

잣 수확의 기계화 연구(II)⁺
- 잣나무 가지의 전단 특성 -

Mechanization of Pine Cone Harvest(II)
- Shearing Characteristics of Shoots of Korean Pine Trees -

姜和錫*
W. S. Kang

金相憲*
S. H. Kim

李在善**
J. S. Lee

SUMMARY

This reasearch was performed to provide the fundamental information for the mechanization of Korean pine cone harvest when the shoot shearing method is adopted. Shear force and stress of pine cone shoots were measured and analyzed for this purpose. Samples are selected along their harvesting time and tested in 17 levels of shoot diameter from 10 to 26mm with 1mm increment.

- 1) Shear force-deformation characteristics showed that shoot reached its rupture point after 2 to 4 of bio-yield points. It was supposed that these multiple bio-yield points were caused by the discrete compression of wood parts which are composed of water, nutrient, resin, etc.
- 2) Required shear force to shear shoot was proportional to the square of shoot diamter, however, shear force for shoots of early harvesting time(Aug. 31) was proportional to the shoot diameter. Variance of shear force was increased as the harvesting time was delayed.

Shear forces were distributed from 468N(Aug. 31, 12mm dia.) to 4153N(Aug. 31, 26mm dia.) disregarding the sampling date.

- 3) The average shear stresses by sampling dates were 744, 822, and 883N/m², respectively, and for the earlier shoot samples shear stress was quite smaller than the others. Shear stress was proportional to shoot diameter squared, and the effect of shoot diameter on the shear stress was decreased as harvesting time was delayed.

+ 이 논문은 1991년도 교육부지원 한국학술진흥재단의 자유공모(지방대학육성)과제 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음.

* 강원대학교 농과대학 농업기계공학과.

** 강원대학교 임과대학 임학과.

1. 서론

잣 송이의 수확을 기계화하기 위한 방법은 가지에서 송이만을 따내는 것과 나무에 최소의 피해를 입히면서 잣이 달린 가지를 잘라내는 두가지 방법중의 하나를 선택할 수 있다. 잣 송이만을 따내는 방법 중에는 잣 송이의 꼭지를 잘라내는 방법, 공기 또는 기타의 물체를 송이에 충돌시켜 가지로부터 분리 시키는 방법, 잣 송이를 비틀어서 분리하는 방법 등을 생각할 수가 있고, 가지를 잘라내는 방법은 전단용의 가위장치를 이용하거나 톱을 이용하는 방법을 고려할 수 있다.

본 연구에서는 가지를 잘라내어 잣을 수확하는 방법 중에서 전단가위를 이용할 경우, 잣이 달린 가지를 잘라 내는데 필요한 전단력 및 전단용력을 가지의 굵기별, 채취시기별로 측정 분석하여 잣 수확을 기계화하기 위한 기초자료로 제공하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

본 실험에 이용된 잣나무 가지는 강원대학교 연습림에서 성장하고 있는 3-6령급의 나무중에서 잣이 달린 가지를 선택하여 잣 송이를 제거하고, 잣이 달렸던 위치에서 아랫부분으로 2년생 가지 10cm~40cm(강, 1993)를 잘 다듬어서 실험에 이용하였다.

잣 가지를 채취한 시기는 1992년 잣 수확시기의 초기(8월31일), 중기(9월16일), 말기(9월 28

일)로서 가지의 함수율은 각각 61.2%, 60.5%, 58.7%였다. 실험에 이용한 잣가지의 채취시기별 직경은 10~26mm 사이에 분포하였고 전체 전단시험 횟수는 177회로서 채취시기별 및 직경별 시험횟수는 Table 1과 같다.

가지의 전단력을 측정하기 위한 장치는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 전단장치를 유압장치에 연결하여 사용하였다. 전단장치는 그림에 나타낸 바와 같이 "ㄷ"자형 지그(jig)에 꼭 맞는 슬라이더를 만들어 끼워서 필요한 직경의 구멍을 뚫은 장치로서, 지그는 후래임에 고정시키고 슬라이더에는 인장 및 압축용의 하중변환기를 부착한 후 유압장치에 연결하였다. 전단장치에 뚫은 구멍의 크기는 직경 10mm부터 27mm까지 1mm씩 증가시켜서 18개의 구멍을 뚫었다.

본 연구에서는 자연상태의 잣 가지를 잘라내는 것이 근본 목적이기 때문에 전단력 측정용의 가지는 껍질을 벗기지 않고 직경별로 구멍에 관통되도록 끼워 넣고 유압장치를 이용하여 전단하면서 하중변환기와 증폭기를 이용하여 기록계에 전단력을 기록하였다. 기록된 자료는 측도설정에 의한 실제의 전단력 및 전단용력으로 환산하였다. 유압실린더, 하중변환기, 전단장치, 후래임을 각각 연결하는 부위는 갈고리를 이용하여 전단력이 가해질 경우 일직선을 이루도록 하였다.

유압장치가 가지를 잡아 당기는 속도는 약 12 mm/s였다.

Table 1. Shoot diameters and numbers of shearing test by sampling date.

직 경(mm)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	Total
Aug. 31, 1992	0	0	3	3	3	4	6	6	3	6	6	1	0	4	1	0	4	50
Sept. 16, 1992	2	2	9	8	11	10	11	6	6	4	5	8	6	6	2	1	0	97
Sept. 28, 1992	0	0	0	2	7	5	6	4	2	0	3	1	0	0	0	0	0	30
Total	2	2	12	13	21	19	23	16	11	10	14	10	6	10	3	1	4	177

3. 결과 및 고찰

1) 전단력-변형 특성

잣나무 가지가 전단되는 동안 측정된 전단력-변형 관계를 보여주는 전형적인 형태중에서 직경이 21mm인 가지에서 나타나는 전단력-변형 관계를 Fig. 2에 나타내었다.

그림에서 점 y_1 은 전단에 의한 변형이 증가함에도 불구하고 전단력이 감소하거나 변화가 없는 점으로서, 농업용 재료의 항복점과 구분하기 위하여 생체항복점(生體降伏點, bioyield point)이라고 불리운다.(1978, Mohsenin). 이 생체항복점에 이르러서 가지조직 내의 세포가 초기의 파괴를 일으키게 되며, 초기의 직선비례부분 LL 점에 도달한 이후에는 어느 때라도 생체항복점이 생길 수 있다.

y_2 는 2차 생체항복점으로서, 가지의 조직 일부가 1차 파괴를 일으킨 후 계속되는 외부의 힘에 의하여 2차적으로 파괴를 일으키는 점으로 생각된다. 다른 가지를 전단할 때 2차 생체항복점 뿐만 아니라, 3차, 4차의 항복점을 가지는 경우도 관찰되었다. 균질의 단단한 재료가 1차 항복점만 가지는 것에 비하여 잣 가지가 2개 이상의 생체항복점을 가지는 이유는 나무가지 조직의 구성상 역학적 힘을 받아내는 木部 이외에 역학적인 힘을 받아내는데 아무런 도움이 되지않는 수분, 수지, 양분 등을 포함하는 공간(節部)이 있기

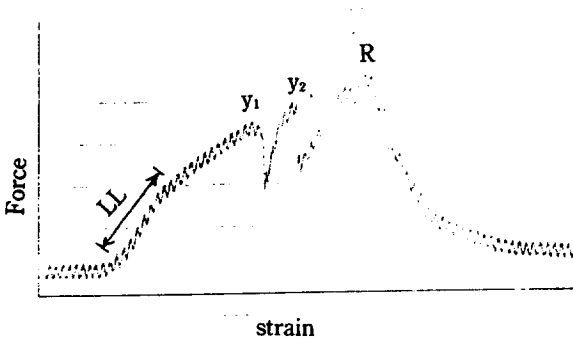


Fig. 2. Shearing force-strain of a branch of Korean pine cone tree.

때문에, 외력에 의하여 일부 木部가 파괴된 다음 파괴되지 않은 節部가 다시 압축 등에 의하여 2차, 3차의 파괴가 일어나는 것으로 사료된다.

Fig. 2에서 R점은 파괴점으로서 이것은 1차생체항복점 이후 어디에서나 일어날 수 있으며, 생체항복점은 세포나 일부 조직의 파괴 등 “微視的構造”의 파괴로 볼 수 있고, R점의 파괴점은 가지전체의 파괴인 “巨視的構造”의 파괴로 볼 수 있다(1978, Mohsenin).

파괴점 R 이후에는 취성(脆性)재료의 경우 전단력이 0이지만 잣 가지의 경우는 섬유질 등이 파괴점 이후에도 완전히 절단되지 않으므로 해서 짧은 변형동안의 전단력이 존재하는 것으로 관찰되었다.

2) 전단력

본 연구에서는 잣이 달려있는 가지를 전단하여 수확하는데 소요로 하는 “巨視的構造”의 파괴를 필요로 하기 때문에 잣 가지가 완전히 전단되는데 필요한 힘을 전단력으로 정의하고 분석하였다. 또한 실험에 이용된 전단장치는 양면전단이기 때문에 측정된 힘을 2로 나누어서 전단력을 구하였다.

잣 가지 전체의 직경에 따른 전단력은 Fig. 3에 나타내었다. 각 채취시기별 직경에 따른 전단력은 모두가 가지의 직경의 제곱에 비례할 것으로 예상 되었으나, 회귀분석 결과 수확초기(8월 31일)의 것은 직경에 비례하는 것으로 분석되었다 (Table 2).

Table 2. Regression equations for shearing force of shoot by sampling date.

Sampling date	Regression equation	R ²
Aug. 31, 1992	$Y = -2255.7^{**} + 231.6D^{**}$	0.9390
Sept. 16, 1992	$Y = 716.0^{**} + 3.5D^{2**}$	0.7974
Sept. 28, 1992	$Y = 659.8^{**} + 4.2D^{2**}$	0.7028
Total	$Y = 476.0^{**} + 4.4D^{2**}$	0.8055

Note : D : Diameter of shoot(mm)

Y : Shearing force(N)

다. 가지 전체의 직경에 따른 전단응력은 Fig. 4에 나타내었다.

Table 4에는 가지의 채취 시기별 및 전체 가지의 직경에 대한 전단응력의 회귀식을 나타냈다. 시기별 회귀식에서는 수확시기가 늦어질 수록 가지의 직경이 전단응력에 미치는 영향이 감소하고 전단응력은 가지의 직경의 제곱에 비례하는 것으로 분석되었다.

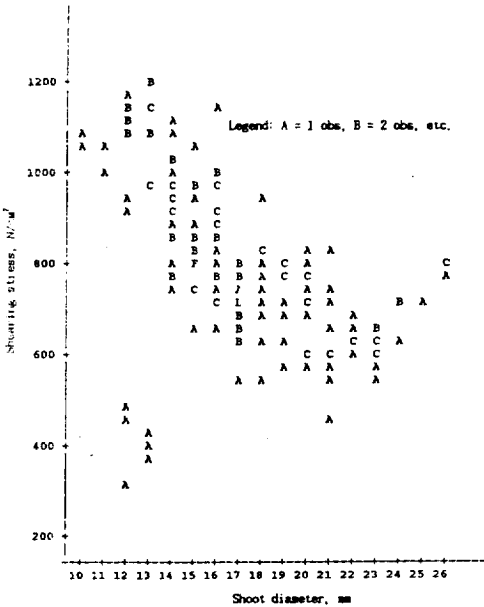


Fig. 4. Shearing stress by shoot diameter, 1992.

Fig. 4에서, 직경 12mm 및 13mm에 해당하고 500N/cm² 이하의 전단응력을 나타내는 6개의 점

들은 회귀식의 적합성을 검증하는 나머지 분석 (Residual analysis) 결과 이상점(異相點, outlier)으로 판정할 수 있었다. 즉, Table 5는 보면 6개의 이상점을 회귀분석에 포함할 때와 제외하였을 때의 각 통계적인 변수값을 비교한 것으로서, R²는 거의 2배 정도 향상되었고 기타의 오차는 약 30% 감소, 회귀계수는 약 30% 정도의 차이를 나타내고 있다. 따라서 이들 6개의 자료를 제외하고 전체 가지에 대한 분석을 하였다.

이들 6개의 점들은 8월 31일의 자료에서 얻어진 것들로서, 가지 채취 시기별의 전단력 및 전단응력에 대하여서도 같은 방법으로 검정을 하였으나 회귀식에 미치는 영향이 적었기 때문에 각각의 분석에는 포함시켰다.

가지의 수확 시기별 및 전체 가지의 직경에 따른 전단응력의 Duncan 다중검정결과는 Table 6에 나타낸 바와 같다.

Table 6. Duncan's multiple range test for shear stress by diameter within sampling date.

August 31, 1992																	
Diameter(mm)	18	14	19	26	15	21	20	16	17	23	24	12	13				
Mean(N/cm ²)	825	811	783	782	753	753	747	725	712	624	621	414	405				
September 16, 1992																	
Diameter(mm)	12	13	10	11	14	16	15	25	18	24	17	19	22	20	23	21	
Mean(N/cm ²)	1077	1071	1070	1031	923	911	853	721	716	712	686	646	637	636	607	595	
September 28, 1992																	
Diameter(mm)	13	14	16	15	21	18	20	17									
Mean(N/cm ²)	1165	974	919	869	823	807	743	705									
Total																	
Diameter(mm)	13	12	10	11	14	16	15	26	18	19	25	20	17	24	22	21	23
Mean(N/cm ²)	1089	1077	1070	1031	924	864	836	782	762	729	721	706	701	682	637	633	614

Table 5. Comparison of the summary statistics from the two models.

	Observations with 6 pts. in	Observations with 6 pts. out
β_0	1919.5	2512.5
β_1	-104.4	-164.1
β_2	2.2	3.6
R ²	0.3355	0.6396
MS _e	146.2	99.7
se(β_1)	26.4	18.5
se(β_2)	0.7	0.5

수확 시기별 전단응력의 평균치는 각각 744N/cm², 822N/cm² 및 833 N/cm²로써, 수확시기가 늦어질 수록 전단응력은 증가하되 평균치 검증결과 8월 31일의 전단응력만이 다른 시기의 전단응력보다 적었다.

4. 요약 및 결론

잣 송이의 수확을 기계화하기 위한 방법 중에서 잣이 달린 가지를 절단하여 수확하는 방법을 채택할 경우, 잣 가지를 절단하는데 필요한 전단력 및 전단응력을 측정 및 분석하여 잣 수확을 기계화 하기 위한 기초자료로 제공하고자 하였다. 실험에 이용된 잣 가지는 수확초기, 중기, 말기 별로 선택하였으며, 이용된 잣 가지의 직경범위는 10mm에서 26mm까지 1mm 씩 증가시켜서 17개의 수준이었다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 잣 가지의 전단력-변형 특성은 2차-4차의 생체항복점이 생긴 후에 파괴점에 도달하는데, 이것은 나무가지의 구조상 역학적 힘을 받아 내는데 도움이 되지않는 수분, 수지, 양분 등을 포함하는 공간(籜部)이 존재하기 때문에 木質部가 1차 파괴된 이후, 이러한 籜部の 압축에 의하여 2차 이상의 항복점이 생기는 것으로 사료되었다.

2) 잣 가지의 절단에 소요되는 전단력은 전체

적으로 가지의 직경의 제곱에 비례하는 것으로 분석되었으나, 잣 수확 초기(8월 31일)의 전단력은 잣 가지의 직경에 비례하는 것으로 나타났다. 또한, 수확시기가 늦어질 수록 직경이 증가함에 따라 전단력의 변화폭이 커졌다.

가지의 채취시기를 무시한 전체적인 전단력의 분포는 468N(8월 31일, 직경 12mm)에서 부터 4153N(8월 31일, 직경 26mm)까지 비교적 넓게 분포하였다.

3) 전단응력의 평균치는 수확시기별로 744, 822 및 883N/cm²로서 수확초기(8월 31일)의 전단응력은 수확중기 및 말기의 전단응력에 비하여 현저히 작았다. 전단응력은 가지직경의 제곱에 비례하며, 수확시기가 늦어질 수록 가지의 직경이 전단응력에 미치는 영향이 감소하였다.

5. 참고 문헌

1. Mohsenin N. N. 1970. Physical properties of plant and animal materials, Gordon and Breach Science Publishers. pp. 51-87.
2. 강화석, 이재선, 김상현, 최종천, 1993. 잣 송이 채취를 기계화하기 위한 기초연구, 강원대학교 삼림과학연구소. vol. 9 : 1-9.
3. 삼림청. 1985. 임업 통계 요람.
4. 삼림청. 1990. 임업 통계 요람.