

진공노즐식 파종기의 최적 작동조건

Optimum Operating Conditions of a Vacuum Nozzle Seeder

민 영 봉 정회원 Y. B. Min	김 성 태 정회원 S. T. Kim	정 태 상 정회원 T. S. Chung
---------------------------	---------------------------	-----------------------------

SUMMARY

For maximum seeding efficiency of a nozzle type seeder, the performance of the nozzle should be considered sufficiently. This study was carried out to investigate the optimum operating conditions of a seeder attached the vacuum nozzle, which was modified syringe needle, acting on the plug seedling tray and the seed plate. Such operating factors as the hole diameter of the nozzle (d), the distance from the nozzle tip to the bottom plate of seed hopper (D), the absorbing air pressure of the nozzle tip (P), the bounding height of seed from the vibrated bottom plate of seed hopper and the seeding speed were selected, based on the weight of a grain of seed (W). The treated materials were pepper seed as the flat type, cucumber seed as the oval type, and radish seed as the spherical type.

The optimum operating conditions of the experimental seeder were revealed as follows:

1. The height of the seed bounding from the bottom plate of seed hopper and the distance from nozzle tip to bounded seed were 5 mm and 0.5 mm at all seeds. The hole diameter of the nozzle and the absorbing pressure for pepper seed, cucumber seed, and radish seed was 0.45 mm, 0.65 mm, 0.65 mm and 39.2 kPa, 88.3 kPa, 58.8 kPa, respectively.

2. The absorbing pressure P was represented as $P = \eta \cdot 4W / \pi d^2$, where η was 100. The seeding speed using a 128 cell tray was 2.4 cm/s which was same transfer as 2.5 trays per minute.

3. The maximum seeding rate, in case of the pepper seed was 97%, the cucumber seed was 95%, and the radish seed was 100% under the optimum operating conditions of the seeder.

주요 용어(Key Words) : 파종기(Seeder), 진공노즐(Vacuum nozzle), 파종율(Seeding rate),

1. 서 론

1992년 이후 우리 나라는 생력자동화 모종생산

을 위해 공정육묘장의 설립을 추진하여 작금에는 셀성형묘로서 플러그묘의 생산량이 급속도로 증가하고 있다. 현재 공정육묘장에서는 육묘트레이 1

셀당 1주의 모를 육묘하여 이식시의 효율을 높이고자 노력하고 있다. 한 셀에서 2주 이상의 모가 발아하면 육묘중 수음작업이 필요하며, 파종이 안되어 결주된 셀은 보식작업의 노력이 필요하다. 그러므로 플러그묘의 파종에는 충실한 종자를 한 셀당 한 개씩 파종(이하 1립파종율)하여 파종율을 높이는 것이 중요하다.

박 등³⁾은 육묘용 자동파종기 개발을 통해 셀당 종자 한 알씩을 파종하여 파종율을 높일 수 있는 가장 효과적인 것은 주사바늘을 흡입노즐로 사용하는 파종기로, 드럼형파종기에 비해 작업능률은 다소 떨어지나 1립 파종율은 15% 정도 높일 수 있다고 보고하였다. 이 파종기는 주사바늘의 끝을 평면으로 가공하여 바늘 구멍내에 부압의 흡착공기압을 발생시켜 종자를 바늘 끝에 1립씩 부착시켜 트레이 셀로 옮긴 후 흡착부압을 제거하고 정압을 걸어 종자를 셀 중앙에 낙하시키는 것이다. 이 파종기를 이용하여 고추, 배추, 무, 들깨, 참깨 등의 종자를 파종할 때, 파종율을 높이기 위해서는 종자에 맞는 노즐의 구경(이하 구경)과 흡착부압의 조정이 필요하였던 바, 노즐의 구경 0.1~0.5 mm, 흡착부압 -39.4~78.5 kPa(-0.3~0.8 kg/cm²)로 종자호퍼 바닥판을 진동시켜 종자가 튀어 오르게 하면 85% 이상의 파종율을 얻을 수 있다고 하였다. 기타 이와 관련된 것으로는 공정육묘용 파종기의 원리와 제품을 소개한 정도가 있을 뿐이며, 기계별, 종자별로 최상 파종효율을 나타내는 작업조건 등에 관한 연구는 찾아보기 어렵다.

본 연구에서는 주사바늘을 변형한 노즐장착 파종기에서 종자호퍼 바닥판 진동에 의하여 종자가 튀어 오르는 종자의 최적 진동높이를 결정하고, 노즐의 구경, 종자 흡착부압 및 종자호퍼 바닥판과 노즐 끝(nozzle tip)과의 거리의 변화 등에 따른 종자의 종류별 파종율의 변화를 조사하여, 진공노즐식 파종기의 최대파종율을 얻을 수 있는 작동조건을 구명하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시 파종기

공시 파종기는 박 등³⁾에서 개발하여 사진 1과 같이 상품화된 것으로 외형규격은 1,500 mm×500 mm×850 mm이고, 육묘트레이 이송용 벨트컨베이어의 구동동력은 220V 0.2kW, 노즐의 흡착공기압과 종자호퍼 바닥판 진동공기압 발생용 공기압축기의 구동동력은 220V 3.7kW 였으며 기계의 총무게는 60kg 이었다. 실험에 사용된 노즐의 구경은 0.45 mm, 0.55 mm 및 0.65 mm의 주사바늘의 경사단면을 평면으로 가공한 것이며, 이 노즐이 부착된 장치의 이동에는 공기실린더를 이용한다. 종자호퍼는 두께 1.2 mm인 알루미늄판으로 120 mm×360 mm×30 mm인 상자로 제작되었고, 종자호퍼 바닥판의 진동을 위해 종자호퍼 측면지시판에 진동기를 붙였는데, 이 진동기는 공기압으로 회전수가 조절되는 공기모터의 축에 편심추를 붙여 30~1,000 Hz 범위의 진동수 조정이 가능하였다. 파종 대상 육묘트레이(seedling tray)는 600 mm×280 mm×38 mm의 크기에 8열 16행의 128셀(cell)이었다.

그림 1은 파종장치 부분을 나타낸 것으로, 이송벨트 위의 육묘트레이가 파종위치에 오면 인식센서에 의해 노즐부(nozzle unit)가 자동으로 작동한다. 노즐부는 공압에 의해 노즐안내대를 따라 이동, 전진하여 종자호퍼 바닥판 (bottom plate of seed hopper) 위에서 종자를 흡착하고 후진하여 안내구를 통하여 종자를 육묘트레이의 각 셀에 낙하시키도록 되어 있다. 종자 흡착시에는 노즐내에 부압을 걸어 종자 낙하시에는 노즐내에 정압을 거는데, 압력의 조절에는 벤추리원리에 의한 부압발생기와 슬레노이드밸브를 사용하였다. 곧 흡착부

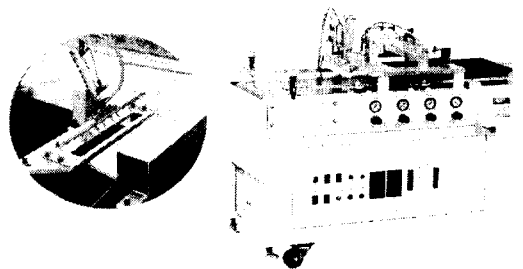


Photo 1. Experimental seeder and nozzle unit.

압인 부압의 강약은 부압발생기로 보내는 공기압으로 조절하며, 노즐은 종자의 모양에 따라 구경이 다른 것을 교체할 수 있는 구조로 되어 있다.

나. 시험종자

시험용 종자로는 형태상으로 기준이 될 수 있는 것으로 납작형은 고추종자를, 타원형은 오이종자를, 또 구형은 무종자를 각각 선택하여 시험하였는데, 각 종자의 1,000립 무게(*W*)와 규격은 표 1에서와 같다.

다. 시험방법

시험분석에 사용된 용어는 다음과 같이 정의하였다.

(1) 파종율

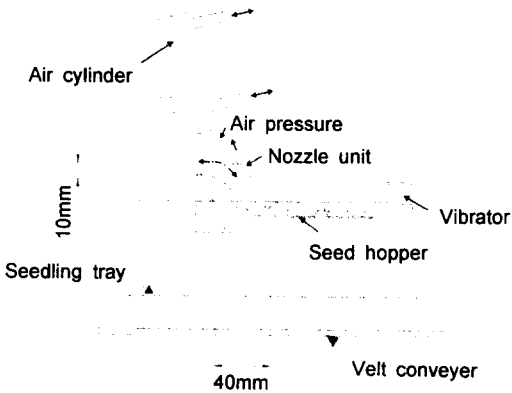


Fig. 1 Schematic of the seed delivery system.

(1립과종 셀의 수/전체과종 셀의 수)×100, (%)

(2) 이송속도

5개의 육묘트레이의 길이/통과시간, (cm/s)

(3) 흡착부압

노즐이 종자를 흡착할 때의 노즐내부 구멍에 작용하는 공기의 부압, (kPa)

(4) 진동압력

종자호퍼 바닥판에서 종자를 튀어 오르게 하는 진동기 공기모터의 구동공기의 압력, (kPa)

(5) 종자의 진동높이

종자호퍼 바닥판의 진동에 의해 종자가 튀어 올랐을 때, 진동판 바닥과 종자 윗면까지의 높이, (mm)

(6) 노즐간격

노즐이 종자를 흡입할 때 종자호퍼 바닥판에서 노즐팁까지의 거리, (mm)

(7) 종자-노즐간격

노즐이 종자를 흡입할 때 노즐팁과 튀어 오른 종자사이의 간격, (mm) 이 때 종자-노즐간격의 값은 노즐간격에서 종자의 진동높이를 뺀 값과 같게 된다.

파종기의 노즐대에 일정 구경의 노즐을 설치한 후 종자의 진동높이, 흡착부압, 종자호퍼 바닥판의 진동압력 및 육묘트레이 이송속도 등을 변수로 파종작업을 실시하여 파종율을 조사하였다. 종자호퍼 바닥판 진동압력의 크기는 진동계 가압호스 중

Table 1 Properties of the used seeds

Items	Seeds		
	Pepper	Cucumber	Radish
Shape	flat	oval	spherical
Mass of 1,000 grains (g)	6.5	29.4	19.7
Dimension (mm)	3.6(d)×0.9(t)	8.1×3.4×1.78	3.4(d)

간부에 압력계를, 또 노즐에서의 흡착부압의 크기는 노즐대에 연결한 호스의 중간부에 진공압계를 설치하여 측정하였으며, 각각에 압력조절기를 부착하여 압력을 조정하였다.

실험시 노즐의 구경(d)은 0.45 mm, 0.55 mm 및 0.65 mm의 3종을 사용하였으며, 진동압력을 39.2 kPa(0.4 kg/cm²), 49.0 kPa(0.5 kg/cm²), 58.8 kPa(0.6 kg/cm²) 및 68.6 kPa(0.7 kg/cm²)의 4단계로 변화시켜가며 종자의 진동높이를 측정하였다. 그리고 흡착부압(P)은 12.3 kPa(0.125 kg/cm²), 25.1 kPa(0.256 kg/cm²), 39.2 kPa(0.400 kg/cm²), 58.8 kPa(0.600 kg/cm²), 78.4 kPa(0.800 kg/cm²) 및 86.3 kPa(0.880 kg/cm²)의 6단계로, 노즐간격(D)은 4.0 mm, 5.5 mm 및 7.0 mm의 3단계로 각각 설정하여 실험을 수행하였다.

파종율은 128셀 육묘트레이 5개에 연속 파종한 후 전체 640개의 셀 가운데 종자가 한 개씩 파종된 셀의 수를 조사하여 산정하였으며, 파종상태의 확인이 용이하도록 파종작업 전에 육묘트레이 각 셀의 바닥에 얇은 종이를 깔았다.

3. 결과 및 고찰

가. 종자호퍼 바닥판 진동에 의한 종자의 진동 높이

종자호퍼에 적합량의 종자를 넣고, 공기진동기로 종자호퍼 바닥판을 진동시킬 때 표 2와 같이 진동압력이 39.2 kPa에서 68.6 kPa로 증가함에 따라 종자의 진동높이가 증가하였으나 사용한 종자의 무게 범위내에서는 질량과는 무관하게 나타났다. 곧 종자의 진동저항은 부피와 모양에 관계되

는 것으로 일반화된 관계를 찾기는 어려운 것으로 판단되었다.

종자의 진동높이에 관한 사항으로는 종자호퍼에 종자를 공급할 때 종자 적재층의 두께를 확보할 수 있어야 하고, 노즐팁의 손상을 방지하기 위해서는 종자호퍼 바닥판과 노즐팁 사이의 간격이 확보되어야 하며, 종자호퍼 내의 종자의 진동높이가 일정하게 유지될 수 있어야 하는 등의 조건을 충족하여야 한다. 이 조건을 충족하는 진동높이는 5 mm 정도가 가장 적합한 것으로 판단되었다.

나. 육묘트레이 이송속도에 따른 파종율

육묘트레이 이송속도가 파종율에 미치는 영향을 조사하기 위하여 이송속도 6단계, 노즐구경 5종, 흡착압력 5단계 및 노즐간격 6단계로 각 종자에 대하여 수백차례 파종율시험을 실시하였다. 방대한 자료 나열의 어려움 때문에 본 논문에서는 전반적으로 경향만 언급한다. 육묘트레이 이송속도가 증가하면 종자 파종속도도 증가시켜야 하기 때문에 종자가 노즐에 흡착하는 시간이 짧게되어 파종율이 떨어지고, 육묘트레이 이송속도가 느려지면 종자 흡착시간이 길게되어 2립이 파종되는 현상이 있었으며, 동일 이송속도에 대하여 최대의 파종율을 나타내는 노즐구경, 흡착압력 및 노즐간격은 다르게 나타났다. 최대의 파종율을 나타내는 노즐구경, 흡착압력 및 노즐간격에서의 육묘트레이 이송속도는 2.4 cm/s 전후로 나타났다. 이 이송속도는 분당 2.5개의 육묘트레이가 이송되는 속도와 같다. 이하 각 종자의 파종율 시험결과와 그림과 분석에서는 표현의 복잡함을 피하기 위하여 노즐구경, 흡착압력 및 노즐간격은 최적조건 부근의 시험범위만으로 한정하였다.

Table 2 Bounding height of seeds

Seeds	Vibrating air pressure, kPa(kg/cm ²)			
	39.2(0.4)	49.0(0.5)	58.8(0.6)	68.6(0.7)
Pepper	0 mm	2 mm	5 mm	10 mm
Cucumber	0	3	5	7
Radish	0	2	3.5	5

다. 파종율

파종율에 관계되는 작동조건 중 종자의 평균진동높이는 위 가.항에서 결정한 5mm로 하였고, 육묘트레이의 이송속도는 반복시험을 통해 최대의 파종율을 나타내는 조건인 2.4 cm/s로 고정하였다.

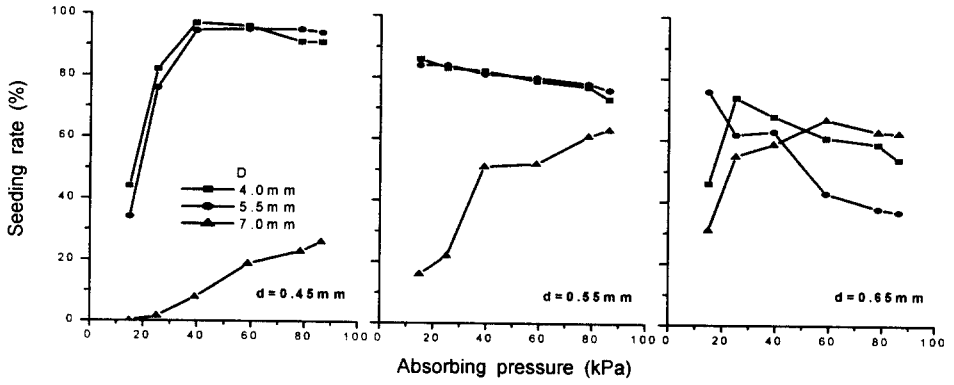


Fig. 2 Seeding rate of the pepper seed.

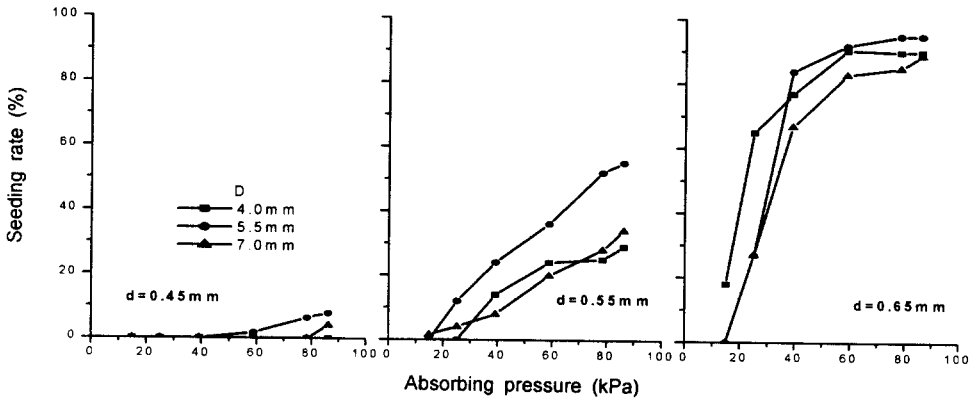


Fig. 3 Seeding rate of the cucumber seed.

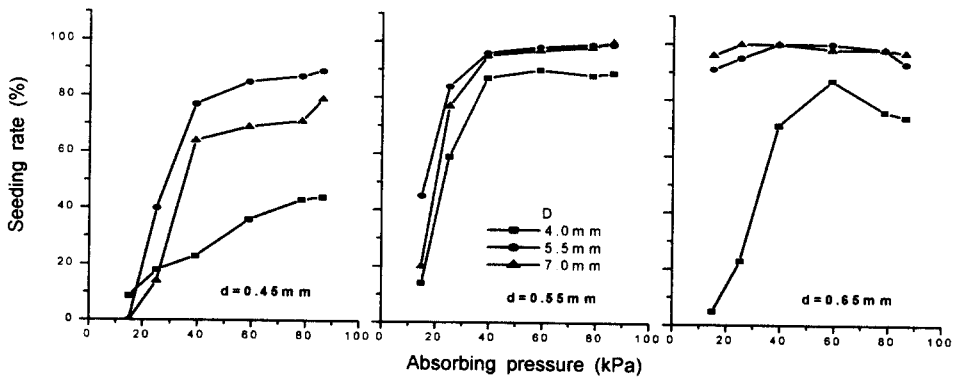


Fig. 4 Seeding rate of the radish seed.

(1) 고추종자의 파종율

그림 2는 고추종자에 대해 흡착부압의 변화에 따른 파종율의 변화를 노즐간격과 노즐의 구경 별로 나타낸 것이다. 이 때 진동압력은 58.8 kPa(0.6 kg/cm²)으로 고정하여, 종자의 진동높이가 평균 5 mm로 유지되게 하였다. 전반적으로 흡착부압이 증가하면 파종율은 증가하였지만 일정 압력 이상으로 증가하면 2립 이상의 파종구가 늘어나게 되어 파종율이 더 이상 증가하지 않았다. 따라서 흡착부압이 종자의 낙하를 방지할 수 있고 2립 이상의 종자가 흡착되지 않는 임계압력이 최적의 흡착부압인 것으로 판단된다. 이 임계압력 이상에서는 파종율이 1~7% 정도 낮은 값을 보였는데 이것은 흡착부압이 증가할 때 2립 이상의 파종구가 발생하였으며, 파종율의 계산에는 1립 파종구만으로 한정하였기 때문으로 생각된다. 한 셀에 2립 이상의 종자가 파종되는 경우는 흡착부압 32.9 kPa(0.4 kg/cm²)에서 발생하였으며 그 이상으로 흡착부압이 증가하면 2립 이상의 파종비율도 증가하였으며, 2립 파종율 포함한 파종율은 평균 98%로 높게 나타났다.

노즐구경이 0.45 mm에서 0.65 mm로 커질수록 파종율이 떨어지는 것으로 나타났는데, 이것은 고추종자가 두께 0.9 mm인 납작한 원형이어서 노즐의 구경이 크고 흡착부압이 높으면 노즐팁에 종자가 세로로 2립 흡착되는 경우가 있으며, 상대적으로 흡착부압이 낮으면 종자가 세로로 부착되어 노즐팁에 틈새가 생겨 종자의 흡착이 어렵기 때문인 것으로 판단된다. 전반적으로 노즐구경의 크기는 다른 조작 요인에 비해 파종율에 미치는 영향이 우선하며, 노즐구경 0.45 mm에서 전체적으로 파종율이 높은 것으로 나타났다. 흡착부압이 높아지면 노즐간격이 커도 되지만, 최적의 노즐구경 0.45 mm를 기준 하면 최대의 파종율을 나타낼 때의 노즐간격은 5.5 mm이었다. 이것은 종자의 평균진동높이보다 큰 값으로서 종자-노즐 간격이 0.5 mm인 때가 가장 적합하였음을 나타낸다.

이상에서 최대의 파종율을 나타내는 작업조건은 노즐구경 0.45 mm, 흡착부압 39.2 kPa, 종자-노즐간격 0.5 mm이었을 때로, 최대 파종율은 97%이었다.

(2) 오이종자의 파종율

그림 3은 오이종자에 대해 흡착부압의 변화에 따른 파종율의 변화를 노즐간격과 노즐의 구경 별로 나타낸 것이다. 각 작동조건이 파종율에 미치는 영향은 고추종자의 파종 때와 같은 경향으로 나타났다. 파종율은 고추종자와는 달리 노즐구경이 커질수록 증가하여 최대 구경인 0.65 mm에서 고른 파종이 이루어지고 최대의 파종율을 나타내었다. 오이종자는 모서리부분이 예리하여 면적이 넓은 측면(側面)이 노즐팁에 흡착하는 현상을 나타내며, 1립의 중량이 고추보다 4.5배나 무거우므로 노즐구경이 크고 흡착부압이 높을 때 파종율이 높아지는 것으로 판단된다. 노즐간격은 5.5 mm일 때가 파종율이 가장 높게 나타났으며 노즐간격이 7 mm으로 클 때에는 종자의 흡착이 어렵고, 또 4 mm로 작아지면 2립 흡착의 경우가 많았다. 따라서 노즐간격 5.5 mm 즉, 종자-노즐 간격 0.5 mm인 때가 가장 적합한 것으로 나타났다.

최대의 파종율을 나타내는 작동조건은 노즐구경 0.65 mm, 흡착부압 88.3 kPa 및 종자-노즐 간격 0.5 mm로 하였을 때로, 최대 파종율은 95%이었다. 이 값은 고추종자의 경우인 97%보다 낮은 값인데, 이는 간혹 종자의 모서리가 노즐팁에 흡착되어 노즐부의 이동 중에 종자가 낙하하는 현상 때문인 것으로 생각된다. 오이종자와 같이 모서리가 예리한 종자인 경우 노즐구경의 선택시에는 노즐팁에 종자의 모서리 바로 옆 표면이 부착하도록, 틈새가 없는 크기의 노즐로 하면 높은 파종율을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

(3) 무종자의 파종율

그림 4는 무종자에 대해 흡착부압의 변화에 따른 파종율의 변화를 노즐간격과 노즐의 구경 별로 나타낸 것이다. 다른 종자의 파종시험 때와 마찬가지로 무종자의 진동높이는 5 mm로 조절하였다. 무종자는 구형으로 모든 노즐이 틈새없이 잘 흡착하기 때문에 적당한 흡착부압을 가하면 파종율이 높아지는 것으로 나타났다. 그러나 노즐구경 0.45 mm에서는 흡착력이 충분하지 않아서 흡착된 종자가 이송도중 노즐로부터 이탈되는 현상이 나타나

서 파종율 향상을 위해서는 흡착부압을 상당히 높여야하는 문제점이 있었다. 종자의 흡입에너지가 적게 들어가고 파종율이 높은 노즐구경은 0.65 mm인 것으로 나타났다. 노즐구경 0.65 mm에서 노즐간격 5.5 mm와 흡착부압 58.8 kPa일 때 100%의 파종율을 나타내었다. 고추종자에서와 마찬가지로 흡착부압이 58.8 kPa 이상으로 증가하면 2립 이상의 종자가 파종되는 현상이 나타나 파종율이 떨어지는 것으로 확인되었다.

무종자의 경우 최대의 파종율을 나타내는 최적 작동조건은 노즐구경 0.65 mm, 흡착부압 58.8 kPa 및 종자-노즐 간격 0.5 mm로 하였을 때이며, 최대 파종율은 100%로 나타났다.

(4) 최적 작동조건

이상의 파종시험 결과를 종합하여 보면 종자별 최고의 파종율을 나타내는 노즐구경과 흡착부압은 각각 다르다. 따라서 파종기의 설계, 제작시 노즐의 구경은 취급하는 종자별로 다르게 교체할 수 있어야 하고, 흡착부압은 조절될 수 있게 하여야 할 것으로 판단된다. 표 3은 종자별 최고 파종율을 나타내는 작동조건을 정리한 것이다. 고추종자와 오이종자의 파종율은 100% 미만이지만 2립 이상 파종한 경우까지 합산하면 파종율은 1~2% 상승하게 되며, 1립 이상 파종에 필요한 흡착부압은 표 3에 표시한 압력 이상이면 가능한 것으로 사료된다.

적합한 흡착부압은 종자의 무게를 지탱할 수 있고, 기계의 진동이나 종자의 이송시 종자질량의 가속력을 견디며 종자를 떨어뜨리지 않아야 하는 값이어야 종자의 100% 파종이 가능하다. 즉 종자의 흡착부압은 다음의 계산식으로 가정할 수

있다.

$$P = \eta \cdot \frac{4W}{\pi d^2}$$

여기에서 P : 흡착부압

η : 여유계수

W : 종자 1립의 무게

d : 노즐의 구경

위 식에서 여유계수는 노즐과 종자면 틈새에 의한 압력손실, 파종속도변동과 진동 등에 의한 여유압력을 감안한 계수이다.

표 3의 시험결과를 이용하여 고추종자, 오이종자 및 무종자의 여유계수를 계산하여 보면 각각 95.8, 99.6 및 99.0으로 나타났으므로 η ≃ 100 으로 일반화시켜도 좋을 것으로 판단된다. 따라서 노즐구경은 종자의 모양을 고려하여 노즐팁에 완전흡착이 가능한 크기로, 종자-노즐간격은 0.5 mm로 결정한 후 위의 식에 의해 흡착부압을 산정하면 진공노즐식 파종기의 최적설계가 가능하고 또 최대 파종율을 얻기 위한 작업조작이 가능할 것으로 판단된다.

그림 5는 육묘트레이의 이송속도와 파종율과의 관계를 나타낸 것으로, 이송속도가 2.4 cm/s일 때 최대의 파종율을 나타낸 것이다. 이송속도 이외의 시험조건은 각 종자별 최대의 파종율을 나타낼 때와 같게 하였다. 이송속도가 2.4 cm/s 보다 커지면 파종율이 떨어지는데, 이것은 이송속도 즉, 파종속도가 빠를수록 기계의 진동과 종자질량에 대한 가속 반력이 증가하여 노즐팁이 종자 흡착 후 돌아올 때 종자가 떨어질 확율이 높기 때문인 것으로 판단된다. 또 적정속도 이하의 파종속도에서는 2

Table 3 Optimum operating conditions of the seeder

Seeds	Diameter of nozzle (mm)	Absorbing pressure (kPa, kg/cm ²)	Distance from nozzle tip to bounded seed (mm)	Seeding rate (%)
Pepper	0.45	39.2(0.4)	0.5	97
Cucumber	0.65	88.3(0.9)	0.5	95
Radish	0.65	58.8(0.6)	0.5	100

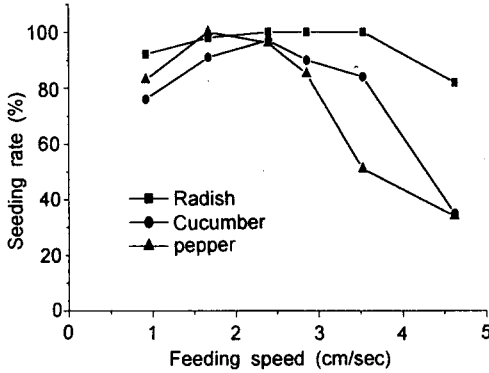


Fig. 5 Relationship between seeding rate and feeding speed of the tray.

립 이상으로 종자파종이 이루어지기 때문에 파종율이 떨어지는 것으로 나타났다. 최적 파종속도를 노즐의 왕복회수로 환산하면 40회/분이고, 128셀 트레이에 파종시 2.5매/분의 작업속도이었다.

4. 요약 및 결론

진공노즐식 파종기의 파종작업시 최적 작동조건을 찾아내기 위하여 고추종자, 오이종자 및 무종자의 파종시험을 실시하였다. 파종기의 노즐구경, 노즐팁과 종자호퍼 바닥판 사이의 간격, 흡착부압, 진동되는 종자호퍼 바닥판으로부터의 종자의 진동높이 및 육묘트레이의 이송속도를 변수로 하여 파종작업을 수행하고 파종율을 조사하였다.

시험결과를 분석하여 최적의 작동조건을 구명하였던 바, 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

1) 세 종자 모두 진동높이는 5 mm로 나타났고, 이 진동높이로부터 0.5 mm 위에 노즐팁이 위치하여 종자를 흡착할 때 최고의 파종율을 나타내었다.

2) 노즐구경과 흡착부압은 고추종자, 오이종자 및 무종자에 대하여 각각 0.45 mm, 0.65 mm, 및 0.65 mm와 39.2 kPa(0.4 kg/cm²), 88.3 kPa(0.9 kg/cm²) 및 58.8 kPa(0.6 kg/cm²)로 나타났다.

3) 최대의 파종율을 나타내는 흡착부압 P , 종자 1,000립 무게 W 와 노즐구경 d 의 관계는 $P = \eta \cdot 4W / \pi d^2$ 으로 나타낼 수 있었고, η 는 여유계수로서 100으로 나타났다.

4) 128셀 육묘트레이의 최적 이송속도는 2.4 cm/s로, 1분당 2.5개의 육묘트레이에 파종하는 작업속도인 것으로 나타났다.

5) 최적의 작동조건에서 고추종자, 오이종자 및 무종자의 최대 파종율은 각각 97%, 95% 및 100%로 나타났다.

참고 문헌

1. Choi, C. H., K. M. Noh, K. C. Lee and J. M. Kim. 1996. Study on automation of integrated seedling production system. J. of the KSAM 21(2):123-133(In Korean)
2. Min, Y. B. and S. D. Moon. 1998. Automatic feeding and transplanting mechanism for plug seedling transplanter. J. of the KSAM 23(3): 259-270(In Korean)
3. The Research Institute of Greenhouse Horticulture. 1997. Development and application of standard green house models and of automated systems for plug seedling production. J. of the RIGH 4:107-133, Gyeongsang Nat'l. Univ.(In Korean)