

# 고속카메라를 이용한 입제비료의 살포패턴 분석

## Application Patterns Analysis of Granule Fertilizer Using High Speed Camera

김영주\*  
정회원  
Y.J.Kim

이중용\*  
정회원  
J.Y.Rhee

황성규\*  
정회원  
S.K.Hwang

### 1. 서론

국내에서는 시비작업은 대부분 원심식 입제살포기를 사용하고 있으며, 정밀 입제살포기술에 대한 연구사례가 없었으며, 송풍식 입제 살포기에 대한 기초 연구만 이루어졌으나 실용화되지는 않았다. 그러나 일부 선진국에서 사용하고 있는 변량살포기술을 그대로 국내에 도입한다고 하면 기술 개발국과 국내의 경작규모, 토양조건, 재배양식, 작물특성, 기후 등 여러 가지 조건이 다르기 때문에 작업기의 재설계가 요구되어 경제적, 기술적인 측면에서 적합하지 않을 것으로 판단된다. 따라서 우리나라에 적합한 site-specific한 입제 변량살포기의 개발을 목표로 이와 관련된 기술을 국내에서 개발하는 것이 필요하다.

Shrinkant 등(1992)은 ‘공기이송시스템에서 풍속에 따라 입제 이송현상’에 대해서 입제의 이송 유형을 균질형(Homogeneous type), 균질층형(Stratified type), 불연속형(Blowing dunes type), 침전층형(Settled layer type)의 네 가지로 분류하여 보고하였다.

본 연구는 정밀농업 위한 입제 변량살포기 개발을 위한 기초 연구로서 고속카메라를 이용하여 수평한 원형 붐관에 입제 비료의 이송 유형을 파악하고 입경별 이송속도와 살포패턴을 분석하고자 수행하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 실험장치

실험장치로 송풍기 동력 전달부를 전동기를 장착하여 송풍기의 회전속도는 5000rpm이 되도록 제작하였다. 또한 분두의 형상은 공기가 수평하게 이동하기 때문에 분두상부에 입제와 입제를 이송하는 공기가 분두내로 안내될 수 있도록 폭 35mm, 두께 0.6mm의 함석판으로 만든 충돌판을 설치하였다. 공기와 혼합된 입제는 충돌판의 관입 깊이를 조절하여 분두내로 안내되는 양이 조절되도록 하였으며, 분두는 충돌판을 제외한 다른 부분은 두께 3mm의 투명 아크릴 판을 이용하여 제작하였다. 그림 1은 제작된 분두의 형상과 치수를 나타낸 것이며 분두 상부의 우측에는 입제비료가 부딪혀 반대쪽으로 튀어 분산될 수 있도록 반사판을 하나 더 부착하였고 분두의 살포각은 120°로 제작하였다. 그림 2는 분두가 내경이 54mm인 원형 투명 아크릴관인 붐관에 분두 4조로 장착한 모습을 나타낸 것이다.

---

\* 서울대학교 농업생명과학대학 바이오시스템·소재학부 바이오시스템공학전공

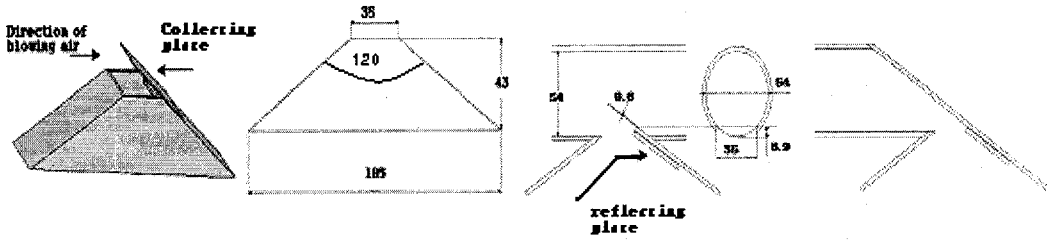


Fig. 1 Schematic of blow head assembled with pipe(Unit : mm)

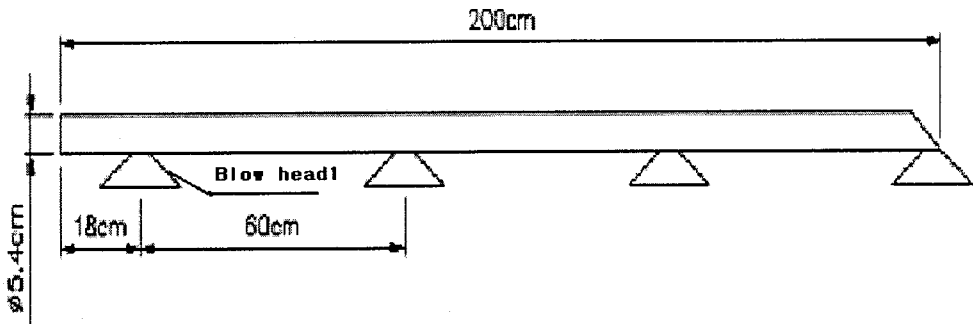


Fig. 2 Schematic of fertilizer application boom with blow heads

#### 나. 실험방법

원형 붐관에 분두를 4개를 부착하였고 각각 충돌판 관입깊이는 분두 1번은 25mm, 분두 2와 3번은 35mm로 관입하였으며 각 분두의 간격은 60cm로 하였다.

고속 운동하는 입제 비료의 운동을 분석하고자 고속카메라(EKTAPRO-EM, KODAK, USA)와 MAW 운동해석 프로그램(KODAK, USA)을 이용하여 붐관에서 입제의 운동 패턴과 입제비료의 속도를 분석하였다. 그림 3과 같이 고속카메라를 설치하여 먼저 붐관에서 입제비료의 이송 유형을 관찰하였고, 각 분두에서 입경별로 충돌판에 충돌전과 충돌후의 운동 패턴을 분석하여 입경의 속도를 분석하였다.

또한 그림 4와 같이 분두를 4구간으로 나누고 충돌 후 입제비료의 살포되는 방향으로 분산되는 입제의 개수를 측정하여 각 구간별로 살포되는 경향을 통계적으로 처리하였다. 고속 카메라를 초당 5000 frame 촬영하였는데 이는 1 frame당 1/5000s의 시간이 소요됨으로 이를 이용하여 입경별 속도는 10 frame당 평면적인 진행거리를 측정하여 입경별 속도를 측정하였다.

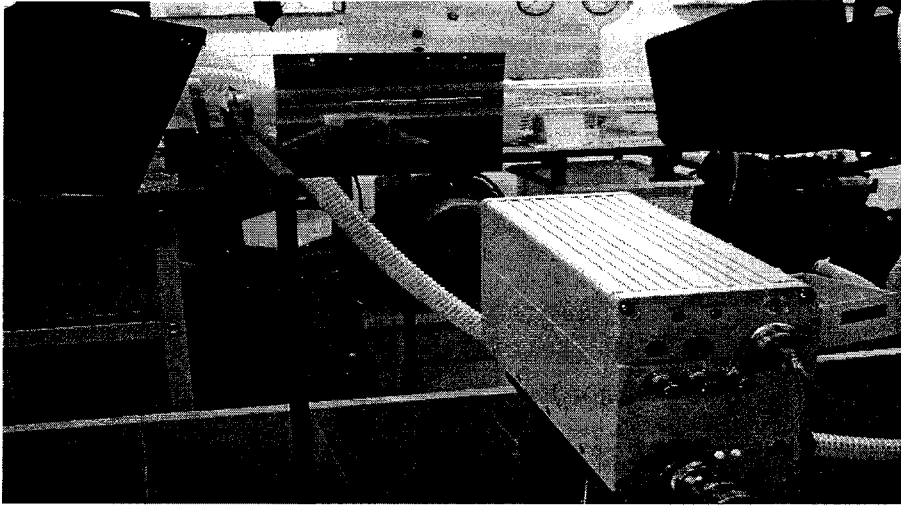


Fig. 3 View of high speed camera system

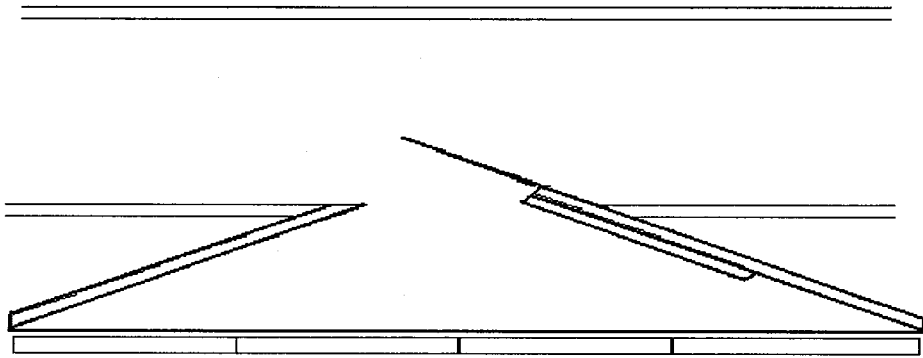


Fig. 4 Schematic of blow head

### 3. 결과 및 고찰

뽕관에서 입제비료의 이송현상을 관찰한 결과 Shrinkant 등(1992)이 제시한 네 가지 이송 현상 중 균질층(Homogeneous type)의 형상을 보였다. 입제비료가 원형 뽕관의 바닥에 굴러가는 것은 없었으며 고루 분포하여 부양하는 것을 관찰할 수 있었다.

그림 5와 6은 분두1과 분두4에서 입제비료의 이송현상은 나타난 것으로 균질층 형상임을 알 수 있었으며, 분두2와 분두3의 경우도 분두1과 같이 균질층 이송형상을 보였다. 이때 각 분두에서 풍속은 Digital Micromanometer(ZEPHYR DIGITAL MANOMETER, Solomat Co, USA)를 이용하여 측정된 결과, 분두1에서 분두4까지의 풍속은 각각 25m/s, 12m/s, 8m/s, 4m/s였다.

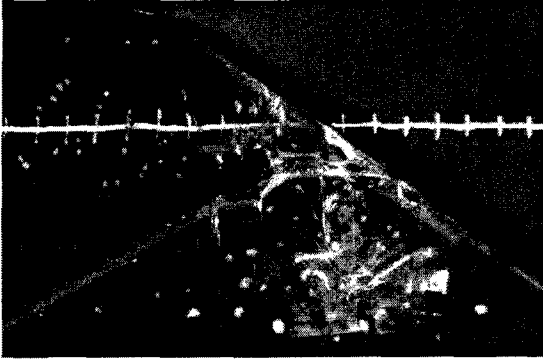


Fig. 5 The feature of 1st blow head

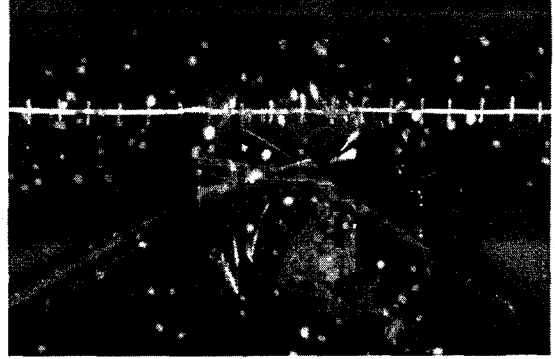


Fig. 6 The feature of 4th blow head

블ow 입제비료의 입경별로 충돌전과 충돌후의 속도를 측정하고자 MAW 운동해석 프로그램(KODAK, USA)을 이용하였다. 입제비료가 10 frame의 시간이 진행되는 동안 이동한 거리를 계산하여 2mm, 3mm, 4mm, 5mm의 입경별로 5개의 입제를 선택하여 각 분두에서 측정한 평균속도 구한 결과 그림 7과 같이 나타났다. 분두1에서 입경별 속도는 7.3m/s에서 7.9m/s의 값을 보였으며, 분두4에서는 3.7m/s에서 3.2m/s의 속도가 나타남을 알 수 있었다.

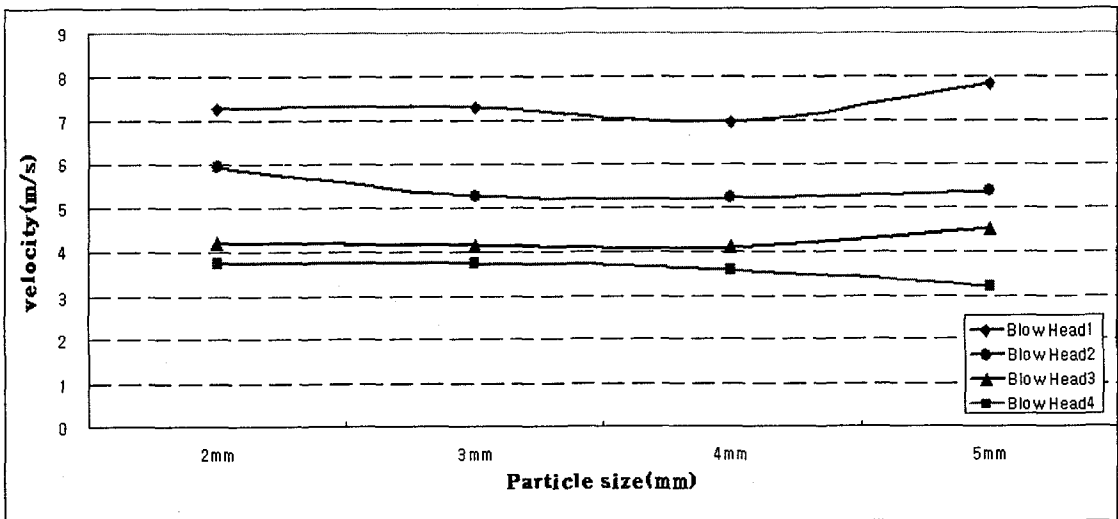


Fig. 7 The speed of particle in each blow head before impact

그림 8은 입제비료의 충돌후의 각 입경별로 속도를 나타낸 것으로 분두2에서 속도가 다른 분두보다 조금 높게 나타남을 볼 수 있었다. 충돌전의 속도보다 충돌후의 입제비료는 많이 줄어들었으며, 분두2에서 대부분의 입제의 속도는 2.4m/s의 속도 값을 보였으며 다른 분두에서는 1.2m/s에서 2.1m/s 범위의 속도 값이 나타남을 볼 수 있었다.

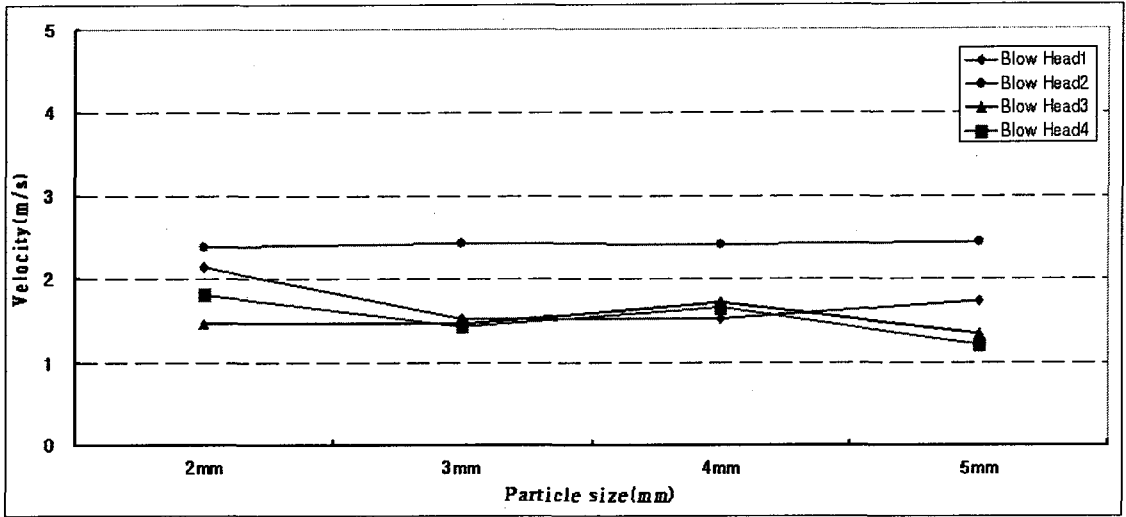


Fig. 8 The speed of particle in each blow head after impact

그림 9는 입제비료가 각 분두를 지나면서 속도 강하를 나타남을 볼 수 있다. 분두1에서 입제비료의 속도는 입경별로 7~8m/s 범위의 속도에서 출발하여 긴 분관의 길이를 지나면서 속도가 감소하며 또한 분두마다 풍량이 배출되면서 속도가 감소하여 분두4의 위치에서는 속도가 3.2~3.8m/s까지 강하함을 알 수 있었다.

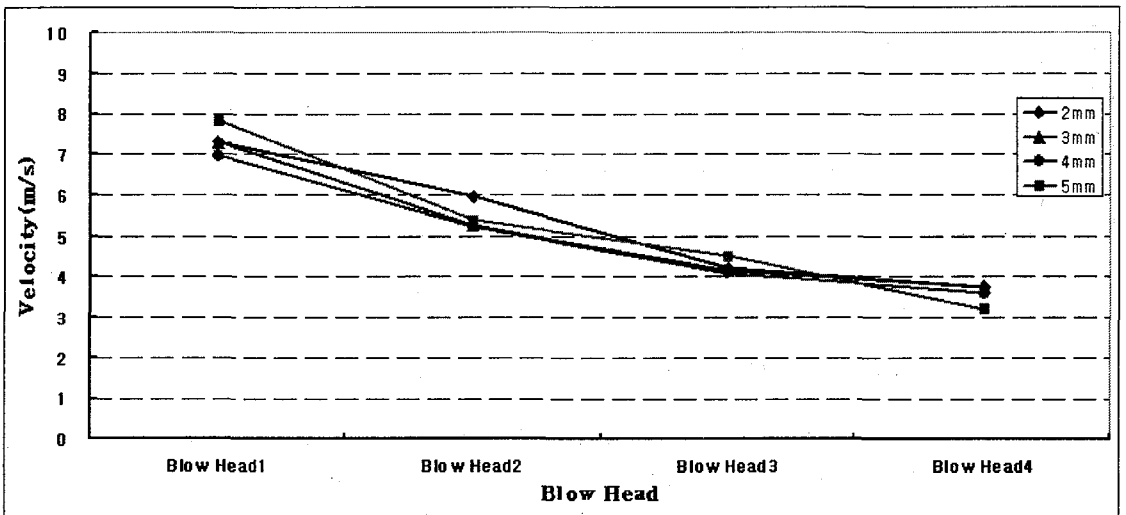


Fig. 9 The speed of particle in each blow head

각 분두에서 속도를 가지고 날아온 입제비료는 충돌판과 반사판을 지나면서 살포되는 현상을 각각 다르게 나타냈다. 그림 10과 11은 분두 1과 분두2에서 입제비료가 충돌후 살포되는 것으로 분산되는 방향이 다를 수 있었으며 화살표로 표시한 방향은 입제가 주로 분산되는 방향을 나타낸 것이다.

통계적 사고 하에 집단의 규칙성을 찾는 방법으로 통계적 기법을 이용하였는데 각 분두마다 4구간으로 나누고 입제비료가 충돌후 살포되는 방향의 입제비료의 개수를 측정한 결과 그림 12와 같이 나타났다. 이와 같이 입제비료가 분산되는 것을 볼 수 있었으며

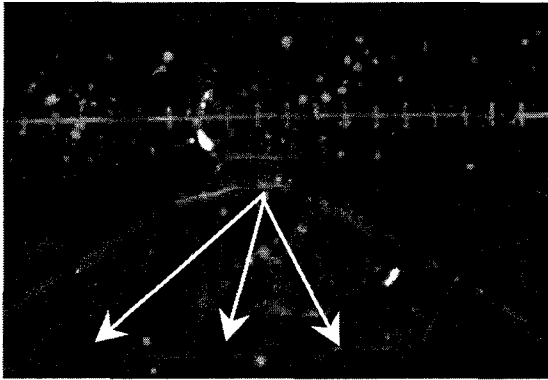


Fig. 10 The feature of 1st blow head

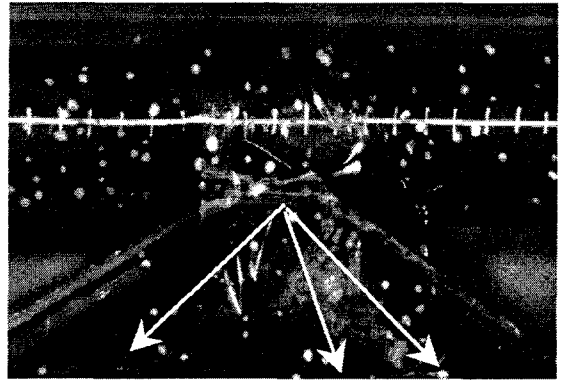


Fig. 11 The feature of 2nd blow head

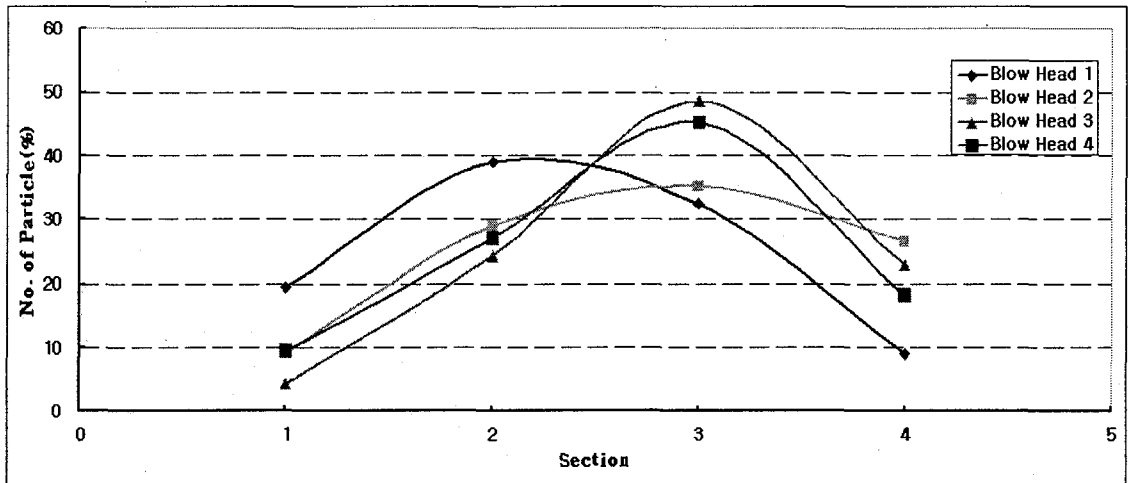


Fig. 12 The graph showing the numbers of the particle of sector in each blow head

분두마다 각 구간별로 확산된 것을 살펴보았으며 그림 13은 붐4Set를 장착한 전체 시스템에서 살포하여 각 패턴네이터에 수집한 입제비료의 양을 분석한 결과 값이다. 이때의 살포 조건은 분두별 충돌판의 관입길이는 각각 분두1번부터 분두3까지 25, 35, 35mm였고, 살포높이는 80cm, 분두간격은 60cm, 붐간의 간격은 90cm로 하여 총 살포폭 10m에서 입제비료인 신세대와 슈퍼21을 가지고 살포한 결과 각각 CV값이 12.8%와 13.6%로 우수한 살포 균등도를 얻었다.

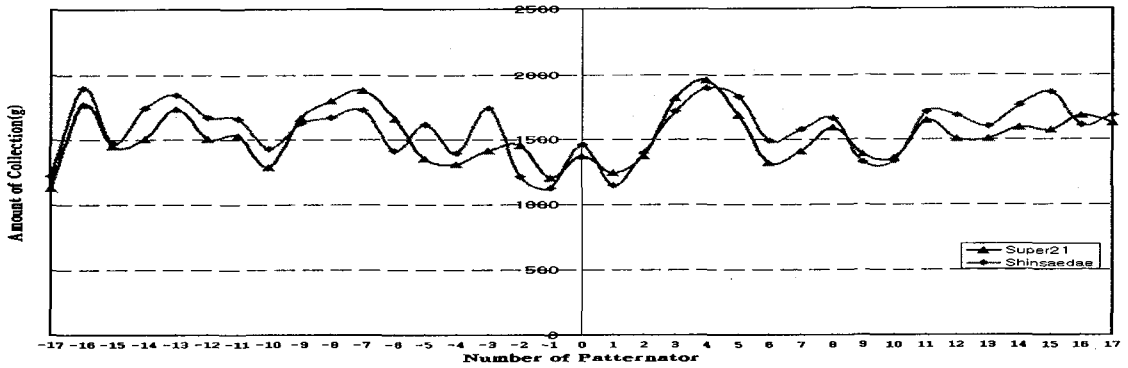


Fig. 13 The amount collection of 4set booms

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 정밀농업 위한 입제 변량살포기 개발을 위한 기초 연구로서 고속카메라를 이용하여 수평한 원형 불관에서 입제 비료의 이송 유형을 파악하고 입경별 이송속도와 살포패턴을 분석하고자 수행하였다.

1. 입제비료의 2mm, 3mm, 4mm, 5mm의 입경별로 5개의 입제를 선택하여 각 분두에서 측정된 평균속도 구한 결과, 분두1에서 입경별 속도는 7.3m/s에서 7.9m/s의 값을 보였으며 분두4에서는 3.7m/s에서 3.2m/s의 속도가 나타남을 알 수 있었다.

2. 입제비료가 각 분두를 지나면서 속도 강하를 살펴본 결과, 분두1에서 입제비료의 속도는 입경별로 7~8m/s 범위의 속도에서 출발하여 분두4의 위치에서는 속도가 3.2~3.8m/s까지 강하함을 알 수 있었다.

3. 불4Set를 장착한 전체 살포시스템에서 입제비료인 신세대와 슈퍼21을 가지고 살포한 결과 각각 CV값이 12.8%와 13.6%로 우수한 살포 균등도를 얻었다.

#### 5. 참고문헌

1. Shrikant V. Dhodapkar and George E. Klinzing 1992. Pressure fluctuations in pneumatic conveying systems. Chemical and Petroleum Engineering Department, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA 15261 (USA)
2. L. E. Bode, S. L. Peason. 1985. Equipment and calibration : Granular applicators. Circular No. 1240. Cooperative Extension Service, College of Agriculture, University of Illinois, Urbana.
3. Chung, C. J., S. O. Chung, Y. C. Chang, Y. S. Choi, 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-. J. of the Korean Society for Agricultural Machinery 22(2):127-136