

음식물퇴비의 압출에 의한 펠릿화 특성

김태규 민영봉 문성동 김명철

Pelletizing Performance of Food Waste Compost by An Extrusion Process

T. K. Kim Y. B. Min S. D. Moon M. C. Kim

Abstract

This study was performed to develop extrusion pelletizer for pelletizing the compost waste food. The effect of water content on the shape of pellet, the relationship between diameter of pellet and of extrusion hole and the relationship between extrusion force and die angle were investigated. Considering the stable shape of compost pellet and the operation efficiency of pelletizer, the water content of 2~4% was considered as the best condition. And the compost pellet could not maintain it's shape at the water content of 10% or over. The strongest extrusion force was needs when the die angle had 90° in 6 mm extrusion hole diameter, on the other hand, the weakest extrusion force was need at the die angle of 45°~65°. The compression strength of pellet shows the highest strength of 9.2Mpa when we make the compost pellet after screening the compost and make it with a size of 1.18 mm(No.16) or less.

Keywords : Pelletizer, Compost, Extrusion hole, Extrusion force, Die angle

1. 서론

2005년 1월 1일부터 음식물 쓰레기의 직매립이 금지됨에 따라 전국적으로 1일 약 5만 톤이 발생하는 음식물 쓰레기 처리가 큰 문제로 대두 되고 있는 실정이다. 발생된 음식 부산물의 감량화 방법으로는 매립, 소각, 건조 압축, 소멸 등이 있고, 자원화의 방법으로는 사료화, 퇴비화, 연료화 등이 있으며, 현재 80% 이상이 양질의 유기성 퇴비로 활용되고 있다.

토양을 건강하게 하고, 우리의 먹을거리를 안전하게 공급 받기 위해서는 음식물 발효 퇴비의 사용이 더욱 권장 되어야 한다. 또한 우수한 재활용 자원인 유기질 비료의 확대 공급을 위해서는 현재 분상(부스러기)상태의 제품을 입상화 할 필요가 있다. 기존의 분상상태 퇴비는 시비 후 바람에 의한 비산, 먼지발생, 강우에 의하여 유실되기 쉽고 또한 시비의 농도 조절이 어려워 인력에 의존하여 살포하고 있기 때문에 농촌 인

구의 고령화 등에 따라 수요를 확산시키는 데 한계가 있다. 하지만 분상상태의 퇴비를 입상화 하면 퇴비 살포를 자동화 할 수 있고 부피를 50% 이상 줄여 보관, 이동의 물류 효율성이 증대되어 부가가치를 더욱 높일 수 있다.

퇴비를 입상화하기 위한 방안으로 목재 분말과 톱밥을 가지고 압착하여 펠릿을 만들면 바이오매스 자원의 저장, 운반, 연소를 쉽게 조절할 수 있다. 북미, 유럽에서는 석유 연료나 화목(火木)을 대체할 수 있는 고체 바이오연료로서 목재 펠릿의 이용과 이에 연구가 꾸준히 증가하고 있다.(Main et al., 2006; Olsson et al., 2006; Wolf et al., 2006).

Kim 등(2005)과 Song 등(1994)은 스크류식 2축 압출성형기를 이용하여 각각 동충하초와 탈지대부분을 압출하는 데 적정 압출속도와 압출 후 재료의 물리화학적 변화를 구명한다. 그러나 2축 압출성형기는 점질 소성의 식료품재료의 압출 성형에 적합하다. 본 연구의 선행시험으로 비점질성인 음식

The article was submitted for publication on 2010-07-20, reviewed on 2010-08-19, and approved for publication by the editorial board of KSAM on 2010-09-16. The authors are Tae kye Kim, Professor, KSAM member, Department of Mechanical Engineering, Jinju National University, Young Bong Min, Professor, KSAM member, Department of Bio-Industrial Machinery Engineering, Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, and Sung Dong Moon, and Myung Cheol Kim Professor, Department of Industrial & Management Engineering, Kangwon National University. Corresponding author: Y. B. Min, Professor, Department of Bio-Industrial Machinery Engineering, Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju, 660-701, Korea; Fax: +82-55-762-0610; E-mail: <mybong@gun.ac.kr>

물퇴비를 2축 압축성형기로 성형한 결과 높은 마찰력으로 인한 재료의 압출 다이 내 메꿈현상이 일어나 펠렛의 성형이 불가능하였다.

본 연구의 목적은 음식물퇴비의 압출식 펠렛 입상화 시험장치를 고안 제작하여 퇴비의 수분 함유량과 압출다이의 직경 및 압출각도에 따른 압출 힘, 펠렛 경도 및 성형성능을 구명함으로써 입상화기계장치 개발의 기초 자료를 제공하는 데 있다.

2. 재료 및 방법

가. 시험재료

시험에 사용된 유기질 퇴비는 2008년 7월 1일에 구입하여 햇볕에서 15일 동안 건조된 상태로 수분이 2~4% Wb였으며, 퇴비의 안식각(安息角)은 88~94°였다. 기초시험 결과 퇴비의 수분이 4%이상 시 압출과정에서 다량의 수분이 제거되고 10% 이상의 더욱 많은 수분에서는 압출작업 시 무르게 압출되거나 재료가 흘러내리는 현상이 있었다. 유기질 퇴비에는 퇴비 이외에 많은 톱밥 및 10 mm 이상이 되는 돌도 함유되어 있어 이를 제거하고 입도에 따라 네 종류의 퇴비를 준비하였다. 그림 1에서 (a)는 퇴비에서 6 mm 이상의 돌을 제거한 퇴비, (b)는 일반 체 8번으로 친 퇴비, (c)는 일반 체 16번으로 친 퇴비, (d)는 일반 체 20번으로 친 퇴비로 실험을 실시하였다. 시험재료 퇴비의 구성성분은 어분 40%, 음식물 잔류물 20%, 식물성 잔류물 15%, 톱밥 10%, 미강 10%, 미생물 5%였다.

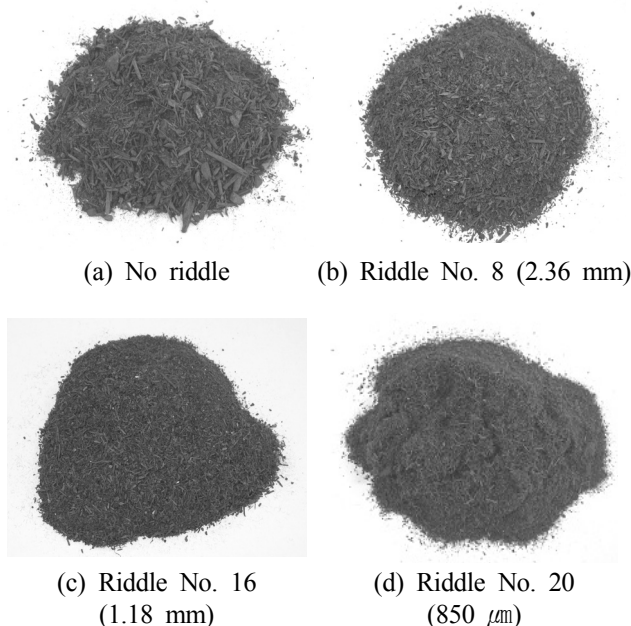


Fig. 1 Test materials of compost riddled.

나. 시험장치

1) 퇴비 압출시험장치

그림 2는 퇴비 압출시험장치인 유압프레스 퇴비 압출시험기 개요도이며 유압프레스(Hydraulic press)와 압출관(Container)으로 구성하였다. 유압프레스 피스톤 하부에 플런저(Plunger)를 연결하고 이 플런저가 유압작동으로 하향 시 압출관에 채워진 퇴비를 가압하여 퇴비가 압출다이(Extrusion die)를 통과하면서 원통형의 펠렛으로 성형이 되도록 하였다. 압출관의 내경은 30 mm, 높이는 150 mm로 하였고 가압 플런저의 외경은 29 mm, 길이는 200 mm로 하였다. 압출다이의 재료는 고탄소(C30)를 사용하였고, 외경부 높이는 60 mm, 중심축에 대한 다이의 유입부 원추각인 2α 와 유출공(Extrusion hole or land)의 직경은 시험요인으로서 여러 가지로 다르게 제작하여 사용하였다. 유압프레스의 펌프 구동용 전동기 용량은 2.2 kw(380V 3상 6극)였고, 유압 실린더의 직경은 100 mm, 유압은 최고 300 kg/cm² 인 것을 사용하였다. 그림 3은 유압프레스 퇴비압출시험기 사진이다.

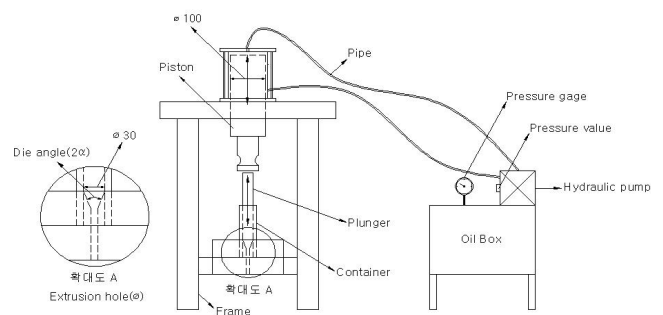


Fig. 2 The compost pelletizing equipment using hydraulic press.



Fig. 3 Photo of compost pelletizing equipment.

2) 압출 다이의 각도와 유출공

그림 4는 시험에 사용한 여러 압출 다이의 형태를 나타낸 것이다. 유출공 직경은 각각 6 mm, 7 mm, 8 mm의 3개 처리

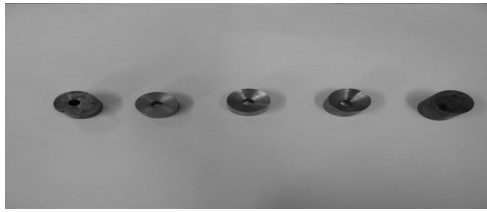


Fig. 4 Extrusion dies of different size.

구로 구성하였고, 다이의 각도는 각각 90°, 75°, 60°, 45°, 30°의 5개 처리구로 구성하였다. 다이의 외경, 즉 압출관의 내경은 30 mm로 하였는데 수회의 기초실험결과 이 크기에서 퇴비의 펠릿화가 가장 잘 이루어졌다.

3) 펠릿의 압축강도 측정기

그림 5는 퇴비를 압출하여 만든 펠릿의 압축강도를 측정하기 위하여 사용한 물성측정기(Stable micro system TA-XT2)이다. 이 물성측정기의 압축강도최소하중은 5 kgmm±0.1 g, 최대하중 250 kgmm±5 g이며, 시험대상 펠릿을 10 mm 길이로 절단하여 시편 주입 지그에 넣고 작동스위치를 켜면 압축력이 시편이 파괴 될때까지 압축력이 점차로 증가하게 되며, 파괴시점의 최대압축력을 파괴강도로 하였다.

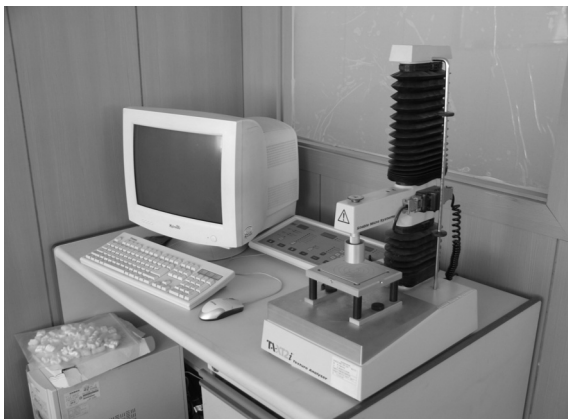


Fig. 5 Measurement system for measuring compression strength of compost pellet.

다. 시험방법

표 1은 사용퇴비의 입자크기, 압출다이의 각도, 유출공의 직경이 퇴비 펠릿화 압출력과 펠릿의 강도에 미치는 영향을 조사하기 위한 시험구 처리를 나타낸 것이다. 처리 요인으로서 다이의 각도는 각각 90°, 75°, 60°, 45°, 30°의 5단계, 다이 유출공의 직경은 6 mm, 7 mm, 8 mm의 3단계로 하여 시중의 목재 펠릿과 같은 수준의 크기로 하였고, 퇴비는 모두 돌을 제거하고 체질을 안 한 것, 일반 체 8번으로 친 퇴비, 일반 체 16번으로 친 퇴비, 일반 체 20번으로 친 퇴비의 4단계로 하였다. 모든 퇴비는 햇볕에 15일 동안 건조하여 수분이 3±0.5% Wb 사이인 것을 사용하였고, 각 시험구마다 퇴비 50 g을 압출관에 넣어 압출시험을 실시하였다. 압출하여 성형된 펠릿은 건조하지 않은 상태와 건조한 후의 것을 10 mm로 절단한 시편으로 압축강도를 시험하였다. 건조 펠릿은 드라이 오븐에 각 샘플 3개를 넣어 온도가 105°C의 온도에서 24시간동안 건조시킨 것으로 하였고, 건조 전후의 무게를 측정하여 건조 전의 펠릿 함수량을 측정하였다. 시험순서는 60개의 카드 추첨에 의한 랜덤방식으로 정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 펠릿의 성형성

그림 6은 퇴비 압출시험기에서 압출다이 각도를 60°로 하고 압출공 크기를 6, 7, 8 mm로 다르게 하고 일반 체 20번으로 친 퇴비로 만든 펠릿의 대표적인 모양이다. 본 연구의 선행 기초시험결과 펠릿의 성형성은 압출직전 퇴비수분의 영향이 가장 큰 것으로 나타났으며, 퇴비수분이 4% 이상인 경우에는 압출과정에서 다량의 수분이 제거되었고, 수분함량이 10% 이상인 경우에는 압출작업 시 무르게 압출되거나 재료가 흘러내리는 현상이 발견 되었으며, 성형성이 좋은 적합한 퇴비수분은 2~4% Wb인 것으로 조사되었다. 또한 퇴비의 입자가 너무 크거나 돌맹이 등 고체물질이 있는 경우에는 압출력이 너무 높아서 본 연구의 압출시험기로는 압출이 불가능한 경우가 많았다. 그 외의 요인인 다이의 각도와 유출공의

Table 1 Experiment conditions of compost pelletizing which the factors are extrusion die's angle and hole diameter and compost particle size of riddled level

Riddle	Diameter		6 mm					7 mm					8 mm				
	Angle		90°	75°	60°	45°	30°	90°	75°	60°	45°	30°	90°	75°	60°	45°	30°
No riddle	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15		
Riddle No. 8	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30		
Riddle No.16	A31	A32	A33	A34	A35	A36	A37	A38	A39	A40	A41	A42	A43	A44	A45		
Riddle No.20	A46	A47	A48	A49	A50	A51	A52	A53	A54	A55	A56	A57	A58	A59	A60		

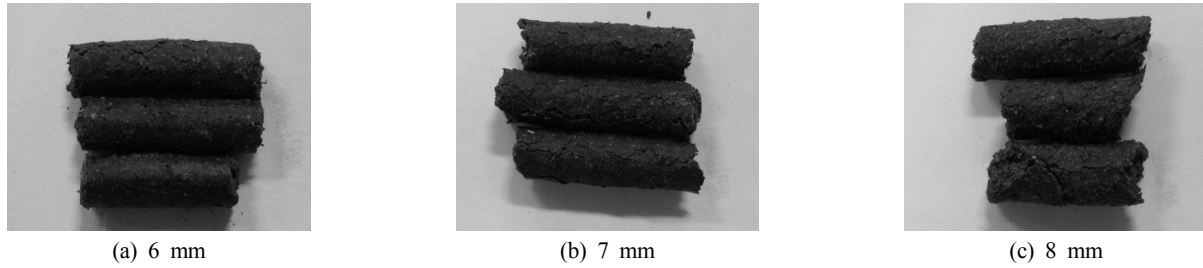


Fig. 6 Example of pellets made by compost pelletizing equipment when the extrusion die angle is 60° and the hole diameters are 6, 7 and 8 mm.

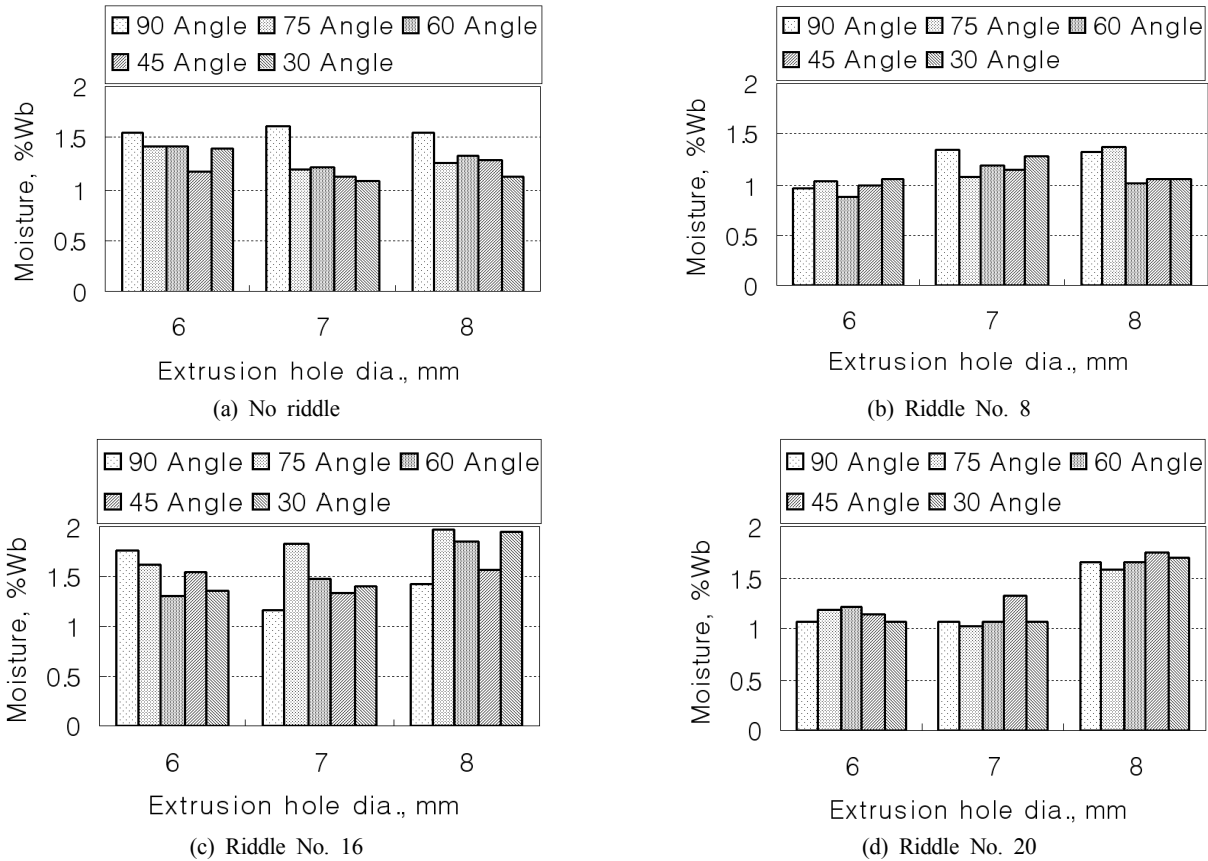


Fig. 7 Moist content variations of pellets according to extrusion die shape and compost particle size.

크기에 따른 가지적 성형성의 차이는 크지 않았다. 압출직후 펠렛의 직경은 다이의 유출공 직경보다 평균 0.3~0.5 mm 정도 크게 성형되었고 완전 건조후의 직경은 유출공과 같았다. 따라서 7 mm 내외의 소경 펠렛은 다이 유출공 직경을 제품 직경으로 정하여도 좋을 것으로 판단된다.

나. 압출 성능

1) 펠렛의 함수율

그림 7은 퇴비 압출시험기로 제작한 펠렛을 압출직후 건조 전 함수율을 습윤 기준으로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 퇴비의 함수율은 퇴비의 입자, 다이의 각도 및 유출공의 크기에 따라서 큰 차이가 나지 않았다. 이와 같은 결과

는 퇴비의 압출 전 초기수분이 3%이하로서 성형성이 좋았기 때문이며, 수분은 윤활제의 역할을 담당하는 정도의 양만 필요한 것으로 판단된다. 펠렛 함수율은 일반 체 8번으로 친 퇴비에서 다이 유출경 6 mm, 다이 각도 60°일 때 0.87% Wb로 가장 낮게 나타났고, 일반 체 16번으로 친 퇴비의 경우 입상직경 8 mm, 다이의 각도 30°일 때 1.96%로 가장 높게 나타났으며 전체 평균함수율은 1.33% Wb로 나타났다.

이상의 결과를 요약하면 압출에 의한 음식물 퇴비의 펠렛화에 적합한 초기 함수율이 2~4%였으며, 최소 초기 함수율은 1.0% Wb정도인 것으로 판단된다.

2) 소요 압출력

그림 8은 퇴비입자의 크기, 다이의 각도 및 유출공의 크기

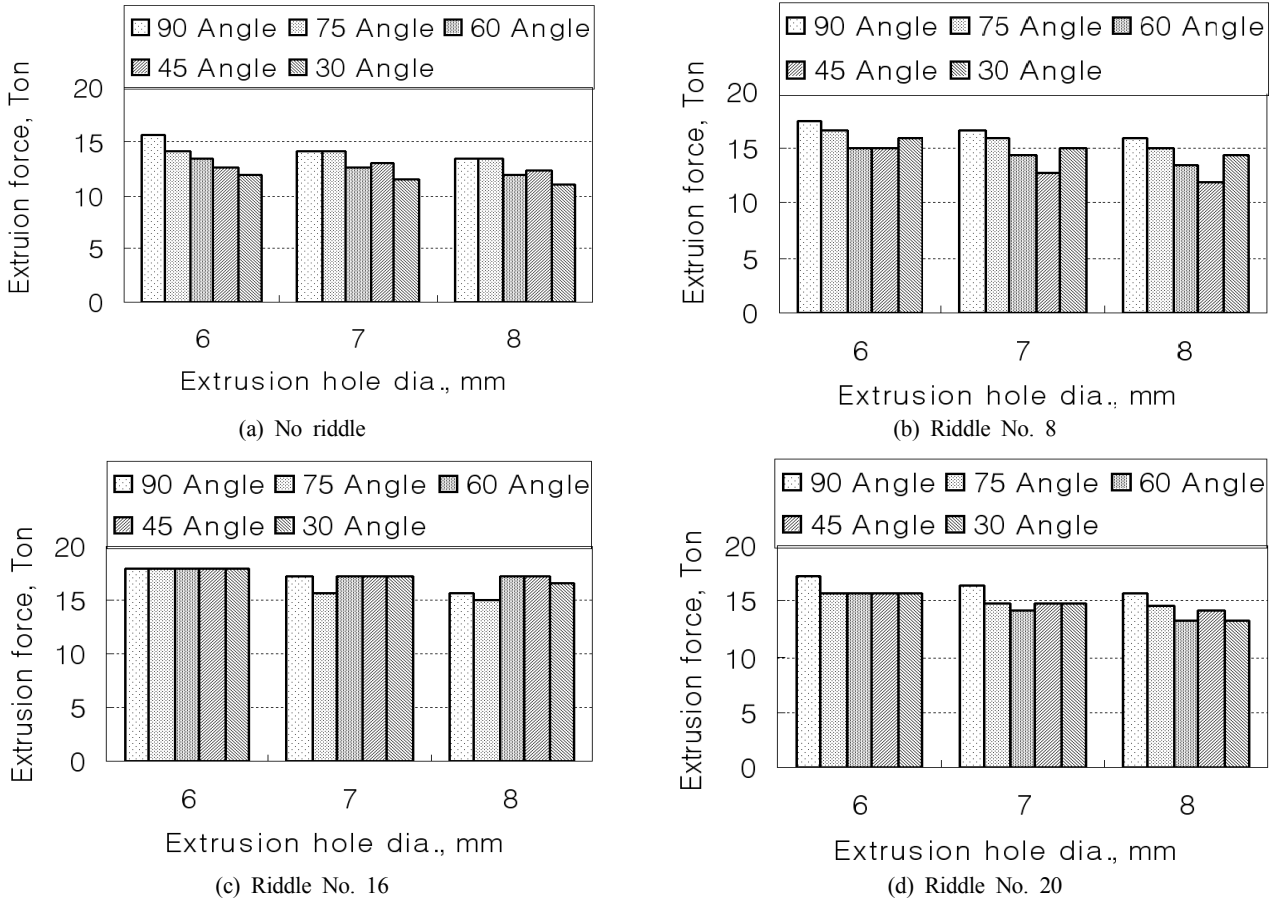


Fig. 8 Extrusion force variations of pellets according to extrusion die shape and compost particle size.

에 따른 펠릿 성형시 유압 압출시험기의 소요 압출력을 나타낸 것이다. 그림 8의 (a)는 6 mm 이상의 돌을 제거한 퇴비의 경우로 유출공 직경이 6 mm, 다이의 각도 90° 일 때 15.707 ton로 가장 높게 나타났고, 유출공 직경이 8 mm이고 다이의 각도 30° 일 때 10.995 ton으로 가장 낮게 나타났다. (b)는 일반 체 8번으로 친 퇴비의 경우로 유출공 직경이 6 mm, 다이의 각도 90° 일 때 17.278 ton로 가장 높게 나타났으며, 유출공 직경이 8 mm, 다이의 각도 45° 일 때 11.780 ton으로 가장 낮게 나타났다. (c)는 일반 체 16번으로 친 퇴비의 경우로 유출공 직경이 6 mm, 다이의 각도 90°, 75°, 60°, 45°, 30°일 때 18.064 ton로 가장 높게 나타났고, 유출공 직경이 8 mm, 다이의 각도 75° 일 때 14.992 ton으로 가장 낮게 나타났다. (d)는 일반 체 20번으로 친 퇴비의 경우로 유출공 직경이 6 mm, 다이의 각도 90° 일 때 17.278 ton로 가장 높게 나타났으며, 유출공 직경이 8 mm, 다이의 각도 60° 및 30°일 때 13.351 ton으로 가장 낮게 나타났다.

압출력은 퇴비입자의 크기와는 관계없고 단면적감소율(초기단면적-압출성형단면적)/초기단면적이 클수록 다이의 각도가 클수록 증가하는 것으로 나타났으며, 금속압출과 비슷한 현상을 보였다. 전반적으로 압출력은 단면적감소율이 가

장 큰 유출공 직경 6 mm에서 다이의 각도가 90°일 때 가장 높게 나타났으며, 다이의 각도 45°~65°에서 가장 낮게 나타났다. 따라서 음식물 퇴비로 직경 7 mm 전후 펠릿을 압출하여 제조하기 위한 유압프레스의 압출력은 약 15 ton 정도 필요한 것으로 판단되며, Kim 등(1983)은 토양을 경운할 때 경운날에 진동을 가하여 시험한 결과 토양과 날의 경사면에 작용하는 점착 및 마찰력을 줄임으로서 견인력을 20~50%로 낮출 수 있으며, 진동수가 증가할수록 견인력이 감소한다고 하였던 바, 본 퇴비의 압출장치에서도 플린저에 진동충격운동을 시키는 구조로 개선한다면 압출압력을 대폭 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

3) 펠릿의 압축강도

그림 9는 유출공 직경에 따른 펠릿의 압축강도를 건조 전(wet pellet) · 후(dried pellet)로 나타낸 것이다. (a)는 6 mm 이상의 돌을 제거한 퇴비로 펠릿의 압축강도는 건조 전인 경우 유출공 직경이 7 mm, 다이의 각도 30°일 때 0.73 MPa 가장 낮게 나타났고, 유출공 직경이 6 mm, 다이의 각도 45° 일 때 1.13 MPa 가장 높게 나타났다. (b)에서 보는 바와 같이 건조 후 펠릿의 압축강도는 유출공 직경이 7 mm, 다이의 각

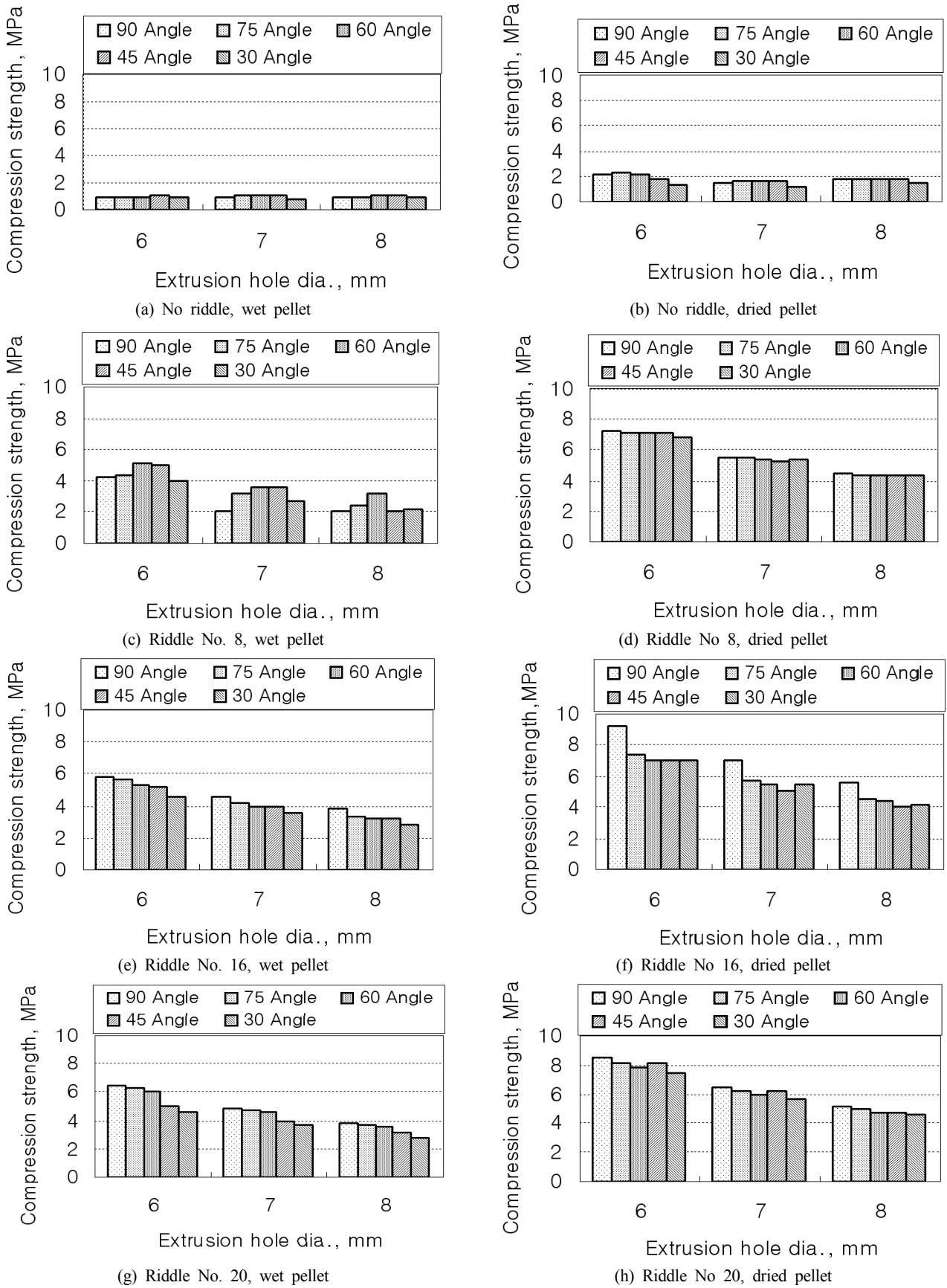


Fig. 9 Compression strength variations of wet and dried pellets according to extrusion die shape and compost particle size.

도 30° 일 때 1.11 MPa로 가장 낮게 나타났고, 유출공 직경이 6 mm, 다이의 각도 75°일 때 2.26 MPa로 가장 높게 나타났다. (c)는 일반체 8번으로 친 퇴비의 펠렛압축강도를 나타낸 것으로 건조 전인 경우 유출공 직경이 8 mm, 다이의 각도 90°일 때 1.99 MPa 가장 낮게 나타났고, 유출공 직경이 6 mm, 다이의 각도 60°일 때 5.13 MPa 가장 높게 나타났다. (d)는 건조 후 펠렛의 압축강도를 나타낸 것으로 유출공 직경이 8 mm, 다이의 각도 60°일 때 4.28 MPa로 가장 낮게 나타났고, 유출공 직경이 6 mm, 다이의 각도 90°일 때 7.25 MPa로 가장 높게 나타났다. (e)는 일반체 16번으로 친 퇴비의 펠렛압축강도를 나타낸 것으로 건조 전인 경우 유출공 직경이 8 mm, 다이의 각도 30°일 때 2.79 MPa 가장 낮게 나타났고, 유출공 직경이 6 mm, 다이의 각도 90°일 때 5.84 MPa 가장 높게 나타났다. (f)는 건조 후 펠렛압축강도를 나타낸 것으로 유출공 직경이 8 mm, 다이의 각도 45°일 때 4.08 MPa로 가장 낮게 나타났고, 유출공 직경이 6 mm, 다이의 각도 90°일 때 9.2 MPa로 가장 높게 나타났다. (g)는 일반체 20번으로 친 퇴비의 펠렛압축강도를 나타낸 것으로 건조 전 일 때 유출공 직경이 8 mm, 다이의 각도 30°일 때 2.79 MPa 가장 낮게 나타났고, 유출공 직경이 6 mm, 다이의 각도 90°일 때 6.44 MPa 가장 높게 나타났다. (h)는 건조 후 펠렛 압축강도를 나타낸 것으로 유출공 직경이 8 mm, 다이의 각도 30°일 때 4.58 MPa로 가장 낮게 나타났고, 유출공 직경이 6 mm, 다이의 각도 90°일 때 8.49 MPa로 가장 높게 나타났다.

펠렛의 압축강도는 다이의 각도와 유출공의 직경이 작을수록 즉, 단면적감소율이 클수록 영향을 받지만, 그 보다는 입자의 크기에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 퇴비의 입상화를 위하여 파쇄기로 퇴비의 입자 크기를 2.36 mm(일반체 8번으로 친 퇴비입자의 크기) 이하로 파쇄하였을 때 퇴비의 압축강도가 증가하였고, 퇴비를 건조시키면 압축강도의 증가는 더욱 크게 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 퇴비의 압출식 펠렛 입상화기계장치 개발을 위한 퇴비의 수분 함유량과 압출다이의 직경 및 압출각도에 따른 압출 힘, 펠렛 경도 및 성형성을 구명하였으며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 펠렛의 성형성은 압출직전 퇴비수분의 영향이 가장 큰 것으로 나타났는데 퇴비수분이 4% 이상인 경우에는 압출과정에서 다량의 수분이 제거되었고 10% 이상인 경우에는 압출작업 시 무르게 압출되거나 재료가 흘러

내리는 현상이 발견되었으며, 성형성이 좋은 적합한 퇴비수분함량은 2~4%였다.

- (2) 압출직후 펠렛의 직경은 다이 유출공의 직경보다 0.3~0.5 mm 크게 생성되었다가 완전건조후에는 동일한 직경으로 되었으며, 7 mm 정도의 소직경 펠렛의 제품경은 다이 직경으로 정하여도 무방하였다.
- (3) 전반적으로, 압출력은 단면적감소율이 가장 큰 유출공 직경 6mm에서 다이의 각도가 90°일 때 가장 높게 나타났으며, 다이의 각도 45°~65°에서 가장 낮게 나타났다.
- (4) 펠렛의 압축강도는 일반체 16번(1.18 mm)으로 친 퇴비에서 유출공 직경 6 mm, 다이 각도 90°일 때 9.2 MPa로 가장 높게 나타났다.
- (5) 성형성과 압출력, 압축강도를 비교분석한 결과 7 mm 정도 직경의 압출식 퇴비 펠렛화에 가장 적합한 압출 다이의 각도는 45°~60°였으며, 압출력은 15 ton 정도로 대단히 높게 나타나 진동충격압출방식 등과 같은 압출력을 낮출 수 있는 방법을 모색할 필요가 있는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Kim, D. E., J. M. Sung and W. S. Kang. 2005. Extrusion-cooking Using Twin-screw Extruder on Cordyceps Pruinosa. *Journal of Biosystems Eng.* 30(1):8-16. (In Korean)
2. Kim, Y. H. and S. T. Kim. 1983. Fundamental Study on Oscillating Tillage(2) - Acting Horizontal Vibration on the Triple Tillage Blade -. *The Journal of Biosystems Eng.* 8(2):1-10. (In Korean)
3. Main, S., L. G. Tabil, and Sokhansanj, S. 2006. Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses, *Biomass Bioenerg.* 30:648-654.
4. Olsson, M. and Kjallstrand, J. 2006. Emissions from buring of softwood pellets, *Biomass Bioenerg.* 27:607~611.
5. Song, D. B., H. K. Koh and Y. H. Kim. 1994. Analysis of the TPP(Texturization of Plant Protein) Production Process Using Twin Screw Extruder. *Journal of Biosystems Eng.* 19(1):42-49. (In Korean)
6. Wolf A., A. Vidlund, and Andersson, E. 2006. Energy-efficient pellet production in the forest industry - a study of obstacles and success factors, *Biomass Bioenerg.* 30:38-45.