

파종기 구동용 직류모터의 회전속도 제어⁺

Speed Control of DC Motor for Seeding Roller with Grooves

이중용*	김유용*	박문수**	박상래**	김양길**
정회원	정회원			
J.Y. Rhee	Y.Y. Kim	M.S. Park	S.L. Park	Y.K. Kim

1. 서론

정밀농업은 농작업 및 작물과 토양에 대한 미시적인 자료수집과 분석에 근거하여 농작업의 정밀도를 높이는 새로운 농업기술개념이라고 말할 수 있다. 정밀농업개념이 과연 우리나라와 같이 소구획으로 나누어진 포장에서 소기의 효과를 얻을 수 있을 것인가 또는 어떻게 우리 실정에 맞게 적용할 것인가에 대한 많은 연구가 필요하지만, 정밀농업은 농약이나 비료와 같은 화학물질의 사용량을 줄이고 물이나 토양과 같은 환경을 보존하는 효과가 있는 것으로 선진국에서 보고되고 있다.

정밀농업기술은 센서의 개발과 계측기술, 정보의 수집-저장-해석 기술, 변량살포기술 등이 종합된 기술이며 변량살포기술은 농작업의 정밀도를 높이는 핵심적인 기술이다. 변량살포기술은 센서 또는 제어프로그램에 의해 살포하고자 하는 물질의 양을 가변시키는 기술을 말하며 적용 예로는 파종, 시비, 농약살포, 살수 등이 있다(장, 1998).

변량살포기술에 대한 외국의 연구사례는 매우 풍부하나 국내에서는 주로 액제 농약살포기술에 대한 연구가 주를 이루고 있으며 입자를 대상으로 한 연구사례는 거의 없다.

입자 형태의 물질을 살포하는 파종기, 입제의 비료나 농약 살포작업기는 배출량 조절장치를 필요로 하여 이미 여러 가지 형태의 기계가 정밀농업이라는 개념이 대두되기 이전에 개발되었으나 변량살포를 하기 위해 모터, 유압장치 또는 공압장치가 배출량 제어에 이용된다. 유압이나 공압장치를 이용하는 경우 시스템의 구성이 복잡해지고 설치비용이 많은 문제가 있다.

본 연구는 직류모터와 홈롤러 배출량 조절장치를 이용한 변량살포기술을 개발하기 위한 것으로서 보리 파종작업의 경우를 대상으로 하여 센서신호의 주파수에 비례하여 보리를 배출하는 제어장치를 개발하기 위하여 수행되었다.

+ 본 연구는 1999년 농촌진흥청 특정연구 과제로 수행되었음

* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

** 농촌진흥청 호남농업시험장

2. 재료 및 방법

2.1. 공시 종자 및 파종장치

실험에 사용한 보리는 걸보리이고, 실험당시 산물밀도는 온도 20℃, 상대습도 36%에서 0.635g/cm³이었다. 그림 1은 공시 파종장치로서 벼 직파기에 사용되는 홈-롤러 파종장치에 모터를 부착할 수 있도록 개조한 것이다. 공시 파종장치의 규격은 표1과 같다.

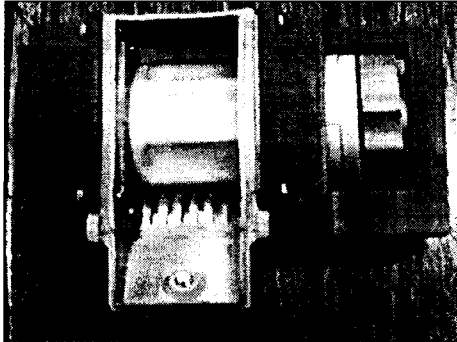


Fig. 1 Appearance of the tested metering device

Table 1 Specification of tested metering roller

Groove volume	Max. 3.59cm ³ Min. 0.2cm ³
Number of grooves	8
Groove cross-sectional area	1.27cm ²

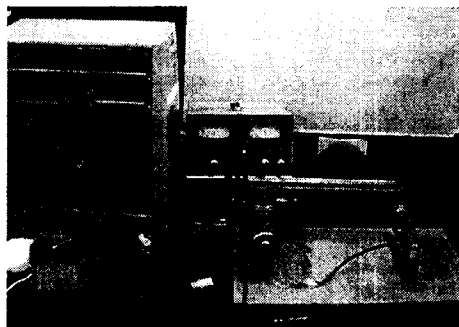


Fig. 2 Device measuring change of motor speed to change of load.

2.2. 공시 직류모터의 부하특성 측정

구동모터는 DC12V, 정격출력 15W, 정격회전속도 135rpm의 기어드 모터를 선택하였다. 선정된 모터가 파종부하에 적합한지를 결정하기 위해 그림 2와 같이 프러니 브레이크, 로드셀, A/D board, 그리고 PC로 이루어진 동력측정장치를 구성하였다. 구성된 장치를 이용하여 파종장치의 속도 제어시스템의 제어성능에 미치는 중요한 요인인 모터의 매개변수와 롤러의 마찰부하를 측정하고, 측정된 값을 이용하여 롤러의 마찰부하에 의한 모터의 슬립율을 구하였다.

2.3. 공시 파종장치의 파종성능 측정

파종량 측정장치를 일정한 속도에서 작동시키기 위하여 부하용량이 충분하게 큰 400W의 DC모터(0~180V, 1750 rpm)로 구동하였으며, 회전속도는 5:1 감속비의 timing pulley와 전압조정장치를 사용하여 조절하였다. 이외에 로터리 엔코더와 A/D board, PC가 측정에 이용되었다. 파종량은 구동모터를 작동한 후 10초 이후부터 측정하였다. 파종량의 변화를 주기 위하여 모터 회전속도는 6단계(2.83, 5.65, 7.75, 11.10, 13.7, 15.2 rad/s), 롤러 홈의 열림량은

5단계(0.2, 1.0, 1.7, 2.5, 3.2 cm)로 조절하면서 3반복으로 실험을 실시하였다.

2.4. 제어장치 구성

0/5V의 PWM 신호를 출력하는 원보드 마이크로 컴퓨터(PB 1S), 0/5V의 PWM 신호를 0/12V의 PWM 신호로 전환하는 포토커플러, 파워트랜지스터의 BASE 전류를 조정하여 OFFSET 전압을 조정하는 가변저항, 모터의 파워를 출력하는 MOSFET등으로 구성되었으며, 제어장치의 작동과정은 다음과 같다. 중앙제어장치에 전원이 입력되면 원보드 마이컴은 과종장치의 부드러운 start를 위해서 약 0.2초간 12V의 전원을 출력한다. 그리고 나서 1초간 격으로 입력신호를 측정하여 그 값에 따라 원보드 마이컴의 Subroutine의 Table에 지정된 펄스폭의 전압을 출력한다. 만약 OFFSET 조정 가변저항기로 원하는 과종량을 얻을 수 없는 경우 배종장치의 롤러부 수동조절 핸들을 이용하여 원하는 과종량을 조절할 수 있도록 되었다. 그림 3은 개발된 제어장치를 보여주고 있다.

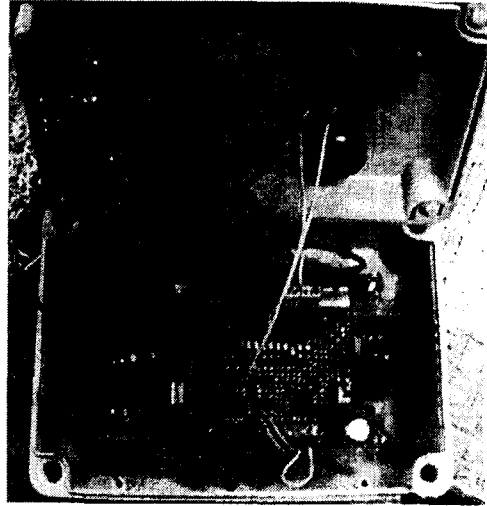


Fig. 3 Appearance of control unit.

2.3. 제어장치의 성능평가

배종 롤러의 체적을 2.71cm^3 로 고정된 상태에서 13V의 전압과 최대 전류인 10A를 제어장치에 공급하여 다음과 같이 평가를 하였다.

- 1) 펄스폭을 9단계(30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 255)로 변화시키고 가변저항 값을 11단계(0.05, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0k Ω)로 변화시키면서 제어장치로부터 출력되는 전압을 디지털 멀티미터로 측정하였다.
- 2) 측정된 전압으로부터 제어 가능한 임의의 가변저항 값에서 펄스폭의 변화에 따른 과종량을 측정하고 보정하여 입력신호에 비례한 과종량의 관계를 구하여 신호주파수를 8단계(2, 5, 8, 11, 14, 17, 19, 20), 가변저항 값을 4단계(0.3, 0.4, 0.5, 0.6k Ω)로 변화시켜 입력신호에 대한 과종량을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 모터의 특성분석

모터의 매개변수는 내부저항 1.7Ω , 모터상수 $0.806\text{N} \cdot \text{m}/\text{A}$, 모터 시상수 0.04s , 모터의 최대효율 점에서 모터의 동력은 13W이었다. 그림 4에서 보는 바와 같이 롤러에 작용하는 과종부하는 $0.5\text{N} \cdot \text{m}$ 이하이었고, 부하에 따른 속도저하는 $0.468\text{rad}/\text{s}$ 이하였다. 최대 과종부하

는 6.8W, 최대 슬립은 5.9%이하로 나타나 선정된 모터는 파종작업에 충분한 동력을 가지고 있는 것으로 판단되었다. 그림 5의 파종부하를 받을 때 모터의 회전속도를 이용하여 회전속도에 필요한 전압의 회귀식을 구하였다. 전압의 회귀식은 다음과 같다.

$$V = 0.8257 \times \omega + 0.7859 \quad (\text{Eq1})$$

여기서, V = 공급전압(V), ω = 모터의 속도(rad/s)

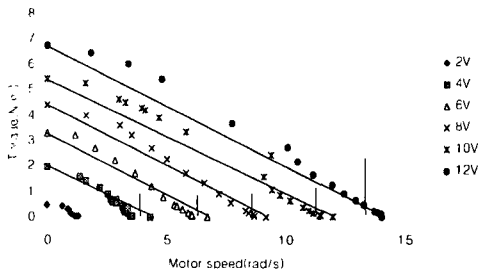


Fig. 4 Relation of load to excited voltage and motor speed.

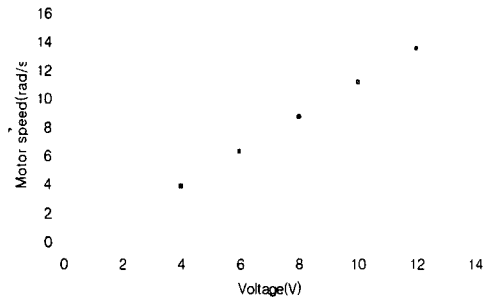


Fig. 5 Motor speed at no-load and under load condition.

3.2. 흙의 열림량과 모터의 속도에 따른 파종량

파종량은 롤러의 속도와 롤러 흙의 열림량에 의하여 변한다. 공시 롤러에 대하여 흙 롤러의 열림량을 조절하면서 파종량을 측정 한 결과를 그림 6에 나타내었다. 각 흙의 열림량에 있어서 파종량은 롤러 속도에 비례하는 경향을 보이고 있다. 그림 6의 모터속도와 흙의 체적변화의 따른 파종량의 그래프를 이용하여 고도의 유의성을 갖는 직선회귀식을 구할 수 있었다.

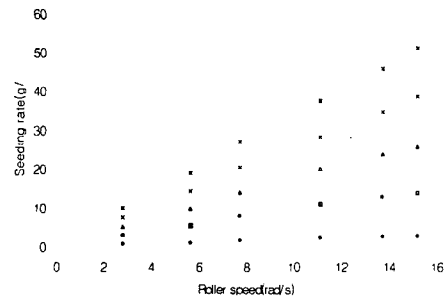


Fig. 6 Relation of seeding rate to roller speed and groove volume.

$$q = 1.0379 \omega V_0 - 0.1324 \quad (R^2 = 0.9978) \quad (\text{Eq.2})$$

3.3 제어장치의 성능평가

제어장치의 가변저항 값(0.05~2k Ω)과 펄스폭 신호의 변화에 따른 출력전압의 변화를 그림 7에 나타내었다. 그림 8의 결과는 펄스폭의 변화에 직선적으로 비례하지 않으나 0.4k Ω ~0.6k Ω 사이에서 duty ratio의 변화에 비례한 전압제어를 구현할 수 있음을 보여주었다. 그림 8은 비례제어를 구현할 수 있는 0.4k Ω 에서 duty ratio와 파종량과의 관계를 측정 한 결과이고, 그 결과는 duty ratio에 선형적으로 비례하지 않음을 보여주고 있다. 선형화하기 위해 그림 9와 같이 입력신호에 대한 duty ratio를 수정하여 입력하였으나 그림 10에서 보는

바와 같이 8Hz이상과 이하에서 입력신호에 대한 파종량의 변화량이 다르게 나타났다. 따라서 입력신호의 주파수를 좌측으로 8만큼 이동시켜 그림 11과 같이 입력신호에 선형적으로 비례한 파종량을 얻었다.

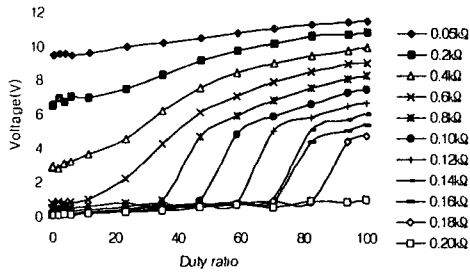


Fig. 7 Relation of output voltage of control device to duty ratio.

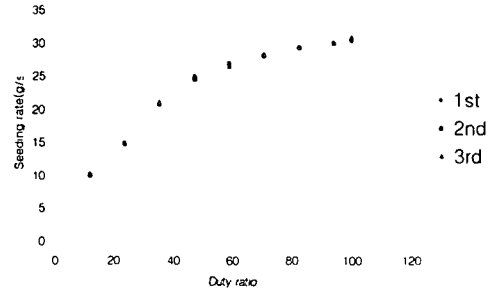


Fig. 8 Relation of seeding rate to duty ratio.

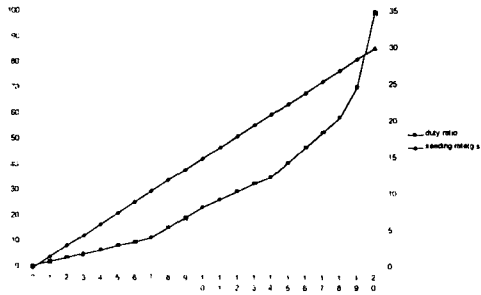


Fig. 9 Determination of duty ratio for input signal frequency to get linear relation between signal frequency and seeding rate.

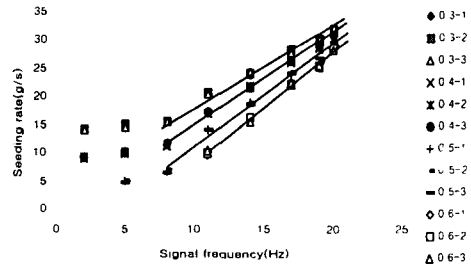


Fig. 10 Experimental relation between signal frequency and seeding rate at various resistance value of control volume.

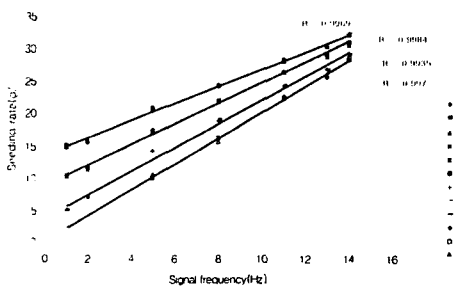


Fig. 11 Experimental relation between shifted signal frequency and seeding rate at various resistance of control volume.

4. 요약 및 결론

본 연구는 입력신호에 비례하여 종자를 배출할 수 있는 파종기 구동용 직류모터 제어장치를 개발하기 위해 수행되었다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 모터의 내부저항, 모터상수, 모터 시상수와 같은 공시모터의 주요 매개 변수를 측정하여 모터의 부하에 따른 속도의 저하를 예측하고 실험을 통하여 모터의 회전속도에 필요한 전압의 실험식을 구했다.

2. 모터 속도와 물리 흡의 열림량에 따른 파종량을 측정하여 실험식을 구했다. 이 실험식과 주행속도와의 관계를 이용하여 회전수를 얻었다.

3. PWM의 duty ratio와 제어장치의 출력전압과의 관계를 측정하여 0.4k Ω 과 0.6k Ω 사이의 가변저항에서 입력신호에 비례한 전압을 얻을 수 있음을 보였다.

4. 임의의 0.4k Ω 의 가변저항에서의 duty ratio에 대한 파종량을 측정하였고, 결과를 이용하여 입력신호에 대한 duty ratio를 변화시켜 가변저항 0.4k Ω 과 0.5k Ω 사이에서 입력신호에 선형적으로 비례한 파종량을 얻었다.

5. 참고문헌

1. 장영창외 1인 1998. 정밀농업의 연구 동향과 전망. 한국농업기계학회지. 23(3). p305-312.
2. 정창주외 2인 1992. 농업동력학. 문운당.
3. Donald G. Bullock외 6인. 1998. Does Variable Rate Seeding of Corn Pay?. AGRONOMY JOURNAL, vol. 90, NOVEMBER-DECEMBER 1998. p830-836.
4. Stephen W. Searcy, Lawrence O. Roth 1982. Precision Metering of Fluid Drilled Seeds. Transactions of the ASAE. p.1563-1566.
5. M. N. Gillum, C. B. Armijo. 1995. Automatic Feed Control For Roller Gin Stands. Applied Engineering in Agriculture. vol. 11(5). p.637-642.
6. S. Zhuang. M. Komatsu. 1996. Automatic control of fertilizer Applicator and Seeder Based on Running Speed Signals(Part 1)-Development of Control Device and Feeding Performances of Seed and Fertilizer-. 農業機械學會誌 58(1). p.40-55
7. Isaac Kaaria Inoti, Kiyoshi Namikawa. 1990. Electronically Controlled Pneumatic Precision Planter(Part1) - Electronic Seed Sensing and Evaluation of Metering Uniformity -. 農業機械學會誌 52(6). p.35-43.
8. Isaac Kaaria Inoti, Kiyoshi Namikawa. 1991. Electronically Controlled Pneumatic Precision Planter(Part2) - Solenoid Operated Seed Metering -. 農業機械學會誌 53(3). p.67-68.