

무인헬기 부착용 원심식 범씨 살포 장치에 관한 연구

강태경^{1*} · 김승희¹ · 전현종¹ · 최덕규¹ · 이채식¹ · 최 용¹ · 백남현²¹농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부, ²농촌진흥청 국립식량과학원 벼맥류부

Investigation of Centrifugal Rice Seeder for Unmanned Helicopter

Tae Gyoung Kang, Seung Hee Kim, Hyun Jong Jun, Duk Kyu Choi, Chae Sik Lee,
Yong Choi, Nam Hyun Baek*¹Dept. of Agricultural Engineering, National Academy of Agricultural Science,
Rural Development Administration. Suwon, Korea²Dept. of Rice & Winter Cereal Crop, National Institute of Crop Science,
Rural Development Administration, Iksan, KoreaReceived: August 17th, 2012; Revised: November 27th, 2012; Accepted: December 3rd, 2012

Abstract

Purpose: While an unmanned helicopter has been extensively used for spraying chemicals on agricultural crops, its low utilization (two months per year from July to August) has recently become an issue. This study aimed to increase the utilization of the unmanned helicopter. The centrifugal rice seeder, a mounting device for rice seeding for unmanned helicopter was developed and assessed its performance. **Methods:** The concept of the centrifugal spraying device was to obtain design criteria for centrifugal distribution. Four types of blade shapes namely straight, curved, straight wing and curved wing were developed and used. The rotational speed of the blades was tested at 1,000, 1,200 and 1,400 rpm. **Results:** The blade shapes, rotational blade speed and angle of trajectory were theoretically analyzed and results were validated with a series of laboratory experiments. **Conclusions:** The curved wing blades provided the distribution uniformity (DU) at 1,200rpm of rotational speed and 60 degree of seed drop point. The spray uniformity of 4.2% was also achieved.

Keywords: Direct seed, Downwash, Spreader, Unmanned helicopter

서 론

WTO체제의 출범으로 농산물 시장 개방이 급속도로 진행되면서 우리 농업은 무한경쟁시대에 대응하기 위하여 고품질 농산물의 생산비 절감을 위한 생산기술이 절실히 요구되고 있다 (Seok et al., 2006). 현재 농산물 생산작업 중 병해충 방제작업은 품질 및 생산량을 높이기 위한 필수작업이지만 고온·다습한 환경에서 농약을 살포하므로 힘들고 농약중독우려가 커서

기피하는 작업이다. 따라서 관행적 방제작업의 노동집약성, 작업 기피성 및 위험성, 소량살포 및 적기방제로 환경오염 감소할 수 있는 기술로 무인헬기가 농업에 이용되고 있다. 한편 국내에서 무인헬기는 방제작업에만 이용되고 있으므로 연간 이용가능 기간이 7~8월로 한정되어 있고, 실제 이용일수는 20일 내외로 짧아 무인헬기의 이용확대 방안에 대한 연구의 필요성이 증대되고 있다(Kang, 2011).

그중의 하나가 벼 직파재배활용이다. 직파재배는 1990년대 초부터 보급되기 시작하여 1995년에는 벼 재배면적의 11%인 11만8천 ha까지 증가하였으나, 2009년에는 3만 1천 ha 수준으로 줄어들었다. 하지만 기계화가 진행되면 5만 ha 수준을 유

*Corresponding author: Tae Gyoung Kang
Tel: +82-31-290-1872; Fax: +82-31-290-1860
E-mail: tkkang@korea.kr

지할 것으로 전망하고 있다(Kang, 2011). 시비 및 비직파등수도작 관리작업의 효율 증대를 위한 이양기 부착형 송풍식 및 원심식 입제 살포기(Chung et al., 1997; Fulton et al., 2001) 등의 분야에서 보고되고 있다. 무인헬기 이용 기술은 일본에서는 이미 실용화되어 비직파 및 농작물의 생육과 수량 분석 등 적용 범위가 확대되어 가고 있는 추세이다. 따라서 본 연구에서는 무인헬기 부착용 비직파장치 개발을 위하여, 원심식 살포장치의 이론적 분석과 요인실험을 통하여 균일살포에 미치는 주요인자들을 구명하여 원심식 살포기의 설계에 이용하고자 하였다.

재료 및 방법

가. 원심식 살포장치의 입자의 방출속도 분석

무인헬기 부착장치 기준은 무인헬리콥터의 비행속도 20~25 km/h, 비행고도는 무인헬리콥터의 메인 로터 세류에 의해 부착성과 침투성을 최대화 하면서도 안전한 비행을 유지할 수 있는 높이인 3 m로 정하였다(Kang et al., 2010). 무인헬기를 이용한 농약살포 시의 작업폭과 동일하게 무인헬기를 이용한 비직파의 살포 작업폭을 8m로 설정하였다. 원심식 살포장치는 무인헬기의 좌우 2 조를 부착되어야 하므로 1조의 살포폭은 4 m이다. Lee et al.(2009) 등은 중첩 파종 작업이 1회 파종작업보다 살포균등도가 더 좋아진다고 하였다. 따라서 살포균등도를 높이려면 끝부분에서는 20%의 중첩시키는 것으로 정하여 1조의 살포장치의 최대도달거리는 4.8 m로 하였다. Blade에 종자가 낙하 위치 중심에서 2/3지점에 낙하하는 것으로 정하였고, 범씨 살포 높이 h는 무인헬기 비행고도인 3 m로 정하였다. 무인헬기 본체(REMO-H, 성우엔지니어링, Korea)의 폭이 66 cm 이므로 안전성을 고려하면 살포장치는 본체 폭보다 작아야 하므로 살포장치 폭은 66 cm 이하여야 한다. 따라서 회전원판 사이의 간격 및 부착대등의 설치를 고려하면 회전원판의 최대 직경 15 cm를 초과 할 수가 없으므로, 회전원판의 직경은 15 cm로 정하였다. 원심식 살포장치의 회전원판의 회전속도를 결정하기 위하여 식(1)에서 (4)를 적용하였다. 그 결과 원판의 회전속도는 1,200 rpm이 적절한 것으로 분석되었다.

$$x = v \sqrt{(2 \times h) / g} \quad (1)$$

$$v = \frac{x}{\sqrt{(2 \times h) / g}} \quad (2)$$

where, ω = Angular velocity (ω)
 v = Linear velocity(m/s)
 g = Acceleration gravity(m/s²)
 h = Flight altitude(3 m)

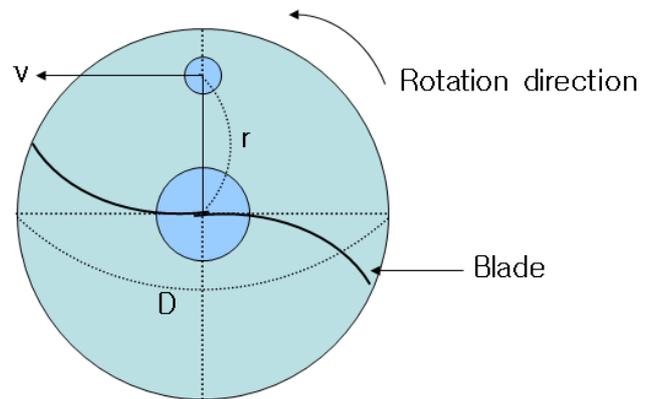


Figure 1. Analysis of the particle speed at the moment of throwing by spinner blade.

x = Traveling distance of particle(4.8 m)
 r = Distance from center to drop position
 $(D \times 1/2 \times 2/3)$
 D = Diameter of spinner(0.15 m)

$$\omega = v/r \quad (3)$$

$$\omega = \frac{x}{r \sqrt{(2 \times h) / g}} \quad (4)$$

\therefore Rotational speed : 1,200 rpm

나. 범씨 살포장치 설계 및 제작

1) 원심식 살포장치 제작

입제의 살포방식에는 낙하식, 원심식, 송풍식 등이 있다. 원심식은 넓은 범위를 살포할 수 있으나 중첩하여 살포해야만 균등한 살포가 가능하지만, 포장 내에 균등한 살포를 위해서는 포장 외에 불필요한 지역에도 살포되는 문제점이 있다(Ryu et al., 2006). 원심식 살포장치에는 종자를 비산시켜 넓게 전면 살포하는 작업기로 살포장치는 회전날개식(spinner type)과 통요동식(spout type)이 있다(Lee and Choi 2009). 무인헬기용 파종장치를 개발하기 위하여 파종방식은 구조가 간단하고 가볍게 제작이 가능한 원심식(스피너 방식)으로 결정하였다. 회전원판 회전속도조절은 전원공급장치(KPS-24, 코리아스위칭, Korea)를 이용하여 원판 구동 모터의 입력전압을 9~14 V까지 조절하면서 구동모터의 회전수를 회전속도계(EE-1N, KONEX, Japan)로 측정하였다. 파종 시험 장치를 그림 2와 표 1과 같은 사양의 상부구동식으로 제작하였다. 원심식 살포기에 사용되는 Blade의 종류는 직선형, 곡선형이 있다. 그리고 원하지 않는 방향으로 살포되는 것을 방지하기 위해 날개를 부착한 직선날개형 및 곡선날개형 등 그림 4와 같이 4종류로 제작하였다. 각부분을 조합하여 그림 4와 같은 파종시험장치 제작하였다.

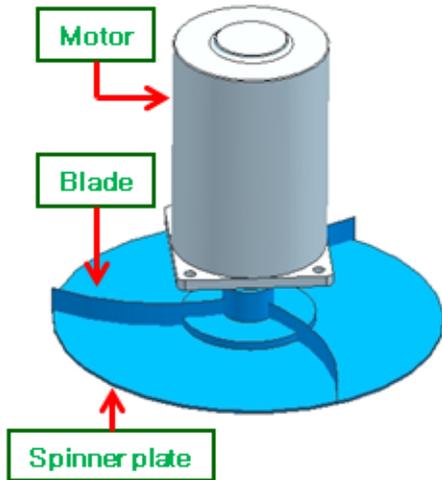


Figure 2. Spinner driving device.

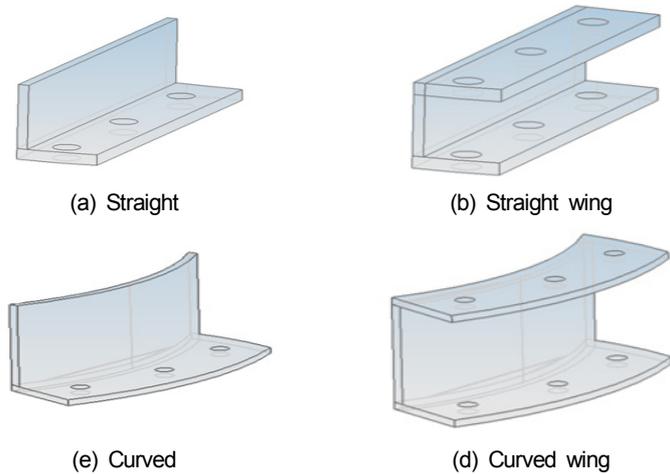


Figure 3. Blades shape.

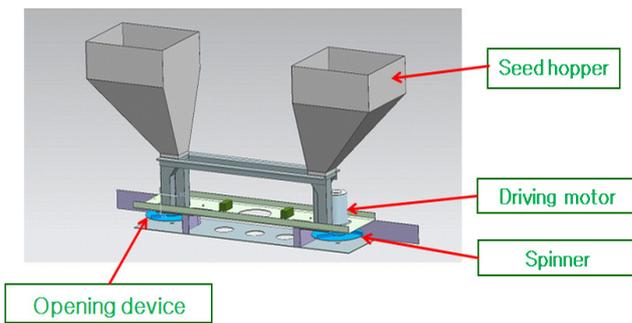


Figure 4. Rice seeder testing device.

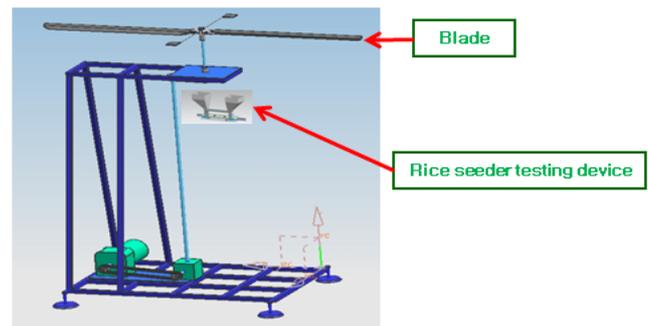


Figure 6. Application characteristics test equipment by downwash of main rotor.

Table 1. Specification of the spinner driving device

Motor			Diameter of blad (Ø, m)	Blade numbers (ea.)
Power required (W)	Input voltage (V)	Rotational speed (rpm)		
10	DC 12	1,000~1,800	0.15	2, 3, 4

Table 2. Specifications of application characteristics test equipment

Dimension (H×W×L, m)	Rotor diameter (m)	Rotor RPM (rpm)	Motor Power (kW)
3.40×1.00×2.00	3.1	900	7.5

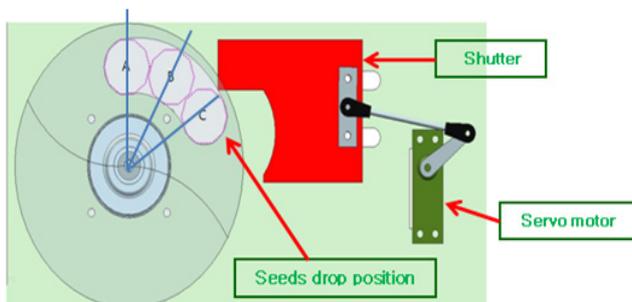


Figure 5. Apparatus for the measurement of seeds drop position.

2) 배종판 제작

Lee(1985)는 원심식 살포장치의 Blade 각도별 살포 특성은

Forward 일때가 Straight 및 Backward 일 때 보다 균일살포 된다고 하였다. 따라서 법씨가 회전원판에 떨어지는 배종 위치를 결정하기 위하여 그림 5와 같이 살포위치를 Forward 각도로 낙하위치 A(0°), 낙하위치 B(-30°), 낙하위치 C(-60°)로 조절할 수 있는 시험장치를 제작하였다.

다. 파종균일도 시험장치 제작

무인헬기용 파종장치의 파종 균일도 분석을 위하여 무인헬기에 사용되는 동일한 규격인 3.1 m의 로터로 그림 6 및 표 2와 같이 송풍시험장치를 제작하였다(Kang et al., 2010). 송풍용 로터의 구동은 회전수 조절이 가능한 조절형 모터(Y132M, Dongyang, Korea)를 사용하였고, 모터의 회전수 조절은 안전을 위하여 유선으로 연결된 원격조절기를 이용하였다. 살포장

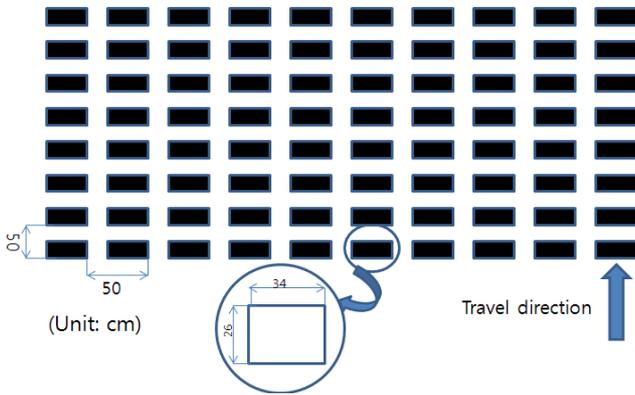


Figure 7. Allocation of collection pan matrix in test.

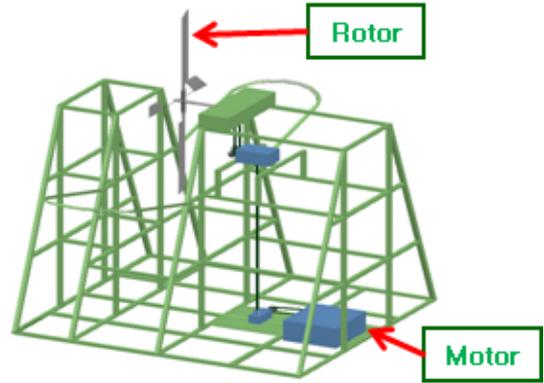


Figure 8. Wind affects the external test equipment.

치를 본 송풍시험장치의 송풍팬 중심 아래 부분에 지면으로부터 3 m 지점에 부착하였다.

라. 시험방법

1) 배종위치 분석 시험방법

최적의 배종위치를 결정 시험은 Blade 별로 시험 할 경우 시험변수가 너무 많아 살포균일도가 우수할 것으로 예측되는 곡선날개형의 Blade 2 개형을 이용하였다. 그 결과 이론분석에 의한 회전원판 최적의 회전속도인 1,200 rpm 으로 시험하여 최적의 배종 위치를 결정하였다.

2) 살포성능 분석

시험은 Blade 형상(직선형, 곡선형, 직선날개형, 곡선날개형) 별, Blade 개수(2,3,4 개) 별, 회전원판의 회전수(1,000, 1,200, 1,400 rpm) 별로 실시하였다. 시험에 이용된 범시는 호품벼(천립중 21 g)로 살포량은 건담살포 기준인 4 kg/10a 기준으로 진행방향의 왼쪽 한 방향만 살포하였다. 각 시험에 있어서 1 회 살포만으로는 살포량이 적어 무게 측정에 미소한 양으로 오차발생이 예상되어 3 회 반복 살포를 하였다. 수집통의 배치는 그림 7 과 같이 50 cm 간격으로 80 개를 배치하였다. 수집통은 플라스틱 용기로서 크기가 가로, 세로, 높이가 각각 34 × 26 × 20 cm 였다. 살포작업이 끝나고 나면 각 수집통에 살포된 범씨를 수집하여 정밀저울(SBA51, SCALTEC, Germany)로 각각의 무게를 측정하였다(Lee et al., 2009).

3) 외부바람 영향분석실험

Blade 형상 및 개수, 원판의 회전수를 결정한 후 외부바람의 영향(한계풍속)을 분석하기 위하여 측면 송풍시험장치를 그림 8 및 표 3과 같이 제작하였다. 이 시험장치의 송풍팬은 무인헬기의 메인로터를 이용하였고, 풍속조절을 위하여 7.5 kW, VS 모터를 부착하였고, 동력전달은 V벨트와 회전축을 이용하였다. 송풍팬의 중심축과 살포장치의 높이를 일치시키고 살포된 범씨



Figure 9. Wind affects the external test.

Table 3. Specification of the wind affects the external test equipment

Except rotor (H×W×L, m)	Rotor diameter (m)	Wind speed (m/sec)	Motor	
			Power (kW)	rpm
3.05 × 2.94 × 2.00	3.03	0~10 (Regulating type)	7.5	Maximum 1,800

가 송풍장치에 간섭을 피할 수 있도록 송풍장치와 살포장치를 8 m 거리에 정지시킨 후 풍속을 2, 3, 4 m/sec로 변화시키면서 그림 9와 같이 수집통을 배치하여, 범씨의 살포균일도와 살포 특성변화를 분석하였다. 풍속 측정은 최대 50 m/s까지 측정이 가능하고 오차가 0.1 m/s 이내인 풍속계(TESTO 452, TESTO, Germany)를 이용하여 송풍장치와 살포장치의 중간지점인 송풍 팬으로부터 4 m 지점에서 측정하여 대표 풍속으로 하였다.

결과 및 고찰

가. 파종균일도 분석실험

1) 배종위치별 파종균일도

범씨가 회전원판에 떨어지는 최적 배종 위치를 분석하기 위

해 곡선날개형 Blade 2개, 1,200 rpm으로 시험을 하였다. 그 결과 그림 5의 A와 B의 위치에 투입하면 약 4 m 지점에 집중 낙하되어 CV계수가 63, 31%로 균일도가 낮은 것으로 나타났다. 낙하위치 C(-60°) 위치로 범씨가 투입될 때 CV계수가 11%로 균일도가 가장 우수하여 범씨 배종은 낙하위치 C(-60°)로 결정하였다.

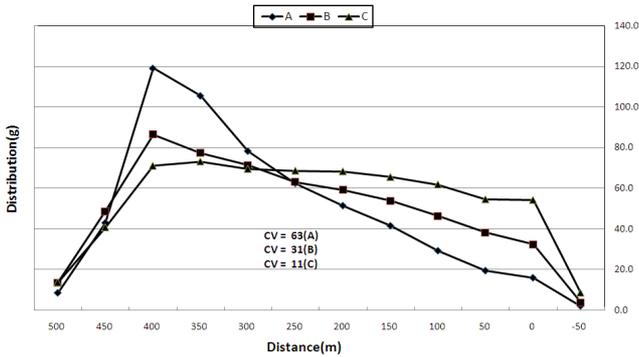


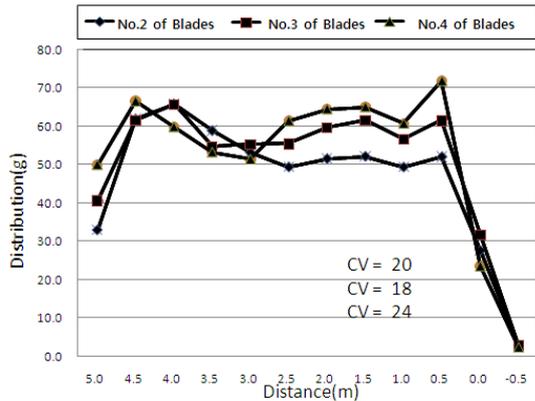
Figure 10. Seed metering position's spraying degree of uniformity.

2) Blade 형상별 살포균일도

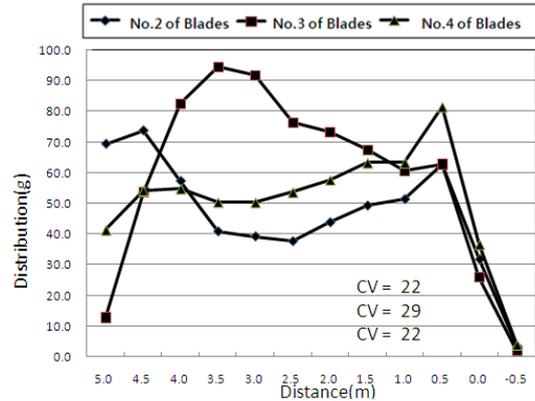
Blade의 형상별 살포균일도를 분석하기 위해 Blade의 개수를 2개, 3개, 4개로 회전원판의 회전수는 1,200 rpm으로 시험한 결과 그림 11의 d와 같이 곡선날개형 Blade 2개 일 때 CV계수가 4.2%로 살포 균일도가 가장 우수한 것으로 나타났다. 직선형, 직선날개형(그림 11의 a, b), 곡선형 및 곡선날개형(그림 11의 c, d)을 비교하였을 때 직선형은 범씨와 접촉되는 부분이 점과 점의 형태이므로 살포방향이 불균일한 것으로 판단되었다. 따라서 Blade가 3개 이상일 경우에는 날개 부분에 범씨가 떨어지는 비율이 높아 살포 균일도가 낮은 것으로 분석되었다.

3) 회전원판의 최적 회전속도 분석

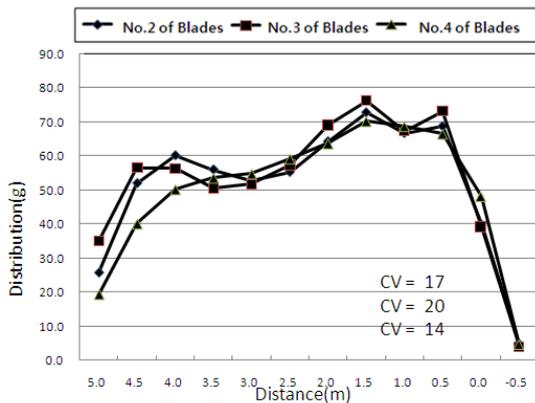
회전원판의 최적 회전속도를 구명하기 위해 곡선날개형 Blade 2개로 회전원판의 회전속도는 이론분석 결과 얻어진 1,200 rpm를 전후인, 각각 1,000, 1,200, 1,400 rpm로 시험하였다. 그 결과 그림 12의 d와 같이 1,200 rpm 때 CV계수 4.2%로 살포 균일도가 가장 우수한 것으로 나타났다. 이는 이론분석과 일치하는 결과를 얻을 수 있었다.



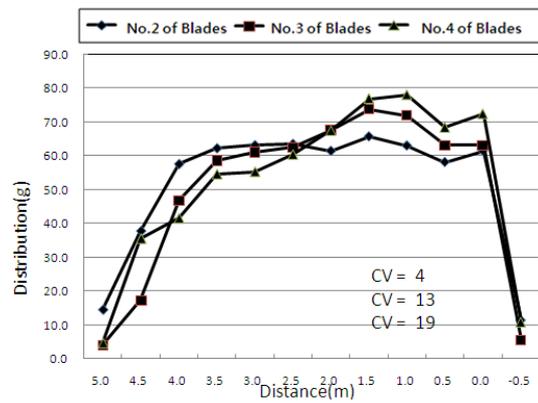
(a) Linear type 1,200 RPM



(b) Linear Wing type 1,200 RPM



(c) Curved type 1,200 RPM



(d) Curved Wing type 1,200 RPM

Figure 11. Spinner shape type's spraying degree of uniformity.

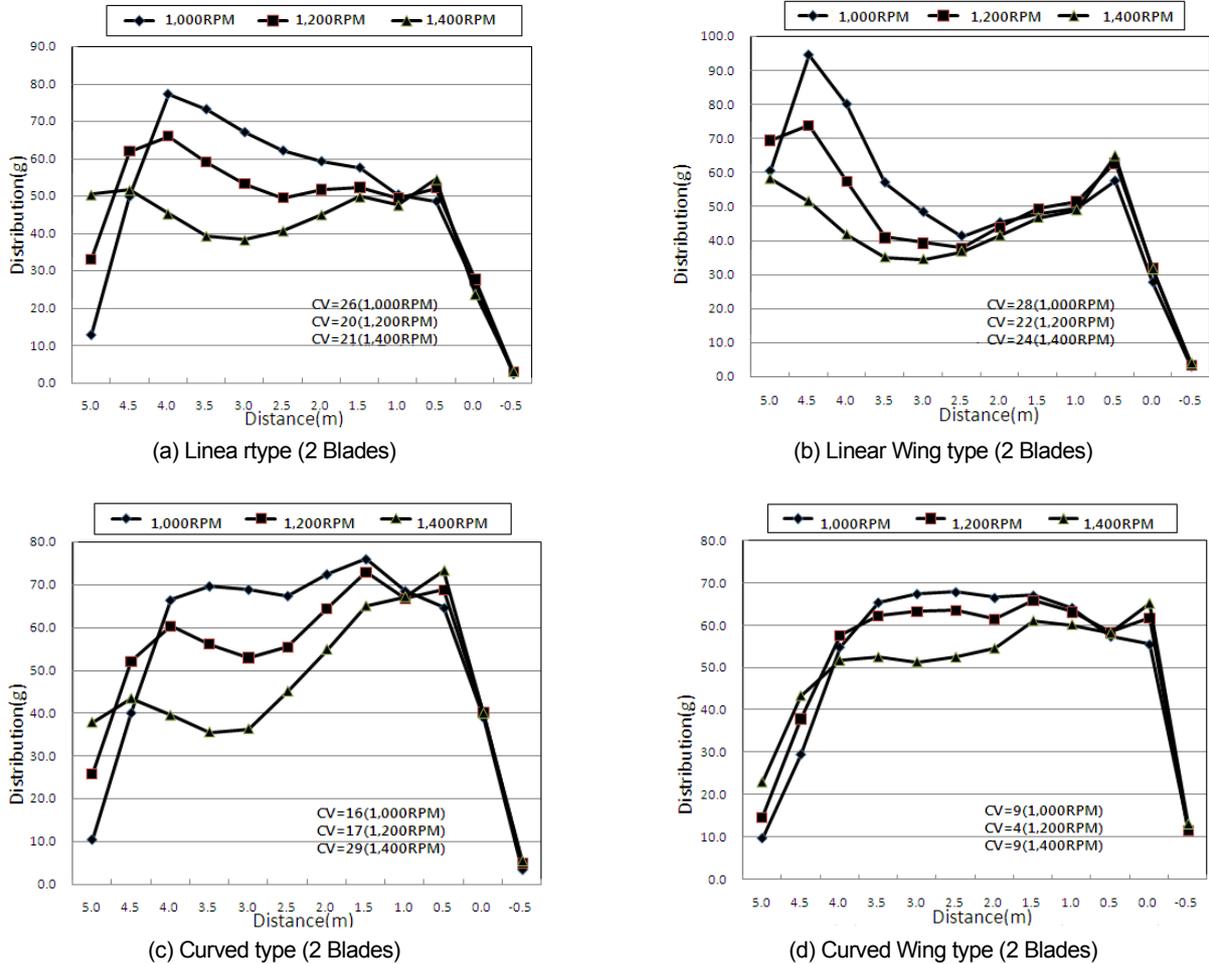


Figure 12. Spinner RPM type's degree of uniformity.

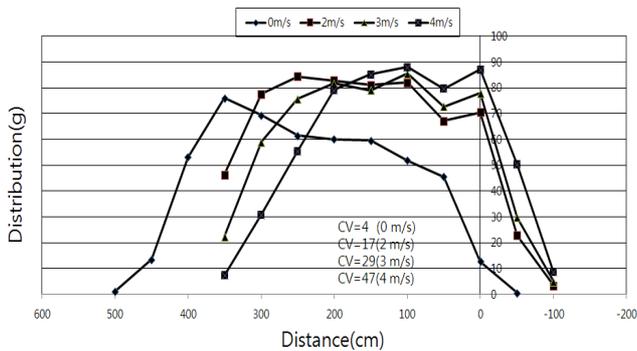


Figure 13. Outside wind speed sowing degree of uniformity.

나. 외부바람 영향분석실험

외부 바람에 의한 파종작업한계 풍속을 구명시험 결과 그림 13과 같이 3 m/s 이상일 경우 CV계수가 29% 이상으로 살포균일도가 급격히 낮아지고, 몰림 현상이 발생하는 것으로 나타나 풍속 3 m/s 이상에서는 무인헬기로 범씨 살포작업이 불가능한 것으로 판단되었다.

요약 및 결론

본 연구는 원격조종방식의 농용 무인헬기 부착용 벼 직파장치를 개발하기 위하여 수행되었으며, 원심식 살포시험 장치를 제작하여 균일살포에 미치는 주요인자들인 Blade의 형상과 개수, 회전원판의 회전수 및 범씨의 배종위치를 구명하였다. 또한 이 장치로 작업이 가능한 외부 바람의 한계 풍속을 구명하였다. 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 무인헬기용 파종장치를 개발하기 위하여 Blade 형상을 직선형과 곡선형 및 날개 유무별 4종류, 회전원판을 직경 15 cm, 배종위치를 3지점으로 제작하였고, Blade의 개수와 회전원판의 회전수 및 범씨 배종 위치별 최적의 상태를 평가하였다.
- (2) Blade 형상별로 분석한 결과 살포균일도는 곡선형이 직선형보다 우수하였고, 날개가 있는 경우가 더 우수였으며, 회전원판의 회전수는 이론분석 결과와 동일하게 1,200 rpm에서 살포균일도가 우수한 것으로 평가되었다.

- (3) 시험결과 곡선날개형 Blade 2개, 범씨 낙하 위치 C인 -60°에서 1,200 rpm으로 작동할 경우 살포 균일도가 변이계수 4.2%로 가장 높은 것으로 판단되었다.
- (4) 풍속 시험결과 풍속이 3 m/s 이상이 되면 살포 균일도가 급격히 저하되어 3 m/s 이상 바람이 불 때에는 적합하지 않은 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ006660)의 지원에 의해 이루어진 것임

References

- 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 of Agricultural Machinery 22(2):127-136. (In Korean).
- Fulton, J. P., S. A. Shearer, G. Chabra and S. F. Higgins. 2001. Performance assessment and model development of a variable rate, spinner-disk fertilizer applicator. Transaction of the ASAE 44(5):1017-1018.
- Kang, T. G. 2011 Development of Agricultural Utilization Technology for Unmanned Helicopter Experiment and Research Report. Rural Development Administration (RDA), Suwon. (In Korean)
- Kang, T. G., C. S. Lee. 2010. Development of Aerial Application System Attachable to Unmanned Helicopter (I). Journal of Biosystems Eng. 35(4):215-223. (In Korean)
- Koo, Y. M and T. S. Soek. 2006b. Aerial application using a small RF controlled helicopter (V) -Tail rotor system-. Journal of Biosystems Engineering. 32(4):230-236. (In Korean)
- Lee, C. K., Y. Choi. 2009. Development of a Rapeseed Seeder Attached to Tractors. Journal of Biosystems Eng. 34(3):147-154
- Lee, C. S., 1985, Optimum Design of Centrifugal Broadcaster. Sung Kyun Kwan University, Suwon. (In Korea)
- Ryu, K. H., Y. J. Kim, S. I. Choi and J. Y. Rhee. 2006. Development of variable rate granule applicator for environment-friendly precision agriculture (I)-concept design of variable rate pneumatic granule applicator and manufacture of prototype-. Journal of Biosystems Engineering 31(4):305-314. (In Korean)
- Soek, T. S., Y. M. Koo, C. S. Lee, S. K. Shin, T. G. Kang and S. H. Kim. 2006. Aerial application using a small RF controlled helicopter (II) -development of power unit- Journal of Biosystems Eng. 31(2):102-107. (In Korean)