

## 음식물쓰레기의 혐기성 생분해도 특성

박남배 · 길대수\* · 이헌모\*\*

부산광역시청 청소관리과 · 부경대학교 환경공학과\* · 동의공업대학 환경시스템공학과\*\*

### The characteristics of anaerobic biodegradability by food waste

Nam Bae Park · Dae Soo Gill\* · Heon Mo Lee\*\*

*Dept. of Wastes Management, Pusan Metropolitan City Hall, Pusan, Korea*

*Dept. of Environmental Engineering, Pukyong National University, Pusan, Korea\**

*Dept. of Environmental System Engineering, Dongeui Institute of Technology, Pusan, Korea\*\**

#### Abstract

This study was aimed to evaluate biodegradability for various food waste using anaerobic batch digestion. In the anaerobic biodegradability study of each food waste according to occurrence source, the cumulative methane productions of water melon and melon were 375, and 354ml and that of cucumber, fresh cabbage, radish, sprouted bean were 366, 364, 374, 384, 355ml and that of noodle, boiled rice and fish were 432, 409 and 477ml  $\text{CH}_4/\text{g VS}$  add, respectively. And methane yield rate was about 84.1~97.2%. The reaction rate coefficient(k) was  $0.00495\sim 0.2022\text{day}^{-1}$ .

#### I. 서 론

유기성 폐기물로부터 에너지를 생산할 수 있는 시스템으로서 메탄발효에 관심이 고조되면서 짧은 시간내에 메탄 생성속도 및 메탄 수율을 측정하고자 가질의 열역학적 전처리에 의한 발효속도의 가속화 및 생분해도 연구가 Gossett 등과 Chynoweth에 의해 진행되었으며<sup>1,2)</sup>, 그 후로 모든 폐기물의 혐기성 생분해도 평가가 가능하게 되었다. 유기성 폐기물의 생분해도(biodegradability)라 함은 어떤 물질의 생물학적으로 분해 가능한 정도를 나타내며 생물학적인 폐기물 처리 시스템을 설계하는데 가장 중요한 인자로 고려되고 있다.

유기성 폐기물에 대한 혐기성 소화공정의 개발

에 있어서 폐기물의 분해 특성을 완전히 이해하는 것은 공정의 합리적인 설계와 소화조 운전을 하기 쉽게 하기 위하여 필수적인 것이며<sup>3,4)</sup>, 유기성 물질의 메탄전환 수율의 최적화를 가능하게 할 것이다. 또한 유기성 폐기물의 특성은 기후, 계절, 생활양식, 폐기물의 처리 방법에 따라 변화되기 때문에 각 발생원별 폐기물의 특성을 조사하고 실제 주방에서 배출되는 음식물쓰레기의 혐기성 생분해도를 측정함으로써 소화조 설계인자를 구하는 것과 동시에 대체에너지원으로서의 잠재성을 평가하는 것이 바람직하다. 지금까지 우리나라에서 배출되는 음식물쓰레기에 대한 생분해도 조사는 '90년도 이후부터 몇몇 학자들에 의하여 이루어지고 있으나, 주로 폐수를 대상으로 한 실험 방법을 음식물쓰레

기에 그대로 적용하여 생분해도 조사시 배지조성, pH 조정 및 알칼리도 첨가 등 인위적인 환경을 조절하여 실험을 수행하였다. 그러나 음식물 쓰레기는 미생물 성장에 필요한 영양소 등을 충분히 함유하고있고, 단백질 및 지방 성분의 분해로 인한 알칼리도의 상승 및 이로 인해 pH 조절이 이루어지는 특성을 고려해볼 때 음식물 쓰레기를 대상으로 생분해도 측정시 영양분 주입, pH 조절 및 알칼리의 제공여부가 필요한지에 대한 의문이 제기된다.

따라서 본 연구에서는 음식물 쓰레기의 혐기성 처리에 앞서 음식물 쓰레기의 혐기성 분해 특성 조사를 목적으로 Owen 등<sup>5)</sup> 및 Shelton 등<sup>6)</sup>에 의해 정립된 BMP(biochemical methane potential) 측정 법을 이용하여 음식물 쓰레기의 생분해도에 미치는 영향을 평가하고 가정에서 발생하는 각종 음식물 쓰레기의 종류별 생분해도 특성을 평가하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험장치

본 연구에서 사용한 실험 장치는 Fig. 1과 같이

음식물 쓰레기의 생분해도 특성을 구하기 위하여 300ml 용량의 삼각플라스크를 이용하였다. 반응조 내에 시료와 식종슬러지를 넣기 전에 35℃의 배양기에서 배양온도와 평형을 유지시켜 온도에 따른 영향을 배제하였다. 시료를 주입 후 반응조 상단을 실리콘 마개로 밀봉하여 혐기성 상태로 유지시켜 35℃의 차광된 진탕배양기 내에서 120rpm으로 진탕 배양하였다. 가스 발생량은 주사기를 간헐적으로 삽입시킨 뒤 대기압과 평형이 될 때의 값으로 산정 하였으며, 가스 압에 의하여 반응조 상단에 밀봉한 실리콘 마개가 튀어나가거나 반응조가 파쇄되지 않도록 하기 위하여 반응조 상단부의 바이오가스 압력이 2기압이 넘지 않도록 주의하여 측정시간 간격을 조정하여 실험을 수행하였다.

### 2. 실험 방법

종류별 음식물 쓰레기가 혐기성 소화조의 효율에 미치는 영향을 조사하기 위하여 곡물류(쌀-밥, 라면-끓인 것), 어류(횃집에서 배출되는 것), 채소류(배추, 무, 오이-쓰레기로 배출된 것), 과일류(수박껍질, 참외껍질), 김치 등을 대상으로 음식물 쓰레기의 종류별 생분해도를 조사하였다.

각각의 시료를 믹서기로 파쇄한후 유기물 부하

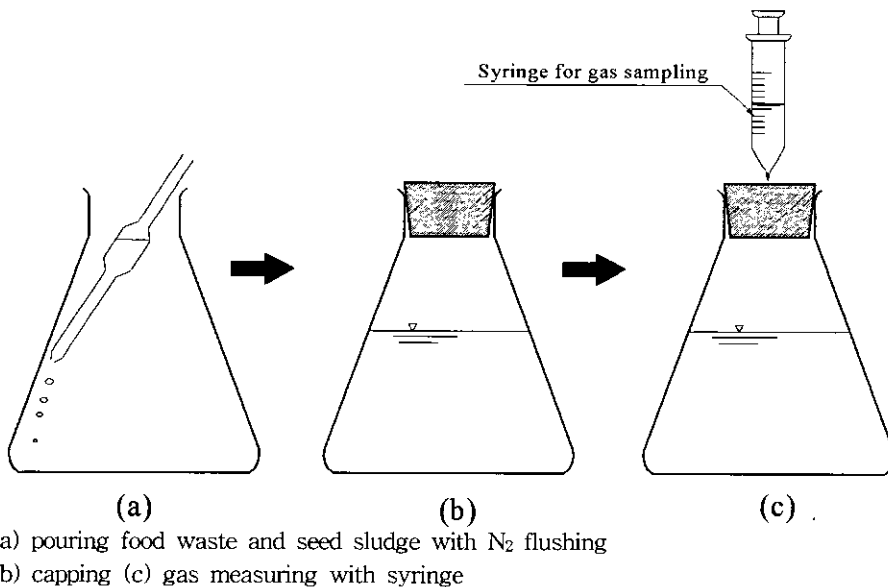


Fig. 1. Schematic diagram of experimental set-up.

를 2g로 조정하였으며, 이때 반응조 내에 주입 후 용존산소를 제거한 탈 이온수로 채워 전체를 200ml로 하였다. 여기서 측정된 pH값의 범위는 7.29~7.41로 나타나 생분해도 측정시 pH에 의한 영향이 없을 것으로 판단되어 별도로 pH 조정 및 알칼리도 주입 등 일체의 간섭을 배제하였다. 대상 시료는 본래의 물리 화학적 특성을 유지하기 위하여 실험목적에 관련되지 않은 건조, 분쇄 등의 전처리를 배제하였다. 실험전 믹서기로 파쇄한 후 측정된 음식물쓰레기의 고형물 함량은 약 20% 정도로서 생분해도 실험시 피펫으로 취하기 곤란하여 부피와 무게를 측정한 결과 비중이 1.01로 측정되어 실험의 원활한 진행을 위해서 이후 음식물쓰레기 주입시 부피와 무게의 비를 1:1로 평가하여 부피단위 대신 무게 단위로 시료를 취하여 주입하였다. 실험을 위해 사용한 식종액은 하수처리장의 슬러지를 음식물쓰레기와 혼합처리 실험을 하고 있는 pilot plant의 소화조로 부터 채취하여 200mesh 체로 거른 여액으로 불순물을 제거한후 실험에 이용하였으며, 주입된 식종슬러지의 식종율은 전체 배지 부피의 40%(80mL)로 하였다. 시료와 식종슬러지를 주입하고 산소에 의한 영향이 없도록 질소 가스를 불어넣은 후 마개로 밀봉하였으며, 반응조

는 35℃로 유지되는 배양기내에서 120rpm으로 진탕 배양하였다. 별도로 혐기성 배지와 식종슬러지만 주입한 공시료(blank)를 동일한 조건에서 배양하여 식종슬러지로부터 발생된 소화 가스량을 보정 하였다.

### 3. 시료의 조제 및 분석방법

소화가스 발생량은 반응조의 상단부에 장착된 실리콘 마개에 간헐적으로 주사기를 삽입시킨 뒤 주사기 내부와 반응조 내부의 압력이 평형으로 유지될때의 값으로 하였다. 발생가스중 메탄함량은 열전도도검출기가 부착된 Gas Chromatography (HP-6890A)를 이용하여 병인의 가스를 뽑을 때마다 병내부로 직접 분사용 주사기로 채취하여 측정하였다. 각 반응조의 생분해도 운전특성을 평가하기 위하여 유입시료의 pH는 pH meter, TS(total solids), VS(volatile solids)는 Standard Methods<sup>7)</sup>에 의하여 측정하였으며, 음식물쓰레기 및 각 종류별 음식물쓰레기의 원소분석은 원소분석기(Elemental Analyze: Profile HV-3)를 이용하여 분석하였다.

Table 1. Physical characteristics and biodegradability of food waste components

Sample	Organic loading rate(g VS/l)	cumulative methane production (ml/g VS)	TS (%)	VS (as % of TS)
water melon	0.46	375	5.78	79.75
melon	0.34	354	7.58	90.30
cucumber	0.25	366	5.87	85.12
fresh cabbage	0.33	364	8.30	78.99
radish	0.20	374	4.51	88.22
sprouted bean	0.55	384	11.55	95.19
cabbage pickle	0.44	355	12.30	71.23
noodle	1.15	432	24.30	93.77
boiled rice	1.75	409	38.29	90.55
fish	1.74	477	37.76	91.65

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 생분해도 특성

본 실험에서는 음식물쓰레기의 종류별에 따른 생분해도를 조사하기 위하여 일반 가정에서 주로 발생하는 과일 껍질 및 채소류 쓰레기를 수거해와 믹서기로 파쇄한 후 식중을 공히 40%에 대하여 생분해도를 측정하였으며, Table 1에 각 음식물쓰레기의 종류별 생분해도와 물리적 특성을 나타내었다.

Table 1에 나타난 바와 같이 동일량의 부체를 주입하였지만 각 대상시료의 유기물부하는 무가 0.20g VS/ℓ로 가장 낮고 오이 0.25g VS/ℓ, 배추 0.33g VS/ℓ, 참외 0.34g VS/ℓ, 김치 0.44g VS/ℓ, 수박 0.46g VS/ℓ, 콩나물 0.56g VS/ℓ 순으로 채소류의 부하가 대체적으로 낮은 반면에 밥이 1.75g VS/ℓ로 가장 높고 라면 1.15g VS/ℓ, 생선 1.74g VS/ℓ로 곡류 및 어류는 높게 나타났다.

그리고 총고형물의 농도는 채소류가 낮고 곡류 및 어류가 높는데 고형물중 가스로 전환될 수 있는 분해 가능한 휘발성 유기성분의 경우 콩나물이 95.19%로 가장 높았고, 김치가 71.23%로 가장 낮게 나타났으며, 대체적으로 라면, 밥, 생선이 높은 반면에 채소류 및 과일껍질은 낮게 나타났다.

Fig. 2(a)는 종류별에 따른 누적 메탄발생량을 나타낸 것으로 휘발성 고형물(Volital solid) 1g당 최종메탄발생량은 과일류인 수박, 참외는 각각 375ml, 345ml로 평가되었고, 채소류인 오이, 배추, 무, 콩나물 및 김치에서 각각 366ml, 364ml, 374ml, 384ml, 및 355ml로 나타났다. 한편 어류인 생선에서 477ml, 곡류인 라면, 밥에서 각각 432ml, 409ml로 나타났다.

음식물 종류별 단위 VS g당 가스발생속도에 대한 평가결과 채소류의 경우 유사한 경향을 나타내고 있으나, 곡류중 밥의 경우 초기 가스발생 속도가 비교적 느리나 시간이 경과 될 수록 회복되고 있는데 이러한 현상은 초기 산 형성 단계로의 빠른 전환으로 인하여 산 축적에 의한 pH 저하로 메탄 생성균에 저해를 미치는 것으로 판단된다. 본 실험에서 구한 메탄발생량은 Cho 등<sup>9)</sup>이 유기성폐기물의 혐기성 생분해도 특성 실험에서 곡물류

(boiled rice), 채소류(fresh cabbage)에 대하여 보고한 최종 메탄 발생량은 각각 408 ℓ CH<sub>4</sub>/g VS, 382 ℓ CH<sub>4</sub>/g VS 이었으며 이러한 결과는 본 연구에서 평가된 곡물류 및 채소류의 최종 메탄 발생량과 유사하게 나타났다. Fig. 2(b)의 경우 주입된 200ml의 반응조에 주입된 총고형물(Total solid) 2g당 메탄 발생량은 어류가 333ml로 가장 높고, 밥이 287ml, 라면이 199ml인 반면에 채소류는 30~77ml의 범위로 나타나 주입된 양에 대한 총 메탄 발생량으로 환산할 경우 곡류 및 어류가 높게 나타나고 채소류에서 낮게 나타났다. 이와 같이 곡류 및 어류에서 높게 나타나는 이유는 다른 기질보다 원소조성에서 탄소의 비율이 상대적으로 높고 산소의 비율이 낮아 화학 양론적으로 높은 메탄 포텐셜을 가지고 있기 때문인 것으로 생각되며, 채소류의 경우는 탄소의 비율은 비교적 높으나 분해가 잘되지 않는 리그닌 등이 함유되어 있기 때문에 최종 메탄 발생량이 낮게 나타나는 것으로 판단된다. 따라서 음식물쓰레기를 혐기성 소화시킬 경우 과일 껍질류가 많은 여름철과 채소류의 쓰레기가 많이 배출되는 김장철의 경우 유기물부하의 감소에 대한 대책이 필요하다고 판단된다.

#### 2. 원소 조성 및 이론 메탄 발생량

종류별 원소 조성 및 이론 메탄 발생량을 조사하기 위하여 각 시료를 분쇄 건조시킨 후 분석하였으며, 이들 원소 조성으로부터 화학 양론적인 메탄 발생량 계산식을 이용하여 이론 메탄 발생량을 계산하였다. Table 2은 각 시료의 원소 조성, 함유율, 이론 메탄 발생량 및 탄소와 질소비율(C/N ratio)을 나타낸 것으로 채소류 중에는 무의 수분 함유율이 95.49%로서 가장 높았으며, 오이 92.42%, 배추 91.70%, 콩나물 88.45%, 김치 87.70%로 나타났다. 그리고 과일껍질의 경우 수박껍질 94.22%, 참외껍질 92.42% 였으며, 라면 75.7%, 밥 61.71%, 생선 62.24%였다. 이와 같은 결과는 Shin et al.(1993)이 음식물쓰레기를 이용한 함유율 실험에서 곡류 75.0%, 채소류 94.0%, 생선류 64.0%로 보고한 수치와 유사하였다. C/N 비의 경우 9.4에서 23.6의 범위를 보이며, 라면의 경우 23.6로 가장 높으며, 김치의 경우 9.4로 가장 낮게 분석되었다.

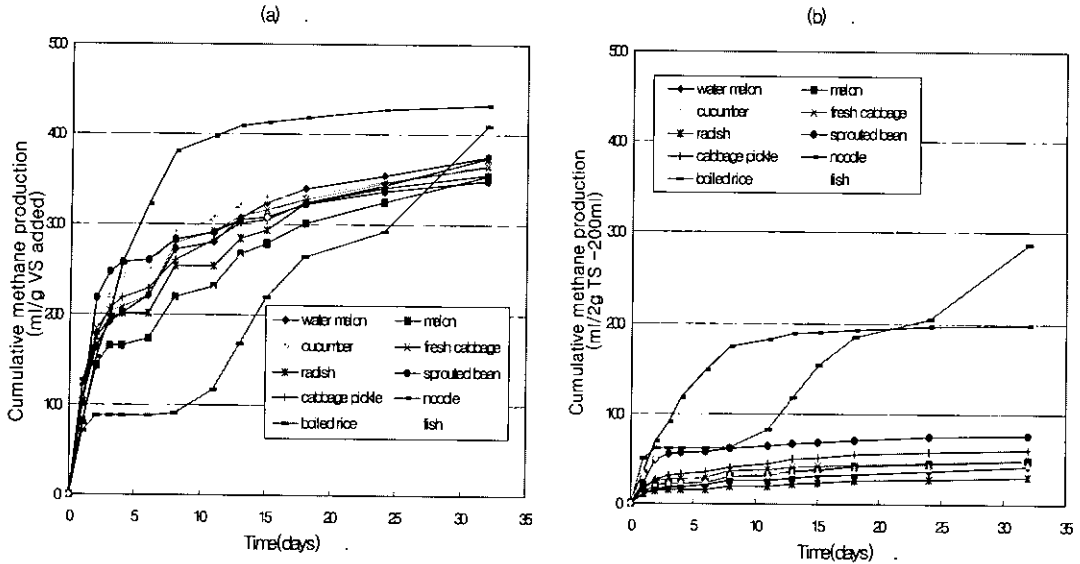


Fig. 2. Cumulative methane production as kinds of food waste.

Table 2. Physical and chemical characteristics and theoretical methane productions of food waste components

Sample	moisture (%)	chemical elements(%)					Theoretical methane production (mlCH <sub>4</sub> /g VS)	C/N ratio
		C	H	O	N	S		
water melon	94.22	41.4	6.9	47.5	3.3	0.9	392	12.5
melon	92.42	43.9	6.4	46.6	2.3	0.8	410	19.1
cucumber	92.42	42.8	6.2	47.5	3.3	0.2	387	13.0
fresh cabbage	91.70	41.7	6.9	47.5	3.4	0.5	395	12.3
radish	95.49	44.1	6.2	46.7	2.6	0.4	405	17.0
sprouted bean	88.45	46.5	5.9	44.9	2.5	0.2	427	18.6
cabbage pickle	87.70	43.1	6.3	45.3	4.6	0.7	391	9.4
noodle	75.70	49.6	6.8	41.1	2.1	0.4	496	23.6
boiled rice	61.71	46.5	5.8	44.0	3.5	0.2	421	13.3
fish	62.24	51.5	6.9	32.2	4.6	0.8	518	11.2

Cho et al.(1993)은 혐기성발효에 가장 적합한 C/N 비는 12~30의 범위라고 보고한바 있어 본 실험의 경우 김치의 경우를 제외하곤 혐기성 소화시 메탄 발효가 원만하게 일어날 수 있을 것으로 생각된다.

이론적인 메탄 발생량은 과일류인 수박, 참외의

경우 392, 410ml CH<sub>4</sub>/g VS이며, 채소류인 오이 배추, 무, 콩나물 및 김치의 경우 각각 387, 395, 405, 427 및 391ml CH<sub>4</sub>/g VS로 나타났으며, 라면과 밥의 경우 496, 421ml CH<sub>4</sub>/g VS이며, 어류에서는 518ml CH<sub>4</sub>/g VS로 나타나 어류가 가장 높은 메탄

발생에 대한 잠재력을 갖고 있었고 김치가 가장 낮은 수치를 보였다. 이들 이론적인 메탄 발생량과 앞서 언급한 최종 누적 메탄 발생량과 비교하면 메탄 전환율은 수박 참외의 경우 95.7%, 84.1%, 오이, 배추, 무, 콩나물 및 김치의 경우 94.6%, 92.1%, 92.3%, 89.8% 및 90.8%로 나타났으며, 라면과 밥에서 87.1%, 97.2%, 어류의 경우 92.0%의 생분해율을 나타나 전반적으로 각 시료의 생분해율이 84.1~97.2%로 높게 나타났다.

이와 같은 결과는 Shin 등<sup>8)</sup>이 grain, vegetable 및 meat에 대한 생분해율 실험에서 분해율이 각각 80, 63.6 및 65.7%라고 보고한 값과 비교할 때 비교적 높은 생분해율을 기록하였는데 이러한 이유는 시료를 믹서기로 분쇄함으로써 분해율이 높아졌다고 생각되며, 또한 수거 즉시 실험을 수행하였기 때문에 유기물의 손실이 적었던 것으로 판단된다.

### 3. 반응속도론적 고찰

일반적으로 미생물에 의한 유기물의 분해를 해석함에 있어서 기질이 제한 인자이고 미생물 농도에 의한 영향이 없다고 가정할 때 다음 식 (1)과 같이 시간에 따른 기질의 분해속도는 일차식으로 표현된다. 본 회분식 실험에서는 중간생성물질인 유기산이 미생물에 영향을 미치지 않을 정도로 기질을 주입하였으므로 반응기 내부에 유기산 등으로 인한 반응의 저해 효과나 pH 변화에 의한 영향은 크지 않았을 것으로 판단된다.

따라서 음식물쓰레기의 혐기성분해에서 가수분해가 속도제한 단계이며, 전체 분해반응은 다음 식 (1)과 같이 1차 식으로 표현할 수 있다.

$$-dS/dt = kS \dots\dots\dots (1)$$

여기서, k = kinetic constant

S = substrate concentration

(1)의 식은 다음식 (2)와 같이 적분된다.

$$\ln(S/S_0) = -kt \dots\dots\dots (2)$$

여기서, t = time

식 (2)에서 반응조 내부의 생분해성 VS 농도는 직접 메탄 발생량과 관련되므로 Hashimoto 등<sup>10)</sup>이 제안한 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$S/S_0 = (B_0 - B)/B_0 \dots\dots\dots (3)$$

여기서, B = 시간에 따른 누적메탄발생량

$B_0$  = 최종 메탄발생량

식 (2)과 (3)을 조합하면 다음과 같다.

$$\ln(B_0 - B)/B_0 = -kt \dots\dots\dots (4)$$

식 (4)를 상용대수를 사용하여 나타내면 식 (5)와 같이 표시할 수 있다.

$$\log(B_0 - B)/B_0 = -(1/2.3)kt \dots\dots\dots (5)$$

식(5)의 1차 반응에 있어서 시간, t에 대한  $\log(B_0 - B)/B_0$ 를 도식화하면 기울기로부터 반응속도 상수, k 값을 구할 수 있다. 여기에서 구한 1차 반응속도상수, k 값은 여러종류의 대상 기질에 대한 생분해도와 분해속도를 평가하기 위하여 사용될수 있는 인자로 평가된다<sup>11)</sup>.

Fig 3은 (5)의 식을 이용하여 각 종류별에 따른 선형그래프를 나타낸 것으로 기울기로부터 반응속도 상수, k 값을 구하여 Table 3에 나타내었다.

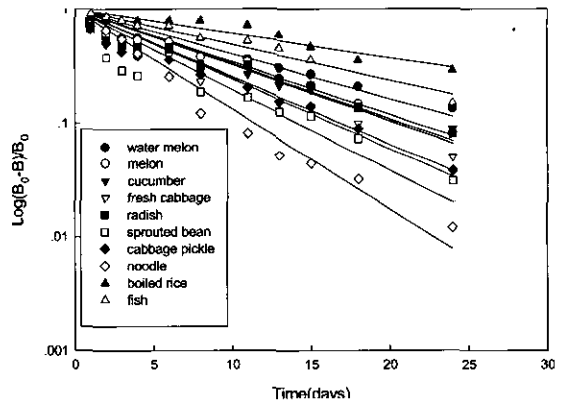


Fig. 3. Kinetic constant(k) according to food waste components.

Fig. 3 및 Table 3에서 알 수 있는 바와 같이 반응속도상수, k값은 과일류의 경우 0.0906~0.1067day<sup>-1</sup>, 채소류인 경우 0.1109~0.1631day<sup>-1</sup>로 나타났고, 라면에서는 0.2022 day<sup>-1</sup>, 곡물류인 밥의 경우 0.0495day<sup>-1</sup>, 어류에서는 0.0720day<sup>-1</sup>로 나타나 라면이 가장 분해가 빠르게 나타났고, 밥이 분해가 가장 느리게 나타났다. 본 실험에서 종류별 반응속도상수, k값은 0.0495~0.2022 day<sup>-1</sup>의 값을 보여 Shin 등<sup>8)</sup>이 보고한 0.1015~0.2923day<sup>-1</sup>보다는 다소 낮게 나타났으나, Owens 등<sup>12)</sup>이 유기성 도시폐기물에 대한 실험에서 반응속도상수, k값을 0.072~0.075day<sup>-1</sup>로 보고한 값에 비하여 높은 값을 보였다.

Table 3. Kinetic constant(k) according to food waste components

sample	organic loading rate (g VS/l)	kinetic constant(k) (day <sup>-1</sup> )
water melon	0.46	0.0906
melon	0.34	0.1067
cucumber	0.25	0.1132
fresh cabbage	0.33	0.1366
radish	0.20	0.1109
sprouted bean	0.55	0.1631
cabbage pickle	0.44	0.1412
noodle	1.15	0.2022
boiled rice	1.75	0.0495
fish	1.74	0.0720

#### IV. 결 론

음식쓰레기의 종류별 음식물 쓰레기의 생분해도 특성을 평가하기 위하여 회분식 반응조를 이용 실험을 수행하였으며 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 음식물 쓰레기의 종류별 생분해도 조사결과 유기물 부하 1g당 최종 메탄발생량은 과일류인 수박, 참외는 각각 375ml, 345ml, 채소류인 오이, 배추, 무, 콩나물 및 김치에서 각각 366ml, 364ml, 374ml, 384ml, 및 355ml로 나타났고, 어류인 생선에서 477ml, 곡류인 라면, 밥에서 각각 432ml, 409ml CH<sub>4</sub>/g VS add로 나타났다.
- 음식물 쓰레기의 종류별 메탄 전환율은 수박 참외의 경우 95.7%, 84.1%, 오이, 배추, 무, 콩나물 및 김치의 경우 94.6%, 92.1%, 92.3%, 89.8% 및 90.8%로 나타났으며, 라면과 밥에서 87.1%, 97.2%, 어류의 경우 92.0%의 생분해율을 나타내 전반적으로 각 시료의 생분해율이 84.1~97.2%로 높게 나타났다.
- 반응속도상수, k값은 과일류의 경우 0.0906~0.1067day<sup>-1</sup>, 채소류인 경우 0.1109~0.1631day<sup>-1</sup>로 나타났고, 라면에서는 0.2022 day<sup>-1</sup>, 곡물류인 밥의 경우 0.0495day<sup>-1</sup>, 어류에서는 0.0720day<sup>-1</sup>

로 나타나 라면이 가장 분해가 빠르게 나타났고, 밥이 분해가 가장 느리게 나타났다. 본 실험에서 종류별 반응속도상수, k값은 0.0495~0.2022 day<sup>-1</sup>의 값을 나타내었다.

#### 참 고 문 헌

- Ghosh, S. and Pohland, F. G.: Kinetics of substrate assimilation and product formation in anaerobic digestion. J. Water Poll. Control Fed., 46, 748-759, 1975.
- Chynoweth, D.P. "Biomethanation of giant brown kelp *Macrocystis pyrifra*" paper presented at Symposium on Energy from Biomass and Waste, August 14-18, Washington, D. C., 1978
- Peres, C. S., Sanches, C. R., Matumoto, C. and Schmidell, W.: Anaerobic Biodegradability of the Organic Components of Municipal Solid Wastes (OFMSW). Proceedings of the 6th Anaerobic Digestion Symp., San Paulo, pp. 283-291. 1991.
- Owens, J. M., and Chynoweth, D. P.: Biochemical Methane Potential of MSW

- Components, 5th Inter. Symp. on AD of Solid Waste, Venice, Italy, pp. 29-42. 1992.
5. Owen, W. P., Stuchey, D. C., Healy, J. B., Young, L. Y. and McCarty, P. L. : Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity. *Water Res.*, 13, 485-492. 1979.
  6. Shelton, D.R., and Tiedje, J. M. : General Method for Determining Anaerobic Biodegradation Potential. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 47, pp.850-857. 1984.
  7. APHA, AWWA and WPCF. : Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th Ed. 1992.
  8. Shin, H. S., Song, Y. C., and Mun, M. J. : A study on the feasibility of anaerobic digestion of food wastes by biodegradability test. *J. Korea Solid Wastes Eng. Society*, Vol. 10, No. 1 35-42. 1993.
  9. Cho, J. K., Lee, J. S., Park, S. C., and Son, J. E. : Evaluation of biochemical methane potential of typical korean food waste. *J. of Korea Solid Wastes Engin. Society*, 10(2), 211-217. 1993
  10. Hashimoto, A. G. and Chen, Y. R. : Kinetics of methane fermentation. *Biotechnol. Bioeng. Symp.*, No. 8, 269. 1978.
  11. Cecchi, F., Mata-Alvarez, J., Marcomini, A., and Pavan, P. : First order and step-diffusional kinetic models in simulation the mesophilic anaerobic digestion of complex substrates, *Bioresource Technology*, 36, 261-269. 1991.
  12. Owens, J. M., and Chynoweth, D. P. : Biochemical Methane Potential of Municipal Solid Waste(MSW) Components. *Wat. Sci. Technol.*, 27(2), 1-4. 1993.