

수박 밀도의 간편 계측시스템 개발

Development of Simple Density Measurement System for Watermelons

최규홍	이강진	최동수	김기영	손재룡
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
K. H. Choi	K. J. Lee	D. S. Choi	G. Kim	J. R. Son

ABSTRACT

Density is a physical property which contains information relating to the internal quality of fruits and vegetables, and can be used as an index for nondestructive quality evaluation. Density sorting has been employed by farmers for some agricultural products since ancient times.

In this study, an automatic density measuring system based on the platform scale or water displacement method was developed for density sorting of watermelon. It consisted of water tank, load cell, net tray, electric motor, limit switch, control system and its program. The resolution of density was 0.001 g/cm^3 . In order to calibrate and evaluate the accuracy, the density was measured using a balloon kept in cold water. It showed 1.002 g/cm^3 which almost correspond to real density of water. Test results with 6 watermelons and 3 replications showed that the standard deviations of the density were $0.001 \sim 0.004 \text{ g/cm}^3$.

The relationship between density and internal quality of watermelon was investigated using the system. The densities of hollow watermelons were less than 0.950 g/cm^3 , it was apparent that the density of the watermelon was related to the degree of hollowness. But the soluble solid contents and internal defects could not be estimated from the density.

Keywords : Watermelon, Density, Nondestructive, Quality evaluation.

1. 서 론

원예산물은 출하과정에서 외관과 내부품질에 따라 분류되고, 그 결과에 따라 상품성과 가격이 결정된다. 수박의 경우에도 품질이나 가격은 크기, 무게, 외피모양, 타격할 때 나는 반사음, 촉감 등에 따라 결정되는데, 주로 경매사 또는 감별사의 경험이나 표본검사에 의존하고 있다. 과실류에 비해 크고 껍질이 두꺼운 수박, 메론의 경우 X-선, 음파, 근적외선 등을 이용하여

속도, 공동, 당도, 밀도 등을 신속히 검출하기 위한 연구가 국내외에서 활발히 수행되어 왔다.

Kim 등(1998)과 Choi 등(2002a, 2002b)은 수박 내부 품질을 비파괴적으로 판정하기 위한 음파 계측시스템과 분석프로그램을 개발하고, 음파특성을 해석하여 수박의 내부품질 판정알고리즘을 개발한 바 있다. 또한 그동안의 연구결과를 기초로 휴대형 비파괴 수박 내부품질판정기를 개발하였다(최, 2003).

원예산물의 밀도나 비중은 내부성분, 속도, 내부부피

This study was conducted by the research fund supported by Rural Development Administration(RDA). The article was submitted for publication in December 2003; reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in April 2004. The authors are Kyu Hong Choi, senior researcher, Kang Jin Lee, senior researcher, Dong Soo Choi, Giyoung Kim, Jae Ryoung Son, junior researcher, National Institute of Agricultural Engineering, RDA. The corresponding author is Kyu Hong Choi, senior researcher, National Institute of Agricultural Engineering, RDA, Suwon, Korea, 441-100. E-mail : <khchoi@rda.go.kr>.

(internal breakdown)와 같은 생리장해에 큰 영향을 받기 때문에, 비중을 측정함으로써 내부품질에 대한 간접적인 판정이 가능하다. 일반적으로 생리장해를 입은 청과물은 비중이 낮은 반면에, 정상과의 경우에는 상대적으로 비중이 높다(이, 1996). 밀도는 어떤 물체의 단위 부피당 질량을 나타내는 척도로서 흔히 kg/m^3 또는 g/cm^3 의 단위를 사용하고, 물체의 비중은 물체의 밀도와 같은 상태(온도, 압력)에서 물의 밀도와와의 비로서 정의된다. 청과물의 밀도 또는 비중 측정에 가장 널리 사용되는 방법은 부력법(platform scale method or water displacement method)이고, 이 방법은 아르키메데스(Archimedes)의 원리를 이용하는 것으로 용기에 물을 채우고 대상 물체를 용기에 넣고 완전히 물 속에 잠기게 하였을 때 배제된 물의 무게를 측정하여 비중으로 환산한다.

Kato(1997)는 수박의 밀도는 공동(空洞), 크기, 당도 모두와 상관관계가 있다고 보고한 바 있다. 또한 정전용량과 전자저울을 이용하여 측정된 체적과 중량으로부터 수박의 공동유무와 당도를 예측할 수 있는 온라인 선별시스템을 개발하였고, 현재 대형 수박선별장에 설치 활용중이다.

이 연구는 수박의 밀도를 신속히 측정할 수 있는 부력식 밀도 간편 계측시스템을 개발하고, 측정이 용이한 수박 외관인자들과 내부품질과의 상관관계를 구명하여 수박 내부 품질을 비파괴적으로 판정하기 위한 탐색인자를 찾고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 밀도 계측시스템

수박과 같이 크기가 큰 대상물의 밀도를 간편하며 정밀하게 측정할 수 있는 방법은 용기에 물을 가득 채운 후 대상물을 담가 배제된 물의 무게를 측정하여 밀도를 환산하는 부력법이 가장 널리 사용되고 있다. 그러나 매번 측정할 때마다 물을 보충하고, 물을 계량해야 하는 등 전 처리과정이 복잡할 뿐만 아니라 반복간 오차가 크고, 1회 측정하는데 3~4분 정도로 많은 시간이 소요된다.

따라서 이 연구에서는 계측상의 번거로움을 해소하고, 동시에 신속하고 반복간 측정 정밀도를 높일 수 있는 밀도 간편 계측시스템을 설계 제작하였다. 시스템은 그림 1에서 보는바와 같이 투명아크릴 수조($\phi 400 \times 500$), 로드셀, 프레임, 채반, 전기모터 및 제어장치로 구성하였다. 공기중에서의 수박 무게 뿐만 아니라 수박을 물에 완전히 잠긴 상태에서 무게를 측정할 수 있도록 그림과 같이 반구형 채반 2개를 이용하여 제작하였다. 또한 리미트 스위치(limit switch)를 프레임 상부와 하부에 각각 설치하여 수박이 완전히 잠기도록 하였다. 무게는 채반을 지지하는 수직 바(bar) 상단에 설치한 로드셀을 이용하여 측정하였다.

밀도 계산은 공기에 의한 부력을 무시하고 수박 체적을 V 라고 할 때 힘의 평형조건과 부력 F_b 는 각각 식

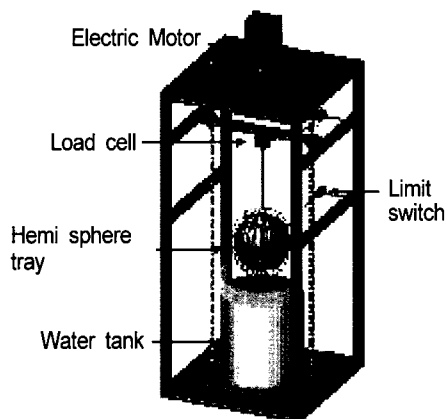


Fig. 1 Schematic diagram and picture of the prototype.

(1)과 식(2)로 나타낼 수 있고, 수박의 체적은 식(3)으로부터 환산이 가능하다.

$$F_{air} = F_{water} + F_b \quad (1)$$

$$F_b = \rho_{water} V \quad (2)$$

$$V = (F_{air} - F_{water}) / \rho_{water} \quad (3)$$

여기서, F_{air} = 공기중의 수박 무게

F_{water} = 물속에서의 수박 무게

F_b = 부력

V = 수박의 체적

ρ_{water} = 물의 밀도

따라서 수박 밀도 ρ 는 식(4)으로 표현할 수 있다.

$$\rho = F_{air} / V \quad (4)$$

그림 2는 밀도 측정과정을 나타낸 흐름도이다. 채반에 수박을 넣고 마우스로 “시작” 메뉴를 클릭하면 공기중에서 수박의 무게가 측정되고, 전기 모터에 의해 수박이 하강하고 물에 완전히 잠긴 후 5초 동안 안정된 상태에서 무게가 측정된다. 무게 측정이 끝나면 수박은 다시 초기 위치로 자동 복귀되도록 제어프로그램을 개발하였다. 수박의 체적과 밀도는 공기와 수중에서 측정된 무게를 식(3)과 식(4)에 대입하여 각각 산출하였다. 대기와 수중에서의 수박 무게, 밀도 계산, 계측시스템의 구동 및 제어 프로그램은 Microsoft사의 Visual C++를 이용하여 개발하였다. 그림 3은 각각 밀도 계측 컴퓨터 화면을 나타낸 것이다. 또한 온도에 따른 밀도 변화를 보상하기 위해 온도별 밀도표(손, 1980)를 미리 입력하여 밀도 측정전의 물 온도를 입력할 수 있도록 메뉴에 포함시켰다.

나. 내부품질 측정

공시재료는 수원 소재 원예연구소 시험포장에서 2001년도에 재배한 삼복꿀수박 74개를 출수 후 20~48일 사이에 수확하여 실험에 사용하였다.

수박 내부품질인자와 계량이 가능한 물성 인자들과의 상관관계를 구명하고자 수확일자별로 10~14개 수박을 수확하여 공시재료로 사용하였고, 시료 각각의 무게, 체적, 밀도, 당도를 측정하였다. 밀도는 이 연구에서 개발한 부력식 밀도 계측시스템을 이용하여 측정하

였고, 밀도 측정이 끝난 수박을 절단하여 내부공동을 육안으로 판정하고 디지털카메라로 촬영하였으며, 당도는 절단한 후 단면의 5개 지점[적도1, 적도2, 구심, 꼭지, 바닥]에서 일정한 크기(3×3×3 cm³)의 과육으로부터 즙을 내어 굴절당도계(Atago DBX-55)로 측정하였다.

그리고 통계분석(SAS 8.1)을 통하여 각 요인간의 상관관계를 구명하였다.

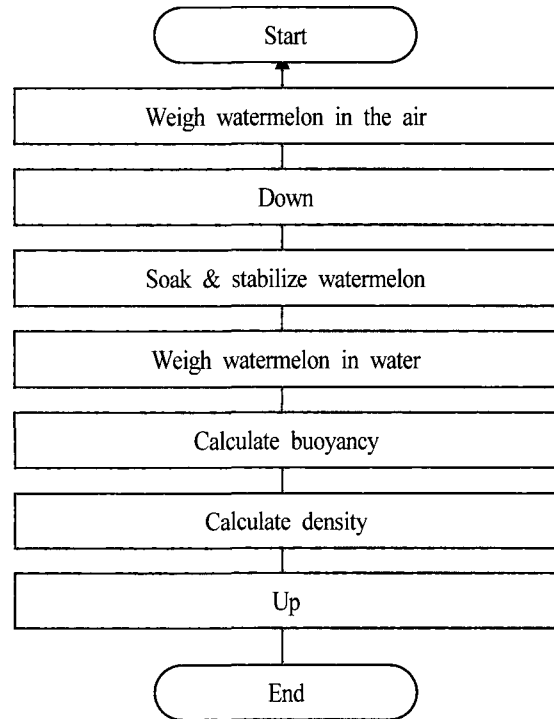


Fig. 2 Algorithm for density measurement.

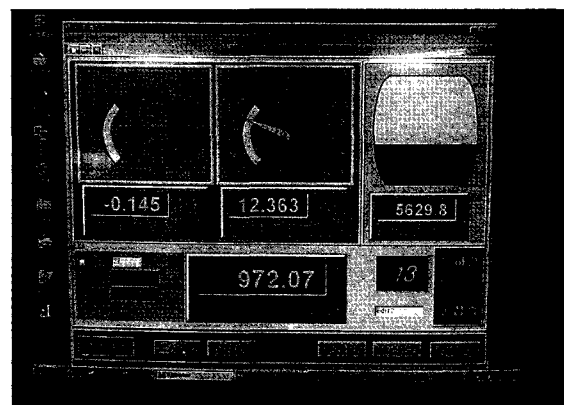


Fig. 3 Display of the density measurement software.

3. 결과 및 고찰

가. 밀도 계측시스템의 평가

계측시스템의 무게 측정에는 최대하중이 20 kg인 인장형 로드셀(SB-20L, CAS, Korea)을 사용하였고, AD변환기의 분해능은 12 bit이었다. 수박의 무게 측정범위를 4~10 kg로 가정하면, 로드셀의 1 digit(1 bit)로 발생하는 오차는 0.09~0.24 % FS(full scale)이다. 따라서 로드셀의 해상도로부터 밀도를 환산한 계측시스템의 밀도 해상도는 0.001 g/cm³이다.

밀도의 절대측정(absolute measurement)이 불가능하였으므로, 여기서는 물의 밀도를 기준으로 하여 비교하는 비교측정(relative measurement) 방법을 채택하였다. 이를 위해 탄력이 좋은 고무풍선에 물을 수박 크기 정도로 채운 후 고정채반에 넣고 밀도를 측정한 결과, 1.002 g/cm³을 나타내 물의 이론밀도 1 g/cm³에 근접하는 결과를 보여 정확한 밀도 계측이 가능한 것으로 판단되었다.

그리고 표 1은 밀도 계측시스템의 측정 반복간 정밀도를 파악하기 위해 수박 6개를 임의로 선정하여 3반복 측정 시험한 결과이며, 표 1에서와 같이 공시수박의 측정표준편차가 0.001~0.004 g/cm³로 대체로 양호한 결과를 나타냈다.

또한 계측시스템과 사람이 직접 부력법으로 밀도를 비교하기 위해 수박 1개를 이용하여 밀도를 5반복 측정하였다. 밀도 측정은 물을 가득채운 수조에 수박을 담가 제거된 물의 질량을 1 g까지 읽을 수 있는 디지털 저울을 이용하여 측정하고 환산하였다. 표 2에서 보

Table 2 Comparisons of density measurement by the manual and system

Replications	Manual	System
1	0.992	0.970
2	0.992	0.976
3	0.966	0.972
4	0.992	0.976
5	0.984	0.974
Average	0.984	0.974
Standard deviation	0.011	0.003

는 바와 같이 사람이 측정했을 때 밀도와 표준편차는 각각 0.966~0.991 g/cm³의 범위와 0.011 g/cm³로 반복간 차이가 상대적으로 크게 나타났다. 개발된 계측시스템의 표준편차는 0.003 g/cm³로 낮게 측정되어 사람이 측정할 때 보다 훨씬 정밀한 밀도 계측이 가능하였다. 그리고 수박 1개의 밀도를 측정하는 데 25~30 초가 소요되어 인력으로 측정할 때 걸리는 3~4분에 비해 크게 단축되었다.

표 3과 그림 4는 원예연구소에서 재배된 삼복꿀수박 35개를 공시재료로 하여 개발된 계측시스템과 사람이 직접 부력법으로 밀도를 측정하여 비교한 것이다. t-검정을 통한 통계분석 결과 밀도 측정을 위한 두 측정방법에 따른 차이는 없는 것으로 나타났다 (p = 0.00058).

그림 5는 밀도 계측시스템으로 측정된 수박 밀도와 내부공동 크기를 나타낸 것으로, 그림에서와 같이 공동이 클수록 밀도가 크게 감소하는 것을 보였다. 밀도가

Table 1 Comparisons of watermelon density between replication measurements

Unit : g/cm³

Replications	Watermelon 1	Watermelon 2	Watermelon 3	Watermelon 4	Watermelon 5	Watermelon 6
1	0.964	0.966	0.967	0.973	0.972	0.955
2	0.962	0.965	0.967	0.977	0.977	0.955
3	0.956	0.962	0.969	0.975	0.974	0.958
Average	0.961	0.965	0.968	0.975	0.974	0.956
Standard deviation	(0.004)	(0.002)	(0.001)	(0.002)	(0.003)	(0.002)

Table 3 Result of density measurement by the system and manual method

Replications	Manual	System	Replications	Manual	System
1	0.999	0.965	19	0.960	0.941
2	0.997	0.984	20	0.948	0.936
3	0.972	0.958	21	0.949	0.942
4	0.975	0.970	22	0.977	0.953
5	0.880	0.890	23	0.994	0.965
6	0.966	0.953	24	0.965	0.920
7	0.984	0.964	25	1.022	0.972
8	0.937	0.933	26	0.960	0.958
9	0.944	0.942	27	0.980	0.959
10	0.986	0.971	28	0.995	0.982
11	0.956	0.945	29	0.967	0.959
12	0.974	0.939	30	1.005	0.970
13	0.975	0.948	31	0.996	0.975
14	0.994	0.953	32	0.956	0.937
15	1.001	0.960	33	0.982	0.953
16	0.936	0.933	34	1.020	0.970
17	0.958	0.948	35	0.956	0.946
18	0.981	0.948			

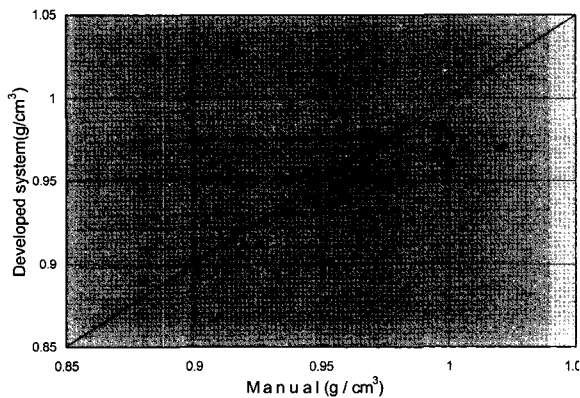


Fig. 4 Results of density measurement by the system and manual method.

0.950g/cm³ 이하인 수박 모두에서 내부에 공동이 나타났고, 이같은 결과는 Kato(1997)의 연구결과와도 일치하

였다. 따라서 밀도는 내부공동과 매우 밀접한 상관관계를 나타낼 뿐만 아니라 밀도 계측으로 공동 판정은 가능한 것으로 판단되었다.

나. 수박의 내부품질 특성

표 4는 공시수박의 주요성상을 나타낸 것이다. 그림 6은 수박의 무게와 평균당도, 체적과 당도, 밀도와 평균당도의 관계를 나타낸 것으로, 대표적인 내부품질인 자라 할 수 있는 당도는 측정이 용이한 외관인자와 뚜렷한 상관관계를 보이지 않았다. 다시 말해 무게, 직경, 체적, 밀도 등 계측이 용이한 외관인자로부터 내부품질 상태의 예측이 불가능한 것으로 나타났다.

표 5는 수박의 무게, 체적, 밀도, 평균당도의 출수일(수확일)별 유의성 검정결과를 나타낸 것이다. 무게와

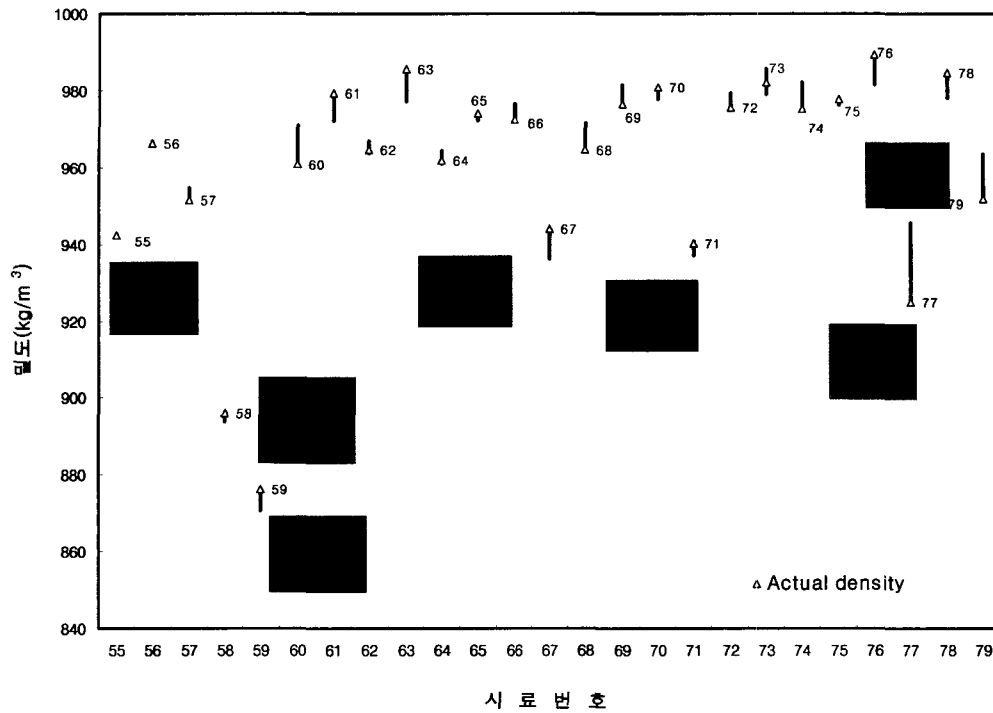


Fig. 5 Density of hollow watermelon.

Table 4 External and internal quality of watermelon samples

Items	Weight (kg)	Volume (cm ³)	Density (g/cm ³)	SSC1	SSC2	SSC3	SSC4	SSC5	Average SSC
Min.	1.15	1254	0.917	3.9	3.8	4.9	2.5	3.6	4.4
Max.	7.85	8063	1.169	11.3	10.3	11.6	11.4	10.9	10.7
Ave.	4.65	4743	0.979	7.5	7.3	8.5	7.5	7.7	7.7
Var.	2.85		0.001	3.6	2.9	3.0	5.5	4.6	3.4

SSC1~SSC5 : Soluble solids contents measured by the refractometer method by taking samples of melon flesh from five points in the cross section of each watermelon.

체적은 표 4에서 보논바와 같이 경과일수에 따라 통계적 유의차를 나타냈다. 평균당도 역시 성장기인 출수후 20~35일 사이에는 뚜렷한 차이가 나타난 반면에 39일 이후에는 당도가 더 이상 증가하지 않는 경향을 나타냈다. 그러나 밀도는 출수일별 통계적 수준의 유의차가 없는 것으로 나타났다.

4. 요약 및 결론

이 연구는 수박 비파괴 품질판정기술 개발의 일환으로 수행되었으며, 수박 밀도를 실시간·간편 계측이 가능한 시스템을 개발하고, 측정이 용이한 외관 인자들과 수박 내부품질과의 상관관계를 구명하였다. 특히 밀도 측정에 의해 수박의 당도와 공동 등의 판정가능성을

Table 5 External and internal quality of sample watermelons for heading days

Treatment	Weight	Volume	Density	Sugar content
DAH 48	5.59b	5.67b	0.985ab	10.33a*
42	6.68a	6.86a	0.972bc	10.38a
39	6.12ab	6.18b	0.981ab	9.93ab
35	4.56c	4.52c	1.005a	9.35b
29	-	-	-	8.44c
23	3.56d	3.66d	0.977abc	7.06d
20	2.83e	2.97e	0.953c	6.20e
F-value	50.27	43.89	3.62	41.08
P-value	0.0001	0.0001	0.0065	0.0001

DAH : Day After Heading.

* Averages followed by the same letter are not significantly different at 95% confidence level using Duncan's Multiple Range Test.

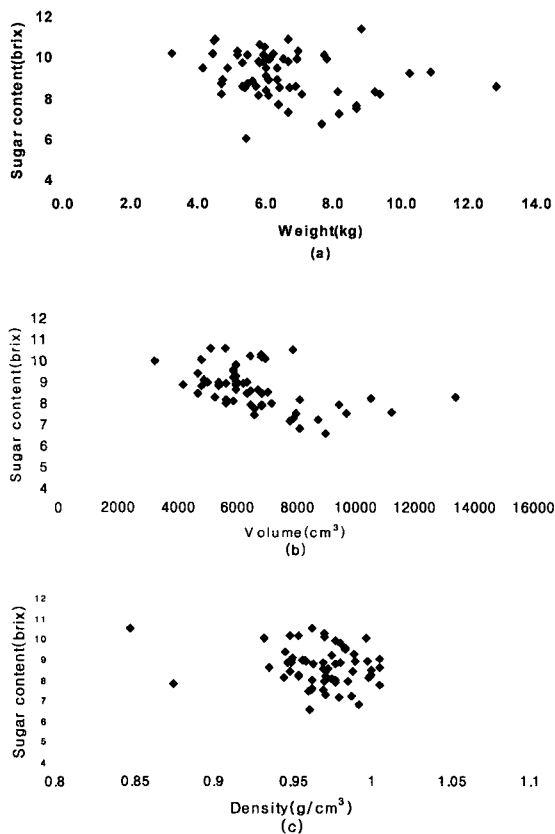


Fig. 6 Relationships between (a) weight and sugar contents, (b) volume and sugar contents, (c) density and sugar contents.

구멍하고자 수행되었다.

1) 부력식 밀도 실시간 계측시스템의 밀도측정 분해능은 0.001 g/cm^3 이었고, 탄력이 좋은 고무풍선에 물을 채워 측정한 밀도가 1.002 g/cm^3 를 나타내 물의 이론밀도($\approx 1.0 \text{ g/cm}^3$)에 근접하였다.

2) 수박의 밀도를 측정했을 때의 표준오차는 수작업의 경우 0.011 g/cm^3 인데 비해 계측시스템은 $0.001 \sim 0.004 \text{ g/cm}^3$ 로 낮게 나타나 밀도 계측의 재현성이 우수하였다. 수작업과 계측시스템을 이용하여 35 개의 수박 밀도를 측정한 결과, 수작업 측정시 밀도가 계측시스템보다 높게 나타났다.

3) 밀도 0.950 g/cm^3 이하인 수박은 내부에 공동이 존재하고 있는 것으로 나타나, 밀도는 수박 내부공동 판정에 유효한 인자로 판명되었다.

4) 수박 당도는 측정이 용이한 무게, 체적, 밀도와 뚜렷한 상관관계를 보이지 않았고, 따라서 외관인자로부터 내부품질상태의 예측이 불가능한 것으로 나타났다.

5) 수박의 무게, 체적, 밀도, 당도의 출수일별 유의성 검정결과, 무게와 체적은 출수일수에 따라 유의차가 나타났다. 당도는 적정수확기인 35일 이후에는 뚜렷한 차이가 나타나지 않았고, 밀도는 출수일수에 따라 유의차가 없는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Choi, D. S., M. S. Kim, K. H. Choi, K. J. Lee and Y. H. Lee. 2002a. Acoustic Characteristics of Watermelon for Internal Quality Evaluation. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery 27(1):59-66. (In Korean)
2. Choi, D. S., M. S. Kim, K. H. Choi, Y. H. Lee and K. J. Lee. 2002b. Acoustic Characteristics of Watermelon According to Impact Conditions. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery 27(1): 67-76. (In Korean)
3. Kim, M. S., D. S. Choi, Y. H. Lee and Y. K. Cho. 1998. Study on Acoustic Characteristics of the Watermelon. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery 23(1): 57-66. (In Korean)
4. Kato, K. 1997. Electrical Density Sorting and Estimation of Soluble Solids Content of Watermelon. Journal of the Agricultural Engineering Research 67: 161-170.
5. 손병진. 1980. 유체역학. 탑출판사.
6. 이승구. 1996. 원예작물의 수확후 생리. 성균사.
7. 최규홍. 2003. 농가이용형 수박 비파괴 품질판정기술 개발. 농촌진흥청 최종연구보고서.



학 위 취 득

성 명 : 최 희 석
생 년 월 일 : 1961년 6월 17일
취 득 학 위 명 : 공 학 박 사
학 위 수 여 대 학 : 성균관대학교
학 위 취 득 년 월 일 : 2004년 2월 25일
학 위 논 문 : 무세미 가공시스템 개발

