

롤러형 파종기 구동용 직류모터의 회전속도 제어

Speed Control of DC Motor for Roller Type Seeder

이 중 용 김 유 용 박 상 래
정 회원 정 회원
J. Y. Rhee Y. Y. Kim S. R. Park

SUMMARY

This study was conducted to develop a speed control system of a DC motor which drove a barley seeder mounted on a combine harvester. Barley seeder mounted on a combine has been known to reduce labor and cost of barley cultivation. However, development of the seeder has been unsuccessful because the combine, a dedicated rice and barley harvester has not enough space and proper power take-off for barley seeder. To develop a barley seeder, small powered motor speed controller was required.

A proximity sensor for detecting working speed of the combine and a programmable one board microprocessor was used to develop a control system. Motor parameters and motor constant, relationship between seeding rate, motor speed, groove volumes of a tested roller, torque were measured. The proximity sensor sent a frequency signal to the microprocessor.

In laboratory experiments, the excitation voltage of the motor was shown not to be proportional to the size of pulse width (duty ratio). A table transforming frequency signal, that represented for working speed to proper pulse width was developed from seeding rate experiments. However, seeding rate at low frequency signal was not proportional to the working speed. Seeding rate control proportional to the frequency signal was achieved by shifting of the frequency signal.

주요용어(Key Words) : 파종량(Seeding rate), 모터제어(Motor control), 펄스폭제어(Pulse width module)

1. 서 론

우리 나라의 보리 재배면적은 1960년대 90만 ha 정도에서 2000년대에는 10만 ha 전후를 기록하고 있다. 보리 재배면적이 급격하게 줄어든 원인에는

여러 가지가 있겠으나 그 중의 하나는 벼와 보리의 작업시기가 경합을 이루고 있으며 특히 벼 수확시기에 눈을 충분하게 말리지 못하면 보리를 파종하고 싶어도 파종할 수 없기 때문이다. 인축에 의존하던 시기와 달리 트랙터를 원동기로 사용하

This study was conducted by the research fund supported by Rural Development Administration(RDF) and article was submitted for publication in August 2000; review and approved for publication by the editorial board of KSAM in October 2000.

The corresponding author is **Joong Yong Rhee**, Assistant Professor, School of Bioresources and Materials Engineering, Seoul National University, Suwon, 441-744, Korea. E-mail: <jyr@plaza.snu.ac.kr>.

는 지금은 가을철 습한 논에서 작업성이 떨어져 파종작업이 어렵게 된 것이다.

콤바인에 보리파종기를 탑재하면 트랙터 작업이 곤란한 지역에서 파종이 가능하게 되기 때문에 다양한 콤바인 탑재형 보리파종기 개발이 시도되었다(Rhee et. al., 2000). 우리나라에서 널리 사용되는 자탈형 콤바인은 벼나 보리를 수확하기 위한 전용기기이기 때문에 파종기 탑재공간이나 구동동력원이 확보되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 파종장치로 홈-롤러 형식을 채택하고, 롤러의 구동은 콤바인의 전력을 이용하는 방법을 추진하였으며 가용전력이 작기 때문에 적은 동력을 필요로 하는 PWM(Pulse Width Modulation) 방법을 적용하고자 하였다(Zhuang and Komatsu, 1996).

PWM을 적용하여 파종량을 주행속도에 비례하게 하기 위해서는 주행속도신호에 따라서 모터의 구동속도를 제어하여야 하므로 소형 DC모터의 부하에 따른 슬립 특성과 제어특성을 측정(Choi, 1990)하였다. 또한 파종롤러의 회전속도와 파종량 및 부하의 관계 등을 고려하여 Power SCR에 제공되는 전류의 on-off 제어 펄스의 폭(duty ratio)을 비선형적으로 조절할 필요가 있었다.

본 연구의 구체적인 목적은 제어장치의 비선형적인 특성을 고려하여 보리 파종기의 주행속도 신호에 비례하여 파종량을 제어하는 방법을 개발하는 것이다.

이 방법은 보리의 파종만이 아니라 정밀농업에서 필요로 하는 변량 살포기술의 하나로서 비료살포기나 농약살포 등에도 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 재료 및 방법

가. 공시 보리 및 공시 파종기

실험에 사용한 보리는 길보리였으며, 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 규

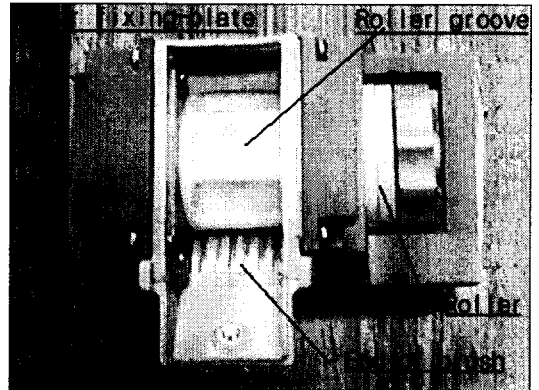


Fig. 1 A roller-type metering device used for the seeder.

Table 1 Specification of the tested seed metering roller

Groove volume	0.2~3.59cm ³
Number of grooves	8
Sectional area of a groove	1.27cm ²

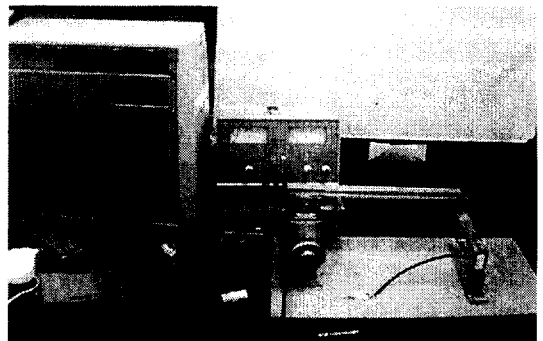


Fig. 2 Dynamometer for testing a DC motor.

격은 표 1과 같다.

나. 공시 직류모터의 부하특성 측정

구동모터는 DC12V, 정격출력 15W, 정격회전속도 135rpm의 기어드 모터를 선택하였다. 선정된 모터가 파종부하에 적합한지를 결정하기 위해 그림 2와 같이 프로니 브레이크, 로드셀, A/D board,

그리고 PC로 이루어진 동력측정장치를 구성하였다.

구성된 장치를 이용하여 과종장치의 속도 제어 시스템의 제어성능에 미치는 중요한 요인인 모터의 매개변수와 롤러의 마찰부하를 측정하고, 측정된 값을 이용하여 롤러의 마찰부하에 의한 모터의 슬립율을 구하였다.

다. 모터 회전 속도와 롤러 홈 열림량에 따른 종자 배출량

모터 회전속도에 따른 종자 배출량을 측정하기 위하여 부하에 따른 슬립의 영향이 작은 400W의 DC모터(0~180V, 1,750 rpm)를 채택하였으며 타이밍벨트와 풀리를 이용하여 모터 회전속도를 1/5로 감속시키고 인가전압을 이용하여 롤러의 회전속도를 제어하였다. 이외에 로터리 엔코더와 A/D board, PC가 측정에 이용되었다. 그림 3은 종자배출량 실험장치의 구성을 나타낸 것이다.

종자 배출량은 종자 호퍼내의 퇴적 높이와 관계가 있을 수 있으므로 이를 확인하기 위하여 호퍼 내부 퇴적 높이에 따른 종자배출량을 측정하였다. 이 실험에서 롤러의 열림량은 0.2cm³로 하였고 모터의 회전속도는 30 rpm으로 고정하였다. 예비실험에서 확인한 결과 종자의 퇴적높이가 실험범위 0~30cm 이내에서 배출량은 변이계수 5% 이내의 차이를 보였기 때문에 이후부터 종자통에서 종자 깊이는 고려하지 않았다.

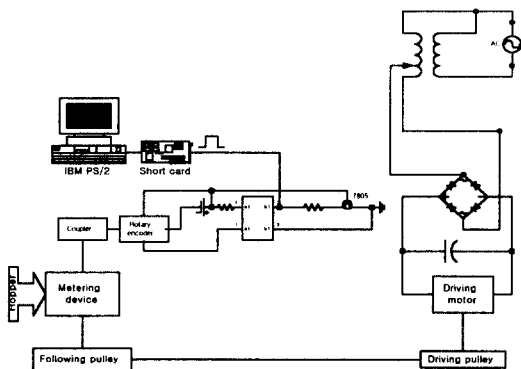


Fig. 3 Schematic representation measuring seeding rate.

배출량 측정은 구동모터를 작동한 후 10초 이후부터 측정하였으며, 배출량의 변화를 주기 위하여 모터 회전속도는 6수준(2.83, 5.65, 7.75, 11.10, 13.7, 15.2 rad/s)로, 롤러 홈의 열림량은 5수준(0.2, 1.0, 1.7, 2.5, 3.2 cm³)로 조절하면서 3반복으로 실험을 실시하였다.

라. 제어장치 구성

직류모터의 속도를 제어하는 장치는 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 MOSFET 등으로 구성되어 있다. 제어부에 제공되는 주행속도 신호는 콤팩트의 벗겨진부 끌어당김 벨트에 정전용량식 근접센서(감지거리 10mm)를 부착하여 얻었으며 이 신호는 마이컴에 주행입력 신호로 제공되는 것이나 본 연구에서는 신호발생기로 대신하였다.

제어장치의 작동과정은 다음과 같다. 중앙제어 장치에 전원이 입력되면 원보드 마이컴은 과종장치의 부드러운 초기운동을 위해서 약 0.2초간 12V의 전원을 출력한다. 그리고 나서 1초 간격으로

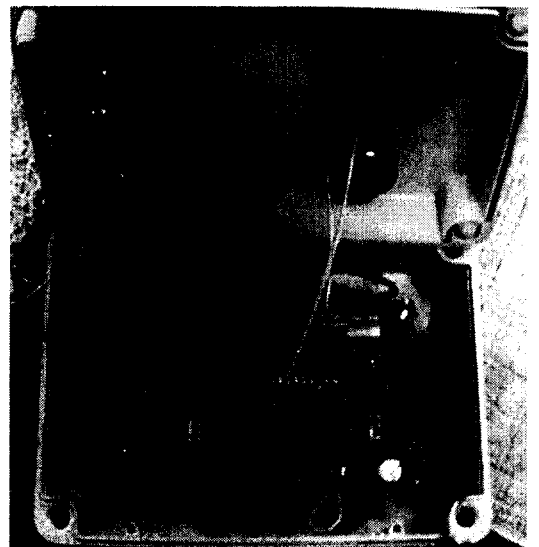


Fig. 4 Appearance of control unit.

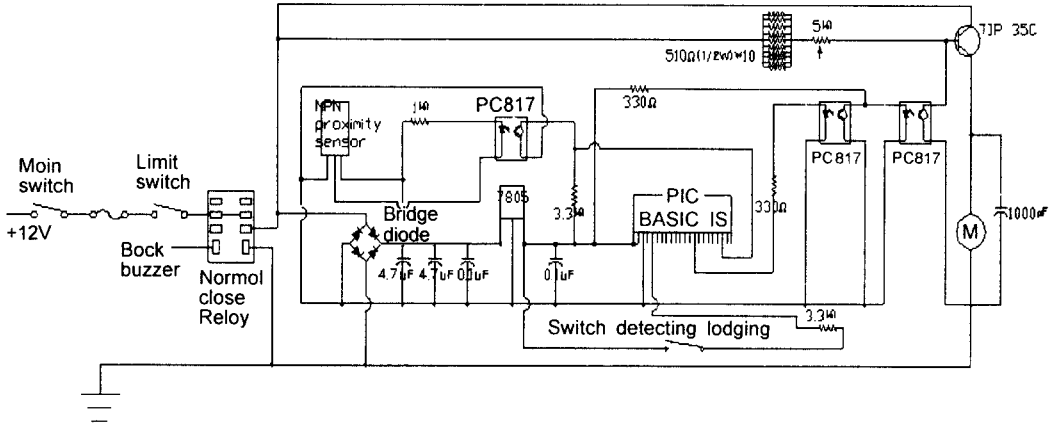


Fig. 5 Circuit of the developed control unit.

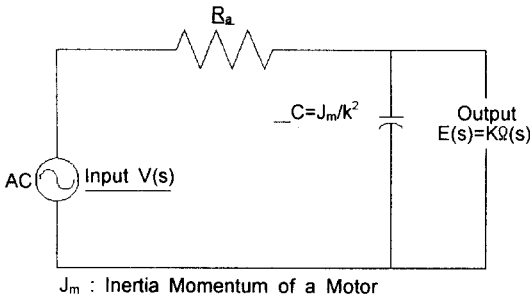


Fig. 6 Equivalent circuit of a d.c. motor.

주행입력신호를 측정하여 그 값에 따라 원보드 마이컴의 subroutine의 Table에 지정된 펄스폭의 전압을 출력한다. 만약 offset 조정 가변저항기로 원하는 파종량을 얻을 수 없는 경우 배종장치의 물러부 수동조절 핸들을 이용하여 원하는 파종량을 조절할 수 있도록 되었다. 그림 4는 개발된 제어장치를 보여주고 있으며 그림 5는 제어장치의 회로도를 보여주고 있다.

마. 모터의 전달특성 및 속도저하 분석

모터의 등가회로는 그림 6과 같이 그릴 수 있으며, 모터의 회전속도는 콘덴서 단자 전압을 상수 k 로 나눈 값이므로 모터의 전달함수 ($G_m(j\omega)$)는 다음과 같이 표시된다.

이 식을 이용하여 모터의 이득을 구하고 구한 모터의 이득과 측정된 모터의 매개변수를 이용하여 부하에 따른 속도의 저하를 분석하였다. (이왕현, 1998).

$$G_m(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega\tau_m} \quad \text{Ep. 1}$$

여기서 K = 모터상수

τ_m = 모터의 시상수

모터의 부하에 따른 속도저하식은 다음과 같다.

$$\frac{\Delta N}{N_0} = - \frac{R_a \Delta T_L}{K^2 (G_0 + 1) N_0} \quad (2)$$

여기서, N_0 = 목표표 하는 속도(rad/s)

ΔN = 속도의 저하량(rad/s)

ΔT_L = 마찰부하의 증가량(N · m)

$G_0 = 20 \log |G_m(0)|$

R_a = 모터의 내부저항(Ω)

K = 모터상수(N · m/A)

바. 펄스폭과 가변저항 값의 결정

물러에 있는 홈의 제적을 2.71cm²로 고정하고 모

터의 인가전압을 13V, 최대 전류를 10A로 정한 상태에서 펄스폭에 따른 종자 배출실험을 하였다. 펄스폭은 9단계(30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 255)로 변화시켰으며 가변저항 값을 11단계(0.05, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0kΩ)로 변화시키면서 제어장치로부터 출력되는 전압을 디지털 멀티미터로 측정하였다.

측정된 전압으로부터 제어 가능한 임의의 가변저항 값에서 펄스폭의 변화에 따른 종자 배출량을 측정하고 보정하여 입력신호에 비례한 파종량의 관계를 구하여 신호주파수를 8단계(2, 5, 8, 11, 14, 17, 19, 20), 가변저항 값을 4단계(0.3, 0.4, 0.5, 0.6kΩ)로 변화시켜 입력신호에 대한 종자 배출량을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 모터의 특성분석 및 속도저하 분석

그림 7은 공시모터의 인가전압과 토크에 따른 회전속도 측정결과를 나타내고 있다. 공시모터의 매개변수는 측정된 결과, 내부저항 1.7Ω, 모터상수 0.806N·m/A, 모터 시상수 0.04s, 모터의 최대 효율 점에서 모터의 동력은 13W이었다. 따라서 식 2에서 제시된 공시모터의 부하에 따른 속도저하량은 다음 식으로 표시할 수 있다.

$$\Delta N = 0.936 \Delta T_i \quad \text{Eq. 3}$$

보리 파종작업의 부하특성은 예비실험에서 조사한 결과 롤러축 토크가 0.5 N·m 이하이었다. 이를 식 3에 대입하면 부하에 따른 속도저하는 0.468 rad/s 이하였다.

따라서 최대 파종부하는 6.8 W 정도이며 최대 슬립은 5.9% 이하로 나타나 선정된 모터는 파종작업에 충분한 동력을 가지고 있는 것으로 판단되었다.

그림 8은 종자 배출 부하를 받을 때와 무부하시의 인가전압과 모터의 회전속도를 측정된 결과이며 이 결과를 이용하여 식 4와 같이 파종부하를

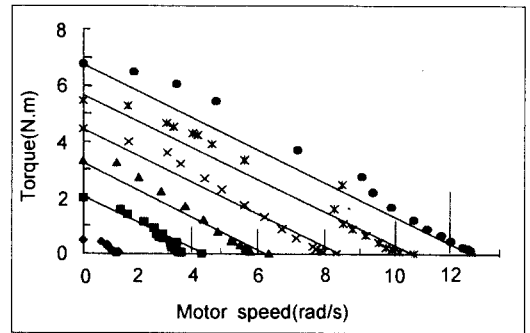


Fig. 7 Relation of load to excited voltage and motor speed.

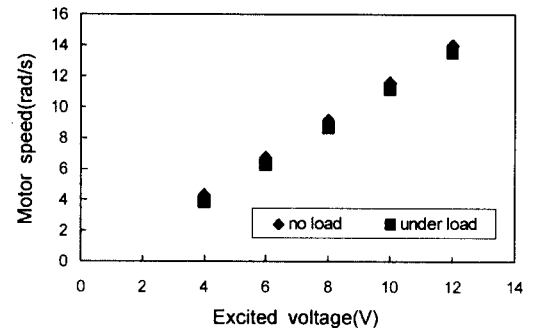


Fig. 8 Motor speed at no-load and under load condition.

가진 경우 원하는 회전속도를 얻기 위하여 필요한 인가전압의 회귀식을 구하였다.

$$V = 0.8257 \times \omega + 0.7859 \quad \text{Eq. 4}$$

여기서, V = 공급전압(V)

ω = 모터의 속도(rad/s)

나. 롤러 홈 체적과 롤러의 회전속도에 따른 파종량

공시 롤러에 대하여 홈 열림량과 롤러의 회전속도를 조절하면서 파종량을 측정된 결과를 그림 9에 나타내었다. 각 홈의 열림량에 있어서 파종량은 롤러 속도에 비례하는 경향을 보이고 있다.

그림 9의 자료를 이용하여 모터속도와 홈의 체적을 이용한 파종량 예측식을 구한 결과 고도의

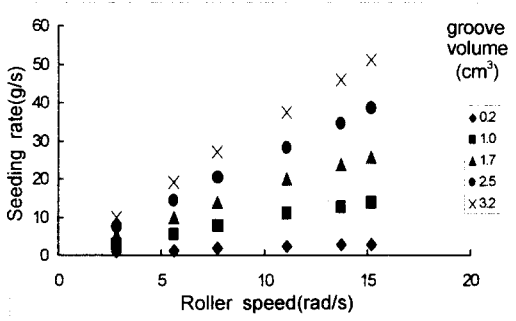


Fig. 9 Relation of seeding rate to roller speed and groove volume.

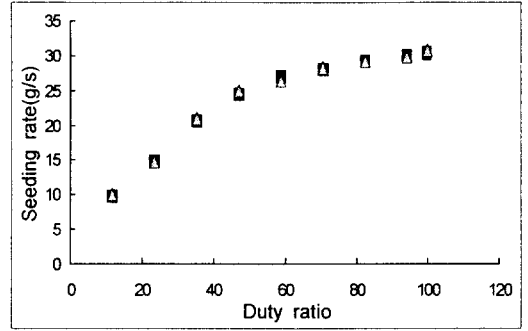


Fig. 11 Relation of seeding rate to duty ratio.

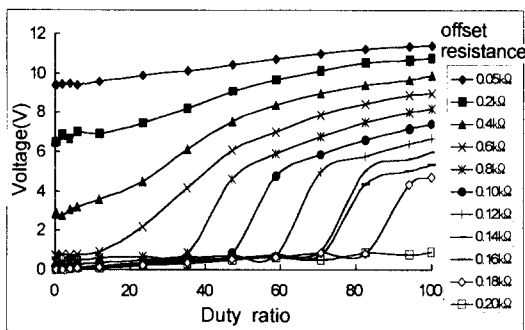


Fig. 10 Relation of output voltage of control device to duty ratio.

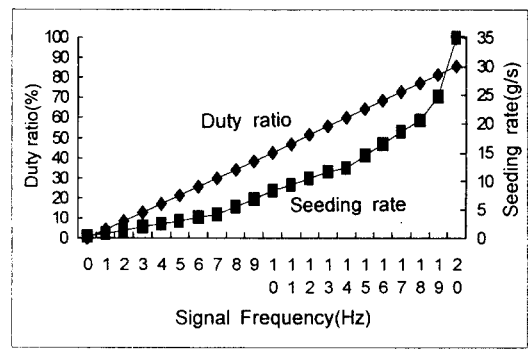


Fig. 12 Determination of duty ratio for input signal frequency to get linear relation between signal frequency and seeding rate.

유의성($R^2 = 0.9978$)을 갖는 직선회귀식을 구할 수 있었다.

$$q = 1.0379V_0\omega - 0.1324 \quad \text{Eq.5}$$

여기서, q = 파종량(g/s)
 ω = 롤러의 회전속도(rad/s)
 V_0 = 홈의 체적(cm³)

다. 제어장치의 성능평가

제어장치의 가변저항 값(0.05~2kΩ)과 펄스폭 신호의 변화에 따른 출력전압의 변화를 그림 10에 나타내었다.

그림 10의 결과는 펄스폭의 변화에 직선적으로 비례하지 않으나 0.4kΩ~0.6kΩ사이에서 duty

ratio의 변화에 비례한 전압제어를 구현할 수 있음을 보여주었다.

그림 11은 비례제어를 구현할 수 있는 0.4kΩ에서 duty ratio와 파종량의 관계를 측정한 결과이고, 그 결과는 duty ratio에 선형적으로 비례하지 않음을 보여주고 있다.

그림 11을 선형화하기 위해 그림 12와 같이 수정하여 입력신호에 대한 duty ratio를 입력하였다.

그러나 그림 13에서 보는 바와 같이 8Hz(콤바인의 주행속도로 환산한 경우 0.3 m/s) 이상과 이하에서 입력신호에 대한 파종량의 변화량이 다르게 나타났다.

선형적인 부분만을 이용하여 프로그램하기 위해

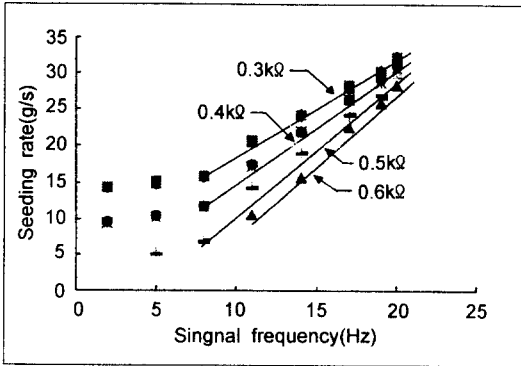


Fig. 13 Experimental relation between signal frequency and seeding rate at various resistance value of control volume.

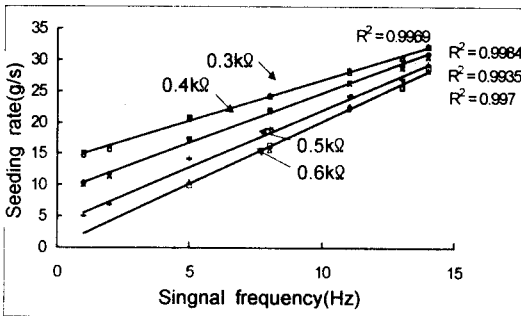


Fig. 14 Experimental relation between shifted signal frequency and seeding rate at various resistance of control volume.

서 입력신호의 주파수를 좌측으로 8만큼 이동시켰
그림 14에서 보는 바와 같이 입력신호에 선형적으
로 비례한 파종량을 얻었다.

그림 14에서 보듯이 offset 설정용 가변저항의
저항 크기가 0.3~0.6 kΩ 범위에서 주행속도신호
에 비례하는 파종량을 얻을 수 있었으나 0.5kΩ
이하에서 파종량의 변화폭 즉 그림의 기울기가 커
져서 파종량 제어에 더 적합한 것으로 판단되었
다.

선형화를 이루기 위해 주파수 신호를 이동시켰
기 때문에 저속에서는 선형적인 제어가 곤란하게
되었으나 문제가 되는 속도는 0.3 m/s 이하로 실

제 콤바인 작업에서는 사용되지 않은 속도이므로
문제가 되지 않는다고 판단하였다.

이상에 설명한 연구결과는 실험실에서 얻어진
결과이므로 실제 포장에서 그대로 적용될 지에
대한 연구가 후속되어야 할 것이다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 동력소모가 작은 방법으로 콤바인에
서 보리 파종장치를 구동하기 위한 연구의 일부로
서 입력신호에 비례하여 종자를 배출할 수 있는
파종기 구동용 직류모터 제어장치를 개발하기 위
해 수행되었다.

제어장치는 주행속도를 감지하는 근접센서와
one board micom을 이용하였으며 파종장치의 연구
결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 모터의 내부저항, 모터상수, 모터 시상수와
같은 공시모터의 주요 매개 변수를 측정하여 모터
의 부하에 따른 속도의 저하를 예측하고 실험을
통하여 모터의 회전속도에 필요한 전압의 실험식
을 구하였다.

2) 모터 속도와 물러 흙의 열림량에 따른 파종
량을 측정하여 실험식을 구하였다. 이 실험식과
주행속도와의 관계를 이용하여 회전수를 얻었다.

3) PWM의 duty ratio와 제어장치의 출력전압과
의 관계를 측정하여 주행입력신호에 대한 duty
ratio를 변화시키는 프로그램 서브루틴 함수표
(subroutine table)를 이용하여 입력신호에 선형적으
로 비례한 파종량을 얻었다.

4) 개발된 파종용 모터의 사용전력은 7W 정도
로서 콤바인에 부담이 되지 않는 것으로 판단되었
으며 개발된 제어장치는 콤바인의 주행속도
0.3m/s 이하에서는 선형적인 관계를 나타내지 못
하였으나 실용적으로는 중요한 문제가 되지 않는
것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. Choi, Y. S. 1990. Microprocessor-based automatic feed rate control for the head-feed thresher. Ph.D

- Dissertation. Seoul National University, Korea
2. Zhuang, S. and 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. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery. 58(1):40-55.
 3. Rhee, J. Y., Y. Y. Kim and S. R. Park. 2000. Speed control of DC motor for seeding roller with grooves. Proceedings of 2000 Winter Conference. 5(1):608-613. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery, Suwon, Korea.
 4. 이왕현. 1992. 메카트로닉스를 위한 모터제어기술. 성안당.



학 위 취 득



성 명 : 박 원 규 (朴 圓 奎)
생 년 월 일 : 1942년 6월 23일
취 득 학 위 명 : 농 학 박 사
학 위 수여 대학 : 경북대학교
학 위 취 득 년 월 일 : 2000년 8월 25일
학 위 논 문 : 마늘파종기 개발에 관한 연구