

입제 비료의 변량 살포를 위한 제어기 개발

유지훈 김영주 류관희

Development of a Controller for Variable-rate Application of Granular Fertilizer

J. H. Yu Y. J. Kim K. H. Ryu

Abstract

This study was conducted to design and fabricate a controller for variable-rate application of granular fertilizer based on physical and chemical information, to analyze the performance of the controller and characteristics of a discharger.

The result of the study are summarized as follows:

1. The charge ratios of discharger by accumulation heights of fertilizer in hopper were examined, and the variations in charge ratio were 72.58~93.33% and 63.14~94.42% for the fertilizers Super 21 and Sinsedae, respectively. The charge ratio also decreased as the rotational speed of discharger increased.
2. The coefficient of variation of discharge amount by rotational speed and discharge time of discharger were in the range of 2.94~11.23% and 2.82~10.80% for the fertilizer of Super 21 and Sinsedae. Except the rotational speed of 12 rpm, the coefficient of variation for discharge amount were relatively small with 4% more or less
3. In order to evaluate the rotational speed of discharger, the control signal in the range of 0~5V was subdivided into the 50 steps by 0.1V. The regression equation for the rotational speed of discharger was $Y=55.984X-79.174$ (X: input voltage, V, Y: discharger speed, RPM) and the R^2 was 0.99.
4. In order to evaluate the performance of the controller for variable-rate application of granular fertilizer, settling time to unit step input was examined. The settling time varied from 0.8sec to 1.4 sec.

Keywords : Precision framing, Variable-rate application, Granular fertilizer, F/G servo system

1. 서 론

지금 농업은 세계적으로는 WTO 체제의 출범과 더불어 범 국가적인 자유경쟁 체제 안으로 급속히 편입되는 과정 속에서 농업 생산물의 생산 및 유통과정상의 강화된 통관 및 검역 기준의 적용이 예상되고 있다. 한편 국내적으로는 유기농산물의 유통량이 1997년을 기점으로 연 35% 이상 증가하고 있으며, 2004년의 경우 유기농산물의 유통량은 전체 농산물의 2% 수준인 36만 6000t톤에 이르고 관련시장의 규모는 1조원 이상 성장하는 등 생산된 농산물을 구매하고 소비하는 실수

요자들의 급격한 기후변화에 따른 농산물의 수요변화가 예상되고 있다.

따라서 기존의 농업 방식으로 인해 발생하는 환경 피해에 대한 국제적인 감시 및 제재의 압력이 높아지고 있는 현실을 반영하고 소비자의 기후변화에 적극적으로 대응할 수 있는 기술을 개발하기 위하여 이화학적 특성치의 포장 내 변동의 크기와 요인의 해석에 근거하는 국소관리방침에 따라 적재적 소에 원하는 양만큼의 농자재를 투입할 수 있는 정밀농업 기술을 조속히 마련할 필요가 있다.

그러나 해외의 경우 Umeda(2001) 등과 Fulton(2004) 등

This study was supported by the Agricultural R&D Promotion Center (ARPC), Ministry of Agriculture and Forestry. This article was submitted for publication in February 2006, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in April 2006. The authors are Ji Hun Yu, Graduate student, Researcher, Young Joo Kim, Researcher, Dept of Biosystems Engineering, Seoul National University. The corresponding author is Kwan Hee Ryu, Professor, Dept of Biosystems Engineering, Seoul National University, San 56-1, Shillim 9-dong, Kwanak-gu, Seoul, In Korea, 151-921; E-mail : <ryukh@snu.ac.kr>

은 변량 시비 기술을 이용하여 포장 논에 대한 가변 살포 효과 및 시비 처방량 가변율의 특성에 관한 연구를 수행하였으며, 국내의 경우 손(2004)과 서(2004)는 입제의 물성조사와 제어기의 요인실험 및 입제 비료 및 농약의 살포 균등도 실험을 통하여 입제 변량 살포기 개발의 기초 자료를 제시하였지만 이러한 연구의 대부분은 정밀 농업 기술에 관한 연구 개발 및 요인 실험의 수준에 머무르고 있는 실정이어서 실제 제어기 설계를 위한 설계 요인 및 기준을 마련하기 위한 후속 연구와 개발된 제어기의 성능에 대한 실증이 필요한 실정이다.

따라서 본 연구는 포장의 이화학적 정보에 대응하여 입제 변량살포의 동작을 제어하기 위한 제어 시스템을 설계하고 실제 제어기를 구성하여 제어기의 제어 성능 및 입제 배출 특성을 분석함으로써 구성된 제어기가 정밀농업의 효과를 구현하기 위한 요구 성능에 부합하는지를 분석하는 것을 목적으로 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 입제 변량 살포 제어 시스템의 설계

입제 변량 살포 제어기는 작업 대상이 되는 포장내의 위치별 변위 및 토성정보를 바탕으로 작성된 시비처방지도를 기반으로 GPS(Global Positioning System) 시스템을 통해 분석된 포장 내 작업기의 위치 정보와 속도센서를 통해 제어시스템으로 입력되는 속도정보를 취합하여 작업기의 위치를 산출하고 이를 시비처방 지도의 토성정보와 비교함으로써 작업기의 주행상태 및 위치 정보에 따라 입제를 변량 살포하는 제어기를 말한다.

따라서 이러한 입제 변량살포기의 제어시스템은 크게 신호처리부와 제어부로 구성된다. 그림 1은 실제 설계된 입제 변

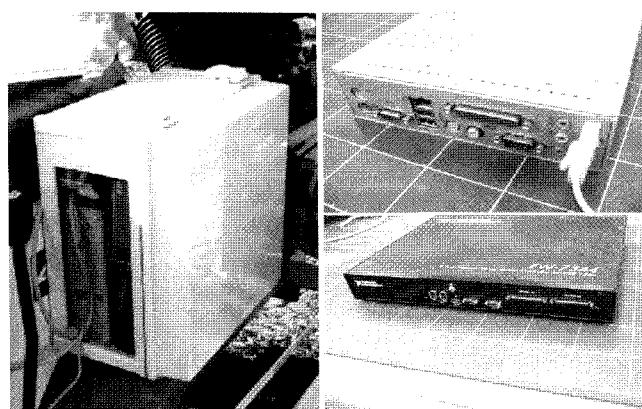


Fig. 1 The control system for variable-rate application of granular fertilizer using control computer for automobile.

량 살포 제어 시스템의 모습이다.

(1) 신호처리부

신호 처리부의 경우 작업기가 투입되는 포장내의 위치 변위에 따른 토성정보를 포함하고 있는 시비처방지도와 GPS 시스템 및 속도센서를 통해 분석된 작업기의 위치정보를 실시간으로 비교 분석하여 위치에 대응하는 적절한 작업 정보를 제어부에 전달해 주는 것을 그 목적으로 한다.

이러한 다수의 신호는 크게 제어신호와 케환신호로 구분될 수 있으며 이는 작업의 효율을 재고할 수 있는 실제 제어기의 구성 및 처리 알고리즘의 개발을 위해 적절히 조합할 필요가 있다. 그림 2는 제어시스템의 구조와 그 신호 흐름을 나타내고 있다.

(2) 제어부

제어부는 각종 신호 및 작업에 관련된 정보를 취합하고 비교 분석하는 신호처리부에서 결정된 최적의 작업 상태를 유지하도록 하는 입제 변량살포기의 제어신호를 살포기의 구동부에 전달하고 실제 구동부의 작동상태에 관한 케환 신호를 받아들여 작업기의 동작 상태가 시비처방 정보에 대응하도록 하며 작업기의 작업효율이 항상 최대화 될 수 있도록 하는 역할을 수행한다.

나. 입제 배출장치의 구성과 제어 방식

입제 변량살포 제어기의 개념과 요구 조건을 충족시키기 위하여 설계된 입제 변량 제어기는 크게 제어용 컴퓨터와 모션 콘트롤러, 입제 배출장치, 구동부에 해당하는 모터, 모터 드라이브와 입제 변량살포 제어기를 조작하는 조작부로 구성되어 있다.

(1) 배출장치 속도제어 시스템의 구성

설계된 입제 배출장치에서 배출되는 입제의 양을 조절하기

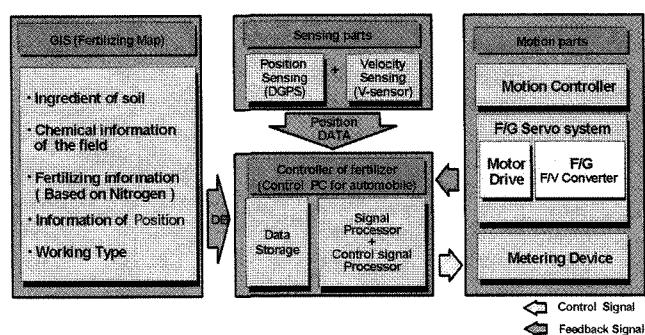


Fig. 2 The Structure and signal flow of the control system for variable-rate application of granular fertilizer.

위해서는 입제 배출장치를 구동하는 모터의 회전속도를 제어하여 배출되는 입제의 양을 변화시키는 것이 필요하다. 그러나 입제 배출 장치를 구동하는 경우 입제 변량 제어시스템은 1차적으로는 입제 배출장치의 회전속도가 목표값의 변화에 따라 실시간으로 변할 수 있으며 2차적으로는 회전속도가 목표값에 도달하였을 경우 회전속도의 안정성을 유지할 수 있는 제어성능이 요구 되므로 회전속도를 일정하게 유지하면서 목표값의 변화에 실시간으로 대응하는 속도제어 시스템을 구성하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 정확한 회전속도를 검출하기 위해 F/G(Frequency Generator)를 이용하여 회전속도의 안정성을 대폭적으로 향상시킨 F/G를 이용한 아날로그 비례 제어 방식의 속도 제어 시스템을 사용하였으며, 그림 3은 속도 제어시스템의 개략도이다.

(2) F/G 서보 시스템의 구성

브리지 서보나 비례 전류에 의한 제어 방식을 이용하여 제어할 경우 회전속도의 안정성은 3~5%, DC T/G(Tacho-generator)를 이용한 DC 서보 시스템의 경우 회전 속도 안정성은 양호하더라도 1%정도이다. 이들 시스템에서 안정성이 더 이상 향상되지 않는 이유는 구동회로의 제어 신호에 의한 문제보다는 회전속도의 검출 방법에 문제가 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 이보다 좀더 안정된 회전속도를 얻기 위하여 F/G 서보 시스템을 구성하였으며, F/G서보시스템을 이용할 경우 속도 안정성은 1%미만이 된다.

본 실험에서 구성된 F/G 서보 시스템은 그림 4에서 볼 수 있는 것처럼 F/V 컨버터(Frequency to voltage converter)를

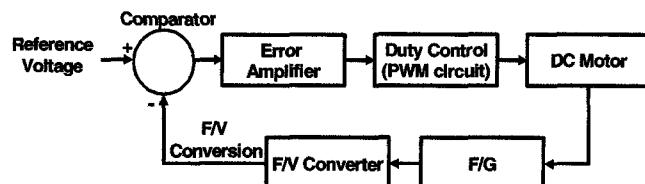


Fig. 3 Block diagram of the rotational speed control system.

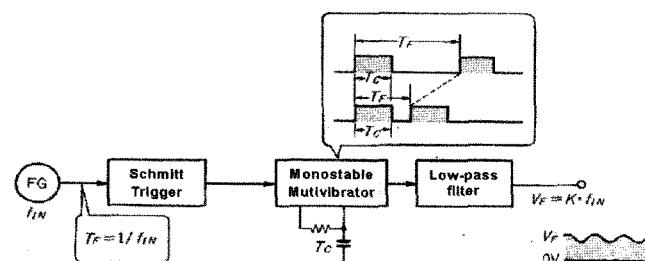


Fig. 4 Operation principle of the F/V converter in F/G servo system.

이용하여 모터의 회전속도를 주파수로 검출하고 이에 따른 제어 신호를 전압신호로 변환하여 송출하게 된다.

(3) PWM을 이용한 배출장치의 속도 제어 회로의 구성

구성된 F/G 서보 시스템에서 최종적으로 입제 배출장치의 속도를 제어하는 부분은 PWM(Pulse Width Modulation)회로를 이용한 모터드라이브로서 이러한 PWM 회로의 경우 제어부가 간단하고 저렴한 가격으로 구성할 수 있고 또한 모터의 출력 토크는 유지하면서도 모터에 사용되는 소비전력은 절감시키는 장점이 있다.

따라서 본 실험에서는 PWM 회로를 이용하여 속도 제어 회로를 구성하였으며, 실제 구동회로에서 발생하는 제어신호의 주파수는 식 (1)과 같다.

$$f = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C} \quad (1)$$

R_1 : Discharge 편에 연결된 저항 값

R_2 : Trigger 편에 연결된 저항 값

C : Threshold 편에 연결된 커패시터의 용량

또한 설계된 F/G 서보 시스템에서 사용된 PWM회로는 그림 5와 같다.

다. 입제 변량 살포기 배출장치의 입제 배출 특성 분석

(1) 공시비료의 선정

본 실험을 위하여 선정된 공시비료 2종은 화성비료인 신세대(N:P:K=22:12:12)와 슈퍼 21(N:P:K=21:17:17)로서 신세대의 경우 산물밀도는 0.781 g/cm^3 , 진밀도는 1.405 g/cm^3 이며 슈퍼21의 경우 산물밀도는 0.901 g/cm^3 , 진밀도는 1.507 g/cm^3 이다.

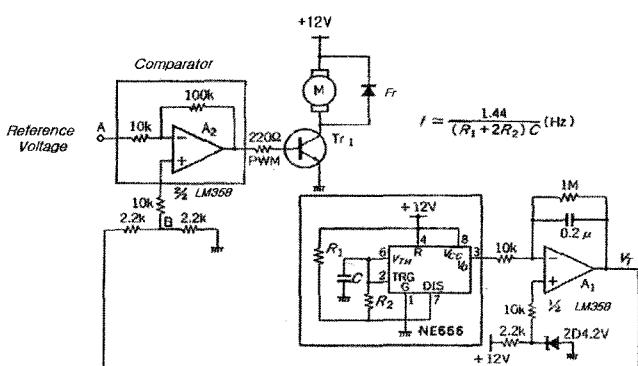


Fig. 5 Circuit diagram of PWM to control granule discharger.

(2) 호퍼내 입제 퇴적고에 따른 충전률 분석

입제 변량 살포 제어기를 구성함에 있어서 설계된 입제 변량 살포기의 호퍼 내 입제의 퇴적고에 따라 배출장치에 충전되는 입제의 충전율의 측정이 필요하다. 이는 호퍼 내에 적재된 입제의 양이 변화함에 따라 입제 배출장치의 충전률 및 1회전 당 배출되는 입제의 양이 변화하게 되기 때문이며, 실험을 통해 얻어진 측정결과는 실제 입제 변량 살포기의 배출장치의 입제 배출량을 정밀하게 제어하고 발생할 수 있는 오차 요인의 영향을 최소화하기 위한 기초 자료 및 시비처방 단계에 따른 구동부의 회전속도의 예측을 위하여 사용할 수 있기 때문이다.

이를 위하여 본 연구에서는 그림 6과 같은 충전율 측정 장치를 설계하였다. 그림 6에서 설계된 충전율 측정 장치는 측정용 호퍼(700(H)×310(W)×200(D)mm) 및 배출장치 그리고 배출장치의 구동부(DC12V, 40W motor)로 구성되어 있으며 구동회로는 설계된 PWM회로를 사용하였고 제작된 테스트 프로그램을 이용하여 배출장치의 회전속도를 산출하였다. 또한 호퍼 내의 퇴적고를 3단계(20 cm, 30 cm, 40 cm)로 구동 모터의 회전속도는 12~120 rpm 범위에서 10단계로 세분하여 4회 반복실험을 실시하였다.

(3) 입제 변량 살포기 배출장치의 회전속도에 따른 배출량 분석

설계된 입제 배출 장치의 경우 흄롤러 방식을 채택하여 입제 배출장치를 구성하였고 롤러의 직경이 배출장치의 내경보다 약간 크게 설계 되어 있어 배출장치의 회전 시 롤러 날의 쓸림 현상으로 인하여 입제의 배출량이 맥동성을 가지고 변화하게 된다.

따라서 회전속도에 따른 입제의 배출량이 일정한 균등도 이내로 유지되기 위해서는 배출장치의 시간 및 회전속도에 따른 입제의 평균 배출량과 CV(Coefficient of Variation: 변동계수)값을 분석하여 입제 배출량의 균등도를 분석하여야 한다.

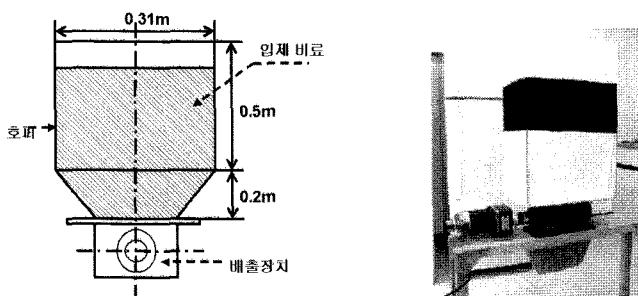


Fig. 6 The test equipment to measure charge ratio.

본 실험에서 배출장치의 회전속도와 배출 시간에 따른 입제의 배출량의 균등도를 나타내는 CV값은 식 (2)를 이용하여 산출하였다.

$$CV(\%) = \frac{S}{M} \times 100 = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - M)^2 f_i / \sum_{i=1}^n f_i}}{\sum_{i=1}^n x_i f_i / \sum_{i=1}^n f_i} \quad (2)$$

M : 평균, S : 표준편차, x_i : 변량, f_i : 도수

또한 호퍼 내의 퇴적고를 3단계(20 cm, 30 cm, 40 cm)로 구동 모터의 회전속도는 12 rpm~120 rpm 범위에서 10단계로 세분하여 0.1 m/s의 속도로 이동하는 컨베이어 벨트 위에 입제 수집통(150(H)×300(W)×100(D)mm)을 20개 배치하여 초당 배출량을 4회 반복 측정하였다. 그림 7은 본 실험을 위하여 제작된 입제 수집통의 모습 및 실험방법을 나타낸 것이다.

4. 입제 변량 살포 제어기의 성능분석

구성된 입제 변량 살포 제어기의 성능 분석을 위해서 성분별 기준 입제 살포량 및 작업기의 작업 속도에 따라 입제 배출장치의 회전속도를 변화시키도록 실제 구성된 제어기에서 입제 배출장치에 제어 신호를 송출하였으며 배출장치에 입력되는 입력신호에 따라 변화하는 배출장치의 회전속도의 균등도 및 제어신호에 대한 입제 배출장치의 응답시간을 측정하였다. 또한 제어 신호의 단위 입력은 1.14V~3.3V 범위에서 6단계로 세분하였으며 6단계의 단위 입력에 대한 정정시간을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 호퍼내 입제 퇴적고에 따른 충전률 분석

설계된 입제 변량 살포기의 호퍼 내 입제의 퇴적고에 따라 배출장치에 충전되는 입제의 충전율을 측정한 결과 공시비료인 슈퍼 21의 경우 입제 배출장치의 평균 배출량은 153.67~

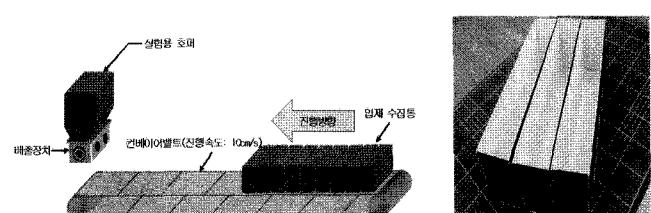


Fig. 7 Testing method designed for measuring discharge volume according to change of rotational speed, and Patternator.

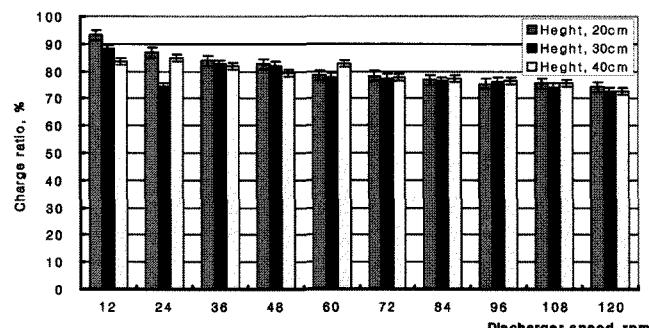


Fig. 8 Charge ratio of discharger by accumulation height in hopper.

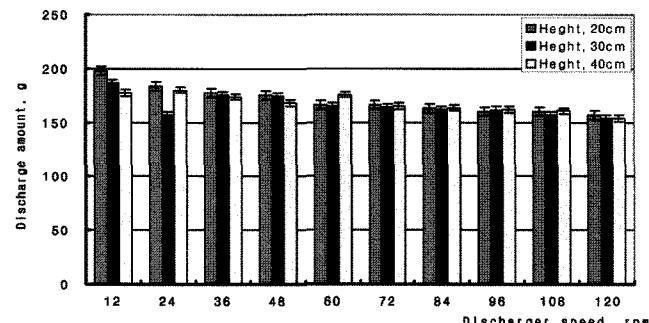


Fig. 9 Discharge amount of discharger by accumulation height in hopper.

Table 1 Charge ratio of discharger and CV (%) of discharge amount by accumulation height and rotational speed

Item	RPM	Accumulation height (40 cm)		Accumulation height (30 cm)		Accumulation height (20 cm)	
		Charge ratio (%)	CV (%)	Charge ratio (%)	CV (%)	Charge ratio (%)	CV (%)
Super21 (22-12-12)	12.00	83.76	6.68	88.11	11.23	93.23	10.62
	24.00	66.73	5.63	74.18	4.34	86.79	4.95
	36.00	82.02	3.96	82.69	4.65	83.93	4.51
	48.00	79.37	3.66	82.14	4.76	82.71	4.90
	60.00	82.80	3.61	77.90	3.87	78.43	5.00
	72.00	88.66	2.94	77.52	6.09	78.30	3.87
	84.00	77.15	5.02	76.40	4.51	76.81	8.77
	96.00	76.44	4.27	76.16	3.62	75.27	5.05
	108.00	75.75	3.78	73.91	3.77	75.58	3.80
	120.00	72.58	3.04	72.62	4.08	74.26	3.94
Sinsedae (21-17-17)	12.00	87.77	7.60	80.89	8.98	93.42	10.80
	24.00	80.60	3.18	81.02	3.48	83.71	3.58
	36.00	74.65	3.98	71.56	4.13	73.72	3.96
	48.00	73.29	3.53	74.42	4.43	69.14	4.60
	60.00	74.32	3.25	68.30	3.69	70.23	3.47
	72.00	71.46	3.55	71.79	3.56	68.62	3.75
	84.00	69.63	3.44	67.25	3.99	65.35	3.27
	96.00	68.30	2.82	68.19	3.62	66.38	4.35
	108.00	66.52	5.29	65.37	3.92	63.14	4.70
	120.00	65.99	3.41	65.16	4.11	63.85	3.61

197.39 g의 범위 내에서 신세대의 경우 152.3~222.8 g의 범위 내에서 배출장치의 회전속도의 증가에 따라 점차 감소하는 경향을 보였으며, 마찬가지로 입제 배출장치의 충전율은 슈퍼 21의 경우 72.58~93.23%의 범위 내에서 신세대의 경우 63.14~93.42%의 범위 내에서 회전속도의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다.

그러나 측정결과 입제 변량살포 제어기의 배출장치의 회전 속도의 변화에 따른 충전율의 변화는 확인할 수 있었으나, 호퍼 내의 입제 퇴적고의 변화에 따른 충전율의 변화는 나타나지 않았다.

그림 8과 그림 9는 호퍼 내의 입제 퇴적고에 따른 충전율과 입제의 평균 배출량을 나타내고 있다.

나. 입제 변량 살포기 배출장치의 회전속도에 따른 배출량 분석

입제 변량살포기 배출장치의 회전속도에 따른 배출량 분석을 통해서 얻은 배출되는 입제량의 자세한 배출 균등도는 표 1에 명시한 것과 같다. 입제 배출장치가 저속으로 회전할 경우 배출량의 균등도를 나타내는 CV값이 높아지는 것을 확인

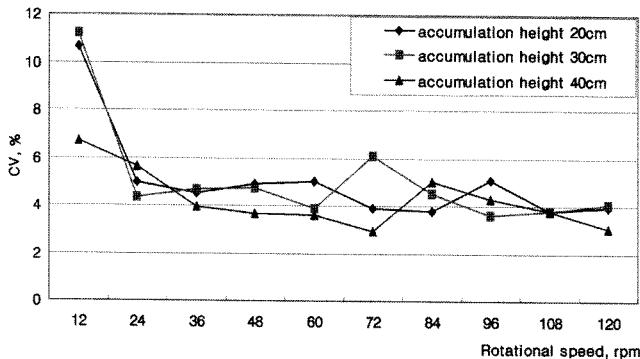


Fig. 10 Changes of CV (%) by accumulation height in hopper and discharger speed.

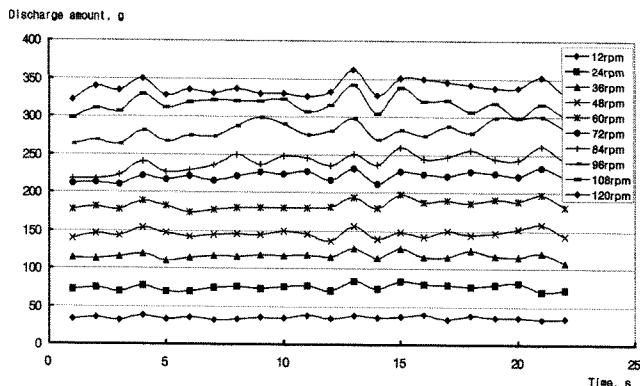


Fig. 11 Change in discharge amount by discharger speed.

할 수 있으나, 입제 배출장치의 회전속도 및 배출시간에 따른 입제 배출량의 균등도를 분석한 결과 각 회전속도 별 입제 배출량의 균등도는 CV값을 기준으로 하여 공시 비료인 슈퍼21의 경우는 CV값은 11.23~2.94%의 범위 내에서, 신세대의 경우 CV값은 10.80~2.82%의 범위 내에서 변화하였다.

그림 10은 입제 배출장치의 회전속도 변화에 따른 CV값의 변화를 나타내고 있다. 그림에서 나타난 것과 같이 배출장치의 회전속도가 12 rpm일 때를 제외한 나머지의 경우 입제 배출량의 균등도는 4% 내외로 안정되는 경향을 보였고 입제 퇴적고가 40 cm일 경우 CV값이 가장 안정적이며 낮은 것으로 분석되었으며 회전속도가 증가함에 따라서 CV값은 감소함을 알 수 있다.

실제 입제 배출기를 통하여 배출되는 입제 배출량은 일정한 시간 간격으로 유사한 과형을 형성하며 변화하며 대체적으로 균등한 것을 그림 11을 통하여 확인 할 수 있다.

다. 입제 변량 살포 제어기의 성능분석

공시비료의 성분비와 작업기의 작업속도에 따른 요구 회전속도에 대한 분석을 바탕으로 구성된 PWM회로에 입력되는 제어 신호에 따른 배출장치의 회전속도 변화 예측식을 산출

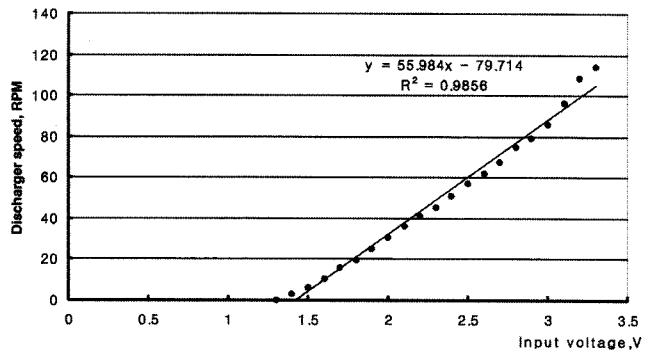


Fig. 12 Discharger speed versus control signal.

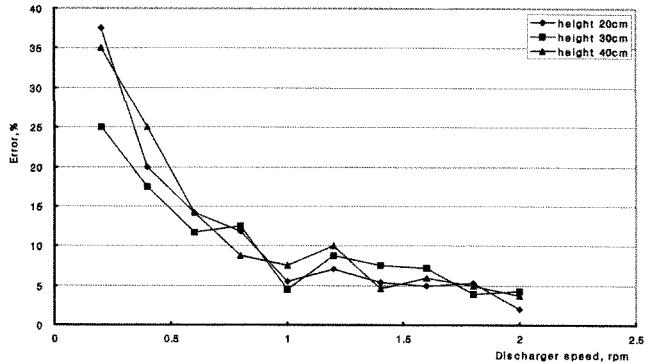


Fig. 13 Errors in discharger speed by accumulation height in hopper.

하기 위하여 구성된 회로에 0~5V 범위의 제어 신호를 0.1V 씩 총 50단계로 나누어 입력하여 배출장치의 회전속도를 측정하였다.

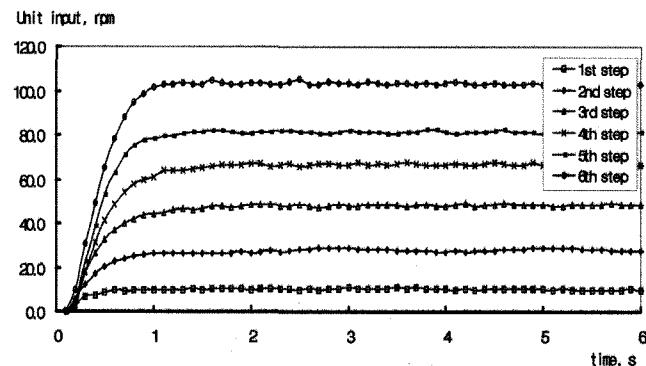
그림 12는 회전속도 측정 결과를 보여주는 그래프로 배출장치의 회전속도는 제어신호에 비례하여 선형적으로 증가하고 있음을 보여준다. 또한 산출된 제어 신호에 대한 회전속도의 예측식은 $Y=55.984X-79.174$ (X: input voltage, V, Y: Discharger speed, RPM)이고 R^2 값은 0.99로 산출되었다.

산출된 입제 배출장치의 회전속도에 따른 예측식을 기준으로 하여 배출장치의 구동부에 제어 신호를 송출한 후 입제가 투입되지 않은 무부하시와 입제가 투입된 부하시의 입제 배출장치의 회전속도의 차이를 측정하였다. 그림 13은 퇴적고에 따른 배출장치의 회전속도 오차를 나타낸 그래프로서 퇴적고에 관계없이 배출장치의 회전속도의 오차는 일정한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

마지막으로 입제 변량살포 제어기의 응답특성을 분석하기 위하여 입제 배출장치가 회전하기 시작하는 1.14V부터 속도 변화가 나타나지 않는 3.3V까지의 범위를 6단계로 세분한 계단 입력 값에 대하여 단위계단 입력값에 대한 출력값의 95~105% 지점에 도달하는 정정시간을 측정한 결과 정정시간의 경우 0.8~1.4 sec의 범위 내로 나타났으며, 단위 입력에 대

Table 2 CV of discharger speed by unit input of controller for variable-rate application

Step	Settling time (sec)	95% of unit input (rpm)	mean discharger speeds (rpm)	St. Dev	CV (%)
1st	0.80	9.79	10.20	0.54	3.06
2nd	1.40	26.62	28.20	0.54	2.16
3rd	1.30	46.07	48.60	1.55	0.76
4th	1.10	63.46	66.60	4.36	0.70
5th	0.90	77.23	81.00	8.26	0.59
6th	0.70	97.96	103.20	12.63	0.51

**Fig. 14** Discharger speeds by unit input of controller for variable-rate application.

하여 배출장치의 회전속도가 안정되는 정정시간 이후에 대한 입제 배출장치의 회전속도 균등도를 분석한 결과는 표 2와 같았다. 입제 배출장치의 회전속도는 CV값 기준 0.51~3.06%의 범위 내에서 안정되었다. 또한 단위 입력신호가 1단계에서 6단계까지 점차 높아짐에 따라 회전속도의 균등도가 더욱 향상되었다.

그림 14는 정정시간을 측정하기 위하여 배출 장치의 회전 속도를 시간변화에 따라 측정한 그래프이다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 설계된 입제 변량살포 제어기의 입제 배출장치의 회전속도 특성 및 입제 변량 살포 제어기의 입제 배출 성능을 분석하고 그 특성을 구명하고자 하였으며, 최종적으로 설계된 입제 변량살포 제어기의 응답 성능 분석에 초점을 맞추어 연구를 수행하였다. 주요 연구결과는 다음과 같다.

- (1) 입제 변량살포기 배출장치의 퇴적고에 따른 충전율을 분석한 결과 입제 배출장치의 충전율은 슈퍼 21과 신세대의 경우 각각 72.58~93.23%와 63.14~93.42%의 범위 내에서 회전속도의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다.

(2) 입제 배출장치의 회전속도 및 배출시간에 따른 입제 배출량의 균등도를 분석한 결과 각 회전속도별 입제 배출 균등도는 슈퍼21과 신세대의 경우 각각 CV값 기준으로 11.23~2.94%와 10.80~2.82%의 범위 내에서 변화하였으며, 입제 배출량의 균등도는 4% 내외로 안정되는 경향을 보였다.

(3) 제어 신호에 따른 입제 배출장치의 회전속도 예측식을 산출한 결과 예측식은 $Y=55.984X-79.174$ (X: input vitage, V, Y: Discharger speeed, RPM)이고 R^2 값은 0.99로 산출되었다.

(4) 입제 변량살포 제어기의 응답특성을 분석한 결과 배출장치의 회전속도 설정값에 해당하는 6단계의 각 단계별 단위 입력값에 대한 정정시간은 0.8~1.4 sec의 범위 내로 나타났으며, 2단계 입력부터는 회전속도가 증가함에 따라 감소함을 알 수 있다.

참 고 문 앤

1. Sohn, S. Y. 2004. Development of a Control System for Variable-Rate application of granular fertilizers. Unpublished master's thesis. Biosystems Engineering Dept. Seoul National University. Seoul. In Korea.
2. Seo, M. 2004. The Development of the Variable Rate Pneumatic Applicator for Precision Farming. Unpublished master's thesis. Biosystems Engineering Dept. Seoul National University. Seoul. In Korea.
3. Michihisa Iilda, and Mikio Umeda. And P. A. S. Radiate. 2001. Variable Rate Fertilizer Applicator for Paddy field. Paper Number : 01-1115. An ASAE Meeting Presentation.
4. Fulton J. P., Scott A. S., Timothy S. S., Stephen F. H., Matthew J. D., Dennis W. H. and Edward L. H. 2004. Comparison of VRT Granular Applicators. Application Paper Number : 041113. An ASAE Meeting presentation.