

잣 수확의 기계화 연구(I)⁺

— 잣 송이의 물리적 특성 —

Mechanization of Pine Cone Harvest(I)

— Physical Properties of Korean Pine Cones —

姜和錫* 金相憲* 李在善** 李貴炫*
W. S. Kang S. H. Kim J. S. Lee G. H. Lee

SUMMARY

135 and 136 pine cones were sampled from age class of II to VI Korean pine trees for the study of their physical properties in 1991 and 1992, respectively. The length, width, weight, volume, and the largest projected area of cones were measured, and the specific gravity, apparent volume ratio sphericity, and roundness were calculated. Regression analysis were performed for the weight, volume, and projected area to the cone length and width. The length, and major and minor diameters of the cone stalks were measured and analyzed.

1. The range of the length of cone stalks was 0 to 47.3mm. The average length of stalks were 9mm('91) and 10mm('92), respectively. Cross section of the stalks was ellipse with average major and minor diameters of 9.1mm and 10.1mm, and 8.6 and 8.7mm in 91 and 92, respectively.
2. The length of pine cones distributed from 8cm to 17cm and the average length were about 13cm('91, '92). The width varied from 5cm to 9.5cm and the average width were 6.7cm('91) and 6.9cm('92). The ratios of the length to the width were 0.56('91) and 0.65('91) and the shape of the cones were found to be ellipse with minor diameter of 1/2 to 2/3 of the major diameter.
3. The roundnesses and sphericity of cones were 0.74 and 0.75('91), 0.63 and 0.67('92), respectively. The average of the largest projected area of cones were 85.3cm²('91) and 93.1cm²('92) and the criterion areas were 71.0cm² and 74.5cm², respectively.
4. Cone weights were from 83g to 467g('91 and '92) and averages were 186g('91) and 220g('92). The average specific gravities were 0.89 and 0.96('91 and '92).

The true volumes were 212cm³('91) and 230cm³('92), and the average bulk volume was 321cm³('91, '92). The average apparent volume ratios of cones were 35%('91) and 28%('92), respectively.

5. The weight and the volume were proportional to the length of the cone multiplied by the width squared and the largest projected area was proportional to the length multiplied by the width of cones.

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

* 강원대학교 농과대학 농업기계공학과.

** 강원대학교 임과대학 임학과.

1. 서론

잣은 우리나라의 경기, 강원 및 충청지역 일부에서 주로 생산되고 있으며 목재와 함께 산림자원중 가장 중요한 과실자원이다. 우리나라의 잣 생산량은 연간 약 1,000톤 정도이고 수요는 그 이상으로서 현재에는 외국에서 수입하여 부족한 물량을 보충하는 실정이다. 잣나무의 일반적인 생육지는 경사도 20도 이상의 산간지역이라고 볼 수 있다.

우리나라에서의 잣수확 방법은 완전히 인력에 의존하는 것으로서 잣수확 경험이 많은 사람이 높이 20m 이상되는 곳까지 고리가 달린 장대를 걸고 올라가서 채취하는 원시적인 방법을 탈피하지 못하고 있다. 그러나 숙련인부들의 숫자는 해마다 줄어들고 노령화 됨에 따라 1일당 50,000원의 인건비(90년기준)도 빠른 속도의 상승추세를 유지할 것으로 추측된다. 또 작업인부 한 사람이 하루에 수확할 수 있는 잣의 수량은 금액으로 환산하면 약 8만원 정도의 값어치 밖에 되지 않기 때문에 5만원의 임금은 전체 생산량의 60%를 상회하고 있어서 수확비용중 인건비의 비율이 감소하지 않는다면 우리나라의 잣 생산은 장차 큰 문제점이 아니라 할 수 없다. 그리고 작업인부의 노령화와 위험성으로 인하여, 높은 임금에도 불구하고 작업을 기피하기 때문에 잣수확을 현재의 상태로 방치한다면 멀지않은 장래에 우리나라의 잣은 값싼 수입잣에 대하여 경쟁력을 잃고 수확을 하지 못한 채로 방기될 수 있다는 사실을 어렵지 않게 추측할 수 있다.

이와같은 상황과 더불어 농산촌의 소득증대, 임업의 활성화 및 안전한 잣의 수확 등의 효과를 감안하여 볼 때, 잣수확의 기계화는 서둘러 연구 개발되어야 할 것으로 사료된다.

잣 송이의 물리적 특성은 잣 수확을 기계화하기 위한 방법 중에서, 잣 송이를 나무로 부터 분리하는 방법을 선택할 경우 잣 수확장치를 설계 및 제작할 때 필요한 기초자료이다. 특히, 잣 송이를 수확하는 장치를 자동화 할 경우 잣 송이의

투영면적이나 모양등 물리적 성질에 관한 자료는 반드시 필요한 자료이다.

본 연구에서는 잣 송이의 일반적인 물리적 성질을 규명하여 잣 수확의 기계화에 필요한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

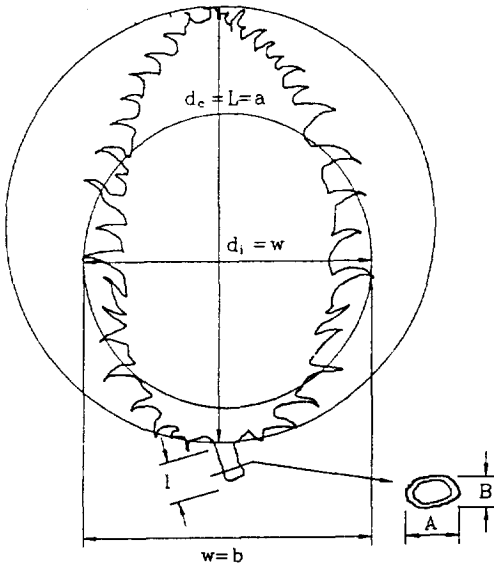
잣 송이의 물리적 특성을 규명하기 위한 잣 송이는 1991년과 1992년에 강원대학교 연습림에서 성장하고 있는 2-6령급의 잣 나무에서 채취하였다. 잣 송이를 채취한 시기는 1991년 9월 20일, 1992년 9월 15일로서 이들 시기는 잣 수확의 중기정도에 해당한다.

연구에 이용된 잣 송이의 수는 1991년에 135개, 1992년에 163개였고, 채취당시 잣 송이의 함수율은 각각 47.7% 및 57.1%(wb)였다. 연구에서 조사된 내용은 잣 송이의 길이, 폭, 무게, 부피, 비중, 최대투영면적, 球形率(sphericity), 圓形率(roundness) 등과 잣 송이가 나무 가지에 붙어 있는 꼭지의 長徑, 短徑 및 길이 등이다.

잣송이의 길이, 폭, 최대투영면적은 높이 47.5cm의 차광된 직사각형통 위에 카메라 후래쉬를 설치한 후, 원통 밑에는 감광지를 놓고 감광지 위에 잣 송이를 눕혀 놓은 다음, 후래쉬를 터뜨려서 잣 송이의 윤곽을 감광시켰다. 감광된 잣 송이의 윤곽은 실제보다 크게 나타나기 때문에 길이, 폭, 투영면적을 측정할 다음 직사각형통의 높이와 잣송이의 폭에 따른 비례식을 이용하여 보정하였다. 잣송이의 길이, 폭, 최대 투영면적 및 꼭지의 장경, 단경의 정의는 Fig. 1에 나타낸 바와 같다. 투영면적의 측정은 구적계(digital planimeter)를 이용하였다.

무게의 측정은 저울을 이용하였고, 부피(true volume)는 Fig. 2와 같이 저울위에 물이 담긴 용기를 없어 놓고 잣송이를 가느다란 송곳으로 찍어서 잣송이가 완전히 물에 잠길 때의 배수된 물의 무게를 측정하여 산정하였다. 이 때의 부피

계산식은 부피=배수무게/물의 비중량을 이용하였다.



- A : major diameter of cone stalk
- B : minor diameter of cone stalk
- l : length of cone stalk
- d_c : diameter of circumscribed circle
- L : cone length
- a : major axis of ellipse
- d_i : diameter of inscribed circle
- w : cone width
- b : minor axis of ellipse

Fig 1. Tracing of shape and designation of a pine cone obtained by light sensitive paper.

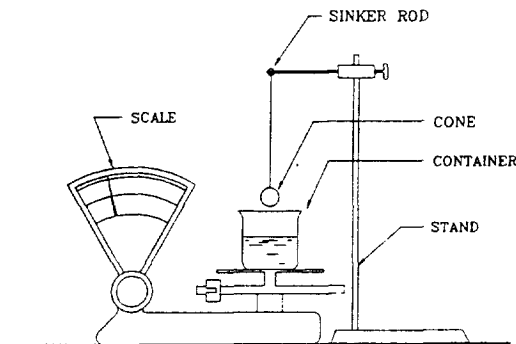


Fig 2. Platform scale for measurement of volume and density and specific gravity of large objects.

잣 송이의 비중량은 측정된 무게를 위에서 구한 부피로 나눈값으로 정의하였다.

원형율은 잣 송이의 투영면적이 원형에 가까운 정도를 나타내는 척도로서 가장 많이 쓰이는 관계식은 Roundness = A_p/A_c (1) (Curry, 1951) (여기서 A_p는 자연적으로 놓인 상태에서의 최대투영면적, A_c는 가장 작은 외접원의 면적), Roundness = Σr/NR (2) (Curry, 1951) (여기서 r은 물체의 각 모서리의 곡선에 대한 곡률 반경, R은 최대 내접원의 반경, N은 Σr에 이용된 모서리의 개수) 등이 쓰이고 있으나(Curry, 1951) 본 연구에서는 (1)의 식을 이용하였다.

(1)의 식을 이용함에 있어서 A_p는 위에서 구한 투영면적을, A_c는 잣 송이의 길이를 직경으로 하는 원의 면적을 각각 이용하였다.

구형율은 잣 송이의 형상이 얼마나 구에 가까운가를 나타내는 값으로서 다음식으로 정의된다.

$$\text{球形率} = \frac{d_c}{d_i} \dots\dots\dots (3)$$

여기서 d_c는 물체의 부피와 같은 구의 직경이고 d_i는 물체에 외접하는 가장 작은 구의 직경이다(Curry, 1951).

물체의 부피가 3축 a, b, c를 가지는 타원체의 부피와 같다고 할 때, 또 외접원의 직경이 장경 a와 같다고 할 때 구형율은 다음의 식으로 표시된다(Mohsenin, 1978).

$$\begin{aligned} \text{球形率} &= \left(\frac{\text{물체의 부피}}{\text{외접구의 부피}} \right)^{1/3} \\ &= \left[\frac{(\pi/6)abc}{(\pi/6)a^3} \right]^{1/3} = \left(\frac{bc}{a^2} \right)^{1/3} \dots\dots (4) \\ &= \frac{\text{기하학적 평균직경}}{\text{장경}} = \frac{(abc)^{1/3}}{a} \end{aligned}$$

여기서 a, b, c는 타원체의 각각 장경, 중경, 단경이다.

본 연구에서는 (4)의 식을 이용하였고 장경은 잣송이의 길이로, 잣송이의 폭은 중경 및 단경으로 이용하였다.

기준면적(criterion area)은 물체를 x, y, z의 3축 방향에서 투영된 면적을 측정한 후 이들 각

면적의 평균값을 구한 것이다 (Houston, 1957).

불룩한 물체에서의 부피 V와 표면적 S와의 관계는(Bannesen and Fenchel, 1948)

$$\frac{V^2}{S^3} \geq \frac{1}{36\pi} \dots\dots\dots (5)$$

이고, 3방향에서의 투영면적의 평균값은 표면적의 1/4이다 (Polya and Szega, 1951). S=4A의 관계를 (5)의 식에 대입하면

$$A \leq \left(\frac{9\pi}{16}\right)^{1/3} V^{2/3} \text{ 또는}$$

$$A \leq KV^{2/3} \text{ (여기서 K는 상수)}$$

의 관계식을 얻을 수 있다. 등식이 성립하는 구의 경우에 $K = \left(\frac{9\pi}{16}\right)^{1/3} = 1.21$ 이다.

이 K 값은 구형율을 평가할 수 있는 또 다른 방법중의 하나이다.

본 연구에서 K 값을 구하기 위한 기준면적 A는 잣 송이를 눕혀 놓았을 때의 투영 면적의 2 배에, 잣 송이를 세워 놓았을 때의 투영면적(눕혀 놓았을 때의 최대 폭을 직경으로 하는 원의 면적)을 합하여 3으로 나눈 값을 이용하였다. 부피 V는 잣 송이의 겉보기 부피로서 최대투영면적을 나타내는 감광지위에서의 모양에서 잣 송이의 길이를 장경으로, 폭을 단경으로 하는 폭이 넓은 타원체(prolate spheroid)의 부피를 나타내는

$$V = \frac{4}{3} (\pi ab^2) \text{ (여기서, a는 송이의 길이, b는}$$

폭)을 이용하였다.

겉보기 체적율은 $p = \frac{V_1 - V_2}{V_1}$ 의 식을 이용하였고, 여기서 V₁은 잣송이의 계산된 겉보기 부피, V₂는 그림 2에 보인 방법으로 측정된 참부피(true volume)이다.

3. 결과 및 고찰

가. 잣 꼭지

잣 송이가 가지에 붙어 있는 꼭지의 길이의 범위는 0~47.3mm이고 평균 8.8~10mm 정도이다. 껍질을 포함한 꼭지의 단면은 타원형으로서 장경은 4.1~19.4mm의 범위에 있고, 단경은 4.1~12.7mm의 범위에 분포한다.

1991년과 1992년의 잣 꼭지의 물성에 대한 통계적인 요약 자료는 Table 1에 나타내었다. 1991년의 장경과 단경의 측정에 이용된 잣송이 숫자가 길이의 측정에 이용된 숫자가 적은 것은 꼭지의 길이가 짧아서 길이의 측정값이 0으로 되는 경우 장경 및 단경을 측정할 수 없는 것이 27개 있었기 때문이었다. 1992년의 경우는 꼭지의 길이가 0인 경우에도 꼭지 부근을 헤집어내고 장단경을 측정하였기 때문에 측정에 이용된 잣송이의 숫자가 일정하다.

Table 1. Physical dimensions of pine cone stalks(1991~1992).

	1991				1992			
	No. of Samples	min.	max.	mean	No. of samples	min.	max.	mean
Length(mm)	134	0.0	47.3	8.8± 7.6	155	0.0	26.0	10.0± 5.7
Long dia.(mm)	107	7.2	12.7	9.1± 0.9	155	4.1	19.4	10.1± 2.4
Short dia.(mm)	107	7.0	12.7	8.6± 0.8	155	4.1	12.7	8.7± 1.6

나. 잣 송이

잣 송이의 길이, 폭, 무게, 부피, 투영면적, 원형을 등의 물리적 성질에 대한 측정값 및 유도값의 결과에 대한 1991 및 1992년의 통계적인

요약을 Table 2에 나타내었다.

잣송이의 길이는 최소 8cm에서 17.2cm까지 분포하였고(91~92년)(Fig. 3), 평균치는 약 13

cm~15cm 정도이었다. 폭은 최소 5cm 부터 9.5 cm 정도까지 분포하며(Fig. 4) 평균 6.8cm 정도 였다. 송이의 길이에 대한 폭의 비율은 0.56 및 0.65(91~92년)으로서 1992년의 잣 송이는 1991년의 것보다 폭에 비하여 길이가 약간 길었고, 이에 따른 구형률(0.67) 및 원형률(0.63)도 적었다. 잣 송이의 평균적인 모양은 단축의 길이가 장축의 길이의 1/2에서 2/3 정도되는 타원형과 비슷한 것으로 판단되었다. 무게는 1992년의 송이가 1991년 것에 비하여 18% 정도 무거운 평균 220 g 정도로서 채취 당시의 함수율이 10% 정도 높았던 사실을 감안하더라도 일반적으로 1991년에 채취된 송이의 무게보다 무거웠다(무게의 분포는 Fig. 5 참조). 겉보기 부피는 321cm³ 정도로서 같은 수준이었으나, 참부피 및 밀도는 91년의 송이 보다 92년의 것이 8.7% 및 7.9% 많은 230 cm³ 및 0.96g/cm³이었다(부피의 분포는 Fig. 6 참

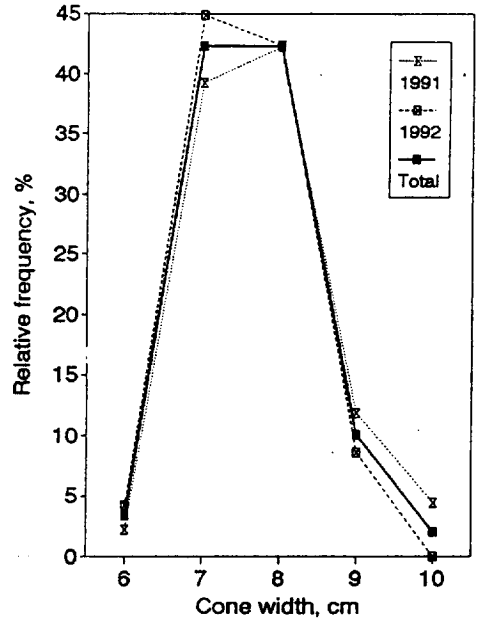


Fig 4. Distribution of cone width. 1991 and 1992.

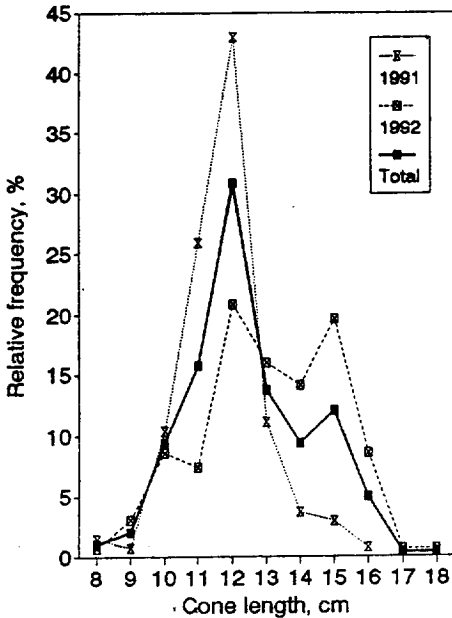


Fig 3. Distribution of cone length, 1991 and 1992.

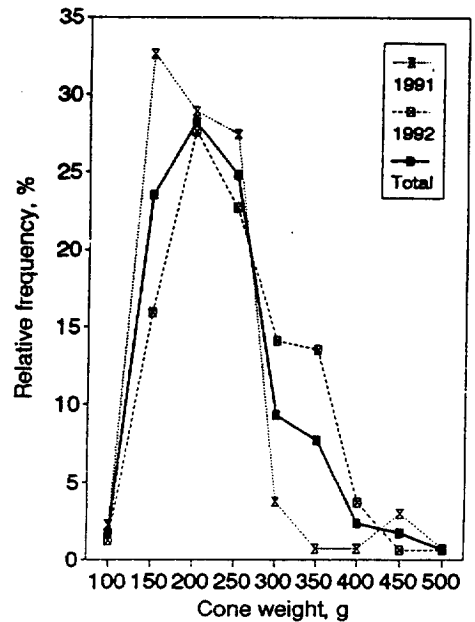


Fig 5. Distribution of cone weight, 1991 and 1992.

조). 91년의 잣 송이에 대한 투영면적과 기준면적을 구하기 위한 상수 K의 값은 각각 85.39cm² 및 1.54로서 92년의 93.1cm² 및 1.60 으로서 각각 9.1% 및 3.9% 더 많은 값을 가지는 것으로 분석되었다.

잣 송이의 겉보기 체적율은 91년에 평균 35%, 92년에 28% 이었다.

잣 송이의 무게에 대한 회귀식은 Table 3에 나타내었다.

여기서 A는 최대투영면적, L 및 W는 잣 송이의 길이 및 폭이다.

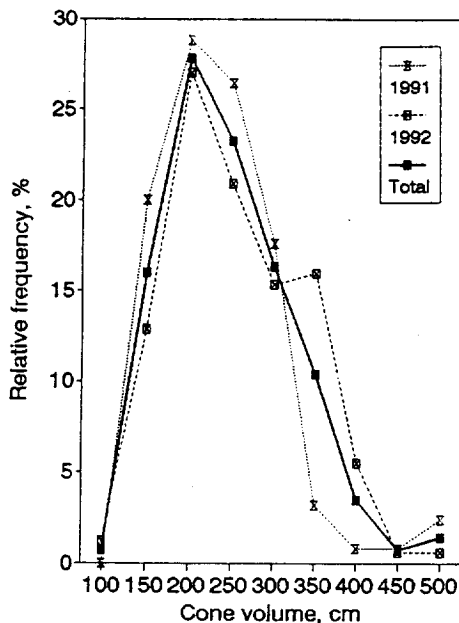


Fig 6. Distribution of cone volume, 1991 and 1992.

Table 2. Physical properties of pine cones(1991~1992)

	1991				1992			
	No. of Samples	min.	max.	mean	No. of Samples	min.	max.	mean
Length(cm)	135	8.0	15.2	12.8± 1.6	163	7.4	17.2	12.6± 2.0
Width(cm)	135	5.7	9.5	6.7± 0.8	163	5.0	9.3	6.9± 0.7
W/L ratio	135	0.49	0.83	0.65± 0.07	163	0.44	0.80	0.56± 0.07
Weight(g)	135	87.1	466.7	186.3± 68.3	163	83.4	454.8	219.9± 74.1
True volume(cm ³)	125	104.2	476.0	211.6± 73.0	163	82.1	465.5	230.1± 78.3
Bulk volume	113	163.8	702.1	320.9± 103.8	163	107.9	590.6	320.8± 105.5
Density(g/cm ³)	125	0.79	0.98	0.89± 0.04	163	0.87	1.02	0.96± 0.03
Projected area(cm ²)	135	49.9	150.4	85.3± 16.5	162	42.1	153.9	93.1± 26.0
Criterion area(cm ²)	135	43.5	123.3	71.0± 13.8	162	34.6	119.8	74.5± 19.6
Roundness	135	0.66	0.87	0.74± 0.07	162	0.56	0.84	0.63± 0.06
Sphericity	135	0.62	0.88	0.75± 0.06	163	0.58	0.86	0.67± 0.05
K	135	1.38	1.76	1.54± 0.07	162	1.34	1.89	1.60± 0.10
Porosity	125	0.21	0.53	0.35± 0.06	163	0.18	0.50	0.28± 0.10

Table 3. Regression equations of weight, volume, and projected area of pine cones as a function of length and width.

	1991		1992	
	Regression equation	R ²	Regression equation	R ²
Weight	$W_i = -18.85 + 0.3357LW^2$	0.9337	$W_i = 26.51 + 0.3156LW^2$	0.7365
True volume	$V = -11.18 + 0.3618LW^2$	0.9269	$V = 17.90 + 0.3464LW^2$	0.7946
Projected area	$A = 4.93 + 0.9742LW$	0.9435	$A = -13.36 + 1.2176LW$	0.9520

4. 결과 및 요약

잣 송이의 물리적 특성을 규명하기 위하여 1991년과 1992년에 2-6령급의 잣나무에서 각각 135개 및 163개의 잣송이를 채취하여 잣 송이의 길이, 폭, 무게, 부피, 최대투영면적 등을 측정하고 비중, 겉보기 체적율, 구형률 및 원형률 등을 계산하였으며, 무게, 부피 및 투영면적에 대하여 잣송이의 길이, 폭 및 이들의 제곱 및 3 제곱항 등에 관한 회귀분석을 하였다. 잣 송이에 달린 꼭지에 대하여서는 꼭지의 길이, 꼭지의 장경 및 단경 등을 측정하여 분석하였다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 잣 송이가 가지에 붙어 있는 꼭지 길이의 범위는 0~47.3mm였고, 평균 길이는 약 9mm 및 10mm('91, '92) 정도였다. 꼭지의 단면은 타원형으로서 장경은 평균 9.1mm 및 10.1mm, 단경은 평균 8.6mm 및 8.7mm이었다.

나. 잣 송이의 길이는 최소 8cm에서 최대 17cm까지 분포하였고, 평균 13cm('91, '92) 정도이었다. 폭은 5cm~9.5cm 범위에 분포 하였으며 평균 폭은 6.7cm 및 6.9cm 이었다. 송이의 길이에 대한 폭의 비율은 0.56 및 0.65 으로서 잣 송이의 평균적인 모양은 단축의 길이가 장축 길이의 1/2에서 2/3 정도되는 타원형에 가까운 것으로 판단되었다.

다. 잣 송이의 원형률 및 구형률은 평균 0.74 및

0.75('91) 와 0.63 및 0.67('92) 이었다. 평균최대투영면적은 85.3cm²('91) 및 93.1cm²('92)이었고, 송이를 3축 방향에서 투영한 면적의 평균값인 기준면적(criterion area)은 71.0cm² 및 74.5cm² 이었다.

라. 잣 송이의 무게는 83g 에서 467g 까지 분포하였고, ('91, '92), 평균치는 각각 186g 및 220g 이었다. 송이의 평균 비중은 각각 0.89 및 0.96 이었다. 참부피는 평균 212cm³ 및 230cm³, 평균 겉보기 부피는 321cm³('91, '92)로서 송이의 겉보기 체적율은 91년의 경우 약 35%, 92년에 약 28%로 분석되었다.

마. 잣 송이의 무게 및 부피에 대한 회귀분석 결과 잣 송이의 무게 및 부피는 송이의 길이 곱하기 폭의 제곱에 비례하였으며, 최대투영면적은 송이의 길이와 폭의 곱에 비례하였다.

참 고 문 헌

1. 中部林業機械試驗場, 1992. 林業機械化作業 시스템 開發. pp 359-371.
2. 산림청. 1985. 임업 통계 요람.
3. ———. 1990. 임업 통계 요람.
4. 성규철, 김상철. 1991. 주요임산물의 가격 형성. 산림청 임업연구원 임업연보 43 : 110-127.
5. Haugh, C. G., E. S. Shepardson, N. J. Shaulis and D. E. Crowe. 1977. Mechanical pruning

- of American hybrid grapevines. TRANSACTIONS of the ASAE 20(5) : 817-821.
6. McRandal, D. M. and P. B. McNulty, 1980. Mechanical and physical properties of grasses. TRANSACTIONS of the ASAE 23(4) : 816-821.
 7. Mohsenin N. N. 1970. Physical properties of plant and animal materials, Gordon and Breach Science Publishers. pp. 51-87.
 8. Curray, J. K. 1951. Analysis of Sphericity and Roundness of Quartz Grains. M. S. Thesis in Mineralogy, The Pennsylvania State University, University Park, Pa.
 9. Bennesen, T. and W. Fenchel. 1948. Theorie der konvexen Koerper(Theories of Convex Bodies)
 10. Polya, G and G. Szezo. 1951. Isoperimetric Inequalities in Mathematical Physics.