한국농업기계학회지 제 21 권 제 2 호. pp. 123~133. 1996

종합공동육묘장의 설비 자동화에 관한 연구+

-파종시스템-

Study on Automation of Integrated Seedling Production System

-Planting Device-

최창현* 노광모** 이규창** 김재민*
정회원 정회원 정회원 정회원
C. H. Choi K. M. Noh K. C. Lee J. M. Kim

ABSTRACT

An automatic drum seeder was developed to improve the seeding operation. It consisted of a conveyor to transfer seedling trays, a seed-hopper to supply seeds, a drum to drop seeds on the tray, and an air blower to remove extra seeds. A photo sensor was used to detect the transfer of seedling trays, and its signal was fed into microcomputer which operated a stepping motor driving the drum. The seeds were adhered to the surface of drum by vacuum pressure, and were dropped into tray cells by compressed air. An air connection unit was devised to alternate between vacuum pressure and compressed air. A control program for the system, written in C language, could operate the drum at the given number of revolutions and revolutions per minute.

The results showed that the air connection unit could operate well and the seeds were dropped satisfactorily into tray cells. In case of cabbage and perilla seeds, which are regular and spherical shape, the missing rate was low and the single seeding rate was more than 97%. Low missing rate and high mutiple seeding rate were observed in lettuce seeds which have narrow ends with light weight. The missing rate of pepper seed was very high because of heavy weight and irregular shape. To improve the performance of the seeder, adjustment of vacuum pressure based upon shape and weight of the seeds, careful selection of the material of drum, maintenance of consistent air blower pressure, and replacement of stepping motor to DC motor are recommended.

주요 용어(Key Words) : 파종장치(Planting Device), 자동화(Automation)

1. 서 론

우리나라의 농업은 수도작을 중심으로 발전되어 왔으며, 수도작을 위한 경운, 이앙, 수확 등의 작업에는 여러 종류의 기계가 사용되고 있으나 채소, 과수, 원예 등 밭작물의 기계화는 매우 초보적인 단계에 있다. 우리나라의 경지면적은 '94년에 약 203만 3천ha로 전체 국토의 20.5% 정도이며 이 중에 37%인 약 76만 6천ha가 전작 및 시설재배에 이용되고 있다. 따라서, 우리나라의 농업도 단순한 토지중심의 노동집약적 산업에서 자본집약적이며 첨단기술을 도입한 산업으로 개선되어야 한다.

전체 육묘 파종작업을 일관작업으로 수행되는 자동 파종시스템은 대부분 상토충진과정, 상토성형과정, 파종과정, 복토과정, 관수과정을 단계적으로 수행할 수 있도록 설계되어 있다. 각 작업과정에 필요한 단위 기계들은 대부분 개발되

+ 이 연구는 한국농업기계학회 연구비 지원으로 수행된 것임.
* 성균관대학교 생명자원과학대학 생물기전공학과
** 건국대학교 자연과학대학 농업기계공학과
*** (주)한광 연구개발부

어 다른 농작업에서 이용되고 있으나, 일관화된 자동 파종작업을 위하여서는 전체 시스템에 적합한 단위 기계를 개발하여야 할 필요가 있다. 전체 파종시스템에서 가장 중요한 부분은 파종장치이다. 파종장치의 형태와 성능에 따라 전체 시스템의 성능이 결정되며 다른 작업기기의 설계사양도 결정된다. 육묘판의 각 셀에 단립 종자를 파종하기 위하여 대부분의 파종장치는 진공펌프를 이용하여 노즐 팁(tip)의 미세한 구멍에 종자를 흡착시킨 후, 압축공기를 이용하거나 자유낙하시켜 육묘판에 파종하고 있다. 육묘판의 이동속도가 변화하여도 정확한 시기에 종자가 셀에 떨어질 수 있도록 제어되어야 한다. 자동 파종시스템은 육묘판의 위치를 감지하는 센서의 신호에 의하여 종자의 흡인 및 파종작업이 이루어지고, 육묘판이 없으면 자동으로 중단되어야 하므로 마이크로컴퓨터나 PLC 등을 사용하여 제어할 수 있다.

작물의 종류에 따라 종자의 크기, 무게, 형태 등이 다르므로 정확한 간격을 유지하며 종자를 1립 또는 2~3립씩 파종하는 파종기는 오랜 기간동안 많은 관심을 가지고 연구되어 왔다. 파종기의 성능을 향상시키기 위하여 여러 형태의 종자배출 방법 및 장치가 개발되었다. 수용성 테이프에 의한 파종, 종자테이프(seed tape)에 의한 파종, 종자웨이퍼(seed wafer)에 의한 파종, 종자를 액체와 혼합하여 압축공기를 이용하여 분사하는 방법(Ghate et al., 1981), 광센서를 이용하여 종자를 감지하여 마이크로컴퓨터로 제어하여 파종하는 방법 (Wilkins and Lenker, 1981), 토양에 홈을 만들고 압축공기로 1립씩 떨어 뜨리는 펀치파종기(punch planter), 진공펌프를 이용하여 종자를 흡착시켜 파종하는 진공흡인식 파종기(vacuum planter) 등이 소개되어 왔다. 진공흡인식 파종기는 종자의 크기가 작거나 형태가 균일하지 않은 경우에도 종자의 물리적 손상이 적으며, 비교적 파종성능이 우수하므로 최근에는 널리 사용되고 있다 (Upadhyaya et al., 1987). Moden 등(1974)은 직경이 8 inch (203mm)인 스텐레스(stainless steel) 파이프로 제작한 드럼에 직경 0.25 inch (6mm)인 오리피스 홈을 드럼축과 평행하게 6열로 48개 뚫어, 진공펌프로 오리피스에 종자를 흡착시켜 파종할 수 있는 육묘판용 파종기를 개발하였다. 흡인부에 연결된 시퀀스 밸브(sequencing valve)는 드럼에 뚫어진 6열의 오리피스 홈에 흡인압력을 유지 또는 차단시키는 기능을 한다. 드럼 양끝의 장착된 시퀀스 밸브에 의하여 종자호퍼에서 종자를 흡인하는 순간부터 300°를 회전할 때까지는 진공상태를 유지하고, 300° 회전한 위치에서 진공펌프의 흡인부를 차단하여 종자를 모판에 떨어뜨리는 원리를 이용하였다. 압축공기는 오리피스의 구멍에 있는 먼지를 불어내어 청소하는 기능을 하였으며, 적합한 오리피스 구멍의 직경은 0.029 inch (0.74mm)로 나타났다. 성능실험에 의하면 정확한 파종 간격의 유지가 어려웠으며, 오리피스 구멍에 2립이상의 종자가 흡착되어 파종되는 문제점을 발견할 수 있었다.

파종장치의 설계 및 제어기술은 육묘용 자동 파종시스템의 개발에 핵심적인 부분으로 파종장치의 기능과 구조에 따라 다른 작업공정에 필요한 작업기기의 구성도 달라지게 된다. 국내 실정에 적합한 자동 파종시스템을 개발하기 위해서는 파종장치의 설계, 제작 및 파종장치 자체의 제어 기술이 개발되어야 한다. 본 연구의 목적은 국내실정에 적합한 파종장치를 개발하여 육묘용 파종시스템의 자동화에 필요한 기초기술을 제공하는데 있다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

파종장치의 성능을 분석하기 위하여 육묘파종에 많이 이용되고 종자의 기하학적 형상이 각기 다른 배추, 들깨, 상추, 고추의 종자를 사용하였다.

육묘용 종자를 파종할 때는 종자의 기하학적 형상에 따라 드럼 흡인구멍의 크기와 종자를 흡인하는 압력도 달라지므로, 종자의 기하학적 형

상은 매우 중요한 자료이다. 본 실험에서 사용된 종자의 기하학적 특성은 표 1과 같다. 실험에 사용된 종자의 길이, 폭, 두께는 마이크로미터를 사용하여 각각 100회 측정하여 평균값을 구했으며, 무게는 종자 100립의 무게를 측정한 평균값으로부터 종자 1립의 무게를 환산하였다.

Table 1. Physical properties of the seeds

Seed (Variety)	Dimension	Maximum	Minimum	Average
Chinese Cabbage (Sambok)	Diameter(mm)	2.18	1.37	1.76
	Weight(mg)			3.45
	Bulk Density (g/m^3)			1.22
Perilla	Diameter(mm)	2.60	1.10	1.59
	Weight(mg)			3.10
	Bulk Density (g/m^3)			1.47
Lettuce (Hwahong)	Length(mm)	4.59	2.82	3.63
	Width(mm)	1.72	1.00	1.26
	Thickness(mm)	0.67	0.32	0.47
	Weight(mg)			1.02
	Bulk Density/ (g/m^3)			0.47
Peper (Dabok)	Diameter(mm)	4.15	2.65	3.38
	Thickness(mm)	1.35	0.58	0.88
	Weight(mg)			6.52
	Bulk Density (g/m^3)			0.83

나. 파종장치의 구성

육묘용 진공흡인식 파종기는 형태에 따라 노즐형과 드럼형으로 구분할 수 있다. 드럼형은 육묘판을 일시 정지할 필요가 없이 연속적인 작업이 가능하므로 노즐형에 비해 작업성능은 우수한 것으로 평가되고 있다. 노즐형 파종기는 2립 이상의 종자가 노즐에 달라 붙으면 제거하기가 무척 어려운 단점도 있다. 드럼형 파종기는 육묘판의 이동속도에 비례하여 드럼의 회전속도를 조절하여야 하며, 파종이 끝나면 드럼의 회전을 종료할 수 있도록 제어되어야 한다. 본 연구에서는 파종 시작 및 종료 등을 제어하기 위하여 마이크로컴퓨터를 이용하였다. 제작된 육묘용 파종장치는 기구부, 제어부, 센서부로 구성하였다. 기구부는 컨베이어 장치, 종자통, 드럼, 드럼 흡인구멍으로 종자를 흡인할 수 있도록 진공을 유지해 주고 직접 파종하거나 흡인구멍을 세척할 수 있도록 압축공기를 연결해 주는 공기압 연결장치, 드럼을 구동시키는 스테핑 모터(stepping motor), 드럼의 흡인구멍에 2립이상 흡착된 종자를 제거하는 공기 블로우어(air blower)로 구성하였다. 센서부는 육묘판의 존재여부를 감지할 수 있도록 광센서를 사용하였으며, 제어부는 센서의 신호를 받아 스테핑 모터를 작동하는데 필요한 신호를 만드는 마이크로컴퓨터, 마이크로컴퓨터와 센서, 스테핑 모터를 연결해 주는 입출력 인터페이스(I/O interface)로 구성되어 있다. 종자의 원할한 흡인 및 배출을 위하여 진공펌프(vacuum pump)와 공기압축기(air compressor)를 사용하였다.

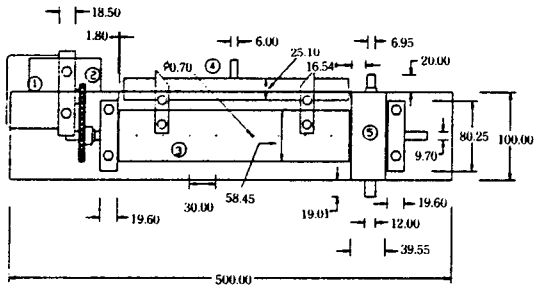
1) 기구부

파종드럼은 육묘용 파종장치에서 가장 핵심적인 부분이다. MC 합성 수지와 PVC 파이프를 사용하여 직경 58.5mm의 드럼을 제작하였다. 파종성능은 드럼의 회전당 파종줄수와 드럼의 회전속도에 의하여 결정되며 보통 1회전에 4, 6, 8줄이 가능하도록 설계된다. 본 연구에서는 시험적으로 회전당 4줄의 파종이 가능하도록 드럼의 표면에 90°의 간격으로 흡인관을 만들어 제작하였다.

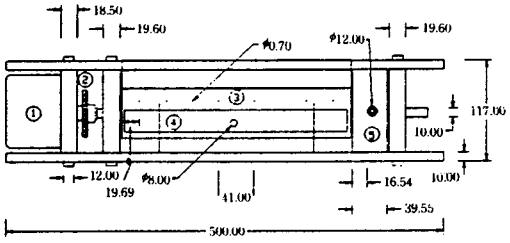
원통형의 MC 합성 수지 외곽의 표면을 90°의 간격으로 가로 9.6mm, 세로 5.3mm의 사각형 형태로 깎아 내어서 4줄의 홈을 만든 후 PVC 파이프에 끼운 형태로 드럼을 제작하였다. 종자를 종자통에서 흡인하고 육묘판으로 배출하기 위해서 드럼축과 평행한 4줄의 흡인관에 연결되는 흡인구멍은 육묘판의 규격을 고려하여 제작하였다. 노즐이나 오리피스를 사용할 수 있으나, 본 실험

에서는 8×16공의 육묘판을 사용하는 것으로 계획하여 드럼의 외부 표면에 직접 8개의 흡인구멍을 뚫었다. 흡인구멍이 너무 크면 종자가 구멍 속에 박히거나 한 구멍에 종자가 2~3개씩 붙어서 올라오는 문제가 발생하고, 너무 작으면 조그만 이물질에도 구멍이 막히거나 구멍이 작은 만큼 흡인압력을 크게해야 하므로 본 연구에서는 직경 0.7mm의 흡인구멍을 만들었다 (Sial and Persson, 1979). 육묘판의 규격이나 종자의 크기에 따라 적절한 드럼으로 교환이 용이하도록 파종장치를 제작하였다(그림 1).

회전하는 드럼과는 달리 공기압 연결부는 항시 고정되어야 하며, 흡인구멍은 종자를 흡착할 때는 진공상태를 유지하고, 종자를 배출할 때는 압축공기를 이용할 수 있도록 드럼의 회전위치에 따라 적절한 압력을 유지하여야 한다. 따라서, 본 연구에서는 회전하는 드럼에 종자를 흡착시키고 배출하기 위하여 진공펌프와 공기압축기를 연결하는 공기압 연결부를 제작하였다.



(a) Front view

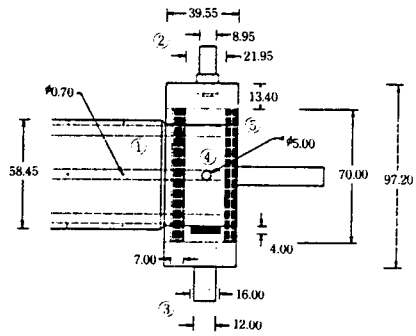


(b) Top view

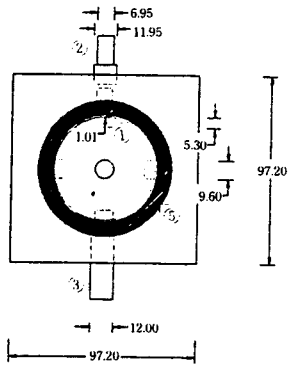
① Stepping motor ② Chain
③ Drum ④ Blower ⑤ Coupler

Fig. 1 Dimension of automatic drum seeder

공기압 연결부는 97.2×97.2mm의 크기와 두께 39.6mm의 아크릴로 제작하였으며, 단면에 직경 70mm의 구멍을 뚫어서 드럼에 연결할 수 있도록 하였다(그림 2). 공기압 연결부의 위쪽으로 진공펌프에 연결할 수 있도록 높이 20mm, 내경 8.95mm, 외경 12mm의 진공펌프 연결부를 만들고, 공기압 연결부의 아랫쪽으로 공기압축기에 연결할 수 있도록 진공펌프 연결부와 같은 크기의 공기압축기 연결부를 만들었다. 고정된 공기압 연결부와 회전하는 드럼을 밀착시키고 드럼이 부드럽게 회전하면서 공기가 새어나가지 않도록 유지하기 위하여 내경 55mm, 외경 70mm, 두께 7mm의 라이너 링(liner ring) 2개를 사용하였다.



(a) Front view



(b) Side view

① Vacuum lines ② Vacuum pump connector ③ Air compressor connector ④ Air infusing hole ⑤ Oil seal

Fig. 2. Dimension of air connector unit

드럼과 연결된 공기압 연결부 안쪽에는 라이너 링의 외경과 내경의 차이(15mm)와 2개의 라이너 링 간격(22mm) 만큼의 드럼을 둘러싸는 도우넛 모양의 밀폐된 공간이 생기며, 진공펌프가 작동하면 밀폐된 공간 전체는 진공상태를 유지하게 된다. 드럼의 끝 부분에는 드럼의 흡인관과 연결되는 직경 5mm의 공기주입구를 뚫어 공기압 연결부와 연결되어 있다. 드럼과 함께 회전하는 공기주입구는 도우넛 모양의 밀폐된 공간에 위치하면 드럼의 흡인관은 진공상태를 유지하게 되고, 공기압축기 연결부와 일치하면 흡인압력을 차단하고 압축공기를 흡인관으로 넣어주게 된다.

공기압축기 연결부는 진공펌프 연결부위와는 달리 직접 드럼에 밀착되어 있다. 공기주입구가 공기압축기 연결부를 지날 때 진공상태를 해제함과 동시에 압축공기를 불어 넣어 종자를 육묘판에 떨어뜨리고 분진이나 먼지 등을 털어내는 기능을 한다. 완전하게 진공상태를 차단하면서 드럼이 유연하게 회전할 수 있도록 공기압축기 연결부의 안쪽 끝에 공기주입구의 직경과 같은 5mm의 내경과 두께 4mm의 고무링을 부착하여 공기압축기 연결부를 드럼에 밀착하였다.

육묘판의 각 셀(cell)에 1립씩 파종을 위해서는 드럼의 각 흡인구멍에 종자가 1립씩만을 흡착되어야 한다. 그러나 흡인압력, 흡인구멍의 크기, 종자의 형태, 드럼에 발생되는 정전기 등으로 드럼의 흡인구멍에 1립 이상의 종자가 붙는 경우가 생기기 때문에 이를 제거하기 위하여 공기 블로우어를 사용하였다.

불필요한 종자를 제거하기 위한 공기 블로우어는 직경 25mm의 파이프에 드럼의 흡인구멍(직경 0.7mm)보다 큰 직경 3mm의 공기구멍을 뚫어 공기압축기와 연결되어 있으며, 블로우어의 공기구멍은 드럼의 흡인구멍과 같은 위치에 있도록 설치하였다. 드럼의 흡인구멍 가까이에서 압축공기를 불어내어 2~3개씩 흡착된 종자가 공기에 의해 떨어지도록 제작하였다.

종자통의 기능은 종자를 보관하고 드럼의 흡인구멍에 종자가 잘 붙을 수 있도록 공급해야 한다. 종자통은 특별한 강도를 필요치 아니하므로 제작이 용이한 함석판으로 종자통을 설계하였다. 종자를 밑으로 떨어뜨리지 않으면서 회전하는 드럼과 종자통이 마찰없이 종자를 드럼에 용이하게 공급하기 위하여, 드럼과 종자통 사이를 종자가 밑으로 떨어지지 않을 정도의 간격을 유지하며 약 45°의 경사를 주어 제작하였다. 육묘판을 연속적으로 이송하기 위하여 PVC로 제작된 길이 150cm, 폭 30cm의 컨베이어 벨트를 사용하였다. 컨베이어에는 가변 AC 모터(용량 40W)가 장착되어 있어 벨트의 이동속도를 조정할 수 있다. 벨트의 최대이송속도는 2 m/min이다. 컨베이어 벨트의 위쪽에 육묘판 감지센서와 파종장치를 설치하였다.

2) 센서부 및 제어부

육묘판이 파종위치로 접근하면 드럼이 회전하며 파종작업을 시작할 수 있도록 육묘판의 존재여부를 검출해 주는 센서가 필요하다. 감지대상물인 육묘판에 직접 접촉하는 접촉식센서보다는 일정한 위치에 고정되어 물체의 존재 및 통과여부를 검출해주는 비접촉식 광센서를 사용하였다. 투광기로부터 나온 빛이 수광기에 입사되는 여부에 따라 물체의 존재를 감지하는 투수광형 광센서(Autonics사, 모델 BM3M－TDT12)를 파종위치에서 약 15cm 전방에 설치하였다. 컨베이어 벨트의 양쪽에 광센서의 투광기와 수광기를 일직선상에 마주 향하게 설치하여, 육묘판이 접근하면 투광기에서 수광기로 입사되는 빛이 차단되어 검출신호가 발생하도록 하였다. 광센서로부터 검출된 신호는 입출력 인터페이스(I/O interface)를 통하여 마이크로컴퓨터에 입력되도록 하였다.

일반적으로 드럼방식의 육묘용 파종장치는 진공압력을 이용하여 종자를 흡인하므로, 흡인공기가 새지 않고 파종장치를 구동하기 위해서 토크가 큰 DC 모터를 사용하여 구동한다. 스테핑모터가 DC 모터에 비해서 토크가 약하다는 것이 큰 단점이나, 육묘판의 존재 여부를 감지하여 구동하고, 파종이 끝나면 모터를 멈추는 작업이 정

확하게 이루어져야 하기 때문에 제어가 용이한 스테핑 모터를 사용하였다. 스테핑 모터는 디지탈 신호로 제어가 가능하므로 다른 구동모터보다는 제어장치가 간단하고 경제적이며, 회전수는 입력 펄스의 수, 회전속도는 입력 펄스율에 비례하여 구동되기 때문에 간단한 프로그램으로 제어가 용이하며 모터의 기동, 정지 및 변속이 쉽다. 스테핑 모터의 토크를 드럼에 원할하게 전달하기 위하여 드럼과 스테핑 모터는 체인을 사용하여 연결하였다.

스테핑 모터의 구동을 위하여 그림 3와 같이 스테핑 모터 구동회로를 제작하였다. 제작된 구동회로는 마이크로컴퓨터에서 보내주는 펄스신호를 판독, 분배, 증폭하고, 스테핑 모터의 각 권선을 정해진 순서로 여자하기 위한 회로로서, 여자순서를 결정하는 논리회로와 스테핑 모터의 권선에 전류를 공급하는 전력 제어회로로 구성되어 있다.

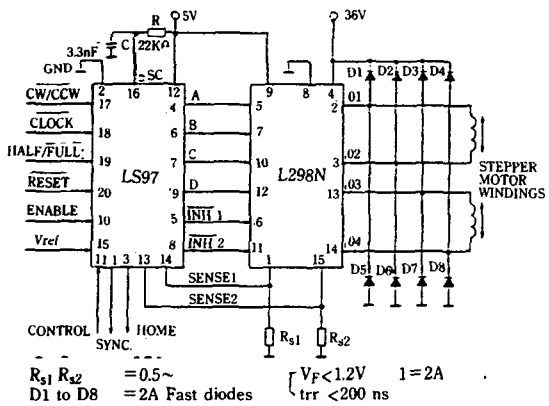


Fig. 3. Circuit of stepping motor driver

육묘판을 감지하는 광센서에서 검출된 신호를 받아 들이고, 스테핑 모터를 구동하는 신호를 내보내기 위해서 마이크로컴퓨터는 입출력 인터페이스 시스템(한도엔지니어링사의 모델 Lab 8800)을 통하여 광센서와 스테핑 모터에 연결되어 있다(그림 4). 입출력 인터페이스 시스템에는 32채널의 12비트 A/D 변환기, 2채널의 D/A 변환기, 64채널의 디지탈 입출력 포트(I/O Port), 타이머, 3채널의 16비트 펄스계수기(Pulse Counter)가 포함되어 있다.

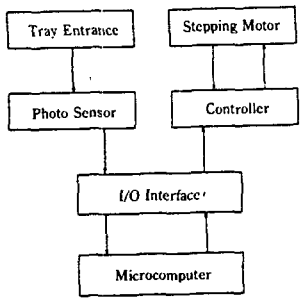


Fig. 4. Block diagram of automatic drum seeder

육묘판의 진입 여부를 감지하는 광센서의 신호를 받아들인 후, 파종장치 구동까지의 지연시간을 설정하고, 파종드럼을 정확한 회전속도와 회전수로 조절할 수 있도록 C 언어를 사용하여 자동 파종장치의 제어 프로그램을 개발하였으며, 흐름도는 그림 5와 같다.

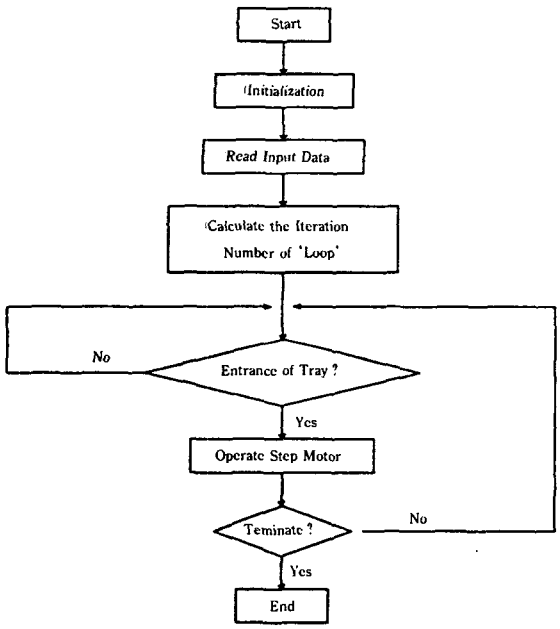


Fig. 5. Flowchart of control program

스테핑 모터는 마이크로컴퓨터에서 만들어 주는 펄스신호를 받아 구동하므로 스테핑 모터의 속도를 제어하기 위해서는 마이크로컴퓨터에서 만들어 주는 펄스율을 조절할 수 있도록 프로그램을 작성하여야 한다. 펄스율은 펄스의 폭을 조절하여 제어하므로, 스텝 지연시간을 조절하기 위하여 C 언어의 지연(delay)함수를 사용하면 10^{-3}초(ms)까지 조절할 수 있으나, 더욱 정밀한 속도를 제어할 수 있도록 반복루프를 이용하여 속도를 제어하였다. 프로그램은 다양한 기종의 마이크로컴퓨터에서도 적용될 수 있도록, 먼저 사용되는 마이크로컴퓨터의 속도를 검토한 후, 이에 따른 루프의 반복 횟수를 조절하여 스테핑 모터의 속도를 제어하였다.

본 연구에서 사용된 투수광형 광센서는 출력형식이 NPN 오픈컬렉타(open collector) 방식이며, DC 12~24V의 입력전압을 필요로 하기 때문에 출력전압도 DC 12~24V가 된다. 그러나, 사용된 입출력 인터페이스 시스템(Lab 8800)은 TTL 레벨의 5V 신호만 입력가능하므로 DC 12V 입력의 릴레이(relay) 회로를 사용하였다. 투수광형 광센서의 검출신호에 의하여 릴레이를 개폐시키고, 입출력 인터페이스 시스템 자체내에서 제공하는 TTL 레벨의 5V를 출력신호로써 입출력 인터페이스 시스템의 디지탈 입력포트에 연결하도록 릴레이 회로를 구성하였다. 스테핑 모터에 필요한 구동신호는 디지탈 출력포트를 통하여 출력되었다.

진공펌프와 공기압축기는 종자를 흡인하고 배출하는데 사용되고, 또한 1립 파종을 가능하게 하는데 이용된다. 진공펌프는 공기압 연결부의 상부에 위치한 진공펌프 연결부에 연결되어 종자를 드럼의 흡인구멍에 흡착시키기 위하여 진공을 유지하는데 사용된다. 그림 6은 본 연구에 이용된 진공펌프의 회전수에 따른 진공압력을 나타낸다.

공기압축기는 종자를 육묘판으로 배출하는 기능 뿐만 아니라 드럼의 작은 흡인구멍을 세척하는 기능도 한다. 공기압축기가 작동하지 않아도 공기압축기 연결부가 진공을 차단하여 종자를 자유낙하시켜 파종할 수 있으나, 육묘판의 이동속도가 빠르면 정확한 파종이 어렵고, 직경이 매우 작은 흡인구멍으로 종자를 흡인하면 분진과 먼지로 인하여 구멍이 막혀 적절한 압력을 유지할 수 없는 경우가 생긴다. 따라서, 공기압축기는 종자를 정확히 배출하고 흡인구멍을 세척하는데 중요한 기능을 한다.

다. 실험방법

파종장치는 기본적으로 1립파종을 원칙으로 한다. 예비 실험결과, 1립 파종에 영향을 미치는 주요 인자로서는 드럼의 회전속도와 공기블로우어의 유무로 판단되었다.

따라서, 파종장치의 성능실험은 드럼을 각각 5rpm, 10rpm, 15rpm으로 즉, 컨베이어 벨트의 이송속도를 1.5cm/s, 3.1cm/s, 4.6cm/s로 조정하여 공기 블로우어를 동작시켰을 때와 동작시키지 않았을 때의 파종효율을 비교하기 위해서 각각의 종자에 대해서 4회 반복하여 실험하였다. 드럼의 회전속도를 증가시키면, 스테핑 모터의 토크가 작아 탈조하는 현상이 발생하여, 드럼을 저속으로 회전하며 실험하였다.

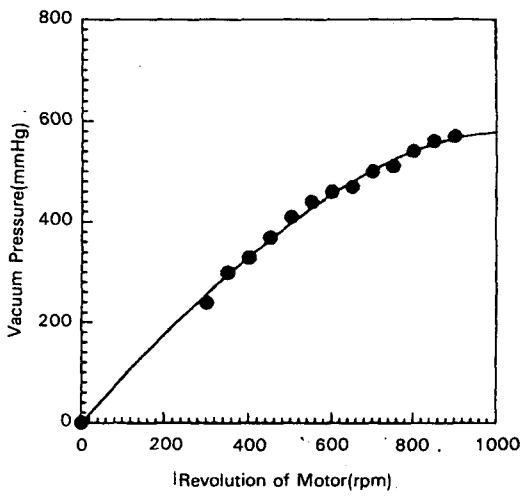


Fig. 6. Relation of D.C motor rpm and vacuum pressure

3. 결과 및 고찰

종자의 흡착에 필요한 적정흡인압력은 종자에 따라서 다르게 나타나며, 최소흡인압력으로 작동할 때 공기 블로우어를 동작시키지 않으면 아무런 문제가 발생하지 않는다. 그러나, 공기 블로우어에서 종자를 불어내는 압력이 흡착압력보다 크면, 드럼의 흡인구멍에 종자가 흡착하지 않은 경우가 발생하게 된다. 그러므로, 본 실험에서는 진공펌프의 성능을 고려하여 진공펌프의 흡인압력은 57mmHg로, 공기압축기의 압력은 525mmHg를 유지하며 실험을 수행하였다.

가. 종자별 적정 흡인압력

진공펌프에서 직접 흡인하는 진공압력과 드럼의 흡인구멍에서 흡인하는 흡인압력은 큰 차이가 있으며 각 종자가 드럼의 흡인구멍에 흡착되는 적정한 흡인압력을 조사하기 위해, 본 실험에 사용된 0.7mm의 직경을 가지는 파종드럼을 사용하여 흡인압력을 변화시켜 가면서 종자별 적정 최소 흡인압력을 실험하였다. 적정한 흡인압력은 종자의 무게에 따라 큰 차이가 있었으며, 종자별 최소흡인압력은 상추는 4.4mmHg, 들깨는 5.0mmHg, 배추는 5.2mmHg, 고추는 12.2 mmHg로 나타났다. 종자의 무게가 증가할수록 종자를 흡착하기에 필요한 흡인압력은 증가되었다.

나. 파종효율

배추와 들깨의 파종효율을 검증하기 위하여 진공펌프의 성능을 고려하여 진공펌프의 최대 진공압력을 570mmHg로 유지 하였을때, 드럼의 흡인구멍에서의 흡인압력은 23.17mmHg, 공기 블로우어의 압력은 65.61mmHg 정도를 유지하며 실험을 수행하였다.

배추의 파종효율을 검증하기 위하여 드럼에 흡인구멍의 직경을 0.7mm로 뚫었다. 배추종자는 공기 블로우어를 작동에 관계없이 결파율이 거의 없는 것으로 나타났다(표 2). 공기 블로우어를 작동하면 불필요한 종자의 흡착을 방지하여 1립 파종율은 약 98%로 향상되었으나, 공기 블로우어가 완벽하게 불필요한 종자를 제거하지 못하였다. 드럼의 회전속도는 파종효율에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났지만, 드럼의 회전속도가 저속이므로 파종율에 미세한 영향을 주었을 것으로 판단되었다.

들깨는 배추보다 가벼우나 파종효율이 떨어지는 것으로 나타났다. 결파율은 2% 미만으로 배추보다 높으나 비교적 양호한 성능을 보여주었다. 공기 블로우어를 작동시켰을 때의 단립 파종율은 약 95%의 높은 효율을 보여주었으나, 공기 블로우어를 동작시키지 않았을 때에는 약 87%의 낮은 파종효율을 나타내었다(표 3). 종자의 형태가 비슷함에도 불구하고 배추의 파종효율이 높은 이유는 배추의 형상이 들깨의 형상보다 구형에 가깝고, 표면이 들깨보다는 부드럽기 때문으로 판단되었다.

Table 2. Seeding rate of chinese cabbage

	Conveyor Speed(cm/s)	Missing Seed(%)	Single Seed(%)	Multiple Seed(%)
Without Air Blower	1.53	1.0	87.9	11.1
	3.06	0.0	87.1	12.9
	4.59	1.4	87.7	10.9
With Air Blower	1.53	0.8	96.9	2.3
	3.06	2.0	94.7	3.3
	4.59	1.4	97.0	1.6

Table 3. Seeding rate of perilla

	Conveyor Speed(cm/s)	Missing Seed(%)	Single Seed(%)	Multiple Seed(%)
Without Air Blower	1.53	0.0	92.1	7.9
	3.06	0.2	91.6	8.4
	4.59	0.2	92.8	7.0
With Air Blower	1.53	0.2	98.4	1.4
	3.06	0.0	97.7	2.3
	4.59	0.6	97.5	2.0

상추는 파이프를 이용하여 흡인구멍의 직경을 0.6mm, 0.7mm, 0.8mm로 하여 실험한 결과 흡인구멍의 직경이 적고 흡인압력이 낮을수록 1립 파종율이 증가함을 알 수 있었다. 흡인구멍의 직경이 0.6mm, 흡인압력이 4.4mmHg일때의 단립 파종율은 62.5%로 나타났으며, 흡인구멍의 직경 0.7mm, 흡인압력 5.9mmHg 이하에서는 단립파종율이 57.5%로 나타났다. 상추의 파종효율을 70%이상으로 높이기 위해서는 공기 블로우어의 역할이 중요함을 알 수 있었다. 따라서, 상추는 흡인압력을 낮추고 공기 블로우어의 압력을 미세하게 조절하여 실험을 하여야 하나, 본 연구에 사용된 공기 압축기는 일정한 압력의 유지 및 압력의 미세한 조절이 어려운 관계로 흡인압력 23.2mmHg, 공기 블로우어의 압력 65~280 mmHg로 높게 설정하여 실험을 수행하였다.

상추의 1립 파종율은 공기 블로우어의 압력이 235mmHg~280mmHg일 때 70% 정도로 나타났다. 공기 블로우어의 압력을 증가시키면 결파율은 증가하나 다립 파종율은 감소하였으며, 1립 파종율은 공기 블로우어의 압력이 147mmHg 이상일 때, 대체적으로 만족할만한 성능 향상을 나타내었다(표 4). 공기 블로우어가 작동하지 않을 때, 상추의 1립 파종율은 흡인구멍의 직경과 흡인압력이 작을수록 증가하였다. 그러나 전체적으로 결파율을 줄이고 1립 파종효율을 더욱 향상시키기 위해서는, 흡인압력과 흡인구멍의 직경보다는 공기 블로우어의 역할이 중요함을 알 수 있었고, 공기 블로우어의 압력을 미세하게 조절하고 일정하게 유지할 수 있으면, 더욱 높은 파종효율을 얻을 수 있을 것으로 판단되었다.

고추는 흡인구멍의 직경이 1.0mm, 흡인압력이 2.94mmHg일때 1립 파종율이 가장 높았다. 전체적으로 직경이 크고 흡인압력이 클수록 결파율은 적었으나 1립 파종율만을 고려할 때, 직경이 1.0mm 보다 클때는 다립 파종율이 급격하게 증가하였다. 직경 0.7mm에서도 흡인압력이 증가하면 결파율은 감소하고 단립 파종율도 증가하나 흡인압력이 51.49mmHg 이상일때는 결파율은 거의 없는 반면에 단립 파종효율은 다소 감소하였다(표 5).

본 연구에서 사용된 진공펌프의 성능은 최대 진공압력이 약 570mmHg이나, 실제로 드럼에 적용할 때 흡인구멍에서의 흡인압력은 23.17 mmHg가 최대였으며, 흡인압력을 높이기 위해서 드럼의 4개의 진공 라인중 3개의 진공 라인을 봉하여 흡인압력을 50.24mmHg로 높혀 3회 반복 실험 하였다. 파이프를 이용한 실험에서 흡인압

Table 4. Seeding rate of lettuceTable

Hole Diameter(mm) \ Vacuum Pressure (mmHg)		4.41	6.03	7.36	8.83	11.03
0.6	Missing Seed(%)	10.0	7.5	0.0	0.0	0.0
	Single Seed(%)	62.5	50.0	52.5	45.0	35.0
	Multiple Seed(%)	27.5	42.5	47.5	55.0	65.0
0.7	Missing Seed(%)	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Single Seed(%)	57.5	57.5	42.5	17.5	15.0
	Multiple Seed(%)	37.5	42.5	57.5	82.5	85.0
0.8	Missing Seed(%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Single Seed(%)	57.5	17.5	20.0	15.0	15.0
	Multiple Seed(%)	42.5	82.5	80.0	85.0	85.0

Table 5. Seeding rate of pepper

Hole Diameter(mm) \ Vacuum Pressure (mmHg)		2.94	5.88	8.83	14.71	29.42	51.49
0.7	Missing Seed(%)	100.0	100.0	35.0	10.0	2.5	0.0
	Single Seed(%)	0.0	0.0	57.5	75.0	75.0	52.5
	Multiple Seed(%)	0.0	0.0	7.5	15.0	22.5	47.5
1.0	Missing Seed(%)	2.5	10.0	2.5	0.0	0.0	
	Single Seed(%)	85.0	72.5	52.5	40.0	10.0	
	Multiple Seed(%)	12.5	17.5	45.0	60.0	90.0	
1.5	Missing Seed(%)	0.0	0.0	0.0			
	Single Seed(%)	45.0	20.0	12.5			
	Multiple Seed(%)	55.0	80.0	87.5			
2.0	Missing Seed(%)	0.0					
	Single Seed(%)	12.5					
	Multiple Seed(%)	87.5					

력이 최소 51.49mmHg 이상일 때 결파율이 없었으므로 이 이상의 흡인압력으로 흡인하면서 공기 블로우어를 작동시켜 실험을 하여야 하나, 50.24mmHg가 최대 흡인압력이므로 공기 블로우어를 작동시키지 않고 실험을 하였다. 흡인압력을 증가시킨 결과, 결파율은 20%정도로 나타났으며, 단립파종효율도 56%정도로 나타났다. 따라서, 고추의 경우도 흡인압력을 더욱 크게 하면 결파율을 줄일 수 있고, 공기 블로우어를 작동시키면 단립 파종율을 더 높일 수 있을 것으로 판단되었다.

4. 결론 및 요약

컴퓨터를 이용하여 국내 실정에 적합한 자동파종시스템을 개발하기 위하여 수행되었다. 육묘용 파종장치는 기구부, 제어부, 센서부로 구성하였다. 기구부는 컨베이어 장치, 종자통, 드럼, 드럼 흡인구멍으로 종자를 흡인할 수 있도록 진공을 유지해 주고 직접 파종하거나 흡인구멍을 세척할 수 있도록 압축공기를 연결해 주는 공기압 연결장치, 드럼을 구동시키는 스테핑 모터(stepping motor), 드럼의 흡인구멍부에 2립이상 흡착된 종자를 제거하는 공기 블로우어(air blower)로 구성하였다. 센서부에서는 육묘판의 존재 여부를 감지하도록 하였다. 제어부는 센서의 신호를 받아 스테핑 모터를 작동하는데 필요한 신호를 만드는 마이크로컴퓨터, 마이크로컴퓨터와 센서, 스테핑 모터를 연결해 주는 입출력 인터페이스(I/O interface)로 구성되었으며, 부가적으로 종자의 흡인 및 배출을 위해 드럼부에 연결된 진공펌프(vacuum pump)와 공기압축기(air compressor)로 구성되었다. 제어프로그램은 센서의 신호를 받아들이고 입력된 회전수와 속도로 드럼을 구동할 수 있도록 C 언어로 작성하였다.

종자의 기하학적 특성을 조사하기 위해서 종자의 길이, 폭, 두께, 무게 등을 측정하였으며, 각 종자가 드럼에 흡착되는데 필요한 최소흡인압력을 측정하였다. 파종기의 성능분석을 위하여 드럼을 각각 5rpm, 10rpm, 15rpm으로 구동하여 공기 블로우어를 동작시켰을 때와 동작시키지 않았을 때 각각의 종자에 대하여 파종효율을 측정하였으며, 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 종자를 흡인하고 배출할 수 있도록 드럼내의 진공을 유지하거나 차단하며 압축공기를 연결할 수 있는 공기압 연결장치는 드럼식 파종장치에서 중요한 부품으로 만족한 성능을 보여주었다.
2. 종자가 드럼의 흡인구멍에 흡착되는 적정한 흡인압력은 종자의 무게가 증가할수록 증가되었으며, 작 물별 최소흡인압력은 상추 4.4mmHg, 들깨 5.0mmHg, 배추 5.2 mmHg, 고추 12.2mmHg로 나타났다.
3. 배추와 들깨와 같이 형상이 구형인 종자는 결파율이 낮았으며, 단립 파종효율은 97% 이상으로 나타나는 우수한 파종효율을 보여 주었다.
4. 상추와 같이 무게가 가볍고 끝이 가느다란 종자는 결파율은 낮았으나, 드럼의 흡인구멍에 3~4립 이 상씩 붙는 경우가 많이 발생하였다. 따라서, 드럼 흡인구멍의 직경을 작게 하고, 공기 블로우어의 압력을 증가시키므로써 흡인구멍에 달라붙는 종자의 갯수를 최대한 줄여야 한다.
5. 고추와 같이 납작한 형태의 종자는 형상의 불균일 때문에 결파율이 매우 높았다. 그러므로 드럼 흡 인구멍의 직경을 증가시키고, 흡인구멍과 종자의 접촉면적을 높일 수 있도록 파종 드럼을 개선하여야 한다.
6. 파종기의 작업성능을 향상시키기 위하여 종자의 형태와 무게에 적절한 드럼 흡인구멍의 크기와 흡인 압력을 조정하고 공기 블로우어의 개선 및 스테핑모터를 DC 모터로 교환하여야 할 것으로 판단되었다. 드럼의 재질은 정전기 등을 방지할 수 있도록 플라스틱보다는 스테인레스 등을 이용하는 것이 바람직 할 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. 박상근. 1994. 공정육묘 시스템의 도입 필요성과 전망. 공정육묘 온실의 자동화시스템 개발. p1-12.
2. 장진택, 이채식, 김충길, 강태경, 삼정(주). 1993. 채소육묘용 간이파종기 개발. 시험연구보고서. 농촌진흥청 농업기계화연구소. p234-237.
3. Ghate, S. R., S. C. Phatak and C. A. Jaworski. 1981. Seeding pre-germinated vegetable seeds in plots. Transactions of the ASAE 24(5) : 1099-1102, 1107.
4. Giannini, G. R., W. J. Chancellor and R. E. Garrett. 1967. Precision planter using vacuum for seed pickup. Transactions of the ASAE 10(5) : 607-610, 614.
5. Hassan, A. E. 1981. Precision drum seeder for uniform spacing. Transactions of the ASAE 24(4) : 879-883.
6. Moden, Jr., R. S. Jacobson and F. H. Pitkin. 1974. Planter for nursery seedbeds. Transactions of the ASAE 17(5) : 805-807, 813.
7. Sial, F. S. and S. P. Persson. 1979. Optimun design of vacuum planter metering mechanisms. ASAE Paper No. 76-1075.
8. Upadhyaya, S. K., L. D. Gautz and R. E. Garrett. 1987. Retrofitting vegetable planters to seed gel-encapsulated propagules. Applied Engineering in Agriculture 3 (2) : 211-214.
9. Wilkins, D. E. and D. H. Lenker. 1981. A microprocessor-controlled planter. Transactions of the ASAE 24(1) : 2-4, 8.
10. Zulin, Z., S. K. Upadhyaya, S. Shafii and R. E. Garrett. 1991. A hydropneumatic seeder for primed seed. Transactions of the ASAE 34(1) : 21-26.