

컴퓨터 시각에 의한 곡물의 유동량 측정장치 개발

Development of a Computer Vision System to Measure Flow Rate of Various grains

이경환*

서상룡*

정희원

정희원

K.H.Lee

S.R.Suh

1. 서론

미래 산업의 자동화, 첨단화를 목표로 최근 컴퓨터는 관련 하드웨어의 저가격화 및 기능향상에 힘입어 발전을 거듭해오면서 산업의 많은 분야에서 활용되고 있다. 이 중 컴퓨터 시각(computer vision)기술은 대상체에 대한 객관적 판단이 요구되는 작업과 단순 반복되는 작업 그리고 작업환경이 좋지 못해 사람이 작업할 수 없는 여러 분야에서 그 적용 연구가 활발히 이루어지고 있다.

근래 국내 재배기술의 생략화 작업으로 파종기에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으나 현재 사용되고 있는 파종기는 기술적인 측면에서 여러 가지 문제점이 노출되고 있다. 즉 파종량과 시비량의 불확실한 조정에 의해 작업자는 작업중에도 가끔 파종상태와 적절한 파종량과 시비량을 확인하여야 하는 부담이 있다.

또한 각종 곡물 및 물질들을 공기컨베이어를 통해 운송하고 있지만 유동되는 곡물 및 물질을 monitoring하고 유동량을 측정할 수 있는 방법은 아직까지 연구가 활발히 이루어지고 있지 않는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 전술한 논의를 근거로 하여 컴퓨터 시각장치를 이용하여 연속적인 흐름과 불연속적인 흐름에서 유동된 곡물의 상태를 monitoring하고 그 유동량을 측정할 수 있는 알고리즘을 개발하여 그 측정성능을 파악하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험장치

2.1.1 컴퓨터 시각장치 하드웨어 구성

카메라 : 카메라는 셔터 속도($1/60 \sim 1/100,000$ sec)조절이 가능한 흑백 CCD 카메라(Kukjae Elec. Co. ; model CCN-132F)로서 적정 셔터 속도를 조사한 결과 그 속도는 $1/2000$ 임을 확인하였고, 그 상태에서 영상분석이 가능한 조명수준에 맞춰 조명장치를 구성

* 전남대학교 농과대학 농공학과(농업기계전공)

하였다.

조명장치 : 조명장치 설계의 주안점은 전구의 불빛이 가능한 난반사 되도록 하여 물체의 그림자가 형성되지 않도록 하였으며 물체에 대한 광량이 균일하도록 하였다. 조명은 100 W 용량의 백열등을 좌우로 3개씩 설치하였으며 그 결과 이 장치에 의한 조명은 약 11,400 Lux였다.

영상처리 하드웨어 : 영상 처리용 보드는 Imaging Technology 사의 PCVISIONplus Frame Grabber를 사용하였다. 이는 카메라에 포착한 영상 신호(아날로그 신호)를 디지털 데이터로 바꾸어 저장하고 처리하는 장치로서 제작회사에서 각종 함수의 모음(ITEX PCplus)을 제공하고 있으며 사용자는 이를 이용하여 필요한 알고리즘을 개발할 수 있도록 되어 있다. ITEX PCplus는 영상처리 관련 함수이며 MS-C 언어를 사용하는 소프트웨어로서 본 연구에서는 이를 이용하여 곡물의 둘레를 측정하고 계수할 수 있는 알고리즘을 개발하였다.

2.1.2 컴퓨터 시각장치 소프트웨어 구성

2.1.2.1 곡물의 계수 및 유동량 측정

곡물의 계수는 기초실험을 통하여 한 개 곡물을 다양한 시각에서 포착한 다음 곡물 영상의 둘레를 구하고, 또 2 또는 3 개 곡물이 다양한 형태로 겹쳐있을 경우 각각의 곡물 개수에 대한 곡물 영상의 둘레를 구한 다음 임의 실험에서 측정한 둘레가 어느 곡물 개수의 둘레에 해당하는지를 조사하여 구하였다.

곡물의 유동량은 낙하된 곡물의 총 개수에 예비실험을 통하여 구한 곡물 1개의 무게를 곱하여 구하였다.

2.1.2.2 영상처리 시간의 단축

본 연구에서는 영상처리 시간을 단축하여 곡물의 유동량 측정의 정확도를 높이기 위해서 종전에 영상기억장소에 저장하던 화소값을 컴퓨터 본체 RAM의 동적할당을 통해 컴퓨터의 주메모리에 저장하고 이 값을 이용하여 영상처리를 수행하도록 하였다. 그 결과 한 화면 처리시간은 종전 방법의 약 1/3 정도인 0.9 ~ 1.3 초 정도로 단축되었다.

2.1.3 신호발생 및 감지장치

광센서 : 광센서는 낙하하는 곡물과 같은 입자를 감지하는 장치로서 작업조건, 설치조건, 그리고 응답속도 등을 고려하여 발광부와 수광부가 일체로 된 Autonics사의 model BUD-50S로 결정하였다.

I/O card : I/O card는 광센서의 출력신호를 컴퓨터에 직접 입출력하는 장치로서 Axiom사의 24 bit용 model AX5224를 사용하였다. 컴퓨터와의 입출력은 주메모리의 일정부분을

할당하여 센서로부터 신호의 입력이 없을 때는 24 bit 모두가 1이지만 신호의 입력이 있게 되면 24 bit 중 마지막 bit가 0이 되도록 프로그램을 구성하여 곡물의 낙하상태를 감지하도록 하였다.

Pulse counter : Pulse counter는 광센서에서 발생한 신호를 입력받아 이를 계수하는 장치로서 본 연구에서는 건홍전기사의 model KPC-4D를 사용하였다. 센서에서 발생한 신호를 I/O card 및 pulse counter에서 입력 가능한 신호로 변환하기 위하여 일종의 센서 컨트롤러인 Autonics사의 model PA-12를 사용하였다.

2.1.4 컴퓨터 시각장치의 성능 실험장치

개발한 컴퓨터 시각장치의 하드웨어와 소프트웨어의 성능을 실험하기 위해서 곡물 낙하장치와 곡물이 유동하는 도관을 설치하였다.

곡물 낙하장치는 곡물의 유동량을 조절할 수 있도록 파종기(중앙공업의 model JS-8000S)의 곡물 배출장치와 DC 변속모터를 사용하여 구성하였다. 곡물 배출장치는 홈 롤러 방식으로서 사용되는 곡물에 따라 홈의 체적을 조절할 수 있도록 구성되어있다. DC 변속모터(Myung sung electric사의 model MNR-0432)는 공급되는 전류량에 따라 속도를 다양하게 변화시킬 수 있으며 용량은 0.1 Kw, 최대 회전수는 1750 rpm이다.

2.2 실험재료

본 실험에 사용한 곡물은 크기를 고려하여 들깨, 녹두, 벼, 팥, 검정콩, 동부 등의 곡물과 소형 통씨 감자로서 의도적으로 다양한 크기의 것을 선택하였다. 전처리 과정시 곡물의 색깔에 따라 배경과 곡물의 이치화 화소값이 달라지게 되므로 곡물의 색깔이 흑색(화소값 0)에 가까운 곡물 즉 팥, 검정콩, 동부에서는 배경 이치화 화소값은 255, 곡물 이치화 화소값은 0로 하였으며, 곡물의 색깔이 백색(화소값 255)에 가까운 곡물 즉 들깨, 녹두, 벼, 소형 통씨 감자에서는 배경 이치화 화소값은 0, 곡물 이치화 화소값은 255로 하였다.

2.3 실험방법

2.3.1 연속 흐름에서 곡물 유동량 측정 실험

본 실험은 곡물 배출장치에서 연속적으로 유동하는 곡물에 대하여 유동량 측정의 정확도를 파악하기 위한 실험이며 실험 대상 곡물 중 그 곡물 크기가 작아 연속 흐름의 특성이 있는 들깨, 녹두, 벼를 대상으로 실험하였다.

곡물 배출장치를 이용하여 다양한 유동량으로 곡물을 배출시킨 다음 이를 전자저울을 사용하여 측정한 곡물의 유동량과 본 연구에서 개발한 곡물 유동량 측정장치를 이용하여 측정한 결과와 비교하는 방법으로 수행하였다. 본 실험에 사용한 전자저울은 영국 W.QT.Averyita사의 모델 GC 62/60이었다.

컴퓨터 시각장치를 이용하여 연속 흐름에서 곡물의 유동량을 측정하는데 있어 주요 문제점은 유동하는 모든 곡물의 영상을 포착할 수 없다는 점이다. 그 이유는 본 연구에서 개발한 곡물 유동량 측정장치는 한 영상 화면을 분석하는데 1 초 내외가 소요되는데 이 시간 동안 곡물 배출장치에서 낙하하는 곡물의 도관내 이동거리는 곡물 종류에 따라 약간씩 차이가 있으나 대략적으로 약 1.3 m임에 비하여 본 연구에서 사용한 장치의 카메라가 포착할 수 있는 한 화면내 도관의 길이는 130 mm 정도의 비교적 짧은 길이이기 때문이다. 그러므로 매 1 초마다 포착한 영상자료로부터 실제 유동된 곡물의 총량을 계산하기 위해서 도관내 곡물의 이동속도를 확인한 다음 이를 적용하여 곡물의 유동량을 산출하여야 한다. 본 실험에 사용한 3 가지 곡물에 대해 도관내 곡물 이동속도를 조사한 결과 곡물에 따라 약간의 차이는 있었으나 평균 1.3 m/sec임을 확인하였고 이를 이용하여 다음식에 의해 곡물 유동량(g/sec)을 산출하였다. 그러나 다른 종류의 곡물을 사용하여 유동량을 측정할 경우 그 곡물의 낙하속도를 도관내에서 측정하여 다음식에 의해 곡물의 유동량을 산출하여야 한다.

$$\text{곡물의 유동량}(g/sec) = \left(\frac{\text{컴퓨터시각에 의해 측정된 곡물의 무게}(g)}{\text{컴퓨터시각에 의해 포착한 화면수}} \right) \times \left(\frac{\text{곡물의 낙하속도}(m/sec)}{\text{카메라에 포착된 도관의 수직길이}(m)} \right)$$

본 연구에서 곡물의 유동량 측정장치의 성능을 파악하기 위하여 조사한 정확도와 정밀도는 일반적으로 계측장비의 정확도와 정밀도를 나타낼 때 사용하는 것으로서 다음의 식(1)과 식(2)에 의해 구한 것이다.

$$Acc = | X_d - X_t | / X_t \times 100 \quad \text{-----} \quad (1)$$

여기서, Acc = 정확도

X_d = 측정값 중 최대 또는 최소치

X_t = 측정 길이의 진치

$$Prec = | X_m - X_t | / X_m \times 100 \quad \text{-----} \quad (2)$$

여기서, Prec = 정밀도

X_m = 관측값의 평균

2.3.2 불연속 흐름에서 곡물 유동량 측정 실험

본 실험은 위의 연속 흐름에서 곡물에 대한 실험과 마찬가지로 곡물의 유동량과 본 연구에서 개발한 곡물 유동량 측정장치로부터 측정된 결과와 비교한 방법으로 수행하였다. 다만 본 불연속 흐름에서 곡물의 유동량은 단위 시간당 곡물수로 측정하였으며 실험대상 곡물 중

그 크기가 비교적 큰 팥, 검정콩, 동부, 통씨 감자를 대상으로 실험하였다. 실험은 불연속 흐름에서 곡물의 낙하 간격 시간이 한 화면 분석시간보다 짧은 경우와 긴 경우로 나누어 수행하였다.

2.3.3 컴퓨터 시각과 광센서에 의한 곡물 유동량 비교 실험

본 연구에서 개발한 곡물 유동량 측정장치의 측정능력을 전술한 광센서에 의한 측정능력과 비교 실험하였다. 이는 근래 파종기에서 곡물의 낙하상태를 감지하는데 설치가 간단하고 가격이 저렴한 광센서가 많이 사용되고 있으므로 곡물의 도관에 광센서를 설치하고 이를 pulse counter와 연결하여 광학적인 방법에 의하여 곡물의 유동상태를 monitoring하도록 하므로써 개발한 곡물 유동량 측정장치와 광센서에 의한 곡물의 유동량 측정성을 비교 실험하였다. 실험은 곡물의 낙하 간격 시간이 1 sec이상인 불연속 흐름에서 한번에 다수의 곡물이 동시에 낙하되도록 곡물 낙하장치를 조정하여 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 연속 흐름에서 곡물 유동량 측정의 정확도

컴퓨터 시각을 이용하여 측정한 곡물의 유동량과 전자저울로 측정한 곡물의 유동량을 비교한 결과의 한예는 그림 3.1과 같다. 그림에서와 같이 컴퓨터 시각으로 분석한 유동량과 전자저울로 측정한 유동량간의 상관 관계는 들깨, 녹두, 벼의 경우에 각각 $Y = 0.88X + 0.05$ ($r^2=0.9691$), $Y = 0.98X + 0.01$ ($r^2=0.9624$), $Y = 1.13X - 0.10$ ($r^2=0.9519$)이며 평균 정확도는 각각 8.85, 5.91, 6.54 %로 분석되었다.

이러한 정확도를 유지하면서 측정가능한 유동량의 최대치는 약 4.5 g/sec 정도임을 알 수 있었고 그 이상의 범위에서도 측정은 가능하나 그 정확도는 낮아질 것으로 예상되었다.

3.2 불연속 흐름에서 곡물 유동량 측정의 정확도

곡물의 낙하 간격 시간이 컴퓨터 시각장치의 한 화면 영상 분석시간 보다 짧은 경우는 한 화면의 영상을 처리하는 동안 컴퓨터 시각장치의 FOV(Field of View)를 통과한 곡물은 감지할 수 없다. 따라서 유동량 측정의 정확도는 매우 낮아 곡물의 유동량을 측정하는데는 부적합하며 단지 유동되고 있는 곡물의 상태를 나타내거나 곡물의 겹침상태를 파악하는데 사용될 수 있는 것으로 판단되었다.

곡물의 낙하 간격 시간이 컴퓨터 시각장치의 한 화면 영상 분석시간 보다 긴 경우는 실제 낙하된 곡물의 유동량(개수/min)과 컴퓨터 시각장치를 이용하여 측정한 유동량(개수/min)을 비교 분석하였다.

불연속 흐름에서 실제 낙하된 곡물의 유동량(개수/min)과 컴퓨터 시각장치에 의해 측정된 결과의 한예는 그림 3.2와 같다. 그림에서와 같이 실제 곡물의 유동량과 컴퓨터 시각장치로 분석한 곡물의 유동량간의 상관 관계는 팥, 검정콩, 동부, 미니 통씨 감자의 경우에 각각 Y

= $0.85X + 0.98$ ($r^2=0.9770$), $Y = 0.95X - 0.43$ ($r^2=0.9547$), $Y = 0.97X - 0.80$ ($r^2=0.9889$), $Y = 0.96X - 0.59$ ($r^2=0.9657$)이며 평균 정확도는 각각 10.23, 6.23, 5.39, 6.73 %로 나타났다. 이러한 정확도를 유지하기 위한 최대 측정 가능 곡물 유동량은 약 60 개/min임을 알 수 있었다.

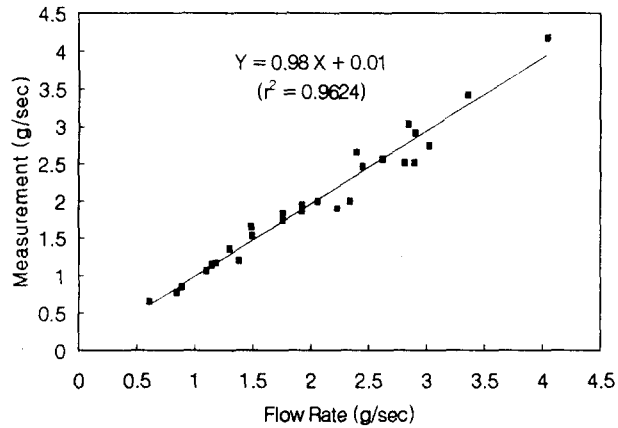


Fig. 3.1 Correlation between measured values by computer vision and directly measured values of mung bean flow rate in continuous flow

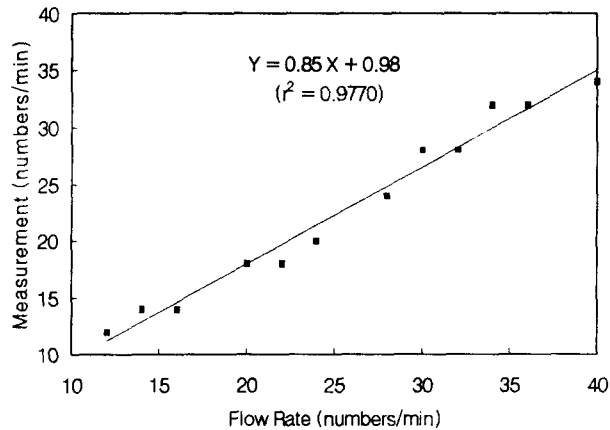


Fig. 3.2 Correlation between measured values by computer vision and directly measured values of small red bean flow rate in discontinuous flow

3.3 컴퓨터 시각과 광센서에 의한 곡물 유동량 측정 비교

컴퓨터 시각장치와 광센서를 이용하여 불연속 흐름에서 곡물의 유동량 측정을 비교한 결

과의 한에는 그림 3.3과 같다. 검정콩, 동부, 미니 통째 감자에 대해 곡물의 실제 유동량과 컴퓨터 시각장치에 의해 분석한 유동량 사이의 상관 관계는 $Y = 0.95X - 0.19$ ($r^2=0.9612$), $Y = 1.01X - 2.06$ ($r^2=0.9829$), $Y = 0.94X + 0.11$ ($r^2=0.9745$)이며 평균 정확도는 각각 5.64, 6.17, 4.92 %인 반면 곡물의 실제 유동량과 광센서로 측정된 유동량 사이의 상관 관계는 $Y = 0.76X + 0.68$ ($r^2=0.9204$), $Y = 0.88X - 2.75$ ($r^2=0.9766$), $Y = 0.89X - 0.26$ ($r^2=0.9627$)이며 평균 정확도는 각각 20.68, 20.70, 11.76 %로 분석되었다.

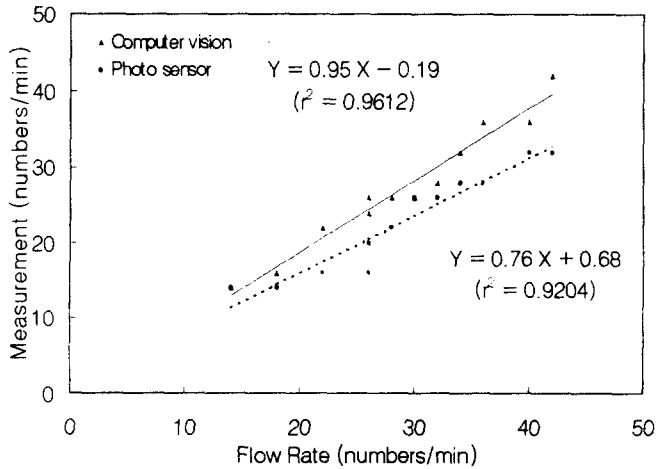


Fig. 3.3 Correlation between measured values by computer vision and photo sensor measured values of black soybean flow rate in discontinuous flow

4. 요약 및 결론

컴퓨터 시각장치를 이용하여 곡물의 유동량을 측정하기 위해서 곱친 곡물의 분석이 가능하며 그에 따라 곡물을 계수할 수 있는 알고리즘을 개발하여 그 측정장치의 측정성능을 실험한 결과와 이를 7종의 곡물에 적용하여 유동량을 분석한 실험 결과는 다음과 같다.

1. 곡물 유동량 측정의 정확도 실험 결과 연속 흐름에서 컴퓨터 시각장치로 분석한 유동량과 전자저울로 측정된 유동량간의 상관 관계는 들깨, 녹두, 벼의 경우에 각각 $Y = 0.88X + 0.05$ ($r^2=0.9691$), $Y = 0.98X + 0.01$ ($r^2=0.9624$), $Y = 1.13X - 0.10$ ($r^2=0.9519$)이며 평균 정확도는 각각 8.85, 5.91, 6.54 %로 나타났다. 이러한 정확도를 유지하기 위한 최대 측정 가능 곡물 유동량은 약 45 g/sec임을 알 수 있었다.

2. 불연속 흐름에서 곡물의 낙하 간격 시간이 컴퓨터 시각장치에 의한 한 화면 분석시간 (1초 내외) 보다 짧은 경우는 컴퓨터 시각장치에 의한 유동량 측정의 정확도는 매우 낮은 수준이었다.

3. 불연속 흐름에서 곡물의 낙하 간격 시간이 컴퓨터 시각장치에 의한 한 화면 분석시간보다 긴 경우는 곡물의 실제 유동량과 컴퓨터 시각장치로 분석한 곡물의 유동량간의 상관관계는 팥, 검정콩, 동부, 미니 통씨 감자의 경우에 각각 $Y = 0.85X + 0.98$ ($r^2=0.9770$), $Y = 0.95X - 0.43$ ($r^2=0.9547$), $Y = 0.97X - 0.80$ ($r^2=0.9889$), $Y = 0.96X - 0.59$ ($r^2=0.9657$)이며 평균 정확도는 각각 10.23, 6.23, 5.39, 6.73 %로 나타났다. 이러한 정확도를 유지하기 위한 최대 측정 가능 곡물 유동량은 약 60 개/min임을 알 수 있었다.

4. 컴퓨터 시각과 광센서를 이용하여 측정한 곡물의 유동량을 비교 분석한 결과는 검정콩, 동부, 미니 통씨 감자에 대해 곡물의 실제 유동량과 컴퓨터 시각장치에 의해 분석한 유동량 사이의 상관 관계는 $Y = 0.95X - 0.19$ ($r^2=0.9612$), $Y = 1.01X - 2.06$ ($r^2=0.9829$), $Y = 0.94X + 0.11$ ($r^2=0.9745$)이며 평균 정확도는 각각 5.64, 6.17, 4.92 %인 반면 곡물의 실제 유동량과 광센서로 측정한 유동량 사이의 상관 관계는 $Y = 0.76X + 0.68$ ($r^2=0.9204$), $Y = 0.88X - 2.75$ ($r^2=0.9766$), $Y = 0.89X - 0.26$ ($r^2=0.9627$)이며 평균 정확도는 각각 20.68, 20.70, 11.76 %로 나타났다.

5. 참고문헌

1. 김대호, 김경욱. 1996. 파종기용 파종 감시 장치 개발. 한국농업기계학회지 21(3) : 306-314.
2. 김태환. 1995. 미니 스프링클러의 분무입자 크기 및 분무분포 상대 분석. 전남대학교 석사학위논문
3. 이용국, 오영진, 이대원. 1996. 관리기용 다목적 파종기 개발. 한국농업기계학회지 21(1) : 3-9
4. Foster, M. et al. 1995. Detection and Counting of Uneaten Food Pellets in a Sea Cage Using Image Analysis. Aquacultural Engineering 14(3) : 251-269.
5. Savage, C. R., R. J. Petrell and T. P. Neufeld. 1994. Underwater Fish-video Images : Image Quality and Edge Detection Techniques. Canadian Agricultural Engineering 36(3) : 175-183.
6. Tai, Y. W., P. P. Ling and K. C. Ting. 1994. Machine Vision Assisted Robotic Seedling Transplanting. Trans. of the ASAE 37(2) : 661-667.
7. Woebbecke, D. M. et al. 1995. Shape Features Identifying Young Weeds Using Image Analysis. Trans. of the ASAE 38(1) : 271-281.