

# 양액재배용 Fly-Ash Ball 성형기술 개발

## Development of Forming Technology for Fly-Ash Ball for Nutrient Culture

강위수\*      최상근\*      유근창\*\*      김일섭\*\*  
정회원      정회원  
W.S.Kang    S.G.Choi    K.C.Yoo    I.S.Kim

### 1. 서론

우리나라의 양액 재배 면적은 1992년 13ha에서 1996년 275ha로 4년 사이에 20배나 늘어남으로서 최근 고품배지경에서 사용되는 배지의 사용량이 급격히 증가하고 있다. 배지의 선택은 배지의 재질이 균일하고, 화학적으로 안정되어 있어야 하며, 저렴하고, 구입이 용이하고, 물의 확산이 양호하여 수분 관리가 편리하여야 한다. 장기간 사용할 수 있도록 견고하여야만 통기성을 유지 할 수 있고, 식물의 줄기의 상처를 방지하기 하기 위해서는 되도록 각이 지지 않은 구형 상태이어야 한다(박권우, 1998).

농업·원예분야에서 다공질 재료는 육묘나 양액재배 등의 인공배지, 미생물의 흡착제, 비닐하우스나 과실의 보온자재로 이용이 가능하다(Iwama, 1999). 인공배지는 보수성 및 통기성이 우수하고 양이온 치환용량이 높아 무기원소를 많이 흡착할 수 있어야 하며, 병원균이나 잡초종자를 함유하지 않아야 한다. 따라서, 질석, 펄라이트, 암면 또는 소성한 점토 등을 재배목적에 적합하도록 적절한 비율로 혼합하여 작물재배에 이용하고 있다(Koizumi 등, 1998).

그러나 펄라이트 배지는 흡수율이 우수하나, 사용상 잘 부서지며 전량 수입에 의존하여 양액재배 농가에 커다란 부담이 되며, 암면은 우수한 흡수성을 갖고 있으나, 폐놀 수지에 결합된 암면이 파손되어 작물에 피해를 입힐 수 있으며, 사용 후 폐기처리가 문제가 되어 반영구적인 자연친화형의 인공배지의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

국내 화력발전소에서 석탄의 연소시 발생하는 석탄회는 국내에서 연간 300만톤이 발생되며, 지속적인 석탄 화력발전소의 건설로 인하여 2,000년에는 약 700만톤이 발생될 예정이다(Lee 등, 1966). 석탄회는 산업폐기물로 분류되어 그 처리가 어렵고 부적절한 처리로 인하여 많은 환경문제를 발생시키고 있다(Black 등, 1992). 현재, 석탄회는 선진국에서 “제3의 자원”으로 인정되어 60%이상을 재활용하고 있으며 fly ash 콘크리트 사용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다(McCarthy, 1987). 국내의 경우 석탄회의 재활용은 콘크리트 및 경량골재 산업분야에서 10%정도(Song 등, 1996) 활용되고 있으며, 일부 공업적인 이용과 토양개

---

† 본 연구는 농림기술개발사업에서 지원한 “Ceramic ash ball을 이용한 배지개발”의 연구비로 수행되었음

\* 강원대학교 농업생명과학대학 농업기계전공

\*\* 강원대학교 농업생명과학대학 원예학 전공

량제로서 이용한 예를 제외하고는 농업·원예분야에서의 이용에 대한 연구가 초기상태이다 (유근창, 2000).

Fly ash의 입자의 크기는 0.5 ~ 200 $\mu$ m인 구형 분말이면서 다공성 상태이고, 비중은 >0.8 ~ <4.0g/cm<sup>3</sup>이고, SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-System을 주성분을 갖은 유리질로 구성되어 있다 (Hemmings, 1987). 배지의 형태는 통기성을 유지하기 위해서 0.5 ~ 1.0cm 구형으로 생산 되어야 하나, Fly ash의 표면은 구형이면서 유리질인 비점결성으로 구성되어 있어 구형 형태로 만들기가 매우 어렵기 때문에 이를 자동적으로 양산화 할 수 있는 성형기가 개발되어야 한다.

본 연구에서는 구형이면서 비점결성인 fly ash 분말을 성형 할 수 있는 Pan형 성형기를 설계 및 제작하여 성형조건이 fly ash ball 크기를 조절 할 수 있는 성형 기술을 개발하기 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

## 2. Pan 조립장치의 성형이론

그림 1은 Capes(Capes, 1980)의 Pan 조립장치의 성형이론 모델이다. Pan에 분말 시료를 넣고 그림 1-a처럼 Pan의 각도  $\theta$  만큼 경사를 준 후 회전시키면 그림 1-b처럼 분체는 분말층 경사각  $\gamma$  에 따라 Pan위에 퍼지게 된다. Pan 내에 회전 운동하는 분체에 바인더로서 가습을 하면 분체는 응집 되어 작은 입자의 크기를 갖는 핵을 생성하게 된다. 연속적으로 분말을 공급하면서 가습하게 되면 그림 1-a와 b처럼 분말층 경사각  $\gamma$  영역에서는 공급되는 건조 분체와 생성된 핵이 운동하강(運動下降)중에 바인더에 의하여 가습되면서 핵을 형성하고, 상승시에 그림 1-c처럼 핵의 성장 크기에 따라 층하(層下)에서도 순환을 반복하면 구형으로 형성된 조립물의 크기가 성장한다. 생성된 핵층 경사각  $\beta$  영역에서는 성장된 핵의 무게와 내부마찰 계수에 의하여 Mohr's의 순환(循環)하는 궤도(軌度)의 폭은 좁게 된다. 성형된 구형층 경사각  $\alpha$  영역에서는 핵생장이 완료되어 구형화 된 성형체는 체류층(滯留層)의 표면층에서 운동, 압밀화, 구형화가 행하여져 접시형 조립기의 가장자리 보다 over-flow하여 그림 1-d처럼 구형화된 성형체를 얻을 수 있는 방법이다.

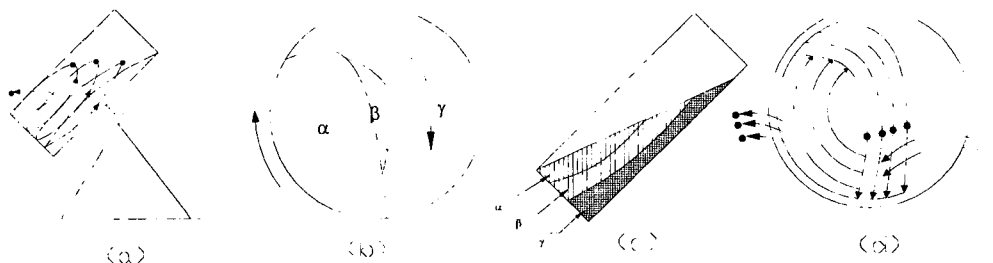


Fig 1. Modeling of pan type granulator

### 3. 재료 및 방법

#### 1. 공시재료

본 연구에서 사용된 공시재료는 영동화력발전소의 석탄회(Fly Ash)를 사용하였다. 분말은 모두 200mesh 이하의 입자크기로 선별하여 사용하였으며, 그림 2는 주사전자현미경에 의해 관찰된 석탄회의 미세구조이다.

일반적으로 석탄회는 Si와 Al성분을 80%이상 함유하여 규산염광물(aluminosilicate minerals)과 유사한 특성을 나타내며 Ca, Mg, K, Na, Fe 및 S 등의 원소를 함유하고 있다 (Hemmings와 Berry, 1988). 본 실험에서 사용한 석탄회와 점토의 화학조성은 SiO<sub>2</sub>가 57.22 및 47.06%(w), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 16.0 및 30.95%(w) 함유하고 있으며, 이외에 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 알칼리성분 등이 함유되어 고품배지로 흔히 쓰이는 점토의 대체 원료로서 석탄회의 사용이 가능하다.

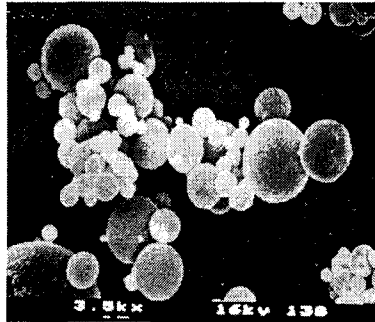


Fig 2. SEM photographs of fly ash.

#### 2. 볼의 구형화를 위한 실험장치 제작

그림 3과 같이 원료 투입장치, PAN, 이송장치, 분무장치로 구성되어있다.

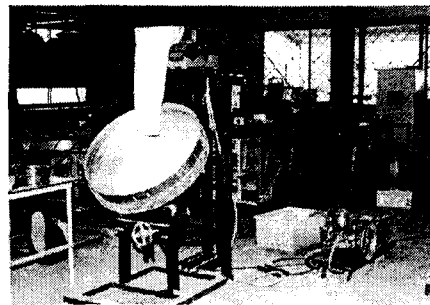
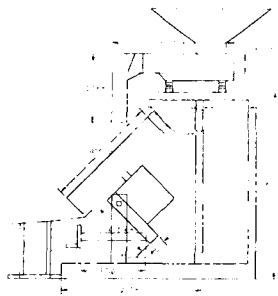


Fig 3. Fig 1. Drawing and overall view of granulator

원료투입장치는 바이브레타 방식으로 원료를 일정량 공급해 주고 PAN의 회전수는 인버터를 이용해 팬의 회전을 조절 할 수 있다. PAN의 각도도 조정이 가능하도록 설계되었다. 팬

의 회전시 주요 동력은 모터(LG삼상 Geared Moter, 2Hp)를 사용하였고 분무장치는 플런저 펌프(영홍 13kg/cm<sup>2</sup>용량)를 사용하였다. 분무기 압력을 최저로 하여 drop상태로 분무하였을 때 분무량은 178ml/min 였고, mist로 분무하였을때는 1206.6ml/min였다.

### 3. 실험방법

(1) Pan형 조립장치의 성형을 위한 Operation 조건

㉠팬의 직경 D=0.8m

㉡팬의 높이 H=0.16m]

㉢팬의 경사각  $\theta=43\sim53^\circ$

㉣팬의 회전수 N는 임계회전수 ((1)식에 의하여 계산하면 회전수  $N_c$ ) 0.4~0.75범위가 된다.

$N_c$ 의 경사각  $\theta^\circ$ , 분체의 내부 마찰각  $\alpha^\circ$  로 되면 다음 식으로 표시할 수 있다.

$$N_c = \frac{42.3}{\sqrt{D}} \cdot \sqrt{\frac{\sin(\theta - \alpha)}{\cos \alpha}}$$

비회전수(比回傳數)  $\nu = N/N_c$

(2)HU(체류량)의 계산

$$HU = (D/2)^3 \cdot f_1(\delta) \cdot \tan \beta$$

(3)RT(체류시간)의 계산

팬내의 보유량  $HU[m^3]$ 와 체류시간  $RT[h]$ 와 처리능력  $Q[t/h]$ 는 다음 식과 같다.

$$(RT) = (HU)/Q/\rho_b$$

여기서,  $\rho_b$ 는 밀도[t/H]이다.

### 4. 결과 및 고찰

표 1은 pan의 직경 D=0.8m, 높이 H=0.16, 회전수 15rpm 조건하에서 경사각  $\theta$ 를 증가하였을 경우 시간당 성형 처리 능력과 Pan 내의 분말량, 성형체 형성에 필요한 가습량, 핵 생성층 경사각, 성형체 구형층 경사각에 의한 구형 성형체의 크기를 측정된 결과치이다.

Table 1. Sign of balls on different inclined angle in the pan type granulator

회전수 N(rpm)	경 사각 $\theta^\circ$	처리능력 B(kg/hr)	체류량 C(kg)	함수율 W <sub>b</sub> (%)	핵생성층 경사각 $\beta^\circ$	성형체 구형층 경사각 $\alpha^\circ$	구형 성형체 크기 $\phi$ (mm)	기타 $N/N_c$
16	43	110.88	16.4	11.8	22.3	14.56	8~11	0.744
	48	154.8	13.5	10.04	28.9	4.3	6~9	0.608
	53	61.4	8.7	16.06	36.03	14.04	5~7	0.438

표 1에서 보는 바와 같이 팬의 경사각  $\theta=43^\circ$  일 때 체류량과 체류시간이 가장 높은 것으로 나타났고 팬의 경사각이 증가할수록 pan의 체류량은 감소함을 보였다. 경사각  $\theta=48^\circ$  일 때 체류시간이 4.5min으로  $\theta=43^\circ$  보다 약 2배 단축되면서 성형 처리 능력이 1.4배가 증가되었다. 생성된 볼의 크기는  $\theta=43^\circ$  에서는 8~11mm로 생성 되었고,  $\theta=48^\circ$  에서는 6~9mm,  $\theta=53^\circ$  에서는 5~7mm로 pan 경사각이 증가 할 수록 구형 성형체 크기  $\psi$ 가 작아지는 이유는 생성된 핵 입자의 운동거리가 짧아지면서 체류시간도 감소하기 때문인 것으로 분석된다.

표2에 체류량과 체류시간을 Capes의 식에 의한 이론치와 실험에 의한 측정 결과치를 비교 분석하였다.

Table 2. Comparison of experiments with results from Capes' theory

회전수 N(rpm)	경사 $\theta(^\circ)$	체류량(HU)		체류시간 (RT)		$N_c$ (rpm)	$\nu=N/N_c$
		이론치 (kg)	실험치 (kg)	이론치 (kg)	실험치 (kg)		
16	43	15.36	16.4	8.3	-	21.5	0.78
	48	11.52	13.5	4.5	-	26.3	0.69
	53	7.04	8.7	6.9	-	36.5	0.63

팬의 경사각이  $43^\circ$  일 때 체류량과 체류시간이  $48^\circ$  와  $53^\circ$  일 때 보다 계산치와 실제 측정된 값과의 오차가 가장 작은 것으로 나타났다.

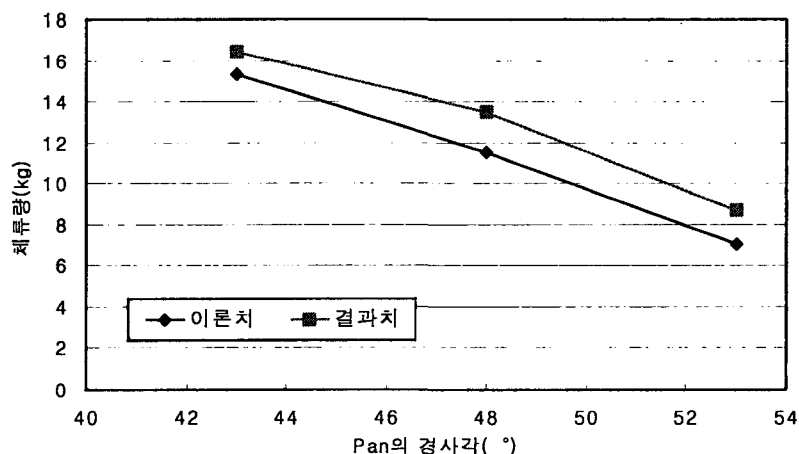


fig 4. Theoretical and experimental results of stay quantity different inclined angle

표2와 그림 4에서 보듯이 pan형 조립장치의 경사각이 증가할수록 성형에 필요한 분말량이 감소되면서 성형 구형체의 크기는 작아짐을 분석할 수 있고, capes의 이론치와 실험에 의하여 측정된 결과치와 같은 경향을 나타냄을 분석할 수 있었다.

불의 Handling강도는 생성된 불을 팬에서 체류시간보다 더 긴 시간을 회전해 주면 강도는 더욱 단단해 지는 것으로 보였다.

## 5. 요약 및 결론

본 연구에서는 pan형 조립 성형기를 설계 및 제작하여 비점결성 성질을 갖는 구형 Fly ash 분말을 pan의 경사각에 따라 Fly ash 구형 성형체 크기를 조절할 수 있는 생산기술을 개발하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1)팬의 경사가 43° 일 때 체류량과 체류시간이 가장 높은 것으로 나타났고 팬의 경사가 증가할수록 체류량은 감소함을 보였다. 처리능력은 48° 일 때 가장 많았고 체류시간은 가장 짧은 것으로 보였다.

(2)생성된 불의 크기는 팬의 경사가 43° 에서는 8~11mm로 생성되었고, 48° 에서는 6~9mm, 53° 에서는 5~7mm로 각각 일정하게 생성되었다.

(3)Fly ash의 불성형에서 팬의 회전수 16rpm의 조건에서는 팬의 경사가 48° 일 때 가장 적합한 것으로 나타났다.

## 6. 참고문헌

1. 류근창·김일섭·강위수·신대용, 2000, 양액배지용 석탄회-점토계 배지 개발, 생물환경조절학회지 제9권 제1호 별책
2. 박권우·김영식, 1998, 양액재배, 아카데미서적
3. 최병선·박종현, 민창기, 1992, Fly-Ash 이용 건중건축재 실용화를 위한 연구, 한국원자력관리공단 연구지
4. 이기강·김동원, 1993, 석탄회-점토계 벽돌소지의 곡강도와 미세구조, 한국결정성장학회지
5. 정재동, 1998, 콘크리트 재료공학, 보성각
6. 坂下 攝. 1998, 粉體 PROCESS 設計 工業調査會
7. Capes, C.E., 1980, Particle Size Enlargement, Elsevier
8. Gregory J. McCarthy, 1988, Fly Ash and Coal Conversion By-Products: Characterization, Utilization, and Disposal IV, MRS
9. V.M. Malhotra and P.K. Metha, 1996, Pozzolanic and Cementitious Materials, Advances in Concrete Technology
10. C. Black·D. Brockway·S. Hodges And Milner, 1992, Utilization of Latrobe Valley Brown Coal Fly-ash, Gippsland Basin Symposium, Melbourne