바이오시스템공학 (*J. of Biosystems Eng.*)
Vol. 32, No. 6, pp. 383~388 (2007)

친환경 정밀농업을 위한 입제 변량살포기 개발(IV)
-살포성능 평가와 살포율에 따른 분두 조절 방법-

김영주 이중용

Development of a Variable Rate Granule Applicator for Environment-Friendly Precision Agriculture (IV)
- Evaluation of Application Performance and Adjustment Method of Blow Head According to Discharging Rate -

Y. J. Kim J. Y. Rhee

Abstract

In precision farming, proper calibration and operation of a variable rate machine are critical to reduce input of agrochemicals and to ensure productivity and quality of agricultural products. As an effort to introduce precision farming to rice production in Korea, a pneumatic granular applicator was developed. This investigation intended to evaluate the application performance such as application accuracy, application uniformity and to suggest how to adjust the blow-heads to get uniform application pattern, and to suggest a practical way of adjustment of the blow-heads for uniform application. Tests to evaluate the application performance were conducted. The application uniformities (CV) in both transverse direction and longitudinal direction were less than 15% and application accuracy was greater than 81%. A simple method for adjusting the inserting length of blow-heads was suggested.

Keywords : Variable rate applicator, Application uniformity, Application accuracy, Blow head, Precision agriculture

1. 서 론

변량(제어)작업은 작물생육변이와 토양 및 작업조건 등에 대응한 자재(비료, 농약, 종자 등)의 투입량을 변화시키기도 하고 경심과 파종 깊이 등의 작업 상태를 바꾸는 작업을 말한다. 농업선진국인 미국에서 변량작업이 이루어지고 있는 것은 시비, 방제, 관개 작업이며 이 가운데 시비가 가장 일반적이다. 변량작업에서는 작업자가 수량지도와 토양지도 등을 보면서 수동으로 자재의 투입량을 변경하면서 작업하는 수동 작업변량과 기계가 자동적으로 자재투입량을 등을 변화시키는 자동 변량작업이 있다. 자동 변량작업에서는 변량처방 작업지도(전자지도)를 기초로 변량작업을 수행하는 지도기반과 작업기에 부착된 센서로 토양 및 작물의 상태를 측정하면서 동시공정으로 변량작업을 수행하는 센서기반이 있다(Lee 등, 2005).

변량시비는 정밀농업의 중요한 부분으로서, 이제까지 농촌에서 비료살포는 인력살포와 원심식 살포기나 동력살분무기를 이용한 기계 시비를 수행하였기 때문에 변량시비를 하기 위해서 우리 설정에 적합한 변량살포기의 개발이 시도되었고 개발단계에서 여러 편의 논문이 발표되었다. 제 1보에서는 입제 변량살포기의 개념설계에 따른 시작기 제작(Ryu 등, 2006)에 대하여, 제 2보에서는 송풍식 붐형 분두의 개발과 이를 이용한 살포시스템(Kim 등, 2006a)에 대하여 보고한 바 있다.

This study was conducted by the research fund supported by Agricultural R&D promotion center (ARPC). The article was submitted for publication in October 2007, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in December 2007. The authors are Young Joo Kim, KSAM member, Post-Doctoral Researcher, Research Institute for Agriculture and Life sciences, Seoul National University, and Joong Yong Rhee, KSAM member, Professor, Seoul National University, Vice Director, Research Institute for Agriculture and Life Sciences. Corresponding author: J. Y. Rhee, Professor, Department of Biosystems & Biomaterials Science and Engineering, Seoul National University, 151-921, Seoul, Korea; E-mail: <jyr@snu.ac.kr>.

살포기 성능평가 방법은 이미 ASAE S341.3(ASAE, 2004)에서 표준방법을 제안하였고 ISO-5690/1(ISO, 1985)에서도 제안한 바 있으나 성능에 대한 만족과 불만족을 평가하는 기준은 없는 형편이다. 흔히 살포균등도는 변이계수(coefficient of variation, CV)로 산정하며 평가하고 있다. Molin 등(2002)은 살포폭과 입제살포량을 다르게 하면서 원심식 살포기로 비료를 살포하여 균등성을 분석하였는데, 중첩 없이 살포폭은 각각 18 m, 21 m, 24 m로 하였고 살포량은 50 kg/ha, 150 kg/ha, 250 kg/ha이었다. 실험결과 변이계수는 10~15%의 분포를 보였다. 그러나 살포량을 제어하면서 살포할 때의 효과적인 살포폭은 24 m, 이때의 변이계수는 15%였다. Fulton 등(2005)은 여러 종류의 비료살포기의 살포량에 따라 살포유형을 분석한 연구에서 변이계수 20%를 기준으로 삼아 그 보다 작은 경우를 우수한 것으로, 그 보다 큰 것을 불량한 것으로 평가한 바 있다. 제 3보(Kim 등, 2006b)에서 공기이송시스템의 능력 분석과 살포균등도 향상에 대해서 보고하였다. 개선된 공기이송시스템에서 시간당 입제 살포량의 범위(27.3~417.9 g/s)를 4개의 구간으로 나누어 변이계수가 15%이하인 살포균등도(9.4~14.6%)를 가진 수집판 삽입길이 조합을 구하였다고 제시하였다.

변량살포기를 실제로 논에서 사용하기 위해서는 최적의 살포성능을 나타내는 상태로 변량살포기를 보정하고 조건에 따라 조정하여 작동시킬 필요가 있다. 본 연구의 목적은 개발된 변량살포기를 농민이 사용하기 편하도록 조절하는 방법을 개발하기 위한 것으로 이를 위하여 여러 조건에서 살포균등도와 살포정확도 등 살포기의 성능을 실험하였다.

2. 재료 및 방법

실제 포장에서 개발된 공시기의 살포성능을 평가하기 위하여 본 연구에서는 실험실에서 최적의 살포성능을 나타내는 상태로 붐의 섹션별로 분두의 수집판 삽입길이를 조절하고 다양한 실험조건에서 살포성능을 시험하고 평가하였다(Kim 등, 2006b). 그림 1은 시험에 사용한 공시기이며, 공시비료는 제 3보에 보고된 것과 같다. 작업자에게 가장 편리한 기계는 분두를 조정할 필요가 없어야 하지만 앞선 연구에 의하면 살포율에 따라서 4단계로 구분할 필요가 있었다. 표 1은 실내에서 붐의 살포높이를 80 cm로 고정한 상태에서 변이계수가 15%이하를 얻을 수 있는 분두의 수집판 삽입길이 조합을 나타낸 것이다(Kim 등, 2006b).

입제 변량살포기의 살포성능 분석을 위해서 포장에서 살포균등도와 살포정확도를 분석하였다. 살포균등도 실험은 입제살포기를 살포높이 80 cm에서 작업속도와 살포율에 따라 변

Fig. 1 Overview of the variable rate granule applicator used in the test.

Table 1 Optimal combinations of inserting lengths according to application rates

Inserting length of collecting plate (mm) (No. of blow head: 1-2-3)	Application rate range (g/s)	CV (%)
20-35-30	15~55	9.5~12.7
25-30-30	55~220	9.4~13.7
25-25-30	220~310	11.5~14.6
40-20-30	310~420	12.9~13.6

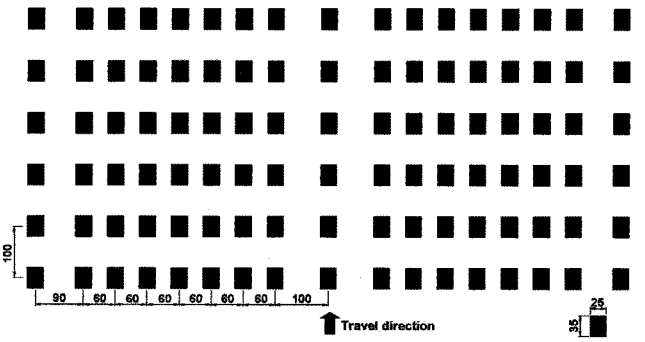


Fig. 2 Allocation of collection pan matrix for field test (unit: cm).

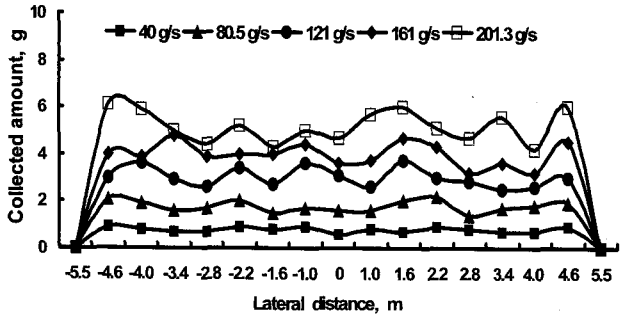
이계수로 평가하고 살포정확도는 단위면적당(10 m × 10 m)에 필요한 만큼의 비료가 살포되는지를 분석하였다. 이를 위해 우선 분시율, 표준시비량, 비료의 성분비율과 작업속도 0.33 m/s에 따라 살포율 40, 80.5, 121, 161, 201.3 g/s의 5단계, 작업속도 0.66 m/s에서 살포율 80.5, 121, 161, 201.3, 241.6 g/s로 살포하여 60 cm 간격의 수집통에 수집된 양을 측정하여 살포균등도와 살포정확도를 분석하였다. 또한 입제 변량살포기의 진행방향의 대한 살포균등도도 분석하였다. 그림 2는 입제살포기의 종·횡방향의 살포균등도를 분석하고자 수집통(pan)을 배치한 모습으로 살포기가 지나가는 중앙부분을 제외하고 살포폭 방향으로는 60 cm 간격과 기계 진행방향으로 100 cm 간격으로 6열의 수집통을 배치하였다. 수집통의

크기는 가로, 세로, 높이가 각각 35×25×20 cm이었으며, 살포 시험은 3반복으로 ASAE S341.3의 절차에 따라 수행하였다.

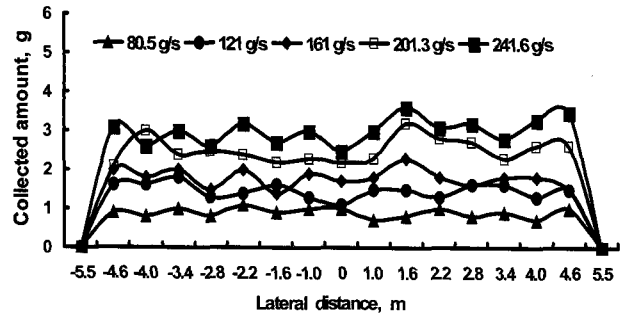
3. 결과 및 고찰

가. 살포균등도 분석

그림 3은 작업속도 0.33 m/s, 0.66 m/s에서 살포율 40~201.3 g/s, 80.5~241.6 g/s에서 신세대 비료를 살포하였을 때 4개의 붐섹션의 살포형을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있



(a) forwarding speed: 0.33 m/s



(b) forwarding speed: 0.66 m/s

Fig. 3 Application patterns by application rate.

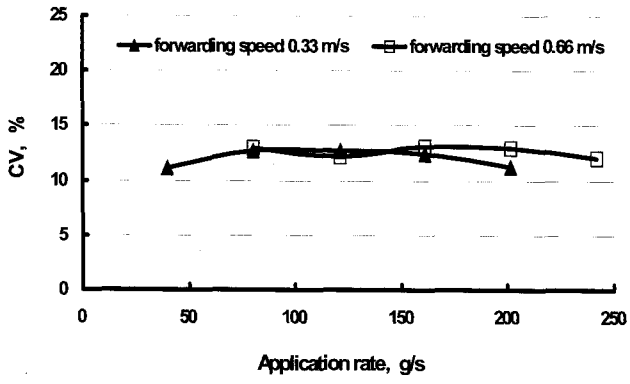
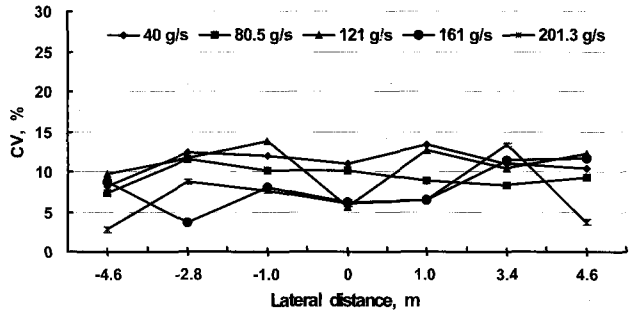


Fig. 4 CV values along lateral direction by application rate.

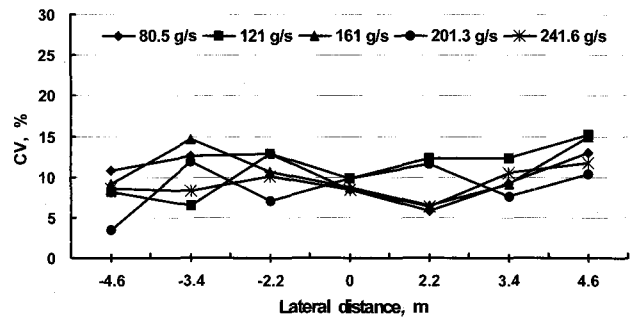
듯이 10 m의 유효 살포폭에 대해서 균등하게 살포됨을 볼 수 있는데, 그림 4는 작업속도와 살포율에 따라 살포균등도인 변이계수를 나타내는 것으로 작업속도 0.33 m/s일 때 변이계수는 11.2~12.8%였고, 0.66 m/s 일 때는 12.1~13.1%로 나타났다. 작업속도와 살포율에 대해서 변이계수가 모두 15%이하의 살포균등도가 나타남을 알 수 있었다.

그림 5는 입제 변량살포기 진행방향의 살포균등도를 나타내는 것으로 배치한 수집통에 따라 달랐으나 살포율에 따라 평균적인 변이계수가 10%이내의 값을 보였다. 각 살포율에서 수집통 배열 위치에 따라 변이계수는 작업속도 0.33 m/s일 때 2.9~13.8%, 0.66 m/s에서는 변이계수가 3.4~14.7%였다.

Surfer(Golden software co., ver 8.0)는 contouring map및 3D surface plotting 프로그램으로 이 소프트웨어를 사용하여 수집통에 수집된 비료량을 바탕으로 바닥 내의 살포 형태를 알아보았다. 그림 6은 작업속도와 살포율에 대해서 11 m × 5 m의 면적의 포장에 살포되는 형태를 나타내었다. 그림 6-(a)와 (b)는 작업속도 0.33 m/s에서 살포율 40, 201.3 g/s의 살포 형태를 모습이며, (c)와 (d)는 0.66 m/s 작업속도에서 80.5, 241.6 g/s에서의 살포 형태를 예측한 모습이다. Surfer 프로그램의 분석을 통한 변이계수는 13%이하의 살포균등도를 보였다.

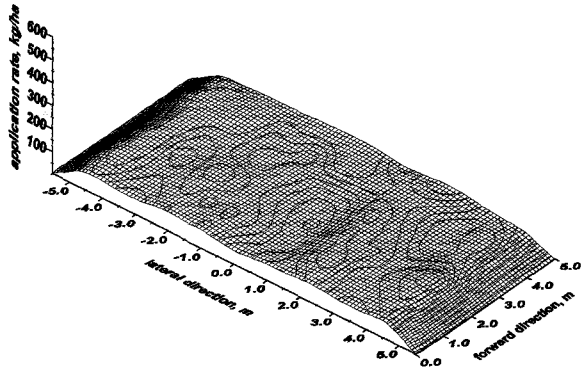


(a) forwarding speed 0.33 m/s

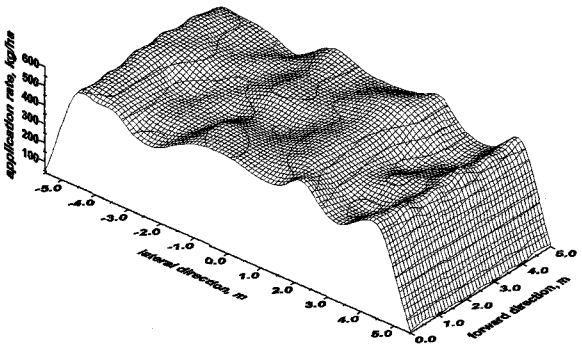


(b) forwarding speed 0.66 m/s

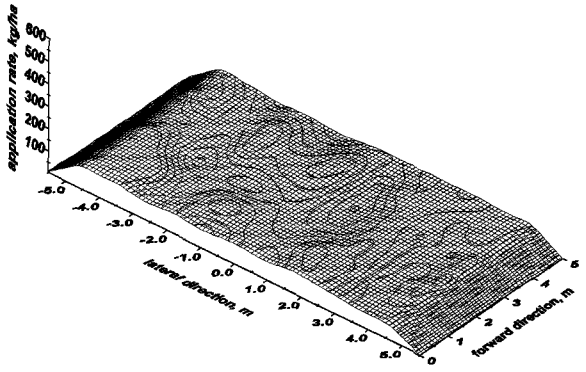
Fig. 5 CV values along forwarding direction by application rate.



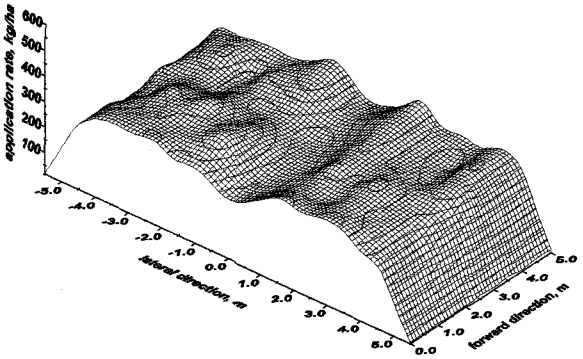
(a) 40 g/s of application rate, 0.33 m/s of forwarding speed



(b) 201.3 g/s of application rate, 0.33 m/s of forwarding speed



(c) 80.5 g/s of application rate, 0.66 m/s of forwarding speed

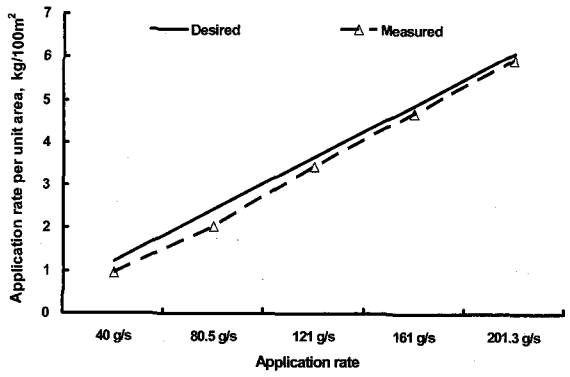


(d) 241.6 g/s of application rate, 0.66 m/s of forwarding speed

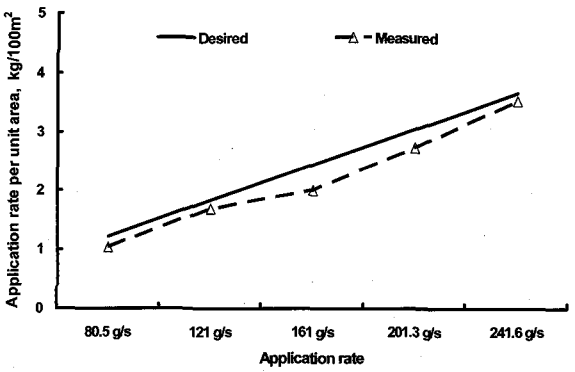
Fig. 6 Application distribution drawn by Surfer 3D using the collected data from the pan matrix.

나. 살포정확도 분석

그림 7은 작업속도와 살포율별로 단위면적(10 m × 10 m)에 목표 살포량과 살포 실험에서 수집통에 수집된 평균 살포량을 이용하여 살포정확도를 나타냈다. 살포정확도는 목표 살포량에 대한 수집통에 수집된 양의 비율(%)로서, 단위면적 100 m^2에 살포된 양으로 환산하여 비교하였다. 그림 7-(a)는 작업속도 0.33 m/s에서 살포율을 40~201.3 g/s에 대해서 목표 살포량과 실측한 살포량과의 비율을 비교 분석한 결과를 나타냈다. 단위면적 100 m^2에 대해서 작업속도 0.33 m/s에서 살포율 40 g/s에서 실측한 살포량은 목표 살포량에 대해 81.9%, 살포율 201.3 g/s에서는 97.4%였다. 살포율이 증가할수록 목표 살포량에 더 가까워지는 것을 알 수 있었다. 그림 7-(b)는 작업속도 0.66 m/s에서 살포율 80.5 g/s에서 실측한 살포량은 목표 살포량에 대해 84.3%, 살포율 241.6 g/s에서는 96.5%였다.



(a) working speed: 0.33 m/s



(b) working speed: 0.66 m/s

Fig. 7 Comparison of measured with desired application rate per unit area.

Table 2 Recommended Application rate and forwarding velocity for various farm works

Farm work	Recommended application rate (kg/10a)	Recommended forwarding velocity (km/h)
Basal fertilizer application after transplanting	5.5	0.2~0.4
Basal fertilizer application for soil incorporation	5.5	0.5~1.0
Top dressing of fertilizer	2.75	0.2~0.4
Top dressing of herbicide	3	0.2~0.4

Table 3 Chart for determining discharge rate (g/s) from the recommended application rate (kg/10a) at the forwarding velocities (m/s)

forwarding speed(m/s)		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
recommended application rate(kg/10a)	11	100	150	200	250	300	350	400
	12	109.1	163.6	218.2	272.7	327.3	381.8	436.4
	13	118.2	177.3	236.4	295.5	354.5	413.6	472.7

Table 4 Optimum combination of inserting lengths according to discharge rate

Inserting length of collecting plate (mm) (No. of blow head: 1-2-3)	Type-I	Type-II	Type-III	Type-IV
	20-35-30	25-30-30	25-25-30	40-20-30
Discharge rate range (g/s)	15~55	55~220	220~310	310~420

라. 작업별 분두 조절 방법

비료살포 중 기비살포는 이앙 직후에 행하여지므로 주행에 어려움이 적으나 벼가 분얼하는 시기나 이삭을 맺는 시기의 추비와 수비는 벼가 무성해지기 때문에 작업속도가 느리다. 또한 우리나라에서 흔히 행하지는 않지만 기비를 토양과 혼합하는 경우에는 마른 논에서 비교적 고속으로 작업할 수 있다. 표 2는 주요 농작업별 면적당 살포율과 적당한 작업속도를 정리한 것이다.

작업현장에서 면적당 살포량과 작업속도에 따라 적정한 분두 조절을 하기 어려우므로 표 3과 4를 이용하여 간단히 정하는 방법을 정리하였다. 일반적으로 하나의 포장 내에 비료의 조절범위는 권장량의 1/2배에서 2배 범위이므로 권장량과 작업속도가 정해지면 권장량을 2배 한 것과 1/2배 한 것 사이에서 분두 조절 방식을 찾아야 한다. 예를 들어 일반답에서 11 kg/10a이 권장되고 농업인이 신세대(N : P : K = 22 : 12 : 12) 비료를 기비로 살포한다면, 표 3에서 적정 작업속도가 02~0.4 m/s이므로 0.2 m/s의 작업속도로 정한다. 표 3에서 권장량 11 kg/10a와 작업속도 0.2 m/s에 해당되는 살포량은 100 g/s임을 알 수 있다. 이때 기비의 분시율이 50%라고 한다면 살포량은 100 g/s의 50%인 50 g/s로 구해지며 이 값의 1/2배와 2배에 해당되는 살포량은 25~100 g/s가 된다. 표 4에 의하면 이 살포량에 해당되는 분두 조절은 25-50 g/s은 제 I 형, 50~100 g/s는 제 II형이 되는데 사용 범위가 제 II형이 더 많으므로 제 II형을 선택하여 각 분두의 수집판 삽입길이를 조절하면 된다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 개발한 입제 변량살포기를 농업인들이 최적의 살포성능을 가지도록 조절하는 간단한 방법을 제시하기 위하여 실제 포장에서 살포율과 작업속도에 따른 살포균등도와 살포정확도 등 살포성능을 분석하였다. 포장실험에서 분두는 실험조건에서 제시된 살포율에 적합하도록 각 분두의 수집판을 조절했으며 포장살포조건에서 실험하였다.

(1) 작업속도와 살포율에 따라 변이계수를 구한 결과, 작업속도 0.33 m/s일 때 변이계수는 11.2~12.8%였고, 0.66 m/s일 때는 12.1~13.1%가 나타났다. 작업기 진행방향의 살포균등도를 분석한 결과, 배치한 수집통에 따라 달랐으나 살포율에 따라 평균적인 변이계수가 10% 이내의 값을 보였다. 따라서 변이계수가 15% 미만이 되도록 실험실에서 시험하여 제시한 수집판 조절방식은 포장에서도 적용할 수 있음을 나타내었다.

(2) Surfer 3D 프로그램을 사용하여 살포율에 대해서 11 m × 5 m의 면적에 살포되는 형태를 보았으며 목표 살포량에 대한 실측한 살포량의 비율 즉 살포정확도는 작업속도 0.33 m/s에서 81.9~97.4%, 0.66 m/s에서는 84.3~96.5%를 나타내었다.

(3) 실험실에서 시험하여 제시한 분두의 수집판 조절방식은 포장에서도 적용할 수 있음이 증명되었기에 이에 근거하여 농업인이 면적당 처방량과 작업속도를 기준으로 간단하게 살포율에 따른 분두의 수집판 삽입길이를 조절하는 방법을 정리하였다.

참 고 문 헌

1. ASAE Standards, 47th Ed. 2004. S341.3: Procedure for Measuring Distribution Uniformity and Calibrating Granular Broadcast Spreaders. St. Joseph, MI: ASABE.
2. Fulton, J. P., S. A. Shearer, S. F. Higgins, M. J. Darr and T. S. Stombaugh. 2005. Rate response assessment from various granular VRT applicators. Transactions of the ASAE 48(6):2095-2103.
3. International Standard, 2nd Ed. 1985. ISO 5690/1: Equipment for distributing fertilizer-Test methods -. Part 1: Full width fertilizer distributors. ISO.
4. Kim, Y. J., H. J. Kim, M. Seo and J. Y. Rhee. 2006a. Development of variable rate granule applicator for environment-friendly precision agriculture (II)- development of pneumatic fertilizer blow head and its application uniformity -. Journal of Biosystems Engineering 31(6):474-481. (In Korean)
5. Kim, Y. J., H. J. Kim, M. Seo and J. Y. Rhee. 2006b. Development of variable rate granule applicator for environment-friendly precision agriculture (III)- analysis of pneumatic conveying system and improvement of fertilizer application uniformity-. Journal of Biosystems Engineering 31(6):482-488. (In Korean)
6. Lee, C. K., I. G. Jung, J. H. Sung, H. J. Kim and M. Umeda. 2005. The current status analysis of precision agriculture machinery technology research in USA and Japan. The Journal of the Korean Society of International Agriculture 17(2):73-81. (In Korean)
7. Molin, J. P., L. A. A. Menegatti, L. L. Pereira, L. C. Dremonini and M. Evangelista. 2002. Testing a fertilizer spreader with VRT. Proceedings of the World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources, pp. 232-237.
8. Ryu, K. H., Y. J. Kim, S. I. Cho 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)