

기계시각을 이용한 박과채소 종자 정렬파종시스템 개발

김동억 조한근 장유섭 김종구 김현환 손재룡

Development of an Automatic Seeding System Using Machine Vision for Seed Line-up of Cucurbitaceous Vegetables

D. E. Kim H. K. Cho Y. S. Chang J. G. Kim H. H. Kim J. R. Son

Abstract

Most of the seeds of cucurbitaceous rootstock species used for grafting were mainly sown by hand. This study was carried out to develop an on-line discriminating algorithm of seed direction using machine vision and an automatic seeding system. The seeding system was composed of a supplying device, feeding device, machine vision system, reversing device, seeding device and system control section. Machine vision was composed of a color CCD camera, frame grabber, image inspection chamber, lighting and personal computer. The seed image was segmented into a region of seed part and background part using thresholding technique in which H value of HSI color coordinate system. A seed direction was discriminated by comparing position between the center of circumscribed rectangle to a seed and the center of seed image. It took about 49ms to identify and redirect seed. Line-up status of seed was good the more than 95% of a sowed seed. Seeding capacity of this system was shown to be 10,140 grains per hour, which is three times faster than that of a typical worker.

Keywords : Seeding system, Machine vision, Cucurbitaceous vegetables

1. 서론

육묘는 종자의 파종에서부터 정식에 이르기까지 일정기간 동안 정식하기에 가장 적합한 묘를 키워내는 일련의 작업과정이다. 대부분의 채소작물은 육묘기간 동안 영양생장과 생식생장이 동시에 진행된다. 특히 과채류의 경우에 있어서는 육묘기의 충실도가 정식 후의 생육에 큰 영향을 미친다. 따라서 고품질 다수확을 위해서는 양질의 모종 육성이 선행되어야 한다. 그런데 농가마다 육묘기술에 차이가 있으며, 농가가 직접 육묘할 경우에 불량묘의 발생률이 20% 이상으로 육묘 효율이 낮고 묘소질 또한 불균일하기 때문에 작황의 불안정으로 이어지는 예가 많다. 그래서 채소·화훼 농가에서는 육묘

를 생략하고 묘를 구입하여 이용하고 있다(농림부, 1998). 이러한 추세와 더불어 90년대 들어 전문적인 육묘시설을 갖춘 공정육묘장에서 육묘가 이루어지고 있으며, 2005년 현재 137개소(74 ha)가 운영되고 있다(농촌진흥청, 2006).

농촌진흥청(1989)에서는 수박종자와 대목종자를 파종하는 요령으로 상자파종이나 육묘상에 직접 파종하는 경우에 줄 사이 3~4 cm, 종자간격을 2 cm로 종자를 옆으로 하여 점파를 하면 발아 후에 떡잎이 가지런히 전개된다고 하였다. 김 등(2004)은 종자방향을 일정

하게 파종하여 작물과 작물사이의 간격이 일정하게 되면 모든 작물에 동일한 광합성 및 영양분이 골고루 섭취되어 건전모 생산 및 충실한 열매가 결실된다고 하였다

The article was submitted for publication in April 2007, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in June 2007. The authors are Dong Eok Kim, Researcher, KSAM member, National Institute of Agricultural Engineering, RDA, Suwon, Korea, Han Keun Cho, Professor, Dept. of Biosystem Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Korea, Yu Seob Chang, Senior researcher, KSAM member, Jong Goo Kim, Researcher, KSAM member, Hyeon Hwan Kim, Researcher, KSAM member, and Jae Ryoung Son, Researcher, KSAM member, National Institute of Agricultural Engineering, RDA, Suwon, Korea. Corresponding author: D. E. Kim, Researcher, Production Machinery Division, National Institute of Agricultural Engineering, 249, Seodun-dong, Kwonsun-ku, Suwon City, 441-100, Korea; Fax: +82-31-190-1900; E-mail: <kdel206@rda.go.kr>.

그러기 위해서는 여러 가지 생육환경조건을 최적으로 유지하여야 함은 물론이거니와 우선적으로 해결하여 할 과제로서 파종할 때 씨앗의 파종위치와 방향이 고려되어야 한다. 대립종자의 경우는 소립종자와 달리 같은 방향으로 정렬하면서 파종하더라도 종자의 놓인 상태에 따라 씨이 올라오는 위치가 판이하게 다르다(山田久也, 2004). 小林(2003)은 카메라로 종자 영상을 취한 후 영상처리에 의해 종자단으로부터 일정거리 떨어진 위치의 종자폭을 비교하여 폭이 좁은 쪽을 배아측으로 판정하였다. 김(2004) 등은 종자의 씨눈위치를 맞추어 파종하기 위해서 씨눈 쪽과 씨눈 반대쪽으로부터 일정거리 떨어진 위치까지의 사각형의 관심영역내의 이치화된 영상의 면적의 대소를 비교하여 종자의 씨눈위치를 판정하는 알고리즘을 개발하고 판정실험을 한 결과, 종자가 0°, 15° 기울어진 경우에는 판정 정확도가 100%이었으나, 30°기울어진 경우에는 판정 정확도가 77.8~94.4%로 나타났다고 하였다. 본 연구에서는 대립종자의 씨눈이 일정한 방향을 향하도록 파종하기 위하여 기계시각을 이용하여 종자의 놓인 각도에 관계없이 씨눈이 위치하는 방향을 정확히 판별할 수 있는 알고리즘과 종자의 씨눈이 일정한 방향을 향하도록 정렬파종하는 종자정렬 파종시스템을 개발하고 그 성능을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

실험에 사용된 종자는 박의 대목으로 주로 사용하는 참박, 참외의 대목으로 주로 사용하는 특토좌, 오이의 대목으로 주로 사용하는 흑중호박 종자로 각 종자의 모양은 그림 1과 같다. 색상이 흰색인 특토좌나 색상이 옅은 검은 색인 흑중호박의 씨앗이 타원형인데 비해 색상이 연미색인 참박은 씨눈 쪽에서 뒤쪽으로 가면서 볼록해지다가 다시 오목하게 들어가

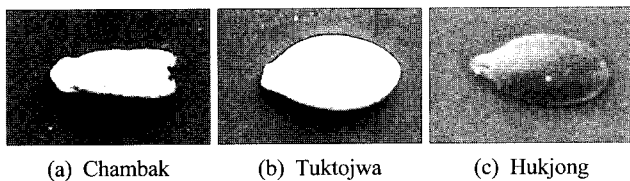


Fig. 1 Pictures of seeds used in experiment.

고 씨는 반대쪽은 가운데 부분이 오목하게 들어가는 형상을 하고 있다. 표 1은 시험에 사용한 종자의 특성이다.

나. 판별 알고리즘

종자의 방향을 판별하기 위해서는 배아가 있는 쪽의 모양과 반대편의 모양의 차이를 구별하기 위한 측정이 이루어져야 한다. 이 연구에서는 영상으로부터 종자에 접하는 사각형의 설정, 외접사각형의 중심 및 종자영역의 도심위치 탐색, 배아위치의 판별 순으로 이어지는 방향판별알고리즘을 개발하였다.

CCD 카메라로부터 입력된 영상은 관심영역을 설정하고 HSI변환에서 설정조건에 만족하면 검정색, 그 외에는 흰색의 두 가지 색상으로 분리된다. 이 영상에는 0과 255 두 단계의 값이 존재하게 되는데 여기서는 흰색이 씨앗이므로 1의 값을 가지는 값이 종자에 해당하는 부분이 된다.

종자의 외접사각형은 입력된 영상의 좌상단을 기준점으로 해서 오른쪽과 아래방향으로 차례대로 스캔해 가면서 추출된 종자에 대해서 x, y 방향의 최대 최소값을 검출하였으며, 그것으로부터 4점의 중심을 구하였다. 종자부분에 해당하는 픽셀위치를 x, y 방향의 좌표값을 합산하여 질량 중심을 구하였다. 최소자승법에 의해 종자의 기울기를 구하고 좌표 중심과 질량중심을 서로 비교하여 종자의 방향과 각도를 판별을 하게 된다. 질량 중심과 기하 중심 위치 비교에 의한 종자방향 판별을 위한 영상처리순서는 그림 2와 같다.

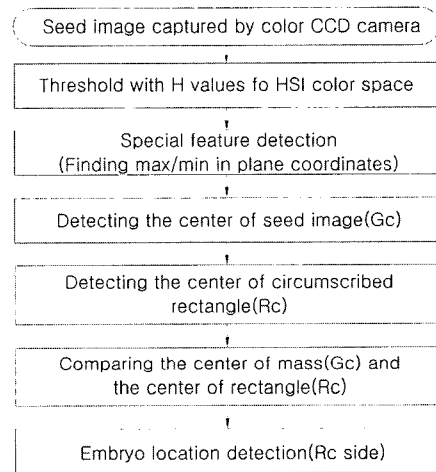


Fig. 2 Flow chart for seed direction discrimination algorithm.

Table 1 Properties of the used seeds

Variety	Length (mm)	Width (mm)	Mass of 1,000 grains (g)
Chambak	14.39 ± 1.03	6.84 ± 0.34	146.4
Tuktojwa	16.21 ± 0.75	9.37 ± 0.32	189.9
Hukjong	17.66 ± 1.28	10.78 ± 1.03	197.2

종자방향 판별에 필요한 외접사각형의 중심 R_C 의 x_0, y_0 좌표값은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$x_0 = \frac{X_L + X_R}{2}, \quad y_0 = \frac{Y_B + Y_T}{2} \quad (1)$$

또한, 종자영역의 도심 G_C 의 \bar{x}, \bar{y} 좌표값은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{Area}, \quad \bar{y} = \frac{\sum y_i}{Area} \quad (2)$$

R_C 는 외접사각형의 중심, G_C 는 종자영역의 도심으로 종자의 배아위치 판별 기준점 역할을 한다. 종자의 씨눈은 종자의 폭이 좁은 쪽에 위치하므로 추출된 종자영역의 도심 G_C 는 외접사각형의 중심 R_C 를 기준으로 배아가 있는 쪽의 반대쪽에

위치하게 된다. 따라서 R_C 와 G_C 의 위치를 비교하여 R_C 가 있는 쪽이 씨눈이 있는 방향이라고 판별하였다. 그림 3은 영상 처리과정의 결과영상을 나타낸 것이다.

일반적으로 센서에서 측정된 물체의 색상값은 조도와 관찰자의 시점, 센서의 특성 등 여러 가지 요인에 따라 변한다고 하였다(엄 등, 2000). 카메라에서 입력된 RGB영상은 HSI색 좌표계로 변환시켰으며, H 값을 이용하여 종자와 배경을 분리하였다.

다. 박과채소 종자의 자동정렬 파종시스템 설계 및 제작

그림 4는 종자정렬 파종시스템의 개략도이다. 파종시스템은 보울피더와 직선피더로 구성된 종자공급장치, 턴테이블과 컨베이어로 구성된 이송장치, 카메라, 조명상자, 프레임그래버, PC로 구성된 기계시각장치, 파종판, 파종호퍼 등으로 구

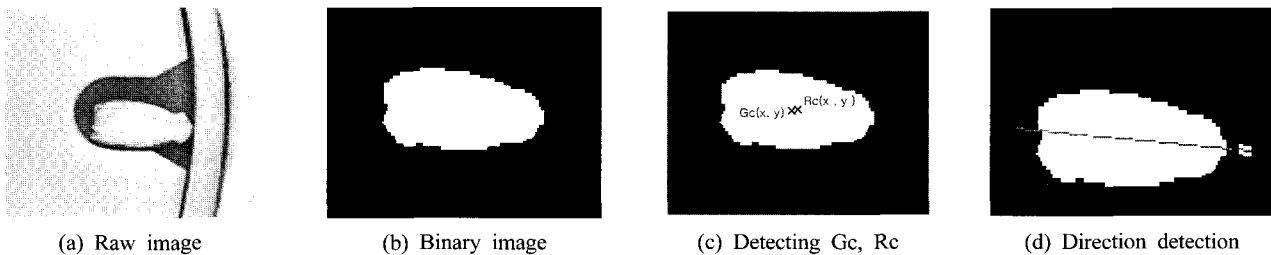


Fig. 3 The image of image processing for seed direction discrimination.

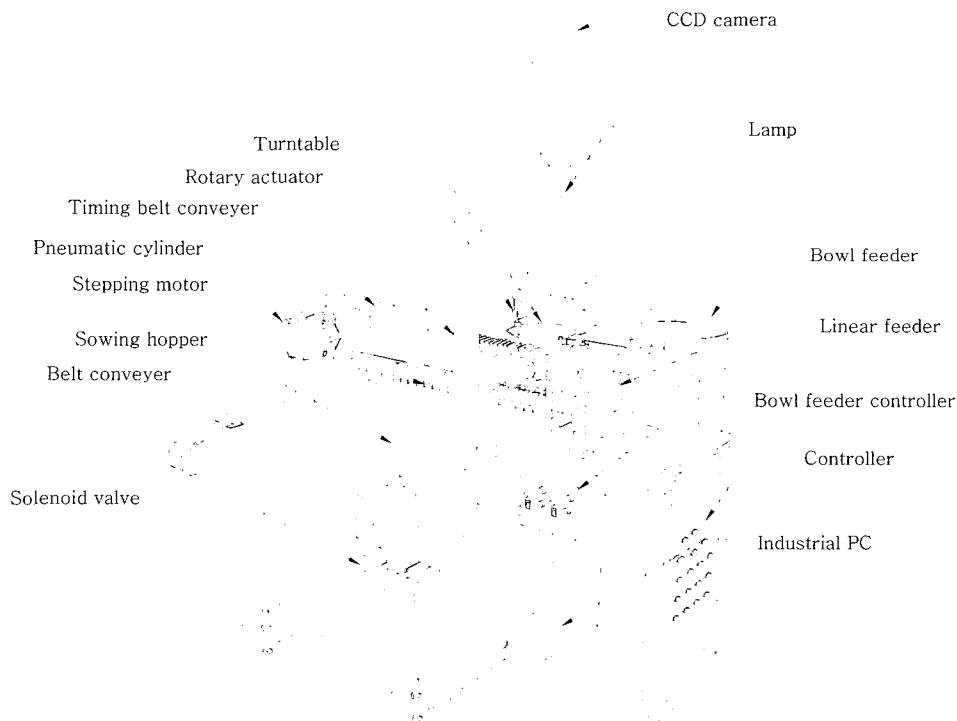


Fig. 4 Schematic diagram of a seeding system for seed line-up.

성된 파종장치, 벨트컨베이어, 제어부 등으로 구성하였다. 종자는 보울피더와 직선피더에 의해 1립씩 자동 공급되도록 하였고, 공급된 종자는 턴테이블과 컨베이어에 의해 CCD카메라와 방향수정장치를 지나도록 하였다. 종자는 턴테이블에서 기계시각장치와 방향수정장치를 거치면서 방향이 판별되고 그에 따라 자세가 교정되어 종자이송 컨베이어로 배출되도록 하였다. 파종호퍼는 종자컨베이어에서 배출되어 경사유도레일을 따라 내려온 종자를 받아 육묘트레이에 정렬파종하도록 구성하였다. 제어부는 영상처리부와 연계하여 파종시스템을 제어하도록 구성하였다. 종자정렬 파종시스템의 제원은 표 2에서 보는 바와 같다.

Table 2 Specification of a seeding system for seed line-up

Item	Specification	
Size (L × W × H, mm)	1100 × 1550 × 1780	
Sowing rows	18	
Metering device	Bowl feeder & conveyor	
Image processing system	Camera	NTSC color CCD camera
	Lighting	3 Wavelength fluoresecent lamp
Conveyor	Driving motor	Stepping motor
	Controller	Microcontroller
System control	Control unit	PLC
	Drive	Pneumatic cylinder

1) 종자공급장치

종자를 정렬하여 파종하려면 종자공급이 원활하게 이루어져야 한다. 기계시각에 의해 방향을 판별하고 방향수정, 종자이송 등이 이루어질 때 두 개의 종자가 동시에 공급된다거나 판별속도 보다 빠르게 공급되면 오동작을 일으키는 원인이 된다. 그러므로 종자의 공급 간격과 이송속도가 중요하다. 종자를 개체화 하기위하여 공급장치는 보울피더(Bowl feeder)와 직선피더(Linear feeder)를 조합하여 구성하였으며, 두 피더에 인가되는 전압을 달리함으로써 종자이송속도를 조절할 수 있도록 하였다. 보통 직선피더에서의 종자이송속도가 보울피더 보다 더 빠르도록 설정하였다.

직선피더에서 턴테이블로 종자이송이 원활하게 이루어지도록 하기위하여 직선피더 선단에 내경 1.2 mm의 공기분사 노즐을 설치하여 압축공기를 분사하였으며, 공기량 및 속도는 공압레귤레이터의 압력으로 조절하였다. 공급장치로부터 종자이송장치로 종자가 투입되지 않고 지체될 경우를 대비하여 직선피더에 투과형 화재센서(BF3RX, FT-320-05, Autonics Co., Korea)를 설치하여 종자가 계속 감지되면 공급장치의 작동이 멈추도록 장치를 구성하였다. 사용한 보울 피더의 구조는 그림 5와 같다.

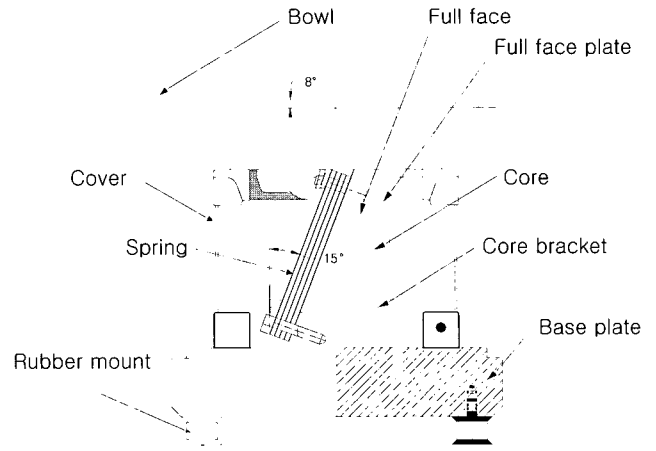


Fig. 5 Schematic diagram of a bowl feeder.

2) 종자이송장치

그림 6은 종자 이송장치의 구조이다. 종자이송장치는 턴테이블, 컨베이어, 스텝모터, 콘트롤러 등으로 구성하였다. 턴테이블은 직경 160 mm의 원형판의 바깥면에 타원모양의 홈 12개를 30°간격으로 가공하였다. 홈의 폭은 종자가 회전하지 않을 폭을 고려하여 12 mm로 제작하였다. 턴테이블의 구동 모터로는 위치결정제어가 쉽고 정확한 스텝모터(PK596AW, Oriental motor, Japan)와 스텝모터드라이버(UDK5114N, Oriental motor, Japan)를 사용하였다. 제어부는 AT89C51 마이크로컨트롤러와 스텝모터드라이버, 센서 및 주변장치와 입출력하는 I/O와 릴레이 등으로 구성하였다. 스텝모터는 마이크로컨트롤러(AT89C51, Atmel Co, USA)로 제어하였다. 컨베이어는 턴테이블과 연동되어 작동되도록 하여 테이블이 한 스텝 회전할 때 컨베이어도 동시에 한 스텝씩 이동하도록 하였다.

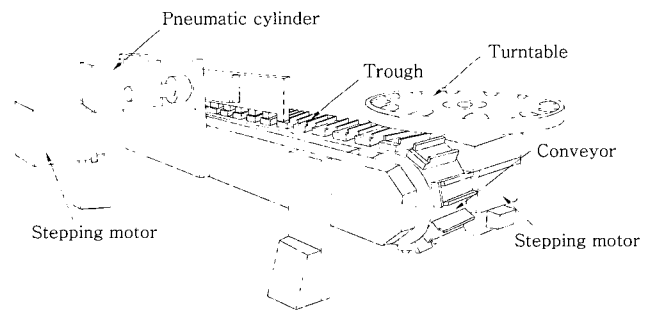


Fig. 6 Schematic diagram of a seed feeding device.

종자이송장치의 턴테이블 구동 스텝모터는 30°씩 회전하도록 하였으며, 컨베이어 구동 스텝모터는 60°씩 회전하도록 하였다.

록 하여 컨베이어가 27 mm씩 이동하고 정지하도록 설계하였다. 종자가 턴테이블의 바깥면 홈에 정확히 들어온 뒤 이송하도록 하기 위해서 턴테이블 홈 안쪽으로 반사형 화이버센서(BF3RX, FD-320-05, Autonics Co., Korea)를 설치하여 종자가 감지되면 턴테이블이 작동되도록 하였다. 컨베이어에는 턴테이블의 배출구에서 낙하되는 종자가 흐트러지지 않고 슬립을 방지하기 위해 홈통을 폭 12 mm, 길이 40 mm로 가공하여 부착하였다.

그림 7은 종자이송장치의 모습이다. 그림 7에서 보는 바와 같이 종자이송장치의 이송컨베이어 측면에는 파종장치로 종자를 유도하는 레일을 설치하였다. 컨베이어위에 종자는 밀대로 밀어 종자유도레일로 배출되고, 배출된 종자는 레일을 따라 파종장치로 미끄러지며 내려간다. 레일은 각도조절이 가능하도록 제작하였으며, 예비실험 결과에 따라 미끄러짐과 종자 안착상태가 양호한 30° 경사로 고정하였다.

3) 영상처리시스템

그림 8은 종자의 배아위치 판별을 위해 구성된 기계시각장치 개략도이다. 기계시각장치는 영상을 입력하기 위한 CCD 카메라, 프레임그래버, 데이터 처리 및 프로그램의 수행을 위한 컴퓨터, 조명장치가 부착된 조명상자 등으로 구성하였다. 조명상자 안에 종자를 이송하는 턴테이블을 위치하였으며, 종자 진입위치로부터 위에서 보아 반시계방향으로 90° 각도 지점 위에 종자의 영상을 획득하는 CCD카메라를 장착하였다. CCD카메라는 화상소자가 41만 화소인 보급형 컬러 CCD 카메라(GC-405NB-G, LS Co., Korea)를 사용하였으며, 이 카메라에 부착된 렌즈는 C설치형(C-mount)으로 초점 및 조리개가 수동으로 조절되는 초점거리가 60 mm(F1.8-16)인 Canon사의 망원렌즈를 사용하였다. 프레임그래버는 640*480 영상 입력이 가능한 PCI BUS용 Microrobot사의 Myvision board

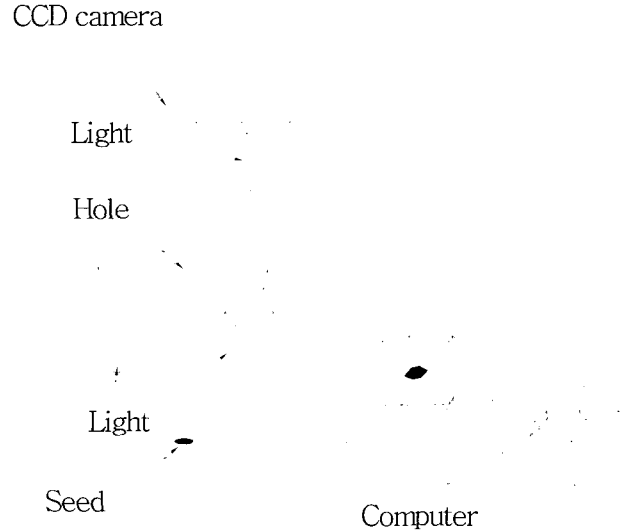


Fig. 8 Schematic diagram of the machine vision system.

를 사용하였다. 조명장치의 광원으로는 3개의 삼파장 형광램프를 사용하였으며, 고른 광원을 얻기 위하여 조명상자의 좌우와 상부 3곳에 설치하였다. 영상처리프로그램은 Visual C++ 6.0(Microsoft Co., USA)으로 컴파일하여 실행하였다.

4) 방향수정장치

그림 9는 방향수정장치의 구조를 나타낸 것으로, 압축공기에 의해 180° 회전하는 로터리액츄에이터와 공압실린더로 구성하였다. 방향수정장치는 컴퓨터로부터 방향수정신호가 PLC로 들어오면 PLC에 의해 작동된다. 방향수정장치의 동작은 공압실린더(TCP1B16-15, TPC, Korea) 로드가 상승하고 상승완료감지 센서가 On되면 로터리액츄에이터(CDRB2FW10-180S, SMC, Korea)로터가 180° 회전한다. 회전이 완료되고 회전완료감지 센서가 On되면 공압실린더 로드는 하강하고 하강이 완료되면 로터리 액츄에이터는 복귀한다.

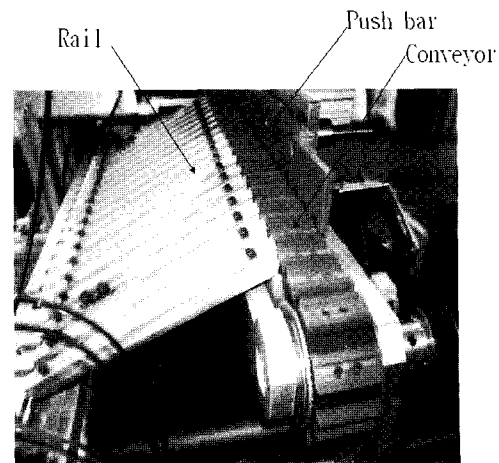
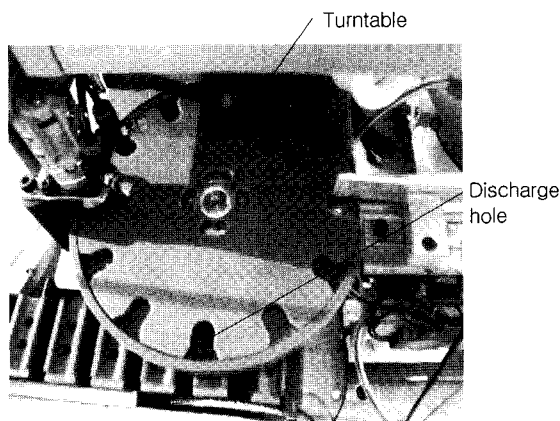
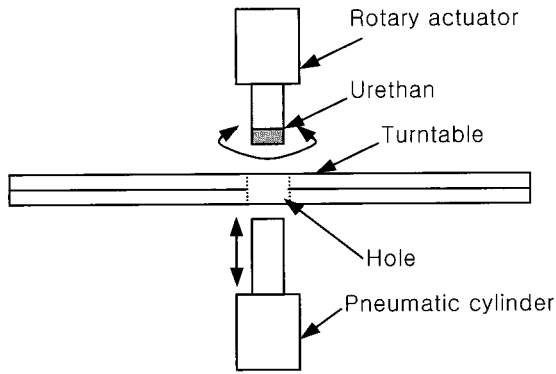
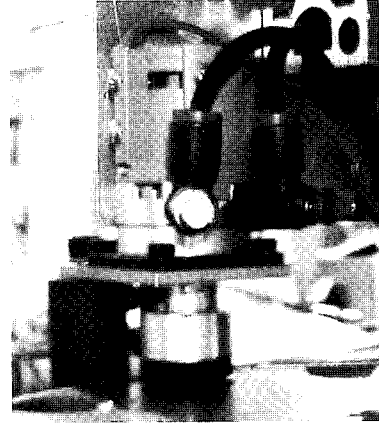


Fig. 7 View of a seed feeding device (Left: Top view, Right: Side view).



(a) Schematic diagram



(b) Photo

Fig. 9 Schematic diagram and photo of the seed reverse device.

5) 파종장치

파종장치는 파종판, 파종호퍼, 공압실린더 등으로 구성하였다. 파종판은 종자유도레일을 따라 내려온 종자를 받아 파종호퍼로 넣어주는 역할을 한다. 파종호퍼는 파종호퍼는 좌우 분리로 분리되는 구조로 단면 형상이 V자 모양을 하고 있으며, 육묘트레이에 종자가 놓일 자리를 만들며 종자를 배종한다. 파종호퍼는 각각 좌우로 슬라이딩되는 평판에 고정되어 있으며, 평판이 좌우로 슬라이딩됨에 따라 좌우로 벌어지도록 되어 있다. 공압실린더는 파종판과 파종호퍼를 동작시킨다. 파종호퍼의 작동은 호퍼에 종자가 투입되면 아래로 하강하여 육묘트레이를 혈공하고 벌어지면서 종자를 배출한다. 그 다음 상승하고 상승이 완료되면 호퍼는 닫힌다. 파종호퍼의 형상은 그림 10과 같다.

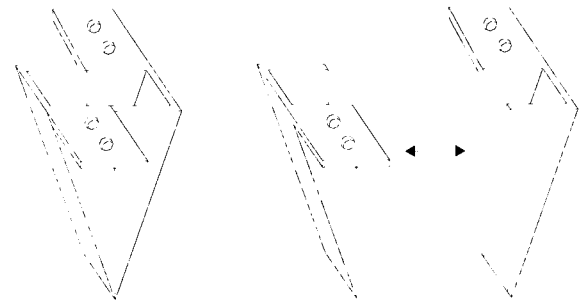


Fig. 10 Schematic diagram of the seeding hopper.

6) 시스템 제어부

그림 11은 정렬 파종시스템을 제어하기 위한 과정을 나타낸 것이다. 영상처리에 의해 종자방향판별에는 컴퓨터, 스텝

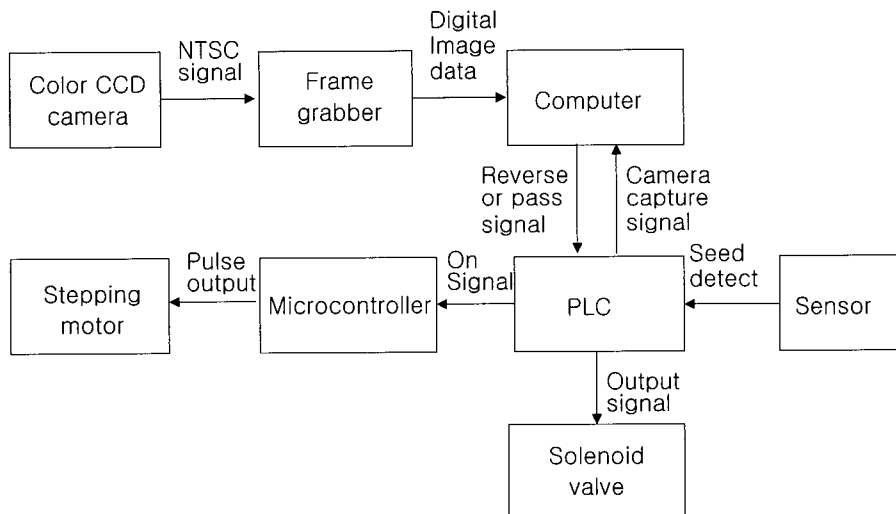


Fig. 11 Block diagram of a system control unit and signal.

평모터의 스텝제어에는 마이크로 프로세서를 이용하였으며, 시스템의 전반적인 제어에는 PLC를 이용하였다. 각 제어장치는 통신에 의한 정보교환으로 유기적인 제어가 되도록 시스템을 구성하였다.

컴퓨터와 PLC간의 통신은 컴퓨터를 Master로 PLC를 슬레이브로 설정하고, 전용 프로토콜에 의해 통신하였으며, 전송속도는 9,600 bps로 설정하였다. 컴퓨터에서 60 ms간격으로 PLC의 지정번지를 스캐닝하고 PLC 지정번지의 워드데이터가 ON되면 영상획득과 영상처리과정을 거쳐 종자방향수정신호를 PLC의 해당 번지로 전송하도록 하였다. PLC는 컴퓨터로부터 방향수정신호를 받으면 방향수정장치를 동작시켜 종자의 방향을 반전시킨다.

라. 종자방향판별 프로그램

그림 12는 종자방향판별을 위한 영상처리 프로그램을 나타낸 것이다. 화면구성은 좌측 상단에 카메라에서 입력된 종자를 프레임에 입력하는 RGB 영상 버퍼, 우측 상단에 종자방향 판별을 위해서 이치화 수행, 관심영역설정 그리고 종자방향판별 등의 작업을 수행하기 위한 영상버퍼를 설정하였다. 우측 하단에는 영상처리 관심영역과 문턱값을 변경할 수 있는 텍스트 입력란과 영상처리시간이 출력되는 타이틀바로 구성하였다. 실제 시스템에 설치하여 사용한 판별 프로그램의 화면은 카메라로 획득한 영상 중 관심영역 설정 및 영상처리 수행 결과를 나타내는 간단한 창으로 구성하였다.

마. 실험방법

1) 종자이송

종자공급장치의 적정 작동 레벨을 결정하기 위하여 가진전압별 종자 공급속도와 간격을 조사하였다. 종자공급속도는 종자이송시간과 거리로 산정하였으며, 종자공급간격은 공급장치 끝단에 반사형 포토센서 설치하고 그 센서로부터의 단속신호를 오실로스코프(TDS340, Tektronix Co., USA)로 검출하였다.

2) 종자방향판별

종자방향판별 프로그램이 우수한 성능을 발휘하기 위한 적정조건을 찾고 그 조건에서의 성능을 시험하기 위하여 먼저 CCD카메라로부터 입력된 영상을 HSI칼라 특성을 이용하여 종자와 배경 영역으로 분할하기 적당한 성분을 찾기 위하여 Intensity와 Hue로 영상분할한 결과를 비교 검토하였다. 그리고 파종시스템의 종자공급장치에서 이송된 종자가 카메라 아래에 놓이게 되는 각도는 일정하지 않으므로 종자의 기울기에 따른 판별정도를 알아보기 위하여 각 종자의 기울기를 0, 15, 30°로 임의로 조절하여 종자가 놓인 각도에 따른 종자의 방향 판별성능을 조사하였다. 또한 광량에 따른 종자판별정도에 변화가 있는지 알아보기 위하여 바닥면의 수평면 조도를 7.5, 10, 12.5 kLux 세 수준으로 변화시키면서 종자방향 판별정도를 조사하였다. 종자방향 판별소요시간은 적정 조건에서 각각 50개의 종자에 대하여 측정하여 평균하였다.

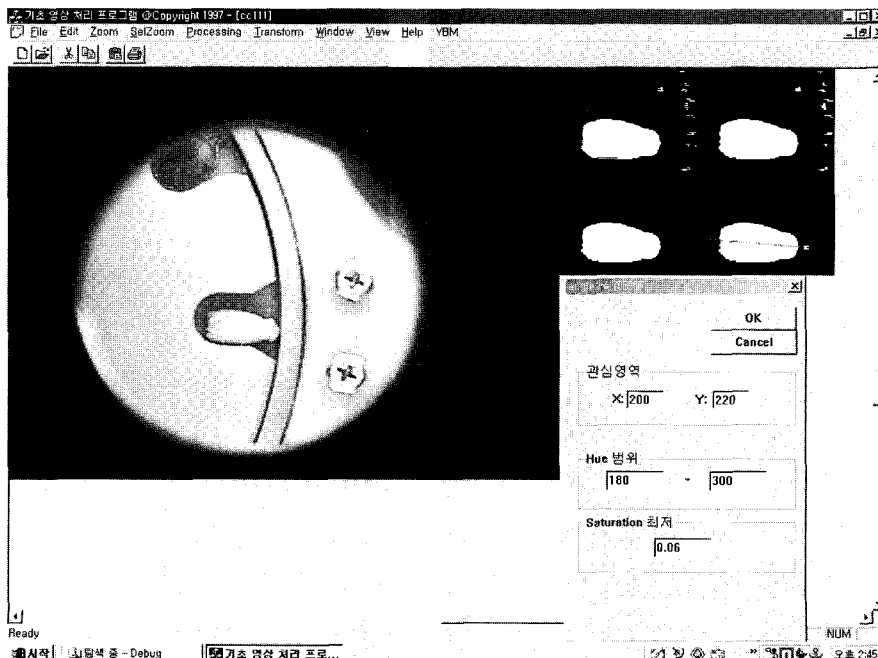


Fig. 12 View of image processing for seed direction discrimination.

3) 성능시험

종자의 정렬정도는 파종장치의 파종호퍼의 열림과 닫힘 속도에 따른 성능을 조사하고 그 결과를 토대로 정렬상태가 양호한 조건인 육묘트레이 혈공 후 파종호퍼가 열리기까지의 지체시간과 열린 후 상승하기 전 지체시간을 0.2초로 설정한 후 파종실험을 하고 트레이에 파종된 종자상태를 조사하였다. 정렬정도는 육묘트레이의 셀들을 중앙을 지나가는 가상의 가로선에 15° 이내로 기울어진 경우를 양호로, 라인에 비스듬히 서있거나 30° 이상 벗어난 경우를 불량, 그 사이를 보통이라고 판별하였다.

시스템의 성능시험은 요인시험을 통하여 구명된 조건으로 각 부를 세팅하고 특도좌화박 종자를 보울피더에 의해 자동 공급하며, 162구 육묘용 트레이 30매를 연속 투입하며 실험하였고 인력파종시 작업능률과 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 종자이송 성능

보울피더 콘트롤러에서 공급되는 가진전압을 달리하며 실험한 결과 종자종류에 따른 이송속도는 그림 13과 같이 크게 차이가 나지 않았으며, 140 V에서는 초당 1.25 cm 정도의 이송속도를 나타냈으며, 160 V에서는 4.0~4.3 cm/s, 180 V에서는 8.3~8.5 cm/s, 200 V에서는 8.5~8.8 cm/s 범위를 나타내었다. 가진전압이 증가함에 따라 이송속도는 천천히 증가하다가 급격히 증가된 후 둔화되는 것으로 나타났다. 종자방향 판별 소요시간과 방향수정소요시간 등을 감안하면 보울피더의 인가전압을 140~160 V 범위로 설정하는 것이 좋을 것으로 판단되었다.

나. 입력영상의 분할

입력 영상을 종자와 배경 영역으로 분할하기 위하여 HSI색채특성 중 I와 H성분을 이용하여 문턱값을 설정하였다. 그림 14는 HSI색채특성 중 I성분의 문턱값을 변화시켜 얻은 이진화한 영상이다. 그림 14에서 보는 바와 같이 특도좌 종자의

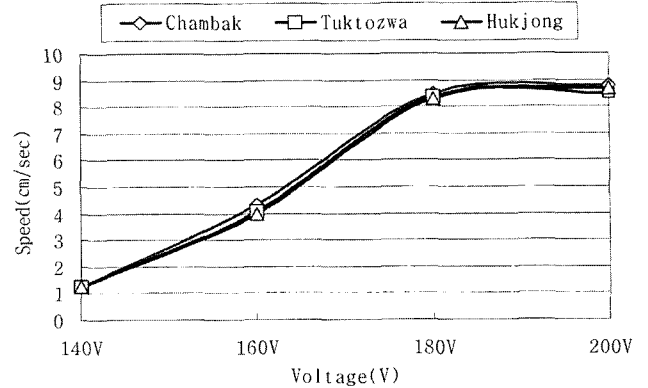


Fig. 13 Conveying velocity of seed by exciting voltage.

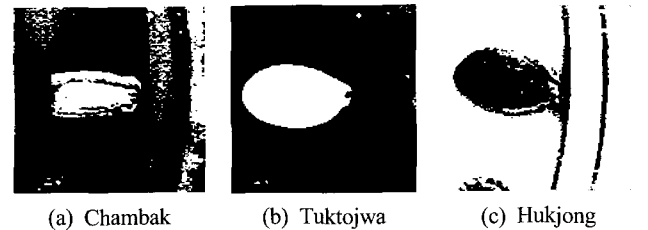


Fig. 14 Binary image of a seeds according to threshold value based on intensity of HSI color space.

영상에서는 종자 추출이 원활하게 이루어졌으나 참박종자의 영상에서는 배경이 균일하지 않고 그림자, 틈, 굴곡 등의 영향으로 종자 추출이 원활하게 이루어지지 않는 것으로 나타났으며 흑중호박 종자의 영상에서는 배경의 명도값이 종자의 값보다도 작아서 다른 두 종자와 반대되는 이진 영상을 나타내었다. HSI색채특성 중 I성분의 문턱값을 변화시키면서 실험한 결과 종자 분리가 가능한 문턱값 범위는 참박이 170~210, 특도좌가 180~240, 흑중호박이 100~140으로 나타났다.

그림 15는 HSI색채특성 중 H성분의 문턱값을 변화시켜 얻은 참박종자의 이진화한 영상이다. 그림 15에서 보는 바와 같이 문턱값 90~180범위에서 종자 추출이 원활하게 이루어진 것으로 나타났다. 특도좌 종자는 문턱값 90~180범위에서 종자 추출이 원활하게 이루어진 것으로 나타났으며, 흑중호박 종자는 120~180범위에서 종자 추출이 원활하게 이루어진 것으로 나타났다.

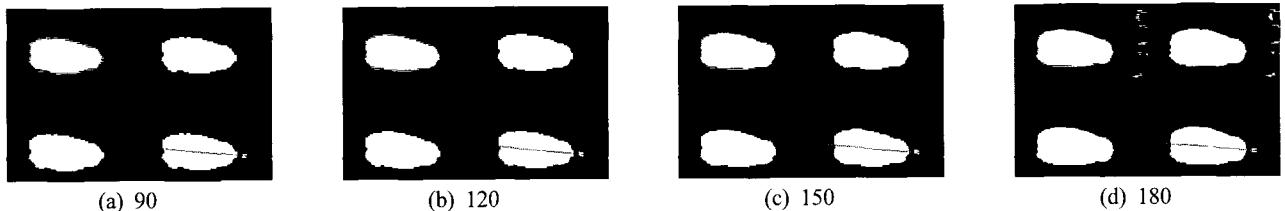


Fig. 15 Input image from CCD camera and results of image processing of chambak by the value of hue.

다. 종자방향판별 정도

그림 16, 17은 세 종자의 종자 중 참박과 흑종호박 종자의 기울기가 15°, 30°인 상태의 입력영상과 방향판별결과를 나타낸 것이다. 판별시험장치 설계를 위한 사전실험결과 종자 공급장치로부터 종자이송 턴테이블에 공급되는 종자의 기울기는 $10.2 \pm 7.8^\circ$ 이었으며, 최대 기울기는 25.5° 로 나타났다. 이를 바탕으로 카메라로부터 입력되는 각 종자들의 기울기를 0°, 15°, 30°로 서로 동일하지 않게 임의로 위치시켜 판별실험을 하였다. 실험결과 세 가지 종류의 종자에 있어서 0°, 15°, 30°의 경우에 있어 100%의 판별성능을 나타내었다. 이것은 김 등(2004)이 씨눈 쪽과 씨눈 반대쪽의 영상면적차이로 씨눈 위치를 판별한 결과, 종자 기울기가 30°인 경우 참박, 특토좌, 흑종호박에서 각각 77.8, 89.5, 94.4%의 판별 정확도를 보인 것에 비해 판별 성능이 높은 것으로 나타났다.

라. 광량에 따른 종자판별정도

그림 18은 카메라의 조리개값 11, H성분의 문턱값 120인 조건에서 수평면 조도에 따른 종자판별결과를 나타낸 것이다. 그림 18에서 보는 바와 같이 모든 조건에서 종자방향판별에는 큰 문제가 없는 것으로 나타났다. 참박종자는 7.5 kLux에서, 특토좌 종자는 10.0 kLux에서, 흑종호박 종자는 7.5 kLux에서 다른 조도 조건하에서의 영상처리결과보다 이진영상에 잡음이 적어 가장 양호하였다. 대체적으로 수평면조도가 7.5 kLux와 10.0 kLux일 때 영상처리결과는 양호한 것으로 나타났다.

또한 렌즈의 조리개 수치를 조절하면서 판별실험을 한 결과 조리개 수치 16인 경우의 영상처리결과가 가장 양호하였다. 조리개 렌즈의 조리개 값을 조절한 결과와 수평면 조도를 조절한 결과를 비교분석한 결과 문턱값이 고정된 조건에서 카메라로 들어오는 광량이 많을수록 물체로 추출하는 종자영



Fig. 16 Input image from CCD camera and results of image processing by the gradient of chambak.

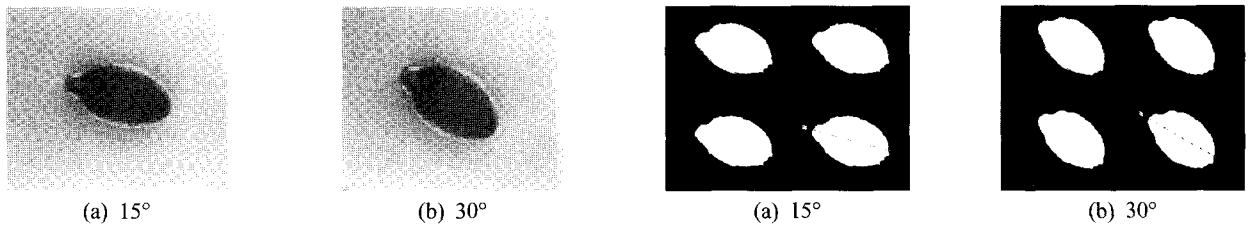


Fig. 17 Input image from CCD camera and results of image processing by the gradient of hukjong.

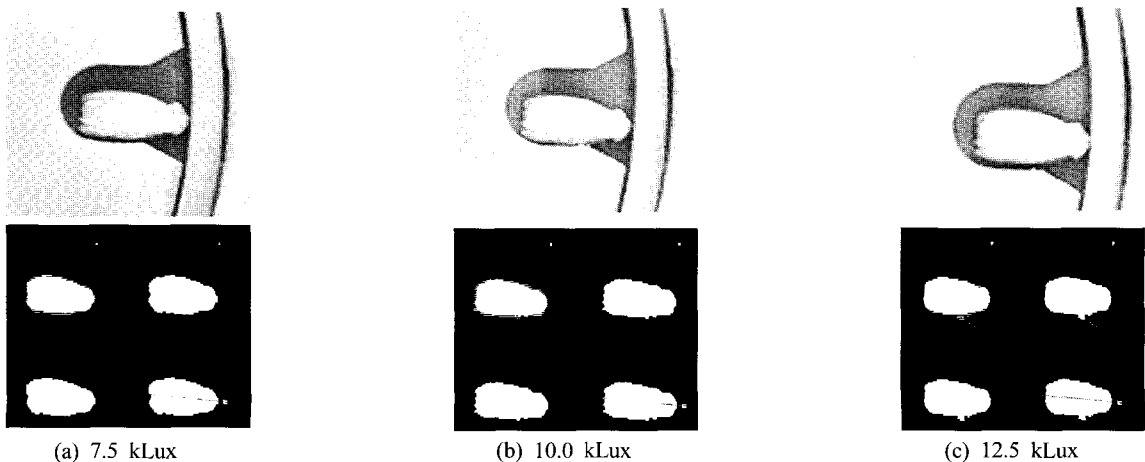


Fig. 18 Input image from CCD camera by the intensity of illumination and results of image processing of chambak.

역의 화소 수가 많아지고 노이즈도 심해지는 것으로 나타났다. 따라서 우수한 영상처리결과를 얻으려면 카메라로 입사되는 광량을 적절히 조절하는 것이 필요하며, 적정조도를 넘어가는 과도한 광량의 조사는 필요치 않은 것으로 사료된다.

마. 방향판별 소요시간

표 3은 각 종자의 방향판별 소요시간을 나타낸 것이다. 표 4에서 보는 바와 같이 종자 방향판별 소요시간은 참박, 특토좌, 흑종호박 종자 각각 49.0 ± 0.6 , 49.2 ± 0.7 , 49.4 ± 0.7 ms로 나타났다. 이는 초당 약 20개를 처리할 수 있는 속도이며, PLC의 스캔타임이 100 ms로 온라인 시스템에 적용하는데 무리가 없을 것으로 판단되었으며, 실제 시스템에 적용하였을 경우에도 작동상의 문제는 발생하지 않았다. 따라서 개발한 종자방향판별 알고리즘은 전체의 작업공정에서 병목현상을 발생시키지 않고 원활히 작동하는 것으로 사료된다.

Table 3 Time of seed direction discrimination by the seed

Seed	Chambak	Tuktojwa	Hukjong
Time(ms)	49.0 ± 0.6	49.2 ± 0.7	49.4 ± 0.7

Table 4 Arraying rate of seeds by seed variety

Variety	Good (%)	Fair (%)	Bad (%)
Hukjong	95.2	3.2	1.6
Tuktojwa	96.6	1.6	1.8
Chambak	95.4	2.2	2.4

바. 정렬정도

파종호퍼의 개폐시간에 따른 파종 후 종자의 정렬정도를 조사하기 위하여 파종호퍼의 개폐시간에 따른 정렬정도를 조사하였으며, 정렬정도가 높은 시간으로 설정하여 파종 후의 정렬정도를 조사하였다. 혈공 후 파종호퍼가 열리기까지의 지연시간과 열린 후 상승하기까지의 지연시간을 0.2초로 설정한 상태에서 파종 후 종자의 정렬정도를 실험한 결과를 표 4에 나타내었다. 표 4에서 보는 바와 같이 파종 후 종자의 정렬상태가 양호한 경우는 95% 이상인 것으로 나타났으며, 불량한 경우는 3% 이하인 것으로 나타났다. 정렬상태가 100% 양호하지 않은 것은 V자 파종호퍼에 종자가 놓이는 상태와 호퍼의 열리고 닫히는 동작에 의해 종자의 자세가 흐트러지기 때문이다.

사. 파종시스템의 작업능률

표 5는 파종시스템의 작업능률은 나타낸 것이다. 성능시험

Table 5 Seeding performance of the seeding system for seed line-up

Item	Seeding system	Manual work	Remark
Efficiency (grains/h)	10,140	3,240	Feeder exciting voltage: 150 V

은 공급장치의 인가전압을 150 V로 설정하고 종자를 공급하였다. 파종시스템의 성능은 162구 육묘트레이에 파종하는 경우 시간당 10,140립의 파종이 가능하여 인력에 의한 파종작업시의 시간당 3,240립 보다 3.1배 능률적인 것으로 나타났다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 대립종자의 씨눈이 육묘트레이에 일정한 방향을 향하도록 파종하기 위하여 기계시각을 이용한 종자방향 판별 알고리즘과 종자 정렬 파종시스템을 개발하고 그 성능을 실험하였으며 주요 연구결과는 다음과 같다.

- 가. 보울피더의 가진 전압이 증가함에 따라 이송속도도 증가하였으며, 종자방향 판별소요시간과 방향수정소요시간 등을 감안하여 보울피더의 인가전압은 종자의 이송속도가 1.3~4.3 cm/s가 되는 140~160 V 범위로 설정하는 것이 좋을 것으로 판단되었다.
- 나. HSI색채특성 중 H성분의 문턱값을 이용하여 종자를 추출하였으며, 광량 실험결과 카메라로 들어오는 광량이 많을수록 물체로 추출하는 종자영역의 화소 수가 많아지고 노이즈도 심해지는 것으로 나타났으며, 우수한 영상처리결과를 얻으려면 카메라로 입사되는 광량을 적절히 조절하는 것이 필요하며, 적정조도를 넘어가는 과도한 광량의 조사는 필요치 않은 것으로 사료된다.
- 다. 종자방향판별을 위한 영상처리시스템의 소프트웨어로 질량 중심과 기하 중심간의 위치를 비교하는 알고리즘을 개발하였으며, 품종이 다른 참박, 특토좌, 흑종호박 세 종류의 종자에 있어서 종자각도가 0°, 15°, 30°인 경우 100%의 판별성능을 나타내었다.
- 라. 영상처리시스템에서 종자판별에 적당한 수평면조도는 7.5 klux~10.0 kLux범위로 나타났으며, 우수한 영상처리결과를 얻으려면 카메라로 입사되는 광량을 적절히 조절하는 것이 필요하며, 적정조도를 넘어가는 과도한 광량의 조사는 필요치 않은 것으로 판단되었다.
- 마. 개발된 알고리즘의 종자의 방향판별소요시간은 참박, 특토좌, 흑종호박 종자 각각 49.0 ± 0.6 , 49.2 ± 0.7 , 49.4 ± 0.7 ms로 나타났으며, 개발한 종자방향판별 알고리즘은 전체 시스템과도 잘 연계되어 원활한 작동을 수행하였다.

- 바. 파종호퍼가 열리기까지의 지연시간과 열린 후 상승하기까지의 지연시간을 0.2초로 설정한 상태에서 정렬정도가 가장 양호하였으며, 종자의 종류에 따라 차이는 있었으나 종자의 정렬상태가 양호한 경우는 95% 이상인 것으로 나타났다.
- 사. 파종시스템의 성능은 162구 육묘트레이에 파종하는 경우 시간당 10,140립의 파종이 가능하여 인력에 의한 파종작업시의 시간당 3,240립 보다 3.1배 능률적인 것으로 나타났다.

참고 문헌

1. Kim, D. E., J. R. Son, Y. S. Chang and I. J. Chang.. 2004. Development of an algorithm for the embryo location of seed by using machine vision. Journal of Bio-Environment Control 13(2):90-95. (In Korean)
2. 小林 研. 2003. 高精度1粒播種を高能率で. 機械化農業, 特集 4-7.
3. 山田久也. 2004. 大粒種子整列播種装置. 農業機械學會誌 66(2): 21-23.
4. 농림부. 1998. 농가용 Plug묘 파종장치 개발에 관한 연구.
5. 농촌진흥청. 1989. 채소재배 표준영농교본.
6. 농촌진흥청. 2006. 2005 공정육묘장 현황.
7. 엄순형, 김차현, 장익주. 2000. 칼라센서를 이용한 작물인식장치 개발. 한국농업기계학회 동계학술대회논문집 5(1):511-516.