

로드셀을 이용한 고속 감자 중량계량법

김 상 철* · 임 중 환** · 김 귀 식** · 김 성 근*** · 양 중 훈*

Load Cell Based High Speed Weighting Method for Potato

Sang-Cheol Kim*, Jong-Hwan Lim**, Gui-Shik Kim**,
Seong-Gun Kim*** and Jong-Hoon Yang*

ABSTRACT

Potatos, together with tangerines, are one of the major agricultural products in Jeju, and the production account for more than 30 % of the domestic production. Recently some kinds of sorting machine for potatoes are available, but they are not extensively used because their performance is not satisfactory and/or they are very expensive. This paper presents a load based high speed weighting method for sorting the potatoes. This method is based on the fact that the linear momentum of a potato is proportional to the mass of it. The usefulness of the method is demonstrated with sets of experiments

Key Words : Potato, Sorting machine, load cell, High speed weighting method.

1. 서 론

전국의 감자생산량은 약 64만 톤이며 제주도는 전국 생산량의 23%(봄 감자의 경우 64%)를 차지하는 감자 주산지이다.¹⁾ 우리나라의 감자 소비현황은 생식용 및 감자칩용은 국내산으로 충당되고 있지만 가공감자인 냉동 감자와 전분의 경우 거의 전량 수입(97년을 기준으로 우리나라 총 생산량은 약 64만톤, 수입된 전분 및 가공용 감자를 생감자로 환산하면 약

30만톤)에 의존하고 있는 실정이다. 생감자의 가격은 미국의 4배 등 주요감자 생산국에 비해서 현저히 높아 가격경쟁력이 크게 떨어지고 있다. 따라서 근본적으로 기계화재배를 통한 생산비절감 뿐만 아니라 균일 선별 등을 통한 상품성 증대 및 유통구조개선을 통한 국제경쟁력을 고양하지 않으면 조만간 감자재배농가의 타격이 예상된다.²⁾

국내의 감자선별은 거의 대개 수 작업으로 이루어지고 있으며 일부 국내에서 개발되거나 도입되어 자동되고 있는 감자 선별방법은 드럼식과 화상식, 가변간극 롤러형, 그리고 컵형이 있다. 컵형을 제외한 다른 선별방법은 중량이 아닌 크기를 기준으로 한 분류방식을 채택하고 있다.³⁾

화상식 선별기의 선별방식은 카메라를 이용하여 공급되는 감자의 영상으로부터 크기를 산출하여 등급을

* 제주대학교 대학원

Graduate School., Cheju Nat'l Univ.

** 제주대학교 기계·에너지·생산공학부, 첨단기술연구소

Faculty of Mechanical, Energy & Production eng., Research

Institute of Advanced Technology, Cheju Nat'l Univ.

*** 이어도텍

Endo Tec

정하고 건반식 컨베이어를 이용해서 배출하는 방식이다. 이와 같은 화상식의 문제점은 장치가 고가인데 비해 감자의 형상이 타원형이 많아 안착형태에 따른 오차가 많이 발생하고 감자 표피가 어두운 색이고 먼지가 많이 발생하는 환경이므로 화상정보 판독단계에서 오차가 쉽게 발생하고, 등급의 정확한 기준 설정이 어렵다.

드럼식 선별방법은 회전형 드럼에 일정크기의 구멍이 뚫어져 있으며 감자가 그 위를 통과하면서 크기별로 구멍을 통과함으로써 선별이 이루어진다. 이 시스템은 장치가 간단하고 고장률이 낮지만 등급의 기준 설정이 어렵고 타원형의 감자에 대한 선별 오차가 크며 드럼과 감자의 마찰 및 드럼과 드럼사이에 감자가 끼는 현상으로 인해 감자의 손상이 심하다.

컵형 중량 선별방식은 컨베이어에 컵 형상을 부착하고 이 컵에 감자를 안착시켜 중량을 기준으로 선별하는 장치이다. 다른 선별기와는 달리 중량기준 선별이며 등급에 대한 기준 또한 정확하게 설정할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 감자의 크기를 분석한 결과 20cm 이상인 것도 있으므로 최소 컵간 거리가 20cm는 되어야 할 것으로 예상된다. 컵의 크기가 20cm 정도 일 때 초당 3개 이상의 선별능력을 갖기 위해서는 복수개가 안착되는 경우를 고려한다면 벨트 속도가 최소 0.7 m/s 이상의 고속이 되어야 한다. 이 경우 컨베이어 구조가 복잡하므로 고속 운전시에 장치의 내구성이 상당히 떨어지며 심한 소음이 발생하고, 고속 운전시 컨베이어벨트의 장력변동에 의한 하중변화 및 벨트의 진동 등이 중량계량장치에 심한 압력으로 작용하므로 중량계량의 신뢰도가 상당히 떨어질 수 있으며, 감자의 각 등급별 크기 차가 최대 3배 이상이므로 컵의 크기가 커질수록 작은 감자의 복수 안착률이 커진다.

본 연구에서는 이와 같이 기존 선별방법의 문제점을 해결하여 고속으로 감자의 중량을 계량하는 방법을 연구하였다. 이 방법은 감자가 로드셀에 충돌할 때 순간적으로 발생하는 출력의 최대치에 의해 중량을 계량하는 것으로서 계량속도가 빠르며 이송장치와 계량장치의 완전분리가 가능하므로 계량의 신뢰도가 극대화된다는 장점이 있다.

II. 고속 중량계량장치 개발

1. 로드셀 신호특성 및 전처리

로드셀은 가해진 하중의 크기에 비례하는 전기적 출력을 발생시키는 힘 변환기로서 일반적으로 strain gage 타입이다. Fig. 1은 본 연구에 이용된 로드셀이며 그 사양은 Table. 1에 나타내었다. 실제 로드셀 출력은 심한 잡음이 포함되어 있기 때문에, 이것을 제거하기 위해 Fig. 2와 같은 차동 증폭회로와 2차 필터를 설계하였다.⁴⁾ 이 필터는 low pass 필터로서 고주파 잡음을 제거시켜주는 역할을 하는데 필터링 후 로드셀 출력 파형은 Fig. 3과 같이 비교적 깨끗한 출력 특성을 보임을 알 수 있다.

로드셀 또한 선형성을 알아보기 위해 0.2kgf 단위로 하중을 증가시키면서 그 출력 전압을 조사한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 결과에서 알 수 있듯이 측정

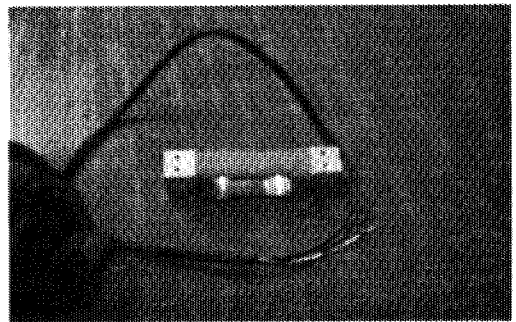


Fig. 1. Load cell (CAS, BCL-1L).

Table. 1 Specification of load cell

Detail	Testing result
Rated Load	1kgf
Operating Temp. Range	-20°C ~ 70°C
Rated Output	0.9510 mV/V
Combined Error	0.030 % R.O.
Non-Repeatability	0.010 % R.O.
Input Resistance	402.4 Ω
Output Resistance	350.4 Ω
Insulation Resistance	2000 MΩ@50Vdc
Max Excitation	15 V DC or AC
Safety Overload	150 % R.L.

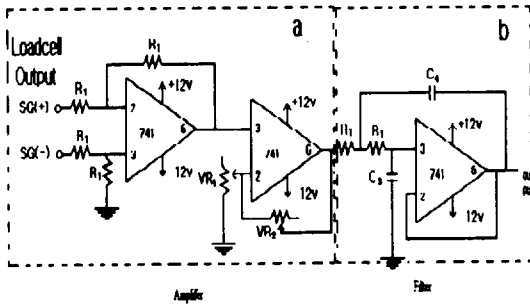


Fig. 2. Amplifier & filtering circuit.

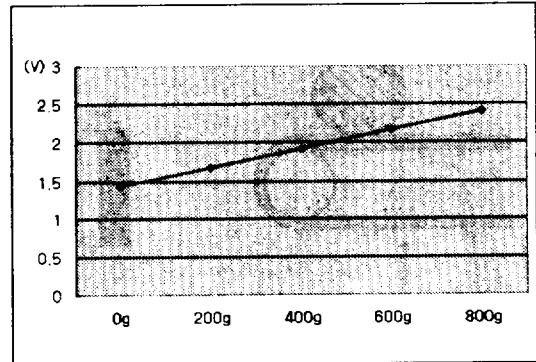
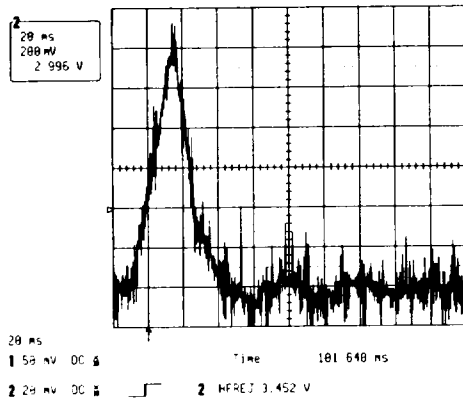
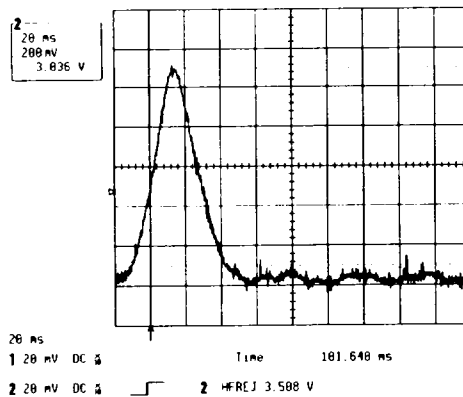


Fig. 4. Linear pattern of load cell.



a) Before filtering



b) After filtering

Fig. 3. Effect of filter.

오차를 고려한다면 0~0.8kg에 대해 거의 선형성을 유지한다고 볼 수 있다.

2. 계량장치 구성 및 방법

계량장치 구성은 Fig. 5와 같이 벨트 컨베이어 전방에 일정한 거리를 두고 로드셀을 설치하고 로드셀의 끝단에 평판을 부착하여 벨트 컨베이어에 의해 가속된 감자가 이 평판에 부딪힐 때의 변형량으로부터 증량을 계량하도록 되어있다. 이와 같은 장치의 장점은 이송부의 기계적진동등 잡음과 완벽히 차단된다는 점이며, 단점은 대상물의 형상이 불균일한 경우 접촉하는 면적의 크기에 따라 출력 값이 차이가 난다는 것이다.

Table. 2에 실제 감자를 이용한 증량계량 결과를 나타내었다. 실험 방법은 장직경과 단직경 비가 1.6 : 1인 300g 짜리 감자를 장직경 방향과 단직경 방향으로 각각 30회씩 측정하였으며 장직경 방향으로 로드셀과 충돌할 경우가 단직경 방향으로 충돌 때 보다 10%(0.104v) 정도 출력이 높게 나왔다.

이론적으로는 감자가 가진 운동에너지가 전부 로드셀에 전달된다면 같은 출력이 발생해야 하지만 접촉 부위의 형태나 면적에 따라 충돌시간의 변화가 발생하기 때문에 실제로는 이러한 차가 발생한다. 즉 접촉시에 로드셀에 가해지는 평균 충격력(f)는 선형 운동량 (linear momentum) 차로 다음과 같이 정의된다.⁵⁾

$$f = \frac{m v_2 - m v_1}{\Delta t} \quad (1)$$

여기서 m 은 감자의 질량, v_1 은 충돌전 속도 v_2 는 충돌 후 속도로서 mv 는 선형 운동량이며, Δt 는 충돌

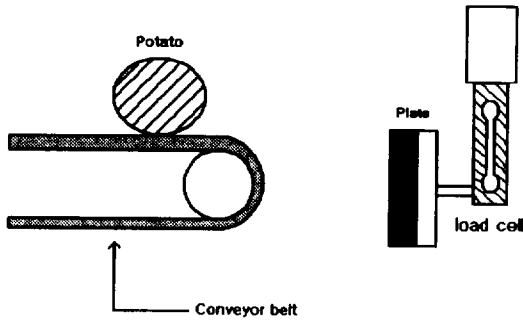


Fig. 5. Schematic diagram of the weighting system.

Table 2. Output characteristics according to impact direction

Impact direction	Average	Standard Deviation
Direction of semimajor axis	1.133	0.029
Direction of semiminor axis	1.029	0.038

Table 3. Output characteristics according to impact direction with buffer

Impact direction	Average	Standard Deviation
Direction of semimajor axis	0.843	0.034
Direction of semiminor axis	0.860	0.041

Table 4. Physical properties of buffer

Material	PVA (Poly Vinyl Alcohol)
Density (g/cm ³)	0.082
Tensile strength(Kg/cm ²)	2.0
30% compressive strength (g/cm ²)	75
porosity (%)	90

시간이다. 따라서 길이방향으로 충돌할 경우 접촉면이 좁기 때문에 전체 운동량이 집중적으로 작용하며 충돌시간이 짧아져 f 가 커지게 되며, 폭 방향으로

충돌할 경우에는 넓은 접촉면이 시간차를 두고 접촉하기 때문에 운동량이 분산될 뿐만 아니라 충돌 시간 자체도 길어져 f 가 다소 줄어든다고 사료된다.

이와 같은 문제점을 보완하기 위해 평판 면에 Table. 4와 같은 물성치를 갖는 완충물질(스펀지)을 부착하여 운동량 분산과 충돌 시간차를 어느 정도 줄임으로서 그 편차를 줄이는 실험을 수행하였으며 그 결과를 Table. 3에 나타내었다. 실험조건은 Table. 2와 동일하였으며 그 편차가 2%(0.017v)이하로 줄어들었음을 알 수 있다.

이 두 실험에서 관찰된 또 다른 특징은 길이 방향보다 폭 방향의 표준 편차가 더 크다는 것인데 이것은 길이 방향은 접촉면적이 아주 작기 때문에 충돌할 때마다 상황이 크게 차이가 나지 않지만 폭 방향은 넓은 접촉 면 때문에 충돌할 때마다 순간적으로 먼저 충돌하는 부위가 다를 수 있기 때문으로 사료된다.

3. 신호처리 방법에 따른 출력특성

개발된 중량계량장치에 대한 기초적인 실험으로 감자와 로드셀이 충돌시 출력 신호처리 방법에 따른 특성 실험을 수행 한 결과를 Table. 5에 나타내었다. 실험 조건은 100g, 200g, 300g, 400g의 감자를 각 크기 별로 둥근형과 길쭉한 형을 2개씩 대표로 선택하여 각 50회 씩 반복하면서 12bit 100Khz A/D변환기를 이용하여 로드셀 출력신호의 적분, 평균, 그리고 최고치를 분석하였다. 표에서 나타난 바와 같이 적분이나 평균방법의 표준편차가 최고치 방법보다는 양호한 결과를 보이고 있다. 그러나 중량계량 측면에서 보면 실제 중량 오차가 더욱 의미를 가지며 중량 오차에 있어서는 오히려 최고치 값이 평균값보다 좋은 특성을 보이고 있다.

또한 Fig. 6에 각 방법에 의한 계량의 선형성을 나타내었는데 적분형 보다는 평균이나 최고치 방법의 선형성이 더 양호한 결과를 보이고 있다. 최고치 방법의 또 다른 장점으로 중량을 계량할 때 A/D변환이 필요 없다는 것이다. 즉, 로드셀 출력전압을 level detector 회로에 입력함으로써 hardware 적으로 쉽게 등급을 결정할 수 있다. Fig. 7은 최고치 방법에 의한 등급 판정 회로를 보여준다.

Table 5. Results various signal treatments

Mass (g)	Integral method			Average method			Maxium method		
	AVG(V)	STD	Error(g)	AVG(V)	STD	Error(g)	AVG(V)	STD	Error(g)
100	1763.6	68.40	12.7	0.302	0.020	10.9	0.356	0.031	9.7
200	2231.1	99.41	18.6	0.483	0.042	23.1	0.678	0.071	22.2
300	2827.9	237.36	44.3	0.663	0.091	49.5	1.005	0.148	46.4
400	3369.1	186.32	34.8	0.849	0.067	36.8	1.314	0.107	33.5
V/100g	535.2			0.182			0.319		

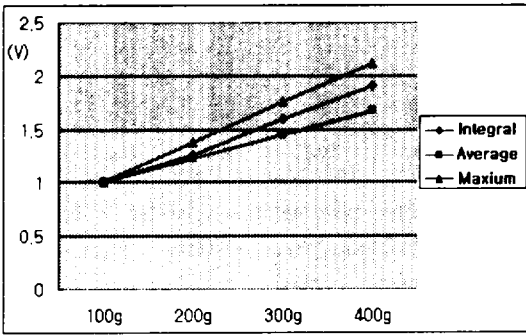


Fig. 6. Linear patterns.

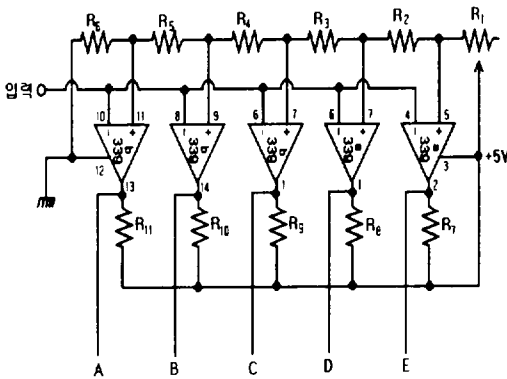


Fig. 7. Level detector circuit.

4. 증량계량장치의 특성실험

이와 같이 충돌시 최대값에 의한 증량계량 방법에 대해 감자의 속도, 컨베이어벨트와 로드셀 사이의 거리, 그리고 완충물질의 두께 등을 변화시키면서 그 특성을 알아보기 위한 다양한 실험을 수행하였다. 실험방법은 100g, 200g, 300g, 400g 감자를 각 크기별로 50개씩 표본으로 추출하였다.

Fig. 8과 Fig. 9는 이상과 같은 기초 실험 데이터로부터 벨트속도와 완충부 두께에 따른 각 감자 크기 별 출력 특성을 다시 정리한 결과이다. 이 결과를 분석해보면 벨트 속도가 클수록 선형운동량이 커지고 완충부 두께가 얇을수록 큰 에너지가 전달되기 때문에 출력전압이 커짐을 알 수 있다. 또한 Fig. 10과 Fig. 11은 완충물질 두께에 따른 오차 (표준편차를 증량으로 환산한 수치) 특성으로서 증량이 작은 감자의 경우는 두께가 증가할수록 오차가 줄어들고 증량이 큰 경우는 오히려 오차가 증가하고 있으나 그 경향은 그렇게 뚜렷하지 않다.

그러나 완충부의 두께가 얇을수록 충격력이 커지므로 감자의 손상이 커질 수가 있고 로드셀의 내구성이 문제가 될 수 있다. 또한 증량이 작은 감자일수록 완충부 두께 3cm에서는 충격력이 약화되어 출력

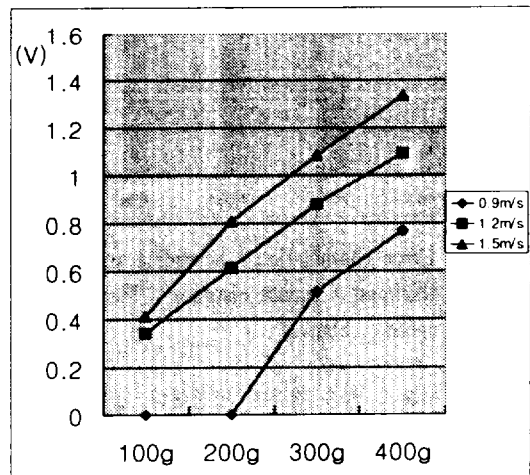


Fig. 8. Output characteristics according to belt speed (Buffer thickness : 2cm. Impact distance : 16cm)

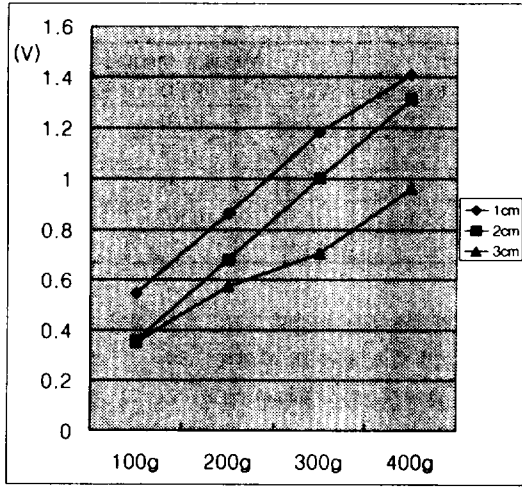


Fig. 9. Output characteristics according to buffer thickness (Impact distance : 18cm. Belt speed : 1.5m/s)

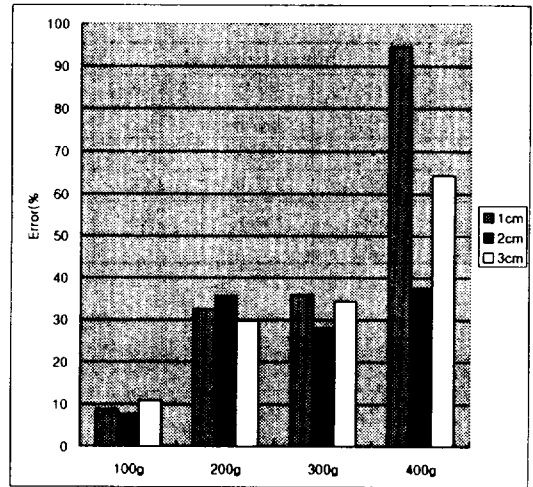


Fig. 11. Error characteristics according to buffer thickness (Impact distance : 16cm. Belt speed : 1.5m/s)

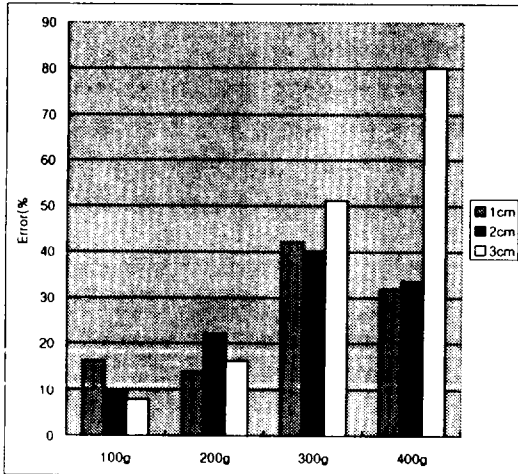


Fig. 10. Error characteristics according to buffer thickness (Impact distance : 18cm. Belt speed : 1.5m/s)

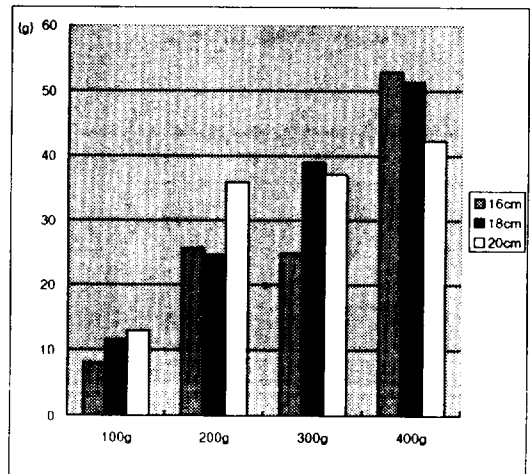


Fig. 12. Error characteristics according to impact distance (Belt speed : 1.2m/s. Buffer thickness : 2cm)

이 제대로 나오지 않은 경우가 발생했다. 결론적으로 완충부 두께 1cm 이하는 감자의 손상과 로드셀 내구성 문제. 3cm 이상에서는 안정적인 데이터 확보문제로 인하여 2cm 정도가 가장 적합하다고 판단된다.

Fig. 12와 Fig. 13은 로드셀의 거리에 따른 오차특성을 나타낸다. 측정오차를 감안한다면 거리에 따른 특별

한 경향은 없는 것으로 판단된다. 그러나 로드셀 거리가 20cm 이상인 경우는 작은 감자에 대해 안정적인 출력 확보가 어려운 경우가 가끔 발생하였으며, 로드셀 거리 16cm 인 경우도 큰 감자의 경우 직경이 16cm가 넘어 가므로 동작에 무리가 갈 여지가 있기 때문에 로드셀 거리는 18cm가 가장 적합한 것으로 결정하였다.

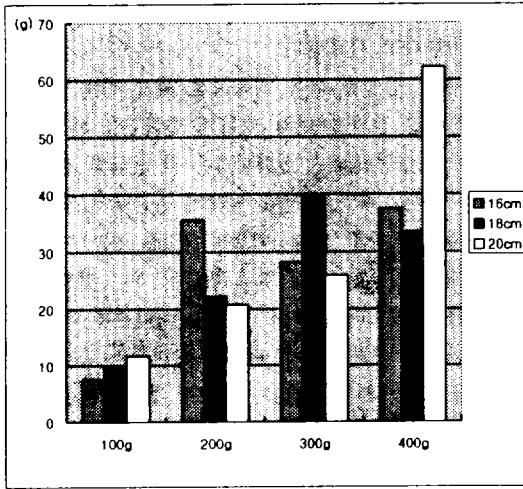


Fig. 13. Error characteristics according to impact distance. (Belt speed : 1.5m/s. Buffer thickness : 2cm)

완충부 두께 2cm, 로드셀 거리 18cm인 경우에 벨트 속도 1.2m/s와 1.5m/s의 오차특성이 크게 차이나지 않으나 1.2m/s인 경우 등급 당 전압이 0.252V로서 1.5m/s의 등급 당 전압 0.319V보다 작기 때문에 잡음 레벨 0.1V를 고려하면 최소 감지 감자 크기가 40g정도로서 1.5m/s의 경우 31g보다 크기 때문에 1.5m/s 속도를 증량계량 속도로 결정하였다. 이상과 같은 과정을 거쳐 최종적으로 확정된 증량계량 표준 설정치를 Table. 6에 나타내었다.

III. 결과 및 고찰

이상과 같이 설정된 값에 대해 Fig. 14와 같은 증량분포를 갖는 제주산 봄 감자 약 360kg을 이용하여 선별기의 성능을 시험하였다 실험방법은 100g 이하, 100-200g, 200-300g, 300-400g, 그리고 400g 이상의 5단 분류를 실시하였다. Table. 7은 선별결과에 대한 오차를 나타낸다. 결과를 고찰해 보면, 증량이 작을수록 선별결과에 오차가 작고 클수록 오차가 커지나 전체적으로 오차가 20% 이하임을 알 수 있다.

그러나 이러한 평가 방법은 본 선별기와 같이 일정한 구간을 나누어 등급을 분류하는 선별방법에서

Table 6. Standard values of the weighting method

Signal treatment	Maximum
Buffer thickness	2cm
Belt speed	1.5m/s
Impact distance	18cm
Threshold voltage	100g : 0.356 200g : 0.678 300g : 1.005 400g : 1.314
Voltage/g	0.00319

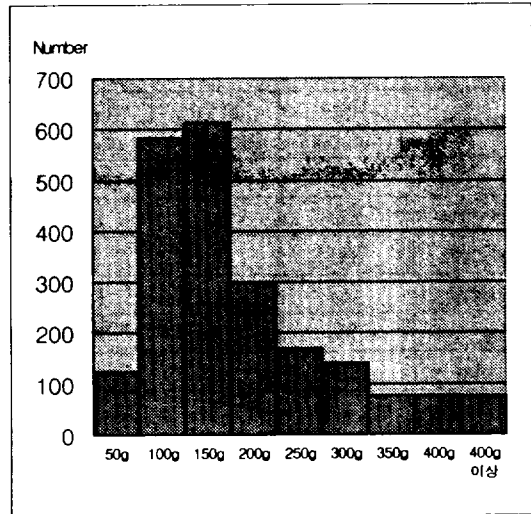


Fig. 14. Weight distribution.

Table 7. Sorting results

Number of potatos	0 - 100g	100- 200g	200- 300g	300- 400g	400g -
Total	708	921	309	147	75
Over weight	104	33	27	14	x
Under weight	x	39	16	9	14
Error (%)	14.6	7.8	13.9	15.6	18.6
Total error (%)	11.8				

는 적절하지 못할 수가 있다. 예를 들어 300g 전후의 감자가 다수인 경우 200-300g과 300-400g으로 나누어

Table 8. Characteristics of error

		0-100g	100-200g	200-300g	300-400g	400-
Within the grade	AVG (g)	69.52	145.5	248.9	353.2	435.1
	Over	AVG (g)	110.2	214.4	311.3	417.2
	STD	11.6	13.2	12.4	3.8	x
Under	AVG (g)	x	92.5	194.0	288.6	387.3
	STD	x	8.2	9.3	10.2	12.7

Table 9. Repeatability of the method

Weight	Total (number)	Error (number)	Error (%)
0 -100g	682	46	6.8
100-200g	893	91	10.1
200-300g	359	35	9.7
300-400g	145	19	13.1
400g-	75	11	14.6
Total	2154	202	9.37

분류할 경우 300g 전후에 분포한 다수의 감자들에 의해 선별결과에 상당한 오차가 발생할 것이다. 반면에 대다수가 250g 근처인 경우는 같은 성능을 갖는 선별 기일지라도 오차가 극히 작아질 것이다. 감자의 분포 뿐만 아니라 등급의 기준 값에도 매우 민감하게 오차가 달라질 수 있다. 즉, 300g의 기준 값이 실제보다 약간 낮게 설정된 경우에는 300g이하의 오차율은 극히 작아질 것이고 300g 이상의 등급에 대한 오차는 현격히 높아질 수 있다.

이와 같은 문제점을 확인하기 위하여 분류된 각 등급별 감자 중에서 오차로 분류된 감자들의 중량분포를 조사하였으며 그 결과를 Table. 8에 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 오차가 발생한 감자들의 평균 값이 기준중량 값 근처에 분포하고 있으며 표준편차 또한 크지 않음을 알 수 있다. 이것은 본 선별기의 성능이 양호함을 나타낸다고 사료된다. 또한 중량이 초과되거나 미달한 감자에 대한 평균값의 편차가 크게 한쪽으로 치우치지 않았다는 것은 설정된 각 기

준 값이 실제 중량에 대해 크게 벗어나지 않는다는 것을 의미한다고 사료된다.

등급분류의 성능을 더욱 정확하게 하기 위해 각 등급별로 선별된 감자에 대해 다시 선별하였을 때의 재현성 실험을 수행하였다. 실험방법은 각 등급별 감자에 대해 각각 따로 재 선별하여 원래의 등급에서 벗어난 감자에 대한 오차를 산출하였으며 Table. 9는 이때의 오차특성을 나타낸다. 실험 결과 중량이 작은 감자일수록 오차가 작았으며 중량이 클수록 커질수록 경향을 보였다. 이것은 중량이 작은 감자는 장직경과 단직경의 비가 작을 뿐만 아니라 형상이 비교적 등골지만 큰 감자일수록 장·단경 비가 큰 것은 형상의 균일성이 떨어지기 때문으로 사료된다. 그러나 전체적으로 오차가 10% 이내로서 선별기의 성능은 양호하다고 판단된다.

IV. 결론

본 연구에서는 현재 수작업으로 이루어지고 있는 감자의 등급 분류를 위한 고속 중량 계량 방법을 연구하였다. 이 방법은 감자가 로드셀에 충돌할 때 순간적으로 발생하는 출력의 최대치에 의해 중량을 계량하는 방법으로서 기존의 계량 방법에서 나타난 등급 분류의 신뢰성 저하 및 손상을 최대한 억제 할 뿐만 아니라 계량속도가 빠른 특징이 있다. 아울러 컵이나 기타 보조 장치를 쓰지 않고 컨베이어 벨트 그 자체만을 이용하므로 경제적이며 고장발생이 최소화될 수 있기 때문에 농가에 보급 될 경우 감자 선별에 필요한 인력이나 인건비를 줄이고 유통구조를 개선하는데 기여하여 생산자의 소득증대에 크게 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

- 1) 복제주군 농촌지도소, 1998. 원예작물.
- 2) 농림부, 1999., 전국감자재배현황.
- 3) 정창주, 1988. 농작업 기계학, 서울대학교 출판부.
- 4) 이태원, 1995., 임인철, 디지털 회로설계, 회중당.
- 5) 이장무, 1997. 동역학, 회중당.
- 6) 김영해, 1995. 센서 인터페이스, 기전연구소.