

## 화상처리에 의한 목재표면결함 식별에 관한 연구\*1

이형우\*2 · 김병남\*2

### Classification of Wood Surface Defects using Image Processing Technique\*1

Hyoung-Woo Lee\*2 · Byung-Nam Kim\*2

#### 요 약

목재산업에서 생산성과 품질 향상을 위해서는 공정의 자동화가 절실히 요구되고 있다. 화상처리시스템의 현장 적용성 개선을 위해 국산 소나무와 상수리나무 및 서어나무를 대상으로 웅이, 할렬, 수피 등과 같은 주요 결함들을 인식해내는 알고리즘을 개발하였다. 목재가공공정에서 컨베이어 위를 이동하고 있는 목재를 가상하여 제재목의 규격과 목제품의 품질에 영향을 주는 표면결함들을 대상으로 그 형태와 크기 및 위치를 인식할 수 있는 화상처리기술을 개발하였다.

화상처리를 이용하여 결함으로 인식된 각 라벨에 대해 8가지의 특성을 개발, 결함인식의 기준으로 사용하였으며, 8가지 특성을 이용하여 수종별 결함 추출의 제한 조건을 마련한 후 필터링을 실시하여 실제 결함과 결함으로 인정되지 않는 라벨을 구분하였다. 또한 수종별로 가장 효과적인 기준의 적용절차를 밝히므로써 결함 인식의 오차를 줄이는 한편, 처리대상 수종에 대한 유연성을 확보하고자 하였다. 한편, 컨베이어를 이동하고 있는 목재의 규격이나 표면상태에 관련된 모든 자료들이 database의 형태로 작성되도록 하여 이후 실제 산업현장에 대한 적용 가능성을 타진하고자 하였다. 그 결과 소나무와 상수리나무 표면에 존재하는 웅이의 오인률은 1% 이하로 매우 우수하였으며, 상수리나무의 할렬과 서어나무의 수피에 대한 오인률도 13% 이하로 낮출 수 있었다.

#### ABSTRACT

In this study the possibility of classifying wood surface defects by image processing technique was investigated. An algorithm for the classification of wood surface defects, such as knot, check, and bark, on

\*1 접수 2001년 4월 12일, 채택 2001년 5월 25일

\*2 전남대학교 농과대학 농업과학기술연구소: Inst. of Agr. Sci. and Tech., College of Agr., Chonnam Nat'l Univ., Gwangju 500-757, Korea.

three Korean domestic species, *Pinus densiflora*, *Quercus acutissima*, and *Carpinus laxiflora* was also developed. Filtering was executed to separate dummies from the labels including 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%.

**Keywords** : image processing, classification, wood surface defect, feature, error rate

## 1. 서 론

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 전문적인 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 크게 영향을 미친다. 한편, 각 결함들은 각각 고유한 제조값과 크기 및 형태를 지니고 있으므로 작업자의 시각을 대체할 수 있는 화상처리기술을 개발한다면 결함인식과정의 자동화는 가능할 것이다.

일반적으로 목재표면상의 부위에 따라 제조값이 구멍(hole), 갈라짐(split), 수피(bark), 둥근모(wane), 광물질(mineral), 웅이(knot), 변색(stain), 무결점면(clear wood), 부후(decay) 등의 순으로 증가한다. 이러한 결점들은 서로 제조값의 분포가 중복되거나 겹쳐있어서 제조값만으로 판단하기가 어렵다. 따라서 각 부위의 기하학적인 특징을 이용하거나 RGB 필터를 이용하여 그 분리가능성을 높이는 것이 중요하다.

또한 컨베이어벨트에 재장이 긴 목재가 흘러올 경우에는 화상을 분할하여 인식해야 하므로 각 화상을 조합하여 화상처리하는 방법을 연구 개발함으로써 산업현장에서 사용할 수 있는 효율적인 화상처리시스템을 구축하는데 많은 노력이 필요할 것이다.

목재공업에서 화상처리의 적용효과가 가장 클 것으로 기대되는 분야는 목제품의 품질관리로 Mehlhorn 등(1985)은 목재 소재 재단공정의 품질관리에 계조화상처리시스템의 적용 가능성을 제시하였으며, Wada (1991)는 집성재용 미송 라미나의 웅이 검색에 일차원 CCD 카메라를 이용한 바 있다. 최근 Anderson 등(1995)은 고른 함수율을 갖는 원목을 대상으로 압축이상재의 횡단면을 화상처리하여 수의 중심과 심재, 변재 등을 계조화상(gray scale image)으로 처리하여 밀도에 따른 강도, 장식성, 재색, 표면처리 등을 식별하기도 하였다.

본 연구에서 국산 수종을 공시시편으로 선택하여 이미 진행되고 있는 목재자원보유국의 자원보호정책과 환경보호에 대한 세계적 관심 고조에 따라 가까운 미래에 닥쳐올 국산재 이용의 시대를 대비하여 가능한 국내 목재자원에 대한 정보와 자료를 축적하고자 하였다. 또한, 목재가공공정에서 컨베이어 위를 이동하고 있는 목재를 가상하여 제재목의 규격과 목제품의 품질에 영향을 미치는 표면결함들을 대상으로 그 형태와 크기 및 위치를 인식할 수 있는 화상처리기술을 개발하고자 하였다. 목재표면에 존재하는 주요 결함들의 인식을 위하여 결함으로 인식된 각 영역의 면적과 평균 제조값 및 가로·세로 길이 비율 등 모두 8가지의 특성을 개발, 결함인식의 기준으로 사용하였으며 수종별로 가장 효과적인 기준 적용절차를 밝히므로써 결함 인식의 오차를 줄이는 한편, 처리대상 수종에 대한 유연성을 확보하고자 하였다. 한편, 컨베이어를 이동하고 있는 목재의 규격이나 표면상태에 관련된 모

든 자료들이 database의 형태로 작성되도록 하여 이후 실제 산업현장에 대한 적용 가능성을 타진하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시시편

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

### 2.2. 화상처리시스템

#### 2.2.1. 조명과 CCD 카메라

640×480 화상에서 시편 폭을 충분히 획득할 수 있도록 카메라와 조명을 높게 설치했으며, CCD 카메라는 시편으로부터 80cm 떨어진 곳에 설치하였고, CCD 카메라로부터 상부 20cm에 조명을 설치하였다 (Fig. 1).

#### 2.2.2. 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 설치하였다. 이동대 위에 시편이 흔들리지 않도록 적재하여 이동시키면서 분할되어진 화상을 정확하게 조합하기 위해 이동대에 폭방향으로 폭 1cm의 백색 띠를 40cm 간격으로 배열하였다.

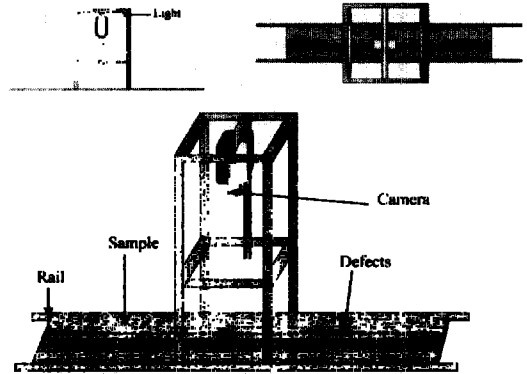


Fig. 1. Image aquisition system.

640×480의 화상에서 시편의 길이방향이 화상의 x 축이 되도록 하여 화상을 획득하였으며, 따라서 본 연구에서 이용된 화상의 1화소의 크기는 0.763×0.763 mm이 되었다. 화상의 실제 크기는 약 48.8×36.6cm 이고 화상에서는 40cm 간격의 백색 띠는 2개가 존재하게 된다.

### 2.3. 화상처리 알고리즘 개발

화상처리 알고리즘을 통하여 검출된 각 영역들은 그 특성에 따라 결함의 종류가 인식되어야 하며 효율적인 결함 인식을 위한 대표적인 특성들의 종류를 결정해야 한다. 즉, 화상처리프로그램에서 생성된 각 라벨에 대한 위치정보와 특성치 정보를 기반으로 각 수종별 결함의 특징을 추출하여 제한 조건을 마련하고, 제한 조건을 이용한 필터링을 실시하여 실제 결함으로 인정된 라벨과 결함으로 허용되지 않는 라벨을 구분하였다.

또한 각 라벨에 대한 데이터를 이용하여 제한 조건식을 개발하고, 개발된 제한 조건식을 이용하여 결함과 결함이 아닌 라벨을 분류하였다. 다음은 소나무의 용이 검출을 위한 SQL(Structured Query Language)문으로 작성된 제한 조건식이다.

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

위와 같은 방법으로 결함을 분류하고, 각 결함에 대한 오인률을 다음 식과 같이 계산하였다.

$$\text{오인률} = \frac{\text{주요결함으로 인식된 영역수} - \text{실제 결함 영역수}}{\text{결함으로 인식된 전체 영역수} - \text{실제 결함 영역수}} \times 100(5)$$

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 화상처리 알고리즘

먼저 화상으로부터 불필요한 배경을 제거하기 위해 서 계조수준 40 이하인 검은색 천을 바닥에 깔았기 때문에 시편과 계조수준차가 발생하게 된다. 따라서 문턱값 45를 적용하여 배경을 쉽게 제거할 수 있었다. 화상은 3부분으로 분할되어 입력되는데(Fig. 2), 시편이 이동하여 최초로 화상획득시스템으로 들어올 때 시편은 '□' 모양으로 되기 때문에 좌측에서부터 배경을 제거한다. 다음 화상은 시편이 '▢' 모양으로 중앙에 위치하게 되어 배경이 상하로 나뉘어지게 되기 때문에 배경을 상하를 나누어 제거한다. 시편이 화상획득시스템으로부터 나갈 때에는 '□' 모양이 되기 때문에 우측에서부터 배경을 제거한다. 이와 같은 방법으로 배경이 제거됨으로써 시편의 형상을 파악할 수 있었으며, 아직 남아 있는 백색 띠를 시편과 분리, 제거하였다(Fig. 3).

배경 제거 후 목재의 외곽에 존재하는 수피를 인식 하도록 하였다. 수피는 배경과 목질부의 사이에 위치 하게 되고 대개 수피의 계조값이 목질부의 계조값에 비해 낮기 때문에 목질부의 계조값을 이용하여 제거 하였다.

수피까지 인식이 된 후에는 문턱값을 이용하여 二 值化를 시킨 후 라벨링작업을 통하여 화상에서 목질 부와 결함을 분리하여 결함을 추출토록 하였다. 시편의 크기에 비해 화상의 크기가 제한되어 있으므로 상대적인 결함화상의 크기가 작아져 목질부의 문턱값은 앞에서 실험한 계조값 변위를 이용한 문턱값 검출방 법을 이용하지 않고, 수종마다 각기 다른 문턱값을 적

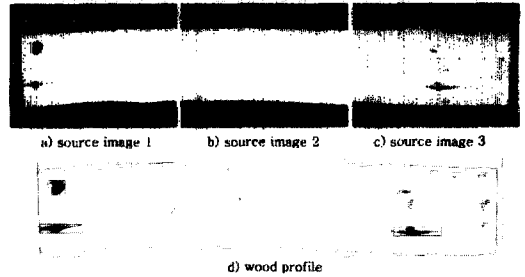


Fig. 2. Lumber profile and source images (640×480 pixels).

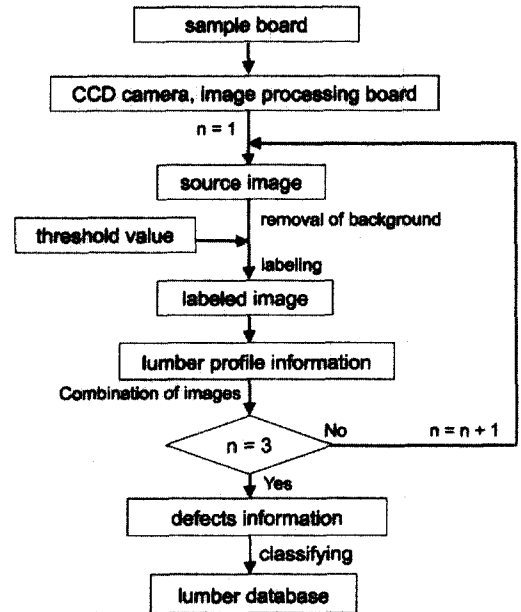


Fig. 3. Flow chart of image processing algorithm developed for the detection of lumber surface defects and the preparation of lumber database.

용하였다.

각각 분리되어진 화상을 백색띠의 모서리를 기준으로 화상을 조합하여, Fig. 2와 같은 목재의 전체적인 형상을 획득할 수 있었다.

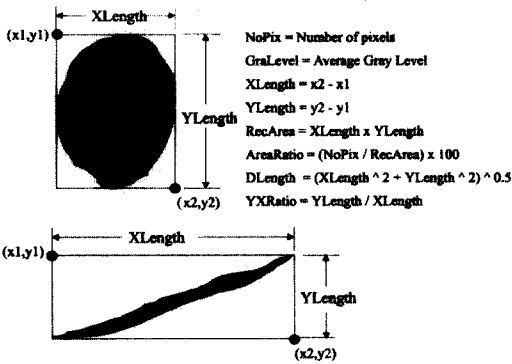


Fig. 4. Calculation of label features.

### 3.2. 결함검출을 위한 특성추출

본 연구에서는 다음과 같은 8가지 특성을 각 라벨로부터 추출하여 결함인식 과정에 적용하였다(Fig. 4).

- 1) NoPix (Number of Pixels) : 결함으로 인식된 각 영역의 면적; 영역을 이루고 있는 화소의 수
- 2) RecArea (Area of Rectangle) : 결함을 둘러싸고 있는 최소사각형의 화소수
- 3) AreaRatio (Ratio of NoPix to RecArea) : 결함을 둘러싸고 있는 직사각형 면적에 대한 결함 실제면적의 비율
- 4) GraLevel (Average Gray Level) : 결함 영역의 평균 계조값
- 5) XLength (Length of Rectangle in perpendicular direction to feeding) : 직사각형의 송재 수직방향의 길이
- 6) YLength (Length of Rectangle in parallel direction to feeding) : 직사각형의 송재에 대한 평행방향의 길이
- 7) DLength (Length of Diagonal Line of Rectangle) : 직사각형의 좌상단과 우하단 좌표를 잇는 대각선의 길이
- 8) YXRatio (Ratio of YLength to XLength) : 직사각형의 가로와 세로의 길이 비율

한편, 본 연구의 궁극적인 목적은 실제 목재산업 현장에의 적용에 두고 있고, 대부분의 목재 재단공정이 직선적으로 이루어지고 있으므로 결함 자체만의 면적이나 위치보다는 그 결함을 둘러싸고 있는 최소 면적의 직사각형(minimum building rectangle)을 구성하도록 하여 그 면적과 좌상 및 우하단의 좌표를 자료화하였다.

위의 각 특성들을 전체 시편들에서 결함으로 인식된 모든 영역으로부터 추출하여 database를 작성한 후 각 특성의 결함 인식에 대한 효과를 조사하였다(Table 1). 한편, 국산 소나무는 건조과정에서 별다른 할렬이 발생하지 않았으므로 단지 표면에 존재하는 용이의 검출에 초점을 맞추었으나 상수리나무의 경우에는 건조 중 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. 이처럼 수종에 따라서 주된 관심의 대상이 되는 결함의 종류가 달라지므로 이후 다양한 수종들에 대한 화상처리 연구가 필요한 것으로 사료된다.

### 3.3. 각 영역 특성들의 결함 인식 정확도

우선 검출 대상 결함 영역으로부터 얻어진 각 특성의 범위를 조사한 후 실제 화상에 적용하여 결함으로 인식된 영역의 수와 실제 결함 수를 비교함으로써 각 특성의 결함 인식효과(오인률)를 결정하였다. 그리고 결함 인식효과가 검증된 각 특성들 중에서 효과가 우수한 것들을 선택, 조합하여 다시 화상에 적용함으로써 결함 인식 정확도의 향상효과 및 실제 인식 정확성을 판별하였다.

Table 1은 육안을 통하여 주요검색 대상인 결함을 나타낸 것이며 인식된 각 영역들에 대한 8가지 특성의 범위를 보여주고 있다. 일 예로 소나무의 경우 대상 화상에서 추출된 결함영역 438개 중에서 35개가 육안에 의해 용이로 인식되었다. 그리고 용이로 판정된 결함영역의 면적이 148-5450화소이므로 NoPix를 인식 알고리즘에 적용할 경우 일단 NoPix가 148-

**Table 1.** Ranges of label features to detect main defects for *Pinus densiflora*, *Quercus acutissima*, and *Carpinus laxiflora*.

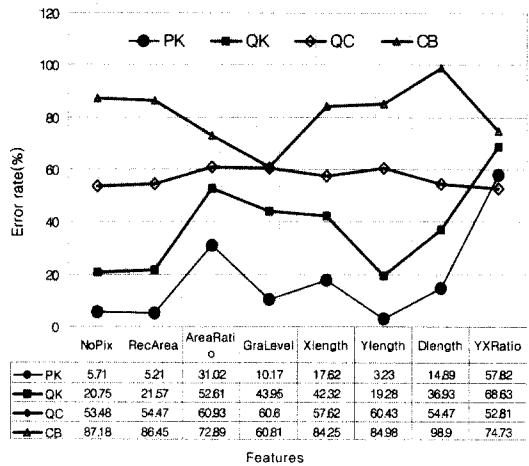
Species	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Quercus acutissima</i>	<i>Carpinus laxiflora</i>	
Main defects	Knot	Knot	Bark	
Total number of defects	438	465	317	
Number of main defects	35	35	32	
NoPix	148~5450	24~1217	10~1023	10~12895
RecArea	330~26508	35~3224	12~6909	12~24624
AreaRatio(%)	8~62	28~80	9~90	22~90
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	238~75.00	0.07~250

5450의 범위에 있는 영역은 옹이로 간주하였다.

전술한 방법으로 각 특성별로 결합 인식을 시행한 결과 수종별 판정 오류율은 Fig. 5와 같았다. 소나무의 경우 결합영역의 면적(NoPix)과 결합 영역을 둘러싼 사각형의 면적(RecArea) 및 사각형의 송재방향 길이(YLength)의 판정 오류율은 6% 미만으로 3가지의 특성이 소나무 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 할렐과 서어나무 수피에 대해서는 모든 특성에서 비교적 인식능력이 불량한 것으로 나타났다.

### 3.4. 영역 특성의 결합에 따른 전체적인 인식 정확도

주요 결합의 인식정확도를 높이기 위해서 복수의 영역특성조건을 순차적으로 적용하였다. 이때 영역특성 조건의 적용 순서는 Fig. 5의 결과를 바탕으로 다음의 두 가지 방법으로 시도하였다. 첫 번째 방법은 가장 오류율이 낮은 특성조건부터 순차적으로 적용하는 것이고, 두 번째 방법은 가장 낮은 오류율을 기록



**Fig. 5.** Error rates according to label features in classifying main defects for *Pinus densiflora*, *Quercus acutissima*, and *Carpinus laxiflora*.

한 특성조건을 적용하고, 이후 나머지 7가지 특성을 모두 적용해서 그 중 가장 낮은 오류율을 보이는 특성을 선정한다. 두 가지 방법을 모든 수종에 적용해 본 결과 소나무 옹이와 상수리나무 옹이, 그리고 서어나무 수피에서는 첫 번째 방법이 우수하였으나 상수리나무 할렐에서는 오히려 두 번째 방법이 우수하였고,

**Table 2.** Combinations of label features to enhance the accuracy in classifying main defects for *Pinus densiflora*, *Quercus acutissima*, and *Carpinus laxiflora*

Species	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Quercus acutissima</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	-	-

**Table 3.** Stepwise label feature combinations according to RecArea size for classifying bark on *Carpinus laxiflora*.

RecArea size	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5
> = 2000	DLength 73~325.21	-	-	-	-
< 2000	NoPix	GraLevel	AreaRatio	-	-
> = 100	117~598	108~239	22~66	-	-
< 100	YXRatio	GraLevel	XLength	NoPix	AreaRatio
> = 1	0.40~225	112~177	3~12	10~43	49~90

각 수종에 따른 주요 결함에 따른 영역 특성의 적용순서는 Table 2와 같다.

복수의 영역특성조건을 적용하면 Table 4와 같이 소나무 용이와 상수리나무 용이의 판정 오류율은 1% 미만으로 매우 우수한 것으로 나타났다. 이와 같은 사실은 소나무와 상수리나무의 용이가 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 할벌의 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 오류율이 발생한 주원인으로는 서어

나무 표면에 존재하는 수피의 크기가 매우 다양하게 분포하기 때문으로 사료된다. 즉, Table 1의 서어나무 수피의 결함의 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 Table 3과 같이 영역의 면적(NoPix)에 따라 조건식을 2000화소 이상, 100화소 미만, 100화소에서부터 2000화소 미만 등의 3분류로 나누어 검색을 실시하도록 하였다. 그 결과 Table 4에서 볼 수 있듯이 오류율을 10% 수준으로 낮출 수 있었다. 따라서 결함 인식의 정확도를 높이기 위해서는 검색 대상 수종과 결함에 따른 특징을 정확하고 세밀하게 파악하는 것이 필수적인 것으로 사료된다.

**Table 4.** Minimum, maximum, and average error rates by label combination in classifying knot on *Pinus densiflora*, knot and check on *Quercus acutissima*, and bark on *Carpinus laxiflora*.

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

#### 4. 결 론

화상처리시스템은 고속으로 흘러 들어오는 목재에 대한 화상을 획득하여 화상을 처리하여야 하므로 최대한 처리속도를 향상시켜야 한다. 그러나 처리속도로 인한 결함 검색의 정확도가 떨어지지 않도록 해야 하므로 이러한 관점에서 최대한 정확도를 높이는 동시에 검색속도를 빠르게 할 수 있는 알고리즘의 개발이 매우 중요하다. 따라서 화상처리시스템의 현장 적용성을 타진하기 위하여 제재목 형상과 표면결함 인식을 위한 알고리즘을 개발, 그 성능을 분석하였다. 본 연구의 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 국산 제재목의 표면결함 인식에 관한 연구결과 소나무 표면에 존재하는 웅이의 인식에 웅이를 둘러싸고 있는 최소면적 사각형의 송재 직각 방향 길이(YLength), 사각형면적(RecArea), 웅이 자체의 면적(NoPix), 웅이의 평균 화소값(GraLevel) 등의 순으로 판정 기준을 적용하여 평균 상수리나무 오인율 0.99%의 매우 우수한 결과를 얻을 수 있었다.
2. 상수리나무 표면에 존재하는 웅이의 인식에서도 YLength로부터 AreaRatio까지 7단계의 판정 기준을 적용하여 0.93%의 매우 낮은 오인율을 얻을 수 있었다. 그러나 상수리나무 표면에 발생한 할렐과 서어나무 표면에 존재하는 입피의 오인율은 각각 12.09%와 10.71%로 높게 나타났다. 따라서 오인율이 높은 수종에 대한 더 많은 연구를 통하

여 결함 인식률이 높아졌을 때, 실제 재단공정에 투입하여 자동재단을 유도할 수 있으며, 이미 구축된 database를 기반으로 하여 재단공정에 목재가 투입되기 전에 가상 모의실험을 실시한다면 재단수율을 예측할 수 있을 것이다.

#### 참 고 문 헌

1. Anderson, C., Walter, F. 1995. Classification of compression wood using digital image analysis. *Forest Products Journal* 45(11/12): 87-95.
2. Butler, D. A., James, W. F., and C. C. Brunner. 1993. An adaptive image preprocessing algorithm for defect detection in Douglas-fir veneer. *Forest Products Journal* 43(5): 57-60.
3. 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.
4. 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.
5. Haralic, R. H. and L. G. Shapiro. 1992. *Computer and robot vision*. Addison-Wesley Publishing Company: 303-357.
6. Mehlhorn, L. 1985. Quality control in the wood based board industry with digital image proces-



- sing. Holz als Roh-und Werkstoff 43: 403-407.
7. Tang, M. J, Faust, T. D, and David L. N. 1995. Detection of internal defects in hardwood logs using computed tomography. 1995 Forest Products Society Annual Meeting Portland, Oregon: 1-4.
8. 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.