

퇴각을 이용한 남은 음식물의 발효사료화

박진식 · 장성호* · 김수생

동아대학교 환경공학과 · 국립밀양대학교 환경공학과*

Fermented Feeds Production of Garbages using Kudzu Creeper as a Bulking Material

Jin-Sick Park · Seong-Ho Jang* · Soo-Saeng Kim

Dept. of Environmental Engineering, Dong-A University

*Dept. of Environmental Engineering, National Miryang University**

Abstract

The study on the fermented feeds production of garbages have been conducted to determine the optimum operation condition. The process variables considered for this study were initial air flow rate and temperature control.

The results showed that optimum air requirement was $4 \ell\text{-air}/\text{min} \cdot \text{kg}^{-1}$ garbages on dry weight basis which is equal to $0.8 \ell\text{-air}/\text{min} \cdot \text{kg}^{-1}$ garbages on the basis of 80% moisture content. The optimum initial temperature control in the reactor was 40°C . Crude fiber content of fermented final byproducts were higher than feedstuffs standard for pig breeding and consequently final byproducts had to mix with single-component feed.

I. 서 론

급속한 산업화와 인구증가 및 문화수준의 향상 등으로 인하여 가정 등에서 배출되는 생활폐기물은 양적으로 뿐만이 아니라 질적으로도 많은 변화를 가져왔다. 국내의 경우 1995년부터 전국적으로 실시한 종량제 및 재활용품 분리수거 확대에 의하여 생활쓰레기 국민 1인당 발생량은 1994년도 1.3kg/일에서 1997년도 1.05kg/일로 감소하였으며, 전체 생활쓰레기에 대한 남은 음식물이 차지하는 비율 및 1인당 발생율도 1994년도 31.1%, 0.41kg/일에서 1997년도 27.3%, 0.29kg/일로 지속적인 감소 추세에 있지만 아직도 전체 생활쓰레기중 남은 음식물이 차지하는 비율은 27.3%이며, 특히 재활

용품을 제외하면 36.9%로서 가장 높은 비중을 차지하고 있는 실정이다.^{1~3)}

남은 음식물의 처리방법으로는 매립이나 소각, 또는 건조 및 발효를 이용한 퇴비나 사료로서의 재활용, 그리고 Bio Gas 생산 등의 다양한 방법이 있다. 그러나 매립처리시에는 높은 수분함량으로 인하여 다량의 침출수가 발생되어 지하수 오염 및 악취 등의 2차 환경오염을 유발하고 침출수의 처리 많은 비용이 소요될 뿐만이 아니라 Nimby현상으로 인하여 매립지 확보의 어려움 등의 사회적 문제를 야기시키고 있다. 그리고 소각의 경우도 발열량이 낮고 높은 함유율로 인하여 소각온도 저하에 따른 보조연료를 추가로 사용하여야 한다는 문제점이 있다. 또한 현재 남은음식물 재활용의 대

부분을 차지하고 있는 퇴비화 또한 전통적인 식생활 습관으로 인한 과도한 염분함량으로 인하여 퇴비화시 어려움을 겪을 뿐만 아니라 장기간 이용할 경우 작물이 뿌리를 뺄 수 없을 만큼 토양이 딱딱해져 식물의 성장장애가 초래되므로 비료로서의 이용도 제한된다.⁴⁾

국내의 경우 1997년 현재 발생하는 남은 음식물의 84.0%를 매립에 의존하여 처리하고 있으며 사료나 퇴비로의 재활용률은 9.8%로 전체 생활쓰레기의 평균 재활용률 29.0%에는 크게 못 미치고 있는 실정이다.^{1~3)}

남은 음식물은 수분함량이 높으나 건물기준으로 약 80~90%가 유기물로 구성되어 있을 뿐만 아니라 조단백질 및 조지방 등의 함량이 충분하기 때문에 발효나 건조 등의 전처리를 통하여 안정화시킨다면 고부가가치의 가축사료로서의 이용이 충분한 요건을 갖추고 있다.^{5,6)}

남은 음식물의 사료화기술로는 발생원에서 신속하게 가축사육장으로 수거·운반하여 멸균과정을 거쳐 가축에게 공급하는 습식사료화 방법과 남은 음식물을 기계적인 설비를 이용한 스팀이나 열풍에 의해 건조시켜 사료화하는 방법이 있으나 영양소가 균일하지 못하다는 단점이 있다. 한편 미생물의 작용으로 발효시키면서 발생하는 열에 의해서 건조가 진행되는 발효사료화 방법은 비소화성물질을 소화성 물질로 변형시켜 사료화가치를 크게 향상시키는 방법으로 습식 및 단순 건조사료보다 우수한 것으로 알려져 있다. 그러나 남은 음식물의 높은 함수율을 미생물의 성장에 적합한 55~65%로 조절하기 위한 적절한 수분조절제의 공급이 어려운 실정이다.⁷⁾

따라서 본 연구에서는 국내전역에 걸쳐 산지에서 자생하여 조림목에 막대한 피해를 주는 식물로

서 제거에 소요된 경비가 48억원(1996년)⁸⁾에 달하는 최냉굴 및 잎을 수분조절제로 이용한 남은음식물의 발효사료화시 공기공급량 및 온도조절이 미치는 영향을 파악하여 최적의 발효사료화 조건을 도출해내고자 한다.

II. 실험재료 및 방법

실험에 이용된 남은음식물은 D대학교내 학생식당에서 발생하는 남은음식물을 수거하여 약 30분간 중력탈수 후 1~2cm의 크기로 파쇄 후 시료로 이용하였으며 수분조절제로 이용한 최냉굴은 인근 야산에서 채취하여 자연건조시킨 후 수분조절제로 이용하였다. 본 실험에 이용된 시료의 물리화학적 인 특성은 Table 1.과 같다.

발효사료화 실험에 이용된 실험장치는 Fig. 1.과 같다. 1cm의 두께의 아크릴판으로 제작된 실험장치는 지름 25cm, 길이 30cm의 원통형으로 제작하였으며 반응조 내부의 원활한 교반을 위하여 교반기를 설치하였으며, 호기적조건을 유지하기 위하여 air compressor를 이용하여 공기를 공급하였으며, 또한 반응기 내부 초기온도의 조절을 위하여 반응기내에 가열기를 설치하였다.

본 연구에 대한 실험은 남은음식물과 최냉굴을 적당한 비율로 혼합하여 초기 함수율을 55~60%로 조절하였으며, 반응조 내부의 교반속도는 2rpm으로 하였으며, 공기공급량을 건조무게 당 1 l/k

Table 1. Characteristic of the raw materials.

Material	MC (%)	VM (%)	pH	CP (%)	EE (%)	CF (%)	CA (%)
Garbage	82.9	91.5	5.7	23.9	13.5	5.8	8.5
Kudzu	17.3	94.2	7.1	15.8	2.1	27.3	5.8
Mixture	58.4	93.3	6.3	21.2	9.7	12.9	6.7

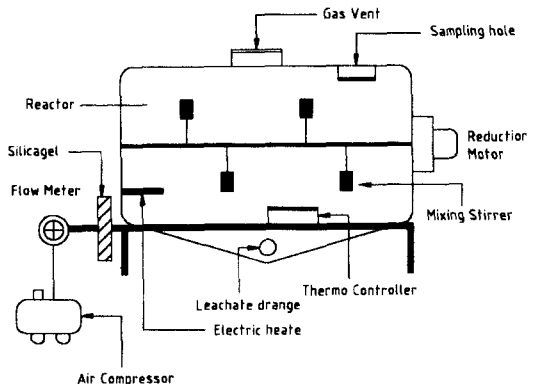


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

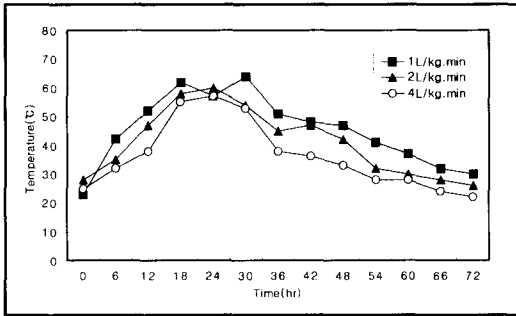


Fig. 2 Variation of temperature depending on air flow rate.

g · min, 2 l/kg · min 그리고 4 l/kg · min로 각각 조절하여 공기공급량에 대한 영향을 조사하였으며, 또한 초기 온도조절에 따른 영향을 조사하기 위하여 반응조 내의 온도를 40°C, 50°C 및 60°C로 조절하여 4 l/kg · min의 공기공급량으로 실험하였다. 분석항목으로는 6시간 간격으로 온도, pH, 함수율에 대해서는 폐기물공정시험법⁹⁾에 준하여 분석하였으며, 최종 산물에 대해서는 조단백질(Crude Protein, C.P), 조지방(Ether Extract, E.E), 조섬유(Crude Fiber, C.F) 및 조회분(Crude Ash, C.A)에 대해서 표준사료 성분 분석법¹⁰⁾에 의거하여 분석을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 공기공급량 변화에 따른 영향

호기성 발효사료화 공정에서 필요한 적정 공기공급량을 산정하기 위하여 반응조내부의 초기온도를 조절하지 않고 공기공급량을 건조무게 당 1 l/kg · min, 2 l/kg · min 그리고 4 l/kg · min로 조절하여 온도, pH 그리고 함수율 변화를 조사하였다.

발효공정에서의 열의 발생은 대부분 생물학적인 반응에 의한 것으로 온도의 상승과 저하는 유기물의 분해정도를 나타내는 지표로서 이용 가능하다. Fig. 2는 공기공급량에 따른 반응조 내부의 온도변화를 보여주고 있다. Fig. 2에 의하면 전체적으로는 실험개시 18~24시간체에 최고온도에 도달하여 36시간까지 50°C이상의 고온상태를 유지하다가 36시간 이후에는 온도가 감소하기 시작하였는데 이

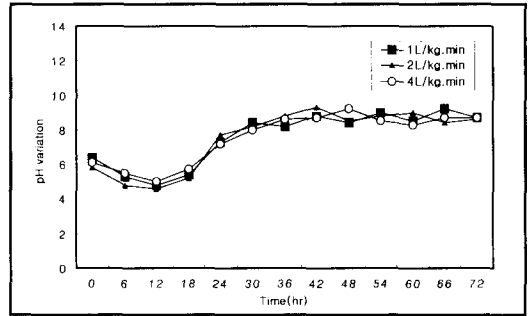


Fig. 3 Variation of pH depending on air flow rate.

는 분해가능한 물질이 감소되었기 때문인 것으로 생각된다.

그리고 건조무게당 1 l/kg · min의 공기를 주입한 경우는 실험개시 12시간체에 52°C가 되어 30시간체에 64°C로 최고온도에 이르렀으며 36시간까지 24시간동안 50°C이상의 고온상태를 유지하는 것으로 나타났다. 건조무게 당 4 l/kg · min의 비율로 공기를 주입하였을 때에는 실험개시 24시간체에 57°C로 최고온도에 도달하였으며 72시간체에 온도는 22°C로 조사되었다.

Fig. 3은 공기주입량에 따른 pH변화를 보여주고 있다. Fig. 3에 나타난 본 실험결과는 전체적으로 공기공급량의 변화에 관계없이 일정한 경향을 보이는 것으로 나타났으며, 반응개시 12시간까지는 pH가 감소되어 공기주입량을 2 l/kg · min로 하였을 때 pH가 4.6까지 감소되었으며, 이후 pH가 상승하기 시작하여 반응시간 30시간체에 pH 8에 도달하였으며 반응시간 42시간체에는 건조무게당 2 l/kg · min의 비율로 공기를 주입한 경우에는 pH가 9.3을 나타냄으로써 최고치에 도달하였으며 그 이후로는 일정수준을 유지하여 반응종료시의 pH는 8.6~8.7을 보이는 것으로 조사되었는데 이는 일반적으로 발효가 진행됨에 따라 미생물 활동의 중간 생성물인 유기산이 축적됨에 따라 초기 pH는 급격히 하락하며, 이후 생성된 유기산이 이산화탄소 및 물로의 산화가 진행될 뿐만 아니라 질소화합물의 분해가 이루어지기 때문에 반응의 후반기에는 pH가 상승되어 최종 pH는 7~8정도의 중성범위를 나타낸다고한 Nakasaki¹¹⁾의 결과와 유사한 것으로

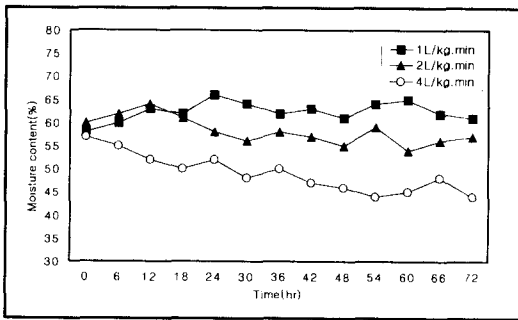


Fig. 4. Variation of moisture content depending on air flow rate.

조사되었다.

공기공급량에 따른 함수율 변화가 나타나있는 Fig. 4.에 의하면 공기공급량이 증가할수록 최종 함수율은 감소한 것으로 나타났으며 공기주입량을 1 l/kg · min로 한 경우는 최종 함수율이 61%로서 최초 함수율 58%에 비해서 증가한 것을 알 수가 있는데 이는 배기가스를 통해서 배출되는 수분함량보다 유기물의 분해과정에서 생성되는 수분함량이 더 크기 때문인 것으로 생각된다. 건조무게당 2 l/kg · min의 공기를 공급한 경우에는 반응이 종료될 때의 함수율이 57%로 나타나 단지 3%만의 수분함량이 감소된 것으로 조사되었으며 공기주입량을 4 l/kg · min로 한 경우에는 초기 함수율 57%에 비해서 최종 산물의 함수율이 44%를 보임으로써 13%의 수분함량의 감소를 보임으로써 가장 우수한 수분함량의 감소를 가져왔으며, 최종 산물의 취급성 등을 고려할 때 건조무게당 공기주입량을 4 l/kg · min로 하는 것이 효과적이라고 생각된다.

2. 온도변화에 따른 영향

본 실험은 앞선 실험에서 나타난 결과를 가지고 건조무게당 공기공급량을 4 l/kg · min로 조절한 후 전기가열기를 이용하여 반응조 내부의 초기온도를 40℃, 50℃ 그리고 60℃로 조절하였을 때의 온도, pH 그리고 함수율의 변화를 분석함으로써 초기 온도조절의 효과를 조사하였다.

Fig. 5.는 초기 온도조절에 따른 반응온도의 변화를 보여주고 있는데 반응조의 초기온도를 40℃로

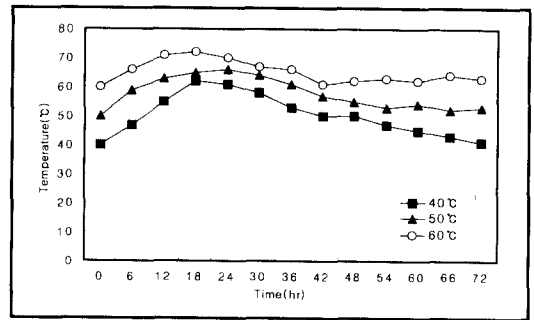


Fig. 5. Variation of temperature depending on temperature control.

조절하여 운전한 경우에는 반응개시 18시간째에 최고온도인 62℃에 도달하였으며, 이후 온도가 감소하기 시작하여 반응종료 시점인 72시간째에는 42℃를 나타내었다. 초기온도를 50℃로 조절하여 운전한 경우는 반응시간 6시간만에 59℃에 도달하여 36시간까지 60℃이상을 유지하였으며 이후 서서히 하강하기 시작하여 72시간째에는 53℃로 조사되었다. 반응조 내부의 초기온도를 60℃로 조절한 경우에는 반응시간 12째에 71℃까지 상승되었으며, 18시간째에는 최고온도인 72℃를 나타내었다.

Fig. 6.은 온도조절에 따른 pH변화를 보여주고 있다. Fig. 6.에 의하면 전체적으로는 Fig. 3.에 나타난 pH변화와 유사한 결과를 보이고 있으며 반응조내의 초기 온도조절에 따른 차이는 미미한 것으로 조사되었다. pH변화는 반응개시 12시간까지는 pH가 저하되다가 반응개시 12시간 이후부터는 pH의 상승이 이루어지기 시작한 것으로 보아 이때부터 반응초기에 생성된 유기산의 분해가 활발히 일어난 것으로 생각된다. 그리고 반응시간 36시간째에 온도를 50℃ 및 60℃로 조절하였을 때에는 pH 8이상을 나타내었으며, 40℃로 조절한 실험에서는 42시간에 도달하였을 때에 pH 8.3으로 조사되었다. 그리고 72시간째의 pH는 8.1.~8.6의 범위를 보이는 것으로 조사되었다.

Fig. 7.은 초기 온도조절에 따른 함수율 변화를 나타내고 있는데 반응개시 후 함수율은 지속적으로 감소되는 추세를 보이고 있었으며, 초기에 조절된 온도가 높을수록 함수율의 감소폭이 큰 것으로 조사되었다. 초기 온도를 40℃로 조절한 실험에서

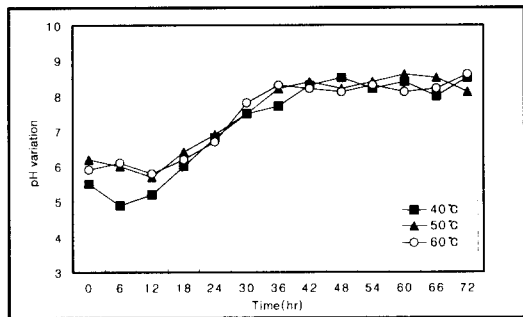


Fig. 6. Variation of pH depending on temperature control.

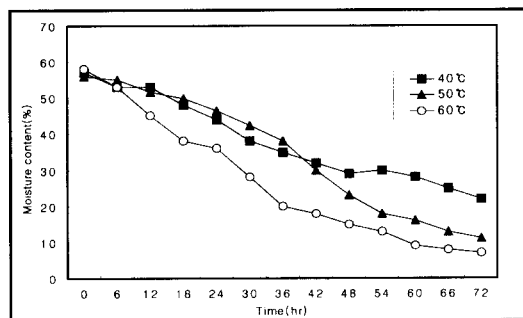


Fig. 7. Variation of moisture content depending on temperature control.

는 반응개시 30시간 이후에 함수율이 40%이하로 감소하였으며, 반응종료시에는 22%로 조사되었다. 초기 온도를 60°C로 조절하였을 때에는 반응개시 18시간 이후에 40%이하로 감소되었으며, 72시간째에는 7%를 보이는 것으로 조사되었다. 이상의 실험결과 함수율의 감소는 반응초기에는 미생물의 유기물 분해에 따른 반응열에 의한 것이지만 유기물의 분해가 어느 정도 완료된 이후에는 반응기 내부의 온도를 계속적으로 조절한 영향을 받은 것으로 생각된다. 또한 온도에 따른 함수율의 차이가 있었지만 40°C로 조절하였을 때에도 반응개시 30시간 이후에 함수율이 40%이하로 나타난 것으로 보아 초기 온도의 조절은 40°C가 적당한 것으로 실험결과 나타났다.

3. 발효사료의 조성

앞선 실험에서 나온 결과를 토대로 반응조 내부

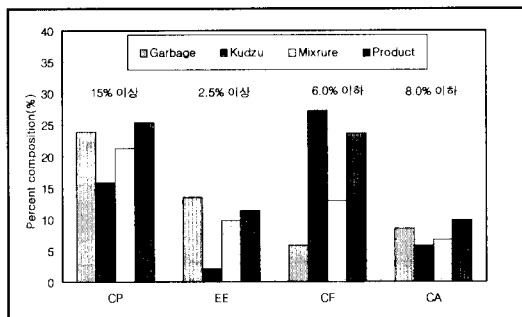


Fig. 8. Composition variation of fermented feeds production of garbages.

의 초기온도를 40°C로 조절하고 건조무게당 4ℓ/kg·min으로 공기를 주입하였을 때의 반응종료 후의 최종산물인 사료의 성분이 Fig. 8에 나타나 있다. Fig. 8에 의하면 최종 산물의 사료성분은 조단백질(Crued Protein, C.P)이 25.4%, 조지방(Ether Extract, E.E)이 11.4%, 조섬유(Crude Fiber, C.F)가 23.6%, 그리고 조회분(Crude Ash, C.A)이 9.8%로 나타났는데 이를 기존에 시판되고 있는 양돈사료기준^[2]과 비교하면 남은음식물의 발효사료는 조단백질 및 조지방함량은 양돈용사료 기준보다 높게 나타났으나, 조섬유의 함량은 기준 6.0%보다 약 4배 가까이 높은 것으로 조사되어 그대로 가축에게 급여하였을때에 체내이용성에 다소 어려움이 있을 것으로 예상되는바 이를 보완하기 위해서 단미사료와의 혼합이 필요하다고 사료된다.

IV. 결 론

침 줄기 및 잎을 수분조절제로 이용하여 남은음식물의 발효사료화시 적정 운전조건을 도출해내고자 공기공급량 및 초기 온도를 변화시키며 실험한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 공기주입량을 1ℓ/kg·min로 하였을 때 온도 상승효과가 가장 빠르게 나타났으며, 공기공급량에 따른 pH변화는 적었으며, 함수율의 감소에 있어서는 공기주입량을 건조무게당 4ℓ/kg·min로 하였을 때 가장 우수하게 나타났다.
2. 반응기 내부의 초기온도를 40°C로 하였을 때 온도의 상승속도는 가장 빠르게 나타났으며, 수분

제거효율도 우수하게 나타났으나 온도조절에 따른 pH변화는 미미한 것으로 조사되었다.

3. 발효시킨 최종 산물의 조성은 조단백질 및 조지방 성분은 양돈사료기준에 상회하나 조섬유 함량은 너무 높아 단미사료와의 혼합이 요구된다.

감사의 글

이 논문은 1997학년도 동아대학교 학술연구조성비(일반과제)에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 환경부 : 음식물쓰레기 줄이기 실무자료집, 1998.
2. 환경부 : '97 전국 폐기물 발생 및 처리현황, 1998.
3. 환경부 : '99 음식물쓰레기 감량 및 자원화추진 실행계획, 1999.
4. 이기영 : 음식물찌꺼기 사료화를 위한 발효기술 개발, 음식물찌꺼기 사료화 심포지엄, 59-71, 1998.
5. 배동호 : 음식물쓰레기의 퇴비화(현장경험 사례), 음식물쓰레기의 퇴비화/사료화 전문가 초청 특별세미나, 충남대학교, 18-33, 1998.
6. 신항식, 황응주 : 음식찌꺼기의 사료화-농가이용을 중심으로, 음식물쓰레기 자원재활용 심포지엄, 영남대학교, 23-40, 1999.
7. 신항식 : 음식물쓰레기 처리 기술의 최근동향, 음식물쓰레기 관리대책, 한국폐기물학회 대구·경북지역회, 51-104, 1999.
8. 동림부 : 침고살제 약제제형개발 및 처리기구 개발, 1997.
9. 동화기술 : 수질오염·폐기물·토양오염 공정시행방법, 1998.
10. 축산기술연구소 : 표준사료성분 분석법, 1996.
11. Nakasaki, K., Yaguchi, H., Sasaki, Y. and Kubota, H. : Effect of C/N Ratio on Thermophilic Composting of Garbage, J. of Ferment. Biocycle, 32, 66-68, 1991.
12. 김남천 : 음식물찌꺼기의 가축 사료화 방안, 음식물찌꺼기 사료화 심포지엄, 25-41, 1998.