

입제 비료 및 농약의 공기역학적 성질⁺

Aerodynamic Properties of Granular Agrichemicals

이 성 호*	이 중 용*	정 창 주*	이 채 식**
	정회원	정회원	정회원
S. H. Lee	J. Y. Rhee	C. J. Chung	C. S. Lee

ABSTRACT

Granule application with a boom has merits of accurate application and high field efficiency. In order to develop a boom granule applicator, aerodynamic properties of agrichemicals should be investigated. This study was accomplished to investigate aerodynamic properties of granules and factors affecting on them. The tested agrichemicals were urea, compound fertilizer (17-21-17), sand and zeolite.

Basic physical properties of granules such as true density, sphericity, and arithmetic mean diameter for those materials were analyzed.

Regression equations for pickup velocity (v_p) and saltation velocity (v_s) were proposed by the data transformation and the multi-regression analysis as follows:

$$\sqrt{\frac{v_p}{gD}} = 22.42 \left(\frac{D}{d_p}\right)^{-0.413} \left(\frac{\rho_p}{\rho_a}\right)^{0.157} (s)^{-0.43}$$

$$\frac{d_p v_s \rho_a}{\mu_a} = e^{11.7} (\lambda_l)^{0.27} \left(\frac{D}{d_p}\right)^{-0.69} \left(\frac{\rho_p}{\rho_a}\right)^{-0.32}$$

where, $0 < s < 1$, $0 < \lambda_l < 3$, $35 < D/d_p < 350$, $1000 < \rho_p/\rho_a < 2500$

The range of pickup velocity of fertilizers and other agrichemicals were shown to be 10~16m/s and 9~13m/s, respectively. The saltation velocity of fertilizer and other agrichemicals were 3 m/s and 4 m/s, respectively.

주요용어(Key Words): 부양속도(pickup velocity), 약동속도(saltation velocity), 입제(granule), 입제의 공기역학적 성질(Aerodynamic properties agrichemicals)

⁺ 본 연구는 교육부 1997년 학술연구 조성비(농업과학)에 의하여 지원되었음

* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부 농업기계전공

** 농촌진흥청 농업기계화연구소

1. 서 론

입체 농약은 액체 농약에 비하여 약효가 길고 인체나 가축에 피해가 적으며 종류가 다양하다는 장점을 가지고 있어 널리 사용되고 있다. 1995년 현재 농약 대비 입체 농약의 사용비율(무계비율)은 64.58%로서 높은 비중을 차지하고 있다.(농약공업협회, 1996) 비료의 경우는 유기질 비료를 제외하고는 화학비료의 100%가 입체 비료이다. 한편, 시비 및 방제 작업의 경우 단위면적에 투입되는 에너지(인력 + 축력 + 동력)중에서 인력이 차지하는 비율은 각각 78%, 81%로 대부분의 시비 및 방제 작업이 인력으로 이루어지고 있다. (농촌진흥청 농업경영관실, 1996)

최근 수도작의 시비 및 방제작업에 있어 이러한 인력 이용비율을 줄이고 편리하고 정밀하게 작업할 수 있는 송용관리기 부착용 불형 방제기가 도입단계에 있다. 본 연구에서는 송풍식 불형 입체 살포기 개발에 관한 기초 연구로서 첫째, 입체의 공기역학적인 기초 물성을 조사하고 둘째, 입체의 공기이송에 영향을 미치는 요인을 분석하고자 한다. 구체적으로 입체의 수평이송에 관해서는 입체의 직경, 입체의 밀도, 관의 직경 등의 요소들의 관계에 대한 모델식을 개발하여 불형 입체 살포기의 설계자료를 제공하는 것에 있다.

2. 연구사

입체의 공기역학적 성질로는 입체의 무게, 구형률, 밀도, 종말속도, 표면거칠기(surface roughness), 부양속도(pickup velocity), 약동속도(saltation velocity) 등을 들 수 있다. 구형률, 밀도, 표면거칠기, 크기 등은 항력계수에 영향을 미치며 종말속도는 수직 이동시에 부양속도와 약동속도는 수평이동시에 관계되는 물리적 특성이다.

Francisco(1994)는 입자의 부양속도와 약동속도를 정의하였다. 부양속도는 관내 유체의 속도가 증가함

에 따라 관벽에 놓인 입체가 부양될 때 유체 속도로 정의하며, 예측방정식을 식(1)과 같이 제안하였다.

$$\frac{v_p}{\sqrt{g d_p}} = 0.0428 Re_p^{0.175} \left(\frac{D}{d_p}\right)^{0.25} \left(\frac{\rho_p}{\rho_a}\right)^{0.75} \dots\dots (1)$$

단, $25 < Re_p \left(= \frac{\rho_a v_p d_p}{\mu_a} \right) < 5000$

$8 < (D/d_p) < 1340, 700 < (\rho_p/\rho_a) < 4240$

여기에서,

D : 이송관의 지름(diameter of duct) (m)

d_p : 입체의 지름(diameter of particle) (m)

g : 중력 가속도(gravity acceleration) (m/s²)

ρ_a : 공기의 밀도(mass density of gas) (m³/kg)

ρ_p : 입체의 밀도(mass density of particle) (m³/kg)

μ_a : 공기의 점성계수(coefficient of viscosity) (kg/(m · s))

v_p : 입체의 부양속도(pickup velocity of particle) (m/s)

약동속도는 부유상태(suspension)에 있던 입체가 유체 속도가 감소함에 따라 관벽에 낙하하여 구르거나 미끄러져 정지할 때의 유체 속도로 정의하였다.

Shrikant(1993)는 공기이송시스템에서 압력변화에 따른 입체 이송 형태를 그림 1과 같이 균질형(homogeneous type), 균질층형(stratified type), 불연속형(blowing dunes type), 침전층형(settled layer type)

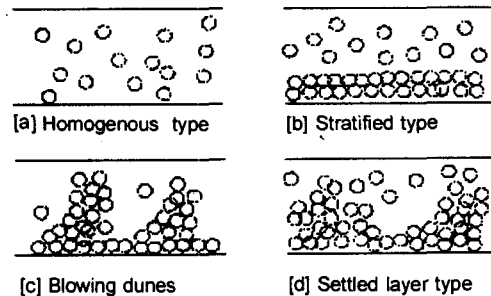


Fig. 1 Typical flow patterns of granule in air conveying system.

등으로 구분하였다.

Srivastava(1993) 등은 식(2)와 식(3)을 제시하여 시행오차법으로 입체의 종말속도 (v_t)를 구하는 방법을 제시하였다.

$$v_t = \left(\frac{4 g d_p \rho_p}{3 \rho_a (26.38 Re_p^{-0.845} + 0.49)} \right) \dots\dots\dots (2)$$

$$v_t = \frac{\mu_a Re_p}{\rho_a d_p} \dots\dots\dots (3)$$

정선옥(1997)은 각 분두마다 서로 다른 호퍼가 장착된 수도작용 송풍식 입체 살포기를 개발하였다. 이 연구에서 송풍식 입체살포기를 개발하는데 필요한 물성을 종말속도로 보았고, Srivastava의 종말속도에 예측식을 이용하여 구하였다. 입체의 진밀도는 측정된 산물밀도와 공극률이 2라는 가정으로 구하였다. 또한 가장 좋은 살포패턴을 가지는 분두를 선정하였고 적정 살포조건을 구명하였다.

3. 재료 및 방법

가. 입체의 기초 물성 측정

본 연구의 실험재료는 입체비료에는 요소비료(남해화학)와 복합비료(17-21-17,동부화학)가 사용되었고, 입체농약에는 유효성분이 포함되기전 상태의 모래(sand)와 zeolite가 사용되었다. 입체의 크기는 체

분석(mesh #:100, 60, 50, 40, 30, 20, 16, 14, 12, 10, 8)을 이용하여 구하였다. 체분석시 사용한 샘플량은 500g이었으며 진탕시간은 5분으로 정하였다. 입체의 진밀도는 100g의 입체를 300ml 아세톤($(CH_3)_2CO$) 용액에 넣어 발생하는 부피변화를 이용하여 구하였고, 산물밀도는 단위 질량의 입체를 다짐이 없이 메스실린더에 넣어 부피를 측정하여 구하였다. 구형률은 입체의 형상이 타원형이라는 가정과 영상현미경(Model MW200, 삼성)을 이용하여 측정된 투영단면적과 장축 및 단축의 길이를 이용하여 구하였다.

나. 입체의 부양속도와 약동속도 측정장치 구성

입체의 부양속도와 약동속도를 측정하기 위하여 그림 2와 같은 실험장치를 구성하였다. A는 약동속도 측정시에만 설치하였으며, B는 부양속도를 측정하기 위해 관내부에 입체를 쌓아 놓은 모습을 나타낸 것이다.

실험장치에서 사용된 송풍기는 3,750rpm으로 회전하는 2.24kW 모터에 의해 구동되며 풍량의 조절은 흡입구의 가리개를 이용하여 흡입구 면적을 조절함으로써 가능하게 하였다. 임펠러의 형식은 후향배인형이었다. 공기실은 파이프내 공기속도 분포를 균일하게 해주기 위하여 투명 아크릴을 재질로 50 × 50cm의 크기로 제작하였다. 공기실을 장착함

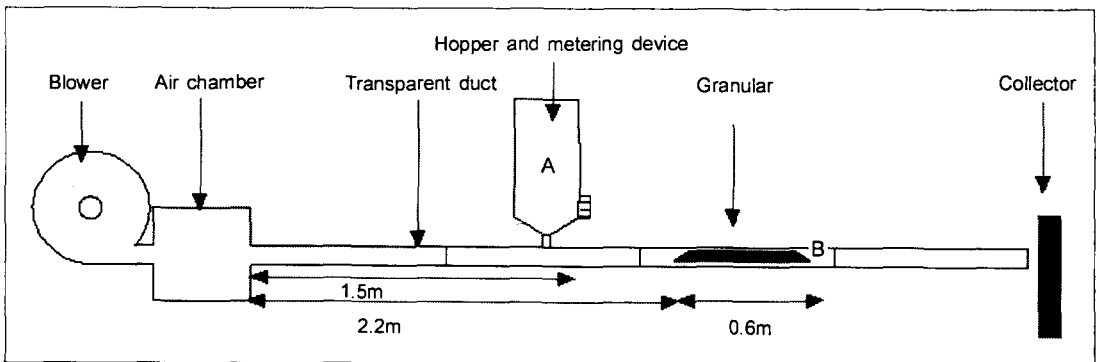


Fig. 2 Experimental setup for pickup and saltation velocity measurement.

으로 인한 파이프내 공기속도 분포도의 변화는 그림 3과 같다.

부양속도의 측정은 그림 2의 B와 같이 관내부에 입체를 임의의 높이까지 쌓아두고, 일정한 풍량을 공급해 주면 입체는 바람에 의해 계속 침식되다가 더 이상 침식되지 않는 평형상태에 이르게 된다. 이 때, 관 내부에서는 입체 위로 공기가 통과하는 면적과 풍량사이의 관계로부터 부양속도를 구할 수 있다.

약동속도는 부양속도와 달리 입체의 투하율(solid loading ratio, λ)에 매우 큰 영향을 받는다. 여기서 입체의 투하율은 단위시간당 공기의 공급량(mass flow rate of air)에 대한 단위시간당 입체의 공급량(mass flow rate of granule)의 비율이다. 입체의 투하는 입체배출량 조절장치를 이용하여 5수준으로 하였고, 약동속도는 각 입체투하율에서 개구비(흡입구의 열림면적과 흡입구의 총면적의 비율)를 조정함으로써

측정하였다. 본 연구에서는 원활한 입체 배출을 위해 입체배출량 조절장치를 개폐식으로 선택하였으며, 형상은 그림 4와 같다.

약동속도를 측정하기 위해서 송풍기 흡입구의 개구비를 조절하여 입자가 부유할 때부터 입자가 관 바닥으로 침전될 때의 풍량을 측도설정을 이용하여 구하였다. 측정된 풍속과 개구비는 전 구간에서 특정한 함수관계로 표현하기 어렵기 때문에, 임의의 측정된 풍속점을 포함하여 좌우 3개점을 이용하여 2차함수로 표현한 후 각 개구비별 풍속을 보간법에 의해 구했다. 풍량은 모든 지름의 관에 대해서 수평, 수직, 사선방향으로 1cm 간격으로 풍속을 측정하여 계산하였다. 파이프의 각각의 지름에 따른 개구비에 대한 풍량의 변화는 그림 5와 같으며, 풍속의 측정위치는 그림 6과 같다.

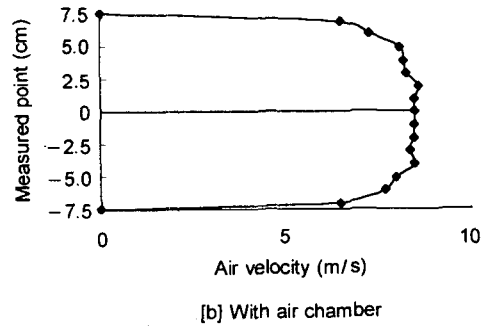
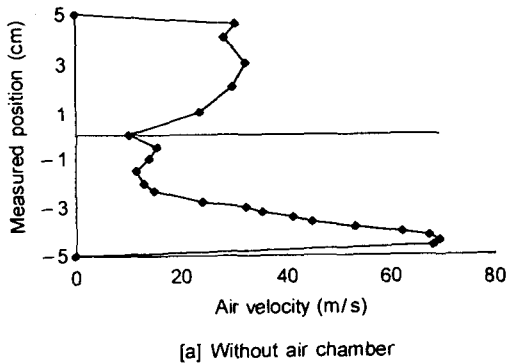


Fig. 3 Air velocity profiles at a section of duct with and without air chamber.

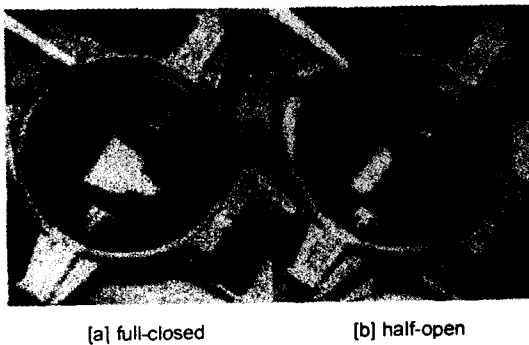


Fig. 4 Granule metering device.

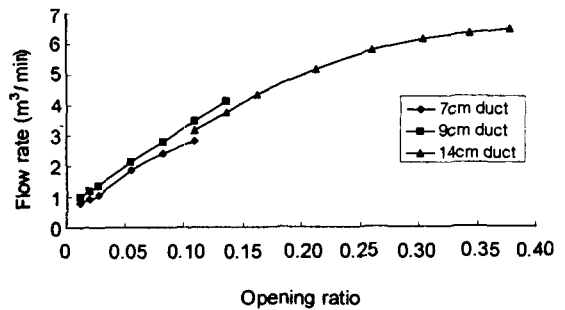


Fig. 5 The flow rate and velocity of the test fan with opening ratio.

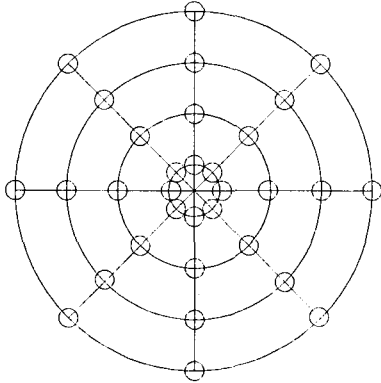


Fig. 6 Measurement point of air velocity in a tube section.

4. 결과 및 고찰

가. 입제의 수평 이송 현상에 대한 이론적 고찰

입제의 공기역학적 성질에 대한 예측식을 개발하기 위해서는 어떤 무차원 함수를 이용할지를 정해야 하므로 차원해석을 실시하였다. 차원해석에 포함시킨 인자로서는 파이프의 직경(D), 입제의 직경(d_p), 입제의 밀도(ρ_p), 공기의 밀도(ρ_g), 공기의 점도(μ_a), 중력(g)과 같이 기존 문헌에 보고된 인자와 본 연구진이 중요하다고 판단하는 입제의 구형률(s)이었다.

차원해석 결과 식(4)와 같은 무차원 함수로 표현

되었으며 무차원 함수는 예측식 개발에 이용되었다. 아래의 무차원 수는 첫째 항부터 Froude number, 입제의 밀도와 공기의 밀도의 비, 구형률, 관의 직경과 입제의 직경비, 입자 Reynold's number이다.

$$f \left(\frac{v_g}{\sqrt{gD}}, \frac{\rho_p}{\rho_g}, s, \frac{D}{d_p}, \frac{d_p v_a \rho_a}{\mu_a} \right) = 0 \dots\dots (4)$$

나. 공기역학적 성질에 관계되는 기초적 물성

입제의 크기에 대한 체분석 결과 입제의 평균직경 (D_{10})은 요소가 1.48mm, 복합비료가 2.31mm, 모래가 0.7mm, Zeolite가 0.86mm였다. 진밀도, 산물밀도, 공극비는 표 1과 같다. 입경의 뒳수 분포곡선을 계급적으로 normalize 하고 입경을 log scale로 나타내면 그림 7과 같이 요소, 모래, Zeolite의 입경분포는 비교적 대칭형태의 정규분포를 나타냈으며, 복합비료의 입경분포는 입경이 큰 쪽으로 치우친 형상이 나타났다.

입제의 진밀도는 모래, Zeolite, 복합비료, 요소비료 순으로 컸고 산물밀도 역시 같은 경향을 가지고 있다. 산물밀도와 진밀도 비율을 보면 모래, 복합비료, Zeolite, 요소의 순으로 크게 났으며 공극비는 이와 반대로 요소, Zeolite, 복합비료, 모래 순서로 크게 나타났다. 입제의 구형률은 표 2에 나타내었다.

Table 1 True and bulk density of granule

Granule	Urea	Compound	Sand	Zeolite
Density				
Ture density (A, kg/m ³)	1,250	1,670	2,500	1,720
Bulk density (B, kg/m ³)	800	900	1,330	980
Void ratio	0.563	0.856	0.880	0.755
Ratio (B/A)	0.640	0.539	0.532	0.570

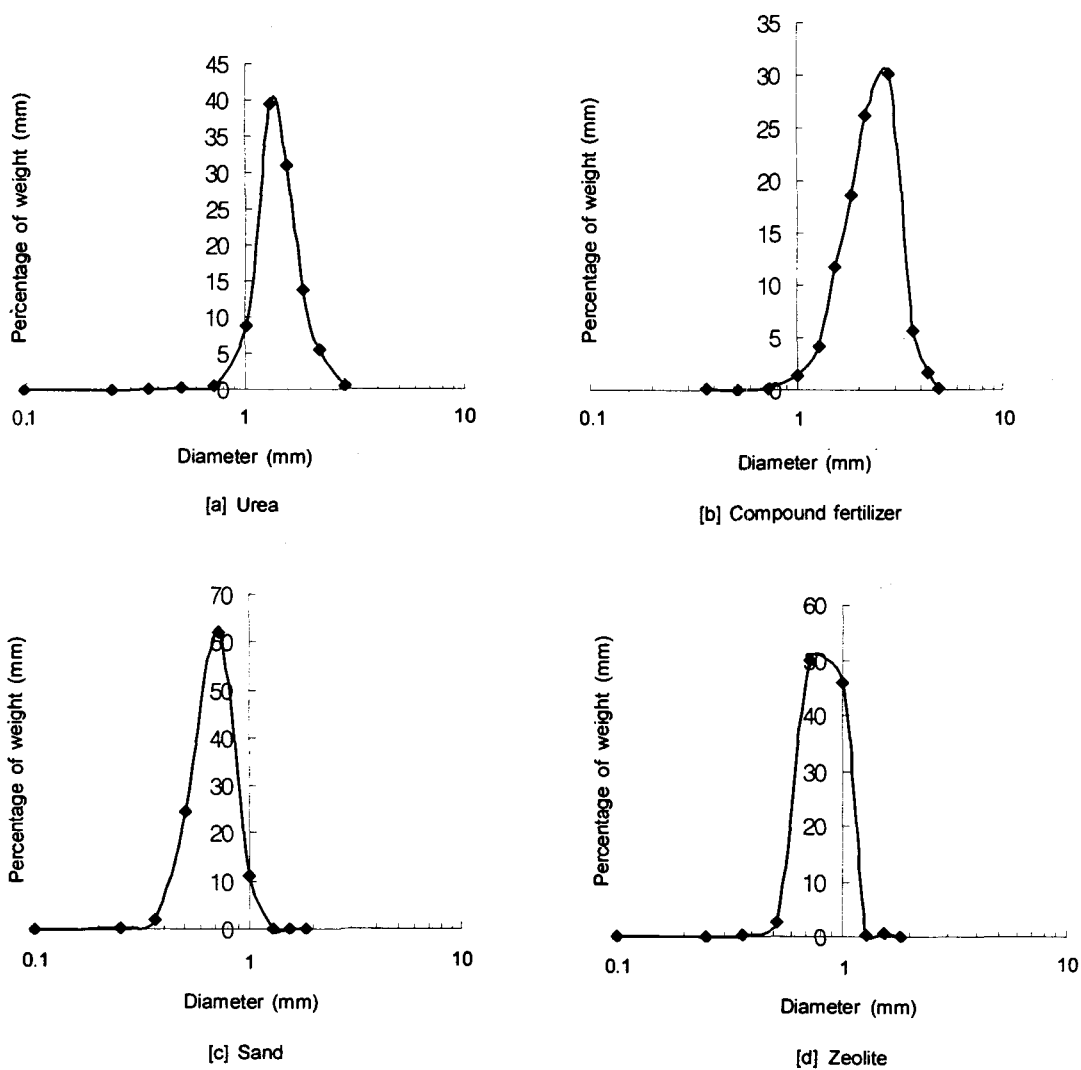


Fig. 7 Size distribution of granules.

Table 2 Mean and range of granule sphericity

sphericity \ Granule	Urea	Compound fertilizer			Zeolite	Sand
		Gray	Red	White		
Mean	0.935	0.773	0.926	0.882	0.678	0.743
Range	0.89 ~ 0.99	0.81 ~ 0.91	0.85 ~ 0.99	0.73 ~ 0.99	0.46 ~ 0.78	0.42 ~ 0.97

다. 입제의 공기역학적 성질

1) 입제의 부양속도

관내로 흐르는 일정한 유체의 풍량으로 높이가 일정해진 입제의 높이를 측정하여 부양속도를 구하였다. 측정된 입제의 부양속도와 식(1)에 의한 예측값을 비교한 결과를 그림 8에 나타내었다. 예측값과 측정값의 SEP(Standard Error of Prediction)는 요소비료가 1.25, 복합비료가 2.71, Zeolite가 0.72, 모래가 1.24로 비교적 큰 오차를 나타내었다.

따라서 본 연구에서는 구형률을 새로운 변수로 포함시켜 새로운 모델식을 개발하였다. 식 (5)의 결정계수(R²)는 0.73 이었고 유의확률은 0.01% 이었다. 그림 9는 식(5)를 이용한 예측값과 측정값을 비교한 것으로 그림 8에 비하여 정확한 예측이 가능했다. 그림 9에서는 복합비료의 구형률의 대표값을 구하기 어려웠기 때문에 부양속도를 표기하지 않았다.

$$\frac{v_p}{\sqrt{gD}} = 22.42 \left(\frac{D}{d_p}\right)^{-0.413} \left(\frac{\rho_p}{\rho_a}\right)^{0.157} s^{-0.43} \dots\dots (5)$$

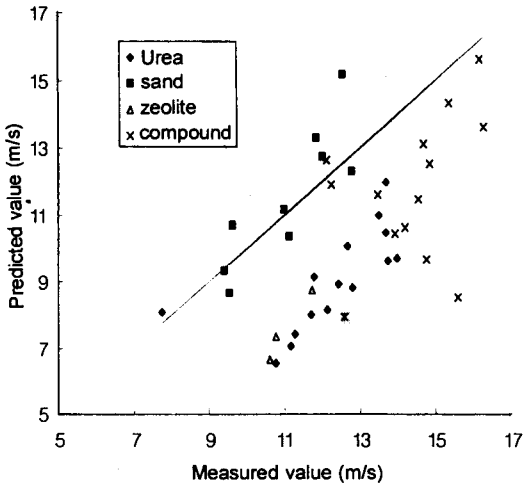


Fig. 8 Comparison of measured pickup velocities of granule to predicted values by Francisco (1994).

여기에서, $0 < s < 1$, $35 < D/d_p < 350$,

$$1000 < \rho_p/\rho_a < 2500$$

본 연구를 통해서 새롭게 개발된 식의 특징은 Re_p (Particle Reynold's Number)가 독립변수에 포함되지 않고 구형률이 고려되었다는 점이다. 본 연구에서 입자의 레이놀드 수는 34에서 2,180의 범위를 나타내고 있으나 이 범위에서 Re_p 는 유의확률이 50% 이상으로 유의성이 매우 낮은 것으로 나타났기 때문에 Re_p 는 제외되었다.

개발된 식을 기초로 부양속도에 영향을 미치는 인자는 관의 직경의 비(유의확률 0.01%), 구형률(유의확률 10%), 밀도비(유의확률 19%) 순으로 나타났다. 즉 입제의 부양속도에 가장 많은 영향을 미치는 것은 관의 직경이었고 그 다음으로는 입제의 형상(구형률)과 밀도 순으로 부양속도에 영향을 미치고 있었다.

2) 입제의 약동속도

그림 10는 투하율과 약동속도의 관계를 그래프로 나타낸 것이다. 입제투하율이 0.1까지는 약동속도가 크게 변하지 않다가 입제투하율이 0.2~0.4 정도 사이에서는 급격히 증가하게 되며 0.4~0.5 사이에서는 약동속도가 완만하게 증가하였다. 일반적으로 입제를

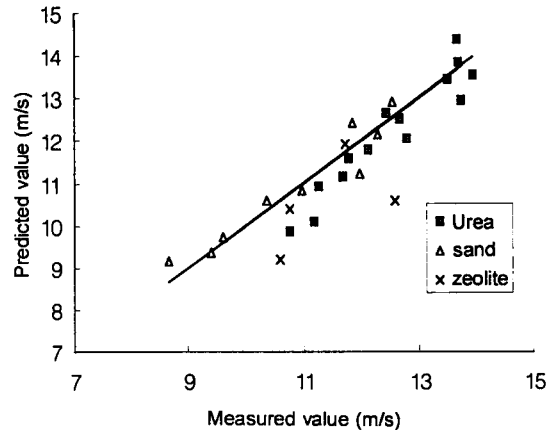


Fig. 9 Comparison of measured pickup velocities to predicted values by developed Eq. 5.

투하시키지 않은 상태에서 관내 공기속도는 입체로 인한 저항이 없기 때문에 빠르지만, 입체가 투하되면 입체의 저항으로 실제 공기의 속도는 감소하게 된다. 이러한 속도 차이는 본 연구에서 측도설정을 통하여 구하였기 때문에 발생한 것으로 판단되며, 입체의 투하율이 증가할수록 약동속도는 급격하게 증가하게 된다. 이러한 경향은 투하율이 0.4 정도까지 유지되다가 0.4 이상이 되면 약동속도의 증가율은 감소하게 된다. 그 이유는 입체의 관내 이송형태가 균질형(부유상태)에서 균질층형이나 불연속형으로 바뀌면서 공기저항이 상대적으로 작아지게 때문으로 판단된다.

약동속도의 데이터를 이용하여 개발한 예측 방정식은 식(6)과 같았고 그림 11에서는 측정값과 예측값을 비교하였다. 식(6)의 결정계수는 0.845였으며, 유의수준은 0.01%로 유의성이 높았다.

$$\frac{d_p v_s \rho_a}{\mu_a} = e^{11.7} (\lambda_i)^{0.27} \left(\frac{D}{d_p}\right)^{-0.69} \left(\frac{\rho_p}{\rho_a}\right)^{-0.32} \dots (6)$$

여기에서, $0 < \lambda_i < 3$, $35 < D/d_p < 350$,
 $1000 < \rho_p/\rho_a < 2500$

약동속도는 부양속도와는 달리 입체의 구형률에 큰 영향을 받지 않았으며 입체의 구형률은 유의확률

이 70% 이상 되어 유의성이 매우 작았다. 반면에 입체의 투하율 및 직경비는 유의확률이 0.01%로서 충분히 작으므로 유의성이 매우 컸다. 또한 밀도비 역시 유의확률이 0.03%로서 투하율이나 직경비보다 작았지만 충분한 유의성을 가지고 있었다.

이를 정리하면 약동속도는 입체 직경의 크기에 반비례한다는 것을 알 수 있다. 식(6)에 의하면 약동속도는 입체 직경의 -0.31승에 비례한다. 다른 조건들이 일정하다고 가정할 때, 입체의 크기가 크면 클수록 약동속도는 작아지고 입체의 크기가 작으면 작을수록 약동속도는 커진다는 것을 알 수 있다. 이것은 입체의 직경이 큰 입자일수록 바람에 의하여 큰 저항을 받기 때문에 공기흐름에 따라 쉽게 부유할 수 있지만, 입자가 작을수록 입체가 받는 저항력이 약하여 쉽게 관벽에 떨어지기 때문인 것으로 판단된다.

입체의 밀도는 식(6)을 볼 때 반비례하고 있는 것처럼 보이지만 두 번째 항인 투하율에 입체의 질량과 밀도항이 포함되어 있으므로 약동속도는 밀도항의 -0.05승에 비례한다고 볼 수 있다. 그러나 이 값은 매우 작기 때문에 밀도는 약동속도에 큰 영향을 끼치지 않는다고 판단할 수 있다. 투하량은 약동속도에서 가장 중요한 인자중 하나이며 투하량의 0.27승에 비례하고 있다.

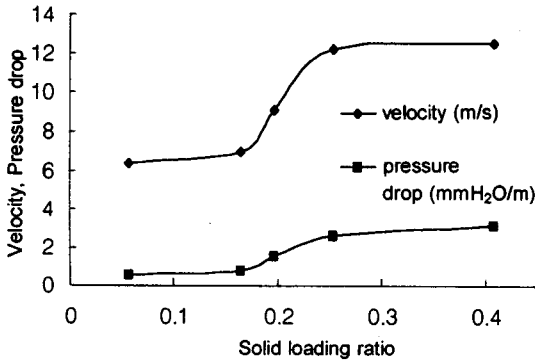


Fig. 10 Saltation velocity and pressure drop of compound fertilizer as a function of solid loading ratio, in a pipe of 9cm diameter.

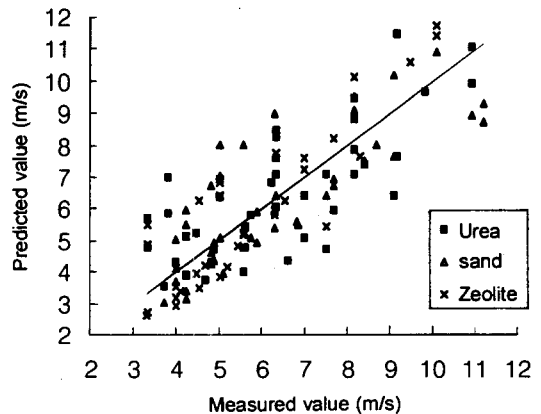


Fig. 11 Comparison of measured values to predicted values by developed Eq. 6.

라. 봄살포기 설계시 고려 사항

이 연구에서 측정된 입체의 평균직경, 밀도, 구형률과 부양 및 약동 속도 예측식을 이용하여 관 직경의 크기 변화 (0.05~0.3 m)에 따른 부양속도와 약동속도를 그림 12에 나타내었다. 그림 12에서 비료는 380 kg/ha, 농약은 30 kg/ha을 살포하며, 작업기의 전진속도는 1.1m/s, 봄의 길이는 8m, 송풍기의 풍량은 14m³/min, 비료의 투하율은 0.33, 농약의 투하율은 0.026로 가정하였다.

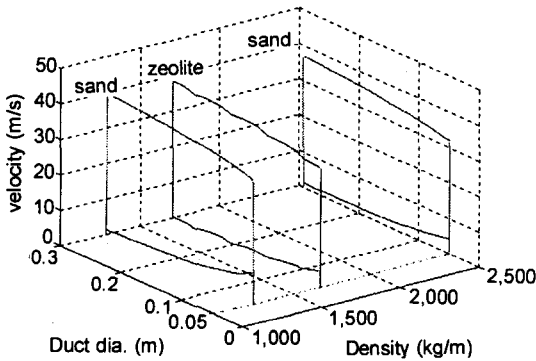


Fig. 12 Pickup and saltation velocity with change of density and duct diameter.

본 연구에 의하면 요소, zeolite, 모래의 부양속도는 각각 11.2~13.1m/s, 10.8~12.6m/s, 10.1~11.8m/s의 범위로 나타났으며 약동속도는 3.5~10.8m/s, 1.6~5m/s, 1.6~4.8m/s 범위로 나타났다. 봄형 송풍식 입체 살포기의 경우 입체가 봄에서 안정적으로 이송되고 분배되기 위해서는 부양속도 범위 내에서 풍속이 유지되어야 함으로 10~13m/s의 풍속이 공급되어야 한다고 판단할 수 있다. 송풍기의 용량이 작을 경우 송풍관의 직경이 작은 것이 유리하나 송풍관의 직경은 균등살포를 위해 부착될 분두(blow head)나 반사판(deflector)의 크기와 함께 고려되어야 할 것으로 판단된다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 입체의 공기역학적 성질에 관여하는 직경, 밀도, 구형률 등의 기초적인 물리적 성질을 측정하였고 입체의 크기별, 밀도별, 이송관의 직경별로 부양속도와 약동속도를 측정하여 예측식을 개발하였다. 본 연구의 주요결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 입체 비료의 부양속도의 범위는 10~16m/s, 약동속도는 3m/s 이상, 입체농약의 부양속도는 9~13m/s, 약동속도는 약 4m/s 이상이었다.
2. 입체의 구형률은 요소비료 0.945, 복합비료 평균 0.860 (3가지 종류 입체의 산술평균), 모래 0.743, Zeolite 0.678 이었으며, 산술평균직경은 요소 1.48 mm, 복합비료 2.31mm, 모래 0.7mm, Zeolite 0.86mm 이었다. 또한 입체의 진밀도를 측정한 결과 요소 1,250 kg/m³, 복합비료 1,670kg/m³, 모래 2,500kg/m³, Zeolite 1,720kg/m³ 이었다.
3. 농용입체의 부양속도를 예측할 수 있는 방정식을 새롭게 개발하기 위하여 이론적인 분석을 통하여 변수를 설정하고, 다중회귀분석을 한 결과 다음과 같은 부양속도 예측식을 구하였다.

$$\frac{v_p}{\sqrt{gD}} = 22.42 \left(\frac{D}{d_p} \right)^{-0.413} \left(\frac{\rho_p}{\rho_a} \right)^{0.157} s^{-0.43}$$

여기에서, $0 < s < 1$, $35 < D/d_p < 350$, $1000 < \rho_p/\rho_a < 2500$

입체비료의 부양속도는 Re_p 의 영향이 거의 없었고 구형률(sphericity)에 큰 영향을 받고 있었다. 부양속도에 유의성이 높은 변수는 직경비(D/d_p), 구형률(s), 밀도비(ρ_p/ρ_a) 순서로 나타났다.

4. 부양속도와 같은 방법으로 약동속도에 대한 예측 모델식을 개발하였다. 구형률은 약동속도에 영향을 미치지 않았으며 직경이 크면 클수록 약동속도는 작아졌고, 투하율이 증가할수록 약동속도는 증가하였고, 밀도는 큰 영향을 끼치지 않았다. 약동속도에서는 Froude number가 유의성이 없었다. 유의성은 입체의 투하율과 직경비(D/d_p)가 유의확률이 0.01% 가장 높았고, 그 다음으로 밀도비(ρ_p/ρ_a)가 0.03%

로 나타났다.

$$\frac{d_p v_s \rho_a}{\mu_a} = e^{11.7} (\lambda_i)^{0.27} \left(\frac{D}{d_p}\right)^{-0.69} \left(\frac{\rho_p}{\rho_a}\right)^{-0.32}$$

여기에서, $0 < \lambda_i < 3$, $35 < D/d_p < 350$,
 $1000 < \rho_p/\rho_a < 2500$

6. 참고 문헌

1. 농약공업협회. 1996. 농약연보. 농약공업협회.
2. 농촌진흥청 농업경영관실. 1996. 작목별 작업단
 계별 노동력 투하시간. 농촌진흥청.
3. 정선옥. 1997. 수도작용 송풍식 입제살포기 개발.
 서울대학교 대학원 석사학위 논문.
4. Srivastava A. K., et al. 1993. Engineering principles
 of agricultural machines. USA. ASAE publisher.
5. Francisco, J. Cabrejos, et al. 1994. Pickup and
 saltation mechanisms of solid particles in horizontal
 pneumatic transport. Powder Technology, 79:173-
 186.
6. Shrikant, V. Dhodapkar, et al. 1993. Pressure
 fluctuations in pneumatic conveying systems. Powder
 Technology, 74:179-195.

“21세기 동북아시아 농업발전 국제학술회의” 참가 안내

- 일 정 : 98년 8월 10일 ~ 8월 13일
 8. 10 (등록), 8. 11 (논문발표), 8. 12 (현지견학), 8. 13 (논문발표)
- 장 소 : 중국 심양
- 주 관 : 중국 요녕성 민족과학자협회
- 숙박비 : 1일당 1 room당 380인민폐
- 학술대회 등록비 : 8월 9일 이전 국외대표 US\$250, 학생 US\$150, 가족 US\$100
 8월 9일 이후 국외대표 US\$300, 학생 US\$170, 가족 US\$120
 등록비에는 논문집, 회의실비, 시내교통비, 회의기간중 식비가 포함되어 있음.
- 항공료 : 심양학술대회 (8/10 ~ 8/14) : 414,400원
 심양학술대회 + 북경관광 (8/10 ~ 8/16) : 610,200원
 심양학술대회 + 백두산관광 (8/10 ~ 8/17) : 650,800원
- 안 내 : 대회참가 : 한국농림수산과학협회 사무국 (☎ 0331-290-2011)
 여행사항 : 그린레저여행사 유춘경 (☎ 02-771-5444)