

## 친환경 정밀농업을 위한 입제 변량살포기 개발 (I) - 송풍식 입제 변량살포기 개념설계와 시작기 제작 -

류관희 김영주 조성인 이중용

### Development of Variable Rate Granule Applicator for Environment-Friendly Precision Agriculture (I)

#### - Concept Design of Variable Rate Pneumatic Granule Applicator and Manufacture of Prototype -

K. H. Ryu Y. J. Kim S. I. Cho J. Y. Rhee

#### Abstract

Precision farming has been known as an environment friendly farming technology. This study was conducted to develop a variable-rate granule fertilizer applicator as an attempt for introducing the precision farming technologies to rice cultivation in Korea. In this paper, concept design process and manufacturing of prototype variable rate granule applicator was reported. For concept design, some design guide lines were selected. Based on the design guide line and some engineering knowledge, concept design was conducted. The designed prototype granule applicator was mounted at the rear of riding type cultivator for paddy field and had a 10 m wide boom structure with pneumatic conveying and application system as well as 1 GPS receiver, 1 granule hopper, 12 blow heads, 2 metering devices and 1 controller. The fertilizer applicator had 942 kg of weight, 740 mm of ground clearance and 1,117 mm of center of gravity from the ground. The applicator was designed to be able to apply 34~428 kg/ha of granule at 0.2~0.8 m/s of fertilizer working speed.

**Keywords :** Variable-rate granule applicator, Precision agriculture, Boom, Fertilizer

### 1. 서론

현대에 들어 화학농약과 화학비료의 사용은 농산물 생산을 크게 증가시켰다. 그러나 수량을 증가시키기 위한 무분별한 농약과 비료의 사용은 환경오염을 야기하는 수준에 이르렀다. 식량증산과 함께 환경문제를 해결하는 방법의 하나로서 정밀 농업은 1990년대 북미를 중심으로 연구되어 현재 북미와 유럽 호주 등에서는 이미 실용화 되고 있다.

정밀농업(Precision farming)은 Site-specific farming 이라

고도 하는데, 농경지와 작물에 대한 정보의 국부적인 변이에 착안하여 그 장소에서 필요한 만큼만 비료를 살포하고, 농약도 IPM(Integrated Pest Management)기법과 변량으로 살포하여 화학농자재의 사용을 줄이는 효과를 얻는다.

국내에서도 정밀농업에 대한 연구는 1990년 후반부터 시작되었는데 연구된 주제는 GPS 이용기술, 토양이나 작물의 정보 계측과 공간변이에 대한 연구가 주를 이루었다. Cho 등(2000)은 경작지내의 가변적 시비처리량 결정하는 방법을 연구하였다. Cho 등(2001)은 GIS를 이용하여 토양 유기물 함량과 pH의

This study was conducted by the research fund supported by Agricultural R&D promotion center (ARPC). This article paper was submitted for publication in June 2006, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in August 2006. The authors are K. H. Ryu, KSAM member, Professor, Seoul National University, Y. J. Kim, KSAM member, Graduate student, Seoul National University, S. I. Cho, KSAM member, Professor, Seoul National University and J. Y. Rhee, KSAM member, Professor, Seoul National University. The corresponding author is J. Y. Rhee, Professor, Department of Biosystems & Biomaterials Science and Engineering, Seoul National University, 151-921, Seoul, Korea; E-mail: <jyr@snu.ac.kr>

공간변이 특성을 연구하였고, Lee 등(2002)은 정밀농업을 위하여 트랙터 부착용 자동 토양 경도 측정 시스템을 개발하였다. Cho 등(2002b)은 토양 유기물 센서와 DGPS를 이용한 질소 시비량 지도를 작성하는 연구를 수행하였다.

우리나라에서 변량살포기에 대한 연구사례로는 정밀 방제 시스템(Cho 등, 2002a)과 이양 동시 변량 측조시비기(Jung 등, 2006)) 등이 있는데 본 연구에서 개발하고자 하는 벼의 기비와 분얼비, 수비를 모두 살포할 수 있는 변량 비료살포기에 대한 연구는 없었다.

이 연구는 정밀농업을 우리나라 벼 재배에 적용하는 기초 기술을 개발하는 농림부 기획과제의 일부로서 고능력 변량비료살포기를 개발하는 것이다. 정밀농업은 기술적으로 매우 다양하게 이루어지는데, 작물 재배이전의 정보에 기반을 두고 변량 살포하는 방식과 실시간 센서의 계측값에 따라 변량 살포하는 방식으로 구분할 수 있다. 우리나라의 연구 수준으로 볼 때, 벼 재배에 있어 수량에 영향을 미치는 주요 계측 항목과 신뢰성 있는 센서의 개발이 아직까지 미흡하기 때문에, 이 연구에서는 작물 재배 이전의 정보에 기반을 두고 처방지도를 작성하고 그에 따라 변량으로 비료나 농약을 살포할 수 있는 입제 변량살포기의 개념설계하고 시작기의 제작 결과에 대하여 보고한다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 설계 목표

정밀 농업을 적용하는 이유는 수량의 증대, 농산물 품질 제고, 생산이력정보화, 화학농약과 비료의 사용절감 등이 있으나, 본 연구는 화학농약이나 비료의 사용절감을 목표로 하였으며, 벼 재배에 있어서 관행비료 사용량의 40%를 절감하는 것을 목표로 하였다.

### 나. 설계 지침

변량 비료살포기 설계를 위하여 정밀농업에 관한 최신 기술과 우리나라의 농업환경을 고려하여 다음과 같은 설계 지침을 도출하였다.

1. 변량 살포기의 구성은 가급적 대량 생산되는 부품을 활용하여 개발비를 줄이고 저비용 고능력 작업 성능을 갖추어야 한다.
2. 변량살포기의 제어 방식은 비료처방지도에 의한 것으로 한다. 비료처방지도는 토양조사나 전년도 수확량지도를 고려하여 결정된다.
3. 변량살포기의 살포폭은 10 m로 한다. 이론적으로는 변이

가 있는 측정량의 공간변이 특성에 따라 달라야 하지만 측정량의 공간변이 특성이 서로 다르기 때문에 통일이 불가피하다. 우리나라의 경우 경지정리가 된 필지는 폭이 30 m, 40 m, 50 m, 100 m 이므로 살포폭은 5 m나 10 m 가 적당하였다.

4. 변량살포기를 개발함에 있어서, 제어장치는 입제나 액제 모두에 사용할 수 있는 시스템으로 개발하여, 앞으로 액제 변량살포기 개발에 사용할 수 있도록 한다.
5. 변량살포기의 제어부는 완전자동과 수동을 겸용으로 하게 하여, 사용자의 편리를 도모한다.
6. 변량살포기는 기비만이 아니라 분얼비와 수비도 살포할 수 있어야 하며, 0.5 ha의 논을 1회에 작업할 수 있도록 한다.
7. 변량살포기는 불가피하게 최저지상고가 높아야 하므로 안전성에 유의해야 한다.
8. 비료 살포의 균등도는 15% 이내로 한다.
9. 비료살포량은 총 5단계로 구분하여 등급별 변량처리를 한다.

### 다. 설계와 시작기 제작

변량비료살포기의 설계수순은 다음과 같았다. 먼저, 원동기와 공시비료를 선정하고, 살포방식을 정한 다음에 봄의 구조를 선정하고, 벼 재배에 권장되는 시비기준을 고려하여 입제 통과 계량 시스템을 설계하였다. 이후에 팬과 송풍시스템, 제어부 및 프레임 설계를 하였다.

시작기는 연구 참여업체인 J기업에서 제작되었다. 제작된 시작기의 성능은 추후 논문에 상세히 보고될 것이며 여기서는 제원을 구하였다. 측정항목은 작업기의 중량, 살포폭, 살포 높이의 범위, 무게중심, 횡전도각 등 이었다. 그림 1은 시작기의 무게중심을 측정하는 모습으로서, 농업공학연구소에서 보유한 중심위치 측정 장치와 전도각 시험 장치를 이용하였다.

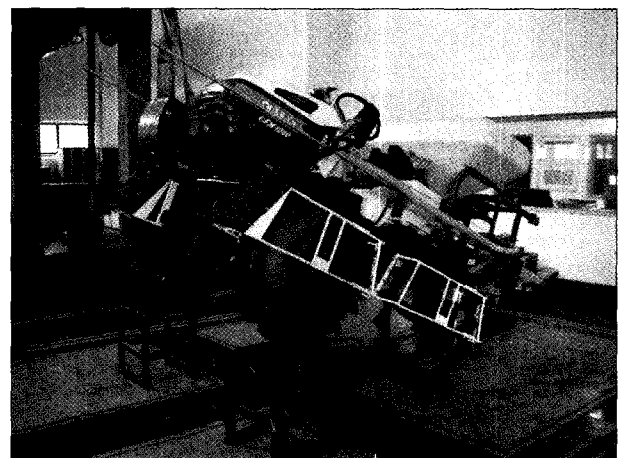


Fig. 1 Measurement of center of gravity.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 원동기와 공시비료의 선정

입체 변량살포기의 원동기로 승용이앙기, 트랙터, 승용관리기를 고려하였다. 요구되는 원동기의 조건은 최저지상고가 높고 작물의 생육 중에 시비 작업이 가능하여야 한다. 시비 작업은 작물이 생육되는 중에도 하여야 하기 때문에 기계에 의한 작물의 손상이 적어야 한다. 본 연구에서는 기비 외에 분얼이나 수비도 살포할 수 있어야 한다는 설계지침에 의하여 최저지상고가 높은 승용관리기를 선택하였다. 트랙터의 최저지상고는 28~46 cm 인데 비하여 승용관리기는 74 cm 로서 벼 생육 중에도 사용할 수 있다고 판단되었다.

선정된 원동기는 승용관리기(CFM-1200, 아세아 종합기계)로써 4륜구동이며 3가지 조향방식을 갖추고 있다. 이 중에서 전후륜 조향 방식은 전륜의 바퀴계축을 후륜이 따라서 이동하기 때문에 생육 중인 벼의 기계에 의한 손상이 적으며 P.T.O.를 갖추고 있어 작업기를 구동하기 편하다는 장점이 있다.

공시 입체 비료는 상표명이 신세대(Shinsedea, N : P : K = 22 : 12 : 12)와 슈퍼21(Super21, N : P : K = 21 : 17 : 17)이었다. 선정된 비료는 우리나라에서 벼 재배에서 널리 사용되는 복합비료로서 평균입경과 산물밀도는 신세대와 슈퍼21이 각각 2.62 mm, 1.90 mm, 900 kg/m<sup>3</sup>, 780 kg/m<sup>3</sup> 이었다(Seo 등, 2004).

#### 나. 살포방식의 선정

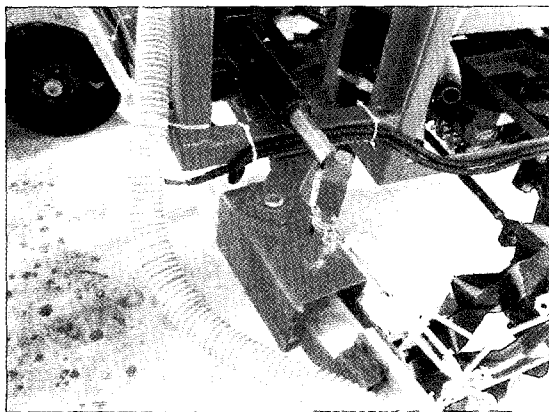
입체의 살포 방식에는 낙하식, 원심식, 송풍식 등이 있다. 낙하식은 중력에서 의해서 바로 포장으로 살포되는 형태로 살포폭이 작아 능률이 떨어진다. 원심식은 넓은 범위를 살포할 수 있으나 중첩하여 살포해야만 균등한 살포를 할 수 있으

므로 크기가 상대적으로 작은 우리나라의 직사각형 논에서는 작업능률이 서구에 비해 떨어지며, 포장 내에 균등살포를 위해서는 포장 외에 불필요한 지역에도 비료가 살포되는 문제점이 있다. 송풍식 살포방식은 고속 기류를 이용하여 넓게 살포할 수 있다. 특히 송풍식 붐형 살포기는 다른 방식에 비해 구조적으로 복잡하지만 여러 개의 분두를 이용하여 살포폭 내에서 균등한 살포가 가능하고 입체통을 하나만 사용하는 이점이 있다(Bode 등, 1985). 따라서 본 연구에서는 붐형 송풍식 살포방식을 채택하였다.

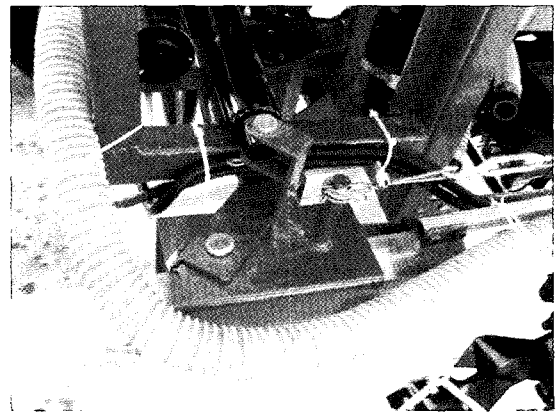
#### 다. 붐의 구조 선정

붐은 실제 포장을 주행할 때 진동이 적고 도로주행이나 차고에 주차할 때 방해가 되지 않아야 한다. 본 연구에서는 붐을 좌·우로 구분하고 각 붐을 두 개의 구간으로 나누어 모두 4개의 구간을 설정하고 접고 펼 수 있도록 설계하였다. 붐은 4각관을 이용하여 제작되었으며 프레임과 좌·우 붐간에 수평으로 90o를 접고 펼 수 있는 관절을 그림 2와 같이 설치하였으며, 붐의 중간부분과 프레임 사이에 와이어 로프를 이용하여 삼각형 구조를 만들어 붐을 수평하게 하고 한편으로 붐의 강성을 증가시켰다. 붐의 접고 펴기는 전동모터(동진유압, DC 12-500-100)에 의해 작동되며 운전석 제어박스에서 작동하도록 하였다.

붐은 구조물을 이루는 4각관과 공기와 입체 비료의 이송을 담당하는 내경 54 mm의 아크릴제 붐관으로 구성하였으며 총 살포폭은 10 m가 되게 구성하였다. 또한 벼가 성장함에 따라 살포높이가 달라지는 점을 고려하여 붐의 고정위치를 지면으로부터 2단계(95 cm와 150 cm)로 하였다. 무논에서 치륜의 침하량을 15 cm로 가정하면 실제 살포높이는 80 cm와 135 cm가 된다.



(a) when fully opened



(b) when fully folded

Fig. 2 Views of boom joints with electric cylinder.

**라. 입제통과 계량시스템 설계**

입제통과 비료를 계량하는 시스템을 설계하려면 단위면적당 시비량과 비료살포기계의 작업속도가 정해져야 한다. 먼저 비료살포작업의 속도는 벼가 재배되는 도중에는 벼와 간섭이 있기 때문에 0.3 m/s 정도로 예상하지만 최저는 0.2 m/s로 가정하였으며, 최고속도는 봄의 폭이 넓기 때문에 봄의 진동이 심하지 않은 0.6 m/s로 정하였다.

단위면적당 시비량은 비료의 종류에 따라 유효성분량이 달라지고 논의 위치와 비옥도에 따라 차이가 있다. 표 1은 농촌진흥청(RDA, 2000)에서 권장하는 지대 및 논 유형별 성분시비량으로서 염해지를 제외한 일반지역에서 10 a당 성분시비량은 질소 11~13 kg, 인산 4.4~7.7 kg, 칼리 5.7~9.3 kg의 범위이다.

한편 벼 재배시 비료살포는 기비와 추비(분얼비와 수비)로 나누어 2-3회 실시되는데 기비-분얼비-수비로 각각에 살포되는 비료의 양의 비율을 분시율이라고 한다. 본 연구에서는 살포기의 적용 지역을 평야지를 기준으로 설계하였으며 분시율을 50 : 25 : 25로 가정하였다. 이에 따르면 가장 많은 비료가 살포되는 경우는 기비로서 속답과 사질답의 평균 질소기비량을 1 N이라고 정하였다. 여기서 질소만을 고려하는 이유는 인산과 칼리의 경우는 수량에 직접적인 영향이 상대적으로 적으므로 질소를 중심으로 변량시비하기 때문이다. 따라서 1 N은 식 (1)에 의해서 6 kg/10 a로 구해진다.

$$1N(kg/10a) = \frac{RNAR \times FAARN}{100} \quad (1)$$

here, RNAR : Recommended nitrogen application rate per unit area(kg/10a)

FAARN : Fertilizer application allocation ratio of nitrogen(%)

한편, 복합비료는 종류마다 유효성분비가 다르다. 따라서 단위면적당 비료 살포량 즉 비료살포율(FARUA)은 비료의 종류에 따른 질소성분비, 분시율에 의하여 식 (2)에 의하여 구한다. 표 2는 권장하는 성분시비량과 시비단계에 따른 분시율을 기준으로 공시 비료인 신세대와 슈퍼21의 1 ha당 비료 살포율을 나타낸다. 질소성분비가 낮은 슈퍼21을 이용하여 1 N 시비할 때 1 ha 면적에 비료 살포량은 285.7 kg이 된다.

$$FURUA(kg/ha) = \frac{RNAR \times FAARN}{10 \times NWR} \quad (2)$$

here, FARUA : Fertilizer Application rate per unit area(kg/10 a)

NWR : Weight ratio of nitrogen in fertilizer(%)

설계지침에 의하면 0.5 ha의 면적을 한 번의 비료 적재로 살포작업 할 수 있어야 하는데, 선정된 비료의 산물밀도와 0.5 ha에 해당하는 살포량을 고려하면 183.2 L 이상이어야 한다. 본 연구에서는 입제통의 여유공간을 고려하여 입제통의 용량은 200 L로 정하였으며, 내구성을 고려하여 유리섬유 강화플라스틱(Fiber glass reinforced plastic) 재질로 제작하였다. 입제통 하부는 좌·우 봄의 계량장치에 개별적으로 연결

**Table 1** Recommended fertilizer component application rate per unit area according to area and soil

Location of paddy field	Type of paddy field	Amount (ingredient, kg/10 a)		
		N	P	K
plain (below 250 m above sea level)	normal	11	4.5	5.7
//	sandy	13	5.1	7.1
from 250 m to 400 m above sea level	-	11	6.4	7.8
over 400 m above sea level	-	11	7.7	9.3
reclamation field	salty	20	5.1	5.7

**Table 2** Fertilizer application rate (kg/ha) at various application levels

Application level	Shinsedae			Super21		
	Basal (50%)	Side dressing (25%)	For ear (25%)	Basal (50%)	Side dressing (25%)	For ear (25%)
0.25N	68.2	34.1	34.1	71.4	35.7	35.7
0.5N	136.4	68.2	68.2	142.9	71.4	71.4
0.75N	204.6	102.3	102.3	214.2	107.1	107.1
1N	272.7	136.4	136.4	285.7	142.9	142.9
1.5N	409.1	204.5	204.5	428.6	214.3	214.3

하기 쉽도록 두 갈래로 나누었다. 그 이유는 개자리 작업 등에 5 m의 살포폭으로 살포할 경우가 있고, 입제계량장치와 공기이송장치와 연계시키는 데에도 편리하기 때문이다. 입제통 덮개는 외부공기와 차단되도록 설계하였으며, 입제통 내부에 계량롤러로부터 30 cm 위에 그림 3과 같이 스크린을 설치하여 비료에 의한 압력이 직접 계량롤러에 작용하는 것을 방지하였다.

비료처방량은 다양한 값을 가질 수 있지만 실제적으로 표시하기 위해서는 몇 개의 계급값으로 표현한다. 본 연구에서는 비료처방지도가 5단계로 표시되는 것으로 정하였으며, 비료나 농약의 사용량을 줄이기 위하여 비료 살포율 1 N 이하를 세분하여 0.25 N, 0.5 N, 0.75 N, 1 N, 1.5 N으로 정하였다. 기술적으로 보면, 시비율의 단계수를 몇 개로 하느냐 또는 무한단계로 하느냐는 소프트웨어상의 간단한 조작으로 가능하다.

한편 단위면적당 비료의 살포량을 단위시간당 작업면적으로 나누는 경우에 변량살포기 계량장치의 입제 배출률(DRA)이 다음 식에 의해 결정된다.

$$DAR (kg/s) = \frac{10,000 \times FARUA}{WS \times AS} \quad (3)$$

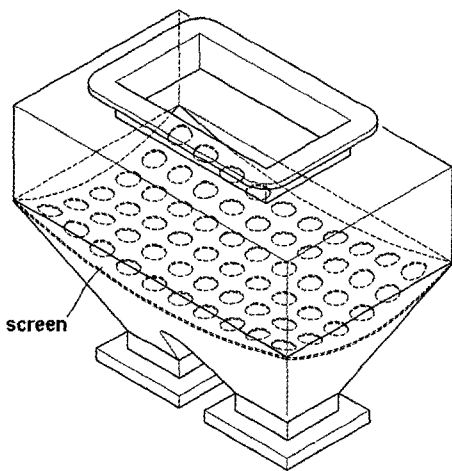


Fig. 3 Schematic view of granule hopper.

here, DRA : Discharge rate of granule applicator(kg/s)  
 AS : Application swath(m)  
 WS : Working speed(m/s)  
 BDF : Bulk density of fertilizer(kg/m<sup>3</sup>)

신세대 비료에 대하여 시비량 5수준과 작업속도 0.2~0.8 m/s 범위에서 계량장치의 최대 배출률을 계산한 결과를 표 3에 정리하였다. 이 결과에 의하면 요구되는 배출률은 6.8~327.3 g/s 범위에서 결정된다.

본 연구에서 입제계량방식은 홉플러 방식을 선택하였다. 이 경우에 롤러의 회전속도(RSR)는 롤러 1 회전당 흠이 차지하는 부피와 시비율(FARUA, kg/ha), 작업속도와 작업폭 및 충전율에 의해 식 (3)과 같이 구해진다. 충전율을 100%로 가정하면 롤러의 회전속도 범위는 4.1~97.8 rpm이다. 롤러의 구동모터는 12 V 40 W 감속기부착 직류모터였다.

$$RSR (rpm) = \frac{600,000 FARUA}{AS \times WS \times FSRR \times FQFS \times BDF} \quad (4)$$

here, RSR : Revolution speed of roller(rpm)  
 FSRR : Flute space of a roller per revolution(m<sup>3</sup>)  
 FQFS : Filling quotient of flute space(decimal)  
 BDF : Bulk density of fertilizer(kg/m<sup>3</sup>)  
 AS : Application swath(m)  
 WS : Working speed(m/s)

기존의 파종기나 입제살포기의 롤러를 참고로 하여 그림 4와 같이 롤러의 외경을 55 mm로 정하고, 흠의 단면적 합이 195.2 mm<sup>2</sup>이 되는 8개의 흠을 가진 롤러를 설계하였다. 롤러는 그림 5와 같은 케이스에 내부에 설치되는데 입제가 들어가는 입구는 그림에서 보는 바와 같이 4개로 되어있고 롤러 역시 축방향으로 4개로 구분하였다. 중심축에 대하여 대칭인 이유는 계량 롤러 조합 하나를 이용하여 봄의 두 구역에 입제를 계량하여 공급하기 위한 것이다. 입제 농약을 살포할 경우 살포율이 적기 때문에 넓은 쪽의 입구를 막고 좁은 쪽의 입구만

Table 3 Fertilizer discharge rate at various application level (Shinsedae)

working speed (m/s)	0.25 N (g/s)		0.5 N (g/s)		0.75 N (g/s)		1.0 N (g/s)		1.5 N (g/s)	
	Basal	Side dress For ear	Basal	Side dress For ear	Basal	Side dress For ear	Basal	Side dress For ear	Basal	Side dress For ear
0.2	13.6	6.8	27.3	13.6	40.9	20.5	54.5	27.3	81.8	40.9
0.4	27.3	13.6	54.5	27.3	81.8	40.9	109.1	54.5	163.6	81.8
0.6	40.9	20.5	81.8	40.9	122.7	61.4	163.6	81.8	245.5	122.7
0.8	54.5	27.3	109.1	54.5	163.6	81.8	218.2	109.1	327.3	163.6

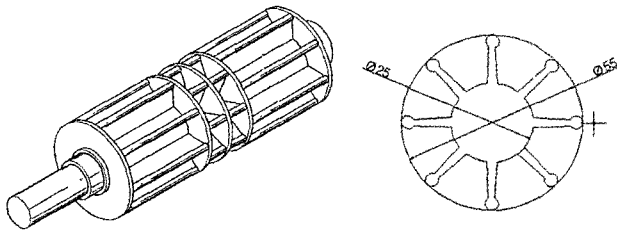


Fig. 4 Schematic of roller and view of cross section (Unit : mm).

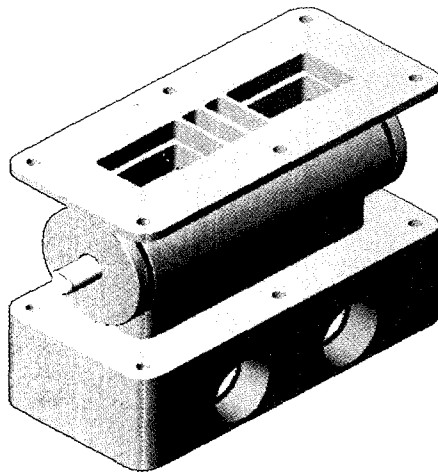


Fig. 5 View of metering roller case.

을 열어 살포할 수 있도록 롤러 조합의 좌우를 다시 둘로 나누어 총 4개의 공급구멍을 만들었다. 롤러 하나에 있어 홈의 길이는 61 mm와 13 mm 구간이 두 개가 있으므로 중간의 격벽을 포함하면 총 160 mm가 된다. 설계된 홈롤러의 케이스에는 별도의 Cut-off 브러시가 없으므로 입제가 부서질 염려가 있으므로 롤러의 재질을 탄력성 있는 고무재질로 제작하였다.

그림 5에서 롤러의 케이스 하부에는 롤러에서 배출된 입제가 송풍기와 분기관을 거쳐 공급되는 공기와 혼합되는 공간이 된다. 공기가 고속으로 흐르는 주름관이 이 케이스 하부에 연결되어 봄의 분관으로 연결된다.

#### 마. 송풍기 선정과 공기이송시스템 설계

봄관 내에서 입제 비료가 원활하게 이송되기 위해서는 입제 이송형태가 균질형(Homogeneous type)이어야 하므로 이에 적합한 송풍기가 선정되어야 한다.

본 연구에서는 개발되는 시작기의 가격을 고려하여 적정 팬을 개발하지 않고 시판되고 있는 동력살분무기용 원심식 송풍기(시로코 팬) 중 회전수 대비 풍량과 풍속이 우수한 것을 선정하였다. 검토한 송풍기는 J사의 3WF-550과 K사의 K-59였다. 송풍기의 성능시험은 KSB6311의 시험 방법에 따라 풍압과 풍속을 Digital Micro-manometer(Model ZEPHER DIGITAL

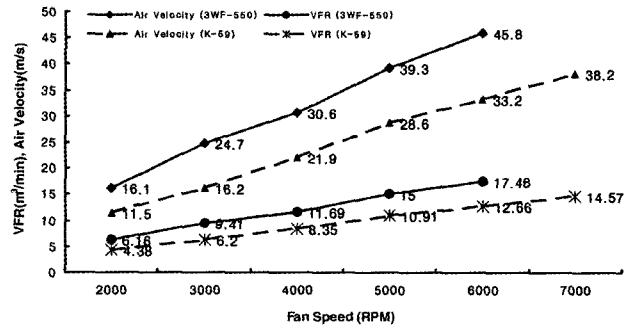


Fig. 6 Volume flow rate and air velocity curves of selected fans.

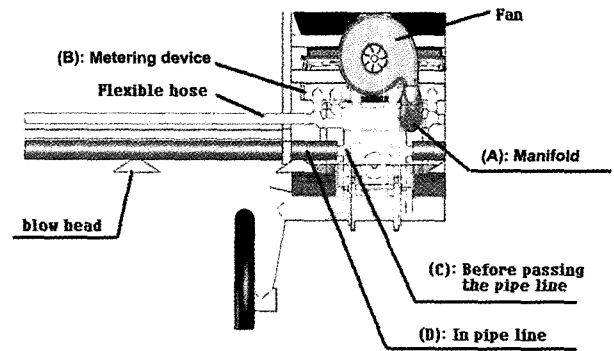


Fig. 7 Schematic of pneumatic granule application system.

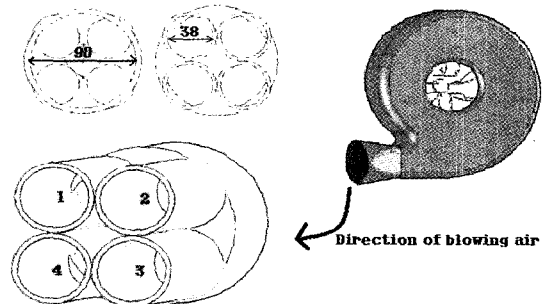


Fig. 8 Schematic of air distributing manifolds (Type B).

MANOMETER, Solomat co.)를 이용하여 측정하였다.

송풍기의 최대 회전수는 3WF-550이 약 6,000 rpm이며, K-59는 7,000 rpm 이었는데 최대회전수에서는 공냉엔진이 30 분 이상 작동하지 못하였다. 그림 6은 회전수에서 따른 풍량과 풍속을 나타낸 것이다. 5,000 rpm에서 3 WF-550은 15 m³/min, 39.3 m/s였으나, K-59는 10.91 m³/min, 28.6 m/s를 나타내었다. 원동기의 PTO축을 연결을 통한 회전수 증속에는 한계가 있으므로, 회전수에 비해 송풍 능력이 우수한 J사의 3WF-550을 선정하였다. 선정된 팬의 정격 회전속도는 5,000 rpm이었으며 송풍관리기의 PTO 회전속도는 779 rpm이었으므로 벨트를 이용한 증속장치를 제작하여 송풍기를 구동하였다.

입제 공기이송시스템은 원심송풍기에서 배출되는 공기를 4

**Table 4** Volume flow rate (VFR) and blowing air velocity at distribution manifold according to type

Manifold type	Item	No. of tube				VFR (m <sup>3</sup> /min)	Accumulated loss (%)
		1	2	3	4		
A	Air velocity (m/s)	21.02	21.62	21.78	22.88	5.94	61.5
	VFR (m <sup>3</sup> /min)	1.430	1.471	1.482	1.557		
B	Air velocity (m/s)	31.86	30.46	34.18	36.36	9.04	41.4
	VFR (m <sup>3</sup> /min)	2.33	2.47	2.17	2.07		

개의 분관에 보내기 위하여 4개로 갈라지는 분지관(manifold)을 설치하였다. 이후 입체 계량장치를 통과한 비료가 각각의 분지관에 중력의해 투입되도록 하였다. 그림 7은 공기이송시스템을 나타낸 것으로 송풍기와 분지관, 주름관, 분관과 분두의 상대적 위치를 나타낸 것이다.

송풍기에서 불어나온 공기가 분지관에 의해 각 주름관으로 나뉠 때 정압 손실이 발생한다. 본 연구에서는 작은 공기실에 4개의 주름관을 직결한 분지관(A형)에 설계하였으나 정압손실에 따른 풍량 감소로 인하여 입체 이송형태가 균질형이 되지 않는 문제가 있었다. 그 대책으로 공기실의 직경을 줄이고 4개의 주름관 사이에 공기흐름을 원활히 하는 사각뿔 모양의 구조물을 설치한 분지관(그림 8, B형)을 개발하여 풍량 감소를 크게 줄였다. B형 분지관에서 사용한 주름관은 내경 38 mm 이었으며 분지관은 내경 90 mm인 아크릴 관이었다.

표 4는 두 개의 분지관을 사용했을 때 각 주름관에서 풍량과 손실을 나타낸 것이다. 표에 의하면 4개의 주름관 중에 풍량과 풍속에 크기 차이가 있는데 풍량이 많은 관을 4개의 분구간 중에서 좌·우 외측을 담당하는 분관에 연결하였다.

B형 분지관의 경우에 분관에서 송풍속도를 측정해 본 결과, 실험을 통하여 얻어진 입체 비료의 물성값을 부양속도 구하는 실험식(Lee 등, 1998)에 계산한 부양속도 14.5 m/s보다 큰 30.6 m/s로 풍속을 나타냈다. 이는 입체의 부양속도보다 큰 것으로서 입체의 이송에는 적합하다고 판단되었다.

**바. 제어부 설계**

정밀농업용 작업기에 있어서 제어부는 신호의 입출력, 변환, 제어알고리즘으로 끝나지 않고 비료처방지도나 농약처방지도와 같이 GIS를 이용한 DB를 읽고, 실시간 센서가 있는 경우에는 DB의 정보와 실시간 센서의 정보를 통합하여 의사결정을 해야 한다.

따라서 제어부는 메모리와 연산부를 갖춘 산업용 소형컴퓨터(CPU: C3 Nehemia 1 GHz, Memory; 256 MB, Data Storage; 30 GB HDD, 1 IEEE 1394 port, 4 USB ports etc.)를 이용하였으며, 제어되는 상황을 작업자가 알기 편하도록 12"칼러 모니터를 갖추었다. 또한, 설계지침에 의하면 본 연구에서 개발

되는 변량살포제어는 입체 살포만이 아니라 추후 액제살포기를 개발할 때 공용으로 사용하여야 하므로 액제살포 제어에 사용할 수 있는 PWM에 의한 모터 회전수 제어 방식을 채택하였다.

입체를 흡-롤러에 의해 계량하는 경우에 롤러흡과 계량장치의 Cut-off사이에 입체가 끼어 토크가 크고 순간변동이 예상되므로 Feed-back 제어방식에 의하여 롤러회전속도를 제어하도록 하였고 모터로는 12 V, 40 W의 자동차 와이퍼용 직류모터를 채택하였다. Feedback제어는 구동하려는 목표전압을 기준신호로 하고 로터리엔코더의 회전속도에 의한 주파수신호를 F/V컨버터로 변환하여 얻은 전압과 비교하여 오차를 구하고 오차증폭기를 거쳐 PWM회로에 다시 입력하도록 하였다.

변량살포에 있어서 롤러의 회전수 결정은 단위면적당 살포량과 함께, 실제 기계의 진행속도에 좌우된다. 실제 논에서 작업속도를 측정하는 방법에 레이저 주행속도계나, 지면 접촉식 속도계를 사용할 수 있으나 본 연구에서 설정한 작업환경은 작물이 존재하는 상태이므로 비접촉방식이 요구되고 레이저 주행속도계의 경우에 작물이 있는 경우 오차가 커지므로 본 연구에서는 위치신호를 정밀하게 읽고, 위치신호를 이용하여 속도를 추정해내는 방식을 채택하였다. 제어부 설계에 대한 자세한 사항은 Yu 등(2006)에 설명되었다. 두 개의 GPS(Novatel, Propak II RT-2)를 이용하여 이동국(rover)과 기지국(reference station)을 구성하여 DGPS를 구성하였으며 이동국과의 통신을 위하여 라디오 모뎀(GLB, 모델 SNRDS)를 이용하였다. 이 DGPS의 위치오차는 RTK(Real time kinetics) 모드에서 2 cm(CEP) 이내이다.

따라서 설계된 제어부의 하드웨어로는 표시부(모니터), 입력부, DGPS 수신부, 직류 모터 드라이브(National Instrument, model FW-7344), 로터리엔코더(A사, E40H8-1000-3-2-5)와 자체 개발한 F/V변환기로 이루어진 제어부, 내진성이 우수한 산업용 컴퓨터로 구성되었다. 소프트웨어로는 DGPS위치정보에서 속도를 추정하는 것과, 비료처방지도를 읽는 것, 비료처방량과 작업속도에 따른 모터 구동속도 계산식, 목표하는 모터속도와 로터리 엔코더의 회전속도값에 의한 Feedback 제어, 모니터에 제어상황과 입출력을 할 수 있는 프로그램 등

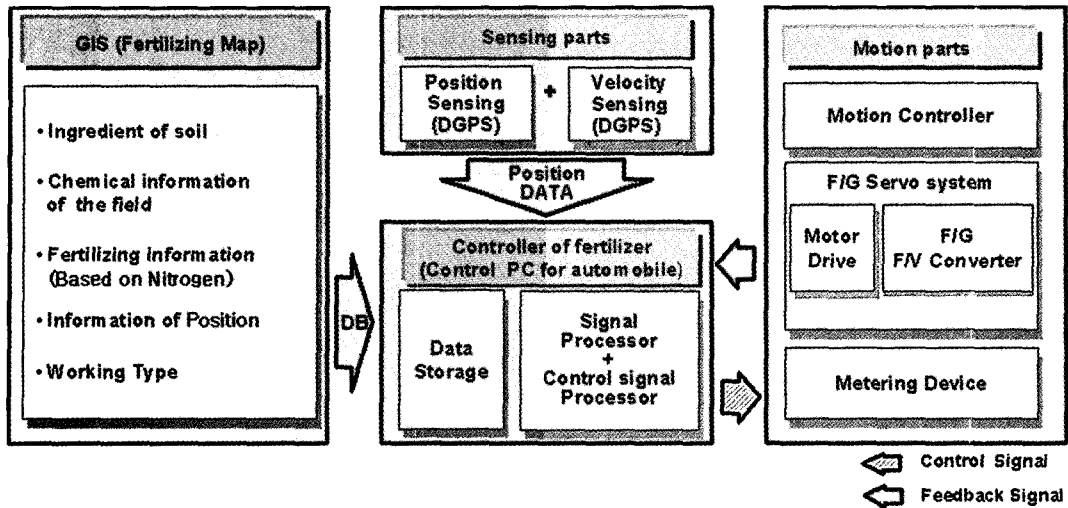


Fig. 9 Control system for variable rate granule applicator.

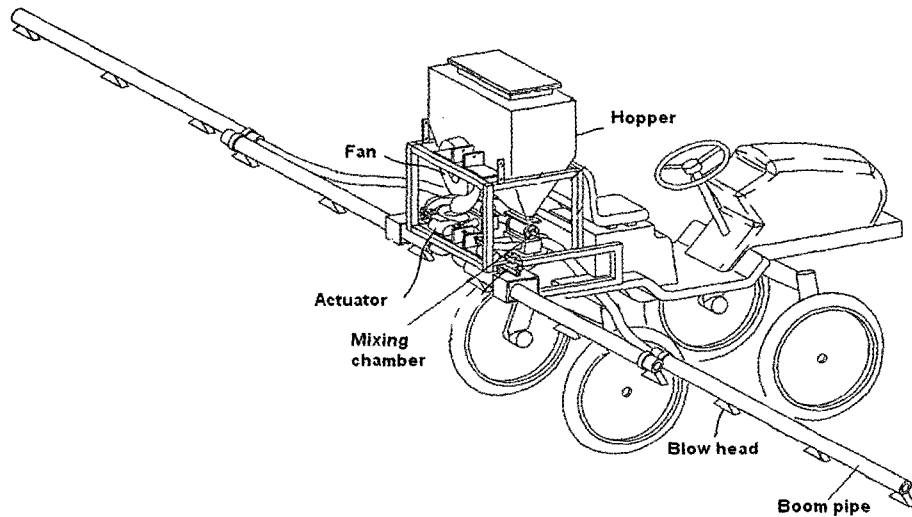


Fig. 10 View of prototype variable rate granule applicator.

로 구성되었다. 그림 9는 본 연구에서 설계한 제어부의 개략도이다.

**사. 시작기의 제작과 제원**

입제 살포기를 장착하는 경우 후륜이 담당하는 무게 증가로 전륜의 조향성이 감소하고, 무게중심이 높아져서 주행 중 안정성에 심각한 문제가 될 수 있다. 따라서 가급적 경량으로 설계해야 할 필요가 있다. 본 연구에서는 40x40x3 mm의 4각관을 기본으로 프레임에 설계하였으며 입제살포기 탈착을 용이하게 하기 위하여 프레임에 바퀴를 부착하였다. 본 연구에서 중량을 최적화하는 연구는 수행하지 못하였다.

그림 10은 제작된 시작기가 봄을 좌우로 편 상태를 나타낸 것이다. 봄은 그림에서 보듯이 좌, 우 2개로 구분되며 각각은 다시 두개의 구역으로 나누어져 있다. 총 12개의 분두가 75 cm

간격으로 배치되어 살포폭이 10 m가 되도록 하였다.

입제비료 살포는 기비의 경우 무논이 아닌 경우에도 살포할 수 있으나 기본적으로는 무논에서 살포할 것으로 예상하여 봄의 살포높이를 2단계(80 cm와 135 cm)로 설정할 수 있도록 하였다. 여기서, 살포높이는 무논에서 15 cm의 침하량을 가정하고 무논 표면에서 분두까지의 높이를 말한다. 시작기는 작업속도 0.2~0.8 m/s의 범위에서 단위면적당 34.1~867.1 kg/ha의 복합비료를 살포할 수 있도록 개발되었다.

시작기의 무게는 총 942 kg으로서 원동기만의 무게 681 kg을 제외하면 입제살포기계의 무게가 261 kg에 해당되어 양산할 경우에는 재질 등을 바꾸어 감량할 필요가 있었다. 질량 중심(Center of gravity)은 좌우방향에서 볼 때, 중심에서 6 mm 좌측으로 위치하였으며, 전후방향에 볼 때, 후측축으로부터 598 mm 떨어지고 지면으로부터 1,117 mm 떨어진 곳에 위



**Table 5** Specifications of prototype granule applicator mounted on a riding type cultivator for paddy field (CFM-1200, ASIA)

Items		Description (Cultivator itself)
Dimension	Overall Length(mm)	4,600 (2,240)
	Overall Width(mm)	1,455 (1,455)
	Overall Height(mm)	2,040 (1,390)
	DRY Weight(kg)	942 (681)
Engine	Max Output(ps/rpm)	20/3,600
Wheel		Outside Diameter 950 mm
Steering System		Hydrostatic Power Steering
Brake System		Wet Type Disk Mechanical
Transmission System		Both Type : Continuance, Selection
Applicable granules		granule chemicals, compound fertilizer
Application rate per area		34 - 428 kg (compound fertilizer)/ha
Application height		80, 135 cm from wet ground (15 cm of sinkage was assumed)
Granule hopper		200 liter
Working speed		0.2 ~ 0.8 m/s
Wheel Base(mm)		1,180
Wheel Tread(mm)		1,200
Ground Clearance(mm)		740
MIN Turning Radius(m)		2.0

치하였다. 승용관리기의 축간거리가 1,180 mm인 점을 감안하여 전후륜의 하중 분포를 구하면 후륜에 49.3%, 전륜에 50.7%가 작용하여 조향력에는 아무런 문제가 없으며 비료를 최대로 200 kg을 채운 경우라 하더라도 전륜하중이 전체하중의 30%이상 확보된다.

한편 정적 횡전도각을 측정한 결과 좌우측 32°로 나타났는데, 좌우 방향의 값이 같게 나타난 것은 질량중심의 위치가 좌우방향에서 볼 때 거의 중앙에 위치하였기 때문으로 판단된다. 트랙터의 정적 횡전도각이 대개 35° 이상인 것에 비교하면 안정성이 낮게 평가될 수 있지만 무논용 승용관리기의 최저지상고가 트랙터에 비해 월등하게 높은 것을 고려하면 안정하다고 평가할 수 있다. 다만, 입제통에 비료를 채운 경우에는 안정성에 문제가 될 수 있으므로 입제통을 채운 상태에서 농로주행을 하지 말아야 할 것이며, 비료는 농지에 진입한 이후에 채워야 할 것으로 판단된다.

표 5는 승용관리기에 장착한 입제 변량살포기의 제원을 나타낸 것이다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 우리나라 벼 재배에 정밀농업기술을 적용하는데 필요한 기초기술을 개발하는 농림부 기획과제의 일부로서 고능률 변량비료살포기를 개발하는 것이다. 정밀농업기술을 이용하면 같은 필지 내에서도 토양이나 작물의 상태에 따라 비료나 농약을 최적으로 처방하기 때문에 비료나 농약과 같은 투입재를 줄여 환경오염을 방지하거나 줄일 수 있다. 이 연구에서는 입제변량 살포기의 개념설계부터 시작기를 제작하는 과정을 보고하였다.

우리나라에 정밀농업용 입제비료살포기의 개발 사례가 거의 없기 때문에 본 연구에서는 설계지침을 먼저 정하고 그 지침과 기존의 농기계에 대한 정보 등을 이용하여 입제비료살포기를 개념설계 제작하였다.

개발된 시작기는 승용관리기 후방에 부착하고 좌우 두 개의 붐을 갖추었으며 1개의 송풍기와 4 구역으로 나누어진 붐관을 이용한 공기이송시스템, 12 개의 분두와 1개의 입제통, 2개의 입제 계량장치, 변량제어장치와 DGPS 수신장치를 갖추었다. 비료변량살포는 비료살포지도에 근거하여 비료를 5단계로 살포할 수 있도록 하였으며 살포폭은 10 m이지만 5 m 살포폭도 가능하도록 설계되었다. 시작기의 작업속도는 0.2~0.8 m/s로 설정되었고 이 때 34~428 kg/ha의 시비율로 복합비료를 살포할 수 있도록 설계되었다. 또한 입제변량살포기의 원동기인 승용관리기의 최저지상고가 740 mm에 달하여 기비는 물론 벼가 생육 중인 동안에 분얼비와 수비도 살포할 수 있고 벼의 생육상태에 따라 살포높이를 80 cm와 135 cm로 선택할 수 있게 하였다.

변량제어장치는 액체의 변량살포에도 사용할 수 있도록 개발하였으며, 작업속도는 DGPS위치정보에서 속도를 검출하는 방식을 채택하였다. 제어장치는 산업용 컴퓨터를 이용하였으며 작업자가 변량살포 상황을 감시할 수 있는 모니터를 갖추었다.

제작한 입제 변량살포기의 무게중심, 정적 횡전도각을 측정한 결과 기체 총중량은 942 kg였으며 무게중심은 뒷차축 중심에서 기체 중심까지의 수평거리 598 mm 떨어지고 지면에서 1,117 mm로서 비료를 가득 채우더라도 전륜의 조향성에 영향이 없는 것으로 분석되었다. 또한 정적 횡전도각은 좌·우측 각각 32°로서 트랙터에 비하면 불안정하지만 높은 최저지상고를 고려하면 안정되었다고 판단되었다.

참 고 문 헌

1. Bode, L. E. and S. L. Peason. 1985. Equipment and calibration : Granular applicators. Circular No. 1240. Cooperative Extension Service, College of Agriculture, University of Illinois, Urbana.
2. Cho, S. I., I. S. Kang, S. H. Choi. 2000. Determination of Variable Rate Fertilizing Amount in Small Size Fields for Precision Fertilizing. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery 25(3):241-250.
3. Cho, S. I., Y. M. Bae, H. S. Yang, S. H. Choi. 2001. Measurement of Soil Organic Matter Using Near Infra-Red Reflectance. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery 26(5):481-486.
4. Cho, S. I., J. Y. Jeong, Y. Y. Kim, K. C. Nam, J. Y. Rhee. 2002a. Development of Real-time Precision Spraying System Using Machine Vision and DGPS. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery 27(2):143-150.
5. Cho, S. I., S. H. Choi, Y. Y. Kim. 2002b. Development of Electronic Mapping System for N-fertilizer Dosage Using Real-time Soil Organic Matter Sensor and DGPS. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery 27(3):259-266.
6. Jung, I. G., S. O. Chung, J. H. Sung, C. K. Lee. 2006. Development of Map-based Variable-rate Applicator. Proceeding of the KSAM 2006 Summer Conference 11(2):345-348.
7. Lee, H. D., K. D. Kim, C. S. Kim, S. H. Kim. 2002. Development of an Automatic Soil Hardness Measuring System Mountable on Agricultural Tractors. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery 27(6):537-546.
8. Lee, S. H., J. Y. Rhee, C. J. Chung and C. S. Lee. 1998. Aerodynamic of Granular Agrichemicals. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery 23(2):105-115.
9. Seo, M., J. Y. Rhee, Y. J. Kim, 2004. The Development of Variable Rate Pneumatic Granule Applicator. Proceeding of the KSAM 2004 Winter Conference 9(1):67-71.
10. Yu. J. H., Y. J. Kim, K. H. Ryu. 2006. Development of a Controller for Variable-rate Application of Granular Fertilizer. Journal of Biosystems Engineering 31(2):108-114.
11. Rural Development Administration(농촌진흥청). 2000. 표준영농교본-76 벼생력재배.