ORIGINAL PAPER
http://dx.doi.org/10.17137/korrae.2015.23.4.052
원저
ISSN 1225-6498

퇴비화 첨가재인 톱밥의 공기투과성에 미치는 영향요인 및 기여도 평가에 관한 연구

김병태†
대진대학교 환경공학과
(2015년 11월 4일 접수, 2015년 11월 30일 수정, 2015년 11월 30일 채택)

Estimation on Affecting Factors and Contribution Rate for Air Permeability of Sawdust as Bulking Agent on Composting

Byung Tae Kim†
Department of Environmental Engineering, Daejin University, Kyungki-Do, Korea

ABSTRACT

This study estimated the contribution rates of inlet air flow, moisture content, air-filled porosity and particle size on the total pressure drop for the sawdust used as the bulking agent in the composting. The statistical model for pressure drop including the affecting factors was proposed.(R^2=0.998~0.950) While the laminar air flow(v) and particle size(SIZE*v) had the positive relations to the total pressure drop, the turbulent air flow(v^2), moisture content(MC*v) and air-filled porosity(AFP*v) had the negative relations. Total pressure drop sharply increased with increasing of the inlet air flow. And the most significant factors affecting to total pressure drop were the particle size(SIZE*v) as positive factor and air-filled porosity(AFP*v) as negative factor. The contribution rate to total pressure drop by the particle size(SIZE*v) was continuously increased with increasing of the inlet air flow, but the contribution rate by air-filled porosity(AFP*v) was decreased. And total pressure drop was little changed even though the increasing of moisture content above the range of dry moisture content 0.25. The contribution rates of affecting factors had the different tendencies with increasing of the moisture content, especially in the negative factors as air-filled porosity(AFP*v) and moisture content(MC*v). For effective composting process, it is preferable to select the sawdust with higher air-filled porosity as bulking agent to enhance the air permeability.

†Corresponding author(btkim@daejin.ac.kr)

Keywords : composting, pressure drop, air permeability, particle size, contribution rate

초 록

본 연구에서는 퇴비화공정에서 첨가재로 주로 사용되는 톱밥을 대상으로 톱밥 내 공기투과성 변화에 영향을 미치고 있는 요인별 특성과 총차감압력에 미치는 기여도를 평가하였다.

공기투과성 변화에의 영향요소로서 층류속도(v), 난류속도(v^2), 수분함량(MC*v), 공기공극률(AFP*v), 입자크기(SIZE*v)를 선정하여 차감압력 산정을 위한 회귀식을 제시하였다. 차감압력에의 증가요인은 층류속도(v)와 입자크기(SIZE*v)이며, 감소요인은 난류속도(v^2), 수분함량(MC*v), 공기공극률(AFP*v)이다. 공기유입속도를 높이면 총차감압력이 지속적으로 증가하였으며, 이러한 총차감압력 변화에 영향을 크게 미치는 증가요인은 입자크기(SIZE*v)이며, 감소요인은 공기공극률(AFP*v)이다. 또한 총차감압력에의 증가기여도는 낮은 유속에서는 층류속도(v)가 높은 유속에서는 입자크기(SIZE*v)의 기여도가 높았으며, 감소기여도는 공기공극률(AFP*v)이 가장 높았다. 반면에 수분함량 변화에 따른 총차감압력 변화는 그리 크지 않았다. 따라서 총차감압력은 증가요인보다는 감소요인인 공기공극률(AFP*v)과 수분함량(MC*v)에 의하여 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 본 연구결과로서, 효율적 퇴비화공정을 위하여는 적정 수분함량 유지와 함께 공기공극률이 높은 첨가재를 선정하여 공기투과성을 향상시키는 방법이 적절할 것이다.

주제어 : 퇴비화, 차감압력, 공기투과성, 입자크기, 기여율

1. 서론

퇴비화는 유기성폐기물을 이용하여 퇴비를 생산하는 생물학적 처리공정으로, 우리나라에서는 주로 음식물류폐기물, 슬러지, 축분 등을 대상으로 적용하고 있다.

퇴비화공정에서 유기물분해에 필요한 산소를 퇴비단 내부로 공급하면서 동시에 발생가스를 외부로 배출하고 대사에너지를 제어하는 과정은 퇴비화물질 내 공극에서의 공기이동에 의하여 이루어진다. 따라서 퇴비화물질 내에서의 적절한 공기흐름을 유지하는 것은 퇴비화처리 공정효율을 결정하는 인자로 작용하게 된다. 퇴비단 내부의 공기흐름 정도를 나타내는 공기투과성(air permeability)은 퇴비화물질을 통과하면서 발생하는 차감압력(pressure drop)으로 측정할 수 있다.

공기투과성에 대한 연구는 주로 농업분야에서 사이로(silo)에 저장하는 곡물의 품질유지를 위하여 활발하게 이루어져 왔다. Ergun[1](1952), Shedd[2](1953)와 Hukill[3](1955) 등이 차감압력과 공기유량과의 관계식을 제시한 이후 Haque[4](1982)는 Ergun식에 수분함량을, Giner[5](1996)는 수분함량과 미세입자함량의 영향을 고려한 수정식을 제시하였다. 또한 Siebenmorgen[6] (1987)은 Shedd식에 미세입자함량, 수분함량과 밀도를, Chung[7](2001)은 미세입자함량과 수분함량을 추가한 관계식을 제시하는 등 공기투과성에 영향을 미치는 다양한 요인에 대한 연구가 이루어졌다. 또한 이러한 연구결과를 퇴비화에 적용하기 위한 연구도 시도되고 있다[8]. 국내에서의 퇴비화연구는 주로 유기폐기물의 생물·화학적 특성을 중심으로 이루어져 왔으며 공기투과성에 대한 연구는 김[9,10]의 연구가 있으나 아직은 활발하지 않은 실정이다.

퇴비화에서 톱밥은 주로 C/N비와 수분함량 조절을 목적으로 사용되고 있으나, 동시에 퇴비화

물질의 물리적 특성을 변화시켜 공기투과성을 변화시키는 요인이 된다. 본 연구에서는 퇴비화의 첨가재(bulking agent)로 사용되어지는 톱밥을 대상으로 공기유입속도, 수분함량, 공기공극률, 입자크기가 공기투과성에 미치는 효과 및 기여도를 평가하였다. 이러한 연구결과는 공기투과성 향상을 통한 효율적 퇴비화공정의 제어조건 선정에 기초자료로서 활용될 수 있을 것이다.

2. 실험방법

2.1 시료의 제조

우리나라의 퇴비화 대상물질은 대체로 수분함량이 높아 수분조절 여부가 공정효율에 중요한 인자로 작용한다. 또한 퇴비화공정에서는 공기공급량으로 적정온도를 제어하는 방식이 가장 많이 사용되고 있는 점을 고려하여 수분함량과 공기유입속도에 따른 차감압력 변화를 측정하였다.

톱밥을 70℃에서 4일 이상 충분히 건조한 후 스프레이로 수분을 살포하여 건조기준 수분함량 0, 0.25, 0.42, 0.67, 1.01, 1.48, 포화(습량기준 수분함량으로는 0%, 20.0%, 29.6%, 40.2%, 50.3%, 59.6%, 포화)인 시료를 제조하였다.

수분함량별 제조시료에 대하여 공기공극률(Air-filled porosity)과 입자크기를 측정한 후, permeameter에 투입하고 0.005 m/sec, 0.01 m/sec, 0.02 m/sec, 0.03 m/sec, 0.04 m/sec, 0.05 m/sec의 유입속도로 공기를 주입하여 유입지점과 유출지점간의 차감압력(pressure drop)을 측정하였다.

모든 시료는 수분함량별로 3배수를 제조하여 3회 반복 실험하였으며 이의 평균치를 실험결과로 사용하였다.

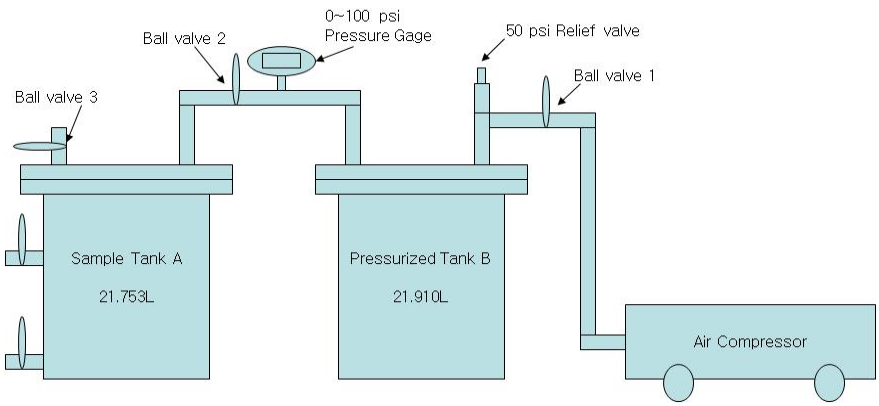
2.2 측정방법

공기공극률은 자체 제작한 20L 밀폐용기 2개가 연결된 air pycnometer를 사용하여 시료를 용기에 넣기 전·후의 압력변화를 측정하여 산정하였다(**[Fig. 1]** 참조). 입자크기는 다단의 체를 설치한 체진동기에서 선별된 입도별 무게를 중량평균법으로 환산하였다. 차감압력은 원통형 permeameter를 load cell이 부착된 material testing machine(Sintech model 60D)에 장착한 후 공기를 주입하면서 유입지점과 유출지점에서의 압력차이를 차압계(Testo GmbH, model 5625)로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 수분함량별 공기공극, 입자크기, 차감압력의 변화

건조톱밥의 겉보기밀도는 221 kg/m^{3}이며, 수분



[Fig. 1] Schematic diagram of air pycnometer.

함량 증가에 따라 공기공극률은 0.823에서 0.354로 지속적으로 감소하였다. 입자크기는 건조수분함량 0.0~0.25구간과 1.48~2.24구간에서 증가하였으며 수분함량변화에 따른 입자크기의 회귀식(R^2=0.969)은 김[9](2012)의 연구에서 제시되었다. 이러한 변화는 수분이 증가함에 따라 수분이 톱밥입자사이의 공극을 채움으로써 공기공극률은 낮아지나, 수분이 톱밥내 미세입자간의 점착력을 높이는 역할을 함으로써 입단이 형성되어 입자크기가 커지게 되었을 것으로 여겨진다. 이는 음식물류폐기물의 건조과정에서 수분함량 50%~60%인 점성구간(glue zone)에서 최대 입자크기를 나타낸 연구결과에서도 동일하게 나타나고 있다[11,12].

[Table 1]의 조건에서 측정된 수분함량별 공기유입속도에 따른 차감압력은 **[Fig. 2]**에 나타내었다. **[Fig. 2]**에서 동일한 수분함량에서는 공기유입속도가 높아짐에 따라 차감압력이 점차 커지고 있어 공기투과성이 악화되고 있음을 보여준다. 또한 모든 공기유입속도에서 건조수분함량 0.0~0.25구간에서는 차감압력이 급속히 증가하였으나 이후에는 수분함량이 증가하여 공기공극률이 낮아짐에도 불구하고 차감압력은 큰 변화를 보이지 않는 경향이 나타났다. 이는 수분함량 증가 시 공기공극률은 낮아지나 반면에 입자크기가 커지면서 대공극과 소공극 구성이 변하는 등 공기투과성에 영향을 미치는 물리적 성상변화로 인한 상호작용 결과로서 여겨진다. 이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 차감압력에의 영향요인별로 차감압력 변화에 미치는 효과를 평가하고자 하였다.

3.2 차감압력에의 영향요인을 이용한 회귀식 산정

톱밥시료의 건조수분함량 0.25~1.48의 구간을 대상으로 차감압력에 영향을 미치는 공기유입속도, 수분함량, 공기공극률, 입자크기를 고려한 차감압력 회귀식을 식(1)과 같이 산정하였다. 식(1)은 Chung[7](2001) 등이 공기유입속도, 수분함량을 고려하여 제시한 차감압력 회귀식을 기본으로 하여 차감압력에의 영향요인으로 공기공극률(AFP) 및 입자크기(SIZE)를 추가하였다.

$$PD = a(v) + b(v^2) + c(MC)(v) + d(AFP)(v) + e(SIZE)(v) \cdots\cdots\cdots (1)$$

[Table 1] Variation of Air-filled Porosity and Particle Size of Sawdust by Moisture Contents at Dry Bulk Density of 0.221 kg/L

Moisture Content (dry basis)	Moisture Content (%, wet basis)	Air-Filled Porosity	Particle Size (mm)
0.00	0.0	0.823 (0.017)*	2.206 (0.068)*
0.25	20.0	0.788 (0.009)*	2.594 (0.178)*
0.42	29.6	0.750 (0.006)*	2.599 (0.114)*
0.67	40.2	0.769 (0.050)*	2.658 (0.214)*
1.01	50.3	0.649 (0.009)*	2.481 (0.019)*
1.48	59.6	0.530 (0.003)*	2.509 (0.026)*
2.24	69.1	0.354 (0.003)*	3.297 (0.068)*

* ( ) : standard deviation

여기에서

PD : 차감압력(Pa/m)
v : 공기유입속도(m/sec)
MC : 수분함량(건조기준)
AFP : 공기공극률
SIZE : 입자크기(mm)

식(1)에 대하여 최적화(Optimization)기법을 이용하여 공기유입속도별로 산정한 회귀계수는 **[Table 2]**와 같으며 회귀식의 결정계수(R2)는 0.998~0.950이다.

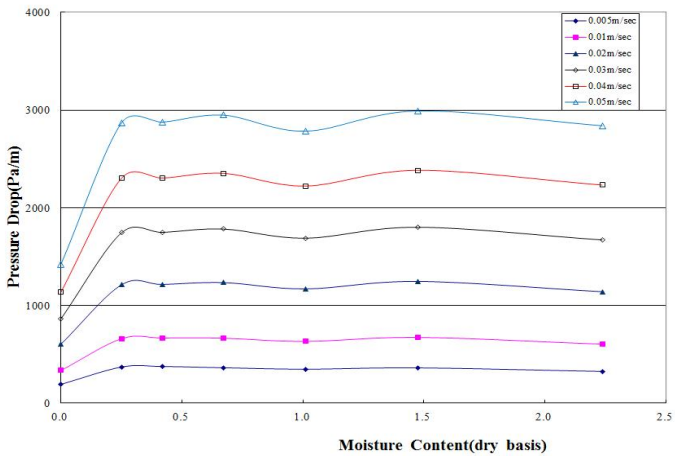
[Table 2]의 회귀계수에서 차감압력에의 영향요인 중 층류속도(v)와 입자크기(SIZE*v)는 차감압력에의 증가요인으로, 난류속도(v^2), 수분함량(MC*v), 공기공극률(AFP*v)은 감소요인으로 나타났다.

3.3 톱밥의 공기투과성에 미치는 영향요인 및 기여도 평가

3.3.1 공기유입속도 변화가 공기투과성에 미치는 요인별 영향 및 기여도

1) 공기유입속도에 따른 영향요인별 차감압력 변화

수분함량이 일정할 경우 **[Fig. 1]**에서와 같이 공기유입속도가 증가함에 따라 차감압력은 증가



[Fig. 2] Relationship between pressure drop and moisture content at different air velocity.

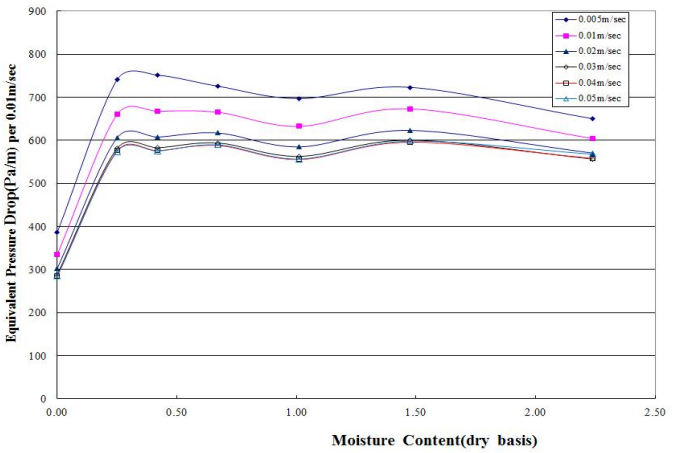
[Table 2] Values of Regression Coefficients by Inlet Air Velocities in Equation (1)

Regression Coefficients	Inlet Air Velocity					
	0.005m/sec	0.01m/sec	0.02m/sec	0.03m/sec	0.04m/sec	0.05m/sec
a	90,336.2	49,693.6	29,257.5	25,164.3	24,066.5	19,621.9
b	−3,200.3	−3,640.2	−3,685.8	−4,161.8	−4,581.5	−5,190.1
c	−20,252.8	−13,372.3	−7,945.3	−6,869.0	−7,442.9	−6,425.5
d	−96,340.2	−78,884.5	−54,835.7	−50,190.3	−54,014.8	−50,977.5
e	25,094.8	31,540.7	29,405.1	28,535.5	29,951.4	30,608.4
Sum of Squares	6	2	112	270	739	1,009
R^2	0.986	0.998	0.967	0.963	0.950	0.960

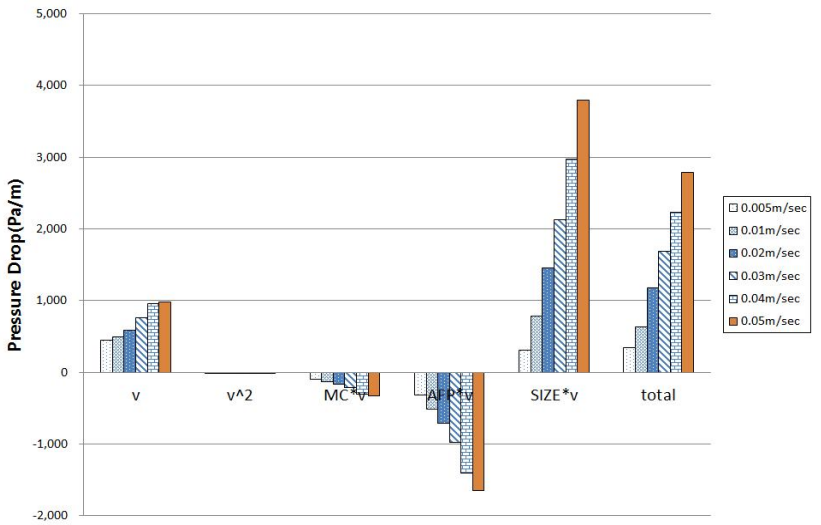
하고 있다. 각 공기유입속도별 차감압력 증가율을 비교하기 위하여 0.01 m/sec 단위속도로 환산한 등가 차감압력치는 **[Fig. 3]**과 같이 0.005 m/sec에서 가장 높으며 이후 감소하며 0.03 m/sec~0.05 m/sec에서는 유사한 압력치를 보이고 있다. 이는 낮은 공기유입속도에서는 단위속도 당 차감압력이 높으나 유입속도가 증가할수록 차감압력이 비례적으로 증가함을 의미한다.

공기유입속도에 따른 영향요인별 차감압력과 총차감압력에의 기여도 변화추세는 분석된 모든 수분함량범위에서 유사한 경향을 보이고 있어, 퇴비화의 적정 수분함량 범위인 건조수분함량 1.01에서의 산정결과를 **[Fig. 4]**에 제시하였다.

건조수분함량 1.01에서 공기유입속도가 높아짐에 따라 총차감압력은 증가하고 있다. 즉, 0.005 m/sec에서의 총차감압력은 348.3 Pa/m이며 0.03



[Fig. 3] Variation of equivalent pressure drop per 0.01 m/sec at different air velocities.



[Fig. 4] Variation of pressure drop by affecting factors at moisture content(dry basis) 1.01.

m/sec에서는 1,691.3 Pa/m, 0.05 m/sec에서는 2,789.0 Pa/m로, 0.005 m/sec에 비하여 총차감압력이 각각 485.5%, 800.7%나 증가하였다.

영향요인별로 층류속도(v)와 입자크기(SIZE*v)는 차감압력의 증가요인으로, 공기공극률(AFP*v), 수분함량(MC*v), 난류속도(v^2)는 감소요인으로 작용한다. 공기유입속도 0.005 m/sec에서의 총차감압력은 348.3 Pa/m로서, 이는 증가요인에 의한 763.3 Pa/m와 감소요인에 의한 415.0 Pa/m으로 이루어진 결과이다. 영향요인별로는 공기속도 0.005 m/sec에서는 층류속도(v)가 451.9 Pa/m, 입자크기(SIZE*v)가 311.5 Pa/m 순으로 차감압력을 증가시킨다. 공기유입속도가 0.03 m/sec, 0.05 m/sec로 높아짐에 따라 입자크기(SIZE*v)에 의한 차감압력은 각각 2,125.1 Pa/m, 3,799.2 Pa/m로서, 0.005 m/sec 경우에 비하여 682.3%, 1,219.7%나 증가하여 입자크기(SIZE*v)의 영향이 점차 커지고 있음을 알 수 있다.(**[Table 3]** 참조) 반면에 0.005 m/sec에서는 451.9 Pa/m로 가장 높은 증가요인이었던 층류속도(v)는 0.03 m/sec, 0.05 m/sec에서는 755.2 Pa/m, 981.5 Pa/m로서 0.005 m/sec에 비하여 167.1%, 217.2% 증가하였다. 층류속도(v) 대비 입자크기(SIZE*v)의 차감압력비율은 0.005 m/sec에서는 68.9%에 불과하였으나 0.03 m/sec에서는 281.4%, 0.05 m/sec에서는 387.1%로 증가하여 공기유입속도가 높아짐에 따라 차감압력 증가에 미치는 입자크기(SIZE*v) 영향이 커지고 있다.

차감압력에의 감소영향을 살펴보면, 0.005 m/sec 공기속도에서는 공기공극률(AFP*v), 수분함량(MC*v), 난류속도(v2)가 −312.6 Pa/m, −102.4 Pa/m, −0.08 Pa/m 순으로 차감압력을 낮추고 있다. 공기유입속도가 0.03 m/sec, 0.05 m/sec로 높아짐에 따라 공기공극률(AFP*v)은 −977.0 Pa/m, −1,653.9 Pa/m, 수분함량(MC*v)은 −208.3 Pa/m, −324.8 Pa/m, 난류속도(v^2)는 −3.8 Pa/m, −13.0 Pa/m로 차감압력을 낮추고 있다. 이를 공기유입속도 0.005 m/sec에서의 차감압력과 비교하면 **[Table 3]**과 같이 공기공극률(AFP*v)은 −312.6%, −529.1%, 수분함량(MC*v)은 −203.5%, −317.3%, 난류속도(v^2)는 −4,681.7%, −16,217.8%로서 공기유입속도가 증가함에 따라 난류속도(v^2)에 의한 감소율이 가장 높으나 난류속도에 의한 차감압력 감소는 −0.08 Pa/m~−13.0 Pa/m에 불과하다. 따라서 공기공급속도 증가에 따라 차감압력 감소에 영향을 미치는 요인은 공기공극률(AFP*v)과 수분함량(MC*v), 난류속도(v^2) 순으로 나타났다.

2) 공기유입속도에 따른 영향요인별 총차감압력에의 기여도 변화

공기유입속도에 따른 총차감압력에의 영향요인별 기여도 산정결과는 **[Fig. 5]**와 같다.

차감압력 증가요인 중 층류속도(v) 기여도는 낮은 공기속도인 0.005 m/sec에서는 129.7%로 가장 높았으나 0.03 m/sec, 0.05 m/sec에서는 각각 44.7%, 35.2%로 낮아지는 반면에, 입자크

[Table 3] Variation Ratios of Pressure Drop by affecting factors based on Pressure Drop at 0.005 m/sec

Item	Air Velocity	v	v^2	MC*v	AFP*v	SIZE*v	TOTAL
Pressure Drop Variation Ratio (%)	0.005m/sec	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	0.01m/sec	110.0	−455.0	−132.1	−163.8	251.4	181.6
	0.02m/sec	129.5	−1,842.8	−156.9	−227.7	468.7	336.3
	0.03m/sec	167.1	−4,681.7	−203.5	−312.6	682.3	485.5
	0.04m/sec	213.1	−9,162.3	−294.0	−448.5	954.8	639.3
	0.05m/sec	217.2	−16,217.8	−317.3	−529.1	1,219.7	800.7

기(SIZE*v) 기여도는 초기 89.4%에서 125.7%, 136.2%로 높아졌다. 또한 감소요인으로서 공기속도 0.005 m/sec에서 공기공극률(AFP*v)의 감소기여도는 89.7%로 가장 높았으며 0.03 m/sec, 0.05 m/sec에서는 57.8%, 59.3%로 낮아졌으나, 모든 공기유입속도에서 감소기여도가 가장 높다. 또한 수분함량(MC*v)의 감소기여도는 초기 29.4%에서 공기속도가 높아짐에 따라 12.3%, 11.6%로 낮아졌다. 반면에 난류속도(v^2)의 감소기여도는 초기 0.02%에서 0.2%, 0.5%로 높아졌으나 실제의 차감압력치가 높지 않아 차감압력 감소에 미치는 영향은 크지 않다.

이상의 결과에서 공기유입속도가 증가할수록 공기투과성이 악화되는 현상은 공기공극률(AFP*v)에 의한 차감압력 저감효과보다는 입자크기(SIZE*v)에 의한 차감압력 증가효과가 월등히 높아지기 때문임을 보여주고 있다. 본 연구에서의 입자크기는 수분함량에 의한 입자의 크기변화를 의미하고 있으므로 실제 퇴비화공정과정에서 공기유입속도 증가 시 공기투과성 악화를 최소화하기 위하여는 공기공극률이 높은 첨가재 사용이 필요한 것으로 여겨진다.

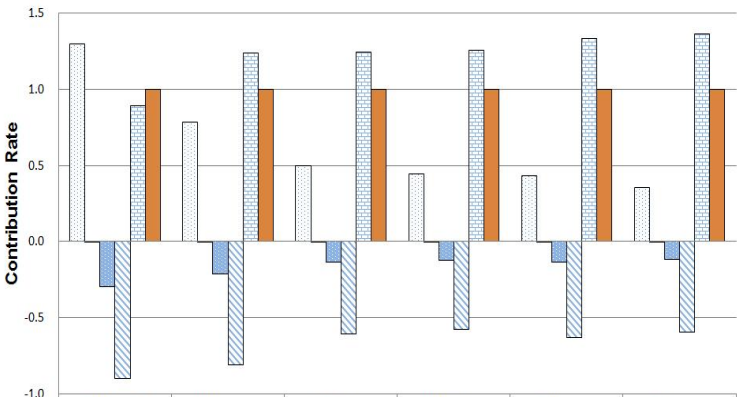
3.3.2 수분함량 변화가 공기투과성에 미치는 요인별 영향 및 기여도

1) 수분함량에 따른 영향요인별 차감압력 변화

수분함량에 따른 영향요인별 차감압력 및 총차감압력에의 기여도 변화추세는 모든 유입공기속도에서 유사한 경향을 보이고 있어, 공기유입속도 0.03 m/sec에서의 산정결과를 **[Fig. 6]**에 제시하였다.

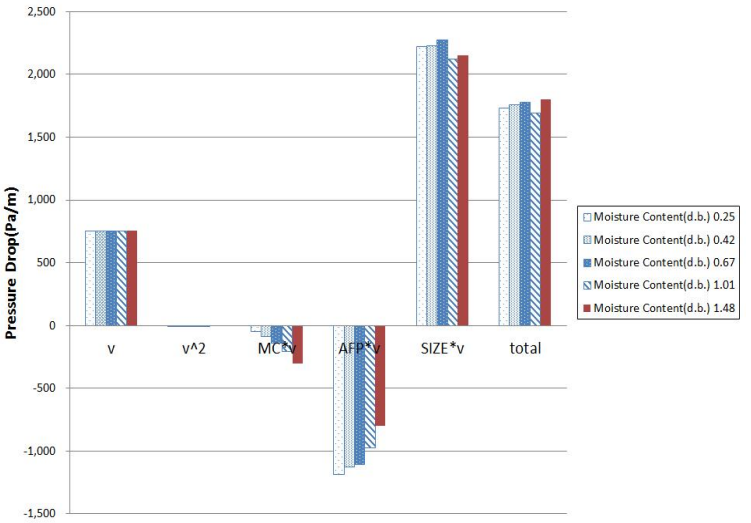
공기유입속도 0.03 m/sec에서 수분함량별 총차감압력은 건조수분함량 0.25에서 1,734.2 Pa/m, 0.67에서는 1,781.5 Pa/m, 1.48에서는 1,798.4 Pa/m로서, 수분함량이 높아져도 초기에 비하여 각각 2.7%, 3.7% 정도만이 증가하여 총차감압력은 크게 변화하지 않았다.

차감압력 증가요인별로는, 입자크기(SIZE*v)에 의한 차감압력이 건조수분함량 0.25에서 2,221.9 Pa/m로서 수분함량이 증가함에 따라 0.67에서 2,276.1 Pa/m로 최대치를 나타내고 이후 1.48에서는 2,149.0 Pa/m로 초기에 비하여 72.9 Pa/m가 감소하였으며, 모든 수분함량 범위에서 입자크기(SIZE*v)에 의한 차감압력 증가영향이 가장 높다. 반면에 층류속도(v)에 의한 차감압력은 모



	0.005 m/sec	0.01 m/sec	0.02 m/sec	0.03 m/sec	0.04 m/sec	0.05 m/sec
v	1.297	0.786	0.500	0.447	0.432	0.352
v^2	-0.0002	-0.001	-0.001	-0.002	-0.003	-0.005
MC*v	-0.294	-0.214	-0.137	-0.123	-0.135	-0.116
AFP*v	-0.897	-0.809	-0.607	-0.578	-0.630	-0.593
SIZE*v	0.894	1.237	1.246	1.257	1.336	1.362
total	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

[Fig. 5] Variation of contribution rate to total pressure drop by affecting factors at moisture content(dry basis) 1.01.



[Fig. 6] Variation of pressure drop by affecting factors at inlet air velocity 0.03 m/sec.

든 수분함량범위에서 755.2 Pa/m로 동일하다.

차감압력 감소요인별로는, 공기공극률(AFP*v)에 의한 차감압력은 건조수분함량 0.25에서 -1,187.5 Pa/m로 수분함량이 증가함에 따라 0.67에서 −1,107.4 Pa/m, 1.48에서 −797.6 Pa/m로 지속적으로 증가하였으며, 모든 수분함량범위에서 공기공극률(AFP*v)이 차감압력 감소의 가장 높은 요인으로 작용한다. 수분함량(MC*v)에 의한 차감압력은 건조수분함량 0.25에서 −51.7 Pa/m로서 수분함량 증가에 따라 −138.7 Pa/m, −304.5 Pa/m로 감소하며, 이는 공기공극률(AFP*v)에 의한 차감압력의 4.4%, 12.5%, 38.2%에 해당한다. 난류속도(v^2)에 의한 차감압력은 모든 수분함량범위에서 −3.75 Pa/m로 동일하며 차감압력 감소에 미치는 영향은 매우 낮다.

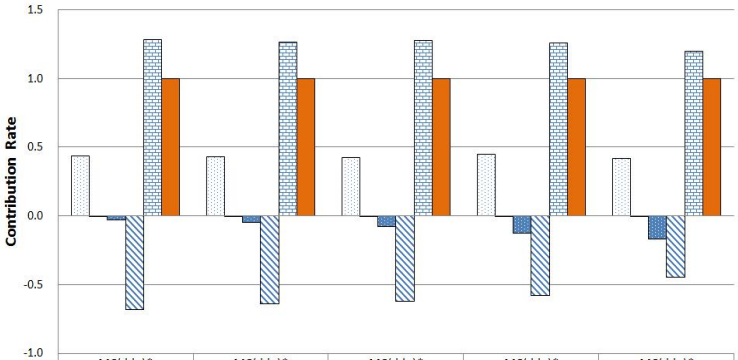
2) 수분함량에 따른 영향요인별 총차감압력에의 기여도 변화

각 수분함량에서의 총차감압력에 미치는 영향요인별 기여도 산정결과는 **[Fig. 7]**과 같다.

차감압력 증가요인으로서, 총차감압력에의 입자크기(SIZE*v) 기여도는 수분함량 증가에 따라 128.1%에서 119.5%로 완만하게 감소하였으며 모든 수분함량범위에서 증가기여도가 가장 높다. 층류속도(v)에 의한 기여도는 44.7%~42.0%를 차지한다. 전체적으로 수분함량 변화에 따라 총차감압력에 미치는 증가요인별 기여도에는 큰 변화가 없다.

반면에 차감압력에의 감소요인으로서 공기공극률(AFP*v)과 수분함량(MC*v)에 의한 감소기여도는 건조수분함량이 높아짐에 따라 서로 다른 경향을 보인다. 즉, 공기공극률(AFP*v)의 감소기여도는 건조수분함량 0.25에서 68.5%, 0.67에서 62.2%, 1.48에서 44.4%로 지속적으로 줄어드나, 모든 수분함량 범위에서 차감압력 감소기여도가 가장 높다. 수분함량(MC*v)의 감소기여도는 건조수분함량 0.25에서는 3.0%, 0.67에서 7.8%, 1.48에서 16.9%로 증가하였다. 난류속도(v^2)에 의한 감소기여도는 모든 수분함량에서 0.2%로 일정하게 나타났다.

이러한 결과에서 일정한 공기유입속도에서 수분함량이 높아져도 공기투과성이 크게 악화되지 않는 것은 차감압력 증가요인보다는 공기공극률(AFP*v)과 수분함량(MC*v)의 차감압력 저감효과에 기인한 것으로 여겨진다. 따라서 효율적인 퇴비화공정을 위하여는 적정 수분함량 유지와 함



	MC(d.b.)* 0.25	MC(d.b.)* 0.42	MC(d.b.)* 0.67	MC(d.b.)* 1.01	MC(d.b.)* 1.48
v	0.435	0.429	0.424	0.447	0.420
v^2	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
MC*v	-0.030	-0.049	-0.078	-0.123	-0.169
AFP*v	-0.685	-0.642	-0.622	-0.578	-0.444
SIZE*v	1.281	1.264	1.278	1.257	1.195
total	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

[Fig. 7] Variation of contribution rate to total pressure drop by affecting factors at inlet air velocity 0.03 m/sec. (*MC(d.b.) means moisture content(dry basis).)

께 특히 공기공극률(AFP*v)의 차감압력 저감효과가 수분함량(MC*v)에 비하여 크다는 점을 고려하면 공기공극률이 높은 첨가재 사용이 중요함을 보여준다.

4. 결론

퇴비화공정에서 첨가재로 사용되는 톱밥을 대상으로 공기유입속도와 수분함량 변화에 따라 공기투과성에 영향을 미치는 요인과 기여도를 평가한 결과는 다음과 같다.

1. 공기투과성 변화에의 영향요인으로 층류속도(v), 난류속도(v^2), 수분함량(MC*v), 공기공극률(AFP*v), 입자크기(SIZE*v)를 선정하여 차감압력 산정을 위한 차감압력 회귀식을 제시하였다. 차감압력의 증가요인은 층류속도(v)와 입자크기(SIZE*v)이며, 감소요인은 난류속도(v^2), 수분함량(MC*v), 공기공극률(AFP*v)로 나타났다.
2. 공기유입속도에 따라 총차감압력의 증가요인은 낮은 공기속도에서는 층류속도(v)가, 공기속도가 증가함에 따라 입자크기(SIZE*v)에 의한 영향이 높게 나타났다. 총차감압력의 감소요인은 모든 공기속도범위에서 공기공극률(AFP*v), 수분함량(MC*v), 층류속도(v)의 순으로 나타났다.
3. 공기유입속도별 총차감압력에의 증가기여도는 낮은 유속에서는 층류속도(v)가, 공기유입속도가 증가함에 따라 입자크기(SIZE*v)에 의한 영향이 커진다. 차감압력에의 감소기여도는 공기공극률(AFP*v)이 가장 높다.
4. 동일한 공기유입속도에서 수분함량 변화에 따른 총차감압력 변화는 크지 않다. 또한 모든 건조수분함량 범위에서 차감압력 증가요인은 입자크기(SIZE*v), 층류속도(v)의 순이며, 감소요인은 공기공극률(AFP*v), 수분함량(MC*v), 난류속도(v^2)의 순으로 나타났다.
5. 수분함량에 따른 총차감압력에의 증가요인별 기여도는 크게 변화하지 않았으나, 감소요인별 기여도는 수분함량이 높아짐에 따라 공기공극률(AFP*v) 기여도는 감소하며 수분함량(MC*v) 기여도는 증가하였다.
6. 이상의 결과에서, 공기공극률(AFP*v)과 수분함

량(MC*v)에 의한 차감압력 감소효과가 공기투과성 개선에 중요한 요인으로 작용하고 있음을 알 수 있다. 따라서 효율적 퇴비화를 위하여는 적정 수분함량 유지와 함께 공기공극률이 높은 첨가재를 선정하여 공기투과성을 향상시켜야 한다.

References

1. Ergun, S., "Fluid flow through packed columns", Chemical Engineering Progress, 48(2), pp.89−94. (1952).
2. Shedd, C.K., "Resistance of grain and seeds to airflow", Agricultural Engineering, 34(9), pp.616−619. (1953).
3. Hukill, W.V. and Ives N.C., "Radial airflow resistance of grain", Agricultural Engineering, 36(5), pp.332−335. (1955).
4. Haque, E., Ahmed, Y.N. and Deyoe, C.M., "Static pressure drop in a fixed bed of grain as affected by grain moisture content", Trans. ASAE., 25(4), pp.1095−1098. (1982).
5. Giner, S.A. and Denisienia, E., "Pressure drop through wheat as affected by air velocity, moisture content and fines", Journal of Agricultural Engineering Research, 63, pp.73−86. (1996).
6. Siebenmorgen, T.J. and Jindal, V.K., "Airflow resistance of rough rice as affected by moisture content, fines concentration and bulk density", Trans. ASAE., 30(4), pp.1138−1143. (1987).
7. Chung, D.S., Maghirang, R.G., Kim, Y.S. and Kim, M.S., "Effects of moisture and fine material on static pressure drops in a bed of grain sorghum and rough rice", Transactions of the ASAE, 44(2), pp.331−336. (2001).
8. Richard, T.L., Veeken, A.H.M., Wilde V. De and Hamelers, H.V.M., "Air−filled porosity and permeability relationships during solid state fermentation", Biotechnology Progress, 20(5), pp.1372−1381. (2004).
9. [김병태, "퇴비화 첨가제의 공기투과성에 관한 연구", 유기물자원화] Kim, B. T., "Effect on the air permeability of composting bulking agent", Journal of Korea Organic Resource Recycling Association, 20(3), pp.71−82. (2012).
10. [김병태, "톱밥의 공기투과성에 미치는 영향요인 분석", 2013 유기성자원학회 추계학술대회] Kim, B. T., "Analysis of affecting factors on air permeability for sawdust as bulking agent on composting", Korea Organic Resource Recycling Association Autumn Conference, pp.229−234. (2013).
11. [환경관리공단, 하수슬러지 처리 및 자원화 방안] Korea Environment Corporation, Treatment and resource recovery of sewage sludge, p.98. (2005).
12. [김병태, "음식물류폐기물 간접건조과정에서의 순환 및 낙하이동에 따른 건조효율 평가", 유기물자원화] Kim, B. T., "Analysis of drying efficiency for circulating and falling movements on indirected drying process of food waste", Journal of Korea Organic Resource Recycling Association, 20(4), pp.106−117. (2012).