

## 국산재 제재목 Database 개발과 종절우선 재단시물레이션에 의한 수율 예측\*1

이형우\*2 · 김광남\*2

### Development of Databases for Domestic Species and Estimation of Part Yields through Rip-First Cutting Simulation\*1

Hyoung-Woo Lee\*2 · Kwang-Nam Kim\*2

#### 요 약

제재목으로부터 얻을 수 있는 部材(parts)의 수율을 미리 예측할 수 있다면 최고의 수율 보장이 가능한 방법으로 재단할 수 있으므로 목재산업의 생산성을 크게 향상시킬 수 있다. 특히, 용이와 같은 결점들이 많이 포함되어 있는 국산 중소경재의 경우 수율 예측을 통한 재단최적화는 매우 필요한 공정이 아닐 수 없다. 본 연구에서는 국산 상수리나무와 소나무를 대상으로 제재목 database를 구축하여 다중 종절우선 공정 모형에 적용함으로써 국산재의 가공효율을 탐색하는 동시에 최고의 수율이 보장되는 재단 방법을 제시하고자 하였다.

#### ABSTRACT

An understanding of potential lumber cutting yields may lead to increased utilization of the lower grades of lumber in wood industry. Computer simulations of rough-mill operations require a lumber database as input to give reasonable estimates of such yields. The lumber database must contain detailed information regarding the location and type of defects, and then all manufacturing sequences can be tested with the same raw material. However, no suitable lumber database with mapped defects exists for Korean wood industry.

\* 1 접수 2001년 4월 12일, 채택 2001년 6월 4일

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

In this study lumber databases of *Pinus densiflora* S. et Z. and *Quercus acutissima* which are the main Korean domestic species were developed to prepare for coming era of "utilization of domestic species" in the near future. These databases were put into lumber cut-up simulation model(gang-rip-first simulator) to investigate the part yields.

Gang-rip first simulation showed average part yields of 44.75% and 63.10% for *Quercus acutissima* and *Pinus densiflora* lumber database developed, respectively. In most cases process set-up of fixed blade best feed showed the best part yields and the level of acceptable defects could not make significant differences in part yields.

**Keywords** : lumber database, gang-rip-first sawing, sawing simulation, part yield, *Quercus acutissima*, *Pinus densiflora*

## 1. 서론

급변하는 산업환경에서 생존하기 위해서는 생산성 향상을 통한 효율의 극대화를 위한 끊임없는 노력이 요구되며, 그에 따라 기존 공정의 개선이나 새로운 공정의 설계 및 투입은 항시 필요하게된다. 그러나 공정의 개선이나 신 공정의 투입에 의한 효과를 예측할 수 없다면 의사결정시 상당한 위험부담을 감수해야함으로 산업 각 분야에서는 실제 상황을 모델링(modeling)하여 모의실험하므로써 불확실한 미래에 대한 위험을 해소하려 노력하고 있다.

목재공업분야에서도 미국을 중심으로 수많은 모의실험용 software들이 개발되어왔으며, 특히 목재 재단공정(lumber cutting process)에서 원재료 이용효율 향상을 위한 모의실험 연구는 상당한 수준에 이르고 있다. 1960년대 말 McAdoo(1969)와 Tsoiakides(1969)가 소경재의 가공공정에 대한 컴퓨터 모형과 모의실험에 의한 원목 제재수율 예측방법을 제시한 이후 많은 관심이 고수율 제재공정의 모형화(Hallock, 1976)에 집중되었다. 그러나 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. Giese 등(1982, 1983)이 종절우선 공정(rip-first process)을 모형화한 OPTYLD를 발표한 것을 시작으로 1년 후에는 횡절우선 공정(crosscut-first

process)을 모형화한 CROMAX라는 프로그램을 제시함으로써 이 분야 연구가 활기를 띠기 시작하였다. 1990년대 들어서 Hoff 등(1991)이 개발한 GR-1st라는 모형은 기존의 공정을 모형화하던 수준에서 한차원 상승하여 고효율의 새로운 공정을 가상, 설계하여 그 효과를 예측해낼 수 있는 것으로 이후 Thomas 등(1994, 1995, 1996)에 의해 계속 새로운 version(AGARIS, ROMI-RIP, ROMI-CROSS)으로 향상되었으며, 최근 전자동 종절우선 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 표면에 나타나 있는 웅이나 부후된 부분 또는 할렐 등 결점들의 위치와 크기가 주를 이루며, 전술한 각 모형들을 설계한 연구자들은 각자 자신의 모형에 적합한 형태의 목재 database를 작성하여 투입하고 있다. 한편, 이와 같은 목재 database의 제작을 위한 새로운 기술로 Anderson 등(1992)이 컴퓨터와 digitizer를 이용한 방법을 제시한 바 있으나 본 작업에는 많은 인력과 시간이 소요되므로 이 분야의 연구가 가장 활발한 미국에서도 yellow poplar(Osborn 등, 1992)와 red oak(Gatchell 등, 1992) 등 몇몇 종류의 database만이 개발되어 있는 상태이다.

본 연구에서는 가까운 장래에 빠른 속도로 다가올 국산재 활용의 시대에 대비하여 가장 활용도가 높을 것으로 예상되는 국산재중에서 침엽수의 대표적 수종

인 소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.)와 활엽수의 대표적 수종인 참나무종 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.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 제재목 database 개발과 재단수를 추정

#### 2.1.1. 제재목 database 개발

##### 2.1.1.1 공시목 준비

국산재에 대한 최초의 제재목 database 개발이므로 본 연구에서는 국산재 중에서 가장 활용도가 높을 것으로 예상되는 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 장원도산 소나무원목 16본과 전남대학교 장성연습림에서 벌채한 직경 15~25cm, 길이 145~155cm 범위의 상수리나무 원목 20본을 활제채법(live-sawing)으로 두께 2.5cm 판재(fitch상태)로 제재하여 공시목을 준비하였다.

실제 제재목 database로 작성된 판재의 수는 상수리나무와 소나무 각각 420본과 252본이었다.

##### 2.1.1.2 결함검색 기준과 측정

제재목 표면의 결함검색시 결함의 종류에 따라 표1과 같이 구분하여 부호를 부여하였다. 본 결함기준은 Wiedenbeck 등(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.

**Table 1. Board defects and code numbers.**

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

Table 1에 제시된 결함들이 제재목 표면상에 존재하는 경우에는 각 결함을 포함할 수 있는 최소면적의 사각형을 가상, 그 사각형의 위치와 크기를 좌표로서 나타내었다(Fig. 1). 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.

#### 2.1.2. 제재목 Database의 재단 모의실험 적용과 재단수를 추정

목재재단공정중 매우 효율이 높은 것으로 알려져 있는 多衆縱切 優先(gang-rip-first)공정을 모델링한 simulator인 ROMI-RIP(ROUGH MILL RIP-first)(Thomas et al., 1994)에 본 연구에서 개발한 국산재 제재목 database를 적용하여 각 수종에 대한 재단수율을 예측하였다.

##### 2.1.2.1 재단주문서(Cutting bill)

재단주문서(cutting bill)의 내용이 재단수율에 미

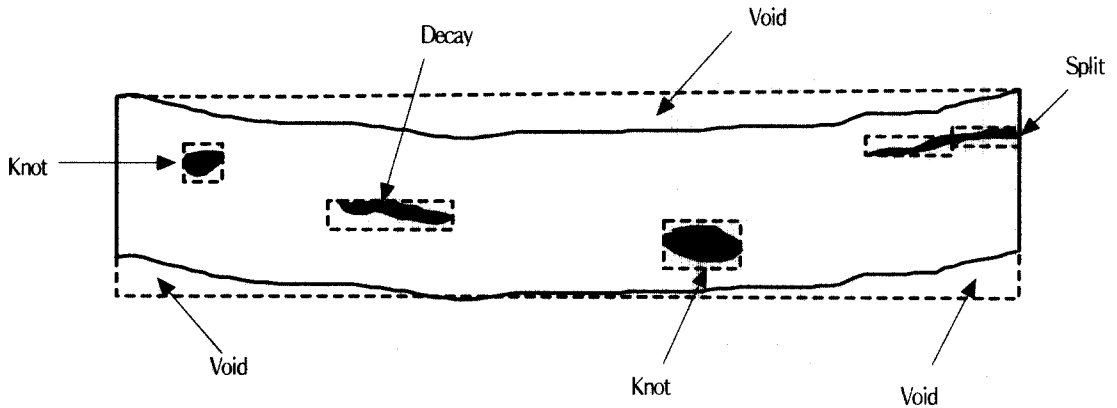


Fig. 1. Plot of board outline showing location of defects.

Table 2. Descriptions of 10 cutting bills used to examine part yields for the ROMI-RIP cut-up simulator. (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
150	12.00	1.75	10.00	200	16.00	2.00	11.00	1.50	19.50
200	16.00	2.25	11.75	225	20.00	3.00	18.00	2.00	25.75
250	20.00	2.75	13.50	250	24.00	4.00	25.00	2.50	32.00
300	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	Average Weighting factor	1773.30	Average Weighting factor	1368.00	Average Weighting factor	4270.00	Average Weighting factor	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
200	15.00	1.50	18.00	200	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	Average Weighting factor	5291.09	Average Weighting factor	7208.20	Average Weighting factor	11080.80	Average Weighting factor	18482.08

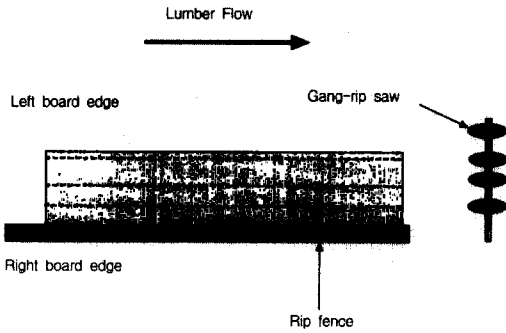


Fig. 2. Rip-fence, board and arbor relationship in gang-rip sawing process.

치는 영향을 분석하기 위해서 部材 획득 난이도에 따라 Thomas(1996)가 제시한 Table 2의 10가지 재단 주문서를 적용하였으며, 가중치(weighting factor)란 각 부재의 폭에 그 길이의 2승을 곱한 값으로 재단 모의 실험에서 해당 판재로부터 부재를 획득할 때 부재 채취의 우선순위(priority) 결정 기준이 된다. Table 2의 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 예상된다.

2.1.2.2. 공정 조건

Fig. 2에서 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 있으며 본 연구에서는 6가지 공정조건 모두를 적용하였다.

한편, 결합허용수준에 따라 Table 3과 같은 다양한 조건을 적용할 수 있으며, 본 연구에서는 제재목 검색 결과 용이가 가장 중요한 결합으로 판단되어 용이와 관련된 7가지 조건을 적용하였다.

한편, 10개의 재단주문서와 6가지 기계조건 및 7가지의 용이관련 결합허용수준에 대한 각각의 조건 조합은  $10 \times 6 \times 7 = 420$ 개에 달한다.

Table 3. Acceptable defects setup for ROMI-RIP simulator.

Part clear
Sound knot <= 1/2 inch
Sound knot <= 1 inch
All sound knot
Unsound knot <= 1/2 inch
Unsound knot <= 1 inch
All unsound knot

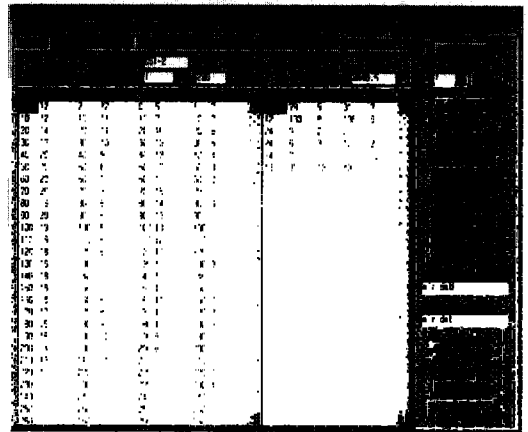


Fig. 3. Window for lumber database development program.

3. 결과 및 고찰

3.1. 제재목 database 개발과 재단수율 추정

3.1.1. 제재목 database 작성 program 개발

본 연구를 위해 개발된 제재목 database 작성 프로그램은 Windows 95하에서 동작하는 프로그램으로 사용언어는 Delphi이다. 본 프로그램은 사용자가 입력한 자료의 결과를 바로 보여줌으로써 자료의 신뢰성을 높이고, 제재목 양면의 동시 입력이 가능하도록 설계되어 있어 결합의 분포를 한눈에 볼 수 있는 장점이 있다. 또한 기존 입력자료를 읽어들이어 검색할 수 있기 때문에 입력된 자료의 가치를 높여준다. 입력항

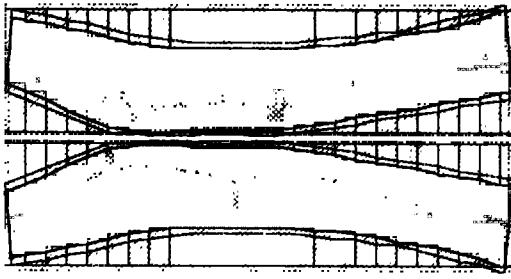


Fig. 4. Plot of lumber by lumber database development program.

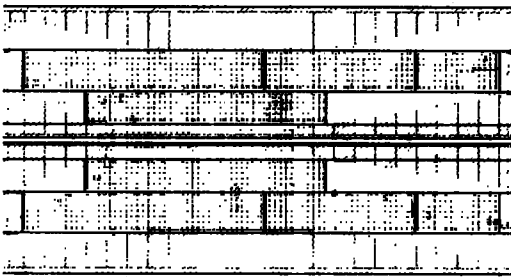


Fig. 5. Plot of lumber with cuttings by lumber database development program.

목인 시편의 모양, 등근모, 기타 결함 등은 Table 1의 코드를 적용하여 입력(Fig. 3)되고, 이 자료를 해석(Fig. 4)하여 ROMI-RIP simulator에서 인식할 수 있는 코드로 변환, ROMI-RIP simulator를 이용하여 계산한 후 그 결과(Fig. 5)를 볼 수 있도록 하였다. Fig. 6은 본 프로그램을 통하여 자동적으로 작성된 제재목 database file 내용의 예이다.

본 연구를 통하여 개발된 국산재 소나무와 상수리나무의 제재목 database 내용은 Table 4와 같다.

GRADE OSL		BOARD NUMBER 5531 1CB	
TOTAL NUMBER OF DEFECTS 29			
MEASURED BOARD WIDTH 36		GRADING: 0-0 0-0	
0- 0	36-190		
0- 0	2-190	1	8
34- 0	36-190	1	8
33- 0	34- 10	1	8
2- 0	3- 10	1	8
32- 10	34- 40	1	8
2- 10	4- 40	1	8
31- 40	34- 70	1	8
30- 70	34-150	1	8
30-150	34-170	1	8
31-170	34-190	1	8
2-40	4-190	1	8
20- 0	14- 13	1	24
19- 13	14- 23	1	24
19- 23	15- 30	1	24
18- 30	12- 36	1	24
18- 36	14- 40	1	24
18- 40	15- 55	1	24
17- 55	15- 86	1	24
16-157	15-173	1	24
17-180	14-190	1	24
12- 2	9- 4	1	12
21- 7	19- 9	1	12
19- 36	17- 38	1	12
26- 49	23- 51	1	12
11- 88	9- 90	1	12
11-114	8-116	1	12
18-125	17-127	1	12
17- 80	16- 96	1	13
16-151	15-157	1	13

Fig. 6. Example of lumber database file.

### 3.1.2. 재단수율 추정

#### 3.1.2.1. 상수리나무

Fig. 7은 상수리나무 판재에 대한 gang-rip-sawing (다중종절) 우선공정 모의실험 결과이며, 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%이었다.

평균수율의 범위는 재단주문서 10번의 36.54%가 최소였으며, 재단주문서 2번의 51.11%가 최대였다.

Table 4. 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

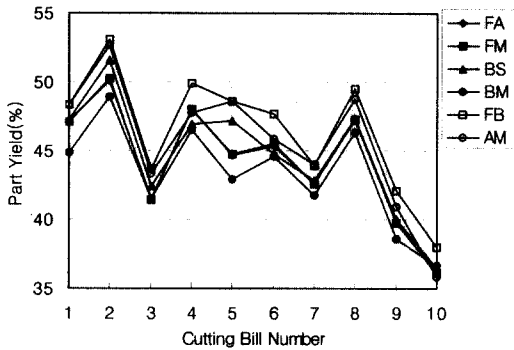


Fig. 7. Part yields of *Quercus acutissima* by cutting bills and arbor types (FA: fixed arbor type, FM: fixed with movable outer blade, BS: best spacing sequence, BM: best spacing sequence with movable outer blade, FB: fixed blade best feed, AM: all blade movable).

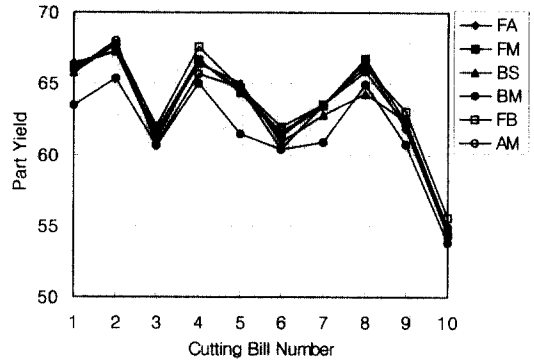


Fig. 8. Part yields of *Pinus densiflora* by cutting bills and arbor types (Legends are the same as Fig. 7).

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.

각 재단주문서별 공정조건에 따른 수율을 살펴보면 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 상수리나무의 재단공정에는 Fixed blade best feed조건을 적용하는 것이 가장 바람직할 것으로 사료된다.

한편, 모든 조건에 대한 상수리나무의 전체 평균수율은 44.75%(Fig. 9와 Fig. 10)로 나타났으나, 공시 판재의 재장이 짧은 관계로 길이가 긴 부재의 생산은 불가능하였다.

### 3.1.2.2. 소나무

Fig. 8은 소나무 판재에 대한 gang-rip-sawing 우선공정 모의실험 결과이며, 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%이었다.

평균수율의 범위는 재단주문서 10번의 54.66%가 최소였으며, 재단주문서 2번의 67.23%가 최대로 국산 상수리나무와 동일한 경향을 보여주고 있다.

각 재단주문서별 공정조건에 따른 수율을 살펴보면 상수리나무와 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 소나무의 재단공정에서도 Fixed blade best feed조건을 적용하는 것이 가장 바람직할 것으로 사료된다.

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

## 3.2. 고찰

국산 상수리나무와 소나무에 대한 재단수율을 추정

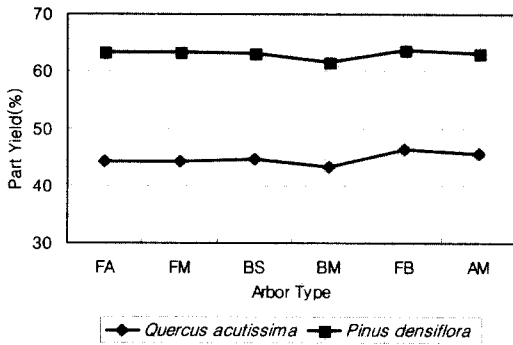


Fig. 9. Average part yields of *Quercus acutissima* and *Pinus densiflora* by arbor types (Legends are the same as Fig. 7).

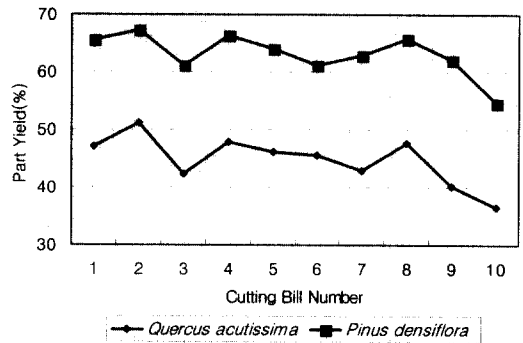


Fig. 10. Average part yields of *Quercus acutissima* and *Pinus densiflora* by cutting bills.

한 결과 대부분의 조건에서 Fixed blade best feed의 공정조건이 가장 양호한 수율을 나타내었다. 그러나 용이의 허용수준에 따른 수율차이는 크지 않아 제품의 품질향상을 위해서도 가능한 용이를 제거하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

재단주문서의 내용에 따른 수율의 변화를 보면 최저와 최고 수율의 차이가 소나무와 상수리나무에서 각각 12.57%와 14.57%로 나타나 요구되는 부재의 규격을 다양화함으로써 국산재의 재단수율을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 즉, 재단주문서 3번의 weighting factor가 가장 낮음에도 불구하고 재단주문서 2번을 적용한 결과가 두 수종 모두에서 최고의 수율을 나타내고 있는 것은 재단주문서 2번이 3번에 비하여 상대적으로 다양한 부재규격을 요구하고 있다는 사실에 기인한 것으로 판단된다. 따라서 생산하고자 하는 부재 또는 제품의 종류를 다양화하는 한편, 공동의 광범위한 재단주문서를 개발할 필요가 있다.

본 연구를 통하여 개발된 국산재 database를 이용한 수율 추정은 국산재의 활용 가능성을 크게 높여준 것으로 평가하며, 이후 다양한 공정에 대한 적용이 요구된다.

한편, 본 연구에 사용된 재단simulator는 미국에서 개발된 것으로 단위뿐만 아니라 재단주문서에 있어서도 국내 목재산업계에 적합치 못한 점들이 연구과

정에서 도출되었다. 그러므로 우리의 사정에 적합한 새로운 simulator의 개발이 시급한 것으로 사료된다.

## 4. 결론

국산 상수리나무와 소나무에 대한 제재목 database를 개발하여 gang-rip-sawing) 우선 공정 simulator를 이용, 재단주문서에 따른 재단수율 변화를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 상수리나무와 소나무의 평균 재단수율은 각각 44.75%와 63.10%이었다.
2. 상수리나무의 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%이었다.
3. 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.
4. 소나무의 최고의 재단수율은 All blades movable 공정으로 모든 용이를 허용하는 조건에서 재단주문서 2번을 적용하였을 때의 68.03%로 나타났으



- 며, 최저의 수율은 Best spacing sequence w/movable outer blade로 재단주문서 10번을 적용한 경우의 53.78%이었다.
5. 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.

## 참 고 문 헌

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. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Hallock, H. and D. W. Lewis. 1976. Is there a "best" sawing method? USDA Forest Products Laboratory Research paper FPL-280.
6. 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.
7. McAdoo, J. C. 1969. Computer simulation of small-log mill processing. Forest Products Journal 19(4): 34-35.
8. 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.
9. 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.
10. Thomas, R. E. 1995. ROMI-RIP: ROugh Mill RIP-first simulator user's guide. USDA Northeastern Forest Experiment Station General Technical Report NE-202.
11. Thomas, R. E. 1995. ROMI-RIP: ROugh Mill RIP-first simulator. USDA Northeastern Forest Experiment Station General Technical Report NE-206.
12. Thomas, R. E. 1996. Prioritizing parts from cutting bills when gang-ripping first. Forest Products Journal 46(10): 61-66.
13. Tsolakides, J. A. 1969. A simulation model for log yield study. Forest Products Journal 19(7): 21-26.
14. 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.