

낙농가를 위한 스크루 압착식 축분 고액분리기 연구 I

— 젖소용 축분 고액분리기 설계요인시험 구명 —

유병기^{1*} · 김혁주¹ · 이성현¹ · 김중곤² · 안희권³ · 라창식⁴

¹농촌진흥청 국립농업과학원 생산자동화기계과, ²농촌진흥청 국립축산과학원 축산환경과, ³충남대학교 동물바이오시스템공학과, ⁴강원대학교 동물생명시스템학과

A Study on Manure Separator Using Screw Press for Dairy Farms (I)

— Factorial Tests for Design of Dairy Manure Separator —

Byeongkee Yu^{1*}, Hyuckjoo Kim¹, Sunghyoun Lee¹, Jungkon Kim², Heekwon Ahn³, Changsix Ra⁴

¹Farming Automation Division, National Academy of Agricultural Science RDA, Korea,

²Animal Environment Division, National Institute of Animal science RDA. Korea,

³Department of Animal Biosystem Science, Chungnam National University Korea,

⁴Department of Animal Life System, Kangwon National University Korea

ABSTRACT

The study on design criteria of solid-liquid separator for dairy farms was done by testing various screens, presses, and RPMs of screw auger with remodeled screw-press type pig-manure separator. The moisture content of separated solid increase from 68.3% to 74.2% as auger rotating speed increased from 9.8 to 29.2 RPM at 34.8 kPa of pressure and 1.0 mm of slit wedge wire screen condition. The moisture contents of separated solid were 72~77%, work efficiencies were 16~18 kg/min at 1.0 mm of slit wedge wire screen. The efficiency was higher than one at 0.5 mm of slit wedge wire screen, which was used to separate for pig manure. The best work efficiency was 18 kg/min at 42.5 kPa, 1.0 mm slit screen. The separated solid moisture content was 75% at this condition.

(Key words : Livestock machinery, Manure treatment, Dairy manure, Solid-liquid separator, Screw press)

서 론

(Screen separation), 원심분리 (Centrifugation), 압착여과 (Filtration/Pressing) 등으로 나뉜다.

가축분뇨 고액분리는 크게 여과망 분리 또한 여과망 분리는 고정 경사 여과망

*Corresponding author : Byeongkee Yu, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea. Tel: +82-31-290-1866, E-mail: ybk@korea.kr

2014년 2월 3일 투고, 2014년 3월 10일 심사완료, 2014년 3월 15일 게재확정

(Stationary inclined screen), 진동 여과망 (Vibrating Screen), 회전 여과망 (Rotating Screen) 등으로 나뉘지고, 원심분리는 원심분리기(centrifuge)와 하이드로 사이클론(Hydrocyclone)으로 나뉘지며, 압착여과는 롤러 압착(Roller Press), 벨트 압착(Belt Press), 스크루 압착(Screw Press), 필터 압착(Filter Press) 등으로 나뉜다. 각 고액분리방식은 처리 전 분뇨의 상태와 고액분리 후 고형분 및 액의 처리 방법, 초기설치비, 소요동력 및 유지관리 비용 등을 고려 설치 사용하게 된다 (2002, Marcy Ford and Ron Fleming).

우리나라에서 축분 고액분리기는 양돈에서는 상당한 발전을 보여 많은 업체에서 다양한 고액분리기가 생산 판매되고 있다. 특히 여과망 분리와 스크루 압착식을 조합한 기종이 많이 보급되고 있다. 이는 고형분 함량이 5%이하인 묽은 슬러지에서 작업효율이 높으나 분리된 고형분의 함수율이 85~90% 높은 여과망분리 방식(Zang and Westerman, 1997) 과 분리된 고형분의 함수율은 낮으나 처리능률이 떨어지는 스크루압착식 고액분리기를 결합하여 서로의 장점을 살린 방식이다. 이 방식에서는 함수율이 높은 슬러리를 여과망 분리후 함수율이 높은 고형분을 스크루 압착식으로 2차 처리하여 고형분의 함수율을 65~70%로 낮추면서도 작업효율을 증가시키기 위한 방법으로 판단된다. 또한 정밀한 가공을 요하는 원심분리의 일종인 데칸타 (Decanting Centrifuge)도 국산화되어 보급되고 있다.

한편 우리나라 젓소농가는 2007년 조사에서 94.9%가 깔짚축사로 나타났다(2009. Min). 이런 경우에는 퇴비화 할 경우 고액분리가 필요 없지만 스크레이퍼를 사용하는 유우사의 경우는 젓소분뇨를 퇴비화하기 위하여 많은 수분조절제가 필요하며 그 비용부담이 크

다. 또한 스크레이퍼를 사용하는 축사에서 발생한 가축분뇨는 점도가 높아 액비살포기를 이용하여 살포하기가 어렵다. 스크레이퍼 축사가 많은 구미에서는 대부분 스크루 압착식 고액분리기를 사용하여 고형분은 수분조절제 없이 퇴비화하고 액은 점도가 낮아지므로 쉽게 액비를 만들어 액비살포기로 사료포장에 살포하고 있다.

유럽에서 수입된 고액분리기는 우리나라 농가실정보다 용량이 크고 가격이 비싸며, 오거 및 필터 등의 소모성 부품의 수급 및 사후 관리 비용 등의 문제가 있었다. 그러므로 젓소용 고액분리기의 국산화를 위한 시도가 있었으나, 작업능률, 고형분 함수율, 스크루의 마모 등의 문제가 제기 되어 실용화에 실패하였었다.

이에 본 연구에서는 고액분리 후 고형분이 수분조절제 첨가 없이 퇴적 발효 가능한 함수율까지 낮출 수 있는 고액분리기의 개발을 시도하게 되었다. 젓소분뇨의 경우 선진국에서 수입되어 사용되는 고액 분리기가 고형분 함수율 75%로 맞추어 사용되고 있고 외국의 문헌에서도 고액분리기를 개발 할 때에 함수율을 75%로 하고 있어(2005 BRAIN Report), 고형분 함수율 75% 이내까지 가능한 고액분리 방식을 조사했다. 그 결과 원심분리기의 일종인 데칸타 방식, 스크루 압착방식, 롤러 압착방식의 일종인 천공 압축롤러(Perforated Pressure Roller Separator) 방식, 필터 압착방식의 일종인 압력 필터(Pressure filter) 방식이 가능한 것으로 나타났다(2002, Marcy Ford and Ron Fleming). 그 중에 스크루 압착방식은 초기 투자비 및 유지비가 데칸타 방식의 약 20%에 해당한다(2000, H. B. Moller). 또한 함수율의 변화 등 농가의 가변적 환경변화에 적용이 쉽고 양돈용 고액분리기로 10여년 동안 국내에서 양산 판매 되어온 스크루 압착

식이 우리나라에서 거의 사용되지 않은 천공 압축롤러방식이나 압력 필터 방식보다 우리 실정에 적용이 적합하다고 판단되었다. 그러므로 본 연구에서는 스크루 압착방식 젖소 분뇨 고액분리기 개발에 대한 연구를 하게 되었다.

먼저 젖소 분뇨의 물성에 대한 조사를 하고 국내에 많이 보급되어 오랫동안 사용되어 온 양돈용 스크루 압착식 고액분리기를 보완하여 젖소용 스크루 압착식 고액분리기 개발을 위한 시험을 하였다.

재료 및 방법

1. 젖소 분뇨 물성조사

가축분뇨 샘플은 스크레이퍼를 사용하는 4개의 목장의 가축분뇨를 수거하여 함수율, 점도, 입자분포를 조사하였다. 또한 유럽산 고액분리기를 사용하는 농가의 고액분리 후의 상태를 조사하였다. 함수율 측정은 표준 공정 시험법을 사용하였으며, 점도측정은 회전식 점도계(Visco Star plus, Fungilab, SPAIN)를 사용하였고, 입자분포는 젖소분뇨를 20배로 물로 희석 채 분리 후 건조하여 중량을 측정하였다. 실험에 사용된 채는 75 μ m, 150 μ m, 1 mm, 2 mm, 4.75 mm 눈의 채를 사용하였다.

2. 고액분리 요인시험

사용된 고액분리 요인시험장치는 모터 회전수 조절용 컨버터를 설치 모터 주파수 변환에 의한 스크루오거의 회전수를 바꿀 수 있도록 하였으며, 고형분이 배출되는 쪽에서 스프링의 장력을 조절하여 압력실의 압력을 변경하였다. 또한 여과챔버내의 여과망을 바

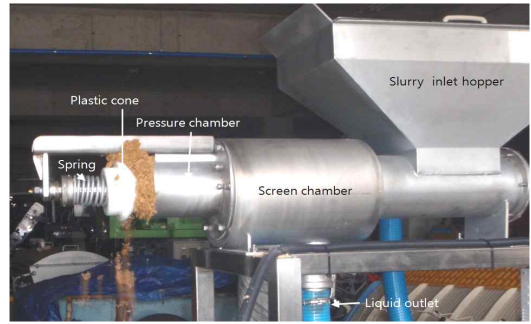


Fig. 1. Separating factorial experiment tester.

꾸어가며 고액분리 전후의 함수율, 점도, 처리량을 측정 비교하였다. Fig. 1은 이번 시험에 사용한 고액분리 시험장치이며 Table 1은 요인시험을 위한 시험 장치 사양을 나타낸 것이다. 시험조건은 Table 2에서와 같이 오거의 회전수는 9.87, 19.5, 29.2 RPM의 3수준으

Table 1. Specification of this separating factorial experiment tester.

Separating type	Screw Press Separating
Power	3 phase 3.73 kW
Screw	Ø 140 mm, Pitch 110 mm
Screen	Wedge Wire Screen (Width 3 mm, Deep 5 mm)
Pressure control	Compressive Coil Spring
Rotating speed control	Electric Converter

Table 2. Experimental design used in this separating factor.

Separating Factor	Level
Pressure in press chamber (kPa)	27.4~42.8
Rotating speed of screw auger (RPM)	9.87, 19.5, 29.2
Slot size of screen (mm)	0.5, 1.0
Moisture content of slurry (%)	88.2~89.5



Fig. 2. Anti-abrasion material selecting test in soil chamber.

로 하였으며, 여과망의 간극은 0.5, 1.0 mm의 망을 사용 2수준으로 하였으며, 스프링 고정 위치를 3수준으로 고정, 스프링 압축정도를 측정 압력실 단면적으로 나뉘서 압력실에 걸리는 압력을 계산하였다.

3. 스크루 끝 부분 보강 소재선발 시험

젓소 분뇨는 양돈분뇨와 달리 토사와 유사한 성분이 많이 포함되어 있어 양돈용 고액분리기로 고액분리하면 젓소분뇨의 고형분이 배출되는 압력실에 접하는 부분의 스크루 끝 부분의 마모가 심하여 얼마가지 않아 고액분리 성능이 급격히 떨어지는 경향이 있다. 그러므로 유럽에서 수입되는 낙농용 고액분리기의 경우 마모가 심한 오거 끝부분을 내마모성 보강용 소재로 보강을 한다. 이 시험에서는 오거 보강용 내마모성 소재를 선별하기 위하여 산업현장에서 내마모소재로 많이 사용되는 탄소공구강, 크롬몰리브덴강, 고속도강, 탄화텅스텐, 망간합금강으로 직육면체 시편을 만들었다. 각 시편을 고정장치에 붙여서 Fig. 2와 같이 토양작업기를 시험하는 원형토조에서 마모도 시험을 하였다.

시편이 휴과 약 45도의 경사를 가지고 마찰되도록 한 상태에서 0.24 m/s의 선속도가 되도록 12시간씩 연속 작업 후 마모정도 측

정을 반복하였다. 토양은 표준사 모래를 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 젓소 분뇨 물성조사

스크레이퍼를 사용하는 4개 목장의 가축분뇨의 함수율과 점도를 조사하고, 그중 고액분리기를 사용하고 있는 2개 목장의 고액분리 후의 고형분과 액의 함수율과 점도를 조사한 결과는 Table 3과 같이 나타났다.

함수율은 농가의 우상관리상태, 물 사용정도 등에 따라 84.9~90.1%로 나타났다. 점도는 450~44,000 cP로 함수율에 비하여 큰 차이가 있었다. 그 4농가 중 2농가는 고액분리를 하고 있었는데 유럽에서 수입한 고액분리기를 사용한 농가에서는 분리된 고형분 함수율이 75.3%로 나타났으며 분리된 고형분을 수분조절 없이 퇴적 발효를 시키고 있었다. 톱밥우사의 분뇨나 양돈 분뇨의 경우는 함수율 65~70%가 되어야 퇴적발효가 되는 것으로 알려져 있으나 톱밥 등 수분조절제가 포함되지 않고 스크루 압착식 고액분리기로 분리된 젓소분뇨 고형분은 섬유질이 많고 수분의 대부분이 섬유질 조직 속에 들어 있으므로 75%의 함수율에서도 공극이 확보되기 때문인 것으로 추정되었다.

젓소분뇨의 원수를 20배로 희석 채 분리 후 건조하여 중량을 측정하여 입자분포를 측정한 결과는 Table 4와 같이 나타났다. 75 μ m 이하가 전체의 44.3%, 150 μ m 이하가 46.3%로 나타났다. 이는 75 μ m, 150 μ m 망을 통과한 입자가 각각 31%, 35%로 나타난 일본농업기계화연구소의 연구(2005. BRAIN REPORT)와 같이 작은 입자의 비중이 높은 것으로 판단되었다.

Table 3. Characters of dairy manure gathered with scraper in farms.

Farm		Y	H	D	G
Barn		Freestall	Freestall	Freestall	Loose
Manure gathering		Scraper	Scraper	Scraper	Scraper in feeding area
Before Separating	Moisture content (%)	86.1	90.1	89.6	84.9
	Viscosity (cP)	24,000	450	1,700	44,000
After Separating	Liquid	Moisture content (%)	91.0	94.7	None separating
		Viscosity (cP)	780	85	
	Solid	Moisture content (%)	80.5	75.3	
		Viscosity (cP)	—	—	
Separator type		Roller Press (hand made)	Screw press (made in EU)		

Table 4. Screen Separated particles size of dairy manure.

Particle Size (mm)	Mass ration of dry manure (%)
more than 4.75 mm	11.3
2 ~ 4.75 mm	11.4
1 ~ 2 mm	11.5
150 μm ~ 1 mm	19.4
75 ~ 150 μm	2.0
less than 75 μm	44.3

4.75 mm망에 11.3%의 고형분이 걸리졌는데 이는 Fig. 3에서 보는 것과 같이 주로 소화가 덜된 곡물껍질이나 조사료인 것으로 나타났다.

2. 고액분리 요인시험

1.0 mm 망을 설치한 스크루 압착식 고액



Fig. 3. Particles of manure on 4.75 mm screen.

분리장치에 압력을 걸어주는 스프링의 위치를 특정 위치에 고정하고 스크루의 회전속도를 바꾸어가며 고액분리 특성을 측정하였다. 그 결과 Fig. 4와 같이 스크루의 회전속도가 9.8 RPM에서 19.5, 29.2로 증가함에 따라 고

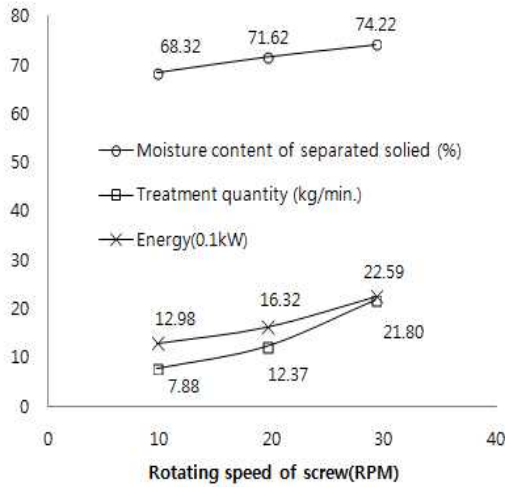


Fig. 4. Performance of separator in 1.0 mm screen by rotating speed of screw.

형분 함수율은 68.32에서, 71.62, 74.22%로, 처리량은 7.88에서 12.37, 21.80 kg/min으로, 소요에너지는 1,298에서 1,632, 2,259 W로 증가하였다.

스크루의 회전속도를 29.2 RPM으로 고정시킨 후 망 간격 0.5 mm와 1.0 mm에서 압력실에 걸리는 압력을 달리하며 고휘분의 함수율과 분당 처리량을 측정한 결과 Fig. 5와 같이 나타났다. 0.5 mm 망의 경우는 압력이 27.3, 29.9, 42.5 kPa로 높아짐에 따라 고휘분 함수율은 79.72, 78.34, 74.73% (w.b.)로 낮아지며 분당 처리량은 10.51, 11.22, 11.84 kg으로 약간씩 증가하였다. 1.0 mm 망의 경우는 압력이 27.3, 34.8, 42.8 kPa로 증가함에 따라 고휘분 함수율이 77.14, 75.27, 72.21%로 감소하고, 분당 처리량은 17.31, 18.38, 15.87 kg으로 약간 증가하다 다시 감소하는 경향이 있었다. 그러므로 고휘분의 퇴적발효가 가능한 함수율 75% 이하를 확보하면서 분당처리량을 증가시키기 위한 조건으로는 0.5 mm 망보다는 1.0 mm 망이 유리하며, 압력은 너무 낮거나 높지 않고 34.8 kPa 부근에서 높은 작

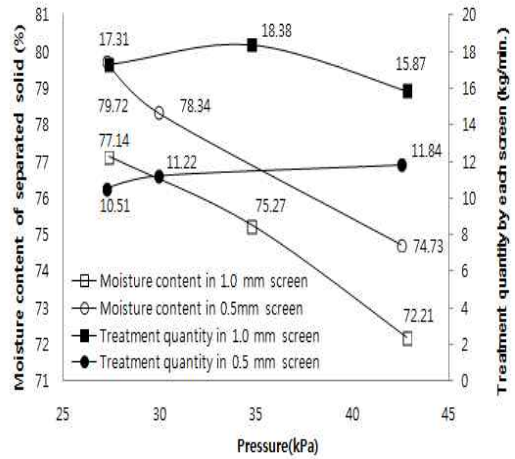


Fig. 5. Moisture content of solid separated and treatment quantity by 0.5 mm screen and 1.0mm screen at 29.2 RPM.

업성능을 나타내는 것으로 분석되었다.

3. 스크루 끝 부분 보강 소재선발 시험

탄소공구강, 크롬몰리브덴강, 고속도강, 탄화텅스텐, 망간합금의 마모도 시험결과 Fig. 6과 같이 탄화텅스텐과 고속도강이 내마모성이 우수하였으나 탄화텅스텐은 기계가공이 어려운 문제가 있으므로 고속도강으로 보강

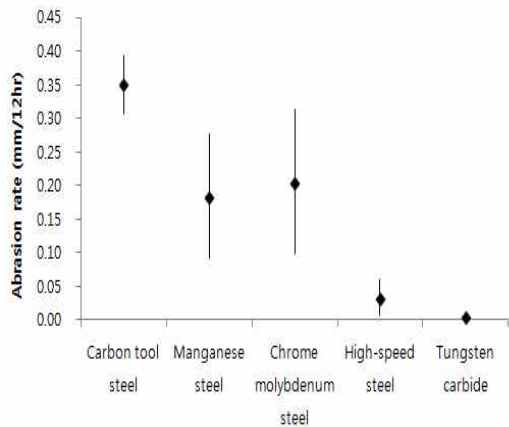


Fig. 6. Abrasion of anti-abrasion materials.

제를 사용하는 것이 합리적일 것으로 판단되었다.

결 론

낙농용 축분 고액분리기 기술 개발을 위하여 분뇨저장조 축분의 물성을 조사한 결과 함수율은 84.9~90.1%, 점도는 450~44,000 cP, 입자크기는 150 μ m 이하 입자가 46.3%로 작은 입자가 많은 것으로 나타났으나 4.75 mm 망에 걸리는 입자도 있었다. 이 망에 걸리는 입자는 주로 덜 소화된 곡물 껍질과 섬유질 등으로 조사되었다.

양돈용으로 사용되던 고액분리기를 개량하여 망 간격, 압력, 오거회전수 등을 변경시키며 적정 젖소 분뇨 고액분리 설계 기준을 조사하였다. 1.0 mm 망, 34.8 kPa 압력에서 오거 회전수를 9.77 RPM에서 29.2 RPM으로 증가함에 따라 고휘분 함수율은 68.3%에서 74.2%로 분당 처리량은 7.9 kg에서 21.8 kg으로 증가하는 것으로 나타났다. 1.0 mm 망에서는 분리된 고휘분 함수율이 72~77%, 작업능률이 16~18 kg/min 나타나 분리된 고휘분 함수율 80~75%, 작업능률 11~12 kg/min 나타난 양돈용으로 많이 사용하는 0.5 mm 망보다 성적이 좋았다. 젖소 분뇨 고액분리를 위한 최적 조건은 압력 34.8 kPa, 1.0 mm 망인 것으로 나타났으며, 이때 고휘분 함수율 75%, 분당 처리량 18 kg으로 나타났다.

또한 오거의 내마모성을 보강하기 위한 소재 선발시험 결과 탄소공구강, 크롬몰리브덴강, 고속도강, 탄화텅스텐, 망간합금강의 마모도 시험결과 고속도강과 탄화텅스텐이 내

마모성이 우수하였다. 하지만 탄화텅스텐은 가공이 어렵기 때문에 고속도강이 적당할 것으로 판단되었다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업 (과제 번호: PJ009392)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

1. Moller, H.B., Lund, I., Sommer, S.G., 2000. Solid-liquid separation of Livestock slurry: efficiency and cost, *Bioresource Technology* 74(3) 223-229.
2. Marcy Ford, Ron Fleming, 2002. Mechanical Solid-Liquid Separation of Livestock Manure Literature Review, Ridgetown College University of Guelph, Ontario Canada
3. Min etc. 2009, Surveying for Barn Facilities of Dairy Cattle Farms by Holding Scale, *Journal of Animal Environmental Science* 15(3) 251-262,
4. MWPS (Midwest Plan Service). 1997. *Agricultural Waste Management Field Handbook*.
5. NARO Bio-oriented Technology Research Advancement Institution(BRAIN), 2005. The development of high efficiency solid-liquid separator, 2005 BRAIN Report(In Japan) pp. 146-147.
6. Ron Fleming and Malcolm MacAlpine, 2003. Evaluation of Mechanical Liquid/

- Solid Manure Separators. Ridgetown College
University of Guelph Ontario Canada
7. Zhang, R., Westerman, P.W., 1997. Solid-
liquid separation of animal manure for
odour control and nutrient management.
Applied. engineering in agriculture 13. 657-
664.