

반발특성을 이용한 수박의 숙도판별 센서의 개발

Development of Measuring Sensor for Discriminating Maturity of Watermelon on Repulsion Characteristics

김창수* 명병수*

정회원

C. S. Kim B. S. Myung

ABSTRACT

Finding of internal quality is crucial for getting under control quality of watermelon after harvest. A maturity sensing device of watermelon using repulsion characteristics was developed and evaluated. In this study, five different sensing probes were used to detect the physical changes after impact on watermelons. Total 15 watermelons were tested and evaluated into two classes: ripe and unripe. It was difficult to detect the overripe watermelons using the proposed sensor. Therefore, the results showed that the developed sensor could be used to separate unripe watermelons after harvest.

The results from this study are summarized as follows.

1. It was successful to distinguish between the ripe and unripe watermelon by sensing the elastic characteristics on impact.
 2. The hemisphere was best for the shape of sensing part, because the hemisphere concentrate stress in impact part.
 3. Among the five type developed sensor, the 1, 2, 3, 5-type sensor showed good character in distinguishing between ripe and unripe watermelon.

주요 용어 (Key Words): 센서(Sensor), 수박(Watermelon), 미숙(Unripeness), 적숙(Ripeness), 과숙(Overripeness)

1. 서 론

국내에서 생산한 농산물도 수출 경쟁력에 따른 품질개선 시대에 막이 올랐다.

농업정책 과제로 농산물의 고품질 가공, 유통, 규격화가 시급하고 특히 품질향상과 가격안정, 품질, 시설 자동화 청과물 종합 처리장 등 많은 문제점을 해결 방법 및 대책을 세워야 되겠다는 생각에서 이 방법을 연구하여 제시하기로 하였다.

현재 기술개발로 시설의 현대화가 진행중이며, 기계화 및 자동화 도입준비 과정 단계가 완료되어 기초 연구쪽으로 초점을 맞추어 추진하고 있는 단계에서 생산시설 투자, 효율적인 운영관리, 사후봉사, 부가가치작물 재배기술의 기초연구, 유통구조 대형화에 따른 개선 정책이 시급하다. 따라서 본인은 이러한 문제의 해결책으로 협의적 차원에서 수박에 관심을 갖고 농민들의 고통을 같이 나누고 세계인이 선호할 수 있는 수박재배 기초 조사에서 수입개방에

* 상주산업대학교 산업기계공학과

따른 경제적 손실과 가격 경쟁력에 이길 수 있는 수박의 숙도판별 센서 개발에 착수하였다.

여름과일의 대명사인 수박의 전국 재배면적은 2만ha, 시설재배의 경우 3,000ha 정도이며, 거래물량 순위 4위, 거래금액순위 3위인 중요작물이다. 또 최근에는 국내소비는 물론이고 수출도 증가하여 일본, 소련까지 진출하였다. 생산기술에 있어서 앞으로 품질 고급화와 유통의 현대화를 위해서는 수확적기 판별은 주요 과제다.

현재 수박의 수확적기 판정기술은 과형의 변화, 과피색, 과일접지부의 색과 감촉, 과일의 턱음, 과일의 탄력, 착과절의 둉굴손의 마름정도, 성숙기에 일어나는 잎과 둉굴의 재신장, 과경의 전단 부위로부터의 침출액 등의 방법이 중요하고 정확한 숙도예측, 수확시기 결정이 어렵다고 사료된다.

수박의 유통구조 개선을 위해서 숙도, 당도, 경도, 함수율 등을 예측 할 수 있는 비파괴 기술개발과 포장 등의 기초 연구가 선행되어야 한다. 그러므로 외국에서 연구결과를 기초로 하여 적용할 수 있는 비파괴 검사 장비개발이 시급한 실정이다.

그래서 본 연구에서는 수박의 수확적기를 판별할 수 있는 숙도판별 센서를 개발하였다.

국내외의 과일의 내부 및 외부품질 계측 관련 기초 및 실용화 연구결과를 살펴보면, 鳥居⁷⁾ 등(1994)은 식물의 체내 수분상태의 계측과 제어연구에서 과일의 건조상태에 따른 裂果와 식물은 수분상태에 따른 내부특성 변화 등을 측정하여 灌水制御에서 최적 제어 모델(LQ model)을 제시하였다.

夏賀⁶⁾ 등(1994)은 근적외선 분광법을 이용하여 곡물의 성분 측정과 가공온도의 증가에 따른 내부품질은 보리, 현미를 공시재료로 하여 화학분석, SEC (standard error of calibration) 그리고 수분 등의 변화는 곡물의 종류, 품종, 분쇄 입도, 등에 따라 차이가 있음을 보고하였다. 그리고 밀, 현미 등을 공시재료로 하여 수확 후 저장기간에 따른 수분과 단백질 등의 변화를 근적외선 분광법으로 측정 보고하였다.

川上⁴⁾ 등(1994)은 과일 중에서 메론을 공시 재료로 하여 수확 후 저장일에 따라 표면색, 당도, 이산화탄소와 에틸렌의 생성량, 食味官能 등의 변화를

측정하여 숙도판정의 가능성을 보고하였다. 笠生³⁾ 等(1994)은 청과물은 운반도중 진동에 의한 손상이 많은데 그 정도를 감지하기 위해서 압전식 3축 가속도 검출기를 이용하여 충격정도 측정시스템을 개발하여 운반과정에서 1주간 충격횟수 충격정도를 측정하였는데 연직방향의 충격하중 중에서 1G 이상이 583회 였다고 보고하였다.

秋永¹⁾ 등(1994)은 수분, 수분의 활성, PH, 색채 등을 측정하여 흑당의 품질을 선별하기 위한 기초실험을 실시하여 가공산업에 응용할 수 있는 자료로 보고하였다. 松岡⁵⁾ 等(1995)은 색, 광택 등의 표면 분광반사 특성을 측정하여 가시영역 분광 반사율을 정량비하여 저장조건과 품질 판정을 위한 실험결과를 보고하였다. 陳介²⁾ 等(1994)은 수박과 멜론을 공시재료로 하여 수박의 중량 변화와 숙성관계에 따라 일정 힘으로 타격을 가하였을 때 진동 과형의 정점들을 연결하여 처리한 자기 상관계수를 이용하여 미숙, 완숙, 내부결함(크랙, 상처 등) 여부를 판별하는 방법을 제시하였다.

Clark⁸⁾ 等(1973)은 배 선별을 위해 공명현상과 표면색 구별 등의 비파괴 측정방법을 이용하여 내부품질을 판별할 수 있는 실험을 실시하였다. Shio⁹⁾ 等(1988년)은 NMR(Nuclear magnetic resonance) 방법을 통하여 사과의 내부상태를 판별할 수 있는 실험을 실시하였다.

Tsuguo⁹⁾ 等은 PZT 센서는 검출장치로서 비교적 간단하고 광범위한 주파수 응답 특성을 가지고 있으며 넓은 온도범위에서 작동하며 공기의 압력 등에 둔감한 특성이었다고 보고하였다.

본 연구는 수박의 숙도변화에 따라 외부 충격력에 대한 반발력의 변화를 측정하여 수박의 숙도 측정 센서로 활용 적합여부의 실험을 실시하였다.

그리고 반발력변화 측정 센서는 압전소자 형으로 저주파에 대해서도 잘 반응이 보여 광범위한 주파수 응답특성을 갖는 PZT 소자를 사용하여 제작하였으며, 신호의 검출은 phase sensitive detector가 내장된 lock-in amplifier를 사용하여 저렴한 비용으로 간단한 방법으로 제작하였으며, 추후 실험에서는 실험 결과를 이용하여 정밀성보다는 포장에서의 실용화

를 목표로 품종별, 종량별로 많은 공시재료를 이용하여 속도판별 모델을 개발하려 한다.

2. 재료 및 방법

외부 충격에 대한 반발력을 감지하는 센싱부는 PZT(piezoelectric elements)소자를 이용하여 내부의 변화를 직접 감지하는 접촉식센서 4가지와 음향변화를 감지하는 방식 1가지의 두 종류 센서를 제작하였다. 센서의 지지 및 보호를 위해서는 센서 전후에 인조고무를 사용하여 접촉부의 두께, 모양, 지지부의 재질 등으로 5종류의 개발센서를 이용하여 적합 가능 여부만을 실험하였다. 그리고 그 결과를 분석한 후에 데이터 수렴을 위해서 품종별, 종량별 등으로 많은 시료를 선정하여 실용화 할 예정이다.

이때 데이터를 획득하기 위해서는 시그널컨디셔너, DSP, 마이크로컴퓨터 등을 이용하여 계측시스템을 구성하였으며, 센서의 고정은 산이나 알카리의 반응이 없는 신예초사의 실리콘본드를 사용하였다. 이와 같이 사용한 재료의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

가. 실험재료

센서의 종류를 최소화하기 위하여 감지부는 비교적 전기적 특성이 잘 알려진 Lead-Zirconate-Titanate 타입의 D사의 디스크형 PZT 직경 20mm 두께 0.5mm의 압전소자를 사용하였다. 그리고 센서는 접촉부의 두께, 형상, 재질 등으로 구분 5가지 형태만을 제작하였으며 이때 사용한 PZT 압전소자의 특성은 표 1과 같다.

Table 1. Piezoelectric properties of PZT(Lead-Zirconate-Titanate)

Property	Magnitude
Density, g/cm ³	7.65
Diameter, mm	20
Thickness, mm	0.5
Planer coupling factor, K _P	0.591
Piezoelectric constant, 10 ⁻¹² m/V	-158
Elastic compliance at constant, 10 ⁻¹² m/V	16.5
Curie's temperature, °C	238
Relative dielectric constant, $\epsilon = \epsilon^T / \epsilon_0$	1,892.3

(1) 장치 구성

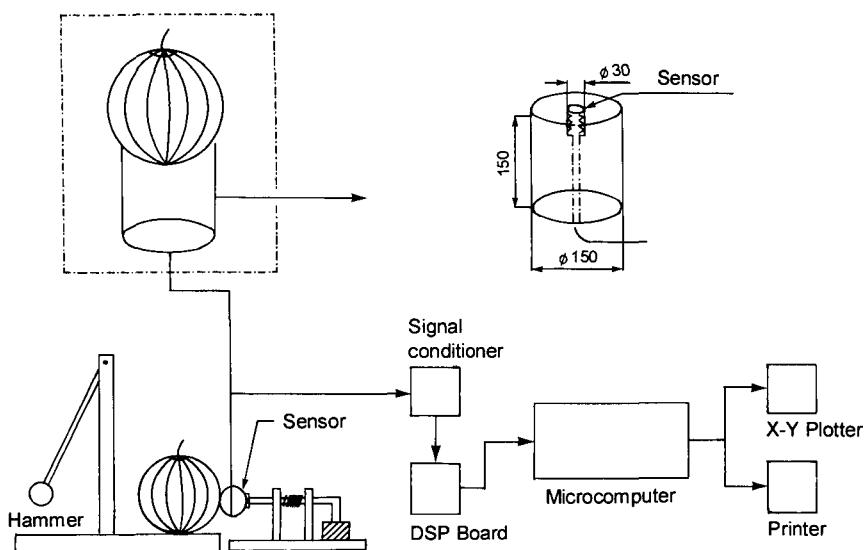


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus.

속도의 변화에 따른 일정한 외부충격에 대한 반발력의 형상, 음향반응, 감쇄변화 등의 측정 분석을 위한 시스템의 구성은 그림 1에서와 같으며, 이때 사용된 기기의 사양은 표 2에서 보는 바와 같다. 그리고 일정한 타격력을 주는 장치와 반발특성 감지센서는 그림 2와 같다.

그림 2에서 1, 2, 3, 5의 4종류의 반발특성 감지센서는 초기상태는 수박의 타격 반대방향에 센서를 접촉시킬 수 있도록 고정장치를 제작 부착하여 사용하였다. 4번 센서는 음향적 특성을 이용하여 성숙도에 따라 타격력에 대한 음향 변화를 감지되도록 그림 상단 점선 내부의 모양과 같이 제작하였으며, 이때

의 내부구조는 상단 오른쪽과 같은 구조로 제작하였다.

수박 고정장치 및 감지센서의 간격은 수박의 직경, 중량 등에 따라 다를 것이므로 고정대는 CNC 선반을 이용하여 상단을 구모양으로 제작하였고, 센서의 접촉거리 조정을 위하여 센서 접합부 전체를 이동시킬 수 있도록 텁으로 제작하였다. 전체 시스템은 발생신호를 전처리해 주는 시그널컨디션너, 마이크로컴퓨터 연결용 DSP보드, 마이크로컴퓨터 그리고 분석프로그램과 결과를 출력할 수 있는 플로터로 시스템을 구성하였다.

Table 2 Specifications of test equipment used

Equipment	Model	Manufacturer	Remakes
Impact hammer	-	-	
Sensor	-	-	
Signal conditioner	KRE-07	Koryo Electronic system	
DSP board	IDSC25	IDS system	

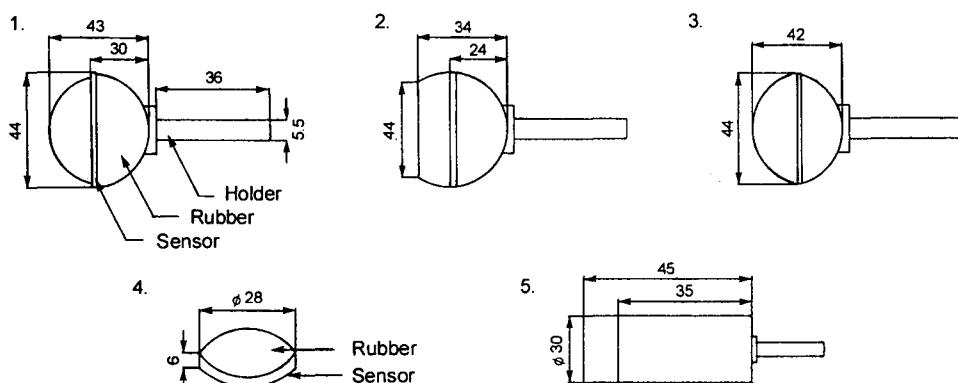


Fig. 2 Schematic diagrams of the sensor.

(2) 충격 반발력 감지 센서

농산물 종에서 수박의 속도예측 및 내부품질판정은 비파괴 방법을 사용해야 한다. 본 실험에서는 수박을 공시재료로 하여 수박의 성숙도에 따른 표피의

강도, 탄성 등의 상태에 따른 반발특성 변화를 감지할 수 있는 속도측정 센서를 개발하였다.

개발 센서는 주위를 감싸고 있는 감지 및 지지부는 표 3과 같은 인조고무를 사용하여 바(bar), 구, 반

구 모양의 지지부 중심에 센서를 몰입시켰다. 그리고 센싱부의 결합을 위해서 RTV 젤연, 방습, 방수, 내열(-50~200°C), 젤연특성 등의 기능이 있는 고정 실리콘고무 본드를 사용하여 밀봉접착을 하였다. 이 접착제는 응고 후에도 탄력 유지와 경화시에 산을 발하지 않는 중성제품인 KE45W 제품을 이용하여 센서의 금속부에 손상을 최소화 하였다. 그리고 접착 작업시 내부에 공기가 인입되어 기포가 발생하는 것을 방지하고 균일을 유지시키기 위하여 접착제를 필요량보다 더 사용하여 지지부로 가압후 연마하여 그림 2와 같은 형상으로 제작하였다.

Table 3. Dynamic properties of the rubber

Property	Magnitude
Shore hardness	65
Specific weight	0.98
Dynamic shear modulus, kgf/mm ²	0.288
Basic dynamic magnifier, Ma	7.0
Graves, kg/cm	50
Coefficient of linear expansion, 10 ⁻⁶ /°C	210
Specific heat, cal/°C g	0.45

센서는 그림 2에서와 같이 5가지 형태로 제작하였는데 5번 센서는 원형 인조고무봉을 이용하여 바 모양, 4번 센서는 직경 28mm 두께 6mm의 원판모양, 그밖에 1, 2, 3번 센서는 직경 50mm의 인조고무(우레탄)구를 양분하여 2개의 반구를 가공하여 한 쪽에 고정부를 설치한 후에 실리콘 고무본드를 적정량 이상 투입하고 가압하여 모양을 다듬는 방법으로 제작하였다.

각 센서별로 제작과정을 세분하여 살펴보면 1번 센서는 충격에 의한 진동 감지를 민감하게 하도록 지지부쪽의 반구를 직경 44mm와 높이 30mm로 크게 하고 감지부쪽의 직경 40mm 높이 10mm의 반구 사이에 센서를 설치하고 결합시킨 형태이며, 2번 센서는 반발력이 분산 감지 되도록 지지부 부근의 반구를 직경 44mm와 높이 30mm로 크게 하고 감지부 쪽의 직경 44mm 높이를 10mm로 연마하여 제작하

였다.

3번 센서는 직경 44mm와 높이 21mm의 두 개의 반구를 결합시킨 형태이며, 4번 센서는 반발력의 감지를 민감하게 하도록 센서의 앞뒤를 직경 28mm 두께 6mm로 감싸서 충격 반발특성 및 낙하시 반발 등을 측정 할 수 있도록 제작하였다.

그리고 5번 센서는 그림 2의 5번에서 보는 바와 같이 지지부쪽은 직경 30mm와 높이 35mm의 인조고무인 우레탄 봉을 바형태로 감지부쪽은 직경 30mm 높이 10mm인 두 개의 바(bar) 사이에 센서를 두고 결합시킨 형태이다.

이와 같이 제작한 센서에 직접 센서 외부에서 충격을 주었을 때 감지된 결과는 외부 충격력을 감지되는 형태는 그림 3에서 보는 바와 가속도 계의 진동 측정결과와 같이 일정크기의 힘이 시간이 경과되어 감에 따라 일정비율로 감쇄되는 것으로 나타났다. 이 결과를 보면 그림의 중심선을 중심으로 상하대칭으로 일어난다. 그러나 센서를 비탄성체에 접촉하여 감지를 하면 대칭이던 상하 균형 변형되게 된다. 본 실험에서는 이 점을 속도변화와 연계하여 분석하였다.

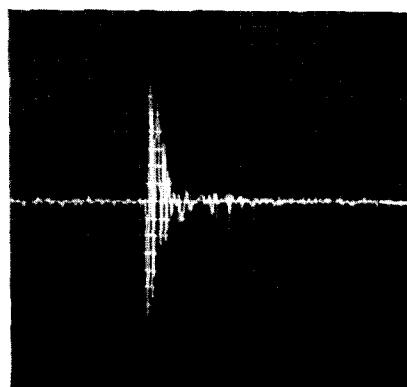


Fig. 3 Result of predicted mass for watermelons at development of sensor.

(3) 측정 데이터 분석

수박의 측면 중심에서 고무해머를 이용하여 일정

한 외부충격을 주고 정반대 편에 센서를 설치하여 특성변화를 감지 데이터를 마이크로컴퓨터의 보조 기억장치에 저장하였다가 화면에 재 출력시킨 후에 마우스를 통하여 분석범위를 설정한 다음 신호처리 프로그램을 이용하여 실험 후에 재 출력하여 분석하는 방법으로 실시하였다.

나. 실험 방법

본 실험은 숙도판별을 위한 센서 개발과 사용가능 여부의 검증을 목표 하에 수박을 공시재료로 실시하였다. 수박은 완전 미숙상태에서는 표피가 두터워서 충격력의 전달효과가 높고 숙성이나 과숙시에는 표피가 얇아지면서 내부에 수분함량이 증가되며 내부에 균열이 발생하므로 충격력의 자체흡수 효과에 의한 변화를 측정하였다.

충격 반발력의 감지는 개발한 5가지의 감지센서 중에서 1, 2, 3, 5번의 센서는 그림 1의 개략도에서 보는 바와 같이 고무해머를 이용해서 일정높이에서 타격되도록 하고 반대편에 고정장치를 이용하여 센서를 설치하고 센서를 수박에 접촉시킨 상태로 계측시스템을 초기화시킨 후에 타격방향을 + 값으로 하고 반대방향을 -로 정의하고 +, - 방향의 누계를 반발력으로 하였다. 그리고 4번 형태는 시스템 개략도에서 점선으로 표시되어 있는 형태와 같이 별도의 과일 및 센서 고정대를 제작하여 감지될 수 있도록 하였다.

이때 사용한 공시재료는 성숙도에 따라 완전미숙, 적숙, 과숙 등의 3단계로 구분하여 5통씩 임의 선발하여 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

개발한 센서로 구성한 시스템을 이용하여 실험한 결과를 숙도에 따라 완전미숙, 적숙, 과숙 등으로 구분하여 측정한 결과를 분석하면 초기화 상태의 중심선으로부터 반발력을 상하(+, -) 부분으로 균형을 이루지 않고 +, - 방향의 어느 한 쪽으로 편중되어 숙도가 구분되는 그림 5, 6, 7에서와 같은 경향으로

나타났다. 그러므로 숙도는 특별한 분석이 없이도 상하에 편중되는 경향으로도 미숙, 적숙이 구분되므로, 측정결과를 센서별, 숙도별로 구분하여 초기화된 중심상태를 기준으로 편심비율을 백분율로 비교한 결과는 그림 3과 같다

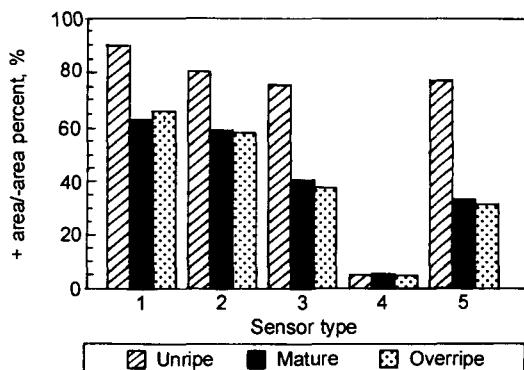


Fig. 4 Result of predicted mass for watermelons.

가. 미숙

미숙된 중간크기(평균치 정도)의 수박을 개발한 센서를 이용하여 측정하였을 때 결과는 그림 3과 그림 5에서 보는 결과와 같이 미숙에서는 외부 충격에 대한 반발력의 상하 불균형은 많은 차이를 보이고 있다. 이 차이는 수박의 중량, 품종, 타격력 등에 따라서 반복 때마다 조금씩 차이는 있었으나 동일조건 조건하에 초기화시킨 중심선을 중심으로 상하의 면적을 계산하여 백분율로 단순 비교하였다.

결과를 각 센서별로 살펴보면 그림 5와 같으며 충격력과 반발력의 차이에 대한 특성을 비교하여 결과는 그림 4와 같다.

1번 센서에서는 미숙일 때는 충격력이 내부의 감쇄가 적어 상하의 면적 불균형은 89.8%로 많은 차이로 나타났다. 그러므로 내부감쇄에 의한 상하의 면적 불균형으로 미숙은 분류할 수 있는 것으로 나타났다.

2번 센서에서도 미숙일 때는 충격력이 내부의 감쇄가 적어 상하의 면적 불균형은 80.5%로 나타났으

며, 상하의 면적 불균형만으로 미숙을 분류할 수 있는 것으로 나타났다.

3번 센서도 미숙일 때는 충격력이 내부의 감쇄가 적어 상하의 면적 불균형은 75.7% 정도가 감지되어 내부 감쇄에 의한 반발력의 차이에 의해서 상하의 면적 불균형으로 미숙을 분류할 수 있는 것으로 나타났다.

4번 센서에서는 충격력과 반발력에 의한 감지량과 상하의 면적 불균형은 외부의 잡음 신호량이 많아 데이터의 필터처리에도 불구하고 구분하기 어려운 정도로 나타나 속도 선별은 어려운 것으로 나타

나 이와 같은 단순방법으로 부적합한 것으로 나타났다.

5번 센서는 미숙일 때는 상하의 면적 불균형은 77.2%로 내부 감쇄에 의한 반발력의 차이는 상하의 면적 불균형만으로도 미숙을 분류할 수 있는 것으로 나타났다.

이와 같은 결과를 종합하면 충격력과 내부 감쇄량의 정도에 따른 반발력의 상하의 면적 불균형의 차이에 의해서 미숙의 판별이 가능한 것으로 나타났다.

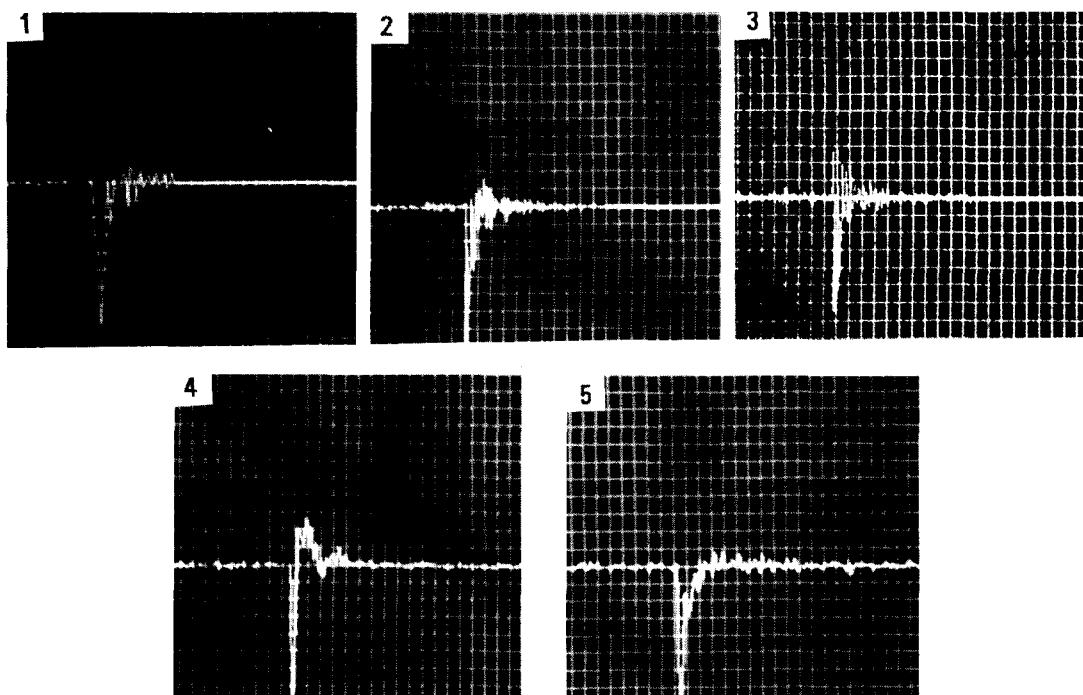


Fig. 5 Result of predicted mass for unripen watermelons.

나. 적 속

수박의 적속판단을 위한 측정 결과는 그림 6에서와 같다. 분석결과 외부 충격에 대한 반발력은 상하의 면적 불균형은 차이는 미숙에서와 같이 큰 차이는 아니지만 적속을 식별할 수 있을 정도의 차이는

있는 것으로 나타났다.

1번 센서에서는 미숙보다는 차이가 적어 겼지만 상하의 면적불균형은 그림 6에서 보는 바와 같이 62.7%가 불균형을 이루고 있으며, 2번 센서에서는 58.8%, 3번 센서는 37.7%로 미숙보다는 차이가 없지만 상하의 면적 불균형만으로도 적속을 분류할 수

있는 것으로 나타났다.

4번 센서에서는 충격력과 반발력에 의한 상하의 면적 불균형은 외부의 잡음 신호 량이 구분하기 어려운 정도로 나타나 상하의 면적 불균형 만으로는 숙도 판별이 어려운 것으로 나타났다.

5번 센서에서도 수박이 적숙일 때 그림 6에서 보는 바와 같이 충격력이 내부의 감쇄가 적어 반발력의 상하의 면적 불균형은 32.9%로 감지되었다. 그러

나 내부 감쇄에 의한 반발력의 상하의 면적 불균형이 30% 이상으로 충분하게 적숙을 판별할 수 있는 것으로 나타났다.

이와 같은 결과를 종합하면 개발한 1, 2, 3, 5번 형태의 센서는 반발력의 상하의 면적 불균형 백분율을 단순 비교하여 숙도 판별이 가능한 것으로 나타났다.

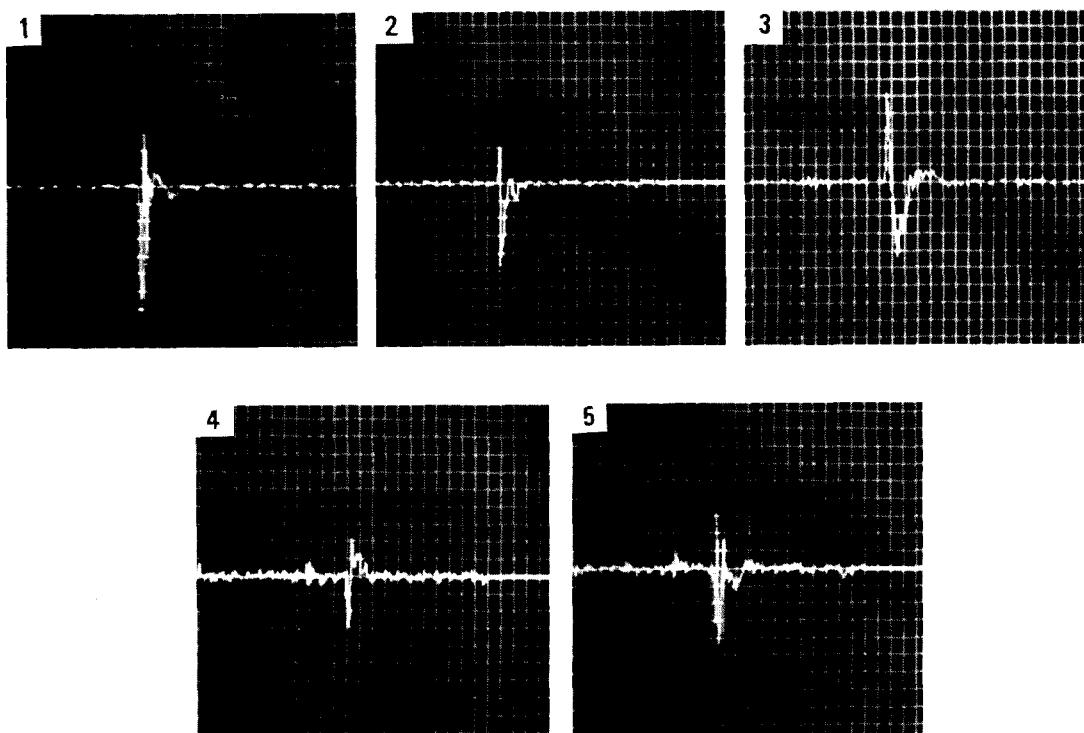


Fig. 6 Result of predicted mass for ripe watermelons.

다. 과 숙

과숙된 중간크기(평균치 정도)의 수박을 이용하여 측정한 결과는 그림 3과는 달리 그림 7에서 보는 결과와 같이 상하의 면적 불균형에서는 적숙과 과숙은 구분이 되지 않는 것으로 나타났다.

각 센서별 측정결과는 그림 7과 같으며 외부 충격

에 대한 반발력의 상하의 면적 불균형에 대한 특성을 비교하여 결과는 그림 6과 같이 미숙에서 보다는 큰 차이는 없었으며 결과를 종합하면 과숙의 식별은 가능한 것으로 나타났으나, 적숙과 과숙의 구분이 곤란한 것으로 나타났다. 그러나 실제 생산과정에서 과숙을 판별할 필요성이 없고 다만, 유통과정에서 필요한 것이다.

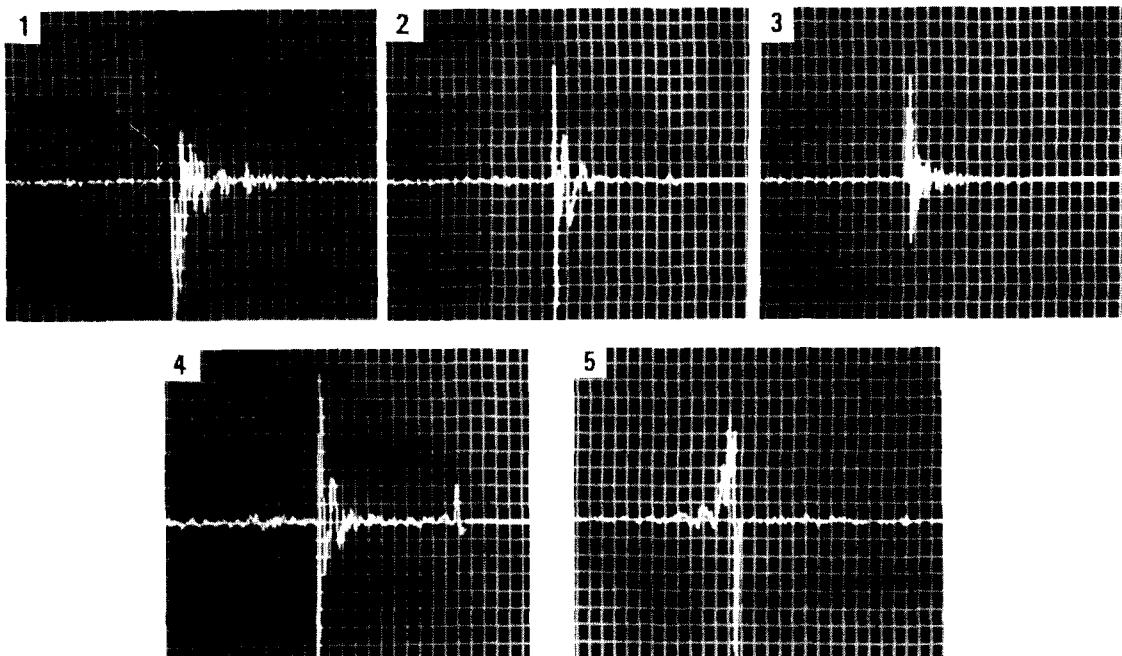


Fig. 7 Result of predicted mass for overripe watermelons.

4. 결 론

수박은 대표적인 여름과일중의 하나로 수확 후 유통과정에서 고품질을 유지하기 위해서는 내부 품질 개선과 품질판별을 위해서 선별을 하는데 현재 사용되고 있는 방법은 과형, 꼭지 부분의 줄기 생태, 과피색, 타격에 대한 타음, 외피의 탄력정도 등으로 많은 노력과 시간이 소요되어 생략되고 있는 실정이다. 그러므로 수박의 속도판별을 위해서 선별시간 절약이나 비용절감 및 정밀도를 높이기 위해서는 기계화와 자동화가 필요하다.

과일의 속도 선별과정의 자동화를 위해서는 정확한 속도를 예측할 수 있는 센서와 선별기가 필요하다.

그러므로 본 연구에서는 속도 선별에 사용할 수 있는 센서를 개발하였다. 그리고 개발한 센서를 이용하여 실용성 검증을 위해서 수박을 공시재료로 하여 외부충격이 속도변화에 의한 반발특성을 분석하여 자동 선별장치의 속도선별 센서로 활용가능 여부

를 실험하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 수박은 외부 타격에 대한 반발력 특성으로 미숙, 적숙, 과숙의 속도판별이 가능하다.
2. 감지센서의 접촉부 모양은 타격점 부근에 응력이 집중되는 반구형태에서 제일 좋은 것으로 나타났다.
3. 개발한 센서중에서 1, 2, 3, 5번 형태는 반발특성의 감지센서로 특성이 양호하여 속도 판별이 가능하였다.

참 고 문 헌

1. 秋永孝義, 岡留博司, 國府田佳弘. 1994. 黒糖の品質に關する基礎的研究. 日本農業機械學會誌 56(5):51-56.
2. 陳介余, 宮里満. 1994. 振動波形の自己相關関數によるスイカの内部品質の非破壊判定. 日本農業機械學會誌 56(1):29-36.
3. 竿生憲司, 竹永博, 森嶋博, 川越義則. 1994. 果實

- の衝撃カウンタの開発. 日本農業機械學會誌 56(4):107-111.
4. 川上昭太郎, 早川千吉郎, 梅田重夫, 坂口榮一郎. 1994. メロンの表面色と品質. 日本農業機械學會誌 56(3):117-122.
5. 松岡孝尚, 宮内樹大史, 孫徳明. 1995. 農産物の品質判定に関する基礎的研究. 日本農業機械學會誌 57(1):33-40.
6. 夏賀元康, 川村周三, 伊藤和彦. 1994. 近赤外分光法による穀物成分測定値の變動要因. 日本農業機械學會誌 56(3):43-50.
7. 鳥居徹, 岡本嗣南, 木谷收. 1994. 植物の體内水分状態の計測・制御に関する研究. 日本農業機械學會誌 56(1):79-86.
8. Clark, R. X. and P. S. Shackelford, Jr. 1973. Resonance and optical properties of peaches as related to flesh firmness. Transactions of the ASAE. 16:1140-1142.
9. Shiow Y. Wang, Paul C. Wang and Miklos Faust. 1988. Non-Destructive Detection of watercore in apple with Nuclear magnetic resonance imaging. Scientia horticulturae. (35):227-234.
10. Tsuguo Sawada and A. J. Bard. 1983. J. of photoacoustics 1:317.



학위취득



성명: 김태우

생년월일: 1962년 3월 11일

취득학위명: 농학박사

학위수여대학: 경북대학교 대학원

학위취득년월일: 1994년 8월 25일

학위논문: 한국의 낙농단지 규모에 알맞는 사료가공 시스템 개발