

# 垂直形 로터리 撒布機에 의한 肥料粒子的 運動

## Particle Motion of a Vertical Rotary Distributor for Granular Material

成 敏 基\* 朴 濟 傑\* 崔 昌 鉉\*\*  
M. K. Sung, J. G. Park, C. H. Choi

### Summary

The performance of a vertical type centrifugal distributor of granular materials was studied by means of mathematical models and experimental investigations. To develop the mathematical description of particle motion, some assumptions were made. The distribution process consisted of three stages: the entrance of a particle to the blade, the motion of the particle on the blade, and the motion of the particle in the air.

The physical properties of fertilizer, which affected the particle motion, were investigated: bulk density, coefficient of friction, coefficient of restitution, and particle size distribution. The particle motion were simulated by using a computer. A prototype distributor was designed and constructed for experimental tests.

The following conclusions were drawn from the computer simulation and experiment results.

1. The fertilizer may slide or roll at the point of contact when they impact on the blade and move along the blade.
2. The interaction among fertilizers may prevent them from bouncing.
3. When fertilizers roll on the blade, rolling resistance is one of the factors affecting the particle's motion.
4. The trajectory angle and position of fertilizers from a disc depend on the blade position and particle shape, but the rotating speed of the disc affected them only slightly.

### 1. 緒 論

작물에 충분한 영양분을 공급하고 收穫量을 증가하기 위하여 肥料를 지면 또는 땅속에 적당량을 撒布 또는 壓入하는데 施肥機가 사용되고 있다. 작물의 성장상태에 따라 肥料의 살포시기와 撒布량을 조절함으로써 에너지의 손실을 방지하고 작업효율을 향상시킬 수 있다. 경비의 절감과 생산성의 향상을 위해서는 적정한 비료의 균일한 撒布와 살

포위치가 요구된다. 보다 넓은 작업폭으로 균일한 산포를 위하여 液劑나 粉末劑의 비료가 점차 粒狀肥料로 대체되고 있다. 입상비료의 撒布에서 遠心力을 이용한 로터리식 撒布機가 많이 사용되고 있다. 일반적인 로터리식 撒布機는 회전하는 원판에 날개부착시킨 水平形 로터리 撒布機이다. Patterson과 Reece<sup>6)</sup>는 회전하는 圓板의 중심부분에 공급되는 입자의 미끄럼운동과 구름운동에 관하여 연구하였으며, Inns와 Reece<sup>5)</sup>는 粒狀肥料의 공급시 원

\*建國大學教 農科大學 農業機械工業科

\*\*成均館大學教 農科大學 農業機械工業科

판의 중심부분에서 일정한 거리를 유지한 粒子的 落下運動에 대하여 조사하였다. Cunningham<sup>1)</sup>은 진행방향으로 고정된 直線形과 曲線形 날개, 圓錐形의 스피너(spinner)를 이용하여 수직 평면상에서 입자의 운동과 입자의 수평 및 수직 속도에 관하여 연구하였다. Whitney 등<sup>2)</sup>은 수평형 撒布機에 비하여 垂直形 撒布機가 보다 넓은 작업폭이 얻어지는 것을 발견하였으며, Galili와 Shteingauz<sup>3)</sup>은 수직형 로터리 살포기의 直線形, 圓弧形, 螺旋形의 날개 위에서 粒子的 미끄럼운동에 관하여 연구하였다.

많은 연구자들이 입자의 형태와 날개의 위치에 따라 排出口의 撒布速度와 입자의 射出角을 산출하였으나 경우에 따라 많은 誤差를 보여주었다. 일반적으로 각 비료입자와 형태를 理想的 球形으로 가정하여 실제 비료의 운동을 연구하였으므로 로터리식 살포기의 수학적 모델은 실제 肥料粒子的 運動 상태를 정확히 豫測하지 못하였다. 따라서 본 研究의 目的은 다음과 같다.

- 1) 垂直形 로터리 撒布機의 작업효율의 向上을 위한 설계조건을 提示하기 위하여 수학적 모델을 개발하여 作動狀態를 檢討하고,
- 2) 수직형 로터리 살포기를 제작하여 實驗을 통하여 수학적 모델을 檢證하는데 있었다.

## 2. 수학적 모델

살포기에 공급되는 粒狀肥料은 날개를 떠나기 전까지는 날개 위에서 튀어오름, 미끄럼 또는 구름현상을 보여준다. 일반적으로 날개 위의 粒子是 다음과 같은 조건 아래에서 움직이게 된다.

- 1) 비료입자는 回轉圓板에 계속적으로 공급된다.
- 2) 비료입자는 회전원판에 대량으로 공급되며 날개가 회전하는 동안 供給量의 일부분이 날개와 接觸하게 된다.
- 3) 비료입자의 大量供給은 입자의 운동에 相互影響을 주므로 입자의 튀어오름과 구름현상이 減少된다.
- 4) 비료입자와 날개 간의 충돌은 입자의 形態變化와 튀어오름을 誘發시킨다.
- 5) 날개 위의 비료입자는 遠心力, 重力, 摩擦力,

코리올리힘(coriolis force), 구름저항, 공기저항을 가진다.

살포기 내에서 비료입자의 운동은 회전날개로 비료입자의 流入, 날개 위에서 입자의 운동, 撒布時 공중에서 입자의 운동으로 구분될 수 있다. 각 단계별 입자의 운동을 수학적 모델로 개발하기 위하여 다음과 같이 假定하였다.

- 1) 공급된 肥料의 운동은 각 粒子的 運動형태와 동일하다.
- 2) 비료입자가 날개를 따라 움직일 때 공기의 抵抗과 重力은 무시하였다.
- 3) 비료가 오리피스(orifice)로부터 공급될 때 流入口에서 입자간의 干涉이 발생한다.

### 가. 회전날개로 입자의 流入

肥料가 회전날개로 공급될 때 粒子是 튀어오름, 미끄럼, 구름현상을 보여준다. 공급되는 입자의 運動은 회전날개와 충돌현상으로부터 설명될

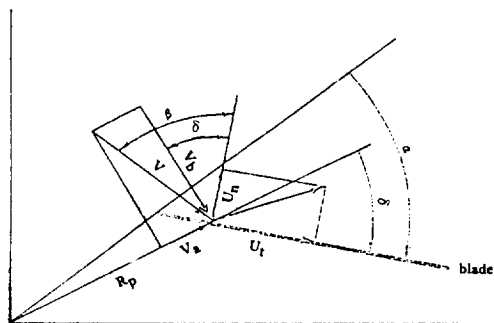


Fig. 1. Particle-blade impact

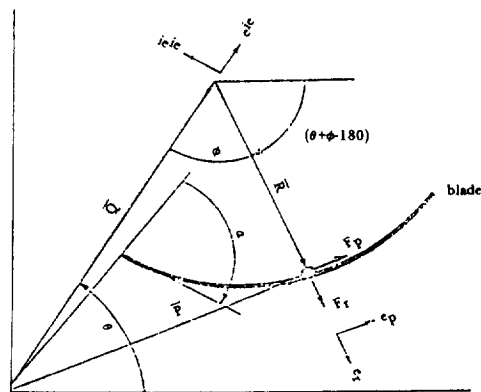


Fig. 2. Particle motion on a blade

수 있다. Timoshenko와 Young<sup>8)</sup>에 의하면 날개와 충돌 후에 球形 粒子的 접선방향 속도는 그림 1에서 보는 것과 같이 아래 식으로 나타낼 수 있다.

$$U_t = \frac{5}{7} V \sin \beta \text{ for } f > \frac{2}{7(1+e)} \tan \beta \dots\dots\dots(1)$$

$$U_t = V \{ \sin \beta - f(1+e) \cos \beta \}$$

$$\text{for } f < \frac{2}{7(1+e)} \tan \beta \dots\dots\dots(2)$$

여기서,  $\beta$  = 입자의 射出角  
 $V$  = 충돌전 회전날개에 대한 입자의 相對速度  
 $f$  = 마찰 계수  
 $e$  = 반발 계수

식 (1)과 (2)는 비로가 날개 위에 蓄積되지 않을 때 사용될 수 있다. 만약 비로입자가 날개 위에 쌓이게 되면 입자는 날개와 충돌하지 않으므로 입자의 接線方向 速度는 아래와 같다.

$$U_t = 0 \dots\dots\dots(3)$$

나. 날개 위에서 입자의 운동

날개 위의 입자가 튀어 오르지 않고 일정한 속도로 회전하는 날개를 따라 움직일때 입자의 위치벡터는 그림 2의 回轉中心에서 입자까지의 벡터 P로 표시되며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\vec{P} = \vec{Q} + \vec{R}$$

$$= Qe^{i\theta} + Re^{i(\theta + \phi - 180)} \dots\dots\dots(4)$$

여기서,  $Q$  = 回轉中心에서 運動體의 中心點까지의 거리  
 $R$  = 運動體의 中心點부터 입자까지의 거리  
 $\theta$  = 圓板의 回轉角  
 $\phi$  =  $\vec{Q}$ 와  $\vec{R}$  벡터의 사이각

回轉中心부터 運動體의 中心點까지의 거리  $Q$ 는 일정하므로 식 (4)를 원판의 회전각  $\theta$ 에 대해 미분을 하면 :

$$\frac{dP}{d\theta} = \left( \frac{dR}{d\theta} - Q \sin \phi \right) e_r + \left\{ R \left( 1 + \frac{d\phi}{d\theta} \right) - Q \cos \phi \right\} e_\phi \dots\dots\dots(5)$$

여기서,  $e_r = e^{i(\theta + \phi - 180)}$  : 운동입자의 法線方向 단위벡터  
 $e_\phi = i e^{i(\theta + \phi - 180)}$  : 운동입자의 接線方向 단위벡터

식 (5)를 다시 회전각  $\theta$ 에 대해 미분을 하면 :

$$\frac{d^2P}{d\theta^2} = \left\{ \frac{d^2R}{d\theta^2} - R \left( 1 + \frac{d\phi}{d\theta} \right)^2 + Q \cos \phi \right\} e_r + \left\{ R \frac{d^2\phi}{d\theta^2} + 2 \frac{dR}{d\theta} \left( 1 + \frac{d\phi}{d\theta} \right) - Q \sin \phi \right\} e_\phi \dots\dots(6)$$

날개의 회전속도가 일정하므로 입자의 위치벡터를 원판의 회전각  $\theta$  대신, 시간  $t$ 에 대해 미분하면 식 (5)와 (6)으로부터 입자의 速度와 加速度를 구할 수 있다.

$$V = \frac{dP}{dt} = \omega \frac{dP}{d\theta}$$

$$a = \frac{d^2P}{dt^2} = \omega^2 \frac{d^2P}{d\theta^2} \dots\dots\dots(7)$$

뉴턴의 제 2 운동 법칙을 이용하면 입자의 운동방정식은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$m\omega^2 \left\{ \frac{d^2R}{d\theta^2} - R \left( 1 + \frac{d\phi}{d\theta} \right)^2 + Q \cos \phi \right\} = F_r$$

$$m\omega^2 \left\{ R \frac{d^2\phi}{d\theta^2} + 2 \frac{d\phi}{d\theta} \left( 1 + \frac{d\phi}{d\theta} \right) - Q \sin \phi \right\} = F_\phi \dots\dots(8)$$

法線反力  $R_n$ , 接線力  $F_\phi$ , 비로입자의 형태에

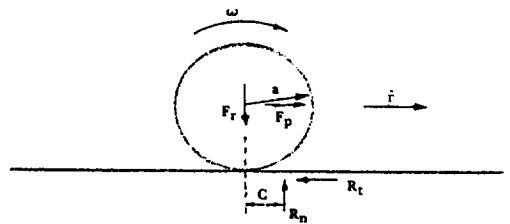


Fig. 3. Mode of particle motion on a blade

따라 날개 위의 입자는 미끄럼현상 또는 구름현상을 나타낸다. 만약  $F_p$ 가  $f \cdot R_n$ 보다 작으면 限界摩擦에 도달하지 않으므로 미끄럼현상은 발생하지 않으나  $F_p$ 가  $f \cdot R_n$ 보다 크거나 같게 되면 摩擦에 도달되어 미끄럼현상이 일어난다(그림 3).

1) 미끄럼 현상이 일어나지 않을 때

입자가 理想的 球形的 剛體일 경우에는 구름저항이 없으나 비로입자는 彈性體이며 形態가 불규칙하므로 구름저항을 고려하여야 한다. 구름저항 계수는 작용하는 하중, 반지름, 구름속도에 따라 변화되나 일정하다고 가정하였다. 비로입자가 운동할 때 그림 3에서 보는 것과 같이  $F_p$ 는 진행방향으로 일정한 속도를 유지하는데 필요한 힘을 나타낸다. 그림 3으로부터 다음과 같은 관계식을 구할 수 있다.

$$F_r = R_n$$

$$F_p = R_t$$

$$a R_t + a I - c R_n = 0$$

따라서,

$$F_p = -0.4m\ddot{r} + \epsilon F_r \dots\dots\dots(9)$$

여기서,  $R_t$  = 接線反力

$R_n$  = 法線反力

$\alpha$  = 입자의 角加速度

$m$  = 입자의 質量

$f$  = 線加速度

$I$  = 質量 慣性모멘트

$\epsilon = \frac{\text{구름저항 계수 } (c)}{\text{입자의 반지름 } (a)}$

식 (9)를 식 (8)에 대입하면, 입자의 구름운동 방정식은 다음과 같다.

$$1.4 R \frac{d^2\phi}{d\theta^2} + 2 \frac{dR}{d\theta} \left(1 + \frac{d\phi}{d\theta}\right) - Q \sin \phi - \epsilon \left\{ \frac{d^2R}{d\theta^2} - R \left(1 + \frac{d\phi}{d\theta}\right) + Q \cos \phi \right\} = 0 \dots\dots(10)$$

2) 미끄럼현상이 발생할 때

입자의 구름현상과 미끄럼현상이 동시에 발생할

때 그림 3 으로부터 다음과 같은 관계식을 구할 수 있다.

$$F_p = f \cdot F_r \dots\dots\dots(11)$$

식 (11)을 식 (8)에 대입하면, 입자의 미끄럼운동 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{m\omega^2 \left\{ \frac{d^2R}{d\theta^2} - R \left(1 + \frac{d\phi}{d\theta}\right) + Q \cos \phi \right\}}{m\omega^2 \left\{ R \frac{d^2\phi}{d\theta^2} + 2 \frac{dR}{d\theta} \left(1 + \frac{d\phi}{d\theta}\right) - Q \sin \phi \right\}} = \frac{1}{f} \dots\dots(12)$$

3) 입자간의 相互作用

날개의 회전과 비로의 대량공급으로 날개의 流入部에서 발생하는 입자간의 相互作用은 입자의 구름현상과 튀어오름현상을 減少시킨다. 따라서 입자간의 干涉은 입자의 미끄럼 현상을 誘發하게 된다.

① 直線形 날개

直線形 날개를 사용할 때 식 (6)의 변수  $Q$ ,  $\phi$ ,  $e_r$ ,  $e_p$ 는 그림 4에 표시된  $R_1$ ,  $180^\circ + \alpha$ ,  $e_r$ ,  $-e_r$ 로 각각 代置할 수 있으며 입자의 운동방정식은  $R$ 과  $\theta$ 의 함수로 나타낼 수 있다. 날개 위의 입자가 구름운동을 할 때 식 (10)은 다음 식과 같이 간단히 표시된다.

$$1.4 \frac{d^2R}{d\theta^2} + 2 \epsilon \frac{dR}{d\theta} - R = R_1 (\cos \alpha - \epsilon \sin \alpha) \dots\dots(13)$$

날개 위의 입자가 미끄럼운동을 할 때 식 (12)로부터 아래와 같은 관계식을 유도할 수 있다.

$$\frac{d^2R}{d\theta^2} + 2 f \frac{dR}{d\theta} - R = R_1 (\cos \alpha - f \sin \alpha) \dots\dots(14)$$

2차 선형 미분 방정식인 식 (13)과 식 (14)의 一般解는 다음과 같다.

$$R = B e^{s_1 \theta} + D e^{s_2 \theta} + \frac{C}{s_1 s_2} \dots\dots\dots(15)$$

여기서,  $s_1, s_2 = -f \pm (f^2 + 1)^{0.5}$  : 미끄럼운동

$$s_1, s_2 = \{-\epsilon \pm (\epsilon^2 + 1.4)^{0.5}\} \frac{1}{1.4}$$

: 구름운동

$$C = \frac{R_1 \cos \alpha - f R_1 \sin \alpha}{s_1 s_2}$$

상수 B와 D는 입자의 初期條件으로부터 구할 수 있다. 최초 입자의 위치와 입자의 속도를  $R_1$ ,  $V_1$ 라 하면 상수 B와 D의 값은 다음과 같다.

$$B = \left( R_1 - \frac{V_1}{\omega} - \frac{C}{s_1} \right) \frac{1}{s_2 - s_1}$$

$$D = \left( \frac{V_1}{\omega} - B s_1 \right) \frac{1}{s_2} \dots\dots\dots (16)$$

② 圓弧形 날개

그림 5에서 보는 것과 같이 圓弧形 날개의 R 값은 항상 일정하므로 입자의 운동 방정식은  $\phi$ 와  $\theta$ 의 함수로 나타낼 수 있다. 식 (10)과 식 (12)로부터 입자의 구름운동과 미끄럼운동은 식 (17)과 식 (18)같이 각각 나타낼 수 있다.

$$1.4 R \frac{d^2 \phi}{d\theta^2} + \left( 1 + \frac{d\phi}{d\theta} \right)^2 \epsilon = \frac{Q}{R} (\sin \phi + \epsilon \cos \phi) \dots\dots\dots (17)$$

$$\frac{d^2 \phi}{d\theta^2} + f \left( 1 + \frac{d\phi}{d\theta} \right) = \frac{Q}{R} (\sin \phi + f \cos \phi) \dots\dots\dots (18)$$

비선형 미분 방정식인 식 (17)과 식 (18)의 해를 數值 解術法을 이용하여 구하였다.

③ 排出口 조건

입자가 배출구에 接近할 때 접선방향과 법선방향의 속도는 식 (5)와 식 (6)으로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_r = \omega \left( \frac{dR}{d\theta} - Q \sin \phi \right)$$

$$V_p = \omega \left\{ R \left( 1 + \frac{d\phi}{d\theta} \right) - Q \cos \phi \right\} \dots\dots\dots (19)$$

오리피스 中央에 공급되는 입자의 수평면에 대한 射出角은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\beta_0 = 270 - (\phi - \phi_i) - \theta + k - \alpha \dots\dots\dots (20)$$

단,  $k = \arctan \left( \frac{V_r}{V_p} \right)$

그림 4와 5에 나타난 排出 止점의 각도  $\theta_p$ 는

아래와 같다.

$$\theta_p = \theta + \lambda \dots\dots\dots (21)$$

단,  $\lambda$  = 날개의 流入 止점과 排出 止점간의 각도

3. 시뮬레이션

비료입자의 구름저항 계수는 입자와 날개의 接觸 狀態에 따라 변화된다. 날개의 곡선은 肥料粒子의 變形을 감소하므로 입자는 圓弧形 날개와 接觸할 때 理想的 球形에 가까운 形態를 유지할 수 있다. 그러나므로, 시뮬레이션 프로그램에서 과인산염의  $\epsilon$  값은 直線形 날개를 사용할 때는 0.1로, 圓弧形 날개를 사용할 때는 0.07로 각각 사용하였다.

비료가 날개 위에 쌓이게 되므로 날개로 供給되는 비료입자의 流入量과 날개에서 撒布되는 비료입자의 排出量은 같지 않다. 그러므로, 비료입자의 分布는 비료가 공급되는 오리피스의 斷面에서 보다는 날개의 排出部에서 더 크게 된다. 비료가 공급되는 날개의 流入部에서는 비료의 밀도가 날개가 오리의

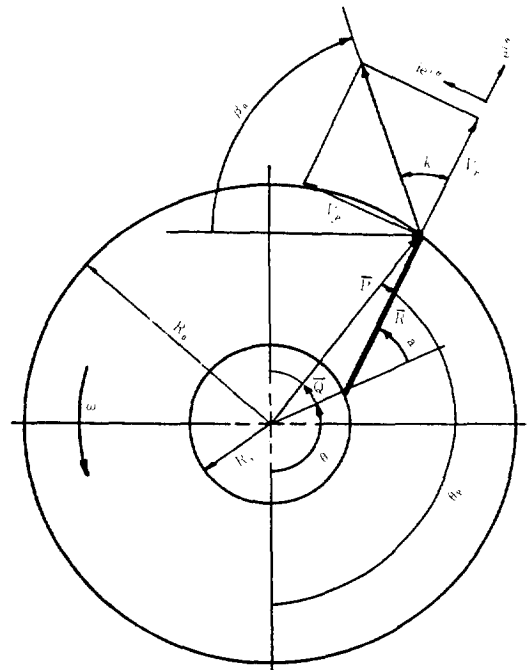


Fig. 4. Particle motion on a straight blade.

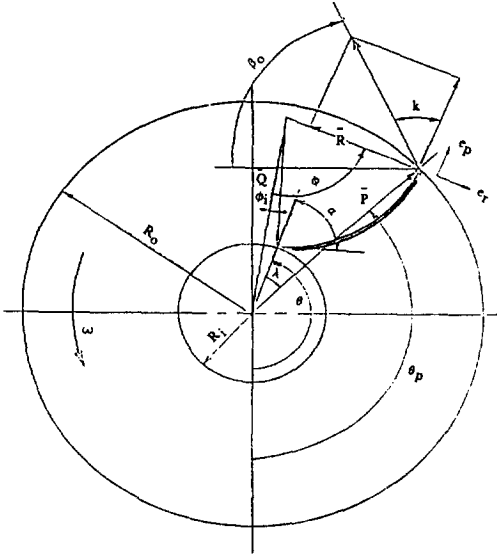


Fig. 5. Particle motion on a circular-arc blade

스를 통과할 때 增加되며 날개가 오리피스를 통과한 후에는 減少된다. 비료입자가 날개와 접촉한 후에 날개를 따라 움직일 때 입자간의 相互作用으로 밀도가 변화된다. 날개 排出口의 입자의 분포는 正規分布에 가까우며 분포의 範圍와 標準偏差는 오리피스 단면의 약 2.5배로 가정하였다. 시뮬레이션에 사용된 배출구 條件은 표 1과 같다.

개발된 수학적 모델, 제시한 假定과 비료의 물리적 特性을 사용하여 비료입자의 운동을 컴퓨터로 시뮬레이션하였다. 그림 6은 垂直形 로터리 撒布機의 원판에 부착된 날개의 위치를 보여준다. 그림 6과 같이 날개의 위치가 변화될 때 입자의 速度  $V$ , 수평면에 대한 射出角  $\beta$ , 排出 지점의 각도  $\theta_r$ , 날개의 同轉角  $\theta$ 를 구하였다. 컴퓨터 프로그램은 FORTRAN을 사용하여 작성하였다.

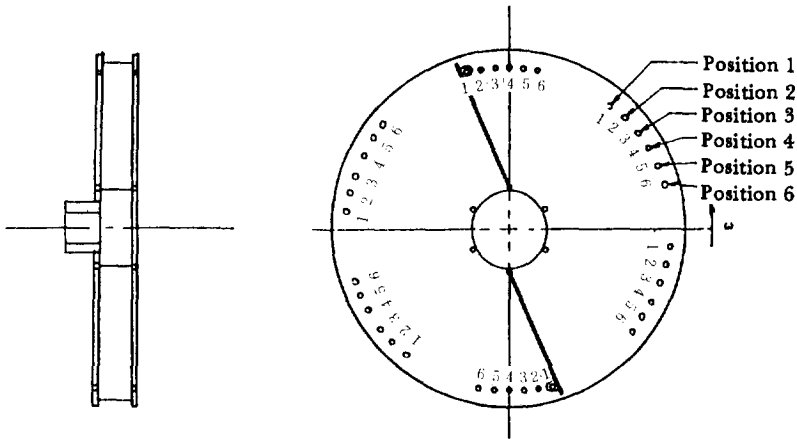


Fig. 6. Configuration of the disc in the prototype vertical distributor

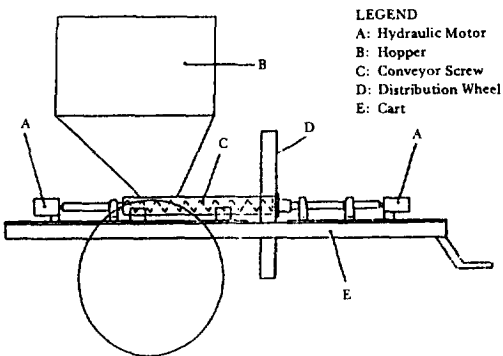


Fig. 7. Vertical type rotary distributor

#### 4. 實驗 檢證

그림 7은 垂直 同轉圓板에 날개가 부착된 垂直形 로터리 撒布機의 側面圖이다. 비료 공급장치는 지름이 10cm이며 피치가 10cm인 오우거로 이루어졌으며, 비료는 오리피스에 의하여 分配輪(distribution wheel)으로 공급되었다. 分配輪은 2개의 圓板과 6개의 날개로 이루어졌으며 날개는 두 圓板 사이에 나사를 이용하여 고정되었다. 날개는 두 圓板 사이의 거리 다른 6 지점에 附着되었으며 다른 모

Table 1. Simulated projectile conditions of fertilizers for different blade positions

Straight Blade									
blade position	$\beta_0$ (projection angle, deg.)				$\theta_p$ (outlet point angle, deg.)				
	superphosphate		urea		superphosphate		urea		
	slide	$\epsilon=0.1$	slide	$\epsilon=0.0$	slide	$\epsilon=0.1$	slide	$\epsilon=0.0$	
1	5.4	61.0	36.4	72.6	208.2	160.4	181.0	150.8	
2	27.5	81.3	54.3	90.9	185.3	139.1	162.3	131.7	
3	46.5	93.0	70.1	102.6	165.4	126.4	145.6	119.0	
4	67.8	108.2	89.1	117.9	143.3	110.3	125.9	102.9	
5	85.5	121.4	105.2	131.3	124.7	96.1	108.9	88.5	
6	100.4	133.3	118.9	143.3	109.0	83.2	94.4	75.6	

Circular arc Blade									
blade position	$\beta_0$ (projection angle, deg.)				$\theta_p$ (outlet point angle, deg.)				
	superphosphate		urea		superphosphate		urea		
	slide	$\epsilon=0.07$	slide	$\epsilon=0.0$	slide	$\epsilon=0.07$	slide	$\epsilon=0.0$	
1	-33.2	36.1	10.0	49.5	221.6	160.3	182.0	148.4	
2	-11.5	50.7	27.5	64.3	200.7	146.4	165.3	134.4	
3	6.9	63.6	42.6	77.2	183.2	134.2	151.1	122.3	
4	22.3	74.8	55.5	88.2	168.5	123.8	138.9	112.1	
5	35.3	84.9	67.5	99.7	156.3	114.4	127.7	101.4	
6	47.0	94.3	80.2	112.8	145.5	105.8	115.8	89.1	

Table 2. Geometrical parameters of blades for different positions ( $\alpha$ ,  $R_i$ ,  $R_o$  are based on Figure 4 and 5)

Shape position	Straight			Circular arc		
	$\alpha$ (deg.)	$R_i$ (mm)	$R_o$ (mm)	$\alpha$ (deg.)	$R_i$ (mm)	$R_o$ (mm)
1	22.9	63.5	377.3	-14.4	63.5	347.8
2	12.9	63.5	380.2	-24.4	63.5	351.8
3	2.9	63.5	381.4	-34.4	63.5	354.2
4	-7.1	63.5	381.1	-44.4	63.5	355.1
5	-17.1	63.5	379.1	-54.4	63.5	354.4
6	-27.1	63.5	375.6	-64.4	63.5	352.2

Table 3. Physical properties of fertilizers

Fertilizers	Bulk density	Friction		Restitution	
		coeffi.	std. dev.	coeffi.	std. dev.
superphosphate	1.124	0.58	0.074	0.34	0.088
urea	0.713	0.43	0.067	0.52	0.078

양의 날개를 쉽게 바꾸어 달 수 있도록 설계되었다. 오우거와 분배륜은 트랙터의 유압장치로부터動力을 받는 유압모터에 의하여 作動되었다. 圓弧形 날개의 반지름은 200mm이며 각 날개의 치수는 표 2에 나타내었다.

실험에는 요소와 과인산염이 사용되었으며 물리적 特性을 조사하여 표 3과 같이 사용된 비료의 가비중, 마찰계수, 반발계수를 구하였다. 날개의 形態, 날개의 回轉速度, 날개의 位置에 대한 공급된 비료입자의 射出狀態를 조사하였다.

### 5. 結果 및 考察

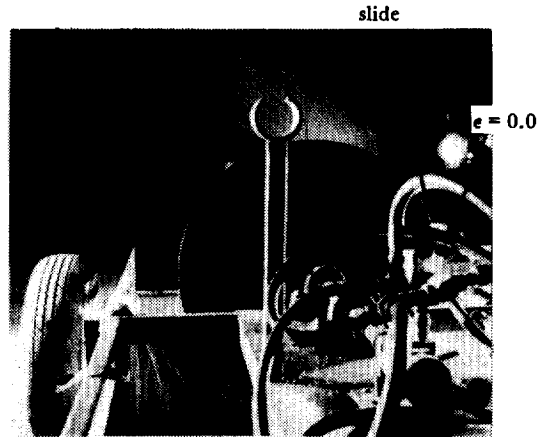
날개 위에서 입자의 운동은 觀察되지 않았으나 운동의 결과에 의하여 분배륜을 離脫하는 입자의 射出狀態를 조사하였다. 圓弧形 날개의 위치가 변화됨으로서 공급된 肥料粒子的 射出形態와 시물레이션에 의한 입자의 軌跡은 그림 8과 그림 9와 같이 변화되었다. 각 날개의 위치에서 비료입자의 射出角과 離脫地點은 표 1에 나타난 시물레이션의 결과와 매우 類似하다.

射出角  $\beta$ 는 법선방향과 접선방향의 速度, 回轉角, 날개의 位置, 날개의 形態에 의하여 결정된다. 회전각과 법선 및 접선방향의 속도는 날개의 위치, 공급된 입자의 初期條件, 날개의 길이, 비료입자의 물리적 特性에 의해 左右되며 공급된 입자의 初期條件은 날개의 위치와 비료입자의 물리적 特性에 의해 결정된다. 그러므로 射出角  $\beta$ 는 날개의 위치와 비료입자의 물리적 特性에 의하여 調整될 수 있다.

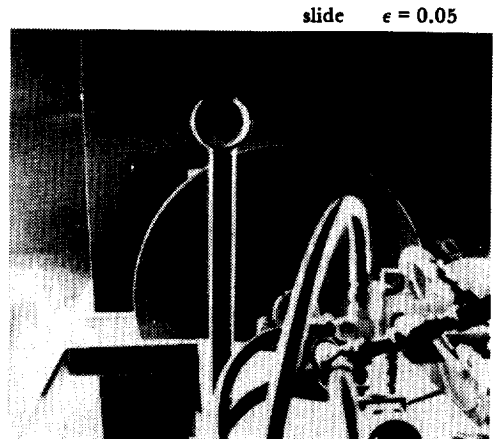
컴퓨터 시물레이션과 실험의 결과에 의하면 날개의 回轉速度가 600 RPM에서 800 RPM으로 증가할 때 분배륜을 이탈하는 입자의 射出狀態는 매우 비슷하다. 날개의 回轉速度는 사출각  $\beta$ 에 影響을 미치지 않으므로 사출각  $\beta$ 의 변화없이 입자의 速度를 制御할 수 있다.

### 6. 結 論

컴퓨터 시물레이션과 실험에 의하여 다음과 같은

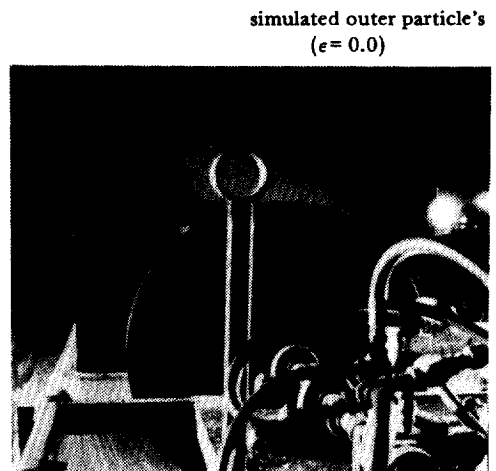


a) Urea



b) Superphosphate

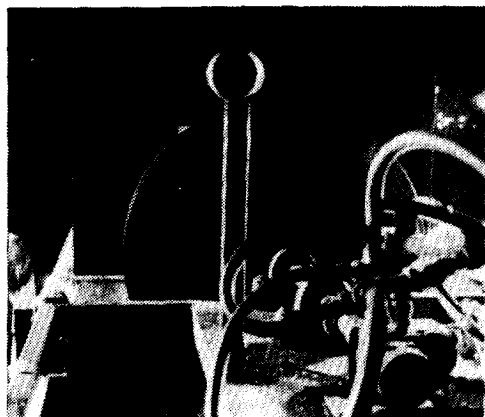
Fig. 8. Trajectories of fertilizers at circular arc blade outlets (blade positions 55555)



a) Urea



simulated outer particle's  
path ( $e=0.1$ )



b) Superphosphate

Fig. 9. Trajectories of fertilizer particles at the circular arc blade outlets (blade position 444444)

결론에 도달하였다.

1. 공급된 肥料가 날개와 충돌한 후 날개를 따라 움직일 때 接觸地點에서는 입자의 미끄럼 또는 구름현상이 일어난다.
2. 肥料粒子간의 相互作用으로 입자의 뒤어오름현상은 制限된다.
3. 粒子가 날개 위를 굴러갈 때 구름저항은 입자의 運動에 큰 영향을 준다.
4. 圓板에서 입자의 위치와 射出角은 날개의 位置와 입자의 形態에 의하여 결정되나 圓판의 回轉速度에 의한 영향은 무시할 수 있다.

### 參 考 文 獻

1. Cunningham, F.M. 1963. Performance characteristics of bulk spreaders for granular fertilizer.

- TRANSACTIONS of the ASAE 6(1):108-114.
2. Cunningham, F.M. and E.Y.S. Chao. 1967. Design relationships for centrifugal fertilizer distributors. TRANSACTIONS of the ASAE 10(1):91-95.
3. Davis, J.B. and C.E. Rice. 1973. Distribution of granular fertilizer and wheat seed by centrifugal distributors. TRANSACTIONS of the ASAE 16(5):867-868.
4. Galili, N. and G. Shteingauz. 1982. Wide-swath vertical spreader for granular material. TRANSACTIONS of the ASAE 25(5):1195-1203.
5. Inns, F.M. and A.R. Reece. 1962. The theory of the centrifugal distributor, II: Motion on the disc, off-center feed. Journal of Agricultural Engineering Research 7(4):345-353.
6. Patterson, P.E. and A.R. Reece. 1962. The theory of the centrifugal distributor, I: Motion on the disc, near-center feed. Journal of Agricultural Engineering Research 7(4):232-340.
7. Robert, D.B. 1984. Applied fluid dynamics handbook. Van Nostrand Reinhold Company, New York, p.279-325.
8. Timoshenko, S. and D.M. Young. 1984. Advanced dynamics, McGraw-Hill Inc., New York, p.129-135.
9. Whitney, R.W., L.O. Roth, H.I. Geahart, and R.W. Barrker. 1977. A CO<sub>2</sub> pesticide distribution system for tick control. ASAE paper No. 77-1505.