

컴퓨터 시각에 의한 고형 입자의 소량 유동을 측정장치 개발

Development of a Computer Vision System to Measure Low Flow Rate of Solid Particles

이 경 환* 서 상 룡* 문 정 기**
정회원 정회원 정회원
K. H. Lee S. R. Suh J. G. Moon

ABSTRACT

A computer vision system to measure low flow rate of solid particles was developed and tested to examine its performance with various sized 7 kinds of seeds, perilla, mung bean, paddy, small red bean, black soybean, Cuba bean and small potato tuber. The test was performed for two types of particle flow, continuous and discontinuous.

For the continuous flow tested with perilla, mung bean and paddy, the tests resulted correlation coefficients for the flow rates measured by the computer vision and direct method about 0.98. Average errors of the computer vision measurement were in a range of 6~9 %.

For the discontinuous flow tested with small red bean, black soybean, Cuba bean and small potato tuber, the tests resulted correlation coefficients for the flow rates measured by the computer vision and direct method 0.98~0.99. Average errors of the computer vision measurement were in a range of 5~10%.

Performance of the computer vision system was compared with that of the conventional optical sensor to count particles in discontinuous flow. The comparison was done with black soybean, Cuba bean and small potato tuber, and resulted that the computer vision has much better performance than the optical sensor in a sense of precision of the measurement.

주요용어(Key Words): 입자 유량(particle flow rate), 컴퓨터 시각(computer vision), 유량 측정(measurement of flow rate), 측정의 정확도(precision of measurement)

1. 서 론

최근 컴퓨터는 관련 하드웨어의 기능향상 및 저가 격화에 힘입어 발전을 거듭해 오면서 산업의 많은 분야에서 활용되고 있다. 이 중 영상처리(image

processing) 기술을 이용한 컴퓨터 시각(computer vision) 또는 기계시각(machine vision)은 물체 형상과 색깔에 관한 객관적 판단이 요구되는 작업과 그러한 작업이 반복되는 작업 그리고 작업환경이 좋지 못해 사람이 작업할 수 없는 분야에서 그 응용 연구가 활

* 전남대학교 농과대학 농공학과 농업기계전공

** 한국기계연구원 산업설비연구부

발히 이루어지고 있다.

농업기계 분야에 있어서도 컴퓨터 시각을 이용한 다양한 기술이 개발되고 있는데, 이러한 기술은 곡물 가공 기계 또는 장치 내에서 소량으로 유동하는 곡물 또는 고형입자(이하 “입자”로 약칭함)의 시각적 정보를 수집하여 관련 작업의 원활한 수행여부를 판단하는 장치로 활용하거나 또는 수종의 농업기계 개발시 낙하하는 소량의 곡물 또는 입자의 유동율을 측정하는 목적으로 사용할 수 있을 것이다. 예를 들면, 파종기와 같은 농업기계 개발에 있어 종자와 비료의 유동율 측정 또는 조절에 이러한 기술은 직접 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

이에 따라 본 연구는 유동하는 입자사이의 간격이 매우 짧아 입자가 연속적으로 접해있는 것과 같은 연속흐름형태와 유동하는 입자사이의 간격이 비교적 커 각각의 입자 형태가 확연히 구분되는 불연속 흐름형태에서 컴퓨터 시각장치를 이용하여 입자의 유동 상태를 모니터링하고 그 유동율을 측정하는 시스템을 개발하는 목적을 갖고서 관련 하드웨어를 구성하고, 이의 알고리즘을 개발한 다음 개발한 시스템의 입자 유동율 측정성능을 파악하는 과정으로 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험 재료

본 실험에 사용한 입자는 각각의 입자가 비교적 일정한 크기를 갖는 들깨, 녹두, 벼, 팥, 검정콩, 동부와 소형 통씨 감자로서 이는 의도적으로 다양한 크기의 것을 선택한 것이다. 그런데 이들 입자의 표면 색깔은 백색에 근접한 것으로부터 흑색에 가까운 다양한 색깔의 것으로서 영상분석을 위한 전처리로서 이치화상(binary image) 변환시 입자의 색깔에 따라 입자와 배경의 이치화 화소값은 각 시료의 표면 색깔을 고려하여 변환하였다.

나. 실험 장치

1) 컴퓨터 시각장치

본 연구에서 구성한 컴퓨터 시각장치의 하드웨어는 영상 포착용 카메라, 조명장치, 영상처리장치, 입자 감지장치로 구성하였으며 그 구체적인 사양은 다음과 같다.

- 카메라 : 본 연구에서 사용한 카메라는 유동하는 입자의 2차원 정지 영상 획득이 가능하도록 셔터 속도 조절이 가능한 흑백 CCD 카메라(국제전자(주)의 모델 CCN-132F)를 사용하였다. 본 카메라의 셔터 속도는 1/60~1/100,000 초의 범위에서 그 조절이 가능한 것으로서 예비실험에서 중력 낙하하는 물체의 정지 영상을 얻을 수 있는 최저속의 셔터 속도를 조사한 결과 그 속도는 1/2,000초 내외임을 확인하였다.

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

- 영상처리장치 : 실험에 사용한 영상처리용 하드웨어는 Imaging Technology사의 PC Vision plus를 사용하였다. 이는 카메라가 포착한 영상 신호(아날로그 신호)를 디지털 데이터로 바꾸어 저장하고 처리하는 장치이다. 이의 소프트웨어 개발을 위하여 본 하드웨어 제작회사는 각종 함수의 모음인 ITEX PCplus를 제공하였는데 이는 MS-C 언어를 사용하는 소프트웨어로서 본 연구에서는 이를 이용하여 후술한 내용의 영상처리에 필요한 알고리즘을 개발하였다.

- 입자 감지장치 : 입자가 한 개 또는 수 개씩 집단적으로 유동(불연속 유동으로 칭함)할 경우 입자의 영상을 분석하기 위해서는 먼저 카메라에 의한 입자 영상의 정확한 포착이 중요하다. 이를 위해서

는 먼저 유동하는 입자를 감지하는 것이 중요하므로 본 연구에서는 이를 위하여 입자의 유동로에 광센서를 설치하였는데, 이는 국내 Autonics사의 모델 BUD-50S로서 이는 발광부와 수광부가 일체로 된 것이다. 광센서의 출력신호를 컴퓨터에 입력하기 위하여 본 연구에서는 Axiom사의 24 bit용 I/O card인 모델 AX5224을 사용하였다. 광센서에서 발생한 펄스를 입력받아 이를 계수하기 위하여 본 연구에서는 건흥전기사의 모델 KPC-4D인 펄스카운터를 사용하였다. 광센서에서 발생한 신호는 I/O card 및 펄스카운터에 입력 가능한 신호로 변환하였는데 이를 위하여 본 연구에서는 일종의 신호 변환기인 Autonics사의 모델 PA-12를 사용하였다.

2) 개발 장치의 성능 실험장치

개발한 입자 유동을 측정용 컴퓨터 시각장치의 하

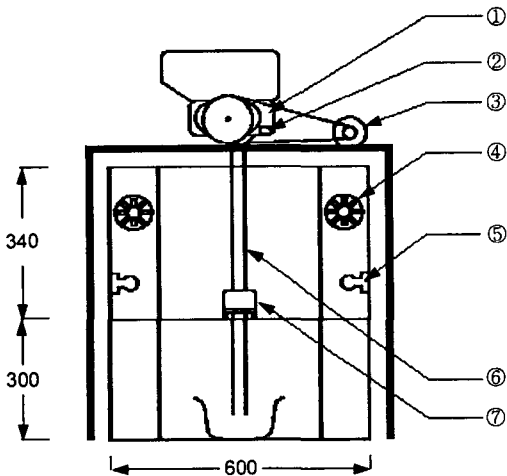
드웨어와 소프트웨어의 성능을 실험하기 위해서 입자 유동장치와 영상수집용 카메라를 설치한 입자도관을 다음과 같이 제작하였다. 입자 유동장치는 입자가 자중에 의해 자유낙하하도록 한 것으로서 이는 중앙공업사의 곡물 파종기(모델 JS-8000S)의 입자 배출장치를 분리하여 사용하였다. 이 입자 배출장치는 홈 롤러 방식으로서 입자에 따라 홈의 크기를 변경하는 구조의 것이다. 이 입자 배출장치는 용이한 배출 입자량 조절을 위하여 이의 구동 동력원으로서 DC 변속모터(명성전기사의 모델 MNR-0432)를 사용하였다. 사용한 DC 변속모터는 공급되는 전류량에 따라 그 회전속도를 다양하게 변화시킬 수 있는 것으로서 출력과 최대 회전속도는 각각 0.1 kW와 1,750 rpm의 것이었다.

다. 실험방법

입자 배출장치에서 연속적 또는 불연속적으로 낙하하는 입자의 유동을 측정의 정확도를 파악하고자 입자 배출장치를 이용하여 다양한 유동율로 입자를 배출시킨 다음 이를 본 연구에서 개발한 컴퓨터 시각장치와 실측(불연속 유동의 경우) 또는 전자저울(연속 유동의 경우)을 사용하여 각각 측정한 후 그 유동율을 비교하였다. 본 실험에 사용한 전자저울은 영국 W. QT. Averyita사의 모델 GC 62/60로서 판독 기본단위는 0.01g이었다.

불연속 유동의 경우, 본 연구에서는 개발한 입자 유동을 측정장치의 측정능력을 진술한 광센서에 의한 측정능력과 비교 실험하였다. 여기서 사용한 광센서는 설치가 간단하고 가격이 저렴한 것으로서 근래 파종기에 입자의 낙하상태를 감지하는데 많이 사용되고 있는데 본 실험은 그 성능을 비교하기 위함이었다.

본 연구에서 입자의 유동을 측정장치의 성능을 파악하기 위하여 조사한 정확도는 일반적으로 계측장비의 정확도를 나타낼 때 사용하는 것으로서 다음의



- Unit : mm
- ① : Grain discharging system
 - ② : Optical sensor
 - ③ : DC motor
 - ④ : Cooling fan
 - ⑤ : Incandescent Lamp(3×2)
 - ⑥ : Discharging tube
 - ⑦ : Camera

Fig. 1 Experimental system for measuring flow rate of solid particles using the image processing system.

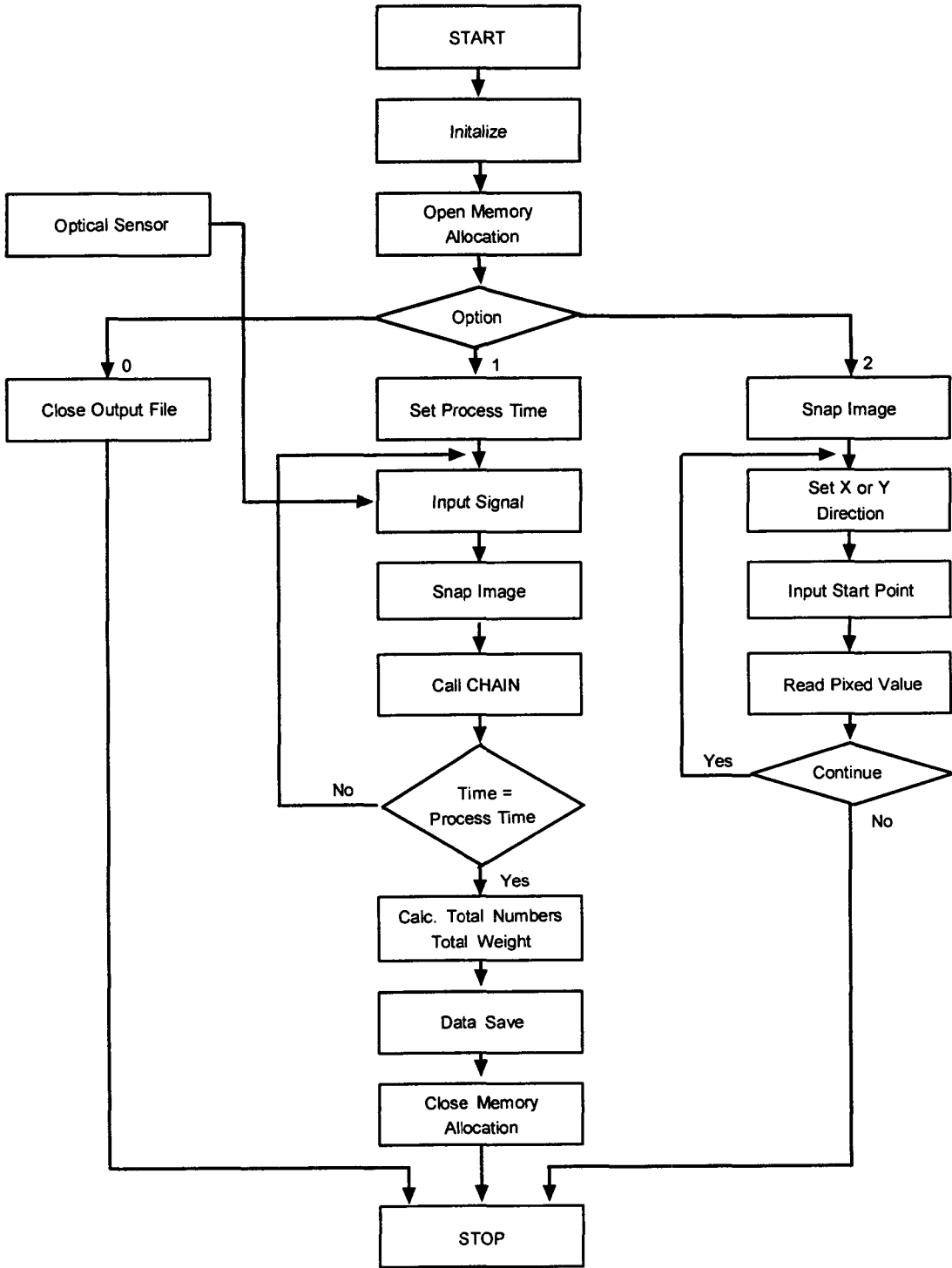


Fig. 2 Flow chart of the whole program.

식(1)에 의해 구한 것이다.

$$Acc = | X_d - X_t | / X_t \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

여기서, Acc = 측정의 평균 오차 또는 정확도
 X_d = 측정값 중 최대 또는 최소치
 X_t = 측정 값의 진치

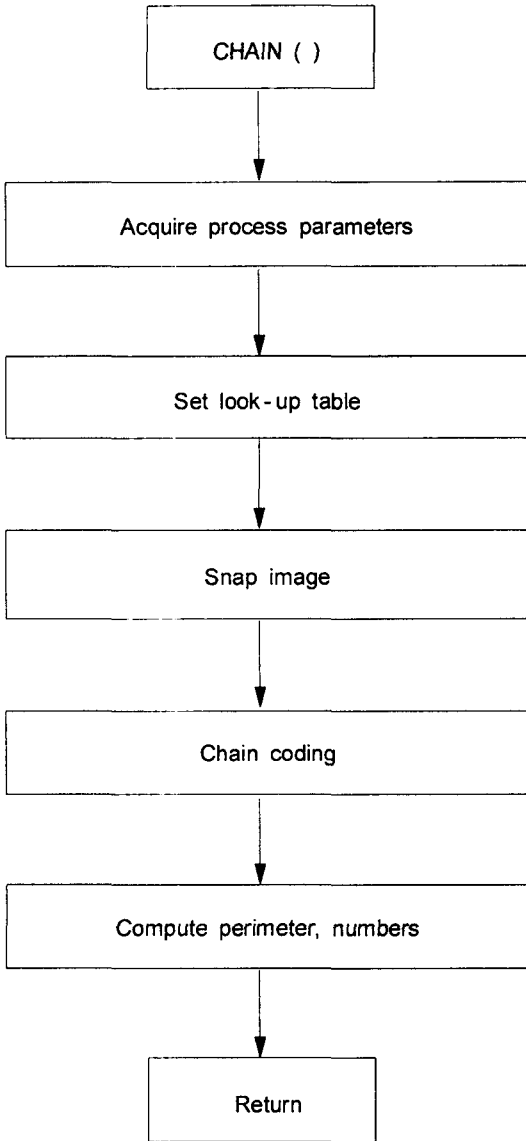


Fig. 3 Flow chart of the subroutine, CHAIN.

3. 컴퓨터 시각장치 소프트웨어 구성

가. 영상 포착방법 구분

컴퓨터 시각장치를 이용하여 입자 유동율을 측정하는 영상처리장치의 소프트웨어를 개발하고자 먼저 실험 대상 입자의 유동 상태를 관찰한 결과, 그 형태는 유동하는 입자 낱알의 분포에 따라 전술한 불연속 유동과 입자 낱알들의 유동상태가 대체로 시간에 따른 차이가 적은 상태를 유지하며 유동하는 연속 유동의 두 가지 종류로 구분됨을 확인하였다. 즉, 전술한 성능실험장치에 의한 중력 자유낙하시 실험재료 중 들깨, 녹두, 벼는 그 크기가 작아 연속 유동의 특성이 있는 반면 쌀, 검정콩, 동부, 통깨 감자는 그 크기가 비교적 커 불연속 유동의 특성이 관찰되었다.

본 연구에서는 전술한 입자의 두 가지 유동특성을 고려하여 입자 영상의 포착방법을 다음과 같이 달리 하였다. 즉, 불연속 유동의 경우는 전술한 광학적 입자 감지 장치의 발생 신호에 의하여 영상을 포착하도록 하였고, 연속 유동의 경우는 일정 시간 간격으로 영상을 포착하도록 하였다.

나. 화면내의 입자 수와 질량 산출

이러한 방법으로 포착한 2차원 영상의 한 화면내 입자의 전질량을 계량하는 영상처리 알고리즘은 먼저 화면내 입자의 수를 계수한 다음 연속 유동시에 이에 낱알 입자의 평균 질량을 고려하여 화면내 입자의 전질량을 구하도록 하였다.

화면내 입자의 수는 영상처리의 전처리 방법인 임계값 처리법(thresholding)을 적용하여 이치화상을 얻은 다음 (전처리로서 이치화상 변환시 입자와 배경의 이치화 화소값은 각 시료의 표면 색깔을 고려하여 입자의 색깔이 흑색에 가까운 입자인 쌀, 검정콩, 동부에 대해서는 입자와 배경 화소값을 각각 0과

255, 그리고 입자의 색깔이 백색에 가까운 입자인 들깨, 녹두, 벼, 소형 통씨 감자는 각각 255와 0으로 하였음) 화면내 각 입자 영상의 수를 계수하여 구하도록 구성하였다.

이러한 방법 적용에 있어서 주의할 점은 카메라가 포착한 2차원 영상에서는 2개 또는 3개 입자의 영상이 겹쳐져 하나의 입자로 인식되고 그에 따라 유동을 측정오차의 주원인이 되는 점이었다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 각 입자 영상에 chain coding 기법을 적용하여 각 입자 영상의 둘레를 구한 다음 입자영상의 겹침 여부를 파악하여 그 수를 구하였다. 즉, 화면내 입자의 수는, 사전에 기초실험을 통하여 1, 2, 3개 입자를 대상으로 다양한 방향의 시각과 다양한 형태의 겹침에 대하여 각각 그 영상의 둘레를 구한 다음 이를 실제 측정과정에서 측정한 입자 영상의 둘레와 비교하여 해당 영상이 몇 개 입자의 둘레에 해당하는가를 결정하여 구하였다.

다. 입자 유동을 결정

입자 유동율은 전술한 영상 포착 시간간격 정보와 산출한 화면내의 입자의 수 또는 질량 산출 자료로부터 구하였다.

불연속 유동의 경우 입자 유동율의 결정은 연속 유동에 비하여 용이하였다. 이 경우 입자 유동율은 입자 감지장치로부터 수집한 각 입자간의 시간간격 정보와 동 시간 동안 수집한 모든 영상내의 입자 수의 누적량으로부터 구하였다.

연속 유동의 경우 입자 유동율을 결정하는데 있어 주요 문제점은 유동하는 모든 입자의 영상을 포착할 수 없다는 점이다. 그 이유는 본 연구에서 사용한 영상처리장치는 한 화면을 분석하는데 1초 내외가 소요되는데 이 시간 동안 입자는 유동속도에 따라 차이가 있으나 상당거리를 이동하기 때문에 유동하는 모든 입자의 영상을 포착할 수 없다. 따라서 일정시간

간격으로 포착한 영상은 유동하는 입자의 일부분으로서 이를 이용하여 유동율을 결정하기 위해서는 입자 유동속도에 관한 정보가 필수적이다. 일반적으로 농기계에서 적용하는 입자의 유동율은 입자의 유동속도가 일정한 일종의 정상류(steady flow) 형태의 유동율이므로 본 연구는 그 측정 대상을 일정한 유동속도를 갖는 입자의 유동으로 한정하였고 그 유동율은 다음과 같은 수식(2)로부터 산출하였다.

$$m = G v / c \dots\dots\dots (2)$$

- 여기서, m = 입자 유동율 (g/sec)
- G = 화면내의 입자 전량 (g)
- c = 화면의 입자 이동방향 길이 (m)
- v = 입자 이동속도 (m/sec)

4. 결과 및 고찰

가. 연속 유동 입자의 유동을 측정

연속 유동 입자의 유동율 측정 결과의 예로서 녹두를 대상으로 컴퓨터 시각을 이용하여 측정한 입자의 유동율과 전자저울로 측정한 입자의 유동율을 비교한 결과는 그림 4와 같다. 그림과 같이 컴퓨터 시각과 전자저울로 각각 측정한 유동율간의 상관계수는 0.981, 측정의 평균 오차는 5.9%로 분석되었다. 들깨와 벼의 경우 컴퓨터 시각과 전자저울로 각각 측정한 유동율간의 상관계수는 각각 0.984, 0.976이고 측정의 평균 오차는 각각 8.9%, 6.5%로서 상관계수와 평균오차 공히 녹두의 결과와 거의 비슷한 수준의 결과를 나타냈다.

나. 불연속 유동 입자의 유동을 측정

불연속 유동 입자의 유동율 측정 결과의 예로서 팥을 대상으로 그 유동율(개/min)을 컴퓨터 시각장치

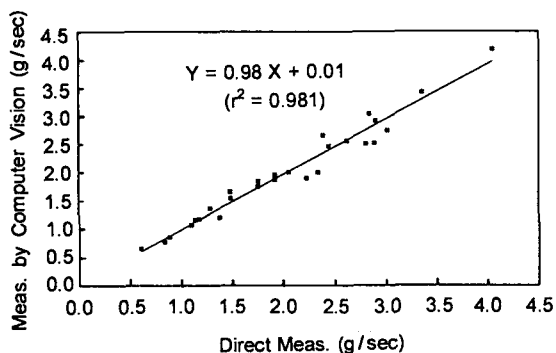


Fig. 4 Correlation between measurement by computer vision and direct measurement of mung bean in continuous flow.

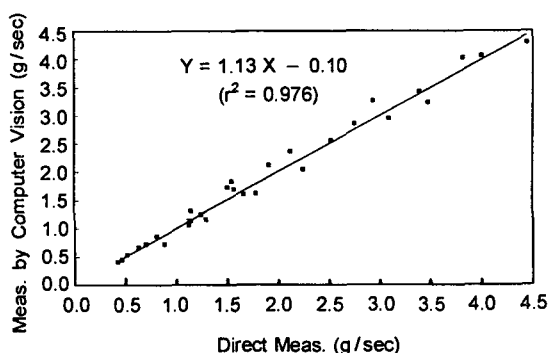


Fig. 6 Correlation between measurement by computer vision and direct measurement of paddy in continuous flow.

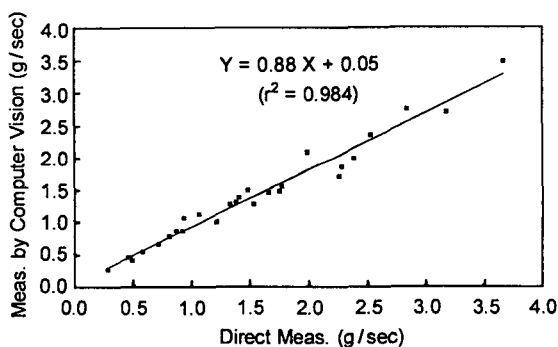


Fig. 5 Correlation between measurement by computer vision and direct measurement of perilla in continuous flow.

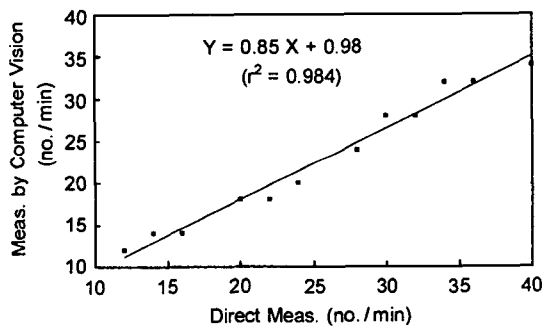


Fig. 7 Correlation between measurement by computer vision and direct measurement of small red bean in discontinuous flow.

와 실측에 의해 측정된 결과를 비교한 것은 그림 7과 같다. 그림과 같이 컴퓨터 시각장치로 측정된 유동율과 실측 유동율간의 상관계수는 0.984, 측정 평균 오차는 10.2%로 분석되었다. 검정콩, 동부, 미니 통씨 감자의 경우 컴퓨터 시각장치로 측정된 유동율과 실측 유동율간의 상관계수는 각각 0.977, 0.994, 0.983로서 대체로 팔의 측정 결과와 비슷한 수준으로 나타났다. 측정의 평균오차는 각각 6.2%, 5.4%, 6.7%로서 팔의 평균오차보다 상당히 낮은 결과를 보였다. 이러한 실험 결과를 연속 유동 입자의 측정 결과와 비교한 결과 대체로 비슷한 결과임을 알 수 있었다.

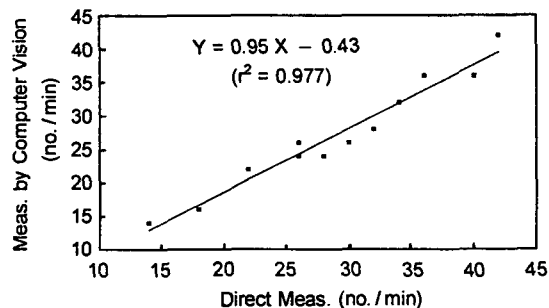


Fig. 8 Correlation between measurement by computer vision and direct measurement of black soybean in discontinuous flow.

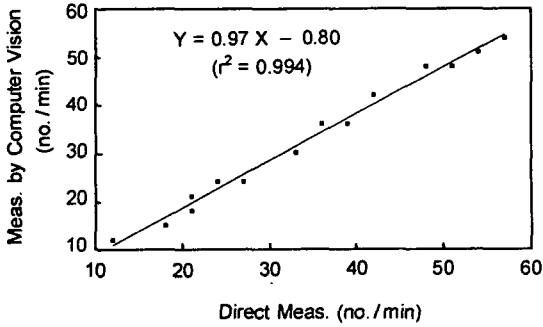


Fig. 9 Correlation between measurement by computer vision and direct measurement of Cuba bean in discontinuous flow.

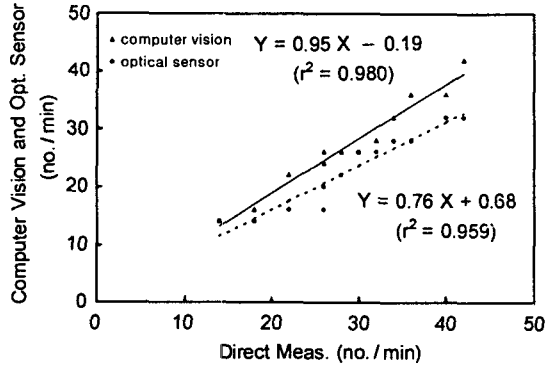


Fig. 11 Correlation between measurement by computer vision and optical sensor of black soybean in discontinuous flow.

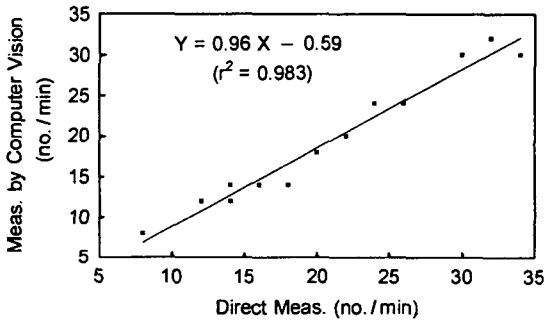


Fig. 10 Correlation between measurement by computer vision and direct measurement of small potato tuber in discontinuous flow.

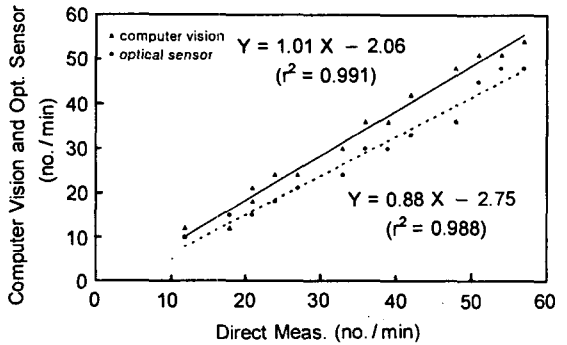


Fig. 12 Correlation between measurement by computer vision and optical sensor of Cuba bean in discontinuous flow.

다. 컴퓨터 시각과 광센서에 의한 입자 유동을 측정 비교

본 연구에서 개발한 컴퓨터 시각장치와 시판되고 있는 광센서를 이용하여 검정콩을 대상으로 다수의 입자가 동시에 유동하는 불연속 유동에서 그 유동율을 측정하고 그 결과를 실측에 의한 직접 측정 결과와 비교한 것은 그림 11과 같다. 그림과 같이 컴퓨터 시각장치와 실측 그리고 광센서와 실측에 의한 측정 결과의 상관계수는 각각 0.980, 0.959로서 컴퓨터 시각장치에 의한 측정이 광센서에 의한 측정 결과보다

우수한 것으로 나타났다. 이상의 실험에 있어 측정의 평균오차를 상호 비교한 결과 각각 5.6%, 20.7%로서 다수의 입자가 동시에 유동하는 흐름형태에서는 컴퓨터 시각장치가 광센서 보다 정확한 것으로 나타났다.

동일한 실험을 동부를 대상으로 수행한 결과, 컴퓨터 시각장치와 실측 그리고 광센서와 실측에 의한 측정 결과와의 상관계수는 각각 0.991, 0.988이었고, 측정의 평균오차는 각각 6.2%, 20.7%로서 앞의 검정콩을 대상으로 한 실험 결과와 비슷한 결과를 나타냈다. 미니 통썬 감자를 대상으로 실험한 결과를 보

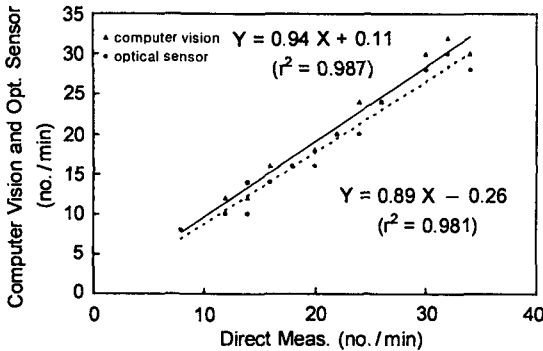


Fig. 13 Correlation between measurement by computer vision and optical sensor of small potato tuber in discontinuous flow.

면, 컴퓨터 시각장치와 실측 그리고 광센서와 실측에 의한 측정 결과의 상관계수는 각각 0.987, 0.981 이었고, 측정의 평균오차는 각각 4.9%, 11.8%로서 역시 검정콩을 대상으로 한 실험 결과와 비슷한 결과를 나타냈다.

이러한 결과의 원인을 분석하기 위하여 실험결과를 분석한 결과, 그림과 같이 컴퓨터 시각장치의 측정값은 항상 실측에 의한 측정값과 비슷한 결과를 나타낸 반면 광센서에 의한 측정값은 항상 컴퓨터 시각장치나 실측에 의한 측정값보다 적은 값을 나타냈음을 알 수 있었다. 이러한 결과와 각 측정장치의 주요 측정 특성을 고려한 결과, 컴퓨터 시각이나 광센서가 불연속적으로 동시에 유동하는 입자의 집단은 정확히 포착하나 한 집단내 입자수를 계수하는 능력은 컴퓨터 시각장치가 광센서보다 우수하여 나타난 결과로 판단되었다.

5. 결 론

소량의 고휘입자의 유동율을 측정할 수 있는 컴퓨터 시각장치의 하드웨어를 구성하고 관련 알고리즘을 개발한 다음 그 측정장치에 의한 입자 유동율 측정성능을 들깨, 녹두, 벼, 팥, 검정콩, 동부와 소형 통

씨 감자 7종의 입자에 적용하여 실험한 결과는 다음과 같다.

가. 입자의 유동이 연속적 유동 특성이 있는 경우, 들깨, 녹두, 벼를 대상으로 실험한 결과 컴퓨터 시각으로 측정된 유동율과 전자저울로 실측한 유동율간의 상관 관계는 상관계수가 0.98 내외이고, 측정의 평균오차는 6~9% 범위로 분석되었다.

나. 입자의 유동이 불연속적 유동 특성이 있는 경우, 팥, 검정콩, 동부, 미니 통씨 감자를 대상으로 실험한 결과 컴퓨터 시각으로 측정된 입자의 유동율과 실측한 입자 유동율간의 상관 관계는 상관계수가 0.98~0.99 수준이고, 측정의 평균 오차는 5~10% 범위로 분석되었다.

다. 다수의 입자가 동시에 유동하는 불연속적 유동 특성이 있는 경우, 본 연구에서 개발한 컴퓨터 시각과 시판되고 있는 광센서로 각각 검정콩, 동부, 미니 통씨 감자를 대상으로 측정된 입자의 유동율에 대하여 측정의 평균 오차를 비교한 결과, 컴퓨터 시각의 평균 오차는 대체로 5~7%인 반면 광센서는 12~20%의 범위로서 컴퓨터 시각이 광센서에 비하여 우수한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 김대호, 김경욱. 1996. 파종기용 파종 감시 장치 개발. 한국농업기계학회지 21(3):306-314.
2. 김태환. 1995. 미니 스프링클러의 분무입자 크기 및 분무분포 상태 분석. 전남대학교 석사학위논문.
3. 서상룡 외 4인. 1994. 컴퓨터 시각에 의한 분무입자의 크기와 분무량 측정법 개발. 한국농업기계학회지 19(4):369-379.
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 trans-planting. Trans. of the ASAE 37(2):661-667.
7. Wuebbecke, D. M. et al. 1995. Shape features identifying young weeds using image analysis. Trans. of the ASAE 38(1):271-281.