



[2017-3-BM-004]

# 음식물류 폐기물의 성상과 가수분해특성 평가

이준표<sup>1)</sup> · 강 호<sup>1)</sup> · 김치열<sup>1)</sup> · 송석현<sup>1)</sup> · 현재혁<sup>1)</sup>\*

## Characteristics of Food Wastes and Its Hydrolysis Conditions

Joonpyo Lee<sup>1)</sup> · Ho Kang<sup>1)</sup> · Chiyeul Kim<sup>1)</sup> · Seokheon Song<sup>1)</sup> · Jaehyuk Hyun<sup>1)</sup>\*

Received 28 November 2016 Revised 22 December 2016 Accepted 5 January 2017

**ABSTRACT** To optimize the operation parameters of a food waste biogas plant, the physico-chemical properties of food waste, leachate, and their hydrolysis characteristics, and rate were investigated by a survey and experiments. Food waste analysis during the survey revealed a pH of 4.92, TS of 16.25%, VS of 13.9%, TCOD<sub>Cr</sub> of 145,100 mg/L, SCOD<sub>Cr</sub> of 58,600 mg/L, T-N of 4,665 mg/L, T-P of 823 mg/L on average. Leachate analysis revealed a pH of 4.40, TS of 6.83%, VS of 6.17%, TCOD<sub>Cr</sub> of 80.635 mg/L, SCOD<sub>Cr</sub> of 40,700 mg/L, T-N of 3,747 mg/L, and T-P of 389 mg/L on average. The rate constants,  $k_1$  and  $k_2$ , of hydrolysis with a mixture of the above mentioned food waste and leachate were determined by hydrolysis experiments at different temperatures with different TS concentrations. As a result, the optimal reaction time was determined to be less than 2 days and the maximum hydrolysis rate was shown to be 32 to 64%. This data is very useful for improving the operation and basic design of biogas plants using food waste and leachate as feed.

**Key words** Food waste(음식물류 폐기물), Food waste leachate(음폐수), Characteristics(성상), Hydrolysis(가수분해), Anaerobic digestion(혐기성 소화)

## Nomenclature

HRT : hydraulic retention time, d

## 1. 서론

우리나라에서 발생하는 음식물류 폐기물은 연간 4,999,551톤이 발생하고 있으며, 이중 96.5%에 해당하는 4,825,848톤이 남은 음식물류 폐기물로 분리 배출되고 있다.<sup>[1]</sup> 남은 음식물류 폐기물의 재활용율은 97.2%로 매우 높으며, 매

립은 0.9로 매우 낮은 수준을 보이고 있다.<sup>[2]</sup> 환경부의 유기성 폐자원 에너지 활용시설 현황<sup>[3]</sup> 자료에 의하면 음식물류 폐기물의 바이오가스화 처리량은 286천톤/년으로 나타났으며, 음폐수는 1,541천톤으로 분석되었다. 남은 음식물류 폐기물의 발생량을 기준으로 보면 음식물류 폐기물과 음폐수의 바이오가스화 처리율은 37.85%로 산출된다. 하지만, 음폐수의 바이오가스화 처리 시 물을 첨가하는 시설이 많아 바이오가스화 처리율은 이 보다 낮을 것으로 여겨진다.

Hong 등<sup>[4]</sup>은 음식물류 폐기물 공공 자원화 시설운영에 관한 연구를 통해 바이오가스 시설이 기계적인 문제로 인한 가동 저하와 혐기 소화조 운영미숙 등으로 인한 처리효율 저하 등으로 경제성이 매우 낮은 시설로 보고하고 있다. 혐기 소화조의 운영미숙에는 음식물류 폐기물의 특성이 시

1) Chungnam National University

\*Corresponding author: jayhh@cnu.ac.kr

Tel: +82-42-821-6673 Fax: +82-42-822-5610

설계계에 제대로 반영이 되지 않은 측면도 있는 것으로 판단된다. 음식물류 폐기물은 계절별 특성이 상이하기 때문에 바이오가스 플랜트의 설계에 있어 매우 중요한 인자로 작용한다.

음식물류 폐기물의 배출 성장에 관한 연구는 여러 연구자들이 수행하였다.<sup>[5-7]</sup> 국민소득과 생활수준이 향상되면서 음식물류 폐기물의 배출 성장 또한 변화하고 있어 배출 성장에 대한 조사연구는 꾸준히 이루어져야 한다. 특히, 음식물류 폐기물의 바이오가스 플랜트 운영과 관련되는 지표들 즉, TS(Total solid), VS(Volatile solid), COD(Chemical oxygen demand), pH, T-N(Total nitrogen),  $\text{NH}_4\text{-N}$  (Ammonia nitrogen), T-P(Total phosphorus),  $\text{PO}_4\text{-P}$  등에 대한 조사 연구는 많이 이루어지지 않았다. TS는 함량에 따라 이송방법이 결정되고, VS는 COD와 함께 대표적인 소화조 부하율을 나타내는 지표로 사용된다. pH는 혐기성 미생물의 활성에 결정적인 역할을 하며, T-N( $\text{NH}_4\text{-N}$ )과 T-P( $\text{PO}_4\text{-P}$ )는 영양물질로서 그 비율이 매우 중요한 인자가 된다.

음식물류 폐기물의 바이오가스화를 위한 혐기소화과정 중 이상 혐기성 소화공정은 산생성 발효조와 소화조로 이루어져있으며, 산생성 발효조는 소화조의 온도영역에 맞추어 진행되는 것이 일반적이다. 이상 혐기소화공정의 바이오가스 생성 효율을 증대시키고 소화조의 체류시간을 줄이기 위해서는 산생성 발효조에서 가수분해율을 높이는 것이 중요한 인자가 된다. 음식물류 폐기물을 단상 혐기성 소화를 하는 경우에도 생분해성 유기물을 많이 함유하고 있기 때문에 소화조 내에서 가용성 유기물의 가수분해 반응이 빠르게 일어나 용해성 유기물이 다량 용출된다. 이는 소화조 내의 알칼리도가 파괴되어 pH가 낮아지므로 결국 소화조가 정상적인 기능을 수행할 수 없는 요인이 된다. 따라서 시료 중의 Biodegradable한 부분과 가수분해 정도 및 속도를 파악하는 것은 소화조 설계에 있어 아주 중요한 인자가 된다.

본 연구에서는 바이오가스 플랜트의 운영과 관련되는 지표에 대해 음식물류 폐기물과 음폐수의 배출특성을 조사 분석하고, 아울러 음식물류 폐기물 및 음식물류 폐기물과 음폐수의 혼합폐기물에 대한 혐기성 소화공정의 산생성 발효조에서 가수분해 효율을 향상시키기 위한 가수분해 조건

및 속도상수를 파악함으로써 바이오가스 플랜트 설계 기초 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 음식물류 폐기물 및 음폐수의 성장

#### 2.1.1 실험재료

성장 분석에 사용된 음식물류 폐기물과 음폐수는 대전광역시 자원화 시설에서 채취하였다. 음식물류 폐기물은 파쇄 후 탈수시설로 이송되는 구간에서 채취하였으며, 바이오가스화가 불가능한 이물질을 제거한 다음 사용하였다. 음폐수는 탈수시설을 거친 탈수여액을 채취하여 실험분석에 사용하였다. 시료의 채취는 월 1~3회 실시하였으며, 2월부터 11월까지 10개월에 걸쳐 이루어졌다.

#### 2.1.2 분석방법

시료의 TS, VS, TSS(Total suspended solid), VSS(Volatile suspended solid), Total  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ , Alkalinity, T-N,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , T-P,  $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 Standard method<sup>[8]</sup>에 의해 분석하였으며, Soluble  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 는 0.45 $\mu\text{m}$  membrane으로 여과 후 Standard method<sup>[8]</sup>에 의해 분석하였다. pH는 YSI(model 60)사 측정기를 이용하였다.

### 2.2 음식물류 폐기물 및 혼합폐기물의 가수분해

#### 2.2.1 실험재료 및 분석방법

가수분해 실험에 사용된 음식물류 폐기물과 음폐수는 성장분석 시료와 같이 대전광역시 자원화 시설에서 채취하여 사용하였다.  $\text{TCOD}_{\text{Cr}}$ 는 Standard method<sup>[8]</sup>에 의해 분석하였으며,  $\text{SCOD}_{\text{Cr}}$ 는 0.45 $\mu\text{m}$  membrane으로 여과 후 Standard method<sup>[8]</sup>에 의해 분석하였다.

#### 2.2.2 실험장치 및 방법

가수분해 실험에 사용된 실험장치는 Fig. 1과 같이 유효용적 3L 용량의 Stainless 재질로 제작하였다. 실험장치의 온도를 유지하기 위하여 Water jacket을 설치하고 Water circulator를 이용하였다. 균일한 온도유지 및 원활한 혼

합을 위하여 소화조 내부에 기계식 교반기를 설치하여 약 60rpm으로 운전하였다.

음식물류 폐기물과 혼합폐기물의 가수분해 실험조건은 Table 1과 같이 온도는 혐기소화 중온영역인 35°C와 고온 영역인 55°C, 그리고 이보다 조금 높은 70°C에 대해 실시하였다. 또한 음식물류 폐기물의 TS함량을 10%, 15%, 그리고 조사된 음식물류 폐기물의 평균적인 TS 농도 범위에 해당하는 17%에 대해 실험을 진행하였으며, TS 17%는 35°C에서만 실험이 이루어졌다. 아울러 음식물류 폐기물과 음폐수를 1 : 1의 비율로 혼합한 혼합폐기물에 대해서도 가수분해 실험을 실시하였다. 가수분해 실험장치의 운전기간은 5일(120시간)이었으며, 시료당 20회의 시료를 채취하여 가수분해율을 측정하였다. 가수분해율의 평가방법은 식 (1)과 같이 초기 SCOD<sub>Cr</sub>와 실험시간에 따른 SCOD<sub>Cr</sub>의 비로 평가하였다.

$$\left( \frac{SCOD_{Cr,t} - SCOD_{Cr,i}}{TCOD_{Cr,i} - SCOD_{Cr,i}} \right) \times 100 \quad (1)$$

여기서, i는 시료의 초기 COD<sub>Cr</sub>, t는 시간 t에서의 COD<sub>Cr</sub>를 나타낸다.

가수분해 속도상수는 Kang 등<sup>[9-11]</sup>이 유기물의 생분해

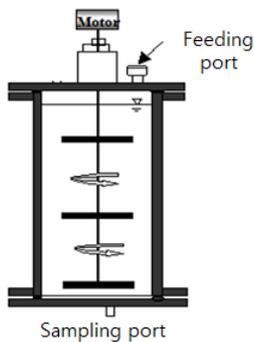


Fig. 1. Schematic diagram of the hydrolysis system

Table 1. Operating Condition of the hydrolysis system

Sample	Hydrolysis temp. (°C)	Operation time
Food waste, TS 10%	35, 55, 70	5days (120hrs)
Food waste, TS 15%	35, 55, 70	
Food waste, TS 17%	35	
Mixed waste, TS 11.5%	35, 55, 70	

속도상수 산출에 이용한 Multiple Reaction rate analysis를 이용하여 도출하였다. 회분식 가수분해 반응은 일정기간동안 선형 관계를 나타내다가 비선형 전이구간(Non-linear Transition)을 지난 후 다시 매우 낮은 기울기를 갖는 2차 선형 구간을 나타낸다. 따라서 회분식 가수분해 속도를 1차 선형 구간과 2차 선형 구간으로 구분하여 분해 속도상수를 도출하였다. 가수분해 반응조에서 가수분해율을 SCOD<sub>Cr</sub>로 평가하였으므로, 분해속도에 대한 관계를 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dC_o}{dt} = -kC_e \quad (2)$$

여기서, C<sub>o</sub> : TCOD - Initial SCOD concentration (mg/L)

C<sub>e</sub> : SCOD at time t - Initial SCOD concentration (mg/L)

k : Decay coefficient (hr<sup>-1</sup>)

t : Operation time (hrs)

위 식을 적분하여 시간에 관한 1차식으로 표현하여 식 (3)과 식 (4)와 같이 나타낼 수 있으며, ln(C<sub>o</sub>/C<sub>e</sub>)와 시간 t를 plot하여 기울기로부터 1차 및 2차 반응속도 상수인 k<sub>1</sub>과 k<sub>2</sub>를 구하였다.

$$C_e = C_o e^{-kt} \quad (3)$$

$$\ln \frac{C_o}{C_e} = kt \quad (4)$$

### 3. 연구결과 및 고찰

#### 3.1 음식물류 폐기물 및 음폐수의 성상

음식물류 폐기물과 음폐수에 대해 2월부터 11월까지 성상을 분석하여 그 결과를 월 평균으로 Table 1과 Table 2에 나타내었다. pH의 변화는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 음식물류 폐기물과 음폐수가 같은 경향으로 2월부터 5월까지 상대적으로 높게 유지되다가 계절적으로 평균 기온이

Table 2. Monthly characteristics of food waste

Month	pH	TS (%)	VS (%)	VS/TS (%)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	SCOD/TCOD (%)	T-N (mg/L)	NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	NH <sub>4</sub> -N/T-N (%)	T-P (mg/L)	PO <sub>4</sub> -P (mg/L)	PO <sub>4</sub> -P/T-P (%)	Alkalinity (mg CaCO <sub>3</sub> )
Feb	5.26	15.75	13.67	86.79	128,500	51,200	39.84	4,377	1,376	31.44	764	84	10.99	1,109
Mar	5.21	15.92	13.60	85.43	131,900	53,000	40.18	4,702	1,393	29.63	769	87	11.31	1,094
Apr	5.22	15.25	13.40	87.87	134,600	49,850	37.04	4,443	1,382	31.11	801	98	12.23	1,059
May	5.13	15.68	13.57	86.54	137,850	51,800	37.58	4,419	1,382	31.27	808	102	12.62	895
Jun	4.75	15.11	12.56	83.12	130,700	53,100	40.63	4,296	1,394	32.45	797	106	13.30	554
Jul	4.58	15.72	12.71	80.85	143,670	57,000	39.67	4,682	1,411	30.14	828	116	14.01	440
Aug	4.53	16.12	13.38	83.00	140,670	56,300	40.02	4,671	1,405	30.08	833	115	13.81	448
Sep	4.62	17.85	15.35	85.99	163,300	68,100	41.70	4,913	1,432	29.15	887	120	13.53	483
Oct	4.74	17.99	15.78	87.72	172,300	73,700	42.77	5,107	1,479	28.96	880	113	12.84	752
Nov	5.12	17.11	14.93	87.26	167,500	71,860	42.90	5,038	1,482	29.42	858	125	14.57	1,083
Avg.	4.92	16.25	13.90	85.54	145,100	58,600	40.39	4,665	1,413	30.29	823	106	12.88	792

Table 3. Monthly characteristics of food waste leachate

Month	pH	TS (%)	VS (%)	VS/TS (%)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	SCOD/TCOD (%)	T-N (mg/L)	NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	NH <sub>4</sub> -N/T-N (%)	T-P (mg/L)	PO <sub>4</sub> -P (mg/L)	PO <sub>4</sub> -P/T-P (%)
Feb	4.49	5.53	5.00	90.42	66,200	38,200	57.70	3,627	1,233	34.00	319	67	21.00
Mar	4.41	5.93	5.17	87.18	63,550	36,900	58.06	3,579	1,244	34.76	340	67	19.71
Apr	4.36	5.92	5.17	87.33	66,500	36,800	55.34	3,558	1,236	34.74	324	64	19.75
May	4.40	5.36	5.19	96.83	68,050	37,600	55.25	3,453	1,253	36.29	330	65	19.70
Jun	4.40	5.81	5.30	91.22	66,300	38,000	57.32	3,521	1,248	35.44	324	65	20.06
Jul	4.27	7.56	6.83	90.34	86,400	42,200	48.84	3,662	1,339	36.56	433	82	18.94
Aug	4.36	8.01	7.17	89.51	95,050	45,300	47.66	3,816	1,387	36.35	481	90	18.71
Sep	4.20	8.97	8.18	91.19	112,650	47,600	42.25	4,136	1,387	33.53	485	90	18.56
Oct	4.38	8.24	7.43	90.20	103,650	46,900	45.25	4,220	1,360	32.23	460	83	18.04
Nov	4.71	7.00	6.23	89.00	78,000	37,400	47.95	3,896	1,233	31.65	392	78	19.90
Avg.	4.40	6.83	6.17	90.34	80,635	40,700	50.47	3,747	1,292	34.48	389	75	19.28

높아지는 6월에서 10월 사이에 조금 낮게 나타났고, 11월에는 다시 증가하는 추세를 보였다. 이는 외부 기온이 높게 유지되면서 음식물류 폐기물이 배출, 수거, 운반, 저장 및 파쇄와 탈수 과정에서 가수분해가 진행되어 유기산이 더 많이 생성되었기 때문으로 판단된다. 음식물류 폐기물의 2월~11월 평균 pH는 4.92, 음폐수는 4.40으로 나타났다. Lim 등<sup>[6]</sup>은 음식물류 폐기물의 pH를 4.0~4.5로 보고하여 동 조사결과보다 조금 낮은 값을 보였으며, 대전녹색환경지원센터<sup>[12]</sup>에서는 음식물류 폐기물의 pH는 평균 5.0, 음폐수 pH를 평균 4.9로 보고하여 동 결과보다 음폐수가 조금 높은 값을 보였다. Kim 등<sup>[5]</sup>은 음식물류 폐기물의 pH

를 4.22~5.12로, Cho<sup>[13]</sup>는 음식물류 폐기물의 pH를 3.97~5.40 범위로 평균 4.67, 음폐수는 4.05~5.27 범위로 4.45로 보고하여 동 조사결과와 비슷한 범위를 보였다.

TS 및 VS 변화는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 음식물류 폐기물이 9월과 10월에 18%에 근접한 값을 보였으며, 그 밖에는 15~16% 안팎을 보였다. 2월~11월 평균은 16.25%를 나타냈다. 음폐수의 경우 5.36~8.97%로 편차가 크게 나타났는데, 이는 탈수과정에서의 운전조건에 따른 영향으로 판단된다. VS의 변화는 음식물류 폐기물과 음폐수 모두 TS의 변화 양상과 같이 나타났으며, 이는 VS/TS 비의 변화 폭이 크지 않기 때문으로 판단된다. 음식물류 폐기물의

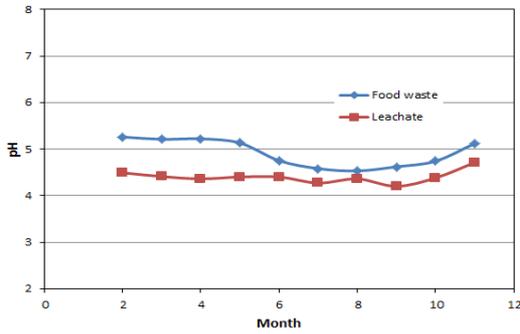


Fig. 2. Seasonal variation of pH for food waste

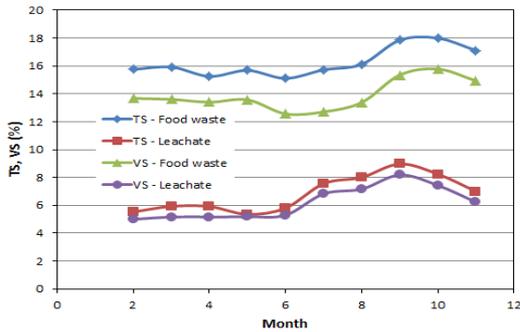


Fig. 3. Seasonal variation of TS & VS for food waste

VS는 2월~11월 평균 13.90%였으며, 음폐수는 6.17%를 나타냈다. VS/TS 비는 음폐수가 음식물류 폐기물보다 약간 높은 값을 보였는데, 이는 탈수과정에서 무기물보다는 유기물의 용출이 많이 일어났기 때문으로 생각된다. Cho<sup>[13]</sup>의 TS 16.5%, VS 14.32%와 대전녹색환경지원센터<sup>[12]</sup>에서 보고한 TS 16.4%와는 유사한 결과를 나타냈으나, 여타 연구자들<sup>[5-7,13]</sup>의 보고와는 약간의 차이를 보였으며, 이는 Kim 등<sup>[5]</sup>의 연구결과에서와 같이 시료의 계절적 요인 및 주저형 태별 차이에서 오는 현상으로 풀이된다.

COD<sub>Cr</sub>의 변화는 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 VS의 변화 추이와 비슷한 양상을 보였다. 음식물류 폐기물의 TCOD<sub>Cr</sub>는 130,000~170,000mg/L 내외로 기간 평균 145,100 mg/L를 나타내었다. 음폐수는 63,000~112,000mg/L로 TS와 같이 편차가 크게 나타났으며, 기간 평균은 80,635 mg/L를 보였다. SCOD<sub>Cr</sub>/TCOD<sub>Cr</sub> 비는 음식물류 폐기물이 40% 내외를 유지하는 반면 음폐수는 3월 58% 내외에서 점차 낮아져 7월에는 약 49%로 여름철 기온의 상승에 따른 가수분해가 더 많이 진행되는 것으로 나타났다. Cho<sup>[13]</sup>가 보고한 음식물류 폐기물의 TCOD<sub>Cr</sub>는 평균 241,227mg/L,

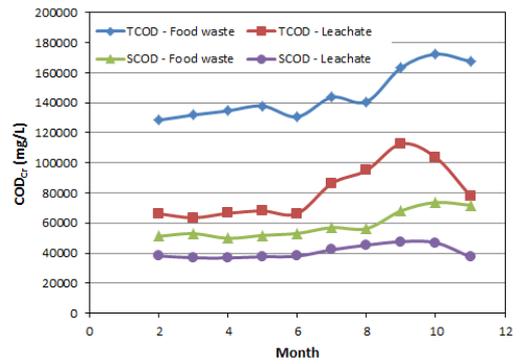


Fig. 4. Seasonal variation of COD for food waste

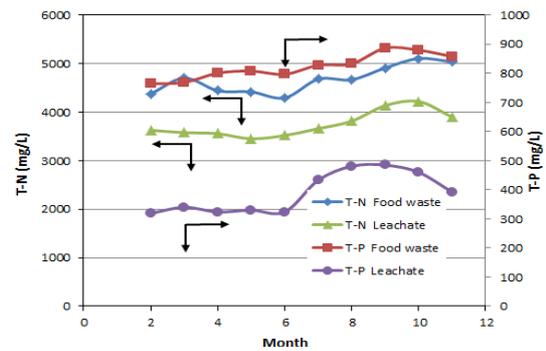


Fig. 5. Seasonal variation of T-N & T-P for food waste

SCOD<sub>Cr</sub>는 92,606 mg/L와 대전녹색환경지원센터<sup>[12]</sup>의 결과에서도 SCOD<sub>Cr</sub>는 유사하였으나, TCOD<sub>Cr</sub>는 187,880mg/L로 본 결과와 TS 농도가 비슷함에도 불구하고 큰 차이를 보였다.

T-N과 T-P는 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 T-N은 TS 변화에 따른 영향을 받는 것으로 나타났으며, 기간 평균 음식물류 폐기물은 4,665mg/L, 음폐수는 3,747mg/L로 나타났다. T-P 변화는 음식물류 폐기물이 760~880mg/L 범위로 큰 변화가 없었으나, 음폐수의 경우 7월 이후 변화폭이 크게 나타났다. Cho<sup>[13]</sup>가 보고한 음식물류 폐기물의 T-N은 평균 8,514mg/L, T-P는 544mg/L로 차이가 있으나, 대전녹색환경지원센터<sup>[12]</sup>의 결과에서는 T-N 4,361mg/L로 유사하였다. 음폐수 역시 대전녹색환경지원센터<sup>[12]</sup>의 결과와 유사하였다.

음식물류 폐기물과 음폐수의 2월부터 11월까지 성상 분석결과 여러 연구자들의 보고와 비교할 때 다소 차이를 보이는 것으로 나타나 음식물류 폐기물 및 음폐수의 효율적인 처리시스템 설계를 위하여 표준화된 방법에 의한 지속적인 조사 연구가 필요할 것으로 여겨진다.

### 3.2 음식물류 폐기물과 혼합폐기물의 가수분해

음식물류 폐기물 및 음식물류 폐기물과 음폐수를 혼합한 혼합폐기물의 가수분해 실험결과를 가수분해율로 변환하여 Fig. 6에서 Fig. 9에 나타내었으며, 가수분해 24시간과 120시간의 결과를 Table 4에 나타내었다. 실험시료의 초기 SCOD<sub>Cr</sub> /TCOD<sub>Cr</sub> 비는 19.52~23.27%를 나타내어 운반 및 저장과정에서 상당부분 가수분해가 진행되었다.

TS 10% 음식물류 폐기물의 경우 가수분해 24시간의 70°C 조건에서 TCOD<sub>Cr</sub>의 60.81%가 SCOD<sub>Cr</sub>로 용출되었

으며, 120시간 후에는 69.27%를 나타내어 높은 가수분해율 증가를 보였다. 이는 높은 가수분해 온도 조건과 높은 함수율에 의한 것으로 판단된다. TS 15% 음식물류 폐기물은 가수분해 24시간 후 35°C, 55°C와 70°C 조건에서 각각 25.62%, 35.20%, 43.55%로 TS 10% 음식물류 폐기물에 비해 가수분해율이 낮았으며, 이후부터 120시간까지 SCOD<sub>Cr</sub> 농도는 각 온도조건에서 5.22~11.21%가 증가하여 시간에 따른 증가율은 크지 않았다. TS 17% 음식물류 폐기물은 가수분해 35°C 조건의 24시간에서 29.32%, 120시간에서

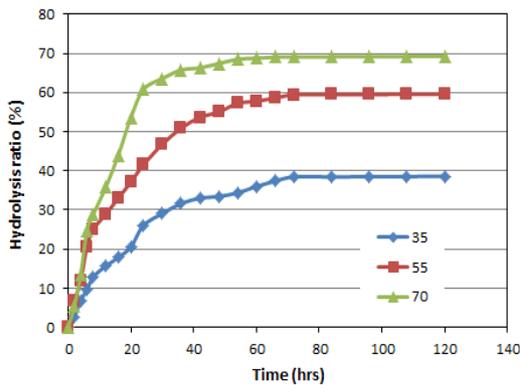


Fig. 6. Temporal hydrolysis ratio of Food waste (TS 10%)

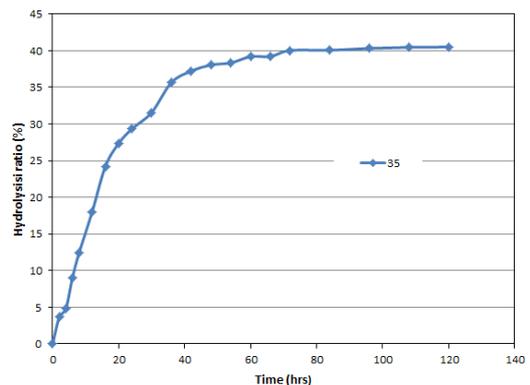


Fig. 8. Temporal hydrolysis ratio of Food waste (TS 17%)

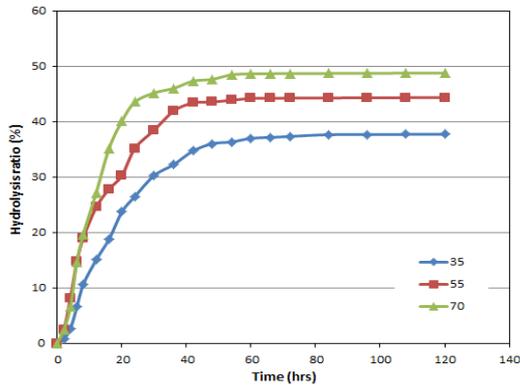


Fig. 7. Temporal hydrolysis ratio of Food waste (TS 15%)

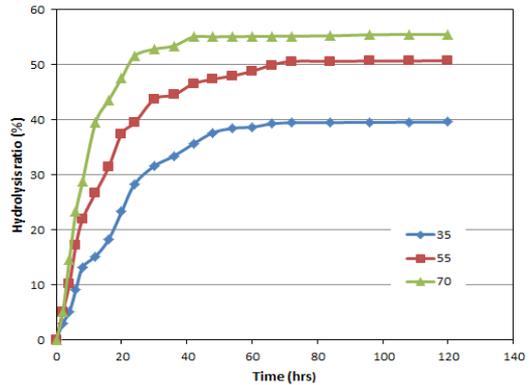


Fig. 9. Temporal hydrolysis ratio of mixed waste (TS 11.5%)

Table 4. Variation of Hydrolysis rate at time

Conditions		35°C		55°C		70°C		Initial COD <sub>Cr</sub> (mg/L)	
		24hr	120hr	24hr	120hr	24hr	120hr	TCOD	SCOD
Mixed waste	TS 11,5%	28,31	39,56	39,43	50,68	51,56	55,47	124,200	28,905
Food waste	TS 10%	26,05	38,58	41,55	59,60	60,81	69,27	90,271	20,234
	TS 15%	26,52	37,73	35,20	44,35	43,55	48,77	148,544	30,832
	TS 17%	29,32	40,50	—	—	—	—	169,833	33,144

40.50%로 가수분해율 증가가 많지 않았다.

TS 11.5%의 혼합폐기물은 가수분해 24시간의 35°C 조건에서 가수분해율 28.31%로 음식물류 폐기물 TS 10%나 TS 15%에 비해 가수분해율 증가가 높았다. 이는 음폐수에 빨리 분해될 수 있는 저분자 형태의 유기물 함량이 상대적으로 높기 때문으로 사료된다. 가수분해 120시간을 기준으로 35°C의 39.56%비해 55°C나 70°C에서 가수분해율 증가가 크지 않았다.

Jang 등<sup>[14]</sup>은 음식물류 폐기물을 TS 8%로 산발효조와 메탄발효조가 결합된 중온 이상 혐기성 소화실험에서 산발효조의 HRT 3일에서 SCOD<sub>Cr</sub>/TCOD<sub>Cr</sub> 비가 53.83%로 운전되었음을 보고하였고, Park 등<sup>[15]</sup>은 산발효조의 HRT 6.6일에서 SCOD<sub>Cr</sub>/TCOD<sub>Cr</sub> 비가 54.16%로 운전되었음을 보고하였다. 이는 본 실험결과에서는 초기 SCOD<sub>Cr</sub>를 배재하고 실험기간 중 새로 전환된 SCOD<sub>Cr</sub>로 이를 감안할 경우 35°C에서 비슷한 가수분해율을 보였다. 그러나 앞 선 연구

자의 실험은 소화조 유출액을 산발효조로 반송함으로써 산 생성 미생물은 물론 Alkalinity를 공급하여 줌으로써 가수분해를 촉진하여 얻은 결과이다.

음식물류 폐기물과 혼합폐기물의 가수분해 양상을 살펴보면 가수분해 시간이 경과함에 따라 SCOD<sub>Cr</sub>가 빠르게 용출되는 k<sub>1</sub> 부분과 SCOD<sub>Cr</sub>가 느리게 용출되는 k<sub>2</sub> 부분으로 구분할 수 있다. 이에 본 연구에서는 가수분해 속도상수 k<sub>1</sub>과 k<sub>2</sub>를 통해 최적 가수분해 시간을 도출하였다. 가수분해 속도상수 k<sub>1</sub>과 k<sub>2</sub>를 도출하기 위한 Multiple decay rate를 Fig. 10~13에 도시하였으며, 그 결과를 Table 5에 나타내었다.

가수분해 속도상수 k<sub>1</sub>은 고형물 함량이 가장 낮은 음식물류 폐기물 TS 10%, 35°C 조건에서 가장 낮게 나타났으며, 반응온도가 높을수록 속도상수 값이 커지는 결과를 얻었다.

각각의 조건별 최적 가수분해 시간과 그에 따른 가수분해율을 Table 6에 나타내었다. TS 10%, 70°C에서 가장 높은 가수분해율을 기록하였으며, 혼합폐기물은 최적 가수분

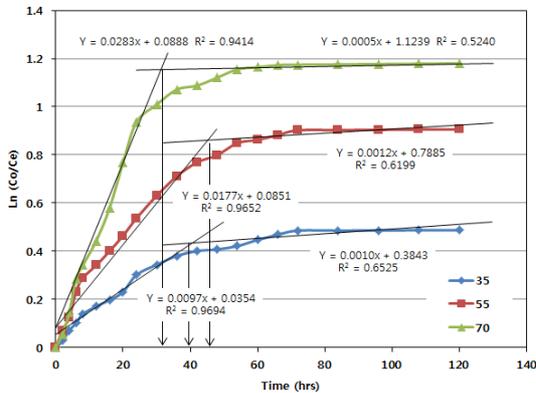


Fig. 10. Multiple hydrolysis rate of food waste (TS 10%)

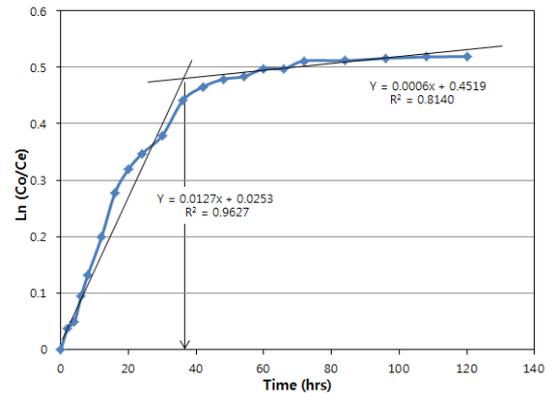


Fig. 12. Multiple hydrolysis rate of food waste (TS 17%)

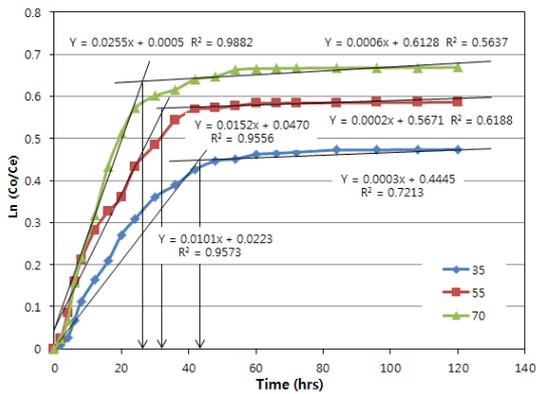


Fig. 11. Multiple hydrolysis rate of food waste (TS 15%)

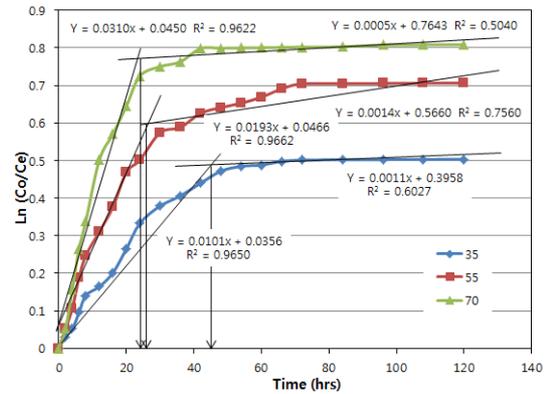


Fig. 13. Multiple hydrolysis rate of mixed waste (TS 11.5%)

Table 5. Summary of multi-hydrolysis rate of food waste

Conditions		35°C		55°C		70°C	
		k1 (hr <sup>-1</sup> )	k2 (hr <sup>-1</sup> )	k1 (hr <sup>-1</sup> )	k2 (hr <sup>-1</sup> )	k1 (hr <sup>-1</sup> )	k2 (hr <sup>-1</sup> )
Mixed waste	TS 11.5%	0.0101	0.0011	0.0193	0.0014	0.0310	0.0005
Food waste	TS 10%	0.0097	0.0010	0.0177	0.0012	0.0283	0.0005
	TS 15%	0.0101	0.0003	0.0152	0.0002	0.0255	0.0006
	TS 17%	0.0127	0.0006	-	-	-	-

Table 6. Optimum time for hydrolysis ratio of food waste

Conditions		35°C		55°C		70°C	
		Time (hrs)	Hydrolysis ratio (%)	Time (hrs)	Hydrolysis ratio (%)	Time (hrs)	Hydrolysis ratio (%)
Mixed waste	TS 11.5%	44	36.26	26	40.85	24	51.56
Food waste	TS 10%	40	32.10	45	54.34	31	63.93
	TS 15%	43	35.15	32	43.47	26	45.32
	TS 17%	36	35.67	-	-	-	-

해시간이 가장 짧게 나타났다. Moon 등<sup>[16]</sup>은 소화조 슬러지를 이용한 산발효 실험에서 산발효조의 HRT를 3일로 제안하고 있다. 본 실험에서는 혐기성 슬러지를 주입하지 않고 실험한 결과로 실험된 조건에서 모두 2일 이내의 최적값을 얻었다. 가수분해 시간을 더 줄이려면 음식물류 폐기물 중에 함유된 셀룰로오스계 물질은 열수 가수분해가 되지 않으므로 Jeong<sup>[17]</sup> 등이 행한 효소 가수분해를 생각할 수 있으나, 이는 경제성 악화의 요인이 될 수 있다.

본 연구결과는 Pilot 또는 상용 플랜트의 설계 시 참조하면 가수분해 방법, TS 농도, 혼합방식, 소화조의 온도 등을 고려하고 안전율을 감안한 가수분해 온도 및 HRT를 결정하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

음식물류 폐기물과 음폐수의 배출특성을 조사 분석하고, 아울러 음식물류 폐기물 및 음식물류 폐기물과 음폐수의 혼합폐기물에 대한 혐기성 소화공정의 산생성 발효조에서 가수분해 효율을 향상시키기 위한 가수분해 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 음식물류 폐기물은 조사기간 평균 pH가 4.92, TS는

16.25%, VS는 13.90%, TCOD<sub>Cr</sub>는 145,100mg/L, SCOD<sub>Cr</sub>는 58,600mg/L, T-N은 4,665mg/L, T-P는 823mg/L 였으며, 음폐수는 pH 4.40, TS는 6.83%, VS는 6.17%, TCOD<sub>Cr</sub>는 80,635mg/L, SCOD<sub>Cr</sub>는 40,700mg/L, T-N은 3,747mg/L, T-P는 389mg/L로 분석되었다.

- 위와 같은 음식물류 폐기물과 음폐수의 기본 성상은 향후 바이오가스 플랜트의 설계 기초자료로 유용하게 이용될 수 있을 것으로 판단되며, 아울러 조사대상 지역 및 시간의 경과에 따라 다소 차이가 발생하므로 표준화된 방법에 의한 지속적인 조사분석이 필요할 것으로 여겨진다.
- 온도와 TS 농도에 따른 가수분해 실험을 통해 가수분해 속도상수 k<sub>1</sub> 및 k<sub>2</sub>를 도출하여 최적 반응시간은 2일 이내, 가수분해율은 32~64%의 결과를 얻었으며, Pilot 또는 상용 플랜트의 설계 시 본 연구결과를 참조하면 가수분해 방법, TS 농도, 혼합방식, 소화조의 온도 등을 고려하고 안전율을 감안한 가수분해 온도 및 HRT를 결정하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 대전녹색환경지원센터의 2014년도 연구개발 사업 지원에 의해 이루어진 것이며, 이에 감사드립니다.

## References

- [1] Ministry of Environment, 2015, “2014 The nations of waste occurrence & treatment status”.
- [2] Ministry of Environment, 2016, “2016 White paper of environment”.
- [3] Ministry of Environment, 2015, “2014 Organic waste into energy utilization facilities”, 2015. 9.
- [4] Hong, Y. P., Kim, H. S., Kim, U. Y., and Shin, H. G., 2016, “Study on the public food waste recycling facility operation(I) - Focusing on the current state of operation and the problems -”, J. of the Korea Organic Resource Recycling Association, 24(1), 41-49.
- [5] Kim, Y. K., Kim, S. M., Kim, M. K., Choi, J. T., and Nam, S. Y., 2009, “Characteristics of the food waste and wastewater discharged from food waste treatment process”, Korean J. of Environmental Health, 35(6), 526-531.
- [6] Lim, B. S., Kwon, C. J., Jeong, J. H., and Kang, H., 2010, “Characteristics of food wastes in Daejeon metropolitan city”, J. of the Korea Organic Resource Recycling Association, 27(6), 522-529.
- [7] Choi, J. M., Kim, J.K., and Lee, C. Y., 2015, “Biodegradation characteristics of food waste on various collection systems”, J. of the Korea Organic Resource Recycling Association, 23(1), 23-28.
- [8] APHA, AWWA and WEF, 2012, “Standard methods for the examination of water and wastewater<sup>TM</sup>, 22nd ed.”, Eugene, W. R., Rodger, B. B., Andrew, D. E., and Leonore, S. C.(Eds.), Clearway Losistics, Hanover, 4-1946(2012).
- [9] Kang, H., Shin, K. S., and Richard, B., 2005, “Determination of ultimate biodegradability and multiple decay rate coefficient in anaerobic batch degradation of organic wastes”, J. of Korean Society Environmental Engineers, Vol. 27(5), 555-601.
- [10] Shin, K. S., 2003, “Application of electron beam irradiation for effective wastewater sludge treatment, Ph. D. Dissertation, Chungnam National University, Korea.
- [11] Kang, H., Jeong, K. H., Jeong, J. H., Kim, S. W., and Ahn, H. K., 2014, “Anaerobic ultimate biodegradability and multiple decay rates of dairy cow manure”, J. of Korea Society of Waste management, Vol. 31(8), 833-842.
- [12] Daejeon Green Environment Center, 2016, “Construction of biogas plant for food waste & food waste leachate in Daejeon metropolitan city - characteristics research services”, Kyeryong Construction Industrial Co. Ltd., 2016. 6.
- [13] Cho, N. C., 2015, “Efficient operating methods of anaerobic digestion”, Master’s Thesis, Seoul National University of Science and Technology, 2015. 2.
- [14] Jang, E. S., Ruy, S. H., and Phae, J. G., 2007, “Effect of TS concentration on anaerobic digestion using supernatant of food waste”, J. of the Korea Organic Resource Recycling Association, 15(2), 118-127.
- [15] Park, S. C., Cho, J. K., Lee, J. P., Hong, J. J., Lee, J. S., and Kim, M. S., 1995, “Process development for energy and compost recovery from biodegradable municipal solid waste(II)”, R & D report, Korea Institute of Energy Research, Korea, 1995. 1.
- [16] Moon, K. S., and Pak, D. W., 2015, “A study on biogas yield according to food waste leachate acid fermentation conditions”, J. of Energy Engineering, 24(4), 11-17.
- [17] Jeong, S. M., and Kim, Y. J., 2013, “Fermentation of pentose and hexose derived from cellulosic food waste by mixed yeast”, New & Renewable Energy, 9(1), 25-32.