형상인식에 비해 적은 카메라가 동원되었고 더욱 우수한 원목의 형상을 파악할 수 있었으나 카메라가 포착하지 못하는 원목의 하부에 대한 정보를 획득하지 못했다는 문제가 발생하였다. 따라서 컨베이어의 구조적인 개선 및 카메라의 위치를 조정함으로써 보다 우수한 원목형상인식 시스템을 구축할 수 있을 것이다.

이렇게 인식된 원목형상 정보는 제 3장의 제재최적화를 위한 기술개발에 이용되었다.

### 제 3 절 제재목 형상 및 결합 인식기술 개발

#### 1. 서론

Szymani 등(1979)이 목재 표면의 특성을 결정함에 있어 가시광선 시스템이 초음파나 X선 또는 적외선을 이용한 방법보다 높은 신뢰성을 갖추고 있다는 보고를 통하여 비파괴적 방법을 이용한 목재 표면결합인식의 가능성을 제시한 이후 McMillin(1982)은 화상처리기술을 목재의 물리, 조직적 특성 연구에 적용하여 목재내 각 조직의 비율과 생장율, 섬유장, 공극율 및 세포내강의 면적과 직경, 합판의 전단목과율 등을 계측한 바 있으며, Matthews(1987)는 화상처리로 목리각도를 1도의 오차수준으로 인식할 수 있는 방법을 모색하기도 하였으며, 최근까지 본 시스템의 실용화를 위한 연구를 꾸준히 진행하고 있다. 그리고 Connors(1983)등은 목재가공 자동화시스템(ALPS: Automated Lumber Processing System)에 이용될 목재표면결합을 20개로 분류하여 인식과 위치 검출에 성공하였다.

목재공업에서 화상처리의 적용효과가 가장 클 것으로 기대되는 분야는 목제품의 품질관리로 McMillin등(1984)은 ALPS를 개발하는 과정에서 공간적 계조수준차(spatial gray level difference)를 이용한 화상조직분석(texture analysis)에 기초한 계조화상 기계시각(gray scale machine vision)시스템의 정확도가 57.35%~88%에 이르는 것을 확인한 바 있다. 특히, 화상조직의 특성을 이용, 각 화소의 계조수준차를 비교하는 2단계 분석을 실시한 결과 88.3%의 정확도를 얻어냈으며, 위치 판별을 고려하지 않는 경우 무결점재면의 판정 정확도는 91.67%에 이를 수 있음을 확인하였다. 또한 계조화상처리시스템에 RGB 필터를 결합시키면 그 정확도는 실제 작업자의 정확도 수준에 접근할 수 있다는 가능성을 제시하기도 하였다.

Kim(1985)은 526x526 화상을 8x8 구간으로 만들어 각 구간마다의 히스토그램을 이용하여 결합 분석을 하였으며 9개의 전형적인 결합 시편에

대한 계조 히스토그램을 작성하여 각 결함이 분포하는 계조수준을 판단하였고, RGB 3개 채널필터와 Gray Scale 필터를 각각 조합하여 화상처리의 정확도를 측정한 결과, RB 필터를 사용할 경우 속도와 정확도 측면에서 이상적이라고 제시한 바 있다.

McMillin등(1984)은 목재의 결함을 검출한 결과 tone측정만을 했을 경우 검출정확도가 건전재의 구별에서 91.7%로 높은 가능성을 보였으나 결함판별에서는 63.4%의 낮은 정확도를 보여주었다. tone과 texture측정을 동시에 실시한 경우에는 건전재 구별시 99.6%의 거의 완벽한 정확도를 나타내었으며, 결함판별의 정확도도 88.3%로 크게 향상되었음을 보고한 바 있다. Forrer등(1988)도 화상의 통계적 특징(tonal features), 형태적 특징(morphological features) 및 재색 특성(features from colour cluster)등 목재결함 검출에 적용이 가능한 세가지 알고리즘을 제시한 바 있다.

한편, Mehlhorn등(1985)은 목재 소재 재단공정의 품질관리에 계조화상 처리시스템의 적용 가능성을 제시하였으며, Wada(1991)는 집성재용 미송 라미나의 용이인식에 일차원 CCD 카메라를 이용한 바 있다. Anderson등(1995)은 고른 함수율을 갖는 원목을 대상으로 압축재의 횡단면을 화상처리하여 수의 중심과 심재, 변재 등을 계조화상(gray scale image)으로 처리하여 압축재의 전개정도에 따라 구분하여 밀도에 따른 강도, 장식성, 재색, 표면처리 등을 식별하기도 하였다.

Kauppinen등(1991)은 입력된 제재목 표면 화상을 일정크기의 사각형 영역으로 분리하여 각 사각형 영역의 히스토그램과 SOM(self organizing map)에 등록된 셀들의 히스토그램을 신경망을 통하여 비교하였다(그림 20). 추출된 셀의 종류(그림 19)를 구분하여 제재목 화상에 반영한 결과 결함 종류의 판별율이 80%였다(그림 21).

목재산업과 관련하여 수행된 대부분의 화상처리 연구가 실험적 수준에 머물러 있던 상황에서 레이저 스캐너를 통한 제재목의 구조적인 형상을 입력받고 컬러카메라를 통하여 제재목의 재색과 결함을 검출하여 실제 산업현장에서 사용되고 있다.

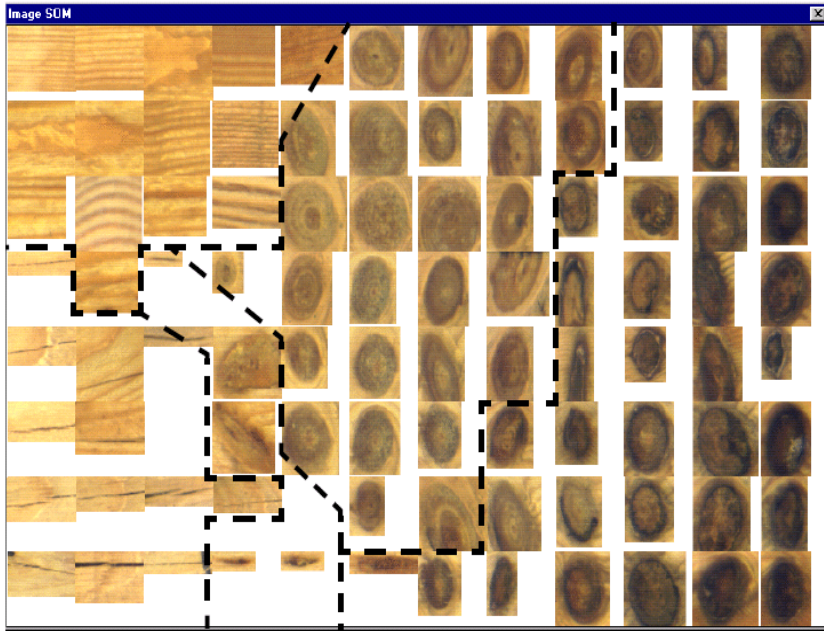


그림 19. 그림 20의 SOM(self organizing map)(Kauppinen, 1999).

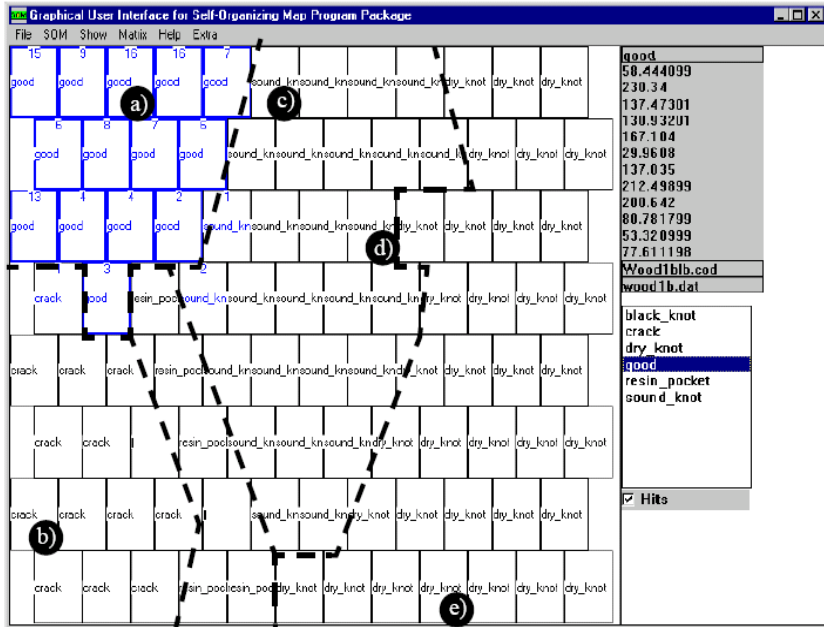


그림 20. 목재결합의 SOM(Kauppinen, 1999).



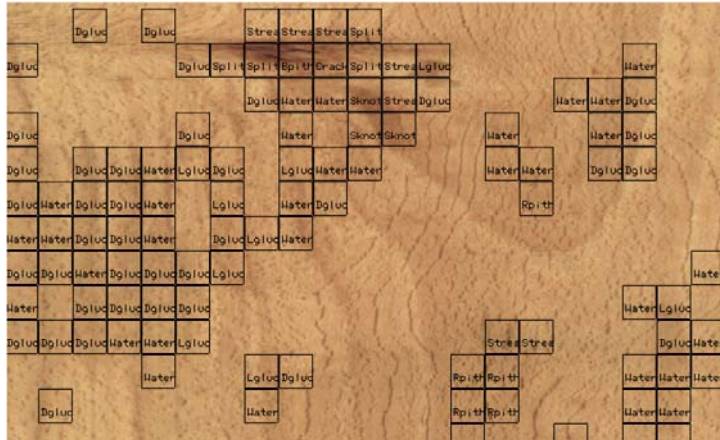


그림 21. non-segmenting method를 이용한 결합 검색(Kauppinen, 1999).

## 2. 재료 및 방법

### 가. 제재목 형상과 표면결함인식 알고리즘 개발

#### 1) 공시시편

제재목 형상과 표면결함 인식 알고리즘 개발을 위하여 길이 130cm의 국산 소나무(*Pinus densiflora* Sieb et Zucc.), 상수리나무(*Quercus acutissima* Carruth.) 및 서어나무(*Carpinus laxiflora* Blume)를 두께 2cm로 제재, 건조한 후 보다 양질의 화상을 얻기 위하여 양쪽 평면을 평삭하여 공시시편으로 준비하였다. 본 연구에서 국산 수종을 공시시편으로 선택한 것은 이미 진행되고 있는 목재자원보유국의 자원보호정책과 환경보호에 대한 세계적 관심 고조에 따라 가까운 미래에 닥쳐올 국산재 이용의 시대를 대비하여 가능한 국내 목재자원에 대한 정보와 자료를 축적하기 위함이다.

## 2) 조명과 CCD 카메라

시편이 문턱값 자동검출 알고리즘 개발에 사용된 시편보다 크기 때문에 640x480 화상에서 시편 폭을 화상에서 충분히 획득할 수 있도록 카메라와 조명을 높게 설치하여야 하였다. CCD 카메라는 시편으로부터 80cm에 설치하였으며, CCD 카메라로부터 상부 20cm에 조명을 설치하였다(그림 22).

## 3) 카메라 교정

카메라와 같은 렌즈를 이용한 영상장비는 영상의 왜곡이 발생할 수 있다. 따라서 영상장비를 이용하는 계측시스템이나 모델링시스템은 렌즈에 의한 영상의 왜곡을 상쇄시키기 위해서 반드시 카메라교정이 선행되어야 한다. 예를 들어, 어안렌즈를 통하여 획득된 영상은 원영상에 비해 통왜곡(barrel distortion)이 심하여 대상물체의 형상파악이 난해하게 된다. 이를 해결하기 위하여 카메라의 내부와 외부 파라미터를 구하여 교정을 해야 한다. 고가의 카메라 장비는 카메라 파라미터가 제공되지만, 주위에서 쉽게 구할 수 있는 PC카메라의 경우는 파라미터가 대부분 제공되지 않는다. 카메라 파라미터에는 내부 파라미터와 외부 파라미터가 있다. 내부 파라미터는 줌, 포커스 등과 관련된 정보를, 외부 파라미터는 카메라의 위치, 방향 등과 관련된 정보를 포함한다. 카메라 파라미터의 추출방법은 하드웨어적인 방법과 소프트웨어적인 방법이 있으며, 두가지 방식을 혼용하여 사용되기도 한다. 보통의 AVR시스템은 카메라의 하드웨어적인 상·하·좌·우 회전을 통하여 카메라파라미터를 획득할 수 있다. 본 논문에서 사용방법은 소프트웨어적인 방법으로 별도의 하드웨어시스템을 사용하지 않고, 프로그램에서 입력되어진 영상을 분석하여 카메라 파라미터를 복원하여 추출한다. 이 방법은 초당 20프레임 이상의 실시간 방송용 카메라가 아닌 초당 1프레임의 영상을 처리하는 상대적으로 저속해 속하는 시스템에 적용이 가능하며, 비교적 정확도가 낮고, 구조가 복잡하지 않고 단순한 대상물을 3차원 스캔할 때 이용된다. 대상물체의

80cm 상측에 수직으로 카메라가 고정되어 있으므로, 렌즈왜곡을 교정하는 카메라 교정수치를 미리 획득하여, 제재목 형상과 표면결합 인식 알고리즘 개발에 이용하였다.

#### 4) 화상처리시스템

화상을 한 번에 입력받기 어려운 긴 시편은 화상을 분할, 입력해야 하므로 본 연구에서는 3회 분할하여 화상을 획득하였다. 화상을 분할하여 입력받기 위해서는 시편이 좌우로 움직이지 않고 고정된 상태에서 길이방향으로 이동되어야 한다. 따라서 컨베이어와 같은 기능을 하도록 제작된 레일 위에 이동대를 설치하고, 이동대 위에 시편이 흔들리지 않도록 적재하여 이동시켰으며 분할되어진 화상을 정확하게 조합하기 위해 이동대에 시편의 길이방향의 직각이 되도록 40cm 간격으로 폭 1cm의 백색 띠를 붙였다(그림 23).

640x480의 화상에서 시편의 길이방향이 화상의 x축이 되도록 하여 화상을 획득하였다. 본 연구에서 이용된 화상의 1화소의 크기는 0.763mm x 0.763mm 이었다. 따라서 화상의 실제 크기는 약 48.8cm x 36.6cm 이고 화상에서는 40cm 간격의 백색 띠는 2개가 존재하게 된다.

#### 5) 화상처리 알고리즘

##### 가) 화상처리과정

화상처리속도를 향상시키기 위해 이용된 격자법과 타일법은 화상에서 결합의 크기가 크게 분포하고 있을 때에 효과적이다. 그러나 제재목 전체의 화상처리에서는 문턱값 자동 검출 알고리즘에서 사용된 화상의 크기보다 약 2.8배 작아서 화상에서 결합의 크기도 축소되어 결합을 인식하기 어려웠다. 따라서 본 연구에서는 제재목 형상과 표면결합 인식을 위한 새로

운 알고리즘을 개발하였다. 처리과정은 다음과 같다.

ㄱ. 배경제거 : 계조수준 40이하인 검은색 천과 시편과의 구별은 문턱값 45를 적용하여 쉽게 제거할 수 있었다. 그러나 시편의 위치를 파악하기 위해 사용된 백색 띠를 구별하기가 곤란하였다. 따라서 시편과 백색 띠를 구별하지 않고 채우기 방법을 이용하여 배경만 분리 제거하였다.

분할되어 입력되어지는 화상에는 3종류가 있는데 시편이 이동하여 최초로 화상획득시스템으로 들어올 때의 시편의 화상은 우측에 걸쳐 있고 ‘□’ 모양으로 이어져 있으므로 좌측에서부터 한 번에 제거한다. 시편이 좌우로 걸쳐 있는 화상은 시편이 중앙에 위치하게 되어 배경이 상하로 나뉘어지게 되므로써 상하를 나누어 제거한다. 시편이 화상획득시스템으로부터 나갈 때의 화상은 시편화상이 중앙을 중심으로 좌측에 걸쳐 있으므로 우측부터 배경을 제거해 나간다. 화상에 존재하는 배경은 ‘□’ 모양으로 이어져 있으므로 한 번에 제거할 수 있다. 이와 같은 방법으로 배경이 제거됨으로써 시편의 모양을 알 수 있으며 아직 남아 있는 백색 띠를 시편과 분리, 제거하였다.

ㄴ. 수피인식: 수피는 배경과 목질부의 중간 위치에 있는 것으로 대개 수피의 계조값이 목질부의 계조값에 비해 낮기 때문에 목질부의 계조값을 이용하여 제거하였다.

ㄷ. 결함 추출 : 결함 추출을 위해 이용되는 문턱값은 결함을 목질부로부터 제거하기 위한 문턱값이다. 이번 연구에서는 넓은 면적의 시편화상을 입력받기 때문에 상대적으로 결함의 크기가 작아져 목질부의 문턱값은 앞에서 실험한 계조값 변위를 이용한 문턱값 검출방법을 이용하지 않고, 수종마다 각기 달리 입력하였다. 여기서 이용된 문턱값은 각 수종의 화상들을 대상으로 그래픽 프로그램(Adobe photoshop)을 이용하여 문턱값을 측정하였다. 이 문턱값을 이용하여 목질부를 제거한 후에 라벨링을 통하여 결함을 추출하였다.

ㄹ. 화상 조합 : 백색띠의 모서리를 기준으로 화상을 조합하였다.

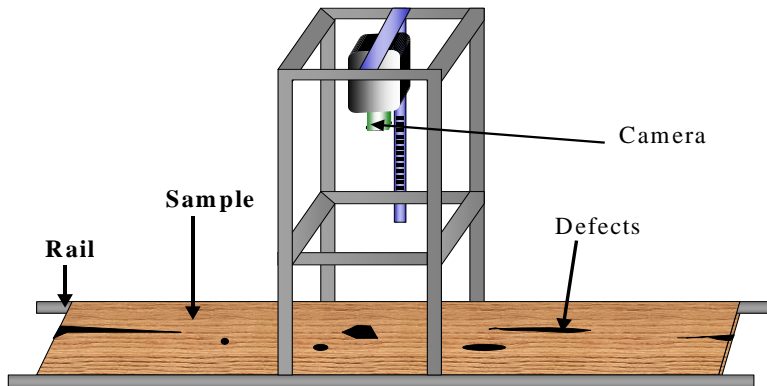


그림 22. 고정식 화상 획득장치.

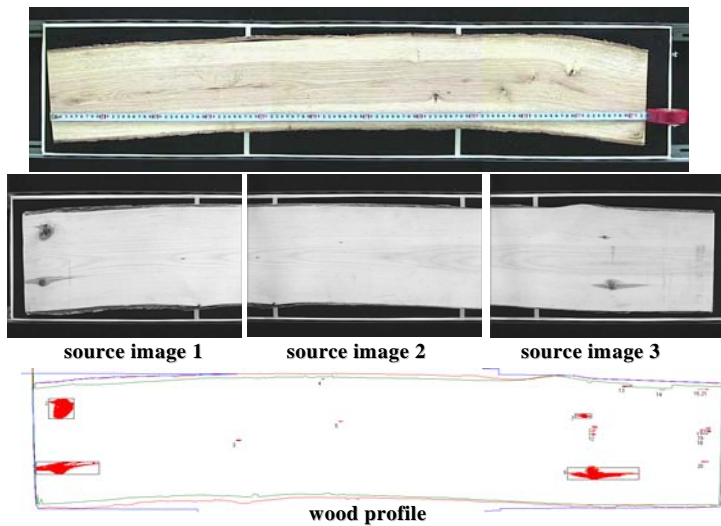


그림 23. 원화상과 검색 후 처리화상  
(640x480 pixels).

#### 나) 결함인식 알고리즘

화상처리 알고리즘을 통하여 검출된 각 영역들은 그 특성에 따라 결함의 종류가 인식되어야 한다. 그러므로 우선 효율적인 결함인식을 위한 대표적인 특성들의 종류가 결정되어야 하며, 본 연구에서는 다음과 같은

8가지 특성을 각 영역으로부터 추출하여 결합인식 과정에 적용하였다(그림 24). 한편, 본 연구의 궁극적인 목적은 실제 목재산업 현장에의 적용에 두고 있고, 대부분의 목재 재단공정이 직선적으로 이루어지고 있으므로 결합 자체만의 면적이나 위치보다는 그 결합을 둘러싸고 있는 최소 면적의 직사각형을 구성하도록 하여 그 면적과 좌상 및 우하단의 좌표를 자료화하고자 하였다.

- ㄱ. NoPix (Number of Pixels) : 결합으로 인식된 각 영역의 면적: 영역을 이루고 있는 화소의 수
- ㄴ. RecArea (Area of Rectangle) : 결합을 둘러싸고 있는 최소 사각형의 면적(화소수)
- ㄷ. AreaRatio (Ratio of NoPix to RecArea) : 결합을 둘러싸고 있는 직사각형 면적에 대한 결합 실제면적의 비율
- ㄹ. GraLevel (Average Gray Level) : 결합 영역의 평균 계조값
- ㅁ. XLength (Length of Rectangle in perpendicular direction to feeding) : 직사각형의 송재에 대한 수직방향의 길이
- ㅂ. YLength (Length of Rectangle in parallel direction to feeding) : 직사각형의 송재에 대한 평행방향의 길이
- ㅅ. DLength (Length of Diagonal Line of Rectangle) : 직사각형의 좌상단과 우하단 좌표를 잇는 대각선의 길이
- ㅈ. YXRatio (Ratio of YLength to XLength) : 직사각형의 가로와 세로의 길이 비율

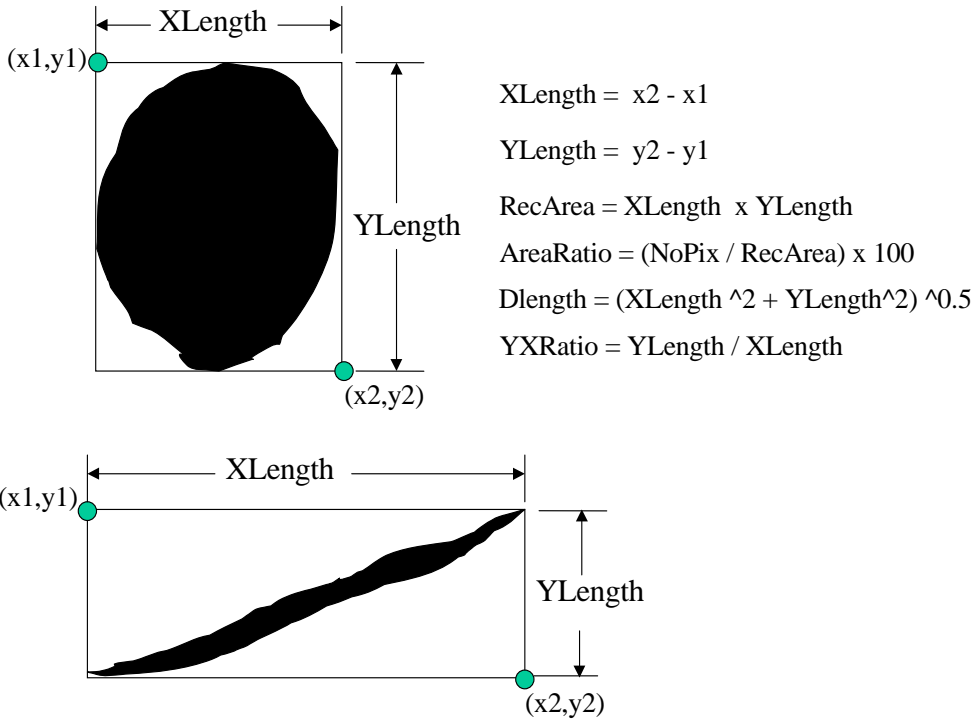


그림 24. 특성치의 계산.

위의 각 특성들을 전체 시편들에서 결함으로 인식된 모든 영역으로부터 추출하여 database를 작성한 후 각 특성의 결함인식에 대한 효과를 조사하였다. 한편, 국산 소나무는 건조과정에서 별다른 할렬이 발생하지 않았으므로 단지 표면에 존재하는 용이의 검출에 초점을 맞추었으나 상수리나무의 경우에는 건조중 비교적 심한 할렬이 발생하여 용이와 할렬을 동시에 검출하고자 하였다. 그러나 서어나무에서는 표면에 존재하는 용이의 재색이 매우 밝아 무결점재면(clear wood)과 전혀 구분이 되지 않은 반면, 수피가 재면 위에 많이 포함되어 있어 수피의 인식에 집중하였다.

우선 검출 대상 결함 영역으로부터 얻어진 각 특성의 범위를 조사한 후 실제 화상에 적용, 결함으로 인식된 영역의 수와 실제 결함 수를 비교하므로써 각 특성의 결함 인식효과(오인률)를 결정하였다. 그리고 결함 인식효과가 검증된 각 특성들 중에서 효과가 우수한 것들을 선택, 조합하여

다시 화상에 적용하므로써 결합인식 정확도의 향상효과 및 실제 인식 정확성을 판별하였다.

$$\text{오인률} = \frac{\text{주요결합으로 인식된 영역수} - \text{실제 결합 영역수}}{\text{결합으로 인식된 전체 영역수} - \text{실제 결합 영역수}} \times 100(\%)$$

즉, 화상처리프로그램에서 생성된 각 라벨에 대한 위치정보와 8가지 정보를 기반으로 각 수종별 결합의 특징을 추출하여 제한 조건을 마련하였고, 제한 조건을 이용한 필터링을 실시하므로써 실제 결합으로 인정된 라벨과 결합으로 허용되지 않는 라벨을 구분하였다.

다음은 소나무의 옹이 검출을 위한 SQL(structured query language)문으로 작성된 제한 조건식이며 단위는 화소수이다.

```
((pixar>=148) and (pixar <=5450))
and ((ylen >=9) and (ylen <= 187))
and ((gray >=101) and (gray <=160))
```

## 6) 신경망을 이용한 결합판정 알고리즘 설계

신경망 이론은 다양한 분야에서 효과적으로 적용되고 있다. 계산으로 해결하기 난해한 부분을 노드에 대한 가중치(weight)를 이용하여 문제를 해결해 나간다. 8개의 특성치를 이용한 결합인식 알고리즘은 다양한 조건을 이용하여 결합을 선별하는 방식이지만, 신경망이론은 해당 특성치의 주요도와 제외해야할 특성치의 상관관계를 추정할 수 있다.

신경망의 역전파(BP;back propagation) 알고리즘을 이용하여 각 결합의 특성치를 바탕으로 결합의 가부와 결합의 종류를 판단하고자 하였다. 육송과 상수리나무를 대상으로 화상처리에 의해 획득된 라벨링 정보를 추출



하여 신경망알고리즘에 적용시킨다. 입력층, 중간층, 출력층을 설계하고 학습을 시킨 상태에서 에러율이 낮은 경우에 한하여, 직접 화상처리 알고리즘과 연동시키도록 한다. 그림 26을 통하여 신경망 설계를 쉽게 할 수 있으면 데이터의 가감을 쉽게 할 수 있다. 그림 25는 학습율과 적용함수를 손쉽게 교체할 수 있어서 해당 신경망에 효과적으로 적용할 수 있게 설계가 되어 있으며 최종 학습된 결과는 가중치로 저장하여 그림 27과 같이 결합인식 알고리즘에 이용되었던 640x480화소수의 화상에 적용하였다.

역전파알고리즘을 이용한 화상처리프로그램은 이미 설계된 신경망계층 구조와 학습된 가중치 정보를 읽어들인다. 화상처리프로그램에서 결합으로 규정한 라벨링 정보를 이용하여 결합의 종류를 판정한다. 결합은 옹이(K), 할렬(C), 무시된 라벨(N)로 구분하여 출력한다(그림 28).

입력층에 적용될 특성치는 라벨링 정보에서 제공해주는 기존의 특성치인 NoPix, XLength, YLength, RectArea, AreaRatio, DLength, XYRatio, GraLevel 등과 추가로 적용되는 특성치인 화소값들의 표준편차(GraStd), 원형도(eLong) 등이 있다. 여기서 각각 한 개의 특성치를 가지고 학습을 시키고, 에러율이 높은 특성치는 도태를 시킬 것이고, 결국 우수한 특성치를 각각 조합하여 더욱 향상된 인식률을 보이는 신경망을 설계하고자 하였다.

출력층은 2개의 노드로 구성하였다. 첫 번째 노드가 1일 때는 옹이를 의미하고, 두 번째 노드가 1일 때 할렬을 의미한다. 두 노드가 모두 0일 때는 결합과 무관한 것으로 판정하였다.

또한 중간층의 층수와 노드의 수는 학습효과가 우수한 쪽으로 설계를 유도한다.

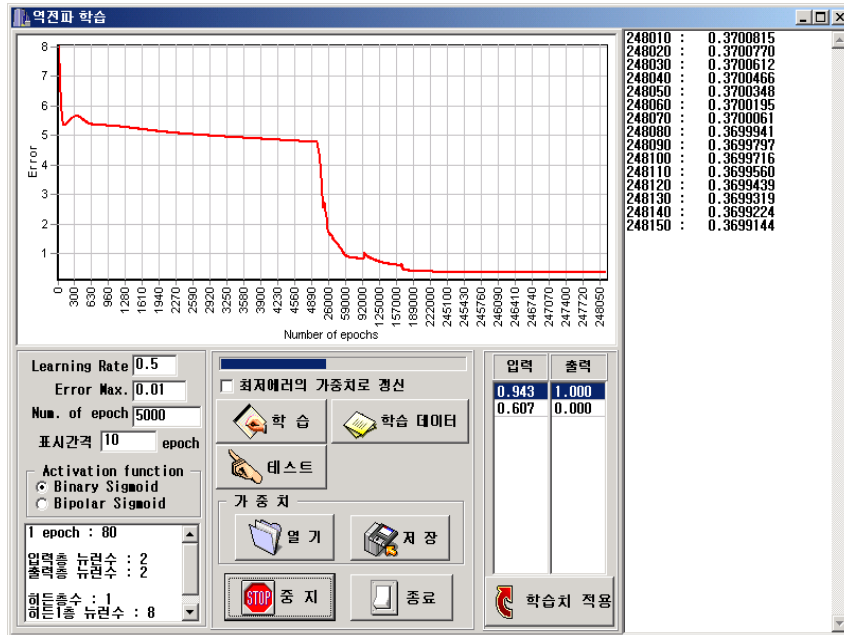


그림 25. Neural network designing과 학습 프로그램.

레이어	입력층	출력층	히든1
뉴런수	9	2	12

Input Layer								Output Layer								
1	125.760	50	78.1	0.83	1736	3001	1	1	0	2	1	0	3	1	0	
2	124.211	3	11.4	0.27	22	33	4	0	0	5	1	0	6	1	0	
3	141.5136	31	139.40	0.23	1761	4211	7	0	0	8	0	0	9	1	0	
4	147.47	8	10.65	0.88	33	56	10	0	0	11	0	0	12	0	0	
5	61.9	9	2	9.22	0.22	16	18	13	0	0	14	1	0	15	1	0
6	142.69	4	9.85	0.44	21	36	16	1	0	17	0	0	18	1	0	
7	5	17	1	17.05	0.06	16	17	20	0	0	19	0	0	21	1	0
8	118.581	4	81.1	0.05	108	324	24	0	0	22	0	0	25	1	0	
9	122.135	10	36.4	0.29	153	350	28	0	0	26	0	0	29	1	0	
10	67.4	11	2	11.15	0.18	18	22	32	0	0	30	0	0	33	1	0
11	79.8	9	2	9.22	0.22	16	18	36	0	0	34	0	0	37	1	0
12	82.9	9	2	9.22	0.22	15	18	40	0	0	38	0	0	41	1	0
13	75.8	11	2	11.15	0.18	19	22	44	0	0	42	0	0	45	1	0
14	141.7152	30	154.5	0.2	1450	4561	48	1	0	46	0	0	49	1	0	
15	120.491	57	107.3	0.63	2562	5181	52	1	0	50	0	0	53	1	0	
16								56	1	0	54	0	0	57	1	0

그림 26. Neural network를 위한 Layer design tool.

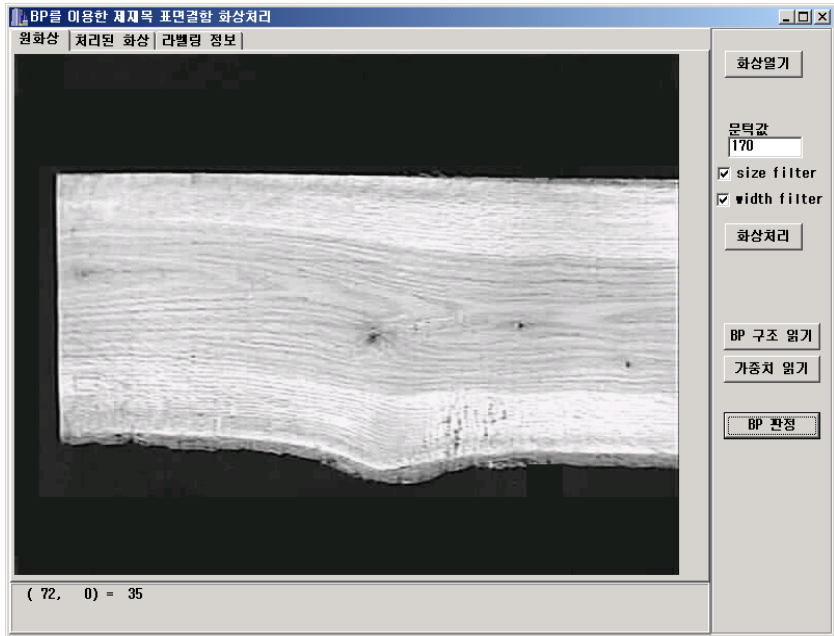


그림 27. Neural network algorithm을 이용한 제재목 검색 화상 (*Quercus acutissima* Carruth).

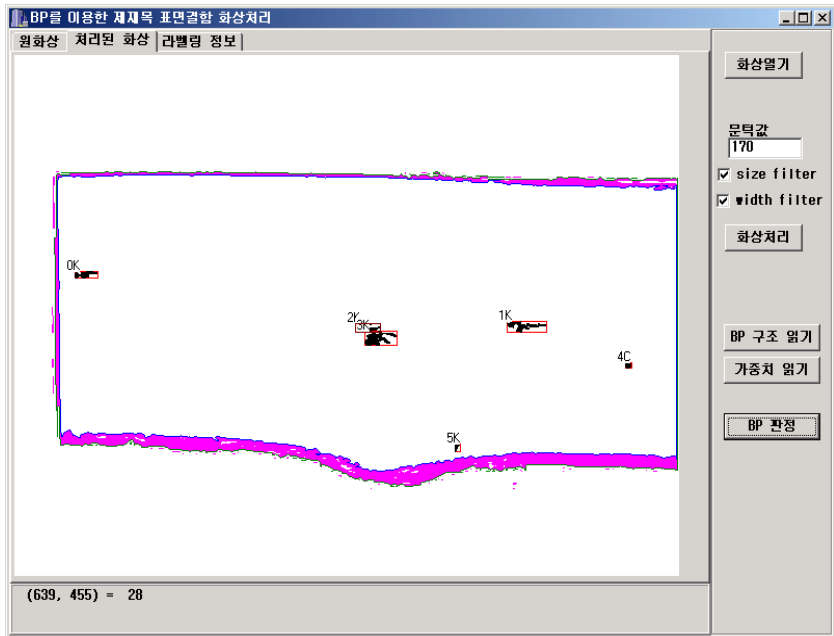


그림 28. Neural network algorithm을 이용하여 추정된 목재 표면결함 (*Quercus acutissima* Carruth).

## 나. 이송중 제재목의 형상획득 알고리즘 개발 I

: 라인스캔카메라(line scan camera)를 이용한 화상처리

라인스캔카메라는 1차원의 화소들을 직선으로 배열하여 일직선의 조도 변화를 획득할 수 있다. 사무용 스캐너와 같은 직선의 감광소자는 대상물을 이동시키거나 카메라를 이동시켜서 평면영상을 구할 수 있다. 라인스캔 카메라는 2차원 영역카메라에 비해 고해상도의 화상을 획득할 수 있다.

### 1) 공시시편

라인스캔카메라를 이용하여 제재목의 형상과 표면결함을 인식하기 위해서 국산 소나무(*Pinus densiflora* Sieb et Zucc.) 30x600x120mm 크기의 제재목을 준비하였다.

### 2) 화상처리시스템

#### 가) 이송장치

라인스캔 카메라는 대상물이 일정속도로 이동하고 있다는 전제하에서 제작된 카메라이기 때문에, 목재 이송용 컨베이어는 시편의 이송속도를 균일하게 조절할 수 있는 기능을 갖추어야 한다. 따라서 본 실험에서는 컨베이어벨트를 구동시키는 모터의 속도를 조절할 수 있는 인버터를 장착하여 대상물을 균일한 속도로 이송할 수 있도록 하였다. 또한 대상물의 이송속도를 시각으로 확인할 수 있도록 인버터의 주파수를 조절하는 조리가게가 부착되어 있다. 시편의 이송속도는 최대 40m/min까지 조절되며, 컨베이어벨트의 폭은 50cm이다.

#### 나) 레이저 변위 센서(laser displacement sensor)

레이저 변위 센서는 컨베이어 위에 이동되는 시편의 표면 거칠기를 측정하는 센서(조도분해능(精度分解能) :  $10\mu\text{m}$ , 인식거리 :  $30\text{mm}$ , 인식변위 :  $\pm 10\text{mm}$ )이다. 시편의 거칠기를 측정하여, 제재목 표면의 품질을 측정할 수 있으며, 제재목의 두께뿐만 아니라 시편의 시작점과 끝점을 측정하여 시편 전체의 길이를 파악할 수 있다. 또한 레이저 변위 센서는 목재의 통과시점을 토대로 이송속도를 계산하여 각 장비들에 도달하는 시점을 판단한다. 시스템에서는 광차단센서를 대신하여 도달시점을 이용하여 장치의 ON/OFF 신호를 제어한다. 또한 이 신호를 통하여 화상처리시스템의 화상입력을 제어한다.

#### 다) 조명

형광등과 같은 교류전류에 의해 초당 60번의 깜빡임이 발생하는 조명장치는 라인스캔카메라와 같이 30KHz이상의 고속스캔을 하는 장비에서는 균일한 조명효과를 기대하기 어렵다. 또한 라인센서의 신호변환을 위해서 상당한 광량이 필요하다. 따라서, 조명은 광섬유셀(optical fiber lighting cell)이 직선으로 배열된 폭 30cm의 선형(線形)의 광섬유대(光纖維帶; optical fiber lighting band)를 장착하고 라인스캔카메라에서 화상을 획득할 수 있도록 조사(照射)하였다. 50cm의 컨베이어벨트 너비만큼을 조사하기 위해서 광섬유대 2개를 설치하였다. 또한 화상처리에 적합한 조도를 얻기 위해 광섬유셀의 밝기를 조절할 수 있는 조도조절용 조리개를 두어 조명의 밝기를 조절하였다.

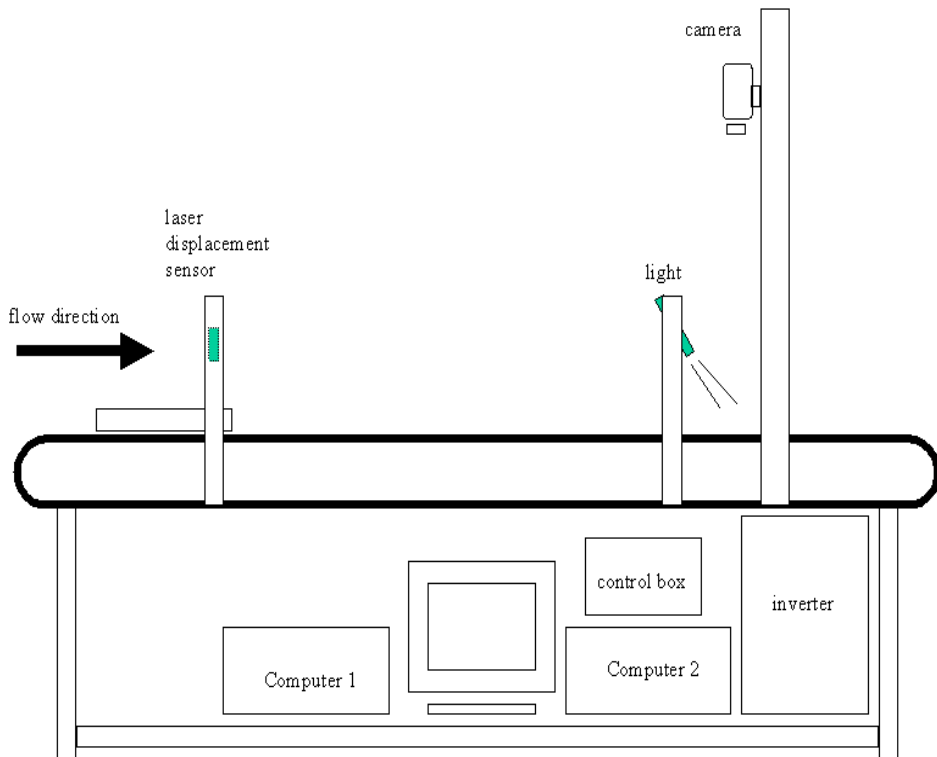


그림 28. 이동식 목재결함 검색 시스템의 구조.

#### 라) 카메라

카메라는 시편 표면의 흑백화상을 실시간으로 획득할 수 있는 라인스캔카메라(CCD line scan camera; 해상도 5,000 화소)를 사용하였고, 화상처리보드(image processing board)가 장착된 산업용 PC에 연결하여 처리속도의 향상을 기하였다. 라인스캔카메라는 영역카메라(area camera)에 비해 물체가 이동할 때 발생하는 흐려지는 현상(motion blur)이 없는 안정된 화상을 획득할 수 있을 뿐만 아니라, 대상물이 이송되어지는 상황에서 실시간으로 화상을 입력받을 수 있기 때문에 영역카메라의 화상획득면적의 제한이라는 단점을 극복할 수 있다. 카메라는 컨베이어벨트와 수직높이 75cm에 렌즈가 위치하도록 설치하였다(그림 29).

## (1) 균일성 보정(shading correction)

카메라에 존재하는 CCD셀들 간의 감도차에 의한 비확일적인 화상이 입력되거나 조명의 좌우가 불균일할 경우 비정상적인 화소값이 입력될 수 있다. 이러한 불균일한 한 줄의 픽셀값을 교정하지 않을 경우 전체화상에 줄이 그어지는 현상이 발생한다. 따라서, 백색지와 흑색지를 각각 스캔하여, 입력된 화상에 이송방향과 평행한 줄이 그어지는 현상이 발생하지 않도록 각 지점을 보정하였다.

## (2) 카메라교정

라인스캔카메라의 교정은 영역카메라와는 달리 한 줄(5000 화소)의 스캔라인을 교정하면 된다. 2cm간격의 검정색 정사각형 패턴 인쇄물을 이용하여 화상을 스캔 받는다. 스캔되어지는 패턴의 좌우 간격이 일정하도록 중앙부와 좌우측의 패턴을 비교하여 평균폭을 2cm로 지정하고 교정하였다.

### 마) 컨베이어 속도 조정

카메라교정에 이용된 패턴 인쇄물을 이용하여 컨베이어 속도를 교정하였다. 입력되어진 화상이 정사각형을 형성할 수 있도록 각 스캔라인의 간격을 확장시키거나 축소시켜서 조정하였다. 이송속도가 빨라지면 스캔라인 간의 간격이 넓어지고, 반대로 이송속도가 느려지면 스캔라인 간격이 좁아진다. 단, 이송속도가 빠르면 스캔라인이 너무 넓어져, 입력되어지는 화상의 해상도에 큰 영향을 미치기 때문에 주의해야 한다.

## 다. 이송중 제재목의 형상획득 알고리즘 개발 II

: 영역카메라(area camera)를 이용한 화상처리

### 1) 화상 획득용 공시시편

제재목 형상과 표면결합인식 알고리즘 개발을 위하여 길이 130cm의 국산 소나무(*Pinus densiflora* Sieb et Zucc.), 상수리나무(*Quercus acutissima* Carruth.) 및 서어나무(*Carpinus laxiflora* Blume)를 두께 2cm로 제재, 건조한 후 보다 양질의 화상을 얻기 위하여 양쪽 평면을 평삭하여 공시시편으로 준비한다.

## 2) 화상처리시스템구조

길이 3m, 벨트 폭 56cm의 벨트컨베이어를 제작하고, 이송속도를 자유로이 조절할 수 있는 인버터를 장착하였다. 인버터의 최대주파수는 120Hz로 설정하였다. 화상처리에 이용되는 카메라와 조명을 고정하기 위해, 고정대를 설치하였으며 컨베이어가 작동중에 발생하는 진동에 의한 입력화상의 흐려짐을 방지하기 위해 고정대는 컨베이어와 분리하였다.

### (1) 조명

영상의 색이 왜곡되지 않도록 주광색 형광등(18W)을 사용하였다. 천장에 4개를 설치하여 카메라로부터 입력되는 화상에 균일한 조명이 조사되도록 하였다.

### (2) 카메라

제재목 형상획득 알고리즘 개발을 위해 카메라는 컨베이어벨트로부터 수직높이 70cm에 고정대의 중앙에 설치하였으며 카메라각도는 직각을 유지하도록 하였다.

본 연구에 이용된 카메라(Qrio IPCam 300S)는 화각이 58°의 표준렌즈 균이며 카메라로부터 수직평면과 1m거리에서 폭 545mm, 높이 405mm를 640x480화소의 화상을 실제 획득할 수 있는 카메라이다.



카메라 교정은 Zhang(1998)의 2차원 기반의 교정알고리즘을 이용하였다.

### (3) 라인 레이저

본 연구에서는 제재목의 실제 크기를 파악하기 위해서 라인 레이저를 사용하였다. 그림 1.12과 같이 100mm x 90mm의 사각형을 형성한 라인레이저는 제재목의 폭과 길이를 계산하는데 이용된다(그림 29).

### 3) 화이트 밸런싱의 영향

백라이트기능이 장착된 카메라는 획득되는 영상에 따라서 자체적인 조도(照度) 보정이 된다. 움직이는 물체는 백라이트기능에 영향을 주어 화상의 밝기와 색상을 변화시킬 수 있다. 본 연구에 사용된 카메라는 백라이트기능을 가지고 있기 때문에 이를 해결하기 위해 입력화상에서 좌측상단의 50x50 화소영역과 우측하단의 50x50화소영역을 대상으로 컬러채널들의(R, G, B값) 평균과 표준편차를 구하였다. 화상으로부터 입력되어진 화소값에 대해 수식 (1-2)과 같이 보정을 실시하여, 화상에 화소값을 재입력시킨다.

### 4) 화상처리와 이송속도의 관계

제재목의 이송속도를 조절하기 위해 시스템에 장착된 인버터의 주파수를 조절하여 화상처리속도를 측정하고자 하였다. 또한 제재목의 이송속도에 따라서 입력되는 화상에 어떠한 영향이 있는지 알아보고 실제로 이송속도를 증가시켰을 때 과연 화상처리가 가능한지 알아보하고자 하였다.

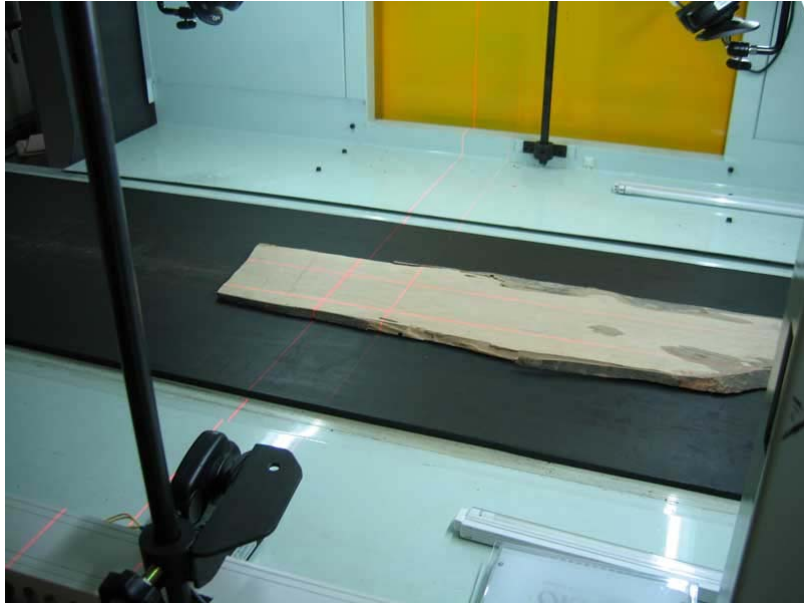


그림 29. 목재표면에 조사된 laser.

라. 문턱값 자동 검출 알고리즘 개발

1) 화상획득용 공시시편

화상처리를 위한 시편으로 용이를 포함하고 있는 국산 소나무(*Pinus densiflora*)를 10x25x2cm 크기로 재단하여 사용하였으며, 시편에서 특징적인 부분을 선택하여 37개의 화상을 획득하였다.

2) 화상처리시스템

가) CCD 카메라와 조명

목재 시편의 표면 화상 획득을 위하여 모델명 KUKJAE IVC-780인 흑백 CCD카메라를 사용하였으며, 16mm 1:1.4 렌즈를 장착하였다. 1화소

의 크기는 0.269mmx0.269mm이며, 실제화상의 크기는 172.5mmx128.3mm이었다.

화상획득시 입력화상이 주위의 밝기에 영향을 받지 않도록 암막을 설치한 후, 카메라 양측에 조명을 설치하여 충분히 밝게 하였다. 또한 조명에 의한 반사광을 줄이고, 배경과 시편의 계조값의 차이를 두기 위하여 계조수준 40이하인 검은색 천을 바닥에 깔고, 시편을 그 위에 놓았다. 이와 같은 조명 조건에서 측정된 목재시편 화상의 계조값 평균은 190이었다(단, 계조값은 조명의 밝기, 카메라 노출정도에 따라 다를 수 있다).

#### 나) 화상처리보드와 화상처리 프로그램 개발

CCD 카메라로 입력된 아날로그 영상신호를 디지털 영상신호로 변환하여 컴퓨터가 인식할 수 있도록 처리해주는 부분으로 VGA를 내장한 화상처리보드로 미국 Media Cybernatics사의 Imascan board를 사용하였다. 처리 가능한 화상의 크기는 640x480으로 256계조등급의 화상을 처리할 수 있다.

화상처리용 프로그램(그림 30) 개발을 위하여 사용한 tool은 Delphi 3.0 Windows 버전으로 사건중심적인 객체지향형 언어이며, 훌륭한 통합개발환경(IDE:Integrated Development Environment)은 개발자가 프로그램 인터페이스를 시각적으로 만들고 지원 코드들을 자동적으로 만들 수 있으며 처리속도 면에서도 빠르기 때문에 화상처리용 시스템으로 적합하다. 한편, 사용된 개인용 컴퓨터는 펜티엄 120, RAM 16MB의 인텔호환 IBM기종이었다.

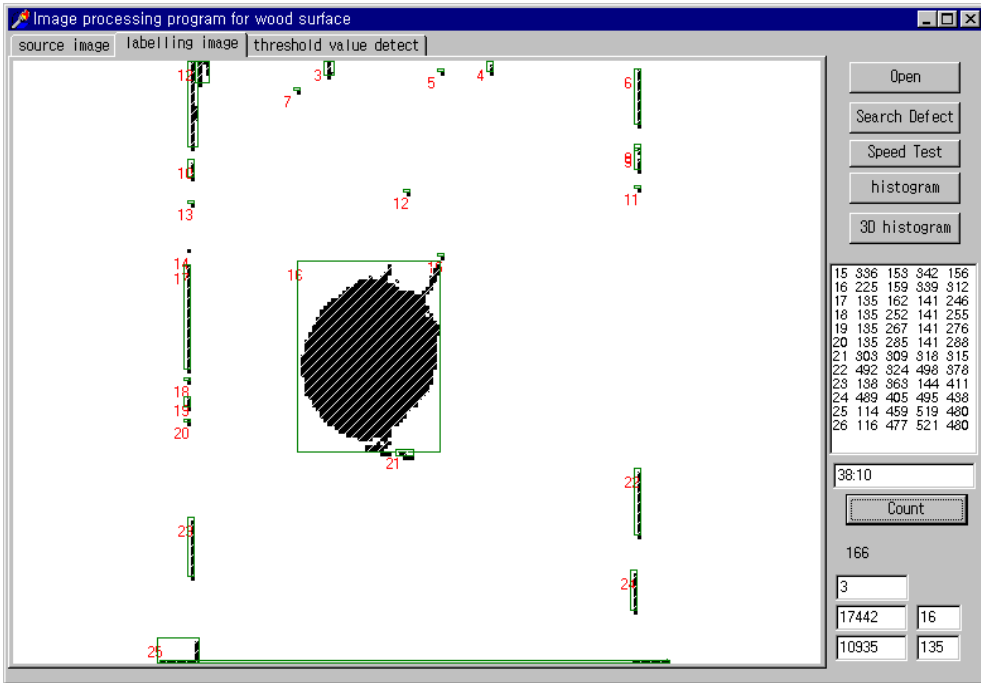


그림 30. 화상처리 프로그램.

### 3) 화상처리 과정

본 연구에서 적용한 화상처리과정은 다음과 같았다.

#### 가) 화상 입력과 대표값 저장

시편으로부터 640x480 크기의 256계조의 화상을 입력을 입력받은 후 원화상으로부터 x축과 y축으로 임의의 간격으로 다음과 같은 방법으로 계조값을 저장하였다.

#### (1) 격자법(Grid method)

화상을 격자모양으로 읽어내는 것은 빠른 시간에 화상을 분석하기 위하여 화상의 특징을 대략적인 정보를 얻기 위한 것으로 입력된 화상으로부터 격자크기 간격으로 계조값을 얻어 그 값을 주위의 값의 대표값으로 사용한다.

## (2) 타일법(Tile method)

단위 크기의 간격으로 타일을 형성하여 입력된 화상으로부터 타일이 포함하고 있는 계조값들의 평균을 내어 대표값으로 사용하고 이것을 격자법과 같은 방식의 처리과정을 거친다.

### 나) 시편과 배경의 분리

단위 간격의 세로축 중심을 기준으로 시편의 최외각부위를 따라 배경과 분리를 한다. 한편 그림 31에서 볼 수 있듯이 조명에 의해 발생하는 그림자나 시편 자체의 왜곡된 형태(건조 중 틀어짐 등) 때문에 시편과 배경의 경계부분을 결점으로 인식하는 경우가 있어, 화상처리 시에는 시편이 바르게 이송될 수 있는 물류시스템이 요구된다.

### 다) 용이 검출을 위한 문턱값 추출

최저치의 계조값을 갖는 위치에서 결점부와 목질부 간의 문턱값을 추적한다. 여기서 문턱값의 추적은 수종, 조명의 밝기, 카메라 노출도에 따라 화상의 계조값에 차이가 생기므로 경험적으로 문턱값을 판단하는 것보다 화상처리시스템에서 문턱값을 추출하는 것이 주위의 영향을 받더라도 현장에서 발생할 수 있는 문턱값의 변화에 대해 안정적으로 처리할 수 있다.

## 라) 라벨링과 정보저장

추출된 문턱값을 이용하여 문턱값을 기준으로 채움 과정을 통한 라벨링을 실시한다. 라벨링은 결점간의 분리, 인식을 가능하게 하는 핵심 과정으로 처리시간도 비교적 길어 화상처리시스템의 속도를 좌우하는 부분이다. 보통 라벨링을 할 때에 이치화상을 작성한 후 라벨링을 실시하지만 문턱값을 이용하여 라벨링된 이치화상을 작성한다. 체인코드를 이용한 라벨링도 방법 중의 하나이다.

각 라벨링 된 화상에는 라벨의 시작위치, 최소의 직사각형으로 용이를 포함하고 있는 시작점과 끝점, 결함의 면적 등의 자료가 저장되어 있다. 이러한 자료들이 화상처리의 목적코드라고 할 수 있고, chain coding을 실시할 경우 더 많은 정보의 획득이 가능할 것이며, 이러한 정보들은 목재가공공정에서 유용하게 이용될 것으로 사료된다.

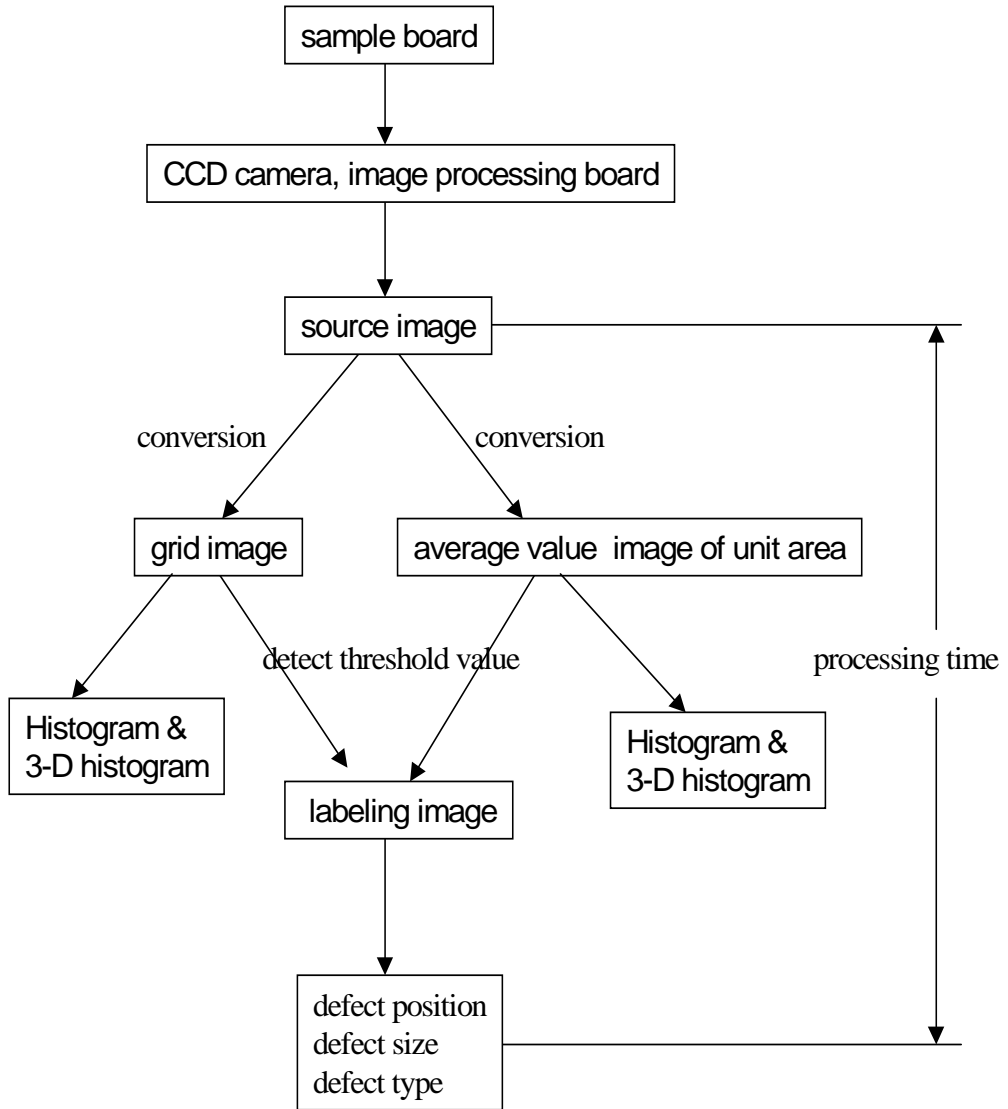


그림 31. 화상처리용 순서도.

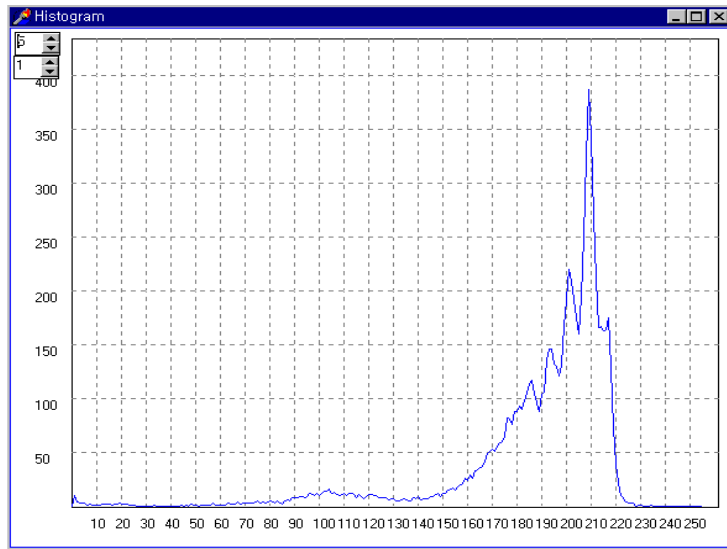


그림 32. Histogram.

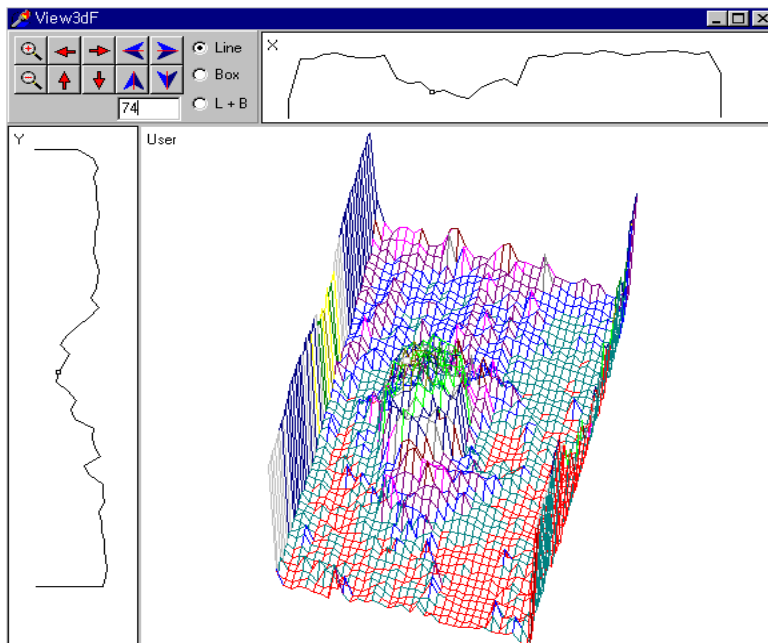


그림 33. 3-dimensional histogram.



#### 4) 문턱값 자동 검출 알고리즘

목재표면상에 존재하는 계조값의 경향을 분석하여 문턱값을 추출하는 방법으로 문턱값 지정방법에는 여러 가지가 있다.

히스토그램법은 화상처리작업에서 손쉽게 화상을 파악할 수 있는 자료로 각 결함들의 분포를 알 수 있으며 결함의 인식을 위한 문턱값 판정에 우수하다. 그림 33은 비교적 용이가 큰 시편에 대한 히스토그램으로 히스토그램상에서 용이의 분포를 쉽게 알 수 있다. 그러나 규모가 작은 크기의 용이를 갖는 수종은 히스토그램 상에 분포하는 계조값의 분포량이 적어 용이 검출이 힘들고 다른 결함과 중첩되어 분포할 경우 결함의 추출이 어려워진다는 단점이 있다.

또한 일정 영역의 화상을 분석하여 얻고자 하는 정보를 최대한 추출하여 시편의 전반적인 특징을 파악하는 표본법도 있다. 목재표면상에 존재하는 작은 영역으로부터 결함들의 문턱값을 추출하여 시편의 전 부분에 대해 적용시키는 방법으로 표본의 선택방법에 따라 문턱값의 변위가 심하다는 단점이 있다.

그림 33은 시편의 3차원적 히스토그램이다. 분석적인 면에서 3차원 히스토그램은 격자법과 타일법에 존재하는 2차원적인 대표값의 분포를 3차원적으로 표현한 것으로 3차원적인 확대, 축소, 회전, 이동 등의 작업을 통하여 특정 지점의 x축과 y축의 히스토그램을 얻을 수 있어서 목재 표면의 계조값의 분포를 한눈에 파악할 수 있다.

본 연구에서는 이상과 같은 방법들을 조합하여 다음과 같은 문턱값 자동 검출 알고리즘을 개발하였다.

우선, 원화상으로부터 일정간격으로 가장 낮은 계조값을 나타내는 지점을 인식하고, 인식된 위치의 y축을 기준으로 x축 상에 분포하는 대표값들의 계조분포를 얻어낸다. 그림 34는 목재표면상의 계조값이 최저점 d를 갖는 x축상의 계조분포도로 그림 33의 3차원 히스토그램의 x축 단면이다.

먼저 해당 x축에 존재하는 계조값의 평균값을 구한 후, 평균값의 직선 AA'를 작성한다. 직선 AA'와 계조값곡선의 교차점으로부터 頂點方向으로 추적해 나가서, 최고점 b와 b'를 구해 낸다. 최저점 d와의 정점 b와 직선을 작성한 후 계조값 분포 곡선의 임의의 한 지점과의 수직거리가 가장 큰 지점인 점 a를 구해낸다. 점 a는 점 b 방향으로 급격한 계조값의 증가가 이루어지는 곡선의 시작점으로 용이의 경계부위는 점 a와 점 b사이에 존재하게 된다. 따라서 용이의 검출 문턱값이 두 점사이에 존재함을 알 수 있다.

그림 32에서 보면 계조값 134정도에서 용이와 목리와의 구분이 된다는 것을 알 수 있다. 계산해 보면 점 a와 점 b사이 거리의 1/3지점임을 알 수 있으며 용이의 검출 문턱값 지점은 점 c인 것이다.

또한 격자법의 점 c가 3분의 1지점에서 존재하지만 타일법에서는 약간 더 높은 7분의 3지점에 분포한다는 사실을 반복 실험을 통하여 알 수 있었다. 이것은 타일의 평균값을 취하면서 계조값의 분포곡선의 굴곡이 줄어들고 부드러워지면서 직선 bd와의 관계가 변하게 되기 때문인 것으로 사료된다.

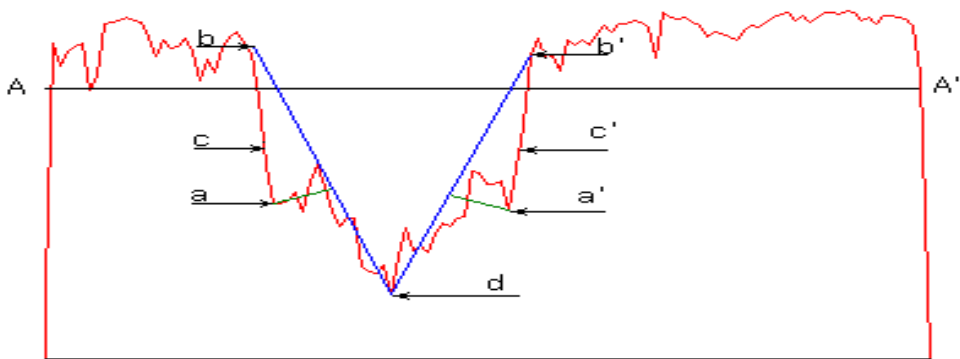


그림 34. 문턱값의 결정

(A-A': average line, a-a': start point increase gray value, b-b': pick point, c-c': low point of 3 division between a and b, d: valley point).

## 5) 결함 검출의 정확도와 처리속도의 측정

화상처리에 의한 용이의 검출의 정확도는 다음과 같은 방법으로 측정하였다.

(가) 격자법과 타일법에 대해 격자 크기와 타일 크기를 1x1에서 10x10까지와 20x20의 크기로 설정하여 화상처리프로그램에서 계산되어진 문턱값을 적용시켜서 결점을 추출한다. 이렇게 추출된 결점들의 정보는 용이의 면적, 용이를 둘러싼 최소면적 사각형의 시작점과 끝점이다. 이러한 정보를 이용하여 간격 1x1 크기를 기준으로 하여 간격 증가에 따른 처리속도 변화와 인식 정확도를 함께 분석하므로써 가장 효율적인 간격을 알아본다.

(나) 그림 30을 보면 용이 검출을 위한 문턱값은 134임을 알 수 있다. 문턱값 134를 격자나 타일의 크기를 증가하여 적용시키면 간격의 크기에 따라 면적의 변화를 알 수 있을 것이다. 간격이 커짐에 따라 결함의 화소수는 줄어드는 경향이 기대된다.

또한, 용이의 검출시 소요되는 시간을 측정하기 위해 100회 반복하여 실행하는데 소요되는 시간을 측정하였다. 격자나 타일의 크기가 증가함에 따른 속도의 변화를 알아보고 격자법과 타일법의 속도차를 비교하여 가장 적절한 간격과 용이 검출법을 판단하고자 하였다.

## 마. 제재목 관련 정보의 database화

database에 저장되는 자료는 라벨, 위치정보와 8개 특성의 자료로 화상처리 프로그램에서 생성된 자료를 database화 하였다(그림 36). 이러한 제재목에 대한 수종별 database화의 장점은 수종별 자료 축적이 가능하고 결함인식률을 높일 수 있도록 알고리즘을 개선해 나갈 수 있는 자료를 축적하여 최적의 결함인식조건을 기대할 수 있다.

또한 결함인식률이 높아졌을 때, 실제 재단공정에 투입하여 자동재단을 유도할

수 있으며(그림 35), 이미 구축된 database를 기반으로 하여 재단공정에 목재가 투입되기 전에 가상 모의실험을 실시한다면 재단수율을 예측 할 수 있을 것이다.

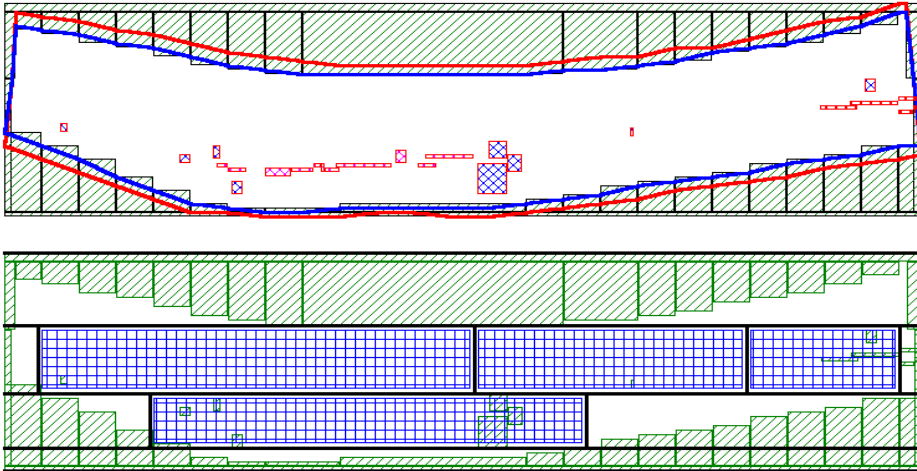


그림 35. Lumber database program.

Search Defect

Defect defect    make DBF    Quit

```

q12 : 79 8 12 0
      42 4 10 0
q21 : 70 5 2 0
      29 5 1 0
q22 : 52 5 4 0
      27 5 1 0
q31 : 86 6 4 0
      34 5 1 0
q32 : 69 6 2 0
      33 6 5 0
  
```

NUM	X1	Y1	X2	Y2	PIXAR	RECAR	ARRA	GRAY	IDEN	XLEN	YLEN	DIA	XLVL	SPECIES	BNUM	RST
35	911	110	926	111	17	32	53	152		15	1	15	15	q	q32	
37	946	121	958	122	22	26	85	154		12	1	12	12	q	q32	
38	959	167	966	168	12	16	75	154	c	7	1	7.1	7	q	q32	
39	967	110	986	112	38	60	63	142		19	2	19.1	9.5	q	q32	
40	975	165	982	166	11	16	69	148		7	1	7.1	7	q	q32	
43	1018	166	1049	172	96	224	43	147	c	31	6	31.6	5.2	q	q32	
44	1106	241	1119	242	17	28	61	151		13	1	13	13	q	q32	
46	1134	175	1155	184	112	220	51	152	k	21	9	22.8	2.3	q	q32	
47	1157	165	1163	166	12	14	86	156		6	1	6.1	6	q	q32	
48	1162	173	1167	176	12	24	50	157		5	3	5.8	1.7	q	q32	
51	1206	167	1218	168	20	26	77	151		12	1	12	12	q	q32	
52	1216	143	1226	155	78	143	55	134	k	10	12	15.6	0.8	q	q32	
54	1228	164	1233	166	12	18	67	151		5	2	5.4	2.5	q	q32	
55	1234	129	1259	130	27	52	52	153		25	1	25	25	q	q32	
57	1250	164	1265	165	18	32	56	156		15	1	15	15	q	q32	
59	1322	163	1340	164	34	38	89	139	c	18	1	18	18	q	q32	
65	1474	91	1482	92	14	18	78	116	c	8	1	8.1	8	q	q32	

그림 36. Lumber database.

### 3. 결과 및 고찰

가. 이송중 시편의 이송속도가 제재목 형상인식에 미치는 영향

#### 1) 라인스캔카메라

이송속도에 따른 입력되는 화상은 그림 37과 같이 제재목의 길이와 폭의 비율이 일치하도록 입력받으려 할 때, 이송속도 0.8m/min로 이송시켰을 때 적절한 화상이 입력되었다. 그러나 그림 36과 같이 2.5m/min으로 이송시켰을 때는 화상의 찌그러짐이 심하게 일어나며 화상처리를 했을 때 그림 37과 비교해서 인식되어야 할 결합정보의 절반정도가 손실됐다. 실제로 라인스캔카메라는 고해상도의 화상을 획득할 때 이용되지만 25m/min 정도의 절삭속도를 갖는 재단공정이나 다량의 제품을 빠른 시간 내에 검사해야 하는 품질관리라인에서는 스캔속도 0.8m/min는 상당히 부족하다고 할 수 있다.

#### 2) 영역카메라

영역카메라는 화상을 입력받는 목적으로 초당 20장 정도의 화상을 입력받을 수 있다. 그러나 화상처리알고리즘을 삽입시켰을 때, 초당 10장 정도의 화상을 입력받을 수 있었다. 컨베이어의 속도를 주파수 60Hz와 120Hz로 지정하고, 길이 1.1m 육송을 이송시켰을 때 5.6초와 2.8초가 소요됐다. 속도로 환산하면 60Hz일 때 11.7m/min, 120Hz일 때 23.5m/min이다. 실제로 영역카메라로부터 전송되어지는 화상의 크기는 640x480화소이다. 그러나 23.5m/min으로 이송되는 시편의 유효해상도는 640x56화소이고 이송속도 11.7m/min일 때 640x28화소이기 때문에 이송속도를 더 높여도 충분히 입력을 받을 수 있을 것이다. 본 연구를 위해 컨베이어의 이송속도를 설계하였을 때 일정속도 이상이 요구되지 않을 것으로 예상하여 최

고속도가 23.5m/min로 설계하였다. 그러나 영역카메라의 화상입력속도 및 화상처리속도를 감안하면 이송속도를 높이는 것도 가능할 것으로 판단된다.

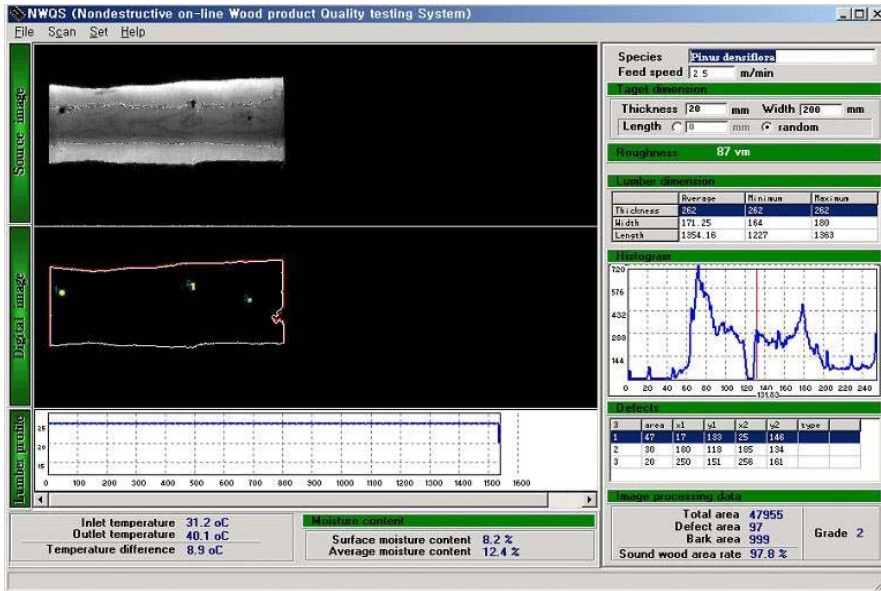


그림 36. Line scan camera에 의한 화상(feed speed: 2.5m/min).

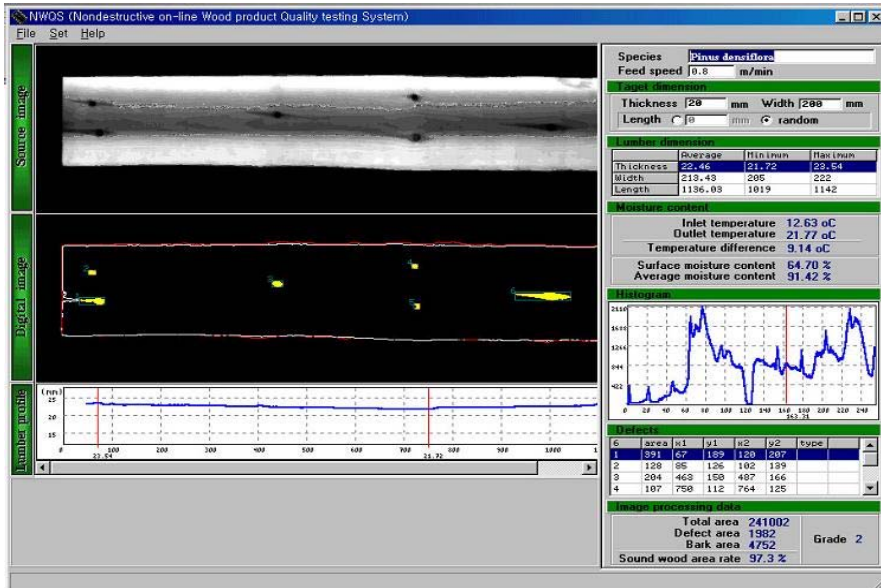


그림 37. Line scan camera에 의한 화상(feed speed: 0.8m/min).

## 나. 카메라 백라이트기능의 제재목 화상처리에 미치는 영향

이송속도가 높아지면서 백라이트기능을 가지고 있는 카메라자체의 밝기보정이 화상에 상당한 문제를 발생시켰다. 그림 38은 육송을 23.5m/min으로 이송시켰을 때 프로그램화면이고, 그림 39는 11.7m/min으로 이송시켰을 때의 프로그램화면이다. 그림 39와 그림 40의 프로그램화면의 오른쪽을 비교해보면 급격한 밝기의 변화가 관찰된다. 또한 상대적으로 고속인 그림 40이 밝기의 변화부위가 넓게 분포하는 것을 알 수 있다. 이것은 카메라의 백라이트기능이 밝기보정을 완료하는데 일정시간이 소요되는데 상대적으로 고속으로 이송되는 목재에 그 패턴이 남게 되는 것이다. 흑색고무재질의 컨베이어벨트와 순간 진입하는 밝은 색의 제재목사이에 계조수준차가 많기 때문에 백라이트기능이 작동하면서 발생하게 된다. 그림 40는 화이트밸런싱 처리를 한 화상으로 밝게 나타난 부분이 제거되었지만 색상값이 255를 초과하여 목질부의 패턴정보는 사라져 있다. 그러나 컨베이어벨트의 색상이 전체적인 밝기가 균일함을 볼수 있으며, 화상처리시 일정한 문턱값을 유지할 수 있다는 장점이 있기 때문에 필히 화이트밸런싱 처리루틴은 알고리즘에 포함되어야 한다.

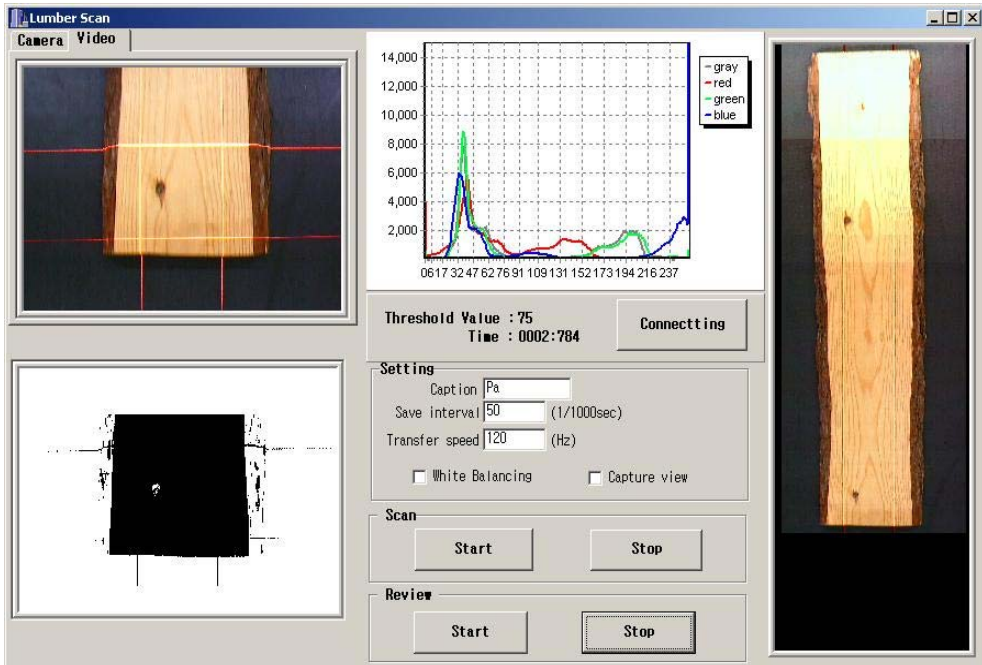


그림 38. Area camera에 의한 화상(feed speed: 23.5m/min).

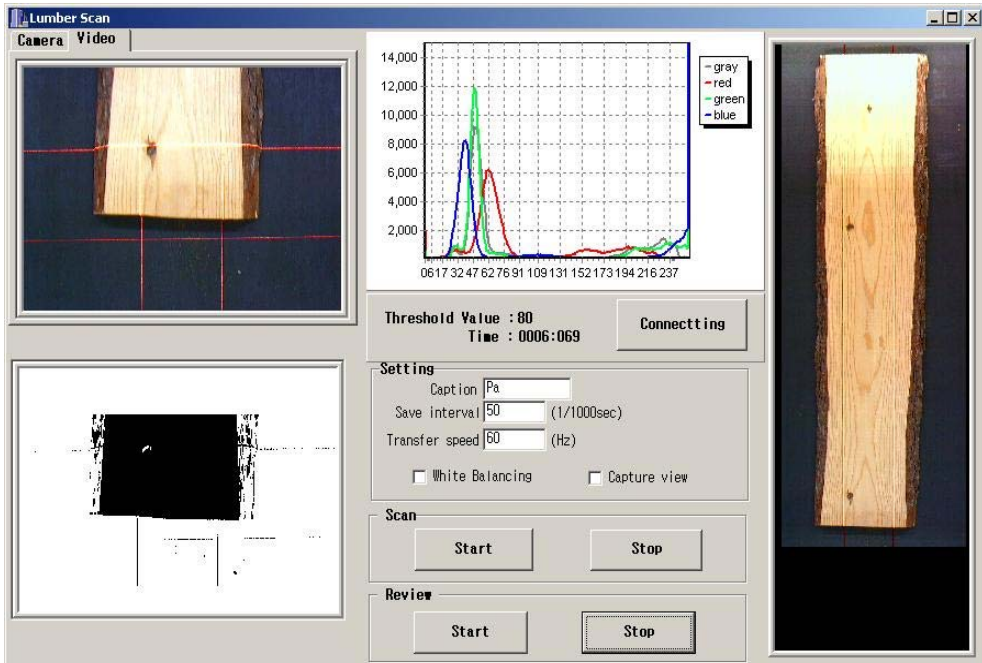


그림 39. Area camera에 의한 화상(feed speed: 11.7m/min).



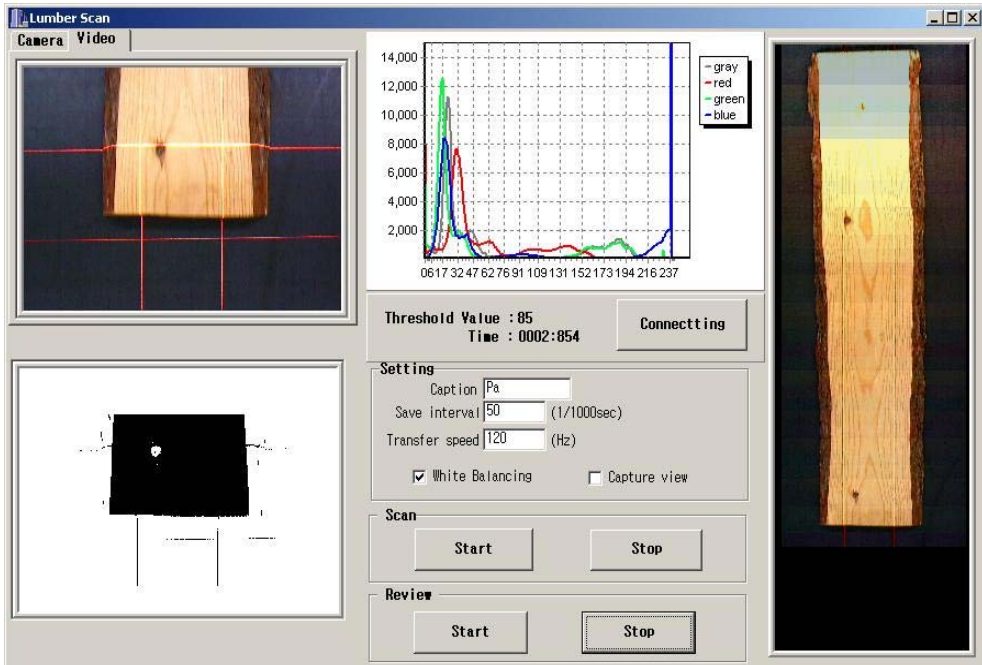


그림 40. White balancing treatment후의 화상(feed speed : 23.5m/min)

다. 문턱값 자동 검출 알고리즘의 효과

#### 1) 결함 검출의 정확도

표 1에서 격자크기 1x1화소를 적용하여 얻은 자료를 정확한 용이의 검출이라고 가정한 상태에서 그림 41의 용이의 면적을 보면 타일법은 타일 크기의 증가에 따라 면적이 비교적 일정한 비율로 서서히 감소하였다. 그러나 격자법에서는 격자크기 증가에 따른 면적변화가 불균일함을 알 수 있었고 용이를 둘러싸는 최소크기의 사각형 면적에서는 타일법의 경우 타일크기 5x5일 때까지는 일정한 경향을 가지고 증가하다 6x6부터는 격자법과 같이 상하로 변화하였다. 한편, 격자법은 그 진폭의 변화가 심하여 데이터의 신뢰도가 떨어짐을 알 수 있었다. 따라서 타일법이 격자법보다 정확도가 우수하며 자료가 안정하였다.

격자법은 입력된 화상으로부터 격자크기 간격으로 계조값을 얻어 그 값을 주위의 값의 대표값으로 사용하였고, 타일법은 타일크기 간격으로 입력된 화상으로부터 타일이 포함하고 있는 계조값의 평균을 내어 대표값으로 사용하였다. 두 가지 방법은 주위의 화소를 대신한 대표값을 사용한다는 점에서는 같지만 격자법은 타일법에 비해 주위 화소에 대한 대표성이 떨어져서 옹이 검출을 위한 문턱값을 설정할 때 그 오류의 가능성은 항상 내포하게 되는 것이다.

표 1과 표 2를 보면 알 수 있듯이 격자나 타일의 크기에 따라 검출 옹이나 최소직사각형 면적의 차이가 생기는 것은 격자의 크기나 타일의 크기에 따라 입력되는 계조값의 분포가 달라지기 때문이다. 간격의 크기가 변함에 따라 대표값의 최저점이 다르게 존재한다는 것을 의미하며 문턱값 검출과정에 적용되는 부분도 달라지기 때문에 문턱값의 변화로 인한 면적의 차이가 생기는 것이다.

## 2) 검출 속도

격자법과 타일법의 화상처리 속도를 비교하는 것도 정확도와 함께 고려되어야 할 항목이다. 옹이의 검출속도는 표 1과 2를 보면 격자와 타일의 크기에 따라 1x1화소수에서 3x3화소수로 갈수록 급격한 처리시간의 감소가 있는 것을 알 수 있다. 그림 43에서 보는 바와 같이 격자법과 타일법의 속도차이는 확실히 구별된다. 두 방법간의 속도차이의 원인은 원화상을 대상으로 대표값을 선정하는 방법에서 격자간격으로 배열된 계조값을 이용하는 격자법과는 달리 타일 크기만큼 주위의 화소들의 계조값 평균을 계산하여 대표값으로 선정하는 과정을 한 번 더 거치기 때문에 속도의 차이가 발생했다는 것을 알 수 있다.

그림 43에서 두 방법은 일정한 속도차를 유지하면서 감소하며, 특정값에 수렴한다는 것을 알 수 있다. 격자법은 6x6의 격자크기에서부터 처리속도의 변화가 적어지며, 타일법도 6x6의 타일 크기에서부터 처리 속도의 변화가 적

어지게 된다. 미리 지정된 문턱값을 이용한 문턱값을 이용한 화상처리는 격자 크기와 타일 크기에 따른 옹이의 면적, 옹이를 둘러싼 사각형 면적, 화상처리 속도의 변화를 관찰하는 것으로, 옹이의 검출을 위한 적정 문턱값은 그림 42를 보면 계조값 구간 131~136에서 존재함을 알 수 있다. 본 논문에서는 문턱값 134를 옹이 검출에 적절한 문턱값으로 판단하여 격자 크기와 타일의 크기에 따라 각각 문턱값 134를 적용하여 화상처리를 실시하였다.

격자법과 타일법 모두 옹이의 면적이 간격의 크기가 증가함에 따라 감소되었다. 동일한 문턱값을 적용하여도 간격의 크기에 따라 면적의 차이가 생기는 것은 격자의 크기나 타일의 크기에 따라 입력되는 계조값이 다르게 분포하며, 처리되는 자료도 다르기 때문에 면적의 차이가 생긴다. 그러나 타일법은 그 면적들의 평균값이므로 격자법에 비해 면적의 차이가 심하게 나지 않는다. 처리속도는 옹이의 검출 속도와 마찬가지로 계속 감소하고 있는데 간격 크기 5x5에서 처리속도의 감소량이 일정하였다.

옹이의 문턱값 검출 속도는 옹이의 검출 속도에서 미리 주어진 문턱값을 이용한 옹이 검출속도를 감산한 값으로 옹이를 위한 문턱값을 검출하는데 소요되는 시간이다. 표 2.1을 보면 1x1화소수에서 격자법과 타일법의 처리속도가 같은 이유는 격자 1x1화소수는 타일 1x1화소수와 같고, 1x1화소수는 원화상을 의미하므로 그 속도의 차이는 없다. 격자법의 문턱값 검출 속도의 꾸준한 감소가 있지만 7x7화소수와 8x8화소수에서 처리속도 감소의 효과가 매우 작아지는 경향을 볼 수 있었다.

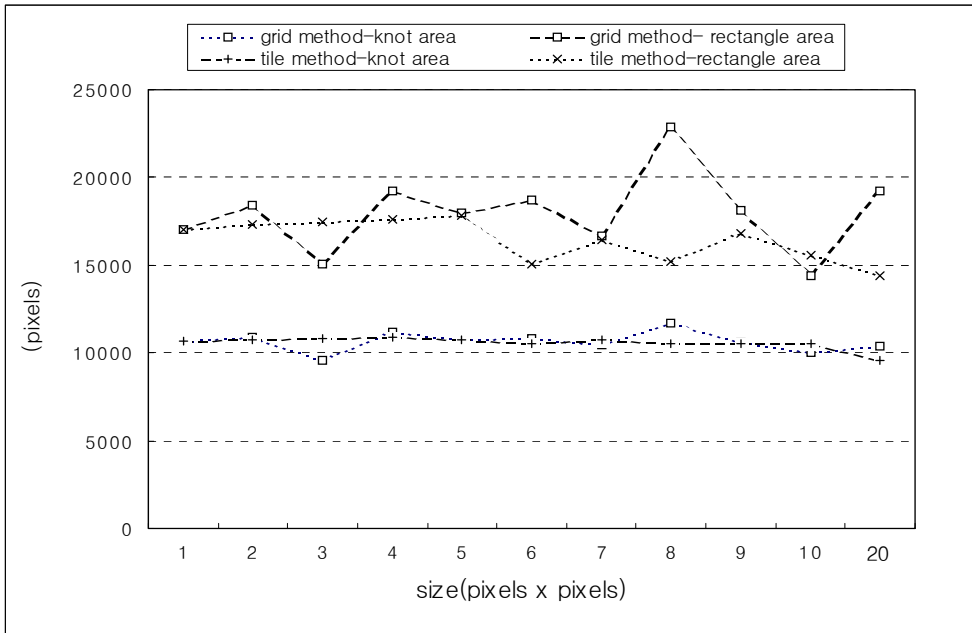


그림 41. 용이 면적.

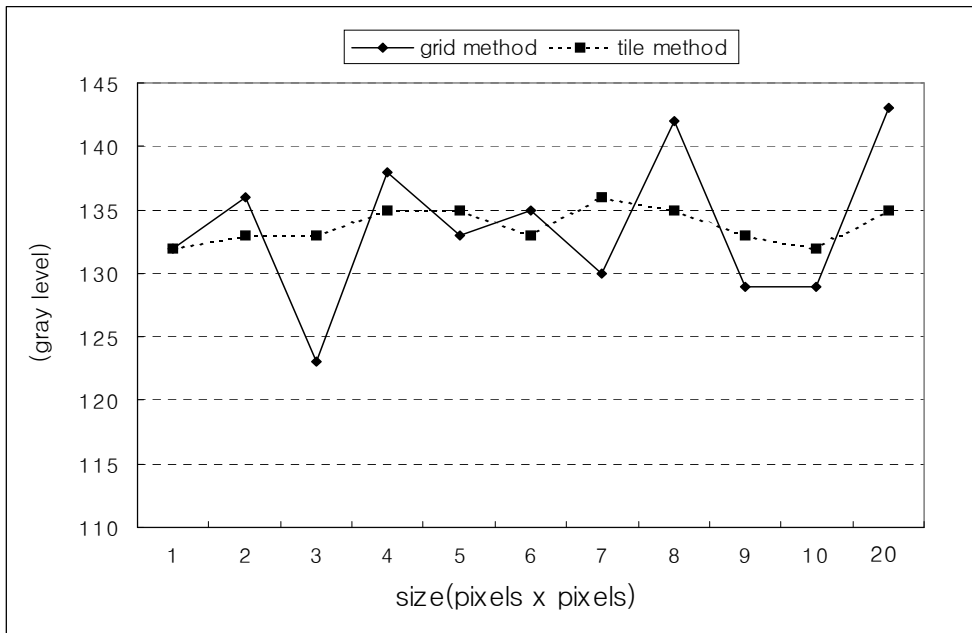


그림 42. 처리시간.

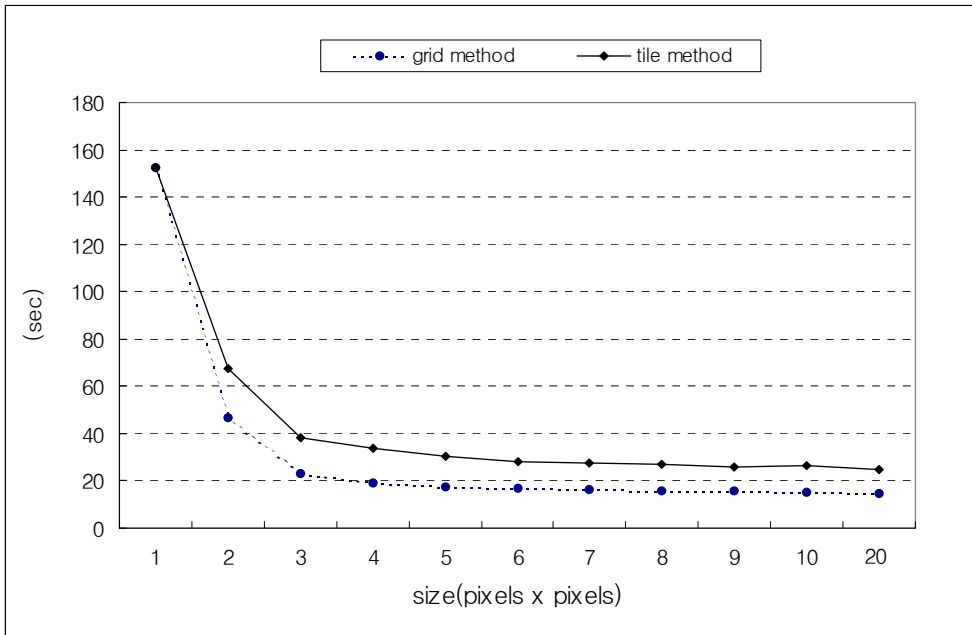


그림 43. 문턱값.

표 1. 문턱값 결정방법에 따른 결과1

Threshold Determining Method	Grid Size(pixels x pixels)										
	1x1	2x2	3x3	4x4	5x5	6x6	7x7	8x8	9x9	10x10	20x20
Automatic determination											
Knot area(pixels)	10646	10912	9585	11152	10755	10836	10486	11648	10611	10000	10400
Rectangle area(pixels) <sup>*a</sup>	17063	18408	15048	19200	18000	18720	16660	22848	18144	14400	19200
Threshold value	132	136	123	138	133	135	130	142	129	129	143
Processing time <sup>*b</sup> (sec)	152.48	46.85	23.34	19.28	19.28	16.70	16.15	15.77	15.49	15.32	14.67
Predetermination <sup>*c</sup>											
Knot area(pixels)	11994	12048	12042	11968	12025	11916	12005	11840	11826	11600	10400
Rectangle area(pixels) <sup>*a</sup>	22098	22272	24012	22704	21876	21924	23520	22848	19278	20800	19200
Processing time <sup>*b</sup> (sec)	138.31	42.73	20.32	17.25	15.87	15.4	14.61	14.23	14.10	13.90	13.40
Processing time difference(seconds)	14.17	4.12	3.02	2.03	1.81	1.30	1.54	1.54	1.39	1.42	1.27

\*a : The area of the smallest rectangle completely enclosing a knot

\*b : Total processing time to execute the algorithm 100 times

\*c : Predetermined threshold value = 134

표 2. 문턱값 결정방법에 따른 결과2

Threshold Determining Method	Tile Size(pixels x pixels)										
	1x1	2x2	3x3	4x4	5x5	6x6	7x7	8x8	9x9	10x10	20x20
Automatic determination											
Knot area(pixels)	10646	10764	10845	10864	10775	10512	10780	10560	10530	10500	9600
Rectangle area(pixels) <sup>*a</sup>	17063	17328	17442	17632	17826	15048	16464	15232	16848	15600	14400
Threshold value	132	133	133	135	135	133	136	135	133	132	135
Processing time <sup>*b</sup> (sec)	152.48	67.45	38.10	33.78	30.65	28.13	27.80	26.97	26.15	26.31	24.72
Predetermination <sup>*c</sup>											
Knot area(pixels)	11994	11992	12042	12064	12100	12094	11907	12032	11745	12100	12000
Rectangle area(pixels) <sup>*a</sup>	22098	23048	21546	22016	22100	21924	21168	21504	19278	22100	22400
Processing time <sup>*b</sup> (sec)	138.31	42.73	20.32	17.25	15.87	15.40	14.61	14.23	14.10	13.90	13.40
Processing time difference(seconds)	14.17	24.72	17.78	16.53	14.78	12.73	13.19	12.74	12.05	12.41	11.32

\*a : The area of the smallest rectangle completely enclosing a knot

\*b : Total processing time to execute the algorithm 100 times

\*c : Predetermined threshold value = 134

라. 제재목 형상과 표면결함인식 알고리즘의 효과

1) 영역 특성들의 결함인식 정확도

표 3은 육안을 통하여 인식된 결함영역의 8가지 특성에 대한 범위를 보여주고 있다. 일례로 소나무의 경우 대상 화상에서 추출된 결함영역 438개중에서 35개가 육안에 의해 옹이로 인식되었다. 그리고 옹이로 판정된 결함영역의 면적이 148-5450화소이므로 NoPix를 인식 알고리즘에 적용할 경우 일단 NoPix가 148-5450의 범위에 있는 영역은 옹이로 간주되게 된다.

전술한 방법으로 각 특성별로 결함에 대해 결함인식을 시행한 결과 수종별 판정 오류율은 그림 44와 같았다. 소나무의 경우 결함영역의 면적(NoPix)과 결함 영역을 둘러싼 사각형의 면적(RecArea) 및 사각형의 송재방향 길이(YLength)의 판정 오류율은 6%미만으로 3가지의 특성이 소

나무 표면에 존재하는 옹이의 인식에 매우 우수함을 알 수 있었다. 또한 상수리나무의 경우에도 소나무와 마찬가지로 NoPix, RecArea, YLength가 비교적 우수한 옹이 인식능력을 보여주고 있다. 그러나 상수리나무 활엽과 서어나무 수피에 대해서는 모든 특성에서 비교적 인식능력이 불량한 것으로 나타났다.

## 2) 영역 특성의 결합

주 결합 영역의 인식 정확도를 높이기 위해서 복수의 영역 특성을 순차적으로 적용하였다. 이때 영역 특성의 적용 순서는 그림 2.26의 결과를 바탕으로 다음의 두 가지 방법으로 시도하였다. 첫 번째 방법은 가장 판정 오류율이 낮은 특성부터 순차적으로 적용하는 것이며, 두 번째 방법은 우선 가장 낮은 오류율을 기록한 특성을 적용한 이후 나머지 7가지 특성을 모두 적용하여 그중 가장 낮은 오류율을 보이는 특성을 선정하며, 이와 같은 방법으로 그 다음의 적용순서를 결정하는 것이다. 두 가지 방법을 모든 수종과 결합에 적용해본 결과 소나무 옹이와 상수리나무 옹이, 그리고 서어나무 수피에서는 첫 번째 방법이 우수하였으나 상수리나무 활엽에서는 오히려 두 번째 방법이 우수하였으며, 각 수종과 결합종류에 따른 영역 특성 적용순서는 표 4와 같다.

표 3. *Pinus densiflora*, *Quercus acutissima*와 *Carpinus laxiflora*의 주요 결함

Species	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Quercus acuttissima</i>		<i>Carpinus laxiflora</i>
Main defects	Knot	Knot	Check	Bark
Total number of defects	438	465	465	317
Number of main defects	35	35	43	32
NoPix	148-5450	24-1217	10-1023	10-12895
RecArea	330-26508	35-3224	12-6909	12-24624
AreaRatio(%)	8-62	28-80	9-90	22-90
GraLevel	101-160	83-152	66-156	80-177
XLength	24-402	5-81	4-328	3-320
YLength	9-187	4-61	1-29	2-107
DLength	32.56-405.35	7.07-81.10	5.00-329.00	3.61-325.21
YXRatio	0.10-1.41	0.049-342.86	2.38-75.00	0.07-2.50



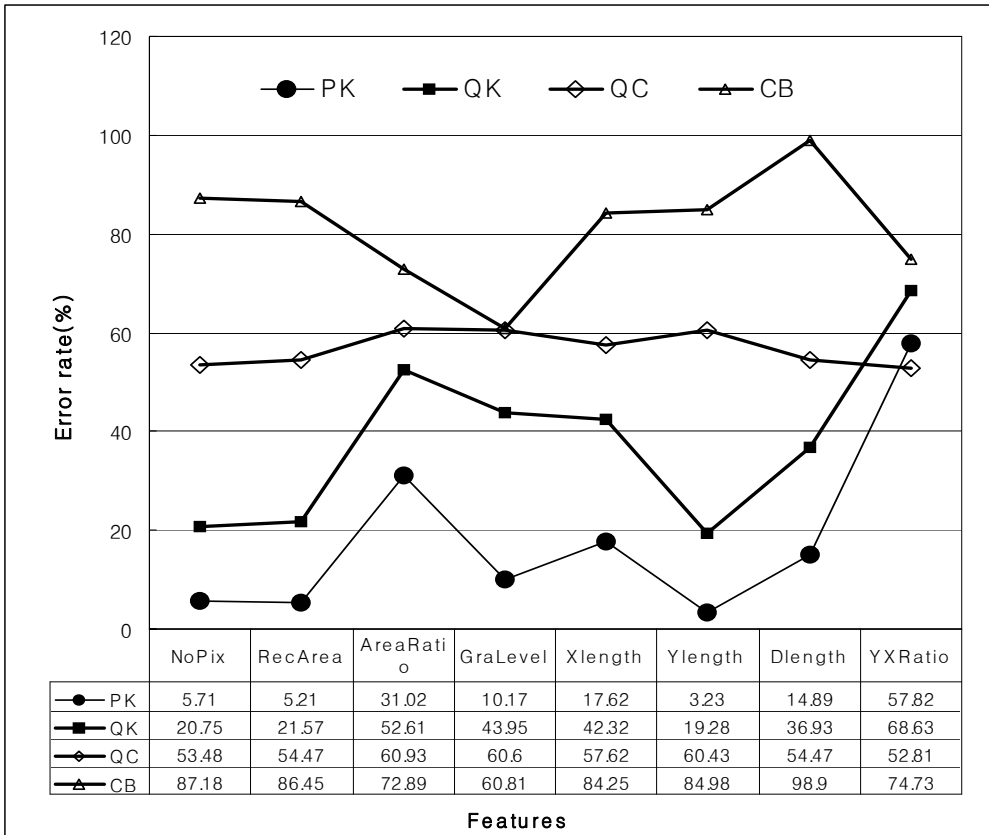


그림 44. 인식 오차율.

표 2.4. 특성치 조합에 의한 효과

Species	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Quercus acuttisima</i>		<i>Carpinus laxiflora</i>
Target defects	Knot	Knot	Check	Bark
Stage 1	YLength	YLength	YXRatio	GraLevel
Stage 2	RecArea	NoPix	YLength	YLength
Stage 3	NoPix	RecArea	XLength	XLength
Stage 4	GraLevel	DLength	GraLevel	AreaRatio
Stage 5	-	XLength	NoPix	NoPix
Stage 6	-	GraLevel	AreaRatio	-
Stage 7	-	AreaRatio	-	-

전술한 방법을 적용한 결과는 표 6과 같았으며, 소나무 옹이와 상수리나무 옹이의 판정 오류율은 1%미만으로 매우 우수한 것으로 나타났다. 이와 같은 사실은 소나무와 상수리나무의 옹이가 다른 결함들에 비하여 매우 특징적인 영역 특성을 지니고 있기 때문인 것으로 판단된다. 그러므로 보다 충분한 시편을 확보하여 많은 양의 자료를 축적한다면 해당 수종과 결함에 한하여 목재산업현장에 적용할 수 있을 것으로 기대된다. 상수리나무 할렬의 경우에도 약 12%의 판정 오류율을 보여주고 있어 비교적 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

그러나 서어나무 수피의 경우에는 32%이상의 높은 오류율을 나타내어 새로운 인식방법이 요구되었다. 이처럼 높은 오류율의 주 원인으로서는 서어나무 표면에 존재하는 수피의 크기가 매우 다양하다는 사실에서 기인한 것으로 판단된다. 즉, 표 3의 서어나무 수피의 결함 영역 면적(NoPix)을 보면 최대와 최소가 각각 12895화소와 10화소로 다른 수종과 결함에 비하여 매우 그 범위가 넓음을 알 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 서어나무 수피의 경우 각 결함영역을 표 2.5와 같이 우선 영역의 면적(NoPix)에 따라 2000화소 이상과 100화소 미만 및 그 중간 범위로 나누어 결함인식을 실시하도록 하였다. 그 결과 표 6의 결과에서 볼 수 있듯이 오류율을 10%수준으로 낮출 수 있었다. 따라서 결함인식의 정확도를 높이기 위해서는 인식 대상수종과 결함에 따른 특징을 정확하고 세밀하게 파악하는 것이 필수적인 것으로 사료된다.

표 5. *Caripnus laxiflora* 입피의 단계적 특성치 조합을 통한 인식

RecArea size	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5
>=2000	DLength 73-325.21	-	-	-	-
<2000 >=100	NoPix 117-598	GraLevel 108-239	AreaRatio 22-66	-	-
<100 >=1	YXRatio 0.40-2.25	GraLevel 112-177	XLength 3-12	NoPix 10-43	AreaRatio 49-90

표 6. 옹이 인식의 오차율

Species	Stepwise	Target defects	Error rates(%)		
			Minimum	Maximum	Average
<i>Pinus densiflora</i>	No	Knot	0.00	1.02	0.99
<i>Quercus acutissima</i>	No	Knot	0.00	3.75	0.93
		Check	0.00	38.95	12.09
<i>Carpinus laxiflora</i>	No	Bark	16.67	60.00	32.86
	Yes	Bark	3.80	25.00	10.71

### 3) 신경망이론을 이용한 결함판별

총 9가지의 특성치를 대상으로 88개의 라벨 중에서 60개의 라벨을 대상으로 학습을 실시하고, 28개의 라벨은 테스트로 지정하였다. 각 특성치의 에러율은 표 7과 같이 라벨에 반응하는 특성치가 있고 그렇지 않은 특성치가 있다. X자로 표시된 부분은 반응이 불량하게 일어나서 다음 특성치의 조합에서 배제하도록 하였다.

표 7. 각 특성치 별 인식 오차율(%)

	avgGLEv	xLen	yLen	dLength	xyRatio	area	rarea	arRatio	eLong	GStd
error rate(%)	11.12	9.45	8.24	10.19	7.5	10.84	11.2	10.26	8.8	11.12
epoch		100,000	100,000		210,000				250,000	

표 8. 4가지 특성치의 조합

#hidden layer	#node	learning rate	epoch	error rate(%)
1	5	0.5	100,000	8.03
1	8	0.3	150,000	8.08
2	6 / 3	0.5	250,000	7.6
2	6 / 6	0.2	100,000	7.3

1차 학습에서 선정된 4개의 특성치를 전부 사용하여 입력층에 4개를 설정하고 표 2.8과 같이 중간층을 설정하였지만 좋은 결과를 얻지 못했다. 학습도중에 에러율이 급상승하는 경향이 있어서 학습률을 낮추었지만 교정되지 못했다.

표 9는 4개의 특성치를 1조에 2개의 특성치를 조합하여 학습을 시켰을 때, XYRate와 eLong가 3.5%로 가장 좋은 판정률을 보였다.

XYRate+eLong+yLen을 조합하였을 때 8.2%의 에러율을 나타내었다. 따라서 라벨링 정보에서 가로길이와 세로길이의 비율과 원형도를 이용하여 결합을 판정하였다. 28개의 테스트용 데이터를 이용하여 실제 에러율을 구해본 결과 6.5%의 판정오류가 발생하였다. 이러한 결과는 목재표면에 패인 흔적이 발생하여 화상처리시 조명에 의한 그림자로 인해 화소값의 저하로 발생하였고 수피와 목질부에서 발생하는 경계선을 할렬로 오인하여 6.5%의 판정오류가 발생한 것으로 추정된다.

표 9. 두 가지 특성치 조합에 대한 학습효과

	Layer	#node	learning rate	epoch	error rate(%)
XYRat-YLen	1	8	0.5	700,000	7.27
XYRat-eLong	1	8	0.5	650,000	3.5
XYRat-XLen	2	4/7	0.5	300,000	8.1
YLen-eLong	1	8	0.5	450,000	6.5
YLen-XLen	1	8	0.5	500,000	8.3
eLong-XLen	2	5/9	0.5	400,000	7.8

#### 4. 결론

화상처리시스템은 실제공정에서 이용되기 위해서는 공정에서 요구하는 처리속도를 유지하면서 결합인식의 정확도도 떨어지지 않아야 한다. 격자법은 속도는 빠르나 문턱값의 검출에서 정확도가 떨어지는 반면, 타일법은 약간의 속도 저하가 있으나 안정적인 문턱값 검출이 가능하였다. 보다 안정적으로 목재 표면의 용이를 인식하기 위해서는 타일법을 이용하는 것이 바람직하며, 타일의 크기는 5x5 - 6x6 화소가 적당한 것으로 판단되었다. 또한 격자법과 타일법에 의하여 얻어진 용이 검출을 위한 적정 문턱값은 각각 123-142범위와 131-136 범위였고, 적정 문턱값의 자동 결정에 소요된 처리시간은 격자법과 타일법에서 각각 1.94초와 14.83초가 소요되었다.

일반적으로 목재표면상의 부위에 따라 계조값이 구멍(hole), 갈라짐(split), 수피(bark), 둥근모(wane), 광물질(mineral), 용이(knot), 변색(stain), 무결점면(clear wood), 부후(decay) 등의 순으로 증가한다. 이러한 결점들은 서로 계조값의 분포가 중복되거나 얹혀있어서 계조값만으로 판단하기가 어렵다. 따라서 화상처리프로그램으로부터 출력되는 결합으로 추정되는 라벨들을 대상으로 8개의 특성치를 이용하여 결합을 검출하였다. 제재면이 뚜렷한 육송 용이의 오인률은 0.99%로 비교적 우수하였으며, 상수리나무 용이도 0.93%의 오인을 얻을 수 있었다. 그러나 상수리나무의 표면 특성에 의해 활렬의 오인율은 12.04%였으며, 서어나무의 제재

목 특성으로 인한 내수피의 에러율은 32.86%로 상당히 높은 수치를 나타내었다. 그러나 서어나무의 내수피는 재단공정에 영향을 주는 부위가 아니므로 무시하여도 좋을 것이다. 또한 신경망을 이용해서 육송과 상수리 나무를 대상으로 옹이와 활렬의 결함 판정을 하였을 때, 라벨정보에서 xyRatio와 eLong를 통하여 6.5%의 판정오류가 발생하였다.

## 제 4 절 제재 및 재단 최적화 기술 개발

### 1. 서론

소경재의 제재공정에서 수율을 높이는 방법은 구조적인 원목의 형상정보를 효율적으로 이용하는가가 관건이다. 1970년대 초에 BOF(best opening face) 개념이 도입되었을 때에 줄자나 나무자를 이용하여 수동으로 원목을 검척하여 원목에 최초로 절삭톱을 갖다대야 할 위치를 결정하였다. 절삭톱이 원목에 절삭하는 처음의 위치에 따라서 제재수율차가 발생한다.

Hallock(1962)은 소경재의 제재수율은 거단폭과 제재목의 크기에 따라 상당한 차이가 발생한다는 것을 구조적인 접근을 통하여 수학적으로 조사하였다. Taylor 등(1970)은 cant의 크기와 원목의 직경의 관계를 비교하여 cant의 크기가 최대한 크도록 제재해야 최대의 수율을 얻는다고 하였다. 현재까지 제재수율을 향상시키기 위한 많은 방법이 연구된 결과, 다양한 종류의 BOF법이 제시되고 있고, 그에 따른 장비들이 개발되고 있다. 본 연구에서는 이미 개발된 원목의 형상인식 기술을 통하여 작성된 원목형상자료를 이용하여 단순한 opening face의 개념을 이용하여 가상제재를 하고자 한다.

임산공업분야에서도 미국을 중심으로 수많은 모의실험용 software들이 개발되어왔으며, 특히 목재 재단공정(lumber cutting process)에서 원재료 이용효율 향상을 위한 모의실험 연구는 상당한 수준에 이르고 있다. 1980년대에 들어서 목재의 이용효율을 극대화하기 위해서는 제재공정에 이은 部材(part)의 재단공정 수율향상이 보다 큰 효과를 줄 것으로 기대됨에 따라 재단공정에 이은 부재 재단 공정 모형화에 대한 연구가 활발히 진행되기 시작하였다. Giese등(1982, 1983)이 종절우선 공정(rip-first process)을 모형화한 OPTYLD를 발표한 것을 시작으로 1년후에는 횡절우선 공정(crosscut-first process)을 모형화한 CROMAX라는 프로그램을 제시하므로써 이 분야 연구가 활기를 띠기 시작하였다. 1990년대 들어서 Hoff등(1991)이 개발한 GR-1st라는 모형은 기존의 공정을 모형화하던 수준에

서 한차원 상승하여 고효율의 새로운 공정을 가상, 설계하여 그 효과를 예측해낼 수 있는 것으로 이후 Thomas등(1994, 1995, 1996)에 의해 계속 새로운 version(AGARIS, ROMI-RIP, ROMI-CROSS)으로 향상되었으며, 최근 전자동 종결우선 가공시스템을 모델로 한 ROMI-RIP이라는 최신 version이 발표되기에 이르렀다.

그러나 이상과 같은 유용한 모형화 프로그램들도 목재관련 실제 정보가 없다면 무용지물이라 할 수 있다. 목재관련 정보로는 목재의 전체적 규격과 함께 목재 표면상에 나타나 있는 옹이나 부후된 부분 또는 할렬 등 결점들의 위치와 크기가 주를 이루며, 진술한 각 모형들을 설계한 연구자들은 각자 자신의 모형에 적합한 형태의 목재 database를 작성하여 투입하고 있다. 한편, 이와 같은 목재 database의 제작을 위한 새로운 기술로 Anderson등(1992)이 컴퓨터와 digitizer를 이용한 방법을 제시한 바 있으나 본 작업에는 많은 인력과 시간이 소요되므로 이 분야의 연구가 가장 활발한 미국에서도 yellow poplar(Osborn등(1992))와 red oak(Gatchell등(1992) 등 몇몇 수종의 database만이 개발되어 있는 상태이다.

재단최적화를 위한 database구축을 위해 본 연구에서는 국산재 중에서 가장 활용도가 높을 것으로 예상되고 있는 소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.)와 상수리나무(*Quercus acutissima*)를 database 개발 대상 수종으로 선택하였고, 국내에서는 원목 직경 30cm 미만의 중소경재를 이용대상이 될 것으로 판단되어 중소경재를 대상으로 선정하였다.



## 2. 재료 및 방법

### 가. 소경재의 제재 시물레이션

#### 1) 원목형상 자료

국산 육송(원구직경: 18cm, 말구직경: 15cm)을 1.8~2m길이로 횡절하여 수피가 보존된 상태의 원목을 형상인식하여 획득된 형상자료를 이용하였다.

#### 2) 제재알고리즘

원구와 말구의 형상은 taper형상을 하고 있다. 제재방법은 split taper형의 cant sawing과 full taper형의 live sawing으로 분류할 수 있다. 본 논문에서는 cant sawing을 적용하기 위해 원구형상이 말구형상의 중앙에 위치하도록 한 상태에서 톱의 절삭시작점, 톱 두께, 제재목 두께를 설정하여 절삭선을 배치한 후 원목형상 자료를 가상으로 절삭하였다(그림 45).

3차원메쉬형태로 구성된 자료를 절삭시물레이션 작업을 하기 위하여 절삭톱과 메쉬사이의 교차선을 구하는 알고리즘이 요구된다. 먼저 3차원 메쉬를 횡단면에서 1장 획득하여 나열한 후에 절삭선의 선분을 해당위치에 갖는다. 그어진 상황에서 그림 3.1과 같이 검정색선과 교차하는 지점을 단면의 좌표로 구성하여 첫 번째 평면에서 마지막 평면까지 교차지점을 구한 후에 다시 3차원의 메쉬형태로 구성한다. 수식의 계산에 의해 교차점을 구하는 것이 아니라 실제 그림판에 선을 그어 교차점을 구하여 좌표값을 계산하기 때문에 그림 45와 같이 정확도가 떨어지는 것은 사실이나 그림 46과 같은 제재목의 형상을 구할 수 있었다.

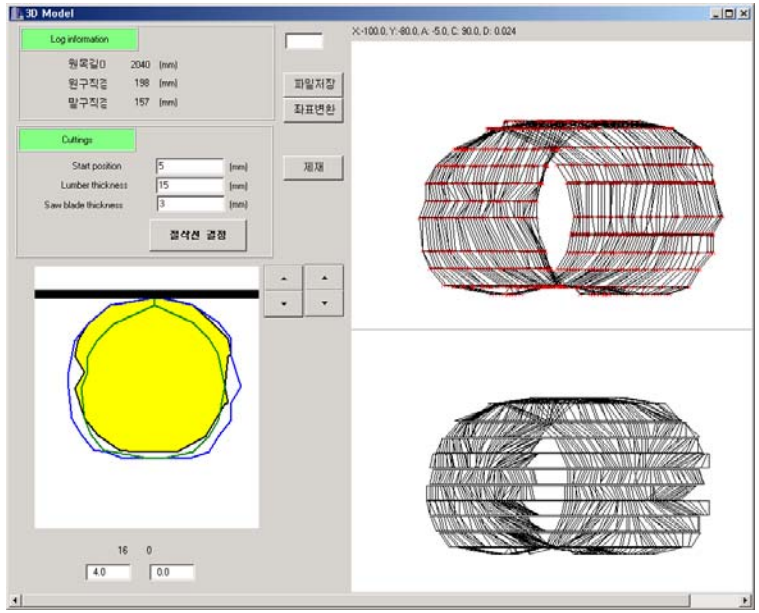


그림 45. 3D-원목모델의 제재모형.

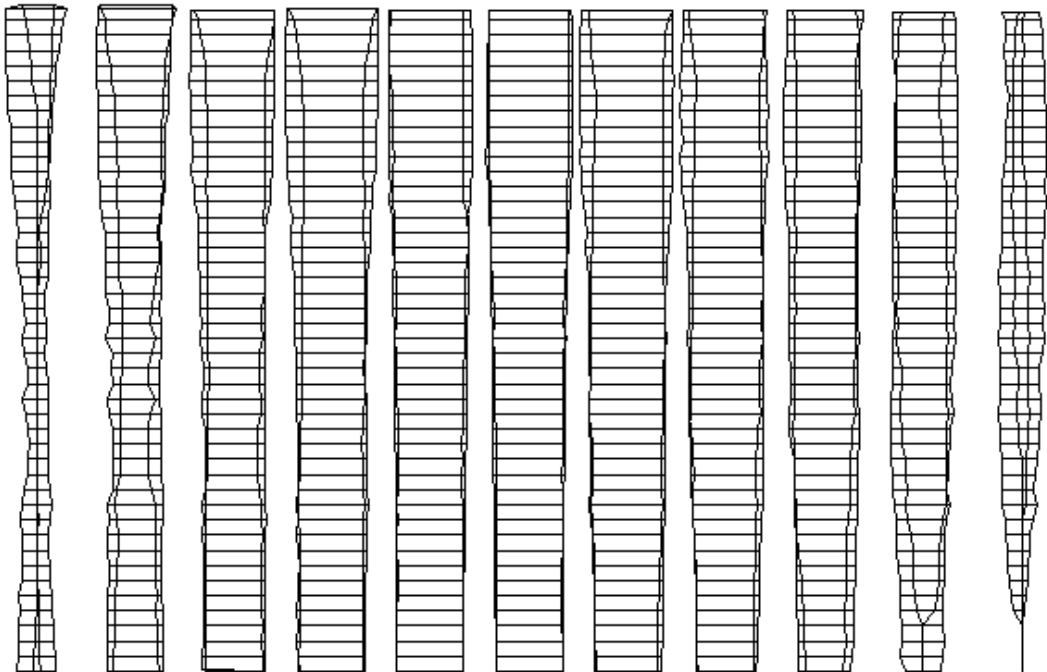


그림 46. 제재 시뮬레이션의 결과.

## 나. 제재목 database 개발

### 1) 공시목 준비

국산재에 대한 최초의 제재목 database 개발이므로 본 연구에서는 국산재 중에서 가장 활용도가 높을 것으로 예상되고 있는 소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.)와 상수리나무(*Quercus acutissima*)를 database 개발 대상 수종으로 선택하였다. 한편, 우리나라의 현 상황에서는 직경 30cm 미만의 중소경재가 주 이용대상이 될 것으로 판단되어 중소경재를 대상으로 하였다.

광주광역시 소재 제재소에서 구입한 직경 25~35cm, 길이 275~285cm 범위의 강원도산 소나무원목 16본과 전남대학교 장성연습림에서 벌채한 직경 15~25cm, 길이 145~155cm 범위의 상수리나무 원목 20본을 활제재법(live-sawing)으로 두께 2.5cm 판재(flich상태)로 제재하여 공시목을 준비하였다.

실제 제재목 database로 작성된 판재의 수는 상수리나무와 소나무 각각 420본과 252본이었으며, 참고로 뉴질랜드산 라디아타 소나무(*Pinus radiata*) 40본도 함께 database화하였다.

### 2) 결함인식 기준과 측정

제재목 표면의 결함 인식시 결함의 종류에 따라 표 10과 같이 구분하여 부호를 부여하였다. 본 결함기준은 Wiedenbeck등(1994)이 미국산 red oak에 대한 database 개발 당시 사용한 기준으로 현재 미국에서 개발되고 있는 재단 모의실험용 simulator와의 호환이 가능하여 본 연구에서도 이 기준을 사용하였다.

표 10에 제시된 결함들이 제재목 표면에 존재하는 경우에는 각 결함을 포함할 수 있는 최소면적의 사각형을 가상, 그 사각형의 위치와 크기를 좌표로서 나타내었다(그림 47). 제재목의 규격 및 결함의 위치와 크기 측정을 위해서 투명한 아크릴에 1/4인치 격자를 그려 넣은 기준자(ruler)를 제작, 모든 자료를 (X,Y) 좌표에 의해 표현하였으며, 따라서 제재목의 규격으로부터 결함의 위치와 크기에

이르기까지 모든 좌표는 1/4인치를 원단위로 하여 측정되었다. 이것은 현재까지 개발된 거의 모든 재단 모의실험용 simulator들이 1/4인치 원단위를 기준으로 하고 있기 때문이다. 이때 측정의 기준이 되는 원점 즉, (0,0)좌표는 제재목 좌측 끝의 하단부로 통일하여 그 점을 기준으로 모든 측정을 행하였다.

표 10. 결함과 코드번호

Defect	Defect code
Void	2
Pith	3
Decay	4
Shake	5
Wane/scant wood thickness or both, owing to bark	8
Bark pocket	10
Hole	11
Unsound knot	12
Sound knot	15
Split	24

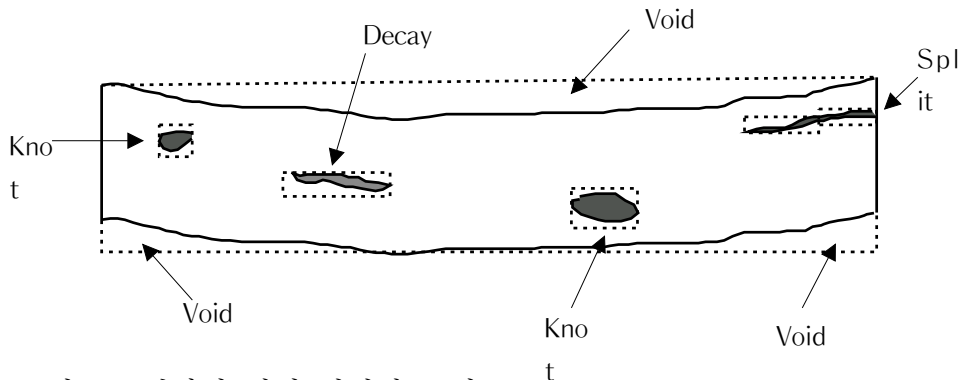


그림 47. 결함의 위치 선정과 표시.

다. 제재목 Database의 재단 모의실험 적용과 재단수율 추정

목재 재단공정 중 매우 효율이 높은 것으로 알려져 있는 다중종절우선(多衆 縱切優先;gang-rip-first)공정을 모델링한 simulator인 ROMI-RIP(ROugh Mill RIP-first)에 본 연구에서 개발한 국산재 제재목 database를 적용하여 각 수종에 대한 재단수율을 예측하였다.

#### 1) 재단주문서(Cutting bill)

재단주문서(cutting bill)의 내용이 재단수율에 미치는 영향을 분석하기 위해서 部材획득 난이도에 따라 Thomas(1996)가 제시한 표2의 10가지 재단주문서를 적용하였으며, 가중치(weighting factor)란 각 부재의 폭에 그 길이의 2승을 곱한 값으로 재단 모의실험에서 해당 판재로부터 부재를 획득할 때 부재 채취의 우선순위(priority) 결정 기준이 된다. 표11의 평균 가중치를 보면 재단주문서 3번의 평균가중치가 1368.00으로 부재 획득이 비교적 수월한 반면 재단주문서 10번은 평균가중치가 18482.04로 가장 높아 부재의 획득이 매우 어려운 동시에 재단수율도 비교적 낮을 것으로 예상됨을 알 수 있다.

표 11. ROMI-RIP cut-up simulator에 입력할 재단주문서 (Unit: inches)

Cutting Bill 1		Cutting Bill 2		Cutting Bill 3		Cutting Bill 4		Cutting Bill 5	
Width	Length	Width	Length	Width	Length	Width	Length	Width	Length
1.50	12.00	1.75	10.00	2.00	16.00	2.00	11.00	1.50	19.50
2.00	16.00	2.25	11.75	2.25	20.00	3.00	18.00	2.00	25.75
2.50	20.00	2.75	13.50	2.50	24.00	4.00	25.00	2.50	32.00
3.00	24.00	3.25	15.25		28.00	5.00	32.00	3.00	38.25
	28.00	3.75	17.00		32.00		39.00	3.50	44.50
	32.00	4.25	18.75				46.00	4.00	50.75
	36.00	4.75	20.50				53.00	4.50	57.00
	40.00	5.25	22.25						63.25
	44.00		24.00						69.50
	48.00		25.75						75.75
			27.50						82.00
			29.25						88.25
			31.00						
			32.75						
Average Weighting factor	2322.00	1773.30		1368.00		4270.00		10104.03	
Cutting Bill 6		Cutting Bill 7		Cutting Bill 8		Cutting Bill 9		Cutting Bill 10	
Width	Length	Width	Length	Width	Length	Width	Length	Width	Length
2.00	15.00	1.50	18.00	2.00	15.00	2.00	16.00	4.00	29.00
3.25	31.50	3.00	25.75	2.75	21.50	2.75	33.00	4.50	56.50
	48.00		33.50	3.50	28.00	3.50	50.00	5.00	84.00
	64.50		41.25	4.25	34.50	4.25	67.00	5.50	
	81.00		49.00		41.00	5.50	84.00	6.00	
	97.50		56.75		47.50				
			64.50		54.00				
			72.25		60.50				
					67.00				
					73.50				
Average Weighting factor	8081.16	5291.09		7208.20		11080.80		18482.08	

2) 공정 조건

그림 48에서 보는 바와 같이 gang-rip saw의 회전축에 부착된 톱들의 간격은

재단되어 생성되는 부재의 폭을 결정하게 된다. ROMI-RIP simulator에서는 Fixed blades, Fixed with movable outer blade, Best-spacing-sequence, Best-spacing-sequence with movable outer blade, Fixed-blade-best-feed, All-blade-movable 등의 6가지 방법을 적용할 수 있으나 일반적으로 국내 사정에 비추어 볼 때 미리 톱 사이의 간격이 결정, 고정되어있는 Fixed blades가 가장 많이 사용되므로 본 연구에서는 Fixed blade type을 적용하였다.

한편, 결합허용수준에 따라 표 12와 같은 다양한 조건을 적용할 수 있으며, 본 연구에서는 제재목 인식결과 옹이가 가장 중요한 결합으로 판단되어 옹이와 관련된 7가지 조건을 적용하였다.

한편, 10개의 재단주문서와 6가지 기계조건 및 7가지의 옹이관련 결합허용수준에 대한 각각의 조건 조합은  $10 \times 6 \times 7 = 420$ 개에 달하므로 각 조건별 약자는 표 13을 참조하면 된다.

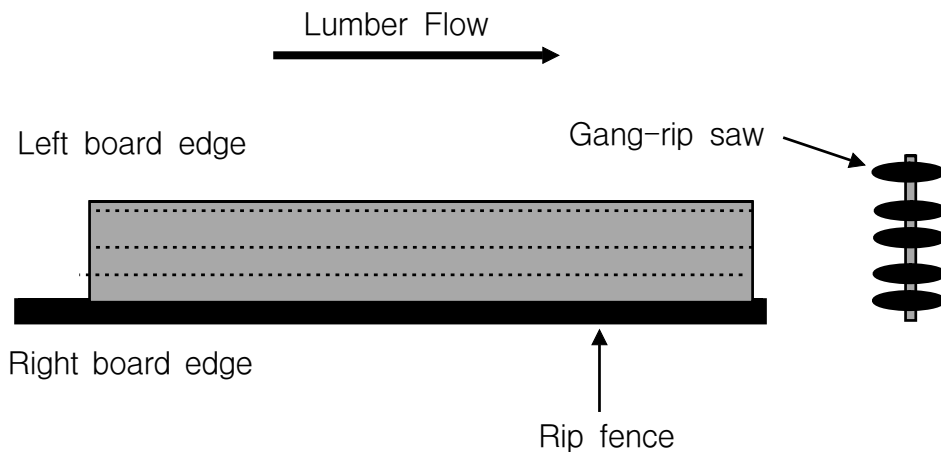


그림 48. Gang-rip sawing의 구조.

표12. ROMI-RIP simulator에서 허용가능한 결함

Grub hole	Burl
Sound knot <= 1/2"	Unsound knot <= 1/2"
Sound knot <= 1"	Unsound knot <= 1"
All sound knots	All unsound knots
Sticker stain	Callus wood
Sap stain	Bird peck
Short worm hole	Pin worm hole

표 13. Processing Setup

Cutting Bill 1 - File Setup							
Arbor Setup	Acceptable Defects Setup						
	Part Clear	Sound Knot (1/2 inch)	Sound Knot (1 inch)	All Sound Knot	Uns-Knot (1/2 inch)	Uns-Knot (1 inch)	All Uns-Knot
Fixed	1set1	1set2	1set3	1set4	1set5	1set6	1set7
Fixed w/movable outer blade	1set8	1set9	1set10	1set11	1set12	1set13	1set14
Best spacing sequence	1set15	1set16	1set17	1set18	1set19	1set20	1set21
Best spacing sequence w/movable outer blade	1set22	1set23	1set24	1set25	1set26	1set27	1set28
Fixed blade best feed	1set29	1set30	1set31	1set32	1set33	1set34	1set35
All blades movable	1set36	1set37	1set38	1set39	1set40	1set41	1set42
Cutting Bill 2 - File Setup							
Fixed	2set1	2set2	2set3	2set4	2set5	2set6	2set7
Fixed w/movable outer blade	2set8	2set9	2set10	2set11	2set12	2set13	2set14
Best spacing sequence	2set15	2set16	2set17	2set18	2set19	2set20	2set21
Best spacing sequence w/movable outer blade	2set22	2set23	2set24	2set25	2set26	2set27	2set28
Fixed blade best feed	2set29	2set30	2set31	2set32	2set33	2set34	2set35
All blades movable	2set36	2set37	2set38	2set39	2set40	2set41	2set42



Cutting Bill 3 - File Setup							
Arbor Setup	Acceptable Defects Setup						
	Part Clear	Sound Knot (1/2 inch)	Sound Knot (1 inch)	All Sound Knot	Uns-Knot (1/2 inch)	Uns-Knot (1 inch)	All Uns-Knot
Fixed	3set1	3set2	3set3	3set4	3set5	3set6	3set7
Fixed w/movable outer blade	3set8	3set9	3set10	3set11	3set12	3set13	3set14
Best spacing sequence	3set15	3set16	3set17	3set18	3set19	3set20	3set21
Best spacing sequence w/movable outer blade	3set22	3set23	3set24	3set25	3set26	3set27	3set28
Fixed blade best feed	3set29	3set30	3set31	3set32	3set33	3set34	3set35
All blades movable	3set36	3set37	3set38	3set39	3set40	3set41	3set42
Cutting Bill 4 - File Setup							
Fixed	4set1	4set2	4set3	4set4	4set5	4set6	4set7
Fixed w/movable outer blade	4set8	4set9	4set10	4set11	4set12	4set13	4set14
Best spacing sequence	4set15	4set16	4set17	4set18	4set19	4set20	4set21
Best spacing sequence w/movable outer blade	4set22	4set23	4set24	4set25	4set26	4set27	4set28
Fixed blade best feed	4set29	4set30	4set31	4set32	4set33	4set34	4set35
All blades movable	4set36	4set37	4set38	4set39	4set40	4set41	4set42
Cutting Bill 5 - File Setup							
Fixed	5set1	5set2	5set3	5set4	5set5	5set6	5set7
Fixed w/movable outer blade	5set8	5set9	5set10	5set11	5set12	5set13	5set14
Best spacing sequence	5set15	5set16	5set17	5set18	5set19	5set20	5set21
Best spacing sequence w/movable outer blade	5set22	5set23	5set24	5set25	5set26	5set27	5set28
Fixed blade best feed	5set29	5set30	5set31	5set32	5set33	5set34	5set35
All blades movable	5set36	5set37	5set38	5set39	5set40	5set41	5set42
Cutting Bill 6 - File Setup							
Fixed	6set1	6set2	6set3	6set4	6set5	6set6	6set7
Fixed w/movable outer blade	6set8	6set9	6set10	6set11	6set12	6set13	6set14
Best spacing sequence	6set15	6set16	6set17	6set18	6set19	6set20	6set21
Best spacing sequence w/movable outer blade	6set22	6set23	6set24	6set25	6set26	6set27	6set28
Fixed blade best feed	6set29	6set30	6set31	6set32	6set33	6set34	6set35
All blades movable	6set36	6set37	6set38	6set39	6set40	6set41	6set42

Cutting Bill 7 - File Setup							
Arbor Setup	Acceptable Defects Setup						
	Part Clear	Sound Knot (1/2 inch)	Sound Knot (1 inch)	All Sound Knot	Uns-Knot (1/2 inch)	Uns-Knot (1 inch)	All Uns-Knot
Fixed	7set1	7set2	7set3	7set4	7set5	7set6	7set7
Fixed w/movable outer blade	7set8	7set9	7set10	7set11	7set12	7set13	7set14
Best spacing sequence	7set15	7set16	7set17	7set18	7set19	7set20	7set21
Best spacing sequence w/movable outer blade	7set22	7set23	7set24	7set25	7set26	7set27	7set28
Fixed blade best feed	7set29	7set30	7set31	7set32	7set33	7set34	7set35
All blades movable	7set36	7set37	7set38	7set39	7set40	7set41	7set42
Cutting Bill 8 - File Setup							
Fixed	8set1	8set2	8set3	8set4	8set5	8set6	8set7
Fixed w/movable outer blade	8set8	8set9	8set10	8set11	8set12	8set13	8set14
Best spacing sequence	8set15	8set16	8set17	8set18	8set19	8set20	8set21
Best spacing sequence w/movable outer blade	8set22	8set23	8set24	8set25	8set26	8set27	8set28
Fixed blade best feed	8set29	8set30	8set31	8set32	8set33	8set34	8set35
All blades movable	8set36	8set37	8set38	8set39	8set40	8set41	8set42
Cutting Bill 9 - File Setup							
Fixed	9set1	9set2	9set3	9set4	9set5	9set6	9set7
Fixed w/movable outer blade	9set8	9set9	9set10	9set11	9set12	9set13	9set14
Best spacing sequence	9set15	9set16	9set17	9set18	9set19	9set20	9set21
Best spacing sequence w/movable outer blade	9set22	9set23	9set24	9set25	9set26	9set27	9set28
Fixed blade best feed	9set29	9set30	9set31	9set32	9set33	9set34	9set35
All blades movable	9set36	9set37	9set38	9set39	9set40	9set41	9set42
Cutting Bill 10 - File Setup							
Fixed	10set1	10set2	10set3	10set4	10set5	10set6	10set7
Fixed w/movable outer blade	10set8	10set9	10set10	10set11	10set12	10set13	10set14
Best spacing sequence	10set15	10set16	10set17	10set18	10set19	10set20	10set21
Best spacing sequence w/movable outer blade	10set22	10set23	10set24	10set25	10set26	10set27	10set28
Fixed blade best feed	10set29	10set30	10set31	10set32	10set33	10set34	10set35
All blades movable	10set36	10set37	10set38	10set39	10set40	10set41	10set42

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 소경재의 제재 시뮬레이션

원목의 형상정보를 이용하여 원목을 회전시키거나, 톱날의 시작위치 및 제재목의 두께와 거단폭을 변경하므로써 제재수율을 예측할 수 있다. best opening 위치를 5mm로 하고 제재목의 두께 15mm로 설정한 후 거단폭을 3mm로 하여 모의 제재를 실시하였다. 원목의 최상층부터 시작하여 15mm간격으로 제재하였을 때 11개의 제재목이 생성되었다.

#### 나. 제재목 database 개발

본 연구를 위해 개발된 제재목 database 작성 프로그램은 Windows 95하에서 동작하는 프로그램으로 사용언어는 Delphi이다. 본 프로그램은 사용자가 입력한 자료의 결과를 바로 보여 주므로써 자료의 신뢰성을 높이고, 제재목 양면의 동시 입력이 가능하도록 설계되어 있어 결함의 분포를 한눈에 볼 수 있는 장점이 있다. 또한 기존 입력자료를 읽어들이 분류·인식할 수 있기 때문에 입력된 자료의 가치를 높여준다. 입력항목은 시편의 모양, 등근모, 기타 결함 등을 표1의 코드를 적용하여 입력되고, 이 입력된 자료를 해석하여 ROMI-RIP simulator에서 인식할 수 있는 코드로 변환, ROMI-RIP simulator를 이용하여 계산한 후 그 결과를 볼 수 있도록 하였다.

본 연구를 통하여 개발된 국산재 소나무와 상수리나무, 그리고 뉴질랜드산 라디아타소나무의 제재목 database는 표 14와 같다.

표 14. Lumber database description

Species	Number of boards	File name	File size(Byte)
<i>Quercus acutissima</i> (air-dried)	168	airoak.dat	236,909
<i>Quercus acutissima</i> (forced-air-dried)	252	forceoak.dat	89,906
<i>Pinus densiflora</i> (air-dried)	89	kpine.dat	411,166
<i>Pinus radiata</i> (air-dried)	40	radiata.dat	59,961

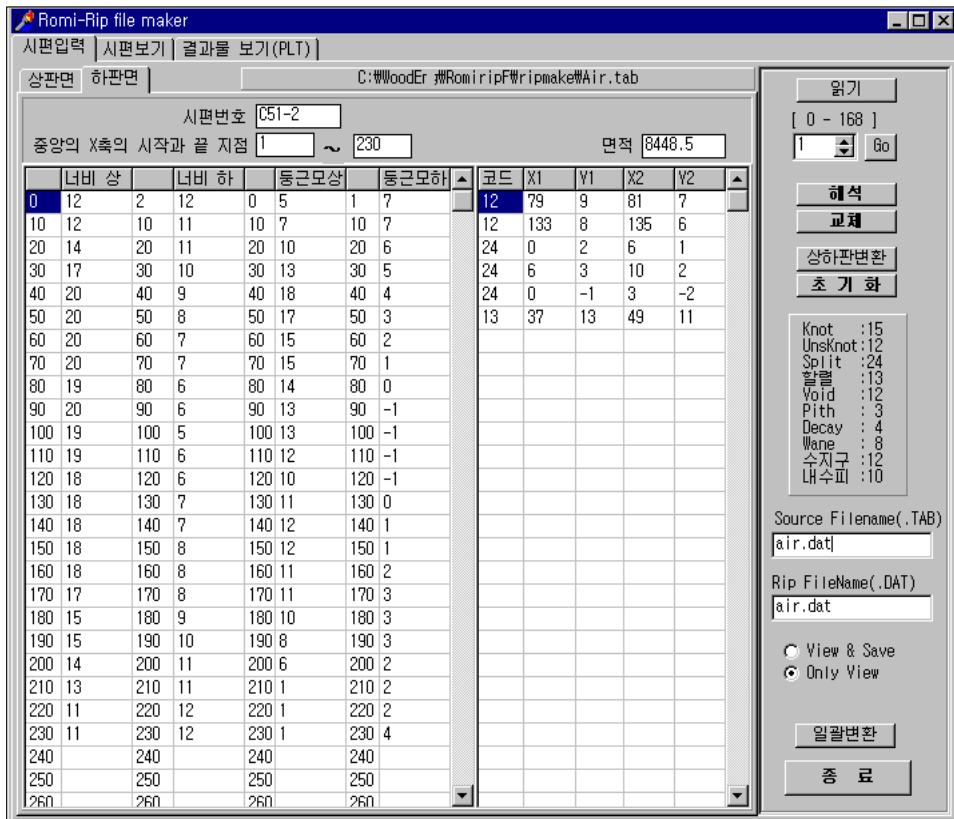


그림 49. Lumber database development program.

## 다. 국산재 재단수율 추정

### 1) 국산 상수리나무

국산 상수리나무 판재에 대한 다중종절우선공정 모의실험 결과는 표 15와 같았다. 최고의 재단수율은 Fixed blade best feed 공정으로 모든 용이를 허용하는 조건에서 재단주문서 2번을 적용하였을 때의 53.17%로 나타났으며, 최저의 수율은 Fixed blade로 모든 용이를 전혀 허용하지 않는 조건에서 재단주문서 10번을 적용한 경우의 36.04%였다.

그림 50-그림 51은 공정조건별 재단주문서에 따른 수율을 보여주고 있다. 평균 수율의 범위는 재단주문서 10번의 36.54%가 최소였으며, 재단주문서 2번의 51.11%가 최대였다. 따라서 재단주문서 10번과 같이 비교적 길이가 길고 폭이 넓은 부재를 요구하는 재단주문서를 적용하게 되면 낮은 수율을 감수해야 할 것으로 사료된다. 그러나 재단주문서 2번과 같이 상대적으로 부재의 폭이 좁고 다양한 경우에는 높은 수율을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

그림 52-그림 53은 각 재단주문서별 공정조건에 따른 수율을 보여주고 있다. Fixed blade best feed조건이 46.47%로 가장 높은 평균수율을 나타내었으며, Best spacing sequence w/movable outer blade조건이 43.27%로 가장 낮은 평균수율을 보여주었다. 따라서 국산 상수리나무의 재단공정에는 Fixed blade best feed조건을 적용하는 것이 가장 바람직할 것으로 사료된다.

한편, 모든 조건에 대한 국산 상수리나무의 전체 평균수율은 44.75%로 나타났으나, 공시판재의 재장이 짧은 관계로 길이가 긴 부재의 생산은 불가능하였다.

### 2) 국산 소나무

국산 소나무 판재에 대한 다중종절우선공정 모의실험 결과는 표 16과 같았다. 최고의 재단수율은 All blades movable 공정으로 모든 용이를 허용하는 조건에서 재단주문서 2번을 적용하였을 때의 68.03%로 나타났으며, 최저의 수율은

Best spacing sequence w/movable outer blade로 재단주문서 10번을 적용한 경우의 53.78%였다.

그림 54~그림 59는 공정조건별 재단주문서에 따른 수율을 보여주고 있다. 평균수율의 범위는 재단주문서 10번의 54.66%가 최소였으며, 재단주문서 2번의 67.23%가 최대로 국산 상수리나무와 동일한 경향을 보여주고 있다.

그림 60~그림 61은 각 재단주문서별 공정조건에 따른 수율을 보여주고 있다. 국산 참나무와 마찬가지로 Fixed blade best feed조건이 63.82%로 가장 높은 평균수율을 나타내었으며, Best spacing sequence w/movable outer blade조건이 61.65%로 가장 낮은 평균수율을 보여주었다. 따라서 국산 소나무의 재단공정에서도 Fixed blade best feed조건을 적용하는 것이 가장 바람직할 것으로 사료된다.

한편, 모든 조건에 대한 국산 소나무의 전체 평균수율은 63.10%로 나타났다. 따라서 국산 상수리나무에 비하여 약 9%정도 높은 수율을 얻을 수 있었다. 이처럼 소나무의 수율이 높은 것은 우선 소나무의 재장이 상수리나무에 비하여 약 2배정도 크고 굵음도 심하지 않았기 때문으로 사료된다.

표 15. *Quercus acutissima*의 부재 수율

Yield(%)	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10
set1	47.13	50.10	41.52	47.99	44.61	45.22	42.53	47.19	39.80	36.04
set2	47.13	50.10	41.52	47.99	44.61	45.22	42.53	47.19	39.80	36.04
set3	47.13	50.10	41.52	47.99	44.61	45.22	42.53	47.19	39.80	36.04
set4	47.13	50.10	41.52	47.99	44.61	45.22	42.53	47.19	39.80	36.04
set5	47.13	50.11	41.51	48.00	44.67	45.31	42.60	47.24	39.83	36.14
set6	47.13	50.12	41.52	48.01	44.72	45.37	42.65	47.25	39.83	36.14
set7	47.19	50.15	41.54	48.21	44.90	45.56	42.90	47.45	39.91	36.40
Average	47.14	50.11	41.52	48.03	44.68	45.30	42.61	47.24	39.82	36.12
set8	47.11	50.20	41.44	47.99	44.71	45.45	42.54	47.22	39.69	36.10
set9	47.11	50.20	41.44	47.99	44.71	45.45	42.54	47.22	39.69	36.10
set10	47.11	50.20	41.44	47.99	44.71	45.45	42.54	47.22	39.69	36.10
set11	47.11	50.20	41.44	47.99	44.71	45.45	42.54	47.22	39.69	36.10
set12	47.12	50.22	41.44	48.00	44.77	45.54	42.59	47.26	39.71	36.19
set13	47.12	50.23	41.45	48.01	44.82	45.60	42.66	47.28	39.71	36.19
set14	47.17	50.25	41.37	48.21	45.00	45.79	42.90	47.47	39.79	36.45
Average	47.12	50.21	41.43	48.03	44.78	45.53	42.62	47.27	39.71	36.18
set15	47.27	51.60	42.41	46.84	47.06	44.71	42.75	47.28	39.94	36.40
set16	47.27	51.60	42.41	46.84	47.06	44.71	42.75	47.28	39.94	36.40
set17	47.27	51.60	42.41	46.84	47.06	44.71	42.75	47.28	39.94	36.40
set18	47.27	51.60	42.41	46.84	47.06	44.71	42.75	47.28	39.94	36.40
set19	47.28	51.60	42.41	46.90	47.12	44.77	42.79	47.33	39.96	36.49
set20	47.28	51.62	42.41	46.90	47.15	44.79	42.83	47.35	39.97	36.49
set21	47.35	51.71	42.39	47.03	47.45	45.02	43.07	47.53	40.03	36.74
Average	47.28	51.62	42.41	46.88	47.14	44.77	42.81	47.33	39.96	36.47
set22	44.86	48.95	41.52	46.51	42.84	44.50	41.71	46.28	38.58	36.60
set23	44.86	48.95	41.52	46.51	42.84	44.50	41.71	46.28	38.58	36.60
set24	44.86	48.95	41.52	46.51	42.84	44.50	41.71	46.28	38.58	36.60
set25	44.86	48.95	41.52	46.51	42.84	44.50	41.71	46.28	38.58	36.60
set26	44.85	48.95	41.51	46.52	42.89	44.56	41.75	46.31	38.60	36.69
set27	44.85	48.95	41.52	46.52	42.91	44.58	41.78	46.33	38.61	36.69
set28	44.88	48.96	41.51	46.64	43.13	44.78	41.98	46.48	38.64	36.92
Average	44.86	48.95	41.52	46.53	42.90	44.56	41.76	46.32	38.60	36.67
set29	48.32	53.08	43.62	49.84	48.47	47.64	44.91	49.44	42.06	37.89
set30	48.32	53.08	43.62	49.84	48.47	47.64	44.91	49.44	42.06	37.89
set31	48.32	53.08	43.62	49.84	48.47	47.64	44.91	49.44	42.06	37.89
set32	48.32	53.08	43.62	49.84	48.47	47.64	44.91	49.44	42.06	37.89
set33	48.32	53.11	43.62	49.92	48.60	47.68	44.96	49.46	42.13	37.92
set34	48.30	53.13	43.65	49.95	48.64	47.74	37.31	49.49	42.14	38.05
set35	48.34	53.17	43.64	50.09	48.93	47.89	45.25	49.71	42.24	38.50
Average	48.32	53.10	43.63	49.90	48.58	47.70	43.88	49.49	42.11	38.00
set36	48.26	52.63	43.31	47.68	48.45	45.72	43.89	48.69	40.86	35.78
set37	48.26	52.63	43.31	47.68	48.45	45.72	43.89	48.69	40.86	35.78
set38	48.26	52.63	43.31	47.68	48.45	45.72	43.89	48.69	40.86	35.78
set39	48.26	52.63	43.31	47.68	48.45	45.72	43.89	48.69	40.86	35.78
set40	48.34	52.64	43.35	47.72	48.57	45.77	43.95	48.70	40.89	35.81
set41	48.38	52.65	43.35	47.76	48.62	45.90	43.99	48.75	40.89	35.81
set42	48.44	52.72	43.34	47.83	48.93	46.06	44.21	48.96	40.92	35.94
Average	48.31	52.65	43.33	47.72	48.56	45.80	43.96	48.74	40.88	35.81
Total Avrg	47.17	51.11	42.30	47.85	46.11	45.61	42.94	47.73	40.18	36.54

표 16. *Pinus densiflora*의 부재수율

Yield(%)	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10
pset1	66.35	67.22	61.03	66.49	64.47	61.50	63.44	66.44	61.75	54.40
pset2	66.35	67.22	61.03	66.49	64.47	61.50	63.44	66.44	61.75	54.40
pset3	66.35	67.22	61.03	66.49	64.47	61.50	63.44	66.44	61.75	54.40
pset4	66.46	67.22	61.03	66.67	64.71	61.53	63.58	66.52	61.75	54.36
pset5	66.46	67.21	61.03	66.67	64.71	61.53	63.58	66.52	61.75	54.36
pset6	66.46	67.21	61.03	66.67	64.71	61.53	63.58	66.52	61.75	54.36
pset7	66.46	67.21	61.03	66.67	64.71	61.53	63.58	66.52	61.75	54.36
Average	66.41	67.22	61.03	66.59	64.61	61.52	63.52	66.49	61.75	54.38
pset8	66.20	67.28	61.61	66.60	64.25	61.40	63.37	66.70	62.30	54.41
pset9	66.20	67.28	61.61	66.60	64.25	61.40	63.37	66.70	62.30	54.41
pset10	66.20	67.28	61.61	66.60	64.25	61.40	63.37	66.70	62.30	54.41
pset11	66.32	67.28	61.58	66.70	64.48	61.42	63.55	66.80	62.29	54.37
pset12	66.32	67.29	61.58	66.70	64.48	61.42	63.55	66.80	62.29	54.37
pset13	66.32	67.29	61.58	66.70	64.48	61.42	63.55	66.80	62.29	54.37
pset14	66.32	67.29	61.58	66.70	64.48	61.42	63.55	66.80	62.29	54.37
Average	66.27	67.28	61.59	66.66	64.38	61.41	63.47	66.76	62.29	54.39
pset15	65.77	67.80	61.26	66.28	64.84	60.90	62.63	61.80	62.34	54.93
pset16	65.77	67.80	61.26	66.28	64.84	60.90	62.63	61.80	62.34	54.93
pset17	65.77	67.80	61.26	66.28	64.84	60.90	62.63	61.80	62.34	54.93
pset18	65.82	67.80	61.30	66.52	65.09	60.92	62.90	66.17	62.40	54.87
pset19	65.82	67.80	61.30	66.52	65.09	60.92	62.90	66.17	62.40	54.87
pset20	65.82	67.80	61.30	66.52	65.09	60.92	62.90	66.17	62.40	54.87
pset21	65.82	67.80	61.30	66.52	65.09	60.92	62.90	66.17	62.40	54.87
Average	65.80	67.80	61.28	66.42	64.98	60.91	62.78	64.30	62.37	54.90
pset22	63.36	65.29	60.64	64.92	61.35	60.34	60.77	64.90	60.69	53.82
pset23	63.38	65.29	60.59	64.92	61.39	60.34	60.77	64.90	60.69	53.82
pset24	63.38	65.29	60.59	64.92	61.39	60.34	60.77	64.89	60.69	53.82
pset25	63.44	65.39	60.58	65.06	61.56	60.41	60.93	65.01	60.71	53.82
pset26	63.44	65.39	60.58	65.06	61.56	60.41	60.93	65.01	60.71	53.78
pset27	63.44	65.40	60.58	65.06	61.56	60.41	60.93	65.02	60.71	53.78
pset28	63.45	65.40	60.58	65.06	61.56	60.41	60.93	65.02	60.71	53.78
Average	63.41	65.35	60.59	65.00	61.48	60.38	60.86	64.96	60.70	53.80
pset29	65.97	67.69	61.97	67.47	64.62	61.88	63.49	66.10	62.86	55.59
pset30	65.97	67.69	61.97	67.47	64.62	61.88	63.49	66.10	62.86	55.59
pset31	65.97	67.69	61.97	67.47	64.62	61.88	63.49	66.28	62.86	55.59
pset32	66.16	67.76	61.95	67.70	64.67	61.94	63.54	66.28	63.08	55.59
pset33	66.16	67.76	61.95	67.70	64.67	61.94	63.54	66.28	63.08	55.59
pset34	66.16	67.76	61.95	67.70	64.67	61.94	63.54	66.28	63.08	55.59
pset35	66.16	67.76	61.95	67.70	64.67	61.94	63.54	65.79	63.08	55.59
Average	66.08	67.73	61.96	67.60	64.65	61.91	63.52	66.16	62.99	55.59
pset36	65.87	67.97	60.70	65.56	64.56	60.28	63.38	65.79	62.04	54.87
pset37	65.87	67.97	60.70	65.56	64.56	60.28	63.38	65.79	62.04	54.87
pset38	65.87	67.97	60.70	65.56	64.56	60.28	63.38	65.79	62.04	54.87
pset39	65.94	68.03	60.73	65.75	64.80	60.39	63.57	65.97	62.15	54.90
pset40	65.94	68.03	60.73	65.75	64.80	60.39	63.57	65.97	62.15	54.90
pset41	65.94	68.03	60.73	65.75	64.80	60.39	63.57	65.97	62.15	54.90
pset42	65.94	68.03	60.73	65.75	64.80	60.39	63.57	65.97	62.15	54.90
Average	65.91	68.00	60.72	65.67	64.70	60.34	63.49	65.89	62.10	54.89
Total Avg	65.65	67.23	61.20	66.32	64.13	61.08	62.94	65.76	62.03	54.66



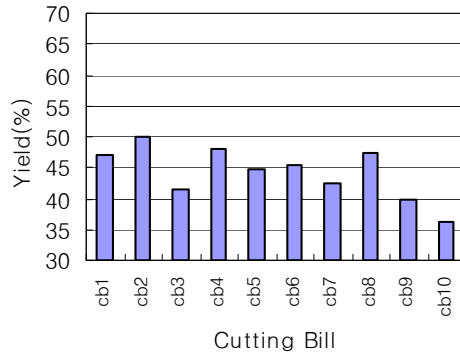


그림 50. Fixed arbor type.

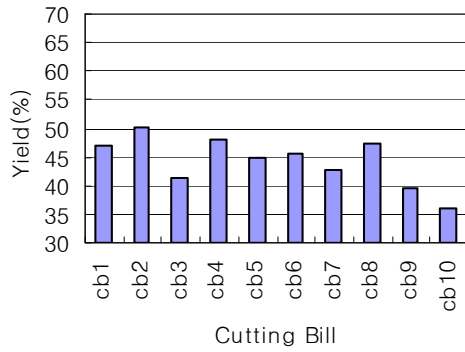


그림 51. Fixed w/movable outer blade.

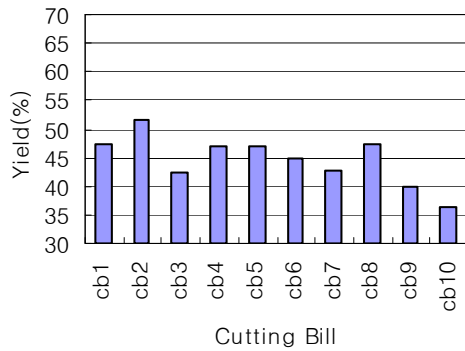


그림 52. Best spacing sequence.

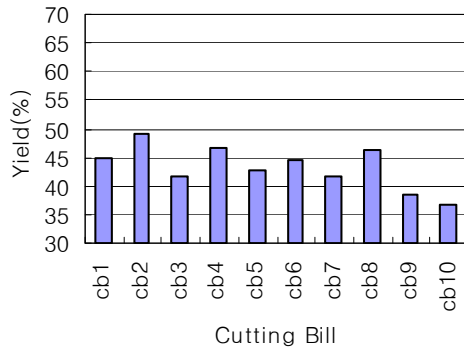


그림 53. Best spacing sequence w/movable outer blade

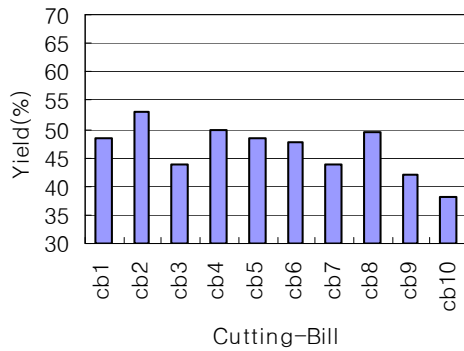


그림 54. Fixed blade best feed.

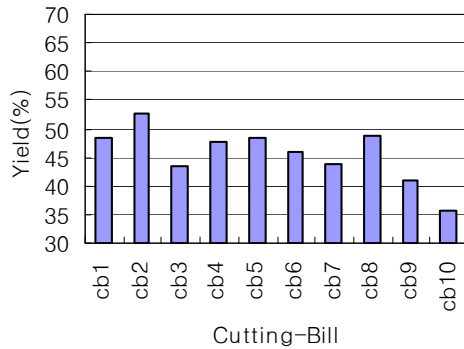


그림 55. All blades movable.

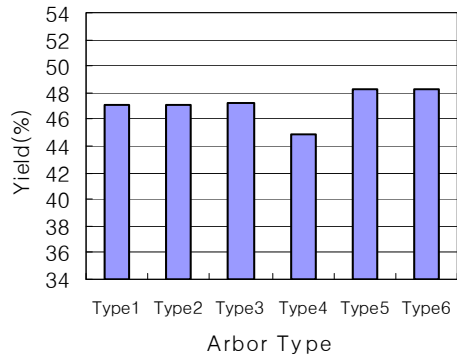


그림 56. Cutting bill 1.

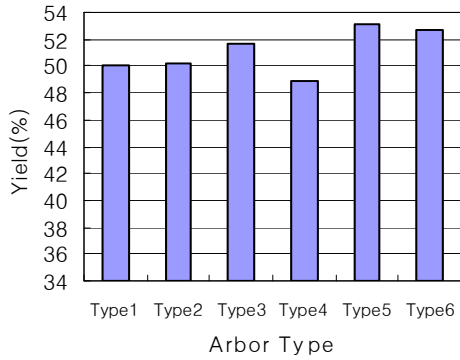


그림 57. Cutting bill 2.

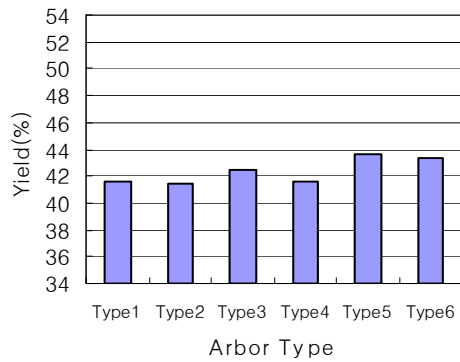


그림 58. Cutting bill 3.

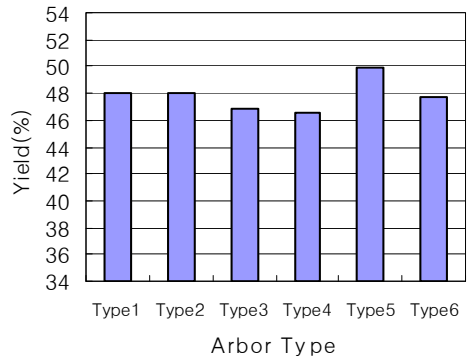


그림 59. Cutting bill 4.

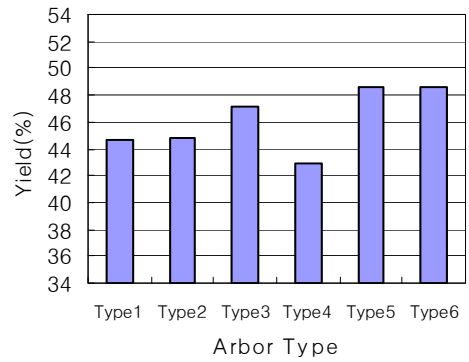


그림 60. Cutting bill 5.

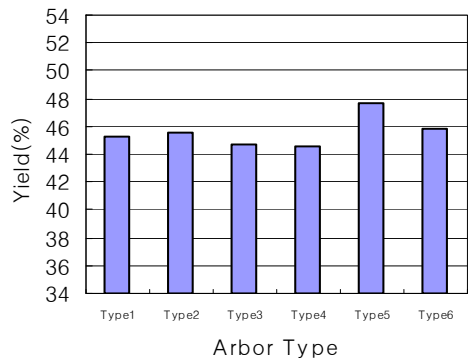


그림 61. Cutting bill 6.

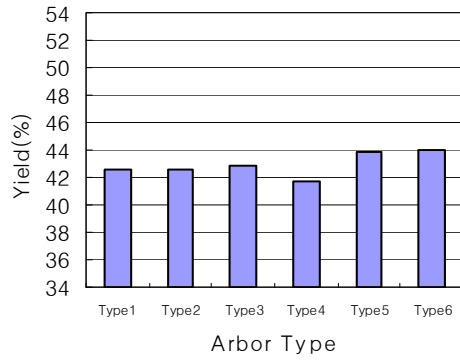


그림 62. Cutting bill 7.

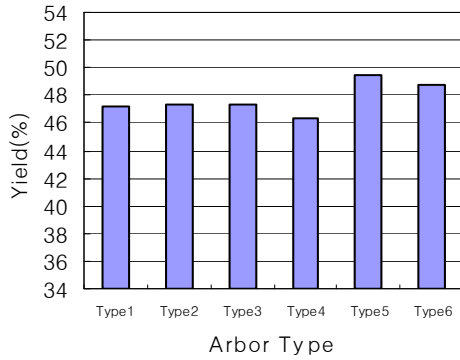


그림 63. Cutting bill 8.

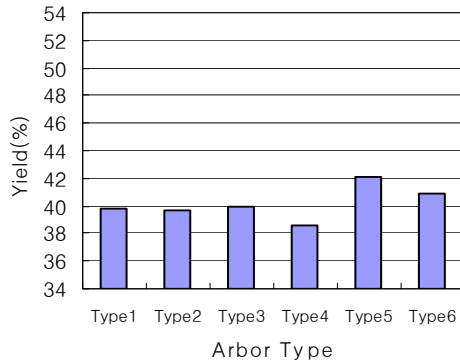


그림 64. Cutting bill 9.

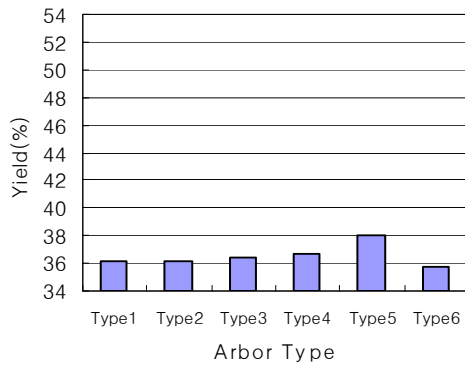


그림 65. Cutting bill 10.

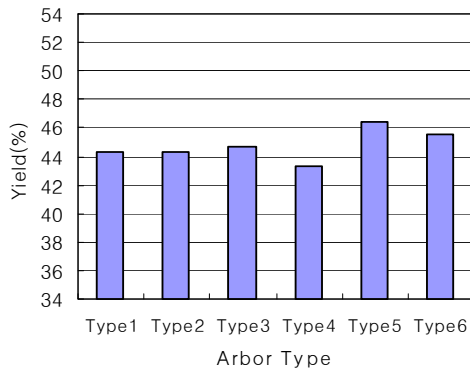


그림 66. Average part yields of *Quercus acutissima* by arbor types.

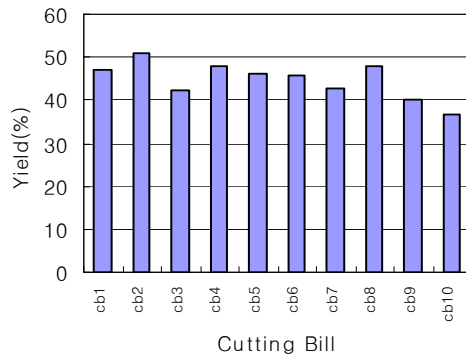


그림 67. Average part yields of *Quercus acutissima* by cutting bills.

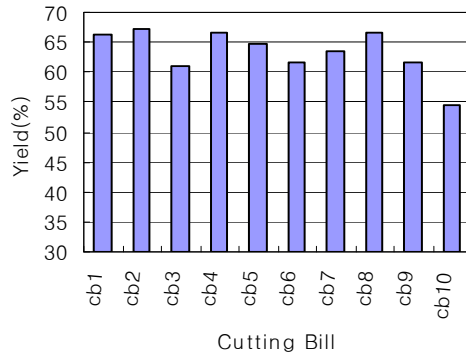


그림 68. Fixed arbor type.

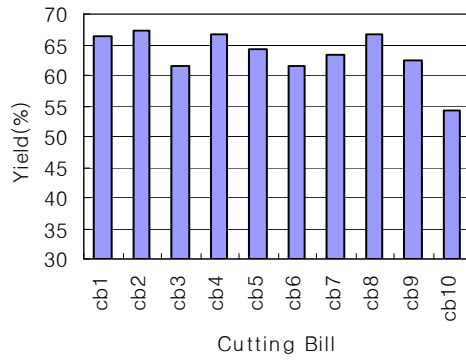


그림 69. Fixed w/movable outer blade.

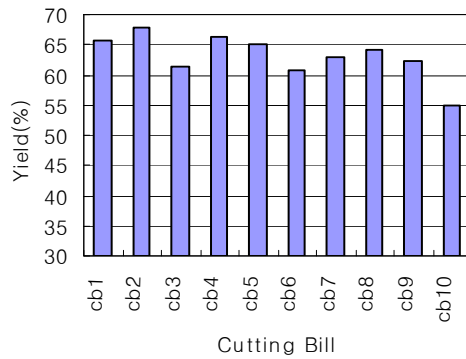


그림 70. Best spacing sequence.

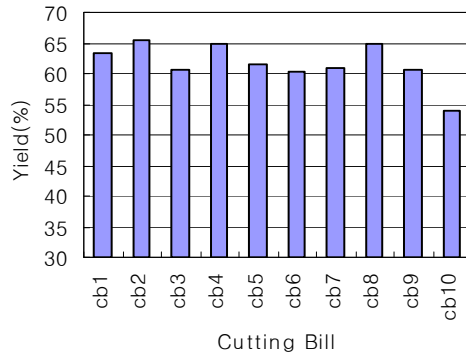


그림 71. Best spacing sequence w/movable outer blade.

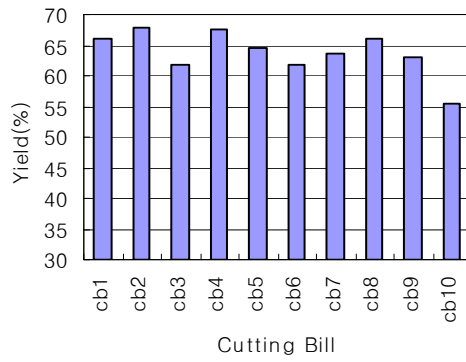


그림 72. Fixed blade best feed.

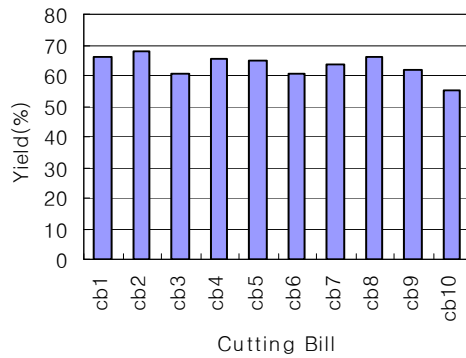


그림 73. All blades movable.



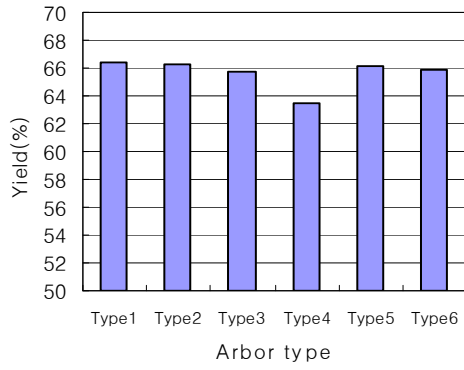


그림 74. Cutting bill 1.

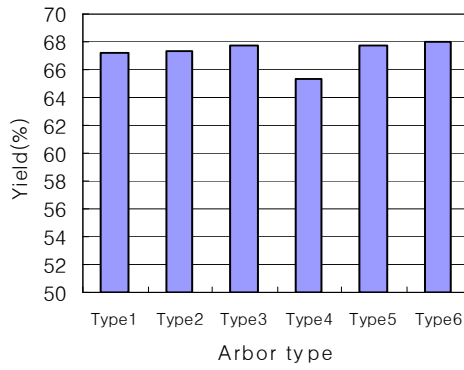


그림 75. Cutting bill 2.

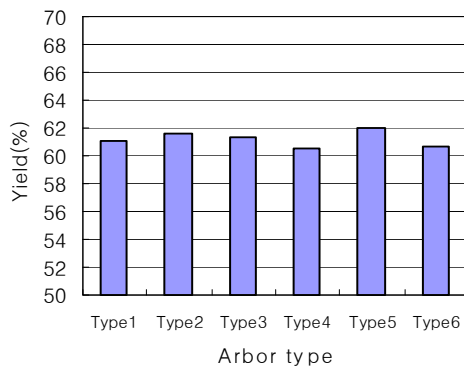


그림 76. Cutting bill 3.

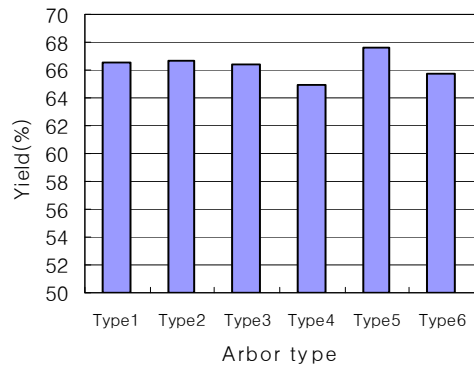


그림 77. Cutting bill 4.

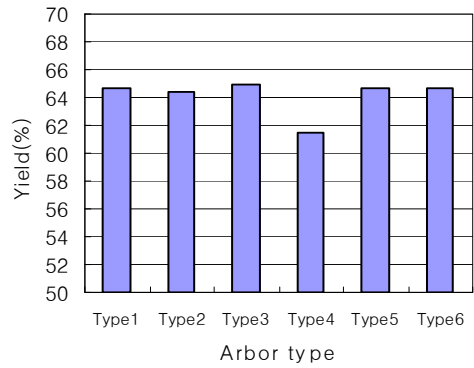


그림 78. Cutting bill 5.

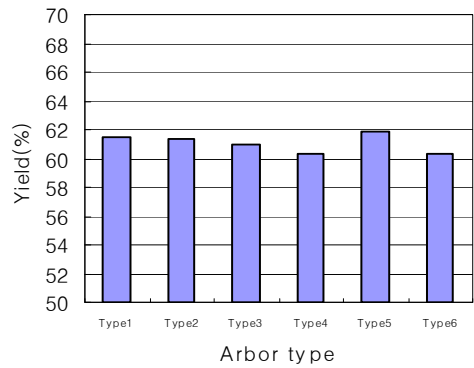


그림 79. Cutting bill 6.

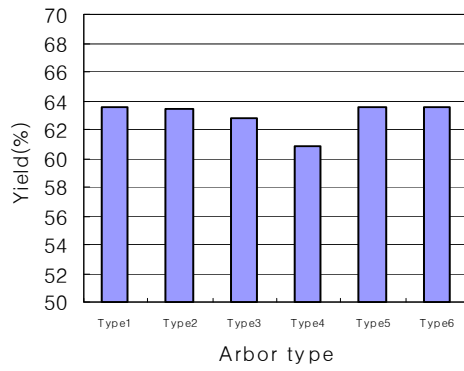


그림 80. Cutting bill 7.

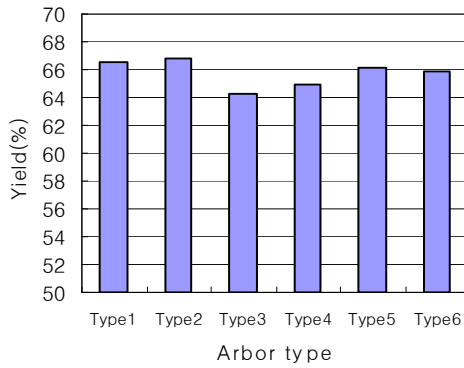


그림 81. Cutting bill 8.

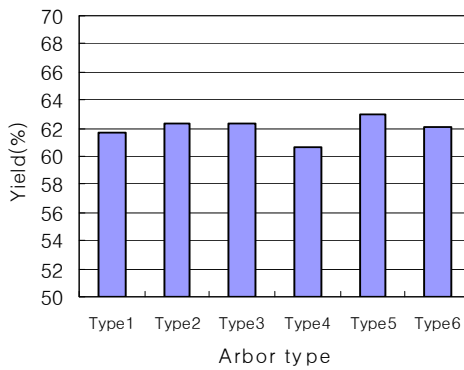


그림 82. Cutting bill 9.

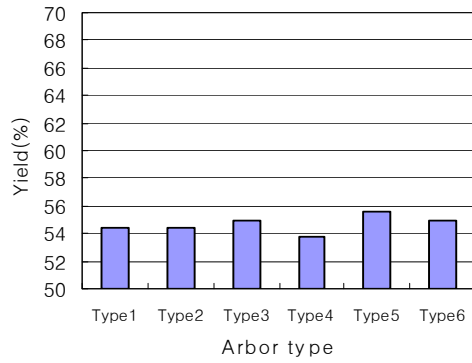


그림 83. Cutting bill 10.

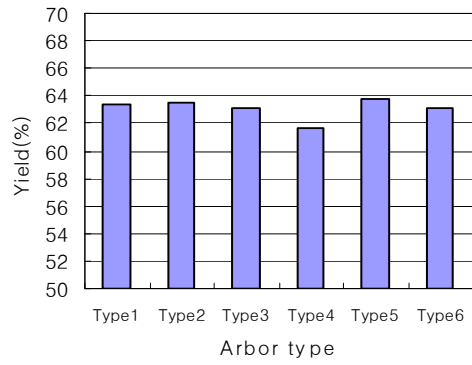


그림 84. Average part yields of *Pinus densiflora* by arbor types.

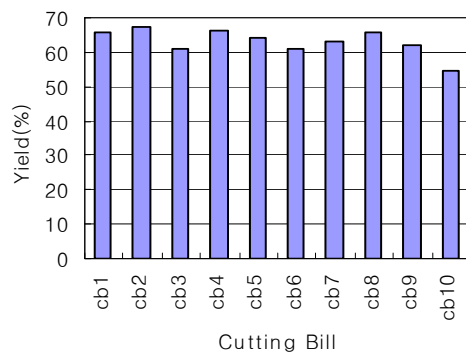


그림 85. Average part yields of *Pinus densiflora* by cutting bills.

#### 4. 결론

국산 상수리나무와 소나무에 대한 제재목 database를 개발하여 다중종절우선 공정 simulator를 이용, 재단주문서에 따른 재단수율은 국산 상수리나무와 소나무의 평균 재단수율은 각각 44.75%와 63.10%였다. 국산 상수리나무의 최고의 재단수율은 Fixed blade best feed 공정으로 모든 옹이를 허용하는 조건에서 재단주문서 2번을 적용하였을 때의 53.17%로 나타났으며, 최저의 수율은 Fixed blade로 모든 옹이를 전혀 허용하지 않는 조건에서 재단주문서 10번을 적용한 경우의 36.04%였다. 국산 상수리나무의 공정조건별 수율에서는 Fixed blade best feed조건이 46.47%로 가장 높은 평균수율을 나타내었으며, Best spacing sequence w/movable outer blade조건이 43.27%로 가장 낮은 평균수율을 보여주었다. 국산 소나무의 최고의 재단수율은 All blades movable 공정으로 모든 옹이를 허용하는 조건에서 재단주문서 2번을 적용하였을 때의 68.03%로 나타났으며, 최저의 수율은 Best spacing sequence w/movable outer blade로 재단주문서 10번을 적용한 경우의 53.78%였다. 국산 소나무의 공정조건별 수율에서는 Fixed blade best feed조건이 63.82%로 가장 높은 평균수율을 나타내었으며, Best spacing sequence w/movable outer blade조건이 61.65%로 가장 낮은 평균수율을 보여주었다.

## 제 5 절 연속식 비파괴 함수율 측정 시스템

### 1. 서론

제품의 품질을 좌우하는 요소로는 여러 가지를 들 수 있으나 특히 제품이 포함하고 있는 수분의 양 즉, 함수율은 제품의 가공전과 가공 중 및 가공 후에도 품질에 커다란 영향을 미친다. 그러므로 공정중 제품의 함수율을 정확히 파악하고 분류하는 것은 품질관리에 필수적인 과정이며 특히, 건조 및 가열공정의 선 공정으로 매우 중요한 의미를 지니고 있다. 또한, 함수율은 필수적인 선행정보로 불확실한 함수율 관련 정보는 가공공정상 치명적인 문제를 야기하므로 정확하고도 신속한 함수율 측정은 효율적인 가공공정 실현에 필수적이다.

그러므로 농산물에서 반도체에 이르기까지 산업전반에 걸쳐 제품 또는 대상물의 수분 함유상태 파악은 가장 기본적이고도 필수적인 공정으로 건조공정과 함께 제품의 품질과 산업 경쟁력에 지대한 영향을 미친다. 따라서 정확한 함수율 파악을 위한 비파괴적인 함수율 측정방법의 개발은 최소의 에너지와 비용으로 최고의 품질을 얻을 수 있는 건조 및 가열공정 개발을 가능케 하므로 국내 산업발전과 경쟁력 확보에 필수불가결한 사항으로 대두되고 있다.

종래의 가장 보편적인 함수율 측정방법인 全乾法(oven-drying method)은 파괴적인 방법으로 오랜 시간을 요하는 문제가 있다. 한편, 근래 비파괴적인 방법으로 개발된 방사선수분계는 취급에 위험이 따르며 매우 고가이고, 적외선 수분계 역시 이동식으로의 전환이 어렵고 기본적으로는 가열 건조식으로 측정에 장시간이 소요되는 단점이 있다. 최근 개발된 초음파식 수분계 역시 높은 가격으로 실용화에 어려움이 있다. 그리고 전기적 수분계는 비교적 저가이나 재료의 종류나 비중, 온도, 주파수 등의 변화에 대한 반응이 매우 민감하고 측정범위에 한계가 있으며, 접촉식으로 연속공정에 적용이 불가능한 단점이 있다.

그러나 전술한 기술개발 현황은 대부분 선진외국의 상황으로 국내에서는 계측분야 산업이 높은 고부가가치의 창출이 가능함에도 불구하고 현재 상당히 부진한 상태가 사실이고 특히, 함수율 측정분야의 기술개발이 전무한 상태이다.

본 과제에서는 광원의 복사에너지를 이용하여 이동하는 목재의 표면을 가열하는 동시에 가열 전과 후의 재료의 온도를 비접촉 측정하므로써 그 온도차를 기준으로 재료의 함수율을 계측할 수 있는 시스템을 개발하고자 하였다.

표 17. 기존 함수율 측정방식과의 비교

기존 함수율 측정 방식		광-방사가열 측정방식
구분	특징	
전기저항식	저가이나 측정가능 함수율 범위에 한계가 있고, 정확도가 불량하며, 밀도의존성이 높음	저가이며 측정가능 함수율 범위가 넓고, 밀도나 기타 대상물의 성상에 따른 의존성이 적다. 또한, 사용에 고도의 기술을 요하지 않으며, 단속식과 연속식 모두 가능하다.
유전율식		
근적외선식	고가이며 연속식이 불가능함	
적외선식	고가이며 시료의 성상에 민감함	
마이크로파식	고가이며 저수분 영역에 적합하지 못하고, 신호의 분석이 어렵다	
핵자기공명식	고가이며 고도의 숙련된 기술이 요구된다	
초음파식	액체시료에 한정되는 등 적용 대상에 한계가 있다	

## 2. 고에너지 광원 응용 비파괴 함수율 계측시스템의 원리

측정 대상 물질과 물질에 포함되어 있는 비열을 고려한다면 대상 물질에 투여된 에너지의 양을 일정하게 하면 물질의 가열전후 온도차 또는 가열 중 물질의 온도상승 현상은 곧 물질내에 포함되어 있는 물 즉, 함수율의 함수가 된다. 따라서 가열중 물질의 온도변화만을 계측하므로써 함수율을 추정할 수 있다.

$$Q = m (T_2 - T_1) (c + M/100) \text{ ----- (5-1)}$$

Q : 투여 에너지

m : 물질의 전건무게

T<sub>2</sub> : 가열후 온도

T<sub>1</sub> : 가열전 온도

c : 물질의 비열

M : 함수율(%)

$$\therefore M = \text{function of } (T_2 - T_1) \text{ ----- (5-2)}$$



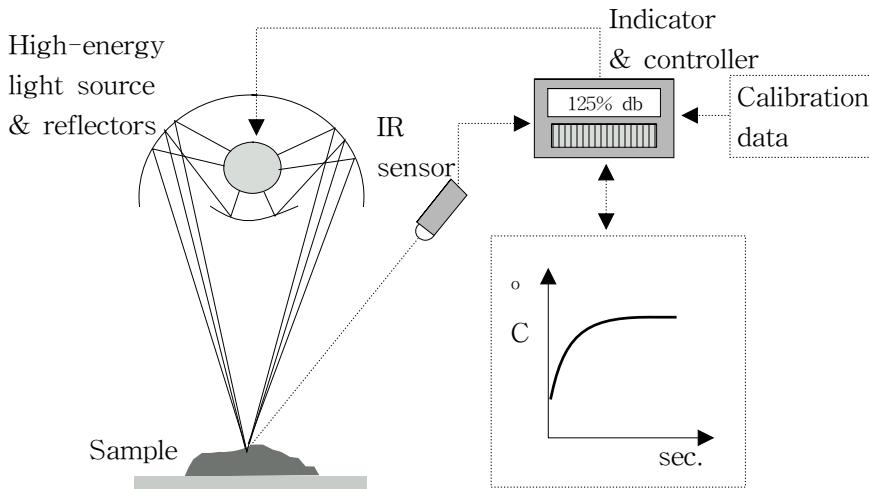


그림 86. 고에너지 광원을 이용한 함수율 계측시스템 모식도.

한편, 본 시스템의 가장 중요한 요소의 하나인 고에너지 광원으로는 근적외선 발열체를 응용하였다. 근적외선은 발열체의 온도가 1,800 ~ 2,200°C 상태에서 발생하는 태양의 복사열에 가장 가까운 적외선으로 파장대가 0.8 $\mu$ m ~ 1.4 $\mu$ m로써, 공기를 가열하지 않고 고체의 물체에만 열이 파장으로 전달되는 인체에 전혀 무해한 환경 친화적인 단파장의 광선을 말한다. 또한, 보다 광에너지 효율을 높이기 위하여 광선을 집중시킬 수 있도록 반사판을 설계하였다.

### 3. 연속식 함수율 계측 시스템

비접촉 연속식 함수율 측정을 위하여 K-type 적외선 온도계(Infrared temperature sensors)를 사용하였다. 목재 표면 가열을 위해서는 2개의 850watt 급 halogen lamp가 장착된 halogen heater를 사용하였으며 heating element의 길이는 365mm로 하였다. 목재 표면과 heater사이의 간격은 5mm로 고정하였으며, conveyor 위를 이동하고 있는 목재 표면의 가열 전과 후의 온도를 측정하여 그 온도차로서 표면함수율을 추정하도록 하였다. 목재 이송속도는 10, 20 및

30m/min.를 적용하였다. heater와 온도센서 사이의 간격은 각각 300mm로 하였으며, 온도센서와 목재표면과의 거리는 200mm로 하였다. 따라서 목재 표면 위 온도센서 target spot 직경은 40mm가 되도록 하였다.

실험을 위한 시편은 두께 30mm와 길이 300mm로 제작하였으며, 실험후 즉시 함수율시편을 채취하여 칼날을 이용, 두께 3mm 시편 5개와 두께 15mm 시편 1개로 slicing하였다. 각 시편은 무게 측정후 전건법에 의해 함수율을 측정하였으며, 이를 통하여 목재 내부의 함수율 경사를 추정하였다.

목재의 자동 이송을 위하여 폭 40cm, 길이 3m의 belt형 conveyor를 제작하였다. 이송속도는 DC motor와 inverter를 장착, rpm을 조절하므로써 0 ~ 30m/min의 범위에서 제어가 가능하도록 하였다.

산업용 연속식 시스템에서의 함수율 계측을 위해서는 폭이 큰 대상물에 대한 대비로 해야 하므로 line-heater의 형식을 지닌 고에너지 광원이 요구된다. 본 연구에서는 출력 2kW급의 근적외선 Line-heater를 개발하였으며, 가열용 광선이 3도의 각도를 갖고 대상물에 방사되어 급속히 대상물을 가열할 수 있도록 설계하였다.

Line heater의 길이는 645mm로 하였으며, 반사갓의 길이는 649mm, 그리고 폭과 높이는 각각 120.5mm와 100mm로 하였다. 한편, 히터의 상부에는 많은 slot을 두어 가열시 lamp 가열에 의한 과열 방지를 위한 냉각능력을 부여하였다.

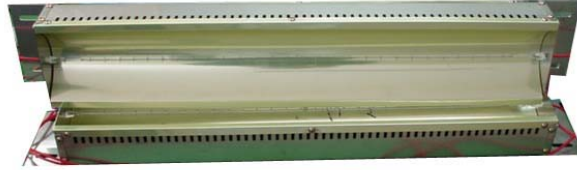


그림 87. 연속식 시스템용 NIR Line-heater.

#### 4. 연속식 함수율 계측 기초실험 결과

그림 88은 국산 소나무를 대상으로 한 표면함수율과 가열 전후 온도차 사이의 관계를 보여주고 있다. 이때 적용된 이송속도는 10, 20 및 30m/min. 이었다. 생재상태에서 표면의 가열전후 온도차는 이송속도 10, 20 및 30m/min.에서 각각 6, 4 및 3°C로서 이송속도가 빨라질수록 목재 표면에 가해지는 열량이 감소되어 온도상승 수준도 낮아지고 있다. 그러나 표면함수율이 낮아질수록 표면의 가열 전후 온도차는 증가되어 함수율 15% 수준의 기건상태에서는 각 이송속도별로 12, 8 및 7°C를 기록하였다. 한편, 실험이 수행된 실내의 온도범위는 13 ~ 15°C 수준이었다.

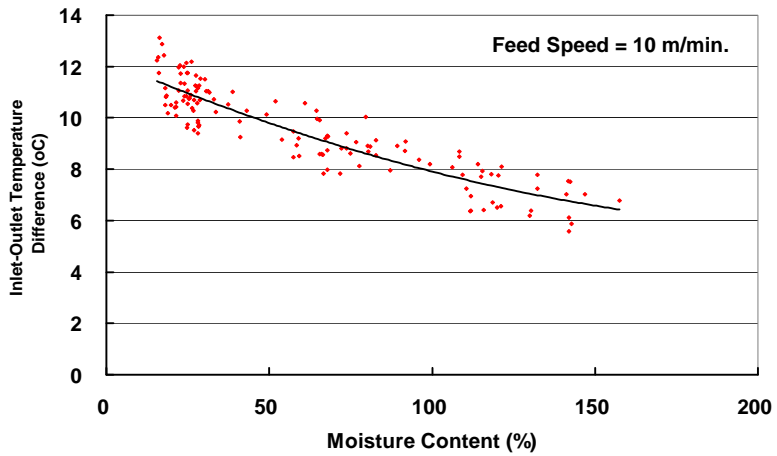


그림 88. 국산 소나무(두께 30mm)의 표면함수율과 가열 전 후 온도차의 관계(이송속도 10m/min).

**Feed Speed=20m/min**

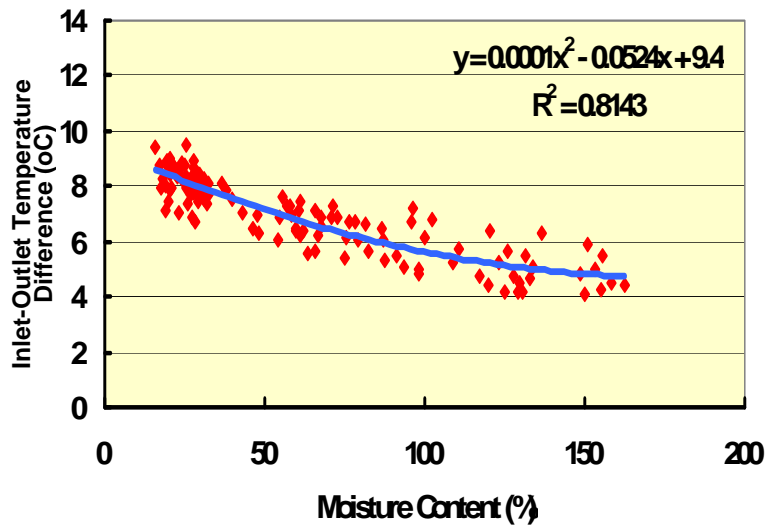


그림 89. 국산 소나무(두께 30mm)의 표면함수율과 가열 전 후 온도차의 관계(이송속도 20m/min).

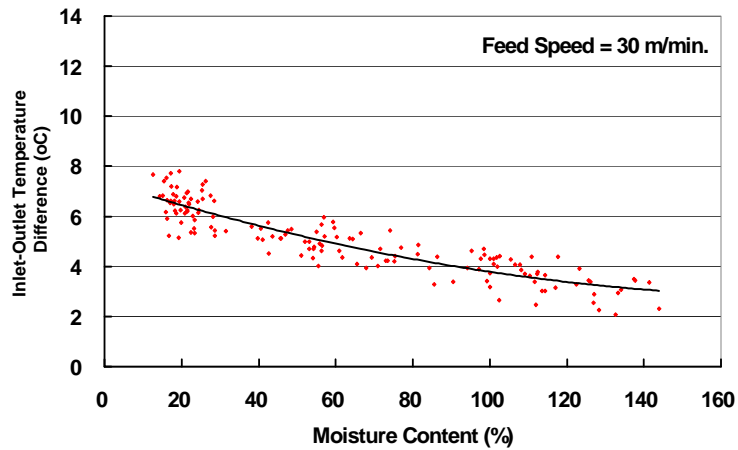


그림 90. 국산 소나무(두께 30mm)의 표면함수율과 가열 전후 온도차의 관계(이송속도 30m/min).

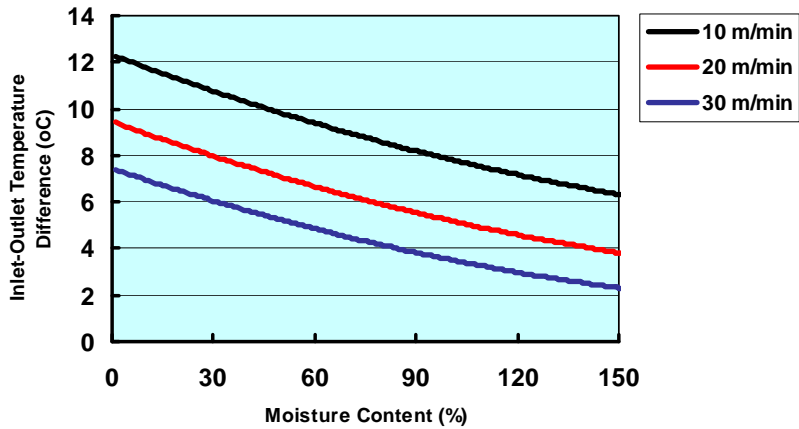


그림 91. 국산 소나무(두께 30mm)의 이송속도별 표면함수율과 가열 전후 온도차의 관계.

본 실험의 결과를 종합해본 결과 표 18에서 보는 바와 같이 생재상태에서 기건상태까지의 함수율 범위에서 이송속도에 관계없이 표면함수율과 표면온도의 가열 전후 온도차 사이에는 비교적 양호한 상관관계( $r^2 = 0.81 \sim 0.82$ )를 나타내

있다.

표 18. 국산 소나무(두께 30mm)의 표면함수율과 가열 전후 온도차의 관계 회귀분석 결과

Feed speed (m/min.)	Regression equation	r <sup>2</sup> coefficient
10	Ms = 1.3464 dT <sup>2</sup> + 49.224 dT + 402.13	0.81
20	Ms = 1.5922 dT <sup>2</sup> + 46.615 dT + 298.69	0.81
30	Ms = 2.0950 dT <sup>2</sup> + 48.266 dT + 243.46	0.82

식(5-3)은 Brown 등(1952)이 제시한 것으로 단위 체적의 목재를 원하는 온도로 상승시키기 위하여 요구되는 열량을 계산할 수 있다. 본 실험의 조건에서는 열량을 조절하지 않으므로 각 이송속도에서 식(3)의 Q는 언제나 일정하므로 함수율은 온도차 (t<sub>f</sub> - t<sub>i</sub>)의 함수로 표현할 수 있다(식(5-4)).

$$Q = w_o c (t_f - t_i) + w_o M (t_f - t_i) / 100 \text{-----} (5-3)$$

$$M = 100(Q - w_o c (t_f - t_i)) / (w_o (t_f - t_i)) \text{-----} (5-4)$$

Q : 필요 열량

w<sub>o</sub> : 목재의 전건중량

c : 온도범위 t<sub>f</sub> ~ t<sub>i</sub>에서 목질의 평균 비열

t<sub>f</sub> : 가열후 온도

t<sub>i</sub> : 가열전 온도

M : 목재의 함수율(%)

그러므로 가열 전후 온도차가 클수록 목재의 표면함수율이 낮음을 의미하게 된다. 그리고 이송속도가 빠를수록 가열시간이 단축되어 열원으로부터 목재의 표면으로 전달되는 열량이 감소하게 되어 결국 온도차도 감소하게 된다. 표 18의 관계식을 이용하면 국산 소나무에 관한 목재의 표면함수율을 가열 전후 온도

차의 함수로 표현할 수 있었다.

그러나 가열시간이 매우 짧고 목재의 열전도도 역시 매우 낮으므로 목재의 내부까지 충분한 열량을 전달할 수 없기 때문에 표 18의 관계식들은 단지 표면함수율을 추정할 수 있을 뿐이다. Kikuchi 등(1995)의 연구결과에 따르면 1.75kw의 방사가열 열원(radiation heating source)을 이용, 두께 30mm의 ponderosa pine을 가열할 때 목재의 중심부 온도를 상승시키기 위하여 2분이상이 소요되고 있다. 그러나 본 실험에서는 가열간격(heater slot의 폭)이 56mm이고 이송속도 10m/min.에서도 가열시간이 최대 0.3초에 지나지 않으므로 목재 전체의 평균적인 함수율을 추정할 수 없었다.

따라서 본 연구에서는 천연건조 과정중 목재 내부의 함수율분포(또는 함수율경사)를 측정, 표면함수율과 평균함수율과의 관계식을 얻어 표면함수율만으로 목재의 평균함수율을 추정하고자 하였다. 그림 91은 함수율 20% ~ 100% 범위를 10%단계로 나누어 각 단계에서 함수율분포를 회귀분석한 결과이다. 한편, 국산 소나무의 평균 생재함수율은 150%를 넘고 있으나 생재상태에서는 함수율경사가 거의 없었다. 따라서 함수율 100%이상에서는 함수율 경사가 같은 것으로 가정하였다. 표 19는 각 회기방정식을 나타낸 것으로 분석대상 시편에서 옹이나 수지구 등이 포함된 것들은 제거하였으므로 평균함수율과 표면함수율 사이에 상당히 양호한 상관관계가 있음을 알 수 있다. 이 방정식들이 있어서 y축 절편 Ms는 표면함수율을 의미하며, X값은 목재 두께 방향으로의 깊이를 뜻한다.

함수율 경사 곡선을 이용하여 평균함수율을 구하려면 곡선 밑부분의 전체 면적을 2등분하는 X값인  $X_a$ 를 찾으면 되며, 식(5-7)의 등식을 성립시키는  $X_a$ 를 계산하면 된다. 따라서 목재를 두께방향으로 이분하여 양쪽의 상황이 같다고 가정하였을 때 식(5-6)의 X 대신  $X_a$ 를 대입하여 Y를 계산하면 이것이 평균함수율이 된다. 즉, 목재의 두께를 알고 온도차에 의해 표면함수율을 측정하게 되면 평균함수율을 추정할 수 있다.

표 18. 국산 소나무(두께 30mm) 표면함수율 단계별 두께방향 깊이에 따른 평균함수율 관계 회귀분석 결과.

Surface moisture content range (%)	Regression equation	r <sup>2</sup> coefficient
<20	Y = 2.499 Ln(X) + Ms	0.970
20 ~ 30	Y = 6.223 Ln(X) + Ms	0.922
30 ~ 40	Y = 14.814 Ln(X) + Ms	0.997
40 ~ 50	Y = 26.443 Ln(X) + Ms	0.985
50 ~ 60	Y = 29.485 Ln(X) + Ms	0.993
60 ~ 70	Y = 31.054 Ln(X) + Ms	0.990
70 ~ 80	Y = 28.056 Ln(X) + Ms	0.997
80 ~ 90	Y = 25.500 Ln(X) + Ms	0.993
90 ~ 100	Y = 21.446 Ln(X) + Ms	0.980
100 ~ 150	Y = 17.667 Ln(X) + Ms	0.951

( Ms=표면함수율;X=두께방향 깊이( 0 ~ 15mm );Y=평균함수율 )

$$Ms = Ad T^2 + bdT + C \text{ ----- (5-5)}$$

$$Y = D \ln(X) + Ms \text{ ----- (5-6)}$$

$$\int_{\text{surface}}^{Xa} YdX = \int_{Xa}^{\text{center}} Ydx \text{ ----- (5-7)}$$

A, B, C : 상수

한편, 수중에 따른 변이를 확인하기 위한 실험으로 소나무에 비해 비중이 비교적 높은 상수리나무를 대상으로 동일한 실험을 수행한 결과 그림91에서 보는 바와 같이 비중이 높은 상수리나무의 경우 소나무에 비하여 가열 전후 온도차가 낮은 것을 알 수 있다. 기본적으로는 목재의 평균적인 비열은 목재의 비중에 따른 영향을 받지 않는 것으로 알려져 있으므로 동일한 가열조건이라면 비중에 상관없이 가열전후의 온도차는 같아야 할 것이다. 그러나 이러한 상황이 발생하는 원인으로는 비중이 높을수록 열전도도 역시 높아지기 때문에 상수리나무의 경우 표면이 받은 열이 신속히 목재내부로 전달되어 표면의 온도가 쉽게 상승되지 못한 것으로 판단된다. 그러므로 본 시스템을 여타 수중에 대하여 적용하려면 대



상 수중에 대한 동일한 실험을 통한 보정이 요구된다고 하겠다.

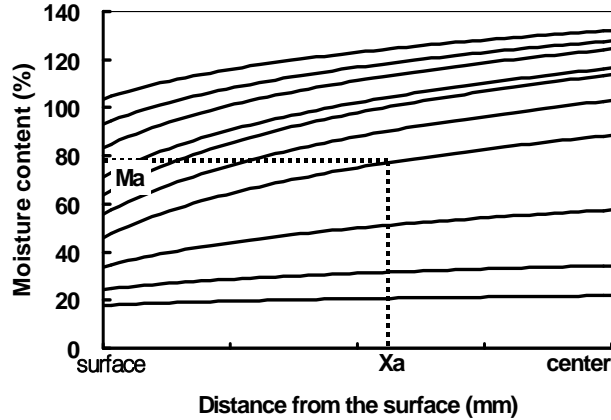
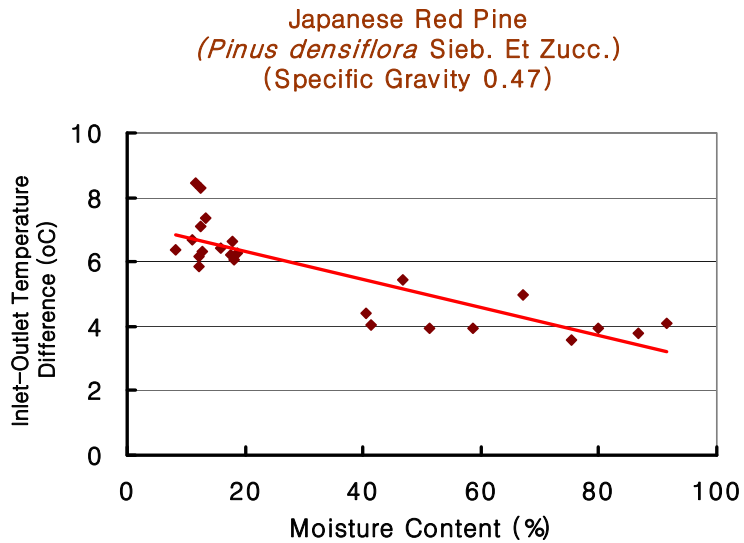


그림 91. 목재 내부 함수율 분포의 추정.



Sawtooth Oak  
(*Quercus acutissima* Carruth.)  
(Specific Gravity 0.82)

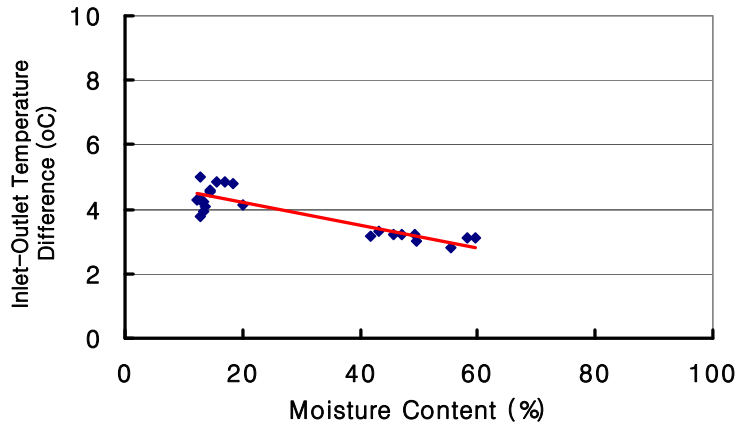


그림 92. 국산 소나무와 국산 상수리나무의 비교.

#### 제 4 절 산업용 연속식 함수율 계측시스템 실험 결과

산업용 연속식 함수율 계측시스템의 성능 평가를 위하여 본 과제에서 제작한 원격외선 건조기의 입출구에 그림 68과 같이 NIR line heater를 각각 장착하였다.

NIR line heater 양쪽에는 IR 온도센서를 각각 장착하여 가열전과 가열후의 온도를 비접촉식으로 계측할 수 있도록 하였다. 이때 각 IR 센서는 각도 조절 및 위치 조절이 가능하도록 하여 원하는 지점의 온도 측정이 가능토록 하였으며, laser pointer를 함께 부착하여 측정지점을 정확히 파악할 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 IR 센서 사이의 거리를 700mm로 하여 가열전과 후의 온도를 측정하는데 있어서 서로 간의 간섭이 배제될 수 있도록 하였다. 한편, NIR line heater와 대상물 사이의 거리는 50mm로 하여 단시간내에 가열이 이루어질 수 있도록 하였다.



그림 93. 고에너지 광원용 함수율 계측시스템 장착 모습.

시스템 성능 평가를 위한 시료로는 두께 5mm의 소나무 단판을 사용하였다. 본 시료는 초기함수율이 120%(건량기준)에 이를 정도로 고함수율의 재료로서 일반적인 목표함수율이 10% 정도로 건조공정이 필수적이다. 한편, 건조중 재료가 건조응력(drying stress)에 의하여 변형(비틀림)되는 현상을 방지하고 보다 신뢰

성 있는 실험을 수행하기 위하여 그림과 같은 프레스 jig를 제작하여 5개의 시료를 함께 투입할 수 있도록 하였다.



그림 94. 성능평가용 시료와 고정 투입용 Jig.

그림 95는 소나무 시료가 함수율 계측시스템으로 도입되어 NIR line-heater에 의해 가열, 측정되고 있는 모습으로 이때 적용된 이송속도는 3, 5, 10 및 15m/min 이었다. 한편, 각 시료의 실제 함수율은 실험후 전건법에 의하여 정확히 측정하였다.



그림 95. 측정중인 함수율 계측시스템.

그림 96 ~ 99는 각 이송속도별 생재상태(green)와 전건상태(oven-dried)에서의 가열전후 온도곡선을 보여주고 있다. 모든 경우에서 이송속도가 느릴수록 즉, 가열시간이 증가할수록 가열전후의 온도차는 증가되었다. 생재상태의 경우 이송속도 3m/min에서는 15도 정도의 가열전후 온도차가 있었으나 이송속도 5m/min에서는 10도, 이송속도 10m/min에서는 5도, 그리고 최고속도인 이송속도 15m/min에서는 3도 정도의 차이밖에 나지 않았다.

한편, 전건상태에서는 이송속도 3, 5, 10 및 15 m/min에 따라서 각각 30도, 23도, 15도 및 12도의 평균 온도차를 나타내었다. 즉, 동일한 함수율 수준에서 이송속도를 15, 10, 5, 3m/min로 늦추면 가열전후의 생재와 전건상태의 온도차는 각각 8도, 10도, 13도 및 15도로 증가됨을 알 수 있었다. 즉, 생재상태의 초기함수율이 120%라 할 때 이송속도 3m/min를 적용하면 측정 정밀도는  $120\% / 15\text{도} = 8\%/\text{도}$ 가 된다. 마찬가지로 이송속도 5, 10 및 15m/min에 대한 측정 정밀도는 각각 9.2%/도, 12%/도 및 15%/도가 된다. 다시 말하자면 이송속도를 늦추어 충분한 가열시간을 준다면 측정 정밀도를 높일 수 있다. 한편, IR(적외선) 온도센서의 온도측정 정밀도가 0.1도이므로 본 시스템의 함수율 측정 정밀도는 0.8%, 0.92%, 1.2% 및 1.5%라 할 수 있다. 그러나 IR 센서의 온도측정범위를 특화하여 그 온도측정 정밀도를 0.1도 미만으로 낮춘다면 매우 높은 함수율 측정 정밀

도를 구현할 수 있을 것으로 판단된다. 한편, 실험이 수행된 실내의 온도는 25 ~ 30도의 실온수준이었다.

그림 96 ~ 99의 온도곡선을 보면 새로운 시료의 온도를 읽는 순간 약간의 온도변동이 있었음을 알 수 있다. 이는 각 시료의 표면이 일정하지 못하고 약간의 변형이 발생되어 IR 센서가 읽는 지점의 높이가 달라지기 때문인 것으로 사료된다. 본 실험에서는 여러 개의 시료를 동일한 조건에서 실험하기 위하여 5개의 시료를 한꺼번에 묶어 투입하였기 때문이며, 따라서 실제 온도차와 관련된 자료의 채취를 위해서 각 온도곡선중 일정하게 안정된 부분의 온도만을 data logging 하도록 하였다.

실제 공정에서는 시료가 횡방향이 아닌 종방향으로 투입될 것이므로 이와 같은 상황에 대해서는 우려하지 않아도 될 것으로 판단된다.

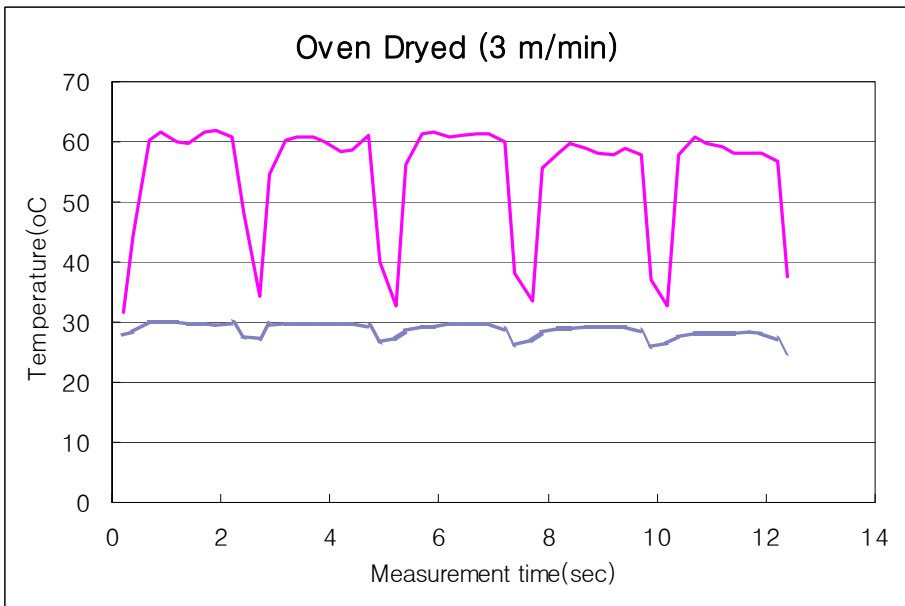
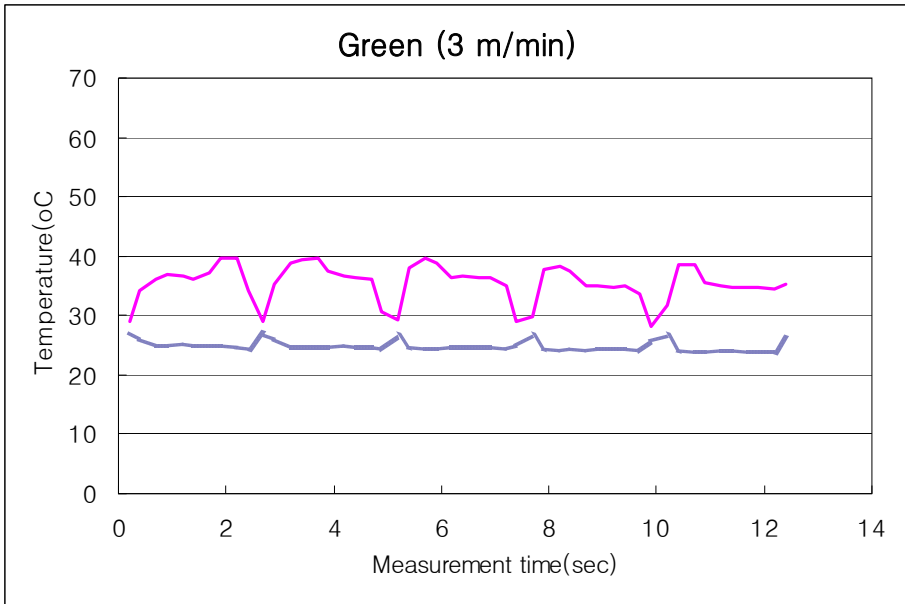


그림 96. 이송속도 3m/min에서 생재와 전건재의 가열전후 온도곡선.

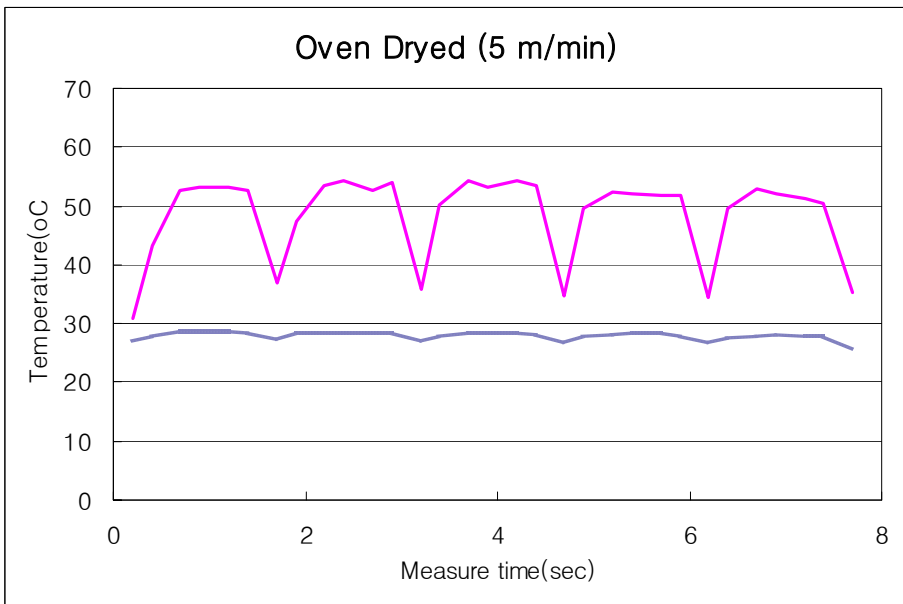
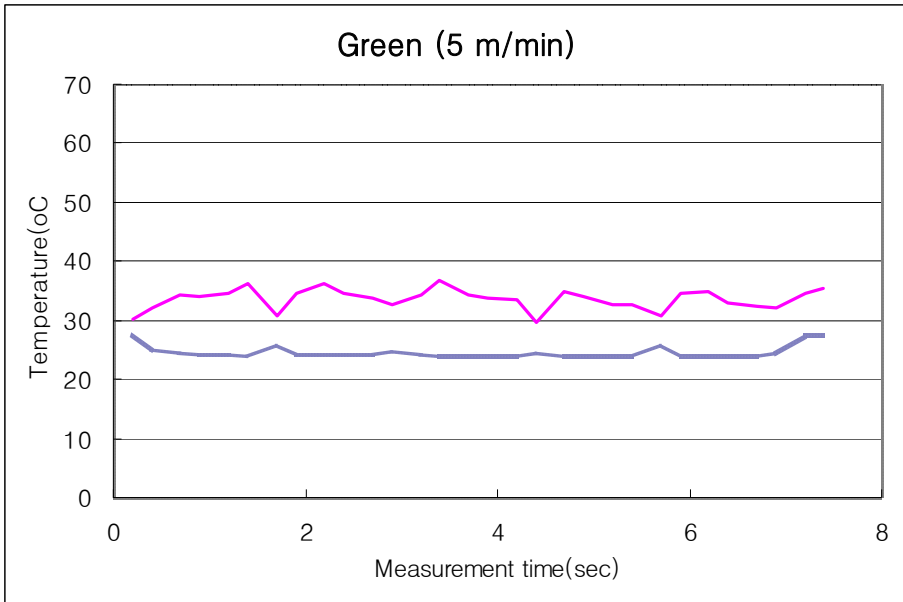


그림 97. 이송속도 5m/min에서 생재와 전건재의 가열전후 온도곡선.



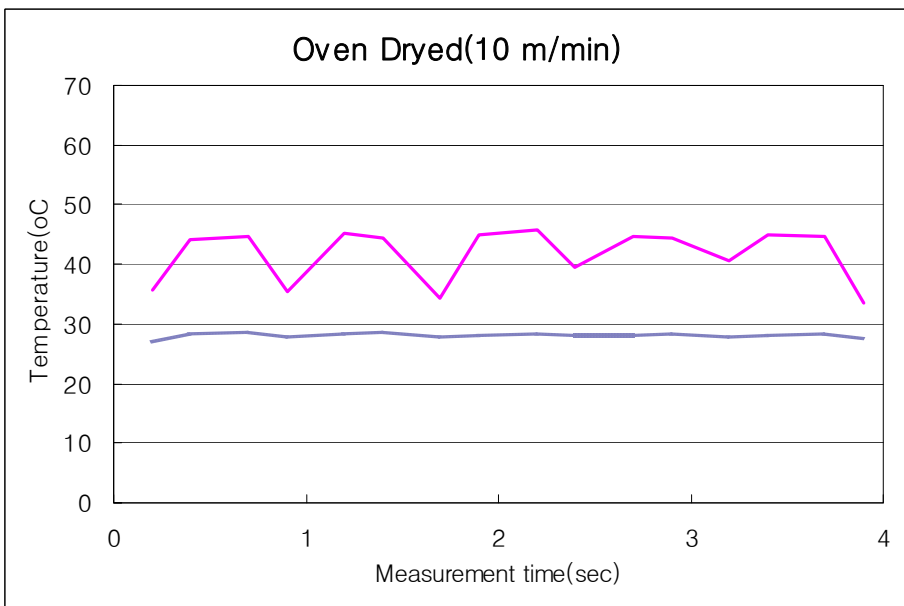
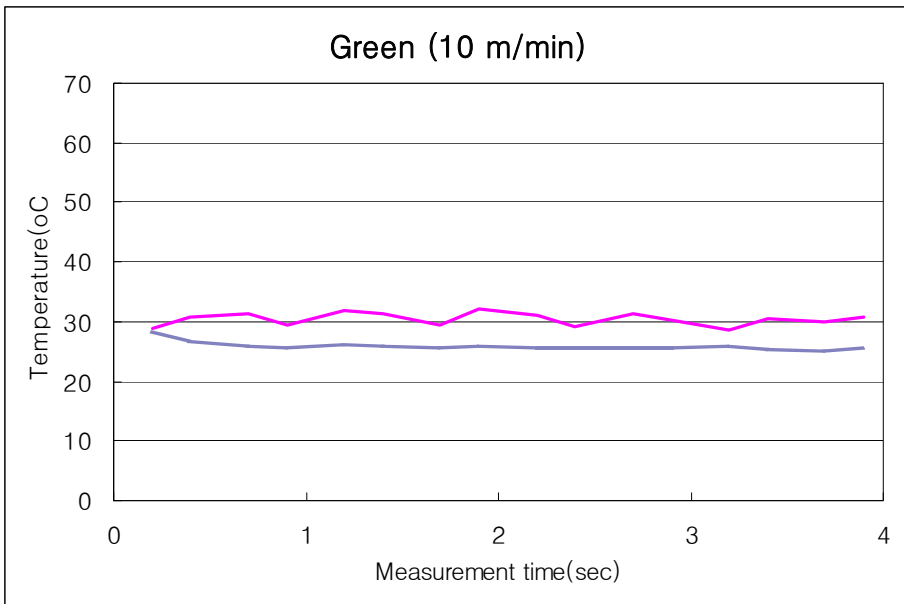


그림 98. 이송속도10m/min에서 생재와 전건재의 가열전후 온도곡선.

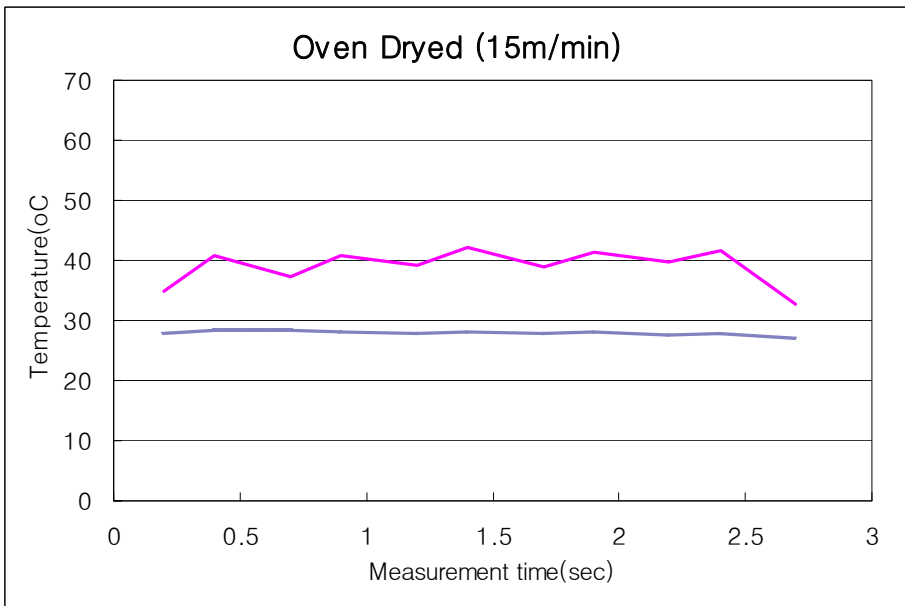
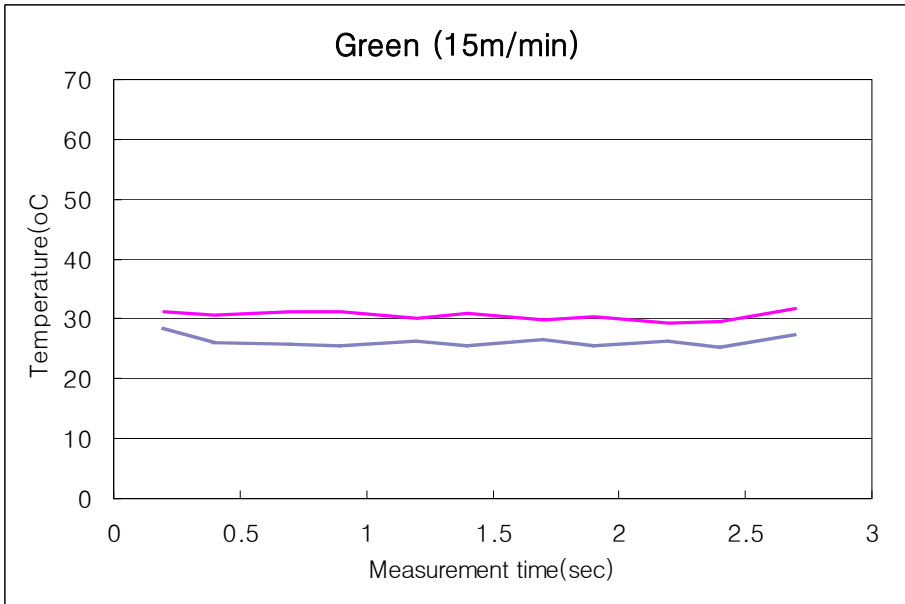


그림 99. 이송속도15m/min에서 생재와 전건재의 가열전후 온도곡선.

그림 100 ~ 103은 각 이송속도별 온도차와 함수율 사이의 관계를 보여주고 있다. 2차식으로 회귀분석한 결과인 표 19를 보면 모든 이송속도조건에서 상관계수의 값이 0.94 ~ 0.97로 매우 높게 나타난 것을 알 수 있다. 제 3 절의 기초실험 결과의 상관계수인 0.81 ~ 0.82 수준에 비하여 매우 크게 개선된 결과로 이는 새로이 개발된 고에너지 광원을 적용함으로써 단시간내에 보다 많은 열량을 투입할 수 있어 외부 환경으로부터의 오차발생원인 입력을 근본적으로 방지하였기 때문으로 판단된다.

본 실험의 결과에 의하면 이송속도 10m/min에서 상관계수가 0.97로 가장 높게 나타났으나 이미 전술한 바와 같이 측정의 정밀도(resolution)를 생각한다면 보다 낮은 이송속도를 선택해야 할 경우도 발생할 수 있다. 한편, 본 시스템은 대개의 경우 투입속도가 비교적 느린 건조나 가열공정에 함께 장착되므로 이송속도에 따른 한계는 충분히 극복할 수 있을 것으로 판단된다. 즉, 보다 신속한 이송속도가 요구될 때에는 약간의 resolution 감소를 감안하거나 아니면 제 2의 NIR line heater를 장착하여 주어진 시간내 투입하는 열량을 배가해줌으로써 문제를 해결할 수 있을 것이다. 반대로 매우 느린 이송속도가 필요할 경우에는 NIR line-heater와 재료 사이의 간격을 증대시켜 투입열량을 조절함으로써 재료의 과열을 방지하는 동시에 원하는 측정 정밀도를 유지할 수 있을 것이다.

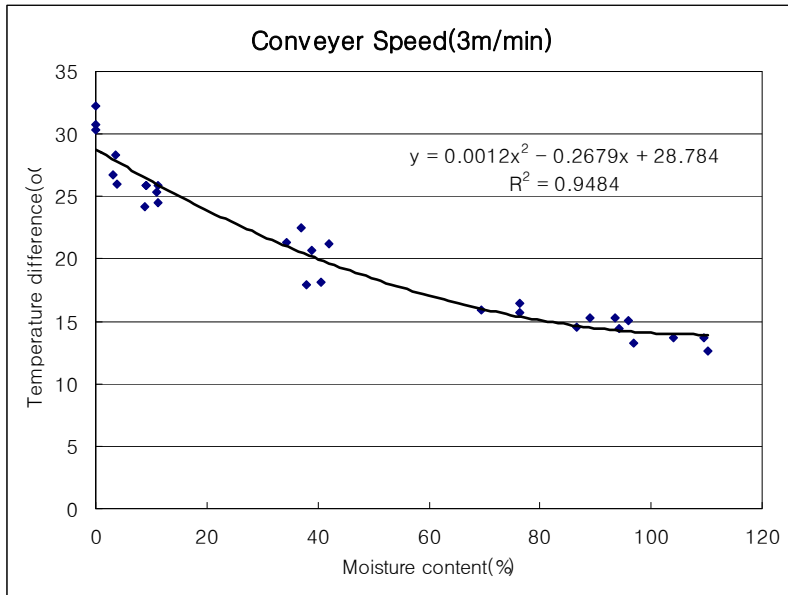


그림 100. 이송속도 3m/min에서 온도차와 함수율 관계곡선.

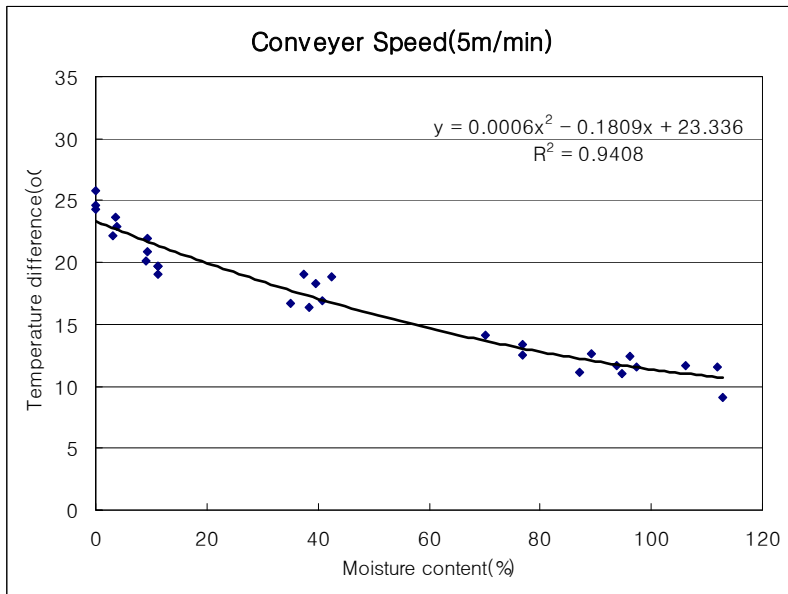


그림 101. 이송속도 5m/min에서 온도차와 함수율 관계곡선.

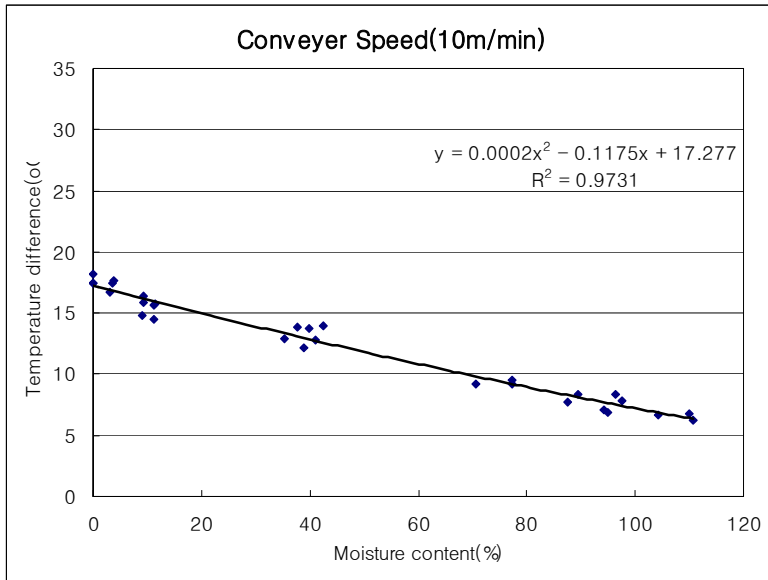


그림 102. 이송속도 10m/min에서 온도차와 함수율 관계곡선.

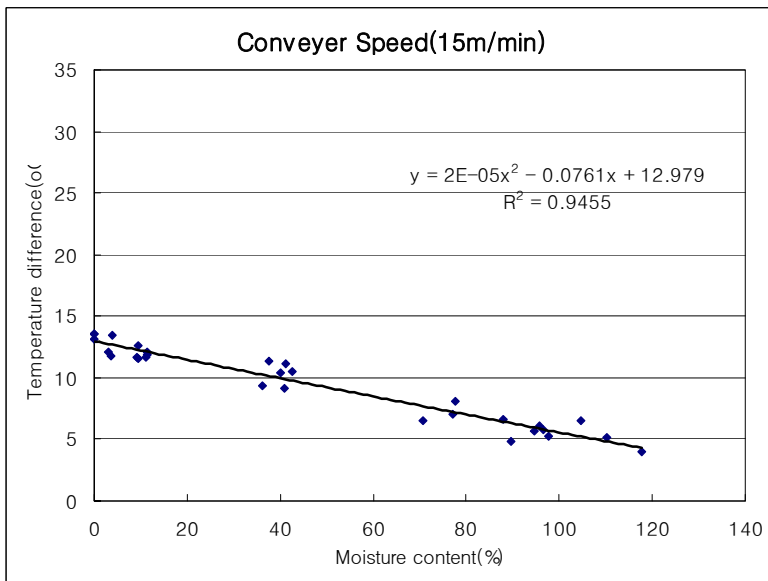


그림 103. 이송속도 15m/min에서 온도차와 함수율 관계곡선.

표 19. 이송속도에 따른 회귀분석 결과

Feed speed (m/min)	Regression equation	r <sup>2</sup> coefficient
3	$Td = 0.0012M^2 - 0.2679M + 28.784$	0.9484
5	$Td = 0.0006M^2 - 0.1809M + 23.336$	0.9408
10	$Td = 0.0002M^2 - 0.1175M + 17.277$	0.9731
15	$Td = 2E-05M^2 - 0.0761M + 12.979$	0.9455

(\*주: Td = 가열전후 온도차; M = 시료의 함수율)

그림 104는 산업용 연속식 비파괴 함수율 계측시스템의 운영을 위한 software의 main windows로 개발한 것으로 가열전후의 온도를 자동으로 계측하여 그 결과를 이용, 실제 함수율을 제시해준다.

컨베이어의 속도를 선택하면 inverter에 명령을 주어 일정 속도를 유지하도록 하며, 건조실내 각 구간의 온도조건도 본 windows를 통하여 제어와 동시에 data-logging을 실시한다. 모든 data는 미리 지정해둔 data file에 저장되며, 이후 다시 불러내어 display할 수 있도록 제작하였다.

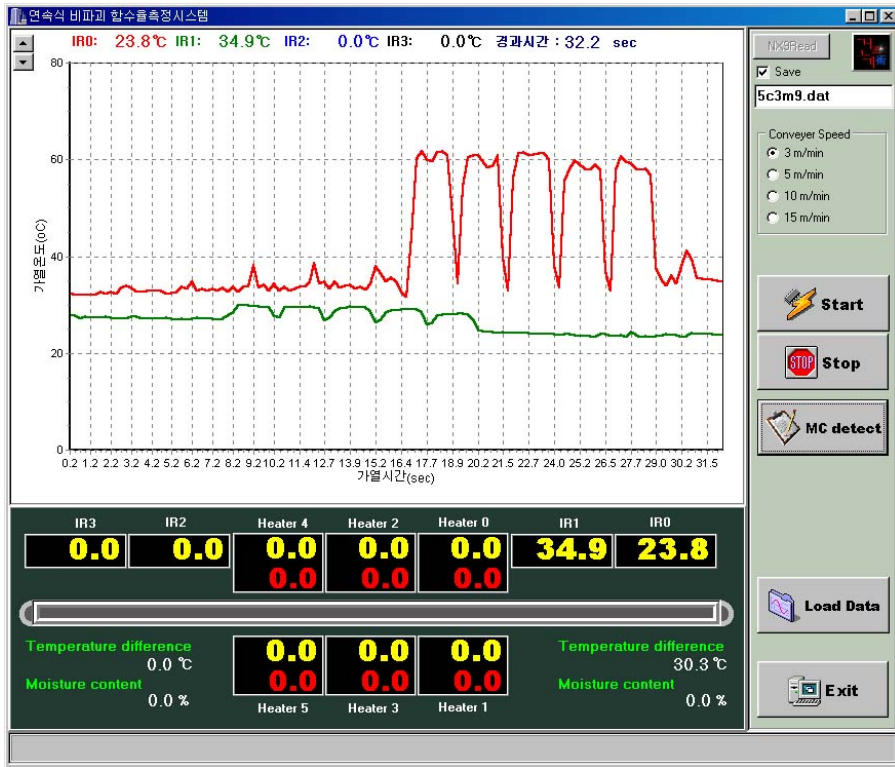


그림 104. 연속식 비파괴 함수율 측정시스템 운영 software.

## 제 6 절 결론

화상처리시스템은 고속으로 흘러 들어오는 목재에 대한 화상을 획득하여 화상을 처리하여야 하므로 최대한 처리속도를 향상시켜야 한다. 그러나 처리속도로 인한 결함인식의 정확도가 떨어지지 않도록 해야 하므로 이러한 관점에서 최대한 정확도를 높이는 동시에 인식속도를 빠르게 할 수 있어야 한다. 본 연구에서 원목을 형상을 검색하는데 있어서 네트워크 서버를 장착한 카메라를 이용하여 각각 다른 방향에서 원목의 화상을 입력받아 컴퓨터로 전송하였다. 총 5대의 카메라로부터 동시에 처리할 수 있는 화상의 수는 각 카메라당로부터 1초에 4장씩 입력되어 총 20장의 화상을 처리하게 되었다. 따라서 이송속도 18.5m/min의 원목을 입력받아 소경재의 제재 최적화를 시도해보았다. 또한 제재목을 이송시켜 23.5m/min의 송재속도에서 화상처리를 구현할 수 있었다. 제재목에 대해서 결함인식율을 높이면 실제제단공정에서 화상처리시스템을 이용 가능할 것으로 추정된다. 실제로 대경목을 다루는 외국의 목재업계에서는 레이저스캐너가 제재 및 제단 최적화 시스템에 장착되어 이용되고 있는 실정이지만 국내의 여건상 고가의 장비를 대체할 수 있는 시스템으로 영역카메라를 이용한 시스템을 구축할 필요가 있을 것이다.

일반적으로 목재표면상의 부위에 따라 계조값이 구멍(hole), 갈라짐(split), 수피(bark), 둥근모(wane), 광물질(mineral), 옹이(knot), 변색(stain), 무결점면(clear wood), 부후(decay) 등의 순으로 증가한다. 이러한 결점들은 서로 계조값의 분포가 중복되거나 얽혀있어서 계조값만으로 판단하기가 어렵다. 따라서 화상처리프로그램으로부터 출력되는 결함으로 추정되는 라벨들을 대상으로 8개의 특성치를 이용하여 결함을 검출하였다. 제재면이 뚜렷한 육송 옹이의 오인률은 0.99%로 비교적 우수하였으며, 상수리나무 옹이도 0.93%의 오인을 얻을 수 있었다. 그러나 상수리나무의 표면 특성에 의해 할렬의 오인율은 12.04%였으며, 서어나무의 제재목 특성으로 인한 내수피의 에러율은 32.86%로 상당히 높은 수치를 나타



내었다. 그러나 서어나무의 내수피는 재단공정에 영향을 주는 부위가 아니므로 무시하여도 좋을 것이다. 또한 신경망을 이용해서 육송과 상수리나무를 대상으로 옹이와 활렬의 결합 판정을 하였을 때, 라벨정보에서 xyRatio와 eLong를 통하여 6.5%의 판정오류가 발생하였다.

재단최적화를 위해 국산재 중에서 가장 활용도가 높을 것으로 예상되고 있는 소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.)와 상수리나무(*Quercus acutissima*)를 대상으로 재단주문서에 따른 다중종절우선(多衆縱切優先;gang-rip-first)공정 모의실험을 실시한 결과 Fixed blade best feed조건에서 가장 높은 수율이 발생하였다. Fixed blade best feed 방식으로 재단하였을 경우 국산 소나무의 재단 수율은 63.82%였으며, 상수리나무의 재단 수율은 46.47%였다.

## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

구 분	연구개발 목표	달성도	기여도
1차년도 (2004)	원목 및 제재목 형상검색 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 원목 형상검색 시스템 개발 성공</li> <li>● 제재목 형상검색 시스템 개발 성공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 국내 제재산업에 적용시 국산재 제재수율의 향상</li> <li>● 국내 목재가공산업에 적용시 국산 목제품 경쟁력 향상</li> </ul>
2차년도 (2005)	목재 결함검색 및 분류 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 제재목 표면결함 검색 시스템 개발 성공</li> <li>● 분류 및 재단수율 추정 시스템 개발 성공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 국내 목재가공산업에 적용시 무결점 목제품 생산을 통한 제품 품질 향상</li> <li>● 인력절감을 통한 비용절감</li> </ul>
3차년도 (2006)	연속식 비파괴 함수율 측정 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 연속식 비파괴 함수율 측정 시스템 개발 성공</li> <li>● 검색 및 함수율 측정 시스템 통합 성공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 완벽한 목제품 품질관리</li> <li>● 국산 목제품의 고부가가치화와 수출 상품화 가능</li> </ul>

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

그림 105는 본 연구를 통하여 개발된 목재 검색장치를 응용하여 국립산림과학원에서 집성재 제조공정에서 집성용 laminar의 강도를 예측할 수 있도록 한 시스템이다. 즉, 목재 표면에 존재하는 용이의 수와 크기 등을 검색을 통하여 측정하고, 이 자료들을 바탕으로 laminar의 강도를 추정할 수 있도록 하였다.

이처럼 본 연구를 통하여 개발된 목재 검색 시스템은 제재공업뿐만 아니라 집성재 공업 등 그 응용가능한 분야가 매우 다양하고 폭이 넓으므로 목재산업의 각 분야에서 본 기술과 시스템을 응용할 수 있는 연구가 이어져야 할 것으로 판단된다. 한편, 본 연구과제의 참여기업인 '(주)건조기술'은 국립산림과학원과의 협력을 통하여 본 시스템의 제품화를 이미 추진 중에 있다.



그림 105. 목재 검색장치를 이용한 목재강도 추정 시스템.

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술 정보

다음은 연구책임자가 2007년 5월 14일부터 독일 Hanover에서 개최된 ‘Ligna 3007’에 참가하여 수집한 목재검색시스템 관련 자료로서, 유럽과 미국 등 목재산업 선진국에서는 이미 목재 검색을 통한 목재산업의 고효율화에 매우 큰 관심을 집중시키고 있음을 확인할 수 있었다.



그림 106. WoodEye社의 목재 검색기.



그림 107. Southern CrossEngineering社의 목재 검색기.

## 제 7 장      참고문헌

1. Anderson, R. B., R. E. Thomas, C. J. Gatchell and N. D. Bennett. 1992. Computerized technique for recording board defect data. USDA Northeastern Forest Experiment Station Research Paper NE-671.
2. Anderson. C., Walter.F. 1995. Classification of compression wood using digital image analysis. *Forest Products Journal* 45(11/12): 87-95.
3. Araman, P. A., D. L. Schmoltdt, T. Cho, R. W. Connors, and D. E. Kline. 1992. Machine Vision Systems for Processing Hardwood Lumber and Logs. *AI Applications*. 6(2):13-26.
4. Aune, J. E. 1995. An X-ray Log-Scanner for Sawmills. In: *Proceedings, 2nd International Workshop on Scanning Technology and Image Processing on Wood*, August 14-16, 1995, Skelleftea, Sweden. pp. 51-64.
5. Breiner, T.A., D.G. Arganbright, and W.Y. Pong. 1987. Performance of in-line moisture meters. *Forest Products Journal* 37(4):9-16.
6. Butler, D. A., James. W. F. and , C.C Brunner. 1993. An adaptive image preprocessing algorithm for defect detection in Douglas-fir venner. *Forest Products Journal* 43(5):57-60.
7. Chang, S. J., M. Cohen, and P. C. Wang. 1991. Ultrafast scanning of hardwood logs with an NMR scanner. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Scanning Technology in the Wood Industry*. October 28-29, 1991. San Francisco, California.
8. Collet, B.M. 1972. A review of the surface and interfacial adhesion in wood science and related fields. *Wood Science & Technology* 6:1-42.
9. Connors, R. W., C.W.Mcmillin, K. Lin and R. 1983. Identifying and Locating Surface Defects in Wood Part of an Automated Lumber

- Processing System. *Pattern Analysis and Machine Intelligence* 6:573-583.
10. Conners, R. W., Harlow, C.A. 1980. A Theoretical Comparison of Texture Algorithms. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*. PAMI-2(3):204-222.
  11. Davis, J., P. Wells, N. Benci, J. Grant, and D. McLachlan. 1996. A Portable CT-scanner for Electricity Power Pole and Tree Inspection and a High-Resolution Laboratory CTsystem. *Proceedings 2nd International Workshop/Seminar on Scanning Technology and Image Processing on Wood*. Skellefta, Sweden, August 14-16.
  12. Echols, R. M. 1973. Uniformity of Wood Density Assessed from X-rays of Increment Cores. *Wood Science and Technology*. 7(1):34-44.
  13. Forrer, J. B., D. A. Butler, J.W. Funck, and C. C. Brunner. 1988. Image sweep-and-mark algorithms: Part1. Basic algorithms. *Forest Products Journal* 38(11/12):75-79.
  14. Forrer, J. B., D. A. Butler, C. C. Brunner. and J.W. Funck. 1989. Image sweep-and-mark algorithms: Part2. Performance evaluations. *Forest Products Journal* 39(1):39-42.
  15. Fromm, J. H., D. Sautter, D. Matthies, J. Kremer, P. Schumacher, and C. Ganter. Xylem Water Content and Wood Density in Spruce and Oak Trees Detected by High-Resolution Computed Tomography. *Plant Physiology*, October 2001, Vol. 127, pp. 416-425
  16. Gardner, W. D., R. S. Jonstone, and W. Pitt. 1980. Detection of defects in standing poles by x-ray techniques. 11th Annual Meeting of the International Research Group on Wood Preservation. Raleigh, North Carolina. May 5-9.
  17. Gatchell, C. J., J. K. Wiedenbeck and E. S. Walker. 1992. 1992 data bank for red oak lumber. USDA Northeastern Forest Experiment Station Research Paper NE-669.

18. Giese, P. J. and K. A. McDonald. 1982. OPTYLD - a multiple rip-first computer program to maximize cutting yields. USDA Forest Products Laboratory Research Paper FPL-412.
19. Giese, P. J. and J. D. Dainelson. 1983. CROMAX: a crosscut-first computer simulation program to determine cutting yield. USDA Forest Products Laboratory General Technical Report FPL-38.
20. Hallock, H. and D. W. Lewis. 1976. Is there a "best" sawing method? USDA Forest Products Laboratory Research paper FPL-280.
21. Haralic, R. H. and L. G. Shapiro. 1992. Computer and robot vision. Addison-Wesley publishing Company:303-357.
22. Hoff, K. G., E. L. Adams, and E. S. Walker. 1991. GR-1st: PC program for evaluating gang-rip first board cut-up procedures. USDA Northeastern Forest Experiment Station General Technical Report NE-150.
23. James, W.L., R.S. Boone, and W.L. Galligan. 1982. Using speed of sound in wood to monitor drying in a kiln. Forest Products Journal 32(9):27-34.
24. Kauppinen, Hannu, 1991. Devalopment of a color machine vision method for wood surface. Oulu University, Finland. ISBN 951-42-5424-4.
25. Kim, C. W. 1989. Classification of surface defects on wood boards. Purdue University.
26. Kline, D. E., R. W. Conners, D. L. Schmoldt, P. A. Araman, and R. L. Brisbin. 1993. A multiple sensor machine vision system for automatic hardwood feature detection. In: R. Szymani (Ed.) 5th International Conference on Scanning Technology & Process Control for the Wood Industry, October 25-27, 1993, Atlanta, Georgia, 11 p.
27. Li, P. 1996. Automatic Inspection of Computed Tomography (CT) Images for Hardwood Log Defect Detection. Thesis. Virginia Polytechnic and State University. Blacksburg, Virginia.
28. Loos, W.E. 1961. The relationship between gamma ray absorption and



- wood moisture content and density. *Forest Products Journal* 11(3):145-149.
29. McAdoo, J. C. 1969. Computer simulation of small-log mill processing. *Forest Products Journal* 19(4):34-35.
  30. McMillin, C.W. 1982. Application of automatic image analysis to wood science. *Wood Science* 14(3):97-105.
  31. McMillin, C.W. 1984. ALPS-A potential new automatic lumber processing system. *Forest Products Journal* 34(1):13-20.
  32. Mehlhorn, L. 1985. Quality control in the wood based board industry with digital image processing. *Holz als Roh-und Werkstoff* 43:403-407
  33. Nakamura, G. and H. Takachio. 1960. Reflection of light and roughness on sanded surface of wood. *Journal of Japan Wood Research Society(Mokuzai Gakkaishi)* 6(6):237-242.
  34. Osborn, L. E., C. J. Gatchell and C. C. Hassler. 1992. West Virginia yellow-poplar lumber defect database. USDA Northeastern Forest Experiment Station Research Paper NE-660.
  35. Sonka, M., Vaclav Hlavac, and Roger Boyle, *Image Processing, Analysis, and Machine Vision*. Brooks and Cole Publishing in 1998, Chapter 9, ISBN 0-534-95393-X.
  36. Szymani, R. 1979. Technology of potoelectric scanning sawmilling. *Proceedings of 6th Wood Machining Seminar*, Forest Products Laboratory, University of Califonia, Berkely.
  37. Tang, M.J., Faust, T.D. and David L. N. 1995. Detection of Internal Defects in Hardwood Logs Using Computeed Tomography. 1995 Forest Products Society Annual Meeting Portand, Oregon :1-4.
  38. Thomas, R. E., C.J. Gatchell, and E. S. Walker. 1994. User's guide to AGARIS: Advanced GAng RIp simulator. USDA Northeastern Forest Experiment Station General Technical Report NE-192.

39. Thomas, R. E. 1995. ROMI-RIP: ROugh Mill RIP-first simulator user's guide. USDA Northeastern Forest Experiment Station General Technical Report NE-202.
40. Thomas, R. E. 1995. ROMI-RIP: ROugh Mill RIP-first simulator. USDA Northeastern Forest Experiment Station General Technical Report NE-206.
41. Thomas, R. E. 1996. Prioritizing parts from cutting bills when gang-ripping first. *Forest Products Journal* 46(10):61-66.
42. Tsolakides, J. A. 1969. A simulation model for log yield study. *Forest Products Journal* 19(7):21-26
43. Wada, H. 1991. The detection of knots appearing on a Douglas-fir laminar utilizing a one dimensional CCD sensor. *Journal of Japan Wood Society* 37(3):206-210.
44. Wagner, F. G., F. W. Taylor, D. S. Ladd, C. W. McMillin, and F. L. Roder. 1989. Ultrafast CT scanning of an oak log for internal defects. *Forest Products Journal*, 39(11/12):62-64.
45. Wiedenbeck, J. K., C. J. Gatchell, and E. S. Walker. 1994. Data bank for short-length red oak lumber. USDA Northeastern Forest Experiment Station Research Paper NE-695.
46. Zhang, Z., " A Flexible New Techinque for Camera Calibration", *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.22, no.11, pp.1-20, 1998.

## 부 록

1. 제재목 데이터베이스 작성 예
2. 신경망을 이용한 결합관정을 위한 데이터
3. 고에너지 광원을 이용한 연속식 함수율 측정시스템 프로그램

1. 제재목 데이터베이스 작성 예

국산 소나무(*Pinus densiflora* Sieb et Zucc.)

라벨 목록

No	X1	Y1	X2	Y2	NoPix	Rec Ar	Arr at	GraLv	Idn	Xl en	Yl en	Dlen	YX Rat	Sp ec	BD Num
1	19	82	20	275	195	388	50	116		1	193	193	0	p	p22
2	79	279	84	280	11	12	92	166		5	1	5.1	5	p	p23
3	93	273	98	274	9	12	75	173		5	1	5.1	5	p	p24
4	103	274	107	276	9	15	60	172		4	2	4.5	2	p	p25
5	103	286	111	287	12	18	67	169		8	1	8.1	8	p	p26
6	116	274	123	275	12	16	75	171		7	1	7.1	7	p	p27
7	129	152	291	171	1455	3260	45	151	kg	162	19	163.1	8.5	p	p28
8	147	287	158	288	18	24	75	168		11	1	11	11	p	p29
9	151	282	163	284	19	39	49	164		12	2	12.2	6	p	p30
10	163	279	169	280	10	14	71	166		6	1	6.1	6	p	p31
11	279	50	283	51	6	10	60	170		4	1	4.1	4	p	p32
12	287	185	293	186	13	14	93	162		6	1	6.1	6	p	p33
13	500	115	627	141	1095	3456	32	154	kg	127	26	129.6	4.9	p	p34
14	524	127	531	132	31	48	65	162		7	5	8.6	1.4	p	p35
15	527	228	587	247	515	1220	42	124	kg	60	19	62.9	3.2	p	p36
16	617	135	627	137	21	33	64	169		10	2	10.2	5	p	p37
17	868	176	999	194	916	2508	37	141	kg	131	18	132.2	7.3	p	p38
18	999	194	1003	195	7	10	70	166		4	1	4.1	4	p	p39
19	1357	120	1499	141	1448	3146	46	145	kg	142	21	143.5	6.8	p	p40
20	1369	202	1480	219	823	2016	41	135	kg	111	17	112.3	6.5	p	p41
21	1503	154	1505	193	45	120	38	125		2	39	39.1	0.1	p	p42
22	1503	208	1507	283	97	380	26	122		4	75	75.1	0.1	p	p43
23	1504	196	1505	203	9	16	56	96		1	7	7.1	0.1	p	p44

용이

No	X1	Y1	X2	Y2	No Pix	Rec Ar	Arr at	Gra Lv	Idn	Xle n	Ylen	Dlen	YXR at	Sp ec	BD Num
7	129	152	291	171	1455	3260	45	151	kg	162	19	163.1	8.5	p	p22
13	500	115	627	141	1095	3456	32	154	kg	127	26	129.6	4.9	p	p23
15	527	228	587	247	515	1220	42	124	k	60	19	62.9	3.2	p	p24
17	868	176	999	194	916	2508	37	141	kg	131	18	132.2	7.3	p	p25
19	1357	120	1499	141	1448	3146	46	145	kg	142	21	143.5	6.8	p	p26
20	1369	202	1480	219	823	2016	41	135	kg	111	17	112.3	6.5	p	p27

국산 상수리나무(*Quercus acutissima* Carruth.)

라벨 목록

No	X1	Y1	X2	Y2	NoP x	Rec Ar	Arra t	GraL v	Idn	Xlen	Ylen	Dlen	YXR at	Spec	BDN um
1	26	69	27	110	58	84	69	106		1	41	41	0	q	q22
2	35	191	49	195	43	75	57	134		14	4	14.6	3.5	q	q22
3	63	227	74	227	12	12	100	157		11	1	11	11	q	q22
4	71	216	86	217	17	32	53	158		15	1	15	15	q	q22
5	79	211	86	213	13	24	54	157		7	2	7.3	3.5	q	q22
6	81	198	115	211	277	490	57	146	k	34	13	36.4	2.6	q	q22
7	103	219	110	220	10	16	62	153		7	1	7.1	7	q	q22
8	111	188	123	189	20	26	77	153		12	1	12	12	q	q22
9	127	187	134	188	12	16	75	150		7	1	7.1	7	q	q22
10	271	181	278	184	22	32	69	152		7	3	7.6	2.3	q	q22
11	307	293	318	297	33	60	55	133		11	4	11.7	2.8	q	q22
12	311	297	329	301	53	95	56	141		18	4	18.4	4.5	q	q22
13	423	170	472	174	172	250	69	113	c	49	4	49.2	12.3	q	q22
14	474	209	478	210	7	10	70	159		4	1	4.1	4	q	q22
15	477	163	482	171	28	54	52	153		5	8	9.4	0.6	q	q22
16	489	163	510	168	50	132	38	144		21	5	21.6	4.2	q	q22
17	511	159	526	162	28	64	44	147		15	3	15.3	5	q	q22
18	518	161	551	168	136	272	50	145		33	7	33.7	4.7	q	q22
19	963	200	967	202	10	15	67	146		4	2	4.5	2	q	q22
20	971	185	991	205	186	441	42	109	k	20	20	28.3	1	q	q22
21	984	180	986	183	12	12	100	145		2	3	3.6	0.7	q	q22
22	999	184	1007	186	16	27	59	123		8	2	8.2	4	q	q22
23	1040	149	1045	154	24	36	67	141	k	5	5	7.1	1	q	q22
24	1127	173	1129	176	7	12	58	150		2	3	3.6	0.7	q	q22
25	1128	171	1143	184	102	224	46	131	k	15	13	19.8	1.2	q	q22
26	1141	186	1145	194	21	45	47	147		4	8	8.9	0.5	q	q22
27	1186	154	1189	156	8	12	67	155		3	2	3.6	1.5	q	q22
28	1195	147	1206	152	37	72	51	153		11	5	12.1	2.2	q	q22
29	1198	43	1207	44	18	20	90	153		9	1	9.1	9	q	q22
30	1205	143	1215	154	51	132	39	115		10	11	14.9	0.9	q	q22
31	1206	154	1289	168	67	450	15	132	c	29	14	32.2	2.1	q	q22
32	1291	53	1297	54	12	14	86	150		6	1	6.1	6	q	q22
33	1294	121	1311	142	171	396	43	113	k	17	21	27	0.8	q	q22
34	1296	170	1311	176	34	112	30	155	c	15	6	16.2	2.5	q	q22
35	1304	45	1308	46	6	10	60	159		4	1	4.1	4	q	q22

36	1310	137	1317	141	25	40	62	139		7	4	8.1	1.8	q	q22
37	1312	177	1319	178	13	16	81	149		7	1	7.1	7	q	q22
38	1317	129	1323	133	24	35	69	145		6	4	7.2	1.5	q	q22
39	1320	180	1334	184	33	75	44	151	c	14	4	14.6	3.5	q	q22
40	1407	271	1412	272	9	12	75	143		5	1	5.1	5	q	q22
41	1411	81	1415	82	6	10	60	154		4	1	4.1	4	q	q22
42	1481	165	1423	166	7	12	58	152		5	1	5.1	5	q	q22
43	1427	245	1438	246	15	24	62	155		11	1	11	11	q	q22
44	1445	312	1451	313	10	14	71	130		6	1	6.1	6	q	q22
45	1453	125	1458	126	8	12	67	146		5	1	5.1	5	q	q22
46	1458	301	1462	304	12	20	60	131		4	3	5	1.3	q	q22
47	1478	264	1484	267	10	28	36	152		6	3	6.7	2	q	q22
48	1480	95	1487	96	15	16	94	149		7	1	7.1	7	q	q22
49	1481	250	1486	255	24	36	67	144		5	5	7.1	1	q	q22
50	1494	79	1495	88	15	20	75	108		1	9	9.1	0.1	q	q22
51	1494	89	1495	98	14	20	70	116		1	9	9.1	0.1	q	q22
52	1494	99	1495	125	30	54	56	97		1	26	26	0	q	q22

용이

No	X1	Y1	X2	Y2	NoP ix	Rec Ar	Arra t	GraL v	Idn	Xlen	Ylen	Dlen	YXR at	Spec	BDN um
2	35	191	49	195	43	75	57	134		14	4	14.6	3.5	q	q22
6	81	198	115	211	277	490	57	146	k	34	13	36.4	2.6	q	q22
11	307	293	318	297	33	60	55	133		11	4	11.7	2.8	q	q22
12	311	297	329	301	53	95	56	141		18	4	18.4	4.5	q	q22
13	423	170	472	174	172	250	69	113	c	49	4	49.2	12.3	q	q22
16	489	163	510	168	50	132	38	144		21	5	21.6	4.2	q	q22
18	518	161	551	168	136	272	50	145		33	7	33.7	4.7	q	q22
20	971	185	991	205	186	441	42	109	k	20	20	28.3	1	q	q22
23	1040	149	1045	154	24	36	67	141	k	5	5	7.1	1	q	q22
25	1128	171	1143	184	102	224	46	131	k	15	13	19.8	1.2	q	q22
30	1205	143	1215	154	51	132	39	115		10	11	14.9	0.9	q	q22
33	1294	121	1311	142	171	396	43	113	k	17	21	27	0.8	q	q22
36	1310	137	1317	141	25	40	62	139		7	4	8.1	1.8	q	q22
38	1317	129	1323	133	24	35	69	145		6	4	7.2	1.5	q	q22
39	1320	180	1334	184	33	75	44	151	c	14	4	14.6	3.5	q	q22
49	1481	250	1486	255	24	36	67	144		5	5	7.1	1	q	q22

할렬

No	X1	Y1	X2	Y2	NoP x	Rec Ar	Arra t	GraL v	Idn	Xlen	Ylen	Dlen	YXR at	Spec	BDN um
2	35	191	49	195	43	75	57	134		14	4	14.6	3.5	q	q22
6	81	198	115	211	277	490	57	146	k	34	13	36.4	2.6	q	q22
11	307	293	318	297	33	60	55	133		11	4	11.7	2.8	q	q22
12	311	297	329	301	53	95	56	141		18	4	18.4	4.5	q	q22
13	423	170	472	174	172	250	69	113	c	49	4	49.2	12.3	q	q22
16	489	163	510	168	50	132	68	144		21	5	21.6	4.2	q	q22
17	511	159	526	162	28	64	44	147		15	3	15.3	5	q	q22
18	518	161	551	168	136	272	50	145		33	7	33.7	4.7	q	q22
28	1195	147	1206	152	37	72	51	153		11	5	12.1	2.2	q	q22
31	1260	154	1289	168	67	450	15	132	c	29	14	32.2	2.1	q	q22
34	1296	170	1311	176	34	112	30	155	c	15	6	16.2	2.5	q	q22
39	1320	180	1334	184	33	75	44	151	c	14	4	14.6	3.5	q	q22

옹이와 할렬의 동시 검출

No	X1	Y1	X2	Y2	NoP x	Rec Ar	Arra t	GraL v	Idn	Xlen	Ylen	Dlen	YXR at	Spec	BDN um
2	35	191	49	195	43	75	57	134		14	4	14.6	3.5	q	q22
6	81	198	115	211	277	490	57	146	k	34	13	36.4	2.6	q	q22
11	307	293	318	297	33	60	55	133		11	4	11.7	2.8	q	q22
12	311	297	329	301	53	95	56	141		18	4	18.4	4.5	q	q22
13	423	170	472	174	172	250	69	113	c	49	4	49.2	12.3	q	q22
16	489	163	510	168	50	132	38	144		21	5	21.6	4.2	q	q22
17	500	159	526	162	28	64	44	147		15	3	15.3	5	q	q22
18	518	161	551	168	136	272	50	145		33	7	33.7	4.7	q	q22
20	971	185	991	205	186	441	42	109	k	20	20	28.3	1	q	q22
23	1040	149	1045	154	24	36	67	141	k	5	5	7.1	1	q	q22
25	1128	171	1143	184	102	224	46	131	k	15	13	19.8	1.2	q	q22
28	1195	147	1206	152	37	72	51	153		11	5	12.1	2.2	q	q22
30	1205	143	1215	154	51	132	39	115		10	11	14.9	0.9	q	q22
31	1260	154	1289	168	67	450	15	132	c	29	14	32.2	2.1	q	q22
33	1294	121	1311	142	171	396	43	113	k	17	21	27	0.8	q	q22
34	1296	170	1311	176	34	112	30	155	c	15	6	16.2	2.5	q	q22
36	1310	137	1371	141	25	40	62	139		7	4	8.1	1.8	q	q22
38	1317	129	1323	133	24	35	69	145		6	4	7.2	1.5	q	q22
39	1320	180	1334	184	33	75	44	151	c	14	4	14.6	3.5	q	q22
49	1481	250	1486	255	24	36	67	144		5	5	7.1	1	q	q22



국산 서어나무(*Carpinus laxiflora* Blume)

라벨 목록

No	X1	Y1	X2	Y2	NoP x	Rec Ar	Arra t	GraL v	Idn	Xlen	Ylen	Dlen	YXR at	Spec	BDN um
1	26	151	26	270	120	120	100	92		0	119	119	0	s	s22
2	28	135	28	145	11	11	100	176		0	10	10	0	s	s22
3	28	225	296	257	4519	8877	51	123		268	32	269.9	8.4	s	s22
4	31	249	38	251	23	24	96	179		7	2	7.3	3.5	s	s22
5	47	250	74	257	98	224	44	181		27	7	27.9	3.9	s	s22
6	50	196	54	205	39	50	78	149	b	4	9	9.8	0.4	s	s22
7	77	175	80	179	18	20	90	177	b	3	4	5	0.8	s	s22
8	130	168	134	173	22	30	73	151	b	4	5	6.4	0.8	s	s22
9	151	124	218	130	297	476	62	125	b	67	6	67.3	11.2	s	s22
10	171	251	177	252	10	14	71	183		6	1	6.1	6	s	s22
11	178	176	184	180	24	35	69	173	b	6	4	7.2	1.5	s	s22
12	179	254	196	258	58	90	64	183		17	4	17.5	4.3	s	s22
13	190	271	193	273	11	12	92	184		3	2	3.6	1.5	s	s22
14	191	109	196	115	30	42	71	153		5	6	7.8	0.8	s	s22
15	198	109	206	115	33	63	52	163		8	6	10	1.3	s	s22
16	234	263	463	280	967	4140	23	160	b	229	17	229.6	13.5	s	s22
17	353	193	357	196	13	20	65	178		4	3	5	1.3	s	s22
18	357	209	376	228	250	400	62	137	b	19	19	26.9	1	s	s22
19	363	192	376	206	68	210	32	177		13	14	19.1	0.9	s	s22
20	388	200	389	206	11	14	79	172		1	6	6.1	0.2	s	s22
21	397	125	401	126	9	10	90	176		4	1	4.1	4	s	s22
22	489	269	496	270	11	16	69	181		7	1	7.1	7	s	s22
23	770	199	774	201	10	15	67	175		4	2	4.5	2	s	s22
24	1009	99	1020	107	51	108	47	167		11	8	13.6	1.4	s	s22
25	1059	219	1061	223	12	15	80	156		2	4	4.5	0.5	s	s22
26	1059	226	1061	230	13	15	87	170		2	4	4.5	0.5	s	s22
27	1124	60	1466	149	15	30	51	84	b	342	89	353.4	3.8	s	s22
28	1129	212	1135	215	19	28	68	168		6	3	6.7	2	s	s22
29	1137	227	1153	246	177	340	52	139	b	16	19	24.8	0.8	s	s22
30	1140	218	1144	221	15	20	75	178		4	3	5	1.3	s	s22
31	1161	229	1166	231	13	18	72	148		5	2	5.4	2.5	s	s22
32	1199	75	1202	78	8	16	50	183		3	3	4.2	1	s	s22
33	1227	77	1237	80	26	44	59	168		10	3	10.4	3.3	s	s22
34	1259	209	1274	211	26	48	54	166		15	2	15.1	7.5	s	s22
35	1335	42	1339	73	88	160	55	168		4	31	31.3	0.1	s	s22

36	1371	55	1374	57	8	12	67	179		3	2	3.6	1.5	s	s22
37	1379	187	1415	188	54	74	73	151		36	1	36	36	s	s22
38	1385	98	1388	102	13	20	65	183		3	4	5	0.8	s	s22
39	1419	42	1422	49	23	32	72	157		3	7	7.6	0.4	s	s22
40	1433	188	1444	188	12	12	100	123		11	1	11	11	s	s22
41	1439	42	1441	46	12	15	80	175		2	4	4.5	0.5	s	s22
42	1444	84	1449	87	18	24	75	161		5	3	5.8	1.7	s	s22
43	1444	202	1449	204	14	18	78	139		5	2	5.4	2.5	s	s22
44	1445	191	1466	191	22	22	100	139		21	1	21	21	s	s22
45	1447	91	1452	93	12	18	67	176		5	2	5.4	2.5	s	s22
46	1457	81	1460	83	6	12	50	179		3	2	3.6	1.5	s	s22
47	1475	66	1476	90	29	50	58	103		1	24	24	0	s	s22
48	1475	99	1482	137	69	312	22	107		7	38	38.6	0.2	s	s22
49	1509	180	1514	183	20	24	83	67		5	3	5.8	1.7	s	s22

입피

No	X1	Y1	X2	Y2	NoP x	Rec Ar	Arra t	GraL v	Idn	Xlen	Ylen	Dlen	YXR at	Spec	BDN um
3	28	225	296	257	4519	8877	51	123		268	32	269.9	8.4	s	s22
6	50	196	54	205	39	50	78	149	b	4	9	9.8	0.4	s	s22
7	77	175	80	179	18	20	90	177	b	3	4	5	0.8	s	s22
8	130	168	134	173	22	30	73	151	b	4	5	6.4	0.8	s	s22
9	151	124	218	130	297	476	62	125	b	67	6	67.3	11.2	s	s22
11	178	176	184	180	24	35	69	173	b	6	4	7.2	1.5	s	s22
14	191	109	196	115	30	42	71	153		5	6	7.8	0.8	s	s22
15	198	109	206	115	33	63	52	163		8	6	10	1.3	s	s22
16	234	263	463	280	967	4140	23	160	b	229	17	229.6	13.5	s	s22
18	357	209	376	228	250	400	62	137	b	19	19	26.9	1	s	s22
19	363	192	376	206	68	210	32	177		13	14	19.1	0.9	s	s22
23	770	199	774	201	10	15	67	175		4	2	4.5	2	s	s22
24	1009	99	1020	107	51	108	47	167		11	8	13.6	1.4	s	s22
28	1129	212	1135	215	19	28	68	168		6	3	6.7	2	s	s22
29	1137	227	1153	246	177	340	52	139	b	16	19	24.8	0.8	s	s22
31	1161	229	1166	231	13	18	72	148		5	2	5.4	2.5	s	s22
33	1227	77	1237	80	26	44	59	168		10	3	10.4	3.3	s	s22
34	1259	209	1274	211	26	48	54	166		15	2	15.1	7.5	s	s22
35	1335	42	1339	73	88	160	55	168		4	31	31.3	0.1	s	s22
39	1419	42	1422	49	23	32	72	157		3	7	7.6	0.4	s	s22
42	1444	84	1449	87	18	24	75	161		5	3	5.8	1.7	s	s22

43	1444	202	1449	204	14	18	78	139		5	2	5.4	2.5	s	s22
45	1447	91	1452	93	12	18	67	176		5	2	5.4	2.5	s	s22
48	1475	99	1482	137	69	312	22	107		7	38	38.6	0.2	s	s22

결함을 둘러싸는 최소의 직사각형 면적의 크기에 따른 입피 검출

No	X1	Y1	X2	Y2	NoP x	Rec Ar	Arra t	GraL v	Idn	Xlen	Ylen	Dlen	YXR at	Spec	BDN um
3	28	225	296	257	4519	8877	51	123		268	32	269.9	8.4	s	s22
6	50	196	54	205	39	50	78	149	b	4	9	9.8	0.4	s	s22
7	77	175	80	179	18	20	90	177	b	3	4	5	0.8	s	s22
8	130	168	134	173	22	30	73	151	b	4	5	6.4	0.8	s	s22
9	151	124	218	130	297	476	62	125	b	67	6	67.3	11.2	s	s22
11	178	176	184	180	24	35	69	173	b	6	4	7.2	1.5	s	s22
14	191	109	196	115	30	42	71	153		5	6	7.8	0.8	s	s22
15	198	109	206	115	33	63	52	163		8	6	10	1.3	s	s22
16	234	263	463	280	967	4140	23	160	b	229	17	229.6	13.5	s	s22
18	357	209	376	228	250	400	62	137	b	19	19	26.9	1	s	s22
23	770	199	774	201	10	15	67	175		4	2	4.5	2	s	s22
28	1129	212	1135	215	19	28	68	168		6	3	6.7	2	s	s22
29	1137	227	1153	246	177	340	52	139	b	16	19	24.8	0.8	s	s22
31	1161	229	1166	231	13	18	72	148		5	2	5.4	2.5	s	s22
39	1419	42	1422	49	23	32	72	157		3	7	7.6	0.4	s	s22
42	1444	84	1449	87	18	24	75	161		5	3	5.8	1.7	s	s22
43	1444	202	1449	204	14	18	78	139		5	2	5.4	2.5	s	s22
45	1447	91	1452	93	12	18	67	176		5	2	5.4	2.5	s	s22

## 2.1. 결합판정을 위한 신경망 학습 데이터

avgGLEv	xLen	yLen	dLength	xyRatio	area	rarea	arRatio	eLong	GStd	knot	check
126.7	60	50	78.1	0.83	1736	3000	57.9	0.873	34.339	1	0
147.3	11	3	11.4	0.27	22	33	66.7	0.261	23.454	1	0
142.2	137	31	140.46	0.23	1762	4247	41.5	0.235	28.303	1	0
173.8	7	8	10.63	0.88	33	56	58.9	0.616	4.09	0	0
175.6	9	4	9.85	0.44	27	36	75	0.56	2.575	0	0
173.7	9	4	9.85	0.44	22	36	61.1	0.549	4.375	1	1
172.5	3	64	64.07	0.05	69	192	35.9	0.013	5.309	0	0
173.6	3	21	21.21	0.14	24	63	38.1	0.049	3.215	0	0
157	12	4	12.65	0.33	29	48	60.4	0.364	15.717	1	0
91.7	10	11	14.87	0.91	59	110	53.6	0.697	54.942	1	0
155.4	23	7	24.04	0.3	93	161	57.8	0.299	10.66	1	0
147	39	11	40.52	0.28	157	429	36.6	0.224	30.027	1	0
157.5	25	9	26.57	0.36	85	225	37.8	0.375	13.698	1	0
141.4	32	14	34.93	0.44	224	448	50	0.482	27.942	1	0
123.7	7	6	9.22	0.86	30	42	71.4	0	37.433	1	0
124.5	6	8	10	0.75	24	48	50	0.461	28.327	0	0
151.7	25	5	25.5	0.2	35	125	28	0.08	9.592	0	0
156.1	45	21	49.66	0.47	360	945	38.1	0.397	12.401	1	0
151.3	74	10	74.67	0.14	165	740	22.3	0.123	14.053	1	0
168.5	53	5	53.24	0.09	92	265	34.7	0.039	6.587	0	0
162.8	32	13	34.54	0.41	146	416	35.1	0.386	17.557	0	0
170.6	2	42	42.05	0.05	42	84	50	0	3.542	0	0
168.3	15	19	24.21	0.79	88	285	30.9	0.398	8.898	0	0
177.5	12	5	13	0.42	28	60	46.7	0.305	1.118	0	0
143.9	165	43	170.51	0.26	2469	7095	34.8	0.279	31.01	1	0
141.2	57	12	58.25	0.21	362	684	52.9	0.206	35.302	1	0
171.7	3	77	77.06	0.04	84	231	36.4	0.011	4.307	0	0
162.5	14	5	14.87	0.36	25	70	35.7	0.178	11.701	1	0
154.5	138	45	145.15	0.33	2274	6210	36.6	0.3	22.564	1	0
144.5	126	13	126.67	0.1	781	1638	47.7	0.084	24.435	1	0
153.4	129	20	130.54	0.16	1058	2580	41	0.137	17.465	1	0
165.1	64	10	64.78	0.16	162	640	25.3	0.087	9.014	0	0
166.4	14	6	15.23	0.43	34	84	40.5	0.256	8.898	0	0
176.6	17	5	17.72	0.29	37	85	43.5	0.196	1.86	0	0
145.1	216	59	223.91	0.27	4328	12744	34	0.338	26.433	1	0
153.4	319	36	321.02	0.11	3748	11484	32.6	0.143	20.253	1	0
176.7	20	6	20.88	0.3	49	120	40.8	0.333	1.959	0	0
163.6	4	27	27.29	0.15	60	108	55.6	0.09	10.559	0	0
178	11	8	13.6	0.73	28	88	31.8	0.647	1.936	0	0
172.3	3	18	18.25	0.17	25	54	46.3	0.08	4.833	0	0
134.5	11	10	14.87	0.91	54	110	49.1	0.802	41.602	1	0
115.7	152	10	152.33	0.07	394	1520	25.9	0.024	39.229	1	0

106.5	17	9	19.24	0.53	90	153	58.8	0.561	42.35	1	0
128.4	23	6	23.77	0.26	54	138	39.1	0.16	36.477	1	0
147.8	12	5	13	0.42	31	60	51.7	0.274	16.691	0	0
142.3	9	6	10.82	0.67	22	54	40.7	0.6	19.394	1	0
162.1	8	7	10.63	0.88	23	56	41.1	0.717	6.273	0	0
138.7	12	24	26.83	0.5	171	288	59.4	0.39	24.072	0	1
140.7	115	7	115.21	0.06	225	805	28	0.024	22.853	0	1
142.1	140	18	141.15	0.13	507	2520	20.1	0.07	22.027	1	0
161.3	15	7	16.55	0.47	34	105	32.4	0.282	5.475	0	1
147.3	19	9	21.02	0.47	81	171	47.4	0.678	15.576	1	0
134.5	24	7	25	0.29	54	168	32.1	0.129	24.258	1	0
126.8	24	6	24.74	0.25	51	144	35.4	0.11	38.949	0	1
154.2	21	22	30.41	0.95	140	462	30.3	0.665	10.813	1	0
91.8	37	37	52.33	1	719	1369	52.5	0.803	52.706	1	0
157.5	43	7	43.57	0.16	107	301	35.5	0.078	11.421	1	1
143.3	29	15	32.65	0.52	195	435	44.8	0.478	22.815	1	0
131.1	16	7	17.46	0.44	49	112	43.8	0.441	38.324	0	1
69.1	201	15	201.56	0.07	599	3015	19.9	0.017	58.604	1	0

## 2.2. 결합판정을 위한 테스트 데이터

avgGLEv	xLen	yLen	dLength	xyRatio	area	rarea	arRatio	eLong	GStd	knot	check
175.8	2	26	26.08	0.08	26	52	50	0	4.332	0	0
166.1	112	6	112.16	0.05	193	672	28.7	0.018	9.122	0	0
137.4	37	11	38.6	0.3	183	407	45	0.29	30.367	1	0
147.8	155	30	157.88	0.19	1755	4650	37.7	0.195	23.736	1	0
125	94	57	109.93	0.61	2780	5358	51.9	0.749	43.387	1	0
152.6	163	43	168.58	0.26	2024	7009	28.9	0.252	20.543	1	0
175.5	11	11	15.56	1	42	121	34.7	0.618	5.198	1	0
149.4	137	100	169.61	0.73	5786	13700	42.2	0.597	18.673	1	0
152.7	93	15	94.2	0.16	678	1395	48.6	0.181	26.864	1	0
165.1	57	6	57.31	0.11	110	342	32.2	0.04	9.757	0	0
161.4	23	18	29.21	0.78	113	414	27.3	0.807	5.305	1	0
147.6	40	20	44.72	0.5	212	800	26.5	0.447	18.431	1	0
155.4	6	12	13.42	0.5	35	72	48.6	0.287	10.06	1	0
129.8	436	31	437.1	0.07	1782	13516	13.2	0.039	42.145	0	1
151.1	6	8	10	0.75	20	48	41.7	0.441	17.647	1	0
146.5	6	15	16.16	0.4	45	90	50	0.281	15.863	1	0
142.5	10	6	11.66	0.6	42	60	70	0.805	14.259	1	0
151.9	8	9	12.04	0.89	31	72	43.1	0.527	10.938	1	0
161.9	6	7	9.22	0.86	23	42	54.8	0.478	5.425	1	0
87.5	9	25	26.57	0.36	141	225	62.7	0.296	50.497	1	0

150	32	13	34.54	0.41	191	416	45.9	0.325	21.877	1	0
142.3	40	12	41.76	0.3	207	480	43.1	0.272	32.934	1	0
165.8	16	6	17.09	0.38	33	96	34.4	0.182	3.035	0	0
163.9	14	7	15.65	0.5	44	98	44.9	0.4	3.896	0	0
140.3	113	8	113.28	0.07	291	904	32.2	0.032	28.993	0	1
165	30	9	31.32	0.3	133	270	49.3	0.327	4.281	0	0
136.2	73	32	79.71	0.44	642	2336	27.5	0.649	39.048	1	0
152	50	5	50.25	0.1	80	250	32	0.048	14.097	0	1

### 3. 코에너지 광원을 이용한 연속식 함수를 측정시스템 프로그램

```
//-----  
#include <vcl.h>  
#pragma hdrstop  
USERES("MultiAcq.res");  
USEFORM("main.cpp", Form1);  
//-----  
WINAPI WinMain(HINSTANCE, HINSTANCE, LPSTR, int)  
{  
    try  
    {  
        Application->Initialize();  
        Application->CreateForm(__classid(TForm1), &Form1);  
        Application->Run();  
    }  
    catch (Exception &exception)  
    {  
        Application->ShowException(&exception);  
    }  
    return 0;  
}  
//-----  
  
//-----
```

```

#ifndef mainH
#define mainH

//-----
#include <Classes.hpp>
#include <Controls.hpp>
#include <StdCtrls.hpp>
#include <Forms.hpp>
#include "MSCommLib_OCX.h"
#include <OleCtrls.hpp>
#include <ExtCtrls.hpp>
#include "CSPIN.h"
#include <Graphics.hpp>
#include <Chart.hpp>
#include <Series.hpp>
#include <TeEngine.hpp>
#include <TeeProcs.hpp>
#include <Buttons.hpp>
#include <ComCtrls.hpp>
#include <Dialogs.hpp>

//-----

class TForm1 : public TForm
{
__published:      // IDE-managed Components
    TButton *Button1;      TPanel *Panel1;
    TLabel *TMP0;         TLabel *STP0;
    TPanel *Panel2;       TLabel *TMP2;
    TLabel *STP2;         TPanel *Panel3;
    TLabel *TMP4;         TLabel *STP4;

```



```

TPanel *Panel4;      TLabel *TMP1;
TLabel *STP1;      TPanel *Panel5;
TLabel *TMP3;      TLabel *STP3;
TPanel *Panel6;    TLabel *TMP5;
TLabel *STP5;      TPanel *Panel7;
TLabel *IRL1;      TPanel *Panel8;
TLabel *IRL0;      TPanel *Panel9;
TLabel *IRL3;      TPanel *Panel10;
TLabel *IRL2;      TPanel *Panel11;
TTimer *Timer1;    TButton *Button3;
TMSComm *Comp2;   TChart *MChart;
TPanel *DebugP;    TLabel *DL0;
TLabel *DL1;      TLabel *DL2;
TLabel *DL3;      TLabel *DL4;
TLabel *DL5;      TLabel *DL6;
TLabel *DL7;      TLabel *DL8;
TLabel *DL9;      TLabel *DL10;
TLabel *DL11;     TLabel *DL12;
TLabel *DL13;     TLabel *DL14;
TLabel *DL15;     TMemo *Memo3;
TPanel *RunFlagP;  TImage *Image1;
TFastLineSeries *Series1;  TFastLineSeries *Series2;
TFastLineSeries *Series3;  TFastLineSeries *Series4;
TLabel *PrTimeL;    TEdit *Edit1;
TBitBtn *BitBtn1;  TBitBtn *BitBtn2;
TLabel *IRC0;      TLabel *IRC1;
TLabel *IRC2;      TLabel *IRC3;
TUpDown *UpDown1;

```

```

TLabel *Label11;      TLabel *Label2;
TLabel *Label3;      TLabel *Label4;
TLabel *Label5;      TLabel *Label6;
TLabel *Label8;      TLabel *Label9;
TLabel *Label12;     TPanel *Panel13;
TLabel *Label14;     TLabel *Label1;
TSaveDialog *SaveDialog1;
TMemo *Memo1;
TMSComm *Comp;

//-----
String __fastcall InputComp(TMSComm *RComp);
void __fastcall OutputComp(TMSComm *WComp, String buf);
void __fastcall Delay(int Time);
int __fastcall ReadNX9(TObject *Sender, int nID, float *T1, float
*S1);
void __fastcall NX9Write(int addr, float d);

//-----
void __fastcall FormCreate(TObject *Sender);
void __fastcall FormClose(TObject *Sender, TCloseAction &Action);
void __fastcall Button1Click(TObject *Sender);
void __fastcall Button4Click(TObject *Sender);

//-----
void __fastcall DigitalOut(TMSComm *Comp, int addr, int v);
int __fastcall DigitalIn(TMSComm *Comp, int addr);
int __fastcall ReadAD4(TMSComm *Comp, int ch, int v[]);
void __fastcall WriteDA(TMSComm *Comp, int ch, int v);

//-----
void __fastcall Button3Click(TObject *Sender);

```

```

void __fastcall Timer1Timer(TObject *Sender);
void __fastcall BitBtn1Click(TObject *Sender);
void __fastcall BitBtn2Click(TObject *Sender);
void __fastcall UpDown1Changing(TObject *Sender,
    bool &AllowChange);
void __fastcall Image1DbClick(TObject *Sender);

private: // User declarations
public: // User declarations
    __fastcall TForm1(TComponent* Owner);
};
//-----
extern PACKAGE TForm1 *Form1;
//-----
#endif

```

```

//-----
#include <vcl.h>
#pragma hdrstop

#include "main.h"
#include "stdio.h"
#include "dos.h"
#include "math.h"

//-----
#pragma package(smart_init)
#pragma link "MSCommLib_OCX"
#pragma link "CSPIN"
#pragma resource "*.dfm"
TForm1 *Form1;

byte INCM[16], OUTCM[16];
long int count;
bool OPF, NPF, InLoop;

TDateTime StTime;

//-----
__fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner)
    : TForm(Owner)
{
}
//-----

```

```

void __fastcall TForm1::FormCreate(TObject *Sender)
{
    if(Comp->PortOpen != true) Comp->PortOpen = true;
    Comp->InBufferCount =0;
    Comp->InputLen =0;

    if(Comp2->PortOpen != true) Comp2->PortOpen = true;
    Comp2->InBufferCount =0;
    Comp2->InputLen =0;

    count = 1;
    OPF = false;
}
//-----
void __fastcall TForm1::FormClose(TObject *Sender, TCloseAction &Action)
{
    OPF = false;
    Delay(100);

    if(Comp->PortOpen)
        Comp->PortOpen = false;
    if(Comp2->PortOpen)
        Comp2->PortOpen = false;
}
//-----
float __fastcall HexToDig(String s)
{
    int i, j, mul;

```

```

float val;

val =0;
for(i=1;i<=4;i++)
{
    mul =1;
    for(j=1;j<=4-i;j++) mul = mul*16;

    if (s[i] >= 'A' && s[i] <= 'F') val += (s[i]-55)*mul;
    if (s[i] >= '0' && s[i] <= '9') val += (s[i]-48)*mul;
}
return val/10;
}
//-----
void __fastcall TForm1::Delay(int Time)
{
// Sleep(Time);
long int BeginCount, NowCount;

BeginCount = GetTickCount();    //시작 시간
NowCount = GetTickCount();

while((NowCount-BeginCount) < Time)
{
    Application->ProcessMessages(); //멀티테스킹을 위해서..
    NowCount = GetTickCount();
}
}

```

```

//-----
String __fastcall TForm1::InputComp(TMSComm *RComp)
{
    String buf;
    if(!RComp->PortOpen) return "";
    if(!NPF) return "";

    buf = RComp->Input.ChangeType(varString);
    return buf;
}
//-----
void __fastcall TForm1::OutputComp(TMSComm *WComp, String buf)
{
    if(!NPF) return ;

    if(WComp->PortOpen)
        WComp->Output = buf;
}
//-----
int __fastcall TForm1::ReadNX9(TObject *Sender, int nID, float *T1, float
*S1)
{
    String buf;
    String val1, val2;
    int i, j;

    if(!NPF) return 0;

```

```

Comp2->InBufferCount =0;
Comp2->InputLen =21;

buf.printf("%c%02dDRS,02,%04d\r\n",2, nID, 1);
// Delay(10);

OutputComp(Comp2, buf);

buf = "";
j = 0;
ReInput:
Delay(10);

if(!NPF) return 0;
j++;

if((Comp2->InBufferCount==0)&&(j>10))
return -99;

if(Comp2->InBufferCount < 21)
goto ReInput;

buf = InputComp(Comp2);

if(DebugP->Visible)
Memo1->Lines->Add(buf.SubString(1, buf.Length()-1));

if (buf.Length() == 0) return -92;

```



```

    val1 = buf.SubString(4, 6);

    if (val1 == "DRS,OK")
    {
        *T1 = HexToDig(buf.SubString(11, 4));
        *S1 = HexToDig(buf.SubString(16, 4));
    }
    else
        return -99;

    return 1;
}
//-----
void __fastcall TForm1::NX9Write(int addr, float d)
{
    String s, buf, buf2;
    int i, j;

    if(!NPF) return ;
    s = IntToHex((int)(d*10), 4);
    // s = IntToHex((int)d, 4);

    Comp2->InBufferCount =0;
    Comp2->InputLen = 11;
    // Delay(10);

    buf.sprintf("%c%02dDWS,02,0300,0001,%s\r\n",2,addr, s);
    OutputComp(Comp2, buf);
}

```

```

    j=0;
ReInput:
    Delay(10);

    if(!NPF) return ;
    j++;

    if((Comp2->InBufferCount==0)&&(j>10))
        return ;

    if(Comp2->InBufferCount < 11)
        goto ReInput;

    buf2 = InputComp(Comp2);

    if(DebugP->Visible)
        Memo1->Lines->Add(buf2.SubString(1, buf2.Length()-1));
}
//-----
void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject *Sender)
{
    /* Variant a, b;
    byte t;
    int i;
    byte c7, c8;
    String buf;

    a = VarArrayCreate(OPENARRAY(int, (0, 15)), varByte);

```

```

byte *IN1 = (byte*) a.ArrayLock();

IN1[0] = 0; // 0xF0 : Reset, 0x0F : 설정값 보기, 0x1F : 전송속도 변경,
0x00 : 채널 제어
// c7 = AddrCSE->Value;
IN1[1] = 0x05; // 컨트롤 장치 ADDR
IN1[2] = 0x10; // 장치구분 : 0x00 - AD, 0x01 - DA, 0x10 - IO
IN1[3] = 0x0; // 장치 채널
IN1[4] = 0x0f; // 0x0f : PC, 0xF0 : Device

if(ModeRG->ItemIndex==0) IN1[5] = 0xf0; // 0x0f : Read, 0xF0 : Write
else IN1[5] = 0x0f;

IN1[6] = 0x10; //Echo Delay 0x70-0x90
//Readㄱ -data, Writeㄱ - 통신속도 : 1200(0), 2400(1), 4800(3), 9600(3),
1920(4)
IN1[7] = 0;

//Readㄱ -data, Writeㄱ - AD, DA(0), I/O(1)
IN1[8] = 0;
if(ModeRG->ItemIndex==0)
{
for(i=0;i<8;i++)
if(((TCheckBox *)FindComponent("CH0"+IntToStr(i)))->Checked)
IN1[7] += (0x01 << i);
for(i=0;i<8;i++)
if(((TCheckBox *)FindComponent("CH1"+IntToStr(i)))->Checked)
IN1[8] += (0x01 << i);
}

```

```

}
IN1[9] = 0;
IN1[10] = 0;
IN1[11] = 0;
IN1[12] = 0;
IN1[13] = 0;
IN1[14] = 0;
IN1[15] = 0xf0; //0xF0 : 데이터의 끝

Memo2->Clear();
for(i=0;i<16;i++)
{
    buf.printf("%02X", IN1[i]);
    Memo2->Lines->Add(buf);
}

if(Comp->PortOpen)
{
//    Comp->RTSEnable = true;
    Comp->Output = a;
//    Delay(50);
//    Comp->RTSEnable = false;

}
a.ArrayUnlock();

Delay(50);
byte *IN2 = (byte*)Comp->Input.ArrayLock();

```

```

if(ModeRG->ItemIndex==1)
{
    c7 = IN2[7];
    c8 = IN2[8];

    for(i=0;i<8;i++)
    {
        if(c7 & (0x01<< i)) ((TShape
*)FindComponent("TCH0"+IntToStr(i))->Brush->Color = clRed;
        else ((TShape
*)FindComponent("TCH0"+IntToStr(i))->Brush->Color = clBlack;
    }

    for(i=0;i<8;i++)
    {
        if(c8 & (0x01<< i)) ((TShape
*)FindComponent("TCH1"+IntToStr(i))->Brush->Color = clRed;
        else ((TShape
*)FindComponent("TCH1"+IntToStr(i))->Brush->Color = clBlack;
    }
}

Memo1->Clear();
for(i=0;i<16;i++)
{
    buf.sprintf("%02X", IN2[i]);
    Memo1->Lines->Add(buf);
}

```

```

*/
}
//-----
int __fastcall TForm1::DigitalIn(TMSSComm *Comp, int addr)
{
    Variant a;
    byte t;
    int i;

    a = VarArrayCreate(OPENARRAY(int, (0, 15)), varByte);
    byte *IN1 = (byte*) a.ArrayLock();

    for(i=0;i<15;i++) IN1[i] = 0;

    IN1[0] = 0;    // 0xF0 : Reset, 0x0F : 설정값 보기, 0x1F : 전송속도 변경,
0x00 : 채널 제어
    IN1[1] = addr; // 컨트롤 장치 ADDR
    IN1[2] = 0x10; // 장치구분 : 0x00 - AD, 0x01 - DA, 0x10 - IO
    IN1[3] = 0x00; // 장치 채널
    IN1[4] = 0x0f; // 0x0f : PC, 0xF0 : Device
    IN1[5] = 0x0f; // 0x0f : Read, 0xF0 : Write
    IN1[6] = 0x05; //Echo Delay 0x70-0x90

    // 7 : Read시 -data, Write시 - 통신속도 : 1200(0), 2400(1), 4800(3),
9600(3), 1920(4)
    // 8 : Read시 -data, Write시 - AD, DA(0), I/O(1)

    IN1[15] = 0xf0; //0xF0 : 데이터의 끝

```

```

Delay(40);

if(Comp->PortOpen)
    Comp->Output = a;

Delay(40);
a.ArrayUnlock();

byte *IN2 = (byte*)Comp->Input.ArrayLock();

return IN2[8] * 256 + IN2[7];
}

void __fastcall TForm1::DigitalOut(TMSSComm *Comp, int addr, int v)
{
    Variant a;
    byte t;
    int i;

    a = VarArrayCreate(OPENARRAY(int, (0, 15)), varByte);
    byte *IN1 = (byte*) a.ArrayLock();

    for(i=0;i<15;i++) IN1[i] = 0;

    IN1[0] = 0;    // 0xF0 : Reset, 0x0F : 설정값 보기, 0x1F : 전송속도 변경,
0x00 : 채널 제어
    IN1[1] = addr; // 컨트롤 장치 ADDR
    IN1[2] = 0x10; // 장치구분 : 0x00 - AD, 0x01 - DA, 0x10 - IO

```

```

IN1[3] = 0x00; // 장치 채널
IN1[4] = 0x0f; // 0x0f : PC, 0xF0 : Device
IN1[5] = 0x0f; // 0x0f : Read, 0xF0 : Write
IN1[6] = 0x05; //Echo Delay 0x70-0x90

// 7 : Read시 -data, Write시 - 통신속도 : 1200(0), 2400(1), 4800(3),
9600(3), 1920(4)
// 8 : Read시 -data, Write시 - AD, DA(0), I/O(1)

IN1[15] = 0xf0; //0xF0 : 데이터의 끝

Delay(40);

if(Comp->PortOpen)
    Comp->Output = a;

Delay(40);
a.ArrayUnlock();

byte *IN2 = (byte*)Comp->Input.ArrayLock();

//    rn IN2[8] * 256 + IN2[7];
}
//-----
int __fastcall TForm1::ReadAD4(TMSComm *Comp, int ch, int v[4])
{
    Variant a;
    int i, j, k;

```



```

String buf;
byte *IN1;
byte *IN2;

if(!OPF) return 0;

// if(InLoop) return 0;

// InLoop = true;

Comp->InBufferCount =0;
Comp->InputLen = 16;

a = VarArrayCreate(OPENARRAY(int, (0, 15)), varByte);
IN1 = (byte*) a.ArrayLock();

for(i=0;i<15;i++)
    IN1[i] = 0x00;

IN1[0] = 0xff;    // 0xF0 : Reset, 0x0F : 설정값 보기, 0x1F : 전송속도 변
경, 0x00 : 채널 제어
// c7 = AddrCSE->Value;
// IN1[1] = 0x00; // 컨트롤 장치 ADDR
// IN1[2] = 0x00; // 장치구분 : 0x00 - AD, 0x01 - DA, 0x10 - IO
IN1[3] = ch;    // 장치 채널 0-15
IN1[4] = 0x0f; // 0x0f : PC, 0xF0 : Device

IN1[5] = 0x0f; // 0x0f : Read, 0xF0 : Write

```

```

IN1[6] = 0x05; // Echo Delay 0x70-0x90
IN1[15] = 0xf0; //0xF0 : 데이터의 끝

k = 0;
ReWrite:
    Delay(10);
    if(!OPF) return 0;
    Comp->InBufferCount = 0;

    Comp->Output = a;
//    a.ArrayUnlock();

    k++;

    j = 0;
ReInput:
    Delay(10);

    if(!OPF) return 0;
    j++;

    if((Comp->InBufferCount==0)&&(j>20))
    {
        if(k>3) { Memo3->Lines->Add("Error---"); return 0; }
        goto ReWrite;
    }
    if(Comp->InBufferCount < 16)
        goto ReInput;

```

```

Label2->Caption = IntToStr(j) + " " + IntToStr(k) + " " +
IntToStr(Comp->InBufferCount);

// RunFlagP->Color = clRed;

IN2 = (byte*)Comp->Input.ArrayLock();

if(IN2[0] != IN1[0]) goto ReInput;
if(IN2[3] != IN1[3]) goto ReInput;
if(IN2[6] != IN1[6]) goto ReInput;
if(IN2[15] != IN1[15]) goto ReInput;

v[0] = IN2[8] * 256 + IN2[7];
v[1] = IN2[10] * 256 + IN2[9];
v[2] = IN2[12] * 256 + IN2[11];
v[3] = IN2[14] * 256 + IN2[13];

if(DebugP->Visible)
{
    Memo3->Clear();
    for(i=0;i<16;i++)
    {
        buf.printf("%02X", IN2[i]);
        Memo3->Lines->Add(buf);
    }
}

// InLoop = false;
return 1;

```

```

}
//-----
void __fastcall TForm1::WriteDA(TMSSComm *Comp, int ch, int v)
{
    Variant a, b;
    int i;
    String buf;

    a = VarArrayCreate(OPENARRAY(int, (0, 15)), varByte);
    byte *IN1 = (byte*) a.ArrayLock();

    for(i=0;i<15;i++)
        IN1[i] = 0;

    IN1[0] = 0x00;    // 0xF0 : Reset, 0x0F : 설정값 보기, 0x1F : 전송속도
    변경, 0x00 : 채널 제어
    //  c7 = AddrCSE->Value;
    IN1[1] = 0x00; // 컨트롤 장치 ADDR
    IN1[2] = 0x01; // 장치구분 : 0x00 - AD, 0x01 - DA, 0x10 - IO
    IN1[3] = ch; // 장치 채널 0-15
    IN1[4] = 0x0f; // 0x0f : PC, 0xF0 : Device

    IN1[5] = 0xf0; // 0x0f : Read, 0xF0 : Write
    IN1[6] = 0x05; // Echo Delay 0x70-0x90

    IN1[7] = v % 256;
    IN1[8] = v / 256;

```

```

IN1[15] = 0xf0; //0xF0 : 데이터의 끝

Delay(40);

if(Comp->PortOpen)
    Comp->Output = a;

a.ArrayUnlock();

Delay(40);
byte *IN2 = (byte*)Comp->Input.ArrayLock();

}
//-----
void __fastcall TForm1::Button4Click(TObject *Sender)
{
    int i, j, k;
    float t;
    int v[4];
    String buf;

    float fmin;
    String b;

    if(!OPF) return ;
    RunFlagP->Color = clYellow;

```

```

if(!ReadAD4(Comp, 0, v)) { return ; }
fmin = (double)(Now()-StTime)*24*60*60;
PrTimeL->Caption = buf.sprintf("%5.1f", fmin);
b = buf;

if(!OPF) return ;

if (count > MChart->BottomAxis->Maximum)
    MChart->BottomAxis->Maximum =
MChart->BottomAxis->Maximum+50;

count++;

for(j=0;j<4;j++)
{
    if(DebugP->Visible)
        ((TLabel *)FindComponent("DL"+IntToStr(j)))->Caption =
buf.sprintf("%04X", v[j]);

    t = (float)(v[j] * 250) / 4096 + 0.5;

    ((TFastLineSeries *)FindComponent("Series"+IntToStr(j+1)))->Add(t, b,
clRed);

    buf.sprintf("%5.1f", t);
    ((TLabel *)FindComponent("IRL"+IntToStr(j)))->Caption = buf;
    ((TLabel *)FindComponent("IRC"+IntToStr(j)))->Caption = buf;
}

```

```

    RunFlagP->Color = clBlack;
}
//-----
void __fastcall TForm1::Button3Click(TObject *Sender)
{
    float V, S1, T1;
    String buf;
    int i;

    NPF = true;

    Memo1->Clear();

    NX9Write(1, 60);

    for(i=0;i<6;i++)
    {
        if(ReadNX9(Sender, 1, &T1, &S1) > 0 )
        {
            ((TLabel *)FindComponent("TMP"+IntToStr(i)))->Caption =
buf.sprintf("%5.1f", T1).Trim();
            ((TLabel *)FindComponent("STP"+IntToStr(i)))->Caption =
buf.sprintf("%5.1f", S1).Trim();
        }
    }
    NPF = false;
}

```

```

//-----
void __fastcall TForm1::Timer1Timer(TObject *Sender)
{
    Button4Click(Sender);
}
//-----

void __fastcall TForm1::BitBtn1Click(TObject *Sender)
{
    if(OPF) return ;

//    InLoop = false;
    Timer1->Enabled = true;
    OPF = true;

    StTime = Now();
    count = 0;

    Series1->Clear();
    Series2->Clear();
    Series3->Clear();
    Series4->Clear();
}
//-----

void __fastcall TForm1::BitBtn2Click(TObject *Sender)
{
    Timer1->Enabled = false;
    OPF = false;
}

```



```
//-----  
void __fastcall TForm1::UpDown1Changing(TObject *Sender, bool  
&AllowChange)  
{  
    MChart->LeftAxis->Maximum = UpDown1->Position;  
}  
//-----  
void __fastcall TForm1::Image1DbClick(TObject *Sender)  
{  
    DebugP->Visible = !(DebugP->Visible);  
}  
//-----
```