

입제 변량 제어기의 입제 배출 특성 분석

Analysis of Discharge Performance characteristic and Pattern in Controller of Variable-Rate fertilizer

유지훈*	류관희*	김영주*	김유한*
정회원	정회원	정회원	정회원
J. H. Yu	K. H. Ryu	Y. J. Kim	Y. H. Kim

1. 서론

농업에 있어서 생산된 농산물을 구매하고 소비하는 실수요자들의 급격한 기호변화와 더불어 농업 생산물의 생산 및 유통 과정상의 통관 및 검역 기준이 높아지고 있는 상황에 따라 유기농산물의 소비량은 1997년부터 연평균 35% 이상씩 성장해 현재 전체 농산물 생산량의 2%를 차지하는 연간 36만6000톤이 생산되고 있고, 관련 시장 규모도 지난해 4000억원에서 올해 6000억원으로 늘어 2~3년 내에 1조원 이상으로 성장할 것으로 분석(농림부 친환경 농업정책과 정책자료, 2004)되고 있다. 따라서 우리나라는 2001년에 수립된 친환경 농업육성 5개년계획을 기본골격으로 작물양분종합관리(Integrated Nutrient Management, INM), 병해충종합관리(Integrated Pest Management, IPM) 및 유기농업을 확산하여 2005년까지 화학비료와 농약을 각각 30%씩 줄이고, 친환경농산물 생산량을 5%로 확대하는 것을 목표로 농업에 있어서 방법의 변화를 모색하고 있으나, 실제 INM 및 IPM을 바탕으로 한 유기농업의 경우 첨단농업기계 기술의 보급이 수반되지 않는 상황에서 보급이 용이하지 않기 때문에 이러한 점을 고려하여 특성치의 포장 내 변동의 크기와 요인의 해석에 근거하는 국소관리방침에 따라 적재적소에 원하는 양만큼의 농자재를 투입할 수 있는 정밀 농업 기술의 개발에 주력하고 있다.

따라서 본 연구는 정밀농업을 구현할 수 있는 입제 변량살포기의 변량제어를 수행하기 위한 제어기를 개발하고 제어기의 제어 성능 및 입제 배출 특성을 분석하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. 입제 변량살포 제어기 설계

(1) 입제 변량살포 제어시스템 설계

입제 변량 제어기는 작업 대상이 되는 포장내의 위치별 변위 및 토성정보를 바탕으로 작성된 시비처방지도를 기준하여 GPS(Global Positioning system) 시스템을 통해 분석된 포장내 작업기의 위치 정보와 속도센서를 통해 제어시스템으로 인입되는 속도정보를 취합하여

* 서울대학교 농업생명과학대학 바이오시스템공학 전공

작업기의 위치를 산출하고 이를 시비처방 지도의 시비처방 정보와 비교함으로써 작업기의 작업속도 및 위치변위 정보에 따라 입제를 변량 살포하는 개념의 제어기를 말한다.

따라서 이러한 입제 변량살포기의 입제 시비량을 결정짓는 알고리즘 및 제어시스템을 개발하기 위해서 제어시스템은 크게 신호처리부와 제어부 및 구동부로 구성하였으며, 실제 입제 변량살포를 위한 제어 시스템 개발의 경우 제어 시스템의 요구 조건을 모두 충족시키기 위해서는 대용량의 데이터 저장소와 빠른 처리속도 및 높은 신뢰성이 요구된다.

한편 이러한 제어기를 구성하는 각부의 요구 성능의 감안하여 시스템을 구성하기 위해서 신호처리와 제어를 동시에 수행할 수 있도록 시스템을 구성할 필요가 있다. 따라서 이러한 구성 목적에 맞는 제어시스템의 경우 신호처리 및 구동부의 제어를 동시에 수행하기 위해서 제어시스템의 중앙처리부는 PC를 사용하였다.

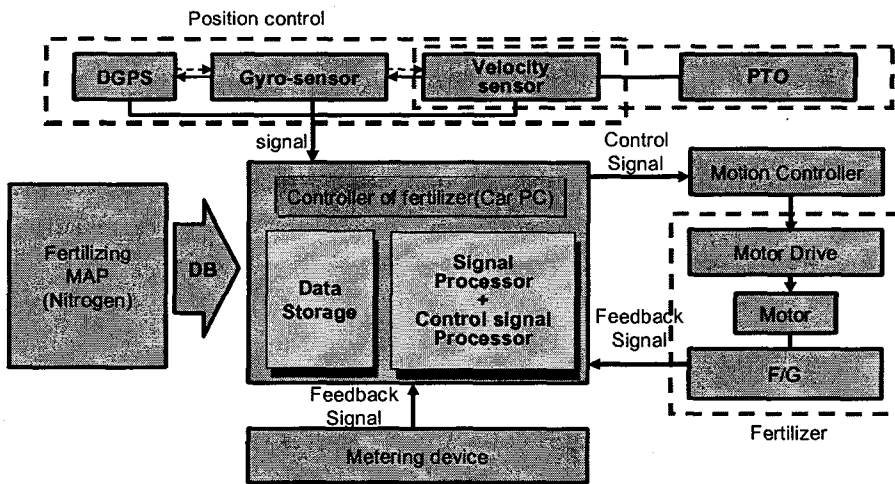


Fig. 1 Schematic of variable-rate fertilizer control system using car-PC

(2) 입제 변량살포를 위한 변량 제어기 제작

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

본 연구에서 구성된 입제 변량 제어기의 경우 제어용 PC는 제어기의 개념 설계에서 제시된 신호처리부와 제어부를 통합하는 부분을 말하며, 차량용 PC를 이용하여 구성하였다. 또한 구동부의 경우 모터를 이용하여 입제의 배출량을 변량 제어하기 위하여 홈롤러 방식의 배출장치를 이용하였다. 설계된 입제 변량 살포기의 경우 2개의 입제 배출장치가 필요하므로 홈롤러 방식의 입제 배출장치를 2개 1조로 구성하였다. 마지막으로 입제 변량살포기는 입제 배출장치의 구동부의 모터의 회전속도를 제어함으로써 배출장치의 회전속도를 제어하고 이에 따라 홈롤러 방식의 배출장치에서 배출되는 입제의 양을 가변시키는 방식을 취하고 있다. 여기서 입제 배출 장치 구동부는 크게 모터 드라이브와 모터로 구성되어 있으며 모터

드라이브에서 사용된 제어 방식은 PWM(Pulse Width Modulation)방식이며 구동 모터는 12V 40W의 DC 모터를 선정하여 사용하였다.

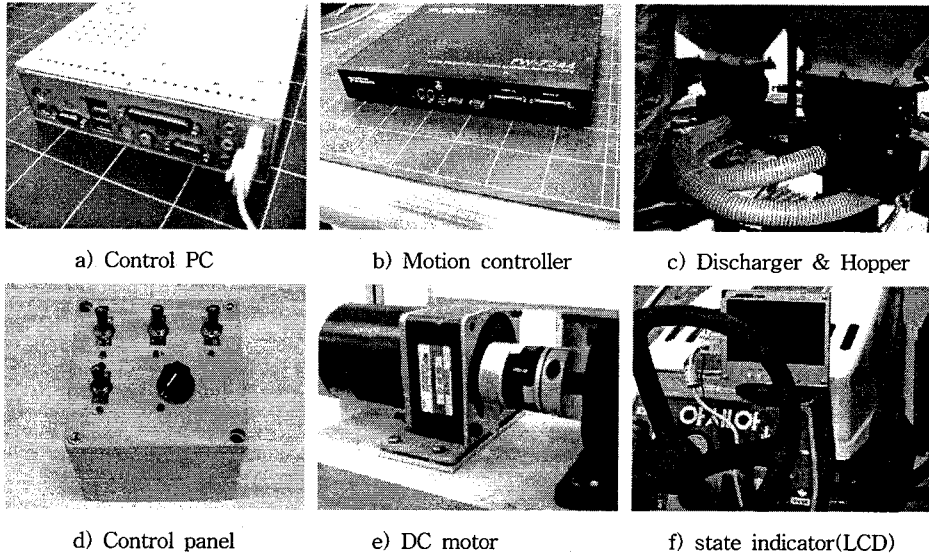


Fig. 2 Each Part of controller of Variable-Rate fertilizer

나. 입제 변량 제어기의 입제 배출 특성 분석

(1) 공시비료의 선정

입제 변량 제어기의 입제 배출 경향을 분석하기 위하여 선정된 공시 비료는 신세대 (N:P:K=22:12:12)와 슈퍼 21(N:P:K=21:17:17) 두 종류를 사용하였으며 공시 비료로 선정된 신세대의 경우 산물밀도는 1.405g/cm³, 진밀도는 0.781g/cm³이었으며 슈퍼 21의 경우 산물밀도는 1.507g/cm³, 진밀도는 0.901g/cm³이다.

(2) 호퍼 내 입제 퇴적고에 따른 입제 충전률 분석

변량 제어기의 호퍼 내 입제의 퇴적고에 따라 충전되는 입제의 충전율이 변화하게 되면 배출장치의 1회전 당 배출되는 입제의 양도 변하게 되며, 따라서 시비 처방 지도를 바탕으로 하여 변량 살포를 실시할 경우 호퍼 내에 적재된 입제의 양이 감소함에 따라 배출장치에 충전되는 입제의 충전율이 변화하게 된다. 따라서 실제 입제 변량 제어기의 설계 시 이러한 오차 요인의 영향을 최소화하기 위하여 호퍼 내의 퇴적고에 따른 입제 충전률을 분석하였다.

입제의 충전률을 분석하기 위해서 설계된 충전율 측정 장치는 측정용 호퍼 및 배출장치 그리고 배출장치의 구동부로 구성되어 있으며 측정용 호퍼의 경우 700(H)×310(W)×200(D)mm 이고 배출장치의 구동 모터는 12V 40W의 DC 모터를 사용하였으며, 구동회로는 PWM방식을 사용하였고 배출장치의 회전속도는 제작된 테스트 프로그램을 이용하여 모니터링 하였다. 또한 호퍼 내의 퇴적고를 20cm, 30cm, 40cm의 3단계로 구동 모터의 회전속도는 0.2rpm

s~2.0rps 범위에서 0.2rps 단위로 10단계로 세분하여 실험을 실시하였으며 실험 데이터의 신뢰도를 높이기 위하여 각 단계별로 4회의 측정을 실시하여 데이터를 분석하였다.

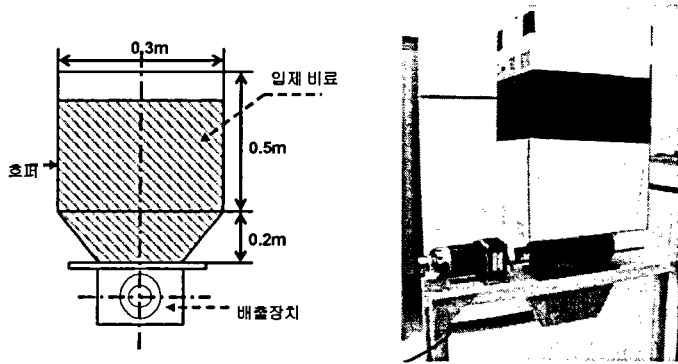


Fig. 3 Schematic of test equipment to measure charge ratio

(3) 입제 변량 제어기의 회전속도에 따른 배출특성 분석

설계된 입제 배출 장치의 경우 홈롤러 방식을 채택하여 입제 배출장치를 구성하였고 입제의 끼임으로 인한 배출장치의 막힘 현상을 방지하기 위하여 롤러의 직경이 배출장치의 내경보다 약간 크게 설계 되어 있어 배출장치의 회전 시 롤러 날의 쓸림 현상으로 인하여 입제의 배출량이 배출장치의 회전시간에 따라 변화하게 된다. 따라서 회전속도에 따른 입제의 배출량이 일정한 균등도 안에서 유지되는지 확인하기 위해서 본 실험을 통하여 배출장치의 시간 및 회전 속도에 따른 입제의 평균 배출량과 입제의 배출 균등도를 나타내는 CV(Coefficient of Variation: 변동계수)값은 아래의 식 (1)를 이용하여 분석하였다.

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

S : 표준편차

M : 평균값

x_i : 변량

f_i : 도수

본 실험을 위하여 호퍼 내의 퇴적고를 20cm, 30cm, 40cm의 3단계로 구동 모터의 회전속도는 0.2rps~2.0rps 범위에서 0.2rps 단위로 10단계로 세분하였고 10cm/s의 속도로 이동하는 컨베이어 벨트 위에 150(H)×300(W)×100(D)mm 크기의 입제 수집통을 22개 배치하여 초당 배출량을 측정하였다. 그리고 각 단계별로 4회의 측정을 실시하여 데이터를 분석하였다.

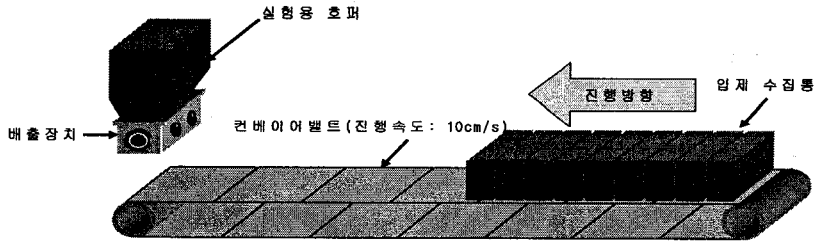


Fig. 4 Testing method designed for measuring discharge volume according to change of RPM

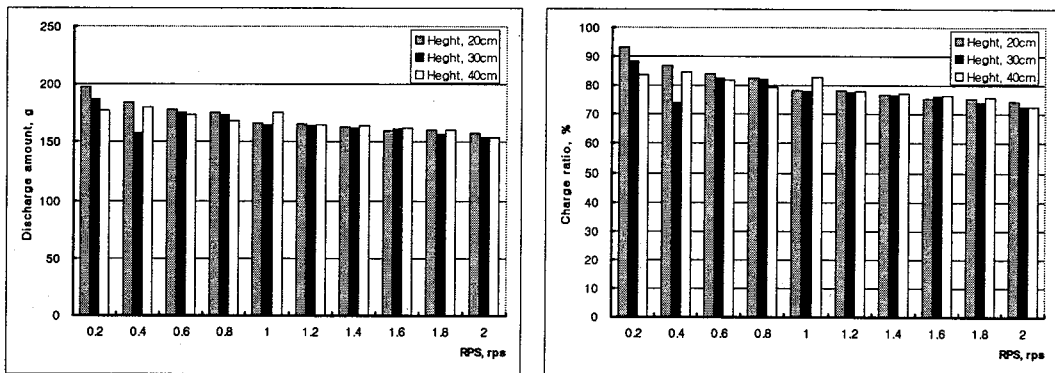
3. 결과 및 고찰

가. 호퍼 내 입제 퇴적고에 따른 입제 충전률 분석

본 연구에서는 20cm, 30cm, 40cm의 입제 퇴적고의 변화에 따른 rps별 흡플러의 충전율을 측정하였으며, 이때의 입제 배출장치의 입제 평균 배출량을 측정하였다. 측정된 결과는 공시 비료 2종 모두 입제 배출장치의 회전속도가 증가하면 흡플러의 충전율은 점차 감소하는 양상을 보여주고 있으며, 입제의 퇴적고가 높아짐에 따라 흡플러의 충전율은 다소 감소하는 양상을 보여준다.

특히 공시비료인 슈퍼 21의 경우 입제 배출장치의 평균배출량은 153.67~197.39g의 범위 내에서 배출장치의 회전속도의 증가에 따라 점차 감소하는 경향을 보였으며, 마찬가지로 입제 배출장치의 충전률은 72.58~93.23%의 범위 내에서 회전속도의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 한편 공시비료인 신세대의 경우 입제 배출장치의 평균 배출량은 152.3~222.8g의 범위 내에서 또한 입제 배출장치의 충전률은 63.14~93.42%의 범위 내에서 회전속도의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다.

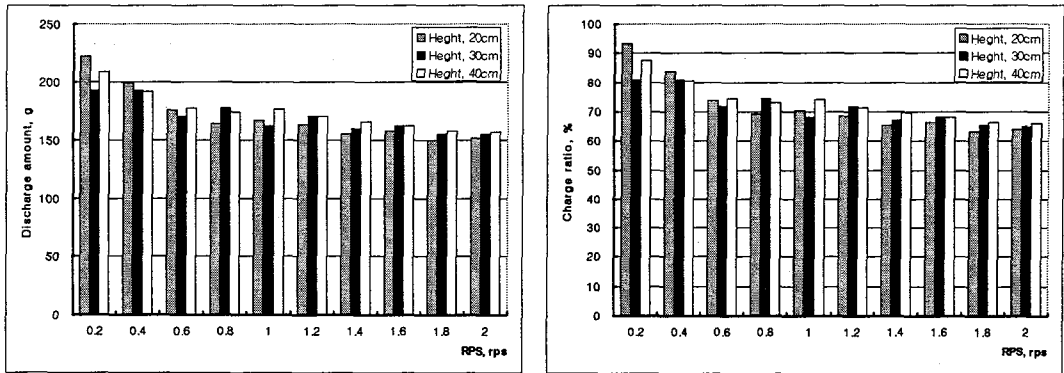
그러나 측정결과 입제 변량살포 제어기의 배출장치의 회전속도의 변화에 따른 충전율의 변화는 확인할 수 있었으나, 호퍼 내의 입제 퇴적고의 변화에 따른 충전율의 변화의 효과는 나타나지 않았다.



a) Discharge amount(g/rev)

b) Charge ratio(%)

Fig. 5 Discharge amount and charge ratio of discharger according to accumulation height(super21)



a) Discharge amount(g/rev)

b) Charge ratio(%)

Fig. 5 Discharge amount and charge ratio of discharger according to accumulation height(Sinsedae)

나. 입제 변량제어기 배출장치의 회전속도에 따른 배출특성 분석

설계된 입제 변량살포 제어기의 입제배출장치의 경우 홈롤러 방식을 채택하였기 때문에 입제 배출장치의 구동 시 롤러의 쓸림 현상이 발생하게 되며, 이러한 원인으로 인하여 입제를 배출할 경우 입제의 배출량은 과동성을 가지고 변화하게 된다. 또한 이러한 과동성은 입제 배출장치의 회전 시 부하변동의 요인으로 작용하여 입제의 배출량은 입제 배출 장치의 회전 시간에 따라 일정한 패턴의 변동 특성을 보이게 된다. 따라서 본 연구에서는 입제 배출장치의 시간 및 회전 속도에 따른 입제의 배출량이 일정한 균등도 안에서 유지되는지 확인하기 위하여 입제 배출장치의 작동시간에 따른 입제의 평균 배출량과 CV(coefficient Variation: 변동계수)값을 분석하여 회전속도에 따른 입제 배출량의 균등도를 분석하였으며 그 결과 입제 배출량의 변동계수는 전체 2.94~11.23%의 범위 내에서 변화하였으며, 입제 퇴적고가 40cm일 경우 CV값이 가장 안정적이며 낮은 것으로 분석되었다.

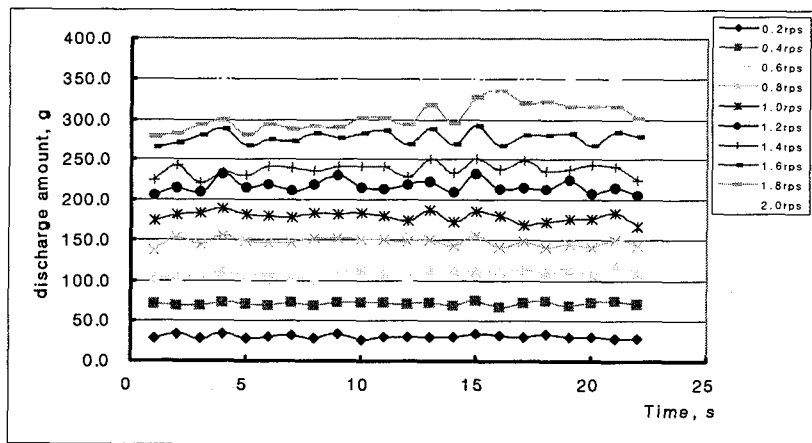


Fig. 6 Pattern curve of discharge amount according to time

Table 1. CV of discharge amount according to RPS change (super21)

RPS	입제 퇴적고 (40cm)			입제 퇴적고 (30cm)			입제 퇴적고(20cm)		
	평균배출량 (g)	STEDV	CV (%)	평균배출량 (g)	STEDV	CV (%)	평균배출량 (g)	STEDV	CV (%)
0.2	35.02	2.34	6.68	31.60	3.55	11.23	35.80	3.80	10.62
0.4	75.32	4.24	5.63	71.68	3.11	4.34	73.15	3.62	4.95
0.6	116.47	4.61	3.96	118.56	5.52	4.65	112.40	5.07	4.51
0.8	146.13	5.34	3.66	151.92	7.23	4.76	152.45	7.48	4.90
1.0	184.06	6.64	3.61	182.00	7.05	3.87	180.19	9.02	5.00
1.2	221.30	6.50	2.94	228.84	13.93	6.09	214.15	8.29	3.87
1.4	240.51	12.07	5.02	253.31	11.42	4.51	245.68	21.54	8.77
1.6	281.75	12.04	4.27	282.45	10.22	3.62	279.91	14.12	5.05
1.8	315.70	11.92	3.78	318.83	12.03	3.77	307.65	11.70	3.80
2.0	337.75	10.28	3.04	327.19	13.36	4.08	344.68	13.56	3.94

Table 2. CV of discharge amount according to RPS change (sinsedae)

RPS	입제 퇴적고 (40cm)			입제 퇴적고 (30cm)			입제 퇴적고(20cm)		
	평균배출량 (g)	STEDV	CV (%)	평균배출량 (g)	STEDV	CV (%)	평균배출량 (g)	STEDV	CV (%)
0.2	30.33	2.31	7.60	30.36	2.73	8.98	29.59	3.19	10.80
0.4	71.43	2.27	3.18	77.20	2.68	3.48	73.44	2.63	3.58
0.6	108.76	4.33	3.98	110.55	4.57	4.13	114.27	4.52	3.96
0.8	146.84	5.18	3.53	147.19	6.53	4.43	149.62	6.88	4.60
1.0	178.44	5.80	3.25	181.62	6.71	3.69	185.37	6.43	3.47
1.2	216.06	7.67	3.55	208.29	7.42	3.56	216.12	8.12	3.75
1.4	237.32	8.16	3.44	242.37	9.66	3.99	231.44	7.56	3.27
1.6	277.53	7.82	2.82	282.70	10.23	3.62	265.71	11.55	4.35
1.8	302.62	16.02	5.29	305.21	11.97	3.92	301.11	14.17	4.70
2.0	337.76	11.51	3.41	334.28	13.73	4.11	333.25	12.03	3.61

5. 요약 및 결론

가. 입제 변량살포기 배출장치의 퇴적고에 따른 흙롤러의 충전율을 분석한 결과 입제 배출 장치의 회전속도에 따라 슈퍼21의 경우 평균배출량은 153.67~197.39g 충전률은 72.58~92.33%까지 신세대의 경우 입제 평균 배출량은 152.3~222.8g 충전률은 63.14~93.42%까지 변화하는 것으로 분석되었으며 회전속도가 증가함에 따라 충전율은 감소하는 경향을 보였다.

나. 입제 배출장치의 회전속도 및 배출시간에 따른 입제 배출량의 균등도를 분석한 결과 각 회전속도별 입제 배출량의 균등도는 CV값을 기준으로 하여 공시 비료인 슈퍼21의 경우 11.23~2.94%까지 공시 비료인 신세대의 경우 10.80~2.82%까지 변화하는 것으로 분석되었

으며 배출장치의 회전속도 0.2rps의 경우를 제외한 나머지의 경우 입제 배출량의 균등도는 4% 내외로 안정되는 경향을 보였고, 입제 퇴적고가 40cm일 경우 CV값이 가장 안정적이며 낮은 것으로 분석되었다.

6. 참고문헌

1. 손승용. 2004. 입제 변량살포를 위한 제어시스템 개발. 서울대학교 석사학위 논문
2. 서민. 2004. 정밀농업을 위한 송풍식 입제 변량살포장치 개발. 서울대학교 석사학위 논문
3. Chung, C. J., S. O. Chung, Y. C. Chang, Y. S. Choi and J. S. Choe. 1997. A Study on Development of a Pneumatic Granular Applicator for Paddy Field(I)-Granular Discharge rate, Diffuser and Optimal Application Conditions -. *Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery* 22(2):127-136
4. Jose Alfredo Covolan Ulson and Sergio Hugo Benez and Ivan Nunes da Silva and Andre Nunes de Souza, 2002. An Intelligent System to Control the Fluid Fertilizer. Application. Paper Number : 021187 An ASAE Meeting Presentation
5. John P. Fulton, Scott A. Shearer, Timothy S. Stombaugh and Stephen F. Higgins. 2003. Comparison of Variable-Rate Granular Application Equipment. Application Number : 031125 An ASAE Meeting Presentation.
6. John P. Fulton, Scott A. Shearer, Timothy S. Stombaugh, Stephen F. Higgins. Matthew J. Darr, Dennis W. Hancock and Edward L. Hutchens. 2004. Comparison of VRT Granular Applicators. Application Paper Number : 041113. An ASAE Meeting presentation.