

Short communication

https://doi.org/10.7745/KJSSF.2017.50.6.606
pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Determining Optimum Condition of Acid Hydrolysis Technique for Food Waste Reduction

Eui Yeong Kim, Young Gwang Choi, and Sung Chul Kim*

Department of Biological Chemistry, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

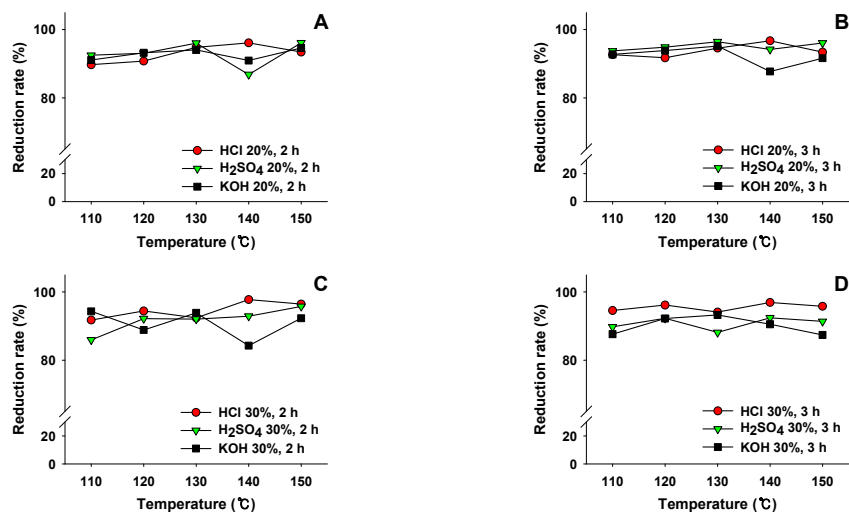
*Corresponding author: sckim@cnu.ac.kr

ABSTRACT

Received: November 15, 2017
Revised: November 15, 2017
Accepted: November 16, 2017

Amount of food waste has been increased annually in Korea and re-use of food waste as a fertilizer or soil amendment in agricultural field has been studied. Therefore, main purpose of this research was to determine optimum condition of hydrolysis for food waste management. Three different solvents, HCl, H₂SO₄, and KOH, were used and varied concentration at the range of 10~30% and hydrolysis time at the range of 1~3 hours were evaluated. In general, reduction rate of food waste was increased when concentration of solvent and hydrolysis time was increased except when KOH was used. Among different solvents, concentration, and hydrolysis time, the highest reduction rate (97.79%) was observed when 30% of HCl was used with temperature of 140°C at 2 hours of hydrolysis time. In addition, neutralization effect of alkalic materials, shell waste (SW) and egg shell (ES) was evaluated. Both SW and ES increased pH of finished acid hydrolysis solution up to 7.61 indicating that neutralization effect of SW and ES was sufficient for finished acid hydrolysis solution. Contents of organic matter was also at the range of 10.7~13.04% and 5.53~8.04% respectively when HCl and H₂SO₄ were used as solvent. Overall, hydrolysis technique can be used to manage food waste with selected optimum condition in this study and characteristics of finished hydrolysis solution after neutralization might be suitable for soil amendments.

Keywords: Food waste, Acid hydrolysis, Neutralization, Amendments



Reduction rate of food waste by acid-alkali hydrolysis with varied solvent concentration and hydrolysis time.



Introduction

국내 음식물류 폐기물 발생량은 연간 약 519만 톤에 달하며 전체 생활폐기물 발생량의 27.7%를 차지하고 있다 (MOE, 2016). 배출된 음식물류 폐기물은 2005년 직 매립이 전면 금지되고 자원화 정책이 실시되며 2016년 기준 약 97.8%가 주로 사료화, 퇴비화, 혐기성 소화 등으로 재활용 되고 있다 (MOE, 2015). 하지만 음식물류 폐기물 처리과정에서 발생하는 악취, 해충 발생 등으로 인해 음식물류 폐기물의 주요 발생지역인 서울특별시, 광역시에서 배출된 폐기물을 인근 경기도 및 충청권, 경북권 등의 처리시설로 운반하여 처리되고 있는 실정이다 (MOE, 2012). 현재 서울특별시와 광역시의 음식물류 폐기물 처리량은 전체 처리량 중 30.9%에 불과하다 (MOE, 2016). 이로 인한 물류비용 및 환경영향을 저감하기 위해 음식물류 폐기물의 감량화 기술 개발 및 시설확충이 필요하다.

음식물류 폐기물의 감량화는 종량제 실시, 음식문화 개선 등의 발생억제와 기계적 장치를 통해 음식물류 폐기물을 분쇄, 파쇄하거나 탈수 및 건조하여 부피를 줄이는 배출억제 방법이 주로 이용되고 있다. 하지만 현행 음식물류 폐기물의 감량화 처리 산물은 퇴비화, 사료화 등의 자원화를 위한 중간폐기물로서 이용되므로 재활용을 위해 추가적인 시간과 비용이 발생하게 된다. 따라서 음식물류 폐기물을 더욱 신속하게 감량화하고 활용 할 수 있는 기술을 개발해야 할 것으로 판단된다.

산, 염기 가수분해 공정은 난분해성 물질을 포함한 유기물을 신속하게 분해할 수 있어 주로 유기성 폐기물을 가수분해하여 혐기적 소화, 바이오 연료 생산 등의 재활용 효율을 높이기 위해 연구되고 있는 방법이다. 주요 국내외 선행 연구로는 음식물류 폐기물과 하수슬러지를 염기 가수분해하여 혐기성 소화 효율을 증대시키기 위한 연구 (Kim and Park, 2003), 셀룰로오스를 함유한 폐지, 폐목재, 폐버섯배지 등의 유기성 폐기물의 산 가수분해를 통한 당 추출 연구 (Hwang et al., 2004; Jeong and Oh, 2009; Na and Lee, 2015; Dong et al., 2016; Wang et al., 2017) 등이 있었으며 특히 농업적 활용을 위해 산, 염기 가수분해를 이용한 연구로 Han et al. (2011)의 Pigs hoof의 알칼리 가수분해물의 시용 후 작물 생육을 조사한 연구와 Seo et al. (2012)이 가축사체를 산, 염기 가수분해한 액상부산물의 비료학적 가치를 조사한 선행 연구가 있었다. 하지만 음식물류 폐기물의 감량화를 위해 가수분해 공정을 이용한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 음식물류 폐기물의 조건 별 가수분해 후 최적 감량화 조건을 산정하였으며 가수 분해액에 알칼리성 중화제를 중량 별로 투입하여 적정 투입량을 조사하였다.

Materials and Methods

가수분해 원료 가수분해 연구에 이용된 음식물류 폐기물은 대전도시공사 환경 자원 사업소 (대전광역시)에서 2017년 6월에 채취하였으며 시료는 1차 파쇄 후 탈수 처리된 음식물류 폐기물을 이용하였다. 균질한 시료 채취를 위해 매 1분마다 시료가 유출되는 유출구에서 시료를 3번 채취한 후 하나의 샘플백에 시료를 합하여 시험 시료로 사용하였다. 채취한 시료는 얼음이 담긴 아이스박스에 보관 후 실험실로 옮겨져 시험 전까지 냉동 (-20°C) 보관 하였다.

가수분해 추출액의 중화제로 사용한 굴패각과 계란껍질은 2017년 6월 대전소재의 식당 및 수산물 업체에서 수거하여 사용하였다. 수거한 시료는 증류수를 이용하여 최소 3번 이상 세척한 후 40°C에서 2일 동안 건조한 후 파쇄기 (HMF-2100S, Han-il, Korea)를 이용하여 파쇄한 후 1 mm sieve로 체거름하여 사용하였다.

가수분해 용매 및 장치 음식물류 폐기물의 가수분해를 위한 용매는 강산 (36% HCl과 95% H₂SO₄) 및 강염기 (93% KOH)를 이용하였다. 가수분해 장치로는 Teflon 분해용기 (OD-98, ODLab, Korea)와 흑연블록 (MHB-S, Control-M Scientific, USA)을 이용하였다.

가수분해 방법 음식물류 폐기물의 가수분해 공정은 가수분해 (digestion) 후 분해액에 중화제를 투입하여 산성의 분해액을 중화하는 순서로 진행되었다. 음식물류 폐기물 시료 10.0 g을 teflon 용기에 정량하여 각각의 산 또는 염기 추출제 20 mL를 투입한 후 흑연블록에서 가열하여 분해하였다. 음식물류 폐기물의 가수분해 조건 별 감량화를 평가하기 위해 가수분해 용매와 농도, 온도 및 시간을 조건 별로 달리하여 분해하였으며 분해가 끝난 후 감압 여과하여 여과지 (No 2)에 남은 고형물의 무게를 측정하였다 (Table 1). 음식물류 폐기물의 감량율은 시료 투입량 대비 분해 후 고형물의 양을 고려하여 계산하였다. 알칼리 성분 중화제 (굴패각, 계란껍질)의 중화 효율을 평가하기 위해 가수분해가 끝난 음식물류 폐기물 분해액에 중화제를 중량 별 (50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 g) 투입하여 6시간동안 상온 (25 °C)에서 정치한 후 시료의 pH를 측정하였다.

Table 1. Experiment setup condition of acid and alkali hydrolysis.

Hydrolysis solvents	Solvent concentration (%)	Hydrolysis time (hour)	Hydrolysis temperature (°C)
HCl	10	1	110
			120
H ₂ SO ₄	20	2	130
			140
KOH	30	3	150

원재료 및 토양개량제의 성분분석 산 가수분해 전 음식물 폐기물과 알칼리성 중화제, 그리고 산 가수분해 후 중화제를 투입하여 중화한 시료의 화학적 특성을 분석하기 위해 농촌진흥청에서 고시한 비료의 품질검사방법 및 시료채취기준에 준하여 화학적 특성을 분석하였다 (Table 2). 수분함량은 105°C에서 8시간 건조하여 감량을 측정하였고 유기물 측정은 회화법을 이용하여 회화로 (BF51800 Series, Thermo Fisher Scientific)에서 650°C로 약 2시간 회화하여 강열함량 (Loss of ignition, LOI)을 계산하였다. pH와 전기전도도 (EC)는 시료와 증류수를 각각 1:10 (w/v)으로 혼합하여 30분 교반 후 pH meter (MP 220, Mettler Toledo, Switzerland)와 EC meter (S230, Mettler Toledo, Switzerland)로 측정하였다.

Table 2. Chemical properties of food waste and neutralizer.

Raw materials	Water content (%)	pH	EC (dS m ⁻¹)	Organic matter (%)
Food waste	78.37 ± 0.37	4.98 ± 0.08	1.62 ± 0.05	74.31 ± 1.87
Egg shell	1.73 ± 0.29	9.01 ± 0.26	1.00 ± 0.07	0.05 ± 0.00
Oyster shell	6.27 ± 0.53	9.27 ± 0.04	13.03 ± 0.78	0.02 ± 0.00

Results and Discussion

가수분해 추출제 및 농도 별 감량화 음식물류 폐기물의 조건 별 가수분해 후 감량 효율은 Fig. 1에 나타내었다. 추출제의 종류 및 농도별 감량을 평가 결과 염산, 황산, 수산화칼륨의 평균 감량율은 각각 91.71, 90.42, 88.83%로 염산의 감량효율이 가장 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 가축사체의 산, 염기 가수분해 연구 결과와 유사한 것으로 강염기보다 강산을 이용하였을 때 분해효율을 더 높일 수 있을 것으로 판단 된다 (Seo et al., 2012). 하지만 음식물류 폐기물 가수분해액의 농업적 활용을 위해서는 염산을 추출제로 이용 시 CI 함량을 고려해야 할 것이다 (Seo et al., 2011). 추출용매의 농도는 가수분해 반응시간을 추출제의 용매 농도는 반응시간과 추출제 농도 별 감량율은 모든 추출제에 대해 추출 농도가 10%에서 20%로 농도가 상승할 때 13.19~33.96%가량 감량효율이 증가하였고 20% 이상의 농도에서는 추출제의 농도 변화에 따른 감량율의 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 이와 같은 결론을 바탕으로 20% 및 30% 분해용매를 대상으로 산 가수분해의 시간 및 온도별 감량 효율을 평가하였다.

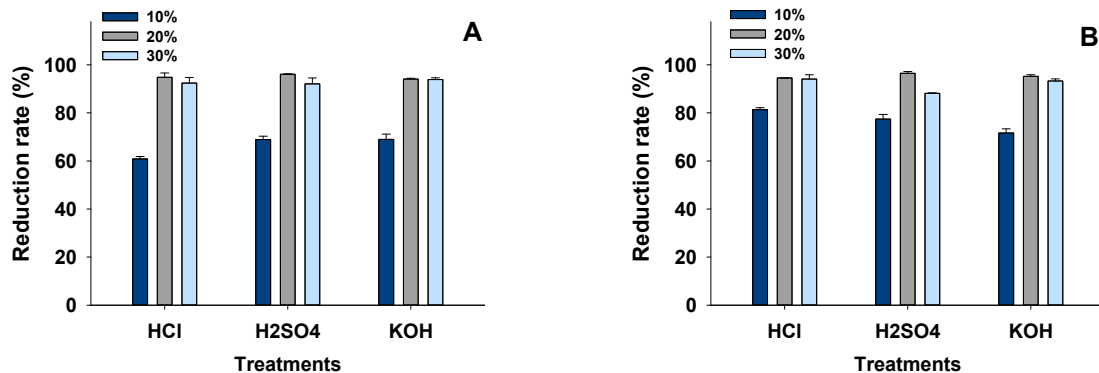


Fig. 1. Reduction rates of food waste by concentrations of hydrolysis solvent (A: 130°C-2 h, B: 130°C-3 h).

분해 시간 별 감량화 산 가수분해의 가열시간 및 온도에 따른 감량을 평가 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 먼저 가수분해 시간은 1, 2, 3시간으로 설정하였으며 가수분해 온도는 110°C에서 150°C까지 10°C 간격으로 설정하였다. 가수분해 결과 1, 2, 3 시간 별 각 처리구의 감량율은 75.59~82.66, 84.75~97.79, 84.75~96.93%로 모든 처리구에서 가수분해 시간이 1시간에서 2시간으로 증가하였을 때 유의적으로 감량율이 증가하였다. 하지만 2시간과 3시간 처리

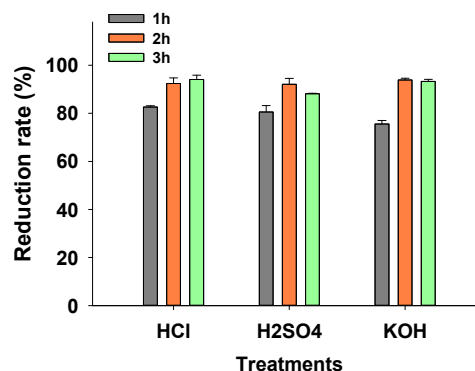


Fig. 2. Reduction rates of food waste by hydrolysis time (130°C-20%).

구에서는 유의적인 감량율의 차이가 나타나지 않았다. Na et al. (2011)의 황산과 수산화칼륨 촉매를 이용한 해조류의 가수분해 연구에서도 분해시간이 증가하였을 때 감량율도 상승하였다가 4시간 이상 처리 시 상승폭이 감소하는 경향을 나타내었으며 녹말의 산 가수분해 결과에서 분해 초기 감량율이 급격히 증가하였다가 약 50~60% 이상의 감량율을 나타낸 이후 증가폭이 줄어드는 유사한 결과를 나타내어 (Li et al., 2013; Wang et al., 2017a) 일정수준까지 감량율과 처리 시간은 비례한 후 다시 감소하는 경향을 나타내는 것으로 조사되었다.

분해 온도 별 감량화 가수분해 온도 별 감량율은 Table 3 및 Fig. 3에 나타내었다. 감량화 평가 결과 염산 및 황산 처리구에서 온도가 상승 할수록 감량율이 증가하는 경향을 나타내었다. 특히 가열 시간이 적을수록 온도 상승에 따른 감량율의 차이가 크게 나타나 2시간 가수분해 시 110~150°C 온도 상승에 따른 감량율의 차이는 평균 4.19~6.72%이며 3시간 분해 시 평균 0.99~1.95%이었다. 일반적으로 동일 조건하에서 가수분해 온도가 올라갈수록 감량율은 증가한다. Loaiza et al. (2017)의 목질계 바이오매스의 산 가수분해에서 130°C에서 170°C까지 온도가 상승하며 더 많은

Table 3. Food waste reduction rates by hydrolysis temperature and agent.

Hydrolysis solvents	Average reduction rate (%) [†]				
	110°C	120°C	130°C	140°C	150°C
HCl	92.18 ^{bc}	93.28 ^{bc}	93.98 ^{cd}	96.90 ^d	94.77 ^{cd}
H ₂ SO ₄	90.50 ^{ab}	93.11 ^{bc}	93.18 ^{bc}	91.59 ^{bc}	94.83 ^{cd}
KOH	91.45 ^{bc}	92.05 ^{bc}	94.10 ^{cd}	87.63 ^a	91.49 ^{bc}

[†]Numbers followed by different letters are statistically different at *P* = 0.05 based on Duncan multiple range test.

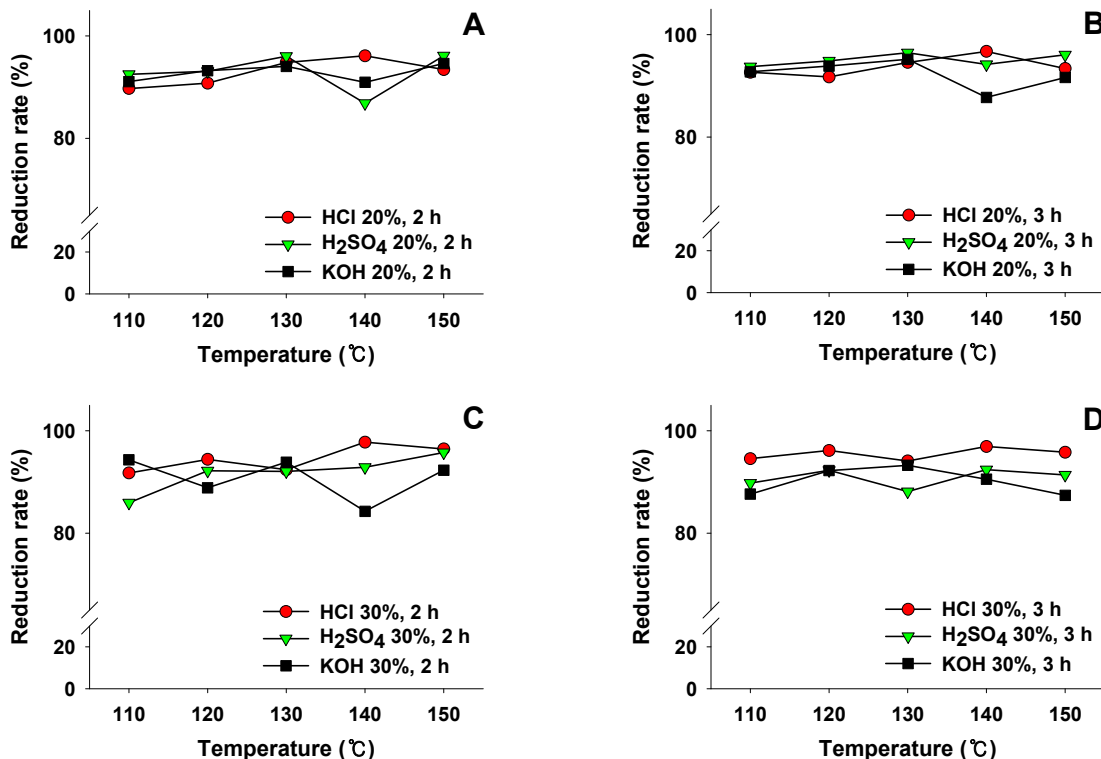


Fig. 3. Reduction rates of food waste by hydrolysis temperature and time (A: 20%-2h, B: 20%-3 h, C: 30%-2 h, D: 30%-3 h).

고형물이 감소함을 나타내었고 동물세포의 염기 가수분해 결과에서 온도상승에 따라 분해 및 감량속도가 증가하였다 (Wang et al., 2016). 음식물류 폐기물은 셀룰로오스를 함유한 채소류와 육류가 모두 포함되어 있어 선행연구 결과와 같은 경향을 보인 것으로 판단된다. 반면 수산화칼륨 처리구에서는 130°C까지 온도상승에 따라 감량율이 2.97~5.63% 증가하였으나 140°C 이상의 온도에서는 오히려 3.55~5.86% 감소하는 경향을 보였다. 이는 가수분해액의 점도가 증가하며 고형물의 추출이 어려워졌기 때문이다. 녹말의 3시간 산 가수분해 연구에서 시간에 따라 녹말 분자가 분해되며 점도가 감소하였다고 보고되었으나 (Wang et al., 2017b) 선행연구의 녹말 가수분해 온도는 60°C에서 진행된 것이며 본 연구에서는 130°C 이상의 고온에서 진행되어 수분증발에 의한 용매의 농축이 더 크게 나타나 점도가 증가한 것으로 판단된다.

중화제 투입량 별 pH 및 EC 변화 가수분해가 완료된 분해액에 패쇄석 중화제를 각각 50~350 g 범위에서 투입 후 추출액의 pH 변화를 살펴보았다 (Fig. 4). 굴폐각 중화제 투입 후 염산 및 황산 처리구의 pH는 각각 5.54~7.24, 5.21~7.61로 투입량이 증가함에 따라 추출액의 pH 역시 증가하였다. 특히 황산 처리구에서 중화제 투입량 대비 pH 상승이 크게 나타났으며 350 g 투입 시 모든 처리구에서 중화가 완료되어 7 이상의 pH를 보였다. 계란껍질 투입 시 비교적 pH 상승이 더디게 나타나 350 g 투입 시 염산 처리구에서 4.78~7.18, 황산 처리구에서 1.21~7.04의 pH를 나타내었다. 최종 시료의 EC는 염산 처리구에서 6.60~7.73 dS m⁻¹, 황산 처리구에서 3.07~5.23 dS m⁻¹으로 염산 처리구에서 비교적 높은 EC값을 나타내었다. 또한 굴폐각의 EC가 13.03 dS m⁻¹으로 매우 높아 굴폐각 투입 시 EC가 매우 높을 것으로 예상되었으나 계란껍질 처리구와 유의적인 차이가 없었다.

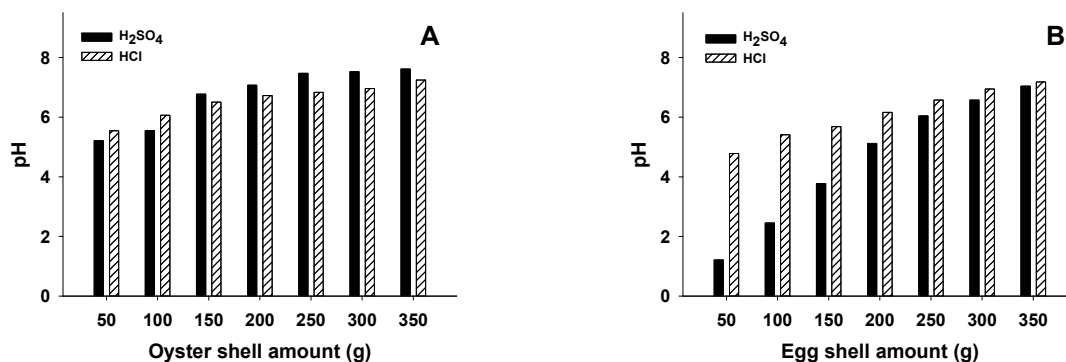


Fig. 4. Changes in pH by addition amount of neutralizing agents (A-Oyster shell, B-Egg shell).

중화제 투입량별 유기물 함량 산 가수분해가 끝난 시료를 중화한 후 유기물의 함량을 평가 하였다 (Table 4). 유기물 함량은 염산 처리구에서 10.7~13.04%, 황산 처리구에서 5.53~8.04%로 조사되었다. 굴폐각 및 계란껍질은 CaCO₃ (Calcite)를 주성분으로 함유하고 있어 토양 pH 상승을 통한 토양개량제와 중금속 오염 토양의 안정화제 활용을 위해 연구되어 왔으나 (Lee et al., 2005; Lim et al., 2009; Kim and Yang, 2014) 유기물을 거의 함유하고 있지 않아 장기간 사용 시 토양영향을 고려해야 한다. 수박 재배토양에 굴 폐각만을 3년 간 연속 사용한 결과 굴 폐각 사용량이 증가함에 따라 토양 내 유기물의 함량은 지속적으로 감소하였다 (Ahn et al., 2010). 하지만 본 연구에서와 같이 음식물류 폐기물을 가수분해한 후 굴폐각 또는 계란껍질과 같은 알칼리성 물질을 이용하여 중화하면 양분 및 유기물 함량을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

Table 4. Correlation of hydrolysis conditions with reduction rate.

Reduction rate (%)	Pearson correlation coefficient	Hydrolysis temperature (°C)	Hydrolysis time (hour)	Hydrolysis solvent concentration (%)
		P-value	0.068	0.226**
		0.426	0.008	0.000

Significance of each condition was evaluated at the confidence interval of * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

가수분해 조건과 감량율의 상관관계 및 최적 조건 음식물류 폐기물의 가수분해 조건인 추출 용매의 농도, 분해 시간 및 온도와 감량율 간의 상관관계 평가결과를 Table 5에 나타내었다. 상관관계 평가 결과 가수분해 시간 ($p = 0.008$) 및 추출제의 농도 ($p < 0.01$) 와 감량율과는 양의 상관관계 ($p < 0.01$)를 나타내었다. Pearson 상관계수는 가수분해 시간에서 0.23, 추출제 농도에서 0.42로 감량율은 주로 추출제의 농도에 영향을 받은 것으로 조사되었다. 반면 가수분해 온도와 감량율은 유의적인 상관관계를 나타내지 않았다 ($p > 0.05$). 음식물 폐기물의 최적 산 가수분해 조건은 추출제의 종류, 농도, 및 가열 시간 등의 가수분해 조건을 고려하였을 때 30% 염산으로 140°C에서 2시간 분해한 처리구로 판단되며 가수분해 처리구 중 최고 감량율은 97.79%이었다.

Table 5. Chemical properties of products.

Solvent	Treatments (350 g)	pH	EC (dS/m)	Organic matter (%)
HCl	Oyster shell	7.24 ± 0.04	6.60 ± 0.92	13.04 ± 0.03
HCl	Egg shell	7.18 ± 0.32	7.73 ± 0.88	8.04 ± 0.08
H ₂ SO ₄	Oyster shell	7.61 ± 0.11	5.23 ± 0.22	10.70 ± 0.47
H ₂ SO ₄	Egg shell	7.04 ± 0.18	3.07 ± 0.08	5.53 ± 0.10

Conclusions

본 연구에서는 음식물류 폐기물의 감량화 및 재활용을 위해 산, 염기 가수분해 공정의 이용 가능성을 평가하였으며 가수분해 조건 별 감량율을 평가하여 최적 조건을 산정하였다. 감량화 평가결과 가수분해 추출제 중 염산의 감량율이 평균 91.71%로 황산 및 수산화칼륨과 비교하여 가장 높은 것으로 조사되었다. 추출용매의 농도가 10%에서 20%으로 증가할 때 감량율도 상승하였으며 20% 이상의 농도에서 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($p < 0.05$). 가수분해 처리 시간과 온도가 증가할수록 감량율도 지속적으로 상승하였으나 2시간 이상 처리시 감량율에 유의적인 차이가 없었다. 음식물류 폐기물의 감량화 최적조건은 경제성을 고려하였을 때 20% 염산 추출제를 이용하여 130°C에서 2시간 분해 조건으로 조사되었다. 가수분해 완료 후 분해액에 굴패각 및 계란껍질을 각각 중량 별 투입하며 pH 변화를 조사한 결과 분해액 100 ml 당 350 g 씩 투입 시 최종 시료의 pH는 7.08~7.61의 pH를 나타내어 중화가 완료되었다. 최종 시료 분석결과 염산 처리구에서 10.7~13.4%, 황산 처리구에서 5.53~8.04%의 유기물 함량을 나타내어 기존 폐화석의 0.02~0.05%보다 다량 함유하고 있어 농업적 활용성이 있을 것으로 판단된다. 반면 EC가 3.07~7.73으로 비교적 높게 나타나 중화제로 이용한 굴패각, 계란껍질의 추가 세척이 필요한 것으로 나타났다. 본 연구를 통해 가수분해를 이용한 음식물류 폐기물의 감량화 및 최종 시료의 활용 가능성이 있을 것으로 판단되며 향후 가수분해 시료의 활용방안에 대한 검토가 진행되어야 될 것이다.

Acknowledgement

We gratefully acknowledge the financial support of “Technology for establishing quality standards of food waste compost and evaluation in its application to agriculture” (Project No. PJ0109252017) by Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Ahn, B.K., J.H. Lee, and Y.H. Lee. 2010. Impacts of oyster shell and peat treatments on soil properties in continuous watermelon cropping greenhouse plots. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(4):438-445.
- Dong, S., M.J. Bortner, and M. Roman. 2016. Analysis of the sulfuric acid hydrolysis of wood pulp for cellulose nanocrystal production: a central composite design study. *Ind. Crops Prod.* 93:76-87.
- Han, S.G., C.H. Cho, and H.K. Jeon. 2011. Effect of the hydrolysate of pigs hoof on plant growth and physico-chemical properties. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(2):200-205.
- Hwang, P.G., C.H. Lee, C.H. Choi, and E.S. Lee. 2004. Kinetics study on the acid hydrolysis of low-grade cellulose material. *Environ. Eng. Res.* 26(12):1319-1325.
- Jeong, T.S. and K.K. Oh. 2009. Behaviors of glucose decomposition during dilute-acid hydrolysis of lignocellulosic biomass. *KSBB J.* 24(3):267-272.
- Kim, M.H. and T.J. Park. 2003. Crushing and alkali hydrolysis for foodwaste and sewage sludge co-treatment using anaerobic digestion. *Environ. Eng. Res.* 2003:494-498.
- Kim, R.Y. and J.E. Yang. 2014. Changes in phytoavailability of cadmium, copper, lead, and zinc after application with eggshell in contaminated agricultural soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 47(1):41-47.
- Lee, J.Y., C.H. Lee, Y.S. Yoon, B.H. Ha, B.C. Jang, K.S. Lee, and P.J. Kim. 2005. Effects of oyster-shell meal on improving spring Chinese cabbage productivity and soil properties. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 38(5):274-280.
- Li, H., Y. Zhu, A. Jiao, J. Zhao, X. Chen, B. Wei, and Y. Tian. 2013. Impact of α -amylase combined with hydrochloric acid hydrolysis on structure and digestion of waxy rice starch. *Int. J. Biol. Macromol.* 55:276-281.
- Lim, J.E., D.H. Moon, D.J. Kim, O.K. Kwon, J.E. Yang, and Y.S. Ok. 2009. Evaluation of the feasibility of oyster-shell and eggshell wastes for stabilization of arsenic-contaminated soil. *Environ. Eng. Res.* 31(12):1095-1104.
- Loaiza, J.M., F. López, M.T. García, J.C. García, and M.J. Díaz. 2017. Biomass valorization by using a sequence of acid hydrolysis and pyrolysis processes. Application to *Leucaena leucocephala*. *Fuel* 203:393-402.
- MOE (Ministry of Environment). 2012. Research on improvement of food waste management. Korea Environment Corporation, Incheon, Korea.
- MOE (Ministry of Environment). 2015. National survey of food waste treatment facilities. Waste resources management division, Sejong, Korea.
- MOE (Ministry of Environment). 2016. National survey of waste production and treatment. Korea Environment Corporation, Incheon, Korea.
- Na, B.I. and J.W. Lee. 2015. Kinetic study on the dilute acid catalyzed hydrolysis of waste mushroom medium. *J. Ind. Eng. Chem.* 25:176-179.
- Na, C.K., M.K. Song, and C.I. Son. 2011. Ethanol production from seaweeds by acid-hydrolysis and fermentation. *New Renew. Energy* 7(3):6-16.
- Seo, D.C., S.W. Kang, I.W. Choi, H.H. Sung, T.Y. Hur, J.Y. Yoo, and J.S. Cho. 2011. Evaluation of fertilizer value of animal cadavers for agricultural recycling. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(5):788-793.

- Seo, Y.J., D.C. Seo, I.W. Choi, S.W. Kang, S.G. Lee, H.H. Sung, and J.S. Cho. 2012. Selection of optimal degradation agents for hydrolysis of animal cadavers. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(2):241-247.
- Wang, T., J.H. Wu, Y. Wi, and J.C. Qi. 2016. Optimization of process conditions for infected animal tissues by alkaline hydrolysis technology. *Procedia Environ. Sci.* 31:366-374.
- Wang, X., F. Wen, S. Zhang, R. Shen, W. Jiang, and J. Liu. 2017a. Effect of acid hydrolysis on morphology, structure and digestion property of starch from *Cynanchum auriculatum* Royle ex Wight. *Int. J. Biol. Macromol.* 96:807-816.
- Wang, Y., H. Xiong, Z. Wang, and L. Chen. 2017b. Effects of different durations of acid hydrolysis on the properties of starch-based wood adhesive. *Int. J. Biol. Macromol.* 103:819-828.