

감마선전처리에 따른 하수슬러지의 성상 변화 및 혐기성분해 특성 평가

강 호[†] · 나은경 · 이면주^{*}

충남대학교 환경공학과

^{*}한국원자력연구소

Effect of Gamma Irradiation on Physico-Chemical Characteristics and Ultimate Anaerobic Biodegradability of Sewage Sludge

Ho Kang[†] · Eun Kyoung Na · Myun Joo Lee^{*}

Dept. of Environmental Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

^{*}Korea Atomic Energy Research Institute, P. O. BOX 105, Yusong, Daejeon 305-600, Korea

(Received 27 January 2004, Accepted 2 March 2004)

Abstract : This study was carried out to examine the effect of gamma irradiation on the physico-chemical characteristics and ultimate anaerobic biodegradability of sewage sludge. The results found that the solubilization rates of SCOD in wasted activated sludge(WAS) and thickened sludge(T-S) with gamma irradiation of 3kGy were 8 times and 7 times greater than these of the raw WAS and T-S without the irradiation, respectively; each soluble concentration protein were 4 times and 3 times greater than these of the raw WAS and T-S; each soluble carbohydrate concentration was 8 times and 6 times greater than these of the raw WAS and T-S. The ultimate anaerobic biodegradabilities of WAS and T-S with gamma irradiation were 51% and 50%, which corresponds to each 8% and 10% greater than these of the raw sludges. Approximately 83% and 81% of the each biodegradable substrates in the irradiated WAS and the T-S were degraded within 11 days with the first order decay rate coefficients, k_1 that ranged $0.143 \sim 0.164 \text{day}^{-1}$ for WAS and $0.134 \sim 0.152 \text{day}^{-1}$ for T-S. Based on the results, it can be concluded that when irradiated with gamma the solubilization of sewage sludge greatly increases resulting in substrates suitable for the subsequent biological treatment processes.

keywords : Gamma irradiation, Sewage sludge, Solubilization, Ultimate anaerobic biodegradability, First order decay rate

1. 서 론

현재 우리나라의 하수처리장은 2002년말 기준으로 하수처리장 201개소에 시설용량 19,595천톤/일로 가동되고 있으며 75%수준에 그치고 있는 하수처리율을 2005년에는 80%까지 끌어올린다는 목표아래 하수종말처리장을 꾸준히 신설하거나 기존 처리장을 증설하고 있다.

한편 하수처리과정에서 발생하는 하수슬러지의 발생량은 2002년말 기준으로 5,698톤/일로 유입하수량이 19,595천톤/일입을 감안할 때 하수 1톤 처리당 평균 0.029%가 슬러지로 발생되고 있으며, 하수처리장의 지속적인 건설로 인해 향후 하수슬러지의 발생량도 더욱 증가할 것으로 예상된다.

우리나라의 2002년 기준 대표적인 하수슬러지 처리방법으로는 해양투기(72%), 매립(9%), 소각(10%), 재활용(9%)을 들 수 있다. 이 중 가장 많은 부분을 차지하고 있는 해양투기의 경우 OECD 국가 중 우리나라만이 유일하게 행해지고 있으며 런던협약으로 인해 향후 불가능한 실정이다.

슬러지 직매립 또한 2003년 7월부터 금지됨에 따라 현재 마땅한 슬러지처리 대안이 없는 실정이다.

이에 하수슬러지의 탈수효과도 돕고 유기물 분해를 통한 Biogas라는 대체에너지 회수와 15~20일간 단순히 체류만으로 30~40%의 고형물 감량이라는 측면에서 좋은 혐기성 소화를 간과해서는 안된다. 그러나 혐기성소화공정은 폐활성슬러지의 두꺼운 세포벽으로 인해 가수분해를 위해서는 상당한 시간이 요구되며, 소화조의 용적이 대형화되는 등 많은 문제점을 내포하고 있다.

따라서 최근에 하수 슬러지의 세포벽을 파괴함으로써 세포내 기질을 용출시켜 고도처리에 효과적으로 활용할 뿐만 아니라 혐기성 소화 향상을 통한 슬러지 감량화에 대한 연구가 진행 중에 있다. 그 중 현재까지 연구된 하수슬러지의 대표적인 전처리방법으로는 물리적인 방법으로서 파쇄, 초음파처리, 습식밀을 이용한 기계적 처리등이 있으며, 슬러지에 열을 가하여 세포내물질을 용출시키는 열처리방법과 산 또는 알칼리물질을 첨가하여 가용화시키는 화학적 처리방법, 오존처리방법 그리고 방사선처리방법 등을 들 수 있다. 하수슬러지의 감마선조사 방법이 타전처리 방법보다 우수한 점은 아주짧은 시간내에 처리가 신속하게 이루어지

[†] To whom correspondence should be addressed.

hokang@cnu.ac.kr

고 유지관리가 간편하다는 점을 들 수 있으나 타 방법과의 경제성비교검토는 실용화후에나 가능하리라 여겨진다.

이에 본 연구에서는 지금까지 시도된 바 없는 감마선을 이용하여 슬러지내 미생물의 세포파괴를 유도한 후 하수슬러지의 성장 변화를 비교 분석하고 회분식 혐기조운영을 통한 감마선조사 하수슬러지의 생분해특성을 평가하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 대상시료 및 감마선조사

본 연구에서 사용한 슬러지는 D시 하수종말처리장에서 발생하는 폐활성슬러지와 농축슬러지를 사용하였다. 폐활성슬러지는 반송슬러지 라인에서 채취하여 4시간가량 중력농축하여 고형물함량을 3%수준으로 조절하여 사용하였고 1차 슬러지와 폐활성슬러지가 혼합되어 저류하고 있는 농축슬러지는 TS함량이 2.7%, VS는 1.2%이었다.

한편 감마선조사는 원자력 연구소에서 보유하고 있는 Cobalt-60(방사능:100,000 Ci, Paratomic, UK)을 이용하였다.

본 연구에서 사용한 슬러지세포의 경우 약 80%가 물로 구성되어 있기 때문에 흡수되는 감마선의 대부분은 물과 일차적으로 반응한다. 물분자의 이온화과정을 거쳐 Free 라디칼(radical)이 형성되며, Free 라디칼이 세포내의 핵산(DNA) 결합을 끊는 등의 효과를 나타낸다. Ion 라디칼의 수명은 10^{-10} sec, Free 라디칼의 수명은 10^{-6} sec정도이고, 이상의 과정은 10^{-3} sec 이내에 완료된다.

물속에 조사된 방사선은 매우 복잡한 궤적을 그리며 주위에 에너지를 전달하고, 전달된 에너지로 인해 물은 방사분해되어, 반응성 라디칼을 포함하는 분해산물들이 생성된다(이상석, 1994).

생성산물중 발생수율이 매우 낮은 산소원자와 반응성이 없는 수소, 그리고 상대적으로 높은 수율을 보이지만 일반 유기물과의 반응속도가 느린 H_2O_2 등은 방사선반응에 별 영향을 끼치지 못하며, 산화환원 전위차가 높고 반응성이 큰 수화된 전자(Hydration electron, e_{aq}^-), 수소라디칼(Hydrogen radical, $H \cdot$) 그리고 수산화라디칼(Hydroxyl radical, $OH \cdot$) 등이 수중의 대상오염물질의 제거에 이용될 수 있다.

2.2. 회분식 혐기성소화조건

시료의 특성에 맞게 VS를 기준으로 시료/식중미생물비(Substrate/Inoculum, 이하 S/I ratio)를 0.5, 1.0으로 하였으며 식중균은 D시 하수종말처리장의 혐기성 중온소화조 슬러지를 이용하였다. 또한 식중균 자체의 생분해에 의해 발생하는 가스의 양을 배제하기 위하여 식중균만을 주입한 반응조(S/I=0)를 동일한 조건에서 운전하였다. 반응조는 3ℓ 규모의 Erlenmeyer Flask를 이용하였고, 유효효율은 2.4ℓ였으며, 반응조내부를 질소로 Purging하여 혐기성상태가 완벽히 조성되도록 하였다. 또한 반응조상부에 가스발생량과 가스조성을 측정하기 위하여 Teflon재질의 소용량 Gas bag을 설치하였다. 한편 대상 하수슬러지의 물리·화학적

특성이 혐기성소화의 주된 제한인자로 작용하도록 하기 위하여 미생물의 성장환경을 최적으로 유지하였다. 즉, 회분식 혐기성반응에서 주된 문제점인 VFA축적에 따른 메탄생성능 저하를 방지하기 위해 $NaHCO_3$ 를 첨가하여 반응조내 알칼리도를 충분히 공급하였고 KH_2PO_4 를 이용해 C : N : P비를 유지하는 한편, Fe, Ni, Co, Mo 등의 Trace element를 미량 주입하여 혐기성소화균의 최적조건을 만족시킨 후 실험을 실시하였다(문서연, 2001).

2.3. 분석방법

회분식 혐기성 반응조 운영시 하수슬러지중의 BVS(Biodegradable Volatile Solids)만이 Biogas로 분해되기 때문에 어느 일정 실험 기간 내에 생성된 Biogas량과 조성을 알면 BVS를 쉽게 구할 수 있다. 또한 일정 기간 내 반응조의 무게차(Reactor Mass Loss)를 측정함으로써 쉽게 분해된 BVS를 구할 수 있다. 따라서 본 연구에서 BVS 측정은 Biogas에 의한 방법과 반응조 무게차에 의한 방법을 병행하여 사용함으로써 반응조로부터 감지할 수 없는 gas누출 문제를 보완하였다. 회분식 반응조에서 발생하는 Biogas양은 Wet test gas meter를 이용하여 측정된 후 각각의 온도에 따른 부피팽창을 고려하여 표준상태($0^\circ C$, 1atm, STP)를 기준으로 환산하여 모든 계산에 이용하였다.

Biogas중의 메탄함량은 TCD(Thermal conductivity detector)를 장착한 Shimadzu GC-14A를 이용하여 분석하였다. 시료는 Gas bag에서 직접 Micro-syringe로 1.0ml를 취하여 이중 0.2ml를 주입하여 측정하였으며 소화 기간 동안의 고형물 제거량과 기타인자들의 변화를 평가하기 위하여 반응조 설치시와 소화 종료 후 각각 시료를 채취하여 슬러지의 물리·화학적 기초성상을 분석하였다.

2.4. 최종생분해도 및 분해속도상수평가

지금까지 활용해 왔던 생분해도 측정방법으로는 Serum Bottle Technique이나 김 등(1998)에 의한 BMP(Bio-chemical Methane Potential) 방법, 그리고 Cartesian Plot 방법을 들 수 있고, Jewell et al., (1997)에 의한 Fiber 분석과 동물에 의한 Digestibility Test 등이 병행해서 사용되어 왔다. 시료의 최종 생분해도는 시간에 따른 분해정도와 속도를 측정하는 것이다. 이 연구에서는 Kang and Tritt(1993)가 변형 개발한 Graphical Statistical Analysis 방법에 의해서 시료의 최종 생분해도를 측정하였다. 이 방법은 유기물이 분해되는 어느 시간(t)에서 시료 중 초기 TVS₀ 중에 분해되고 남아 있는 TVS_t의 비율(TVS_t/TVS₀)을 y축에 plot하고 운전시간의 역수(1/operating time)를 x축에 plot하면 운전시간이 무한대로 근접할 때 1/time은 0(zero)으로 근접하므로 이때 분해하고 남은 TVS₀부분, 즉 y축과의 만나는 점을 난분해성 비율(Refractory Fraction, R₀)로 여길 수 있다. 그러므로 시료의 최종 생분해도(Ultimate Biodegradability, UB) = (1-R₀)×100로 구할 수 있으며 이때 구한 최종 생분해도가 곧 시료의 BVS/TVS 비율이 되는 것이다.

한편 회분식 혐기성 1차반응에서 기질의 분해속도식은

$dS_0/dt = kS_e$ 으로 표현된다. 여기서 k 는 1차분해속도 상수 (1/time)이고, S_0 와 S_e 는 실험초기와 시간 t 에서의 생분해가 가능한 기질의 농도이다. 1차 분해속도식을 적분하면 $\ln(S_0/S_e) = kt$ 가 되고 $\ln(S_0/S_e)$ 를 y 축에 시간(t)를 x 축에 그리면 직선의 기울기로부터 분해속도상수 k 를 구할 수 있다. 단, S_0 와 S_e 는 초기와 분해시간 t 에서의 생분해가 가능한 기질의 농도이므로 k 를 구하기 위해서는 사전에 시료의 생분해도 즉, BVS/TVS 부분이 측정되어야 한다.

실제적으로 많은 경우 $\ln(S_0/S_e)$ 와 시간 t 는 직선식으로 나타내지 않고 초기 일정기간동안 직선관계를 나타내다가 비선형 전이구간(Non-linear transition)을 지난 후 다시 매우 낮은 기울기를 갖는 2차 직선형태의 분해양상을 보인다.

이러한 현상은 Multiple Reaction Rate Analysis 방법으로 접근함으로써 설명할 수 있으며 접근방식은 어떤 기질의 회분식 분해속도를 초기 빠른 속도(k_1)와 후기 느린 속도 (k_2)로 구분하고, 전체기질도 각각의 분해속도에 따라 쉽게 분해되는 기질의 분율(S_1)과 더디게 분해되는 기질의 분율 (S_2)를 구할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 Multiple Reaction Rate Analysis를 이용하여 감마선 전처리가 하수슬러지 생분해도 및 분해속도에 미치는 영향을 평가하였다(신경숙, 2003).

3. 결과 및 고찰

3.1. 감마선 조사에 따른 하수슬러지의 성상변화

하수슬러지내 유기물을 가용화하여 후속처리공정을 원활히 하고자 폐활성슬러지와 농축슬러지에 감마선을 조사하여 그에 따른 제반 물리화학적 성상변화를 고찰하였다. 감마선조사는 조사선량이 증가함에 따라 가용화율이 증가하나 예비조사 결과 3kGy이하가 경제적이었으므로 1kGy와 3kGy를 정하였고 6kGy와 10kGy는 고선량에서의 결과를 비교하기 위해 4가지 조사조건에서 실시하였으며 대조군으로 Control(미조사)를 두어 비교 평가하였다. 대표적인 분석 항목은 pH, TS, VS, SCOD, S-Protein, S-Carbohydrate 등이다.

그 결과 Table 1에 요약한 바와 같이 pH는 감마선량이 증가함에 따라 미미한 감소경향을 보이는데, 이는 감마선 조사에 따라 유기산 농도가 증가함에 기인한 것으로 판단된다. 한편 TS 및 VS의 함량은 감마선조사와 무관함을 알 수 있다.

SCOD는 폐활성슬러지의 경우 초기 26mg/L에서 1kGy조사시는 평균 127mg/L로 약 5배가량 크게 증가하였으며, 3kGy조사시에는 200mg/L로 8배 가량 증가하는 것으로 나타나 10kGy조사시 SCOD농도가 초기대비 13배정도 증가하는 결과와 비교시 같은 에너지의 방사원을 사용할 경우 동일한 시간 동안 1~3kGy의 저선량 감마선조사로 좀 더 많은 용량의 슬러지를 효과적으로 처리할 수 있을 것으로 판단된다.

한편 농축슬러지의 경우도 초기 66mg/L에서 1kGy조사시 236mg/L로 약 4배 가량 증가하였으며, 3kGy 조사시는 초

Table 1. Physico-chemical characteristics of sewage sludge pretreated with gamma ray

Sample	Waste Activated Sludge(WAS)					Thickened Sludge(T-S)				
	0	1	3	6	10	0	1	3	6	10
Item	kGy	kGy	kGy	kGy	kGy	kGy	kGy	kGy	kGy	kGy
pH	6.85	6.81	6.79	6.79	6.78	6.81	6.78	6.76	6.76	6.75
TS(%)	1.17	1.15	1.16	1.14	1.18	2.93	2.9	2.86	2.91	2.9
TVS(%)	0.57	0.58	0.6	0.57	0.62	1.31	1.29	1.29	1.27	1.26
SCOD (mg/L)	26	127 (4.9)	200 (7.7)	280 (10.8)	344 (13.2)	66	236 (3.6)	427 (6.5)	614 (9.3)	746 (11.3)
S-Protein (mg/L)	25	75 (3.0)	105 (4.2)	133 (5.3)	162 (6.5)	46	78 (1.7)	131 (2.8)	170 (3.7)	231 (5.0)
S-Carbohydrate (mg/L)	5	28 (5.6)	42 (8.4)	57 (11.4)	70 (14.0)	13	37 (2.8)	75 (5.8)	99 (7.6)	132 (10.2)

* 단 ()은 control대비 증가배수임

기대비 약 7배로 나타나 10kGy조사시 평균 746mg/L으로 초기대비 11배가량 증가한 결과와 비교하여 이 또한 저선량으로 효과적인 유기물 가용화를 달성할 수 있는 것으로 기대된다.

즉, 폐활성슬러지와 농축슬러지 모두 감마선량이 증가함에 따라 SCOD농도가 지속적으로 증가하나 조사선량이 높아질수록 증가폭이 다소 감소하여 고선량보다는 저선량의 감마선조사가 유기물가용화에 좀 더 경제적인임을 알 수 있다.

한편 폐활성슬러지를 구성하고 있는 박테리아의 주요 구성 성분 중 Carbohydrate나 Lipids는 비교적 쉽게 분해되는 반면, Protein은 세포벽에 의해 차단되어 있으므로, 분해가 용이하지 않은 것으로 알려져 있다. 따라서 이러한 슬러지 생체의 구성성분인 Extracellular polymer substance(EPS)농도변화를 관측하면, 폐활성슬러지의 전처리효과를 보다 정확히 파악할 수 있다.

그리하여 감마선조사 전후 하수슬러지의 S-Protein을 측정된 결과 SCOD와 마찬가지로 1kGy조사시 초기대비 폐활성슬러지는 3배, 농축슬러지는 약 2배 가량 증가하였으며 그 이상의 선량에서는 증가폭이 다소 감소하여 10kGy조사시에는 폐활성 슬러지와 농축슬러지가 초기대비 각각 약 7배, 5배의 증가율을 보였다.

또한 S-Carbohydrate도 폐활성슬러지의 경우 1kGy조사시 초기대비 약 6배, 농축슬러지는 약 3배의 증가폭을 보였으며 3kGy조사시에는 폐활성슬러지와 농축슬러지 초기대비 각각 8배, 6배, 10kGy조사시는 14배, 10배로 증가하여 초기 1~3kGy 저선량으로 조사시 S-Carbohydrate의 증가폭이 단연 높게 측정되었다.

이로써 하수 슬러지를 감마선으로 전처리시 저선량으로도 SCOD, 용존단백질 및 용존탄수화물과 같은 체외고분자 물질이 효과적으로 가용화된 물론 감마선 전처리한 슬러지는 양질의 기질로써 후속 혐기성소화시 효과적으로 분해될 수 있음을 시사해주고 있다.

3.2. 최종생분해도 평가

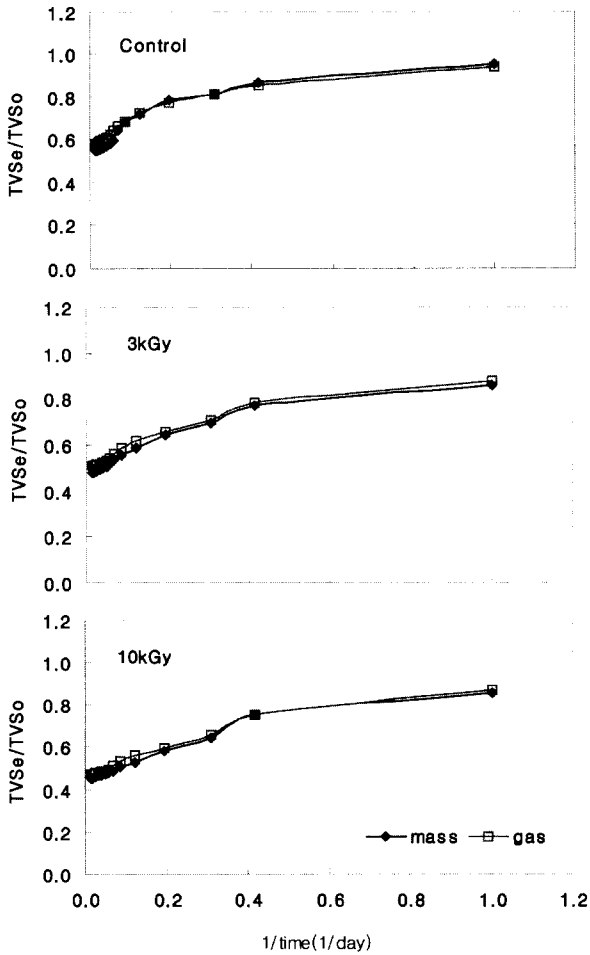


Fig. 1. Graphical illustration of ultimate biodegradability of WAS pretreated by gamma irradiation (S/I=0.5).

본 연구에서는 앞서 제시한 Graphical Statistical Analysis에 의해 감마선 조사선량에 따른 하수슬러지의 최종생분해도를 산정하였으며 제거된 BVS(Biodegradable volatile solids)의 양은 생성된 Biogas에 의한 방법과 반응조 무게차에 의한 방법을 이용하여 구하였다.

Fig. 1에 나타난바와 같이 감마선을 조사하지 않은 폐활성슬러지를 70일간 혐기성 생분해 실험시 최종생분해도 값은 가스 발생량을 기준으로 한 경우 42~45%이었으며 3kGy와 10kGy의 감마선을 조사한 폐활성 슬러지는 Biogas 기준시 S/I ratio와 상관없이 49-53%의 생분해도를 나타냈다. 결과적으로 감마선을 조사한 폐활성슬러지의 생분해도가 감마선을 조사하지 않은 폐활성슬러지에 비해 7~8%이상 생분해도가 향상됨을 알 수 있다.

한편 Fig. 2에 나타난바와 같이 감마선을 조사한 농축슬러지의 경우도 3kGy, 10kGy로 감마선조사 후 83일 동안 생분해도 실험을 실시한 결과 감마선을 조사하지 않은 농축슬러지의 최종생분해도는 39%이었으나, 감마선을 조사한 농축슬러지는 조사선량과 무관하게 49~51%의 비교적 일정한 최종생분해도를 나타내었다. 따라서 감마선을 조사한 농축슬러지의 생분해도가 감마선을 조사하지 않은 농축슬러지에 비해 약 10%이상 생분해도가 증가하였다.

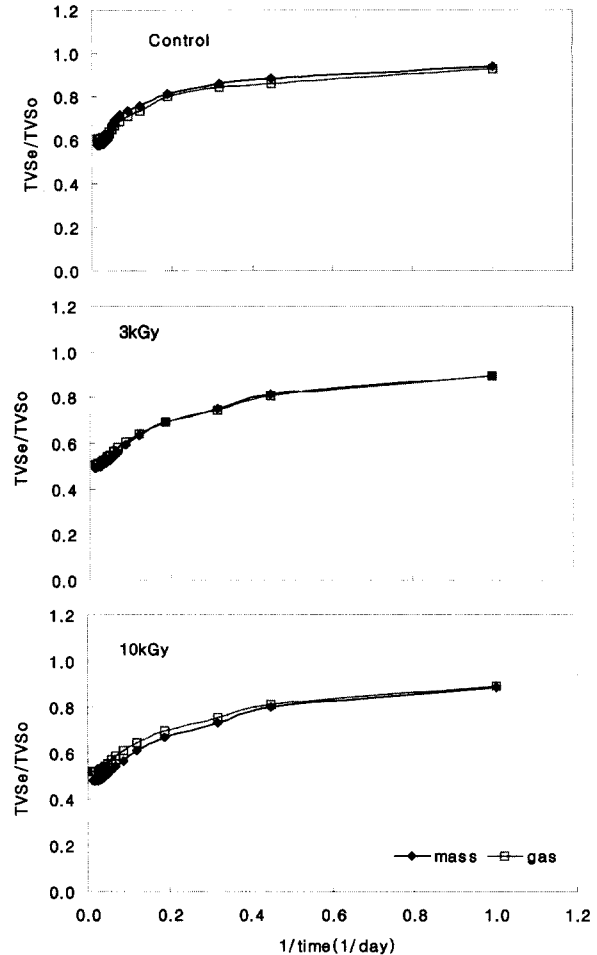


Fig. 2. Graphical illustration of ultimate biodegradability of thickened sludge pretreated by gamma irradiation (S/I = 0.5).

이처럼 폐활성슬러지에 비해 농축슬러지의 생분해도가 약간 낮은 이유는 농축슬러지를 구성하는 1차 슬러지의 경우 빠른 시간내에 쉽게 분해되는 부분은 슬러지가 저류되는 과정에서 대부분 분해되고, 농축조에 유입되는 부분은 쉽게 분해되기 어려운 고형성 유기물이 대부분을 차지하기 때문에 일반적으로 이분해성 유기물로 구성되어 있다고 평가되는 1차 슬러지가 혼합되어 있음에도 불구하고 농축슬러지의 생분해도가 낮게 평가된 것으로 보인다. 또한 가스 발생량을 기준으로 한 경우와 반응조 무게차를 기준으로 한 경우의 생분해도는 1~4%의 미미한 오차를 보여주고 있어 두 방법간 결과를 상호 뒷받침하고 있다.

3.3. 감마선조사에 따른 회분식 혐기성소화 하수슬러지의 분해속도상수산정

회분식 혐기성소화에서의 감마선조사 하수 슬러지의 분해속도상수를 산정하기 위하여 앞서 제시한 Multiple Reaction Rate Analysis를 이용하였다.

그 결과 폐활성슬러지의 경우 감마선을 조사하지 않은 원슬러지는 전체 생분해유기물(BVS)중 74%만이 초기분해 속도상수 k_1 0.111~0.114day⁻¹로 분해되었으며, 3kGy의 감

Table 2. Effect of gamma irradiation on the anaerobic degradation of sewage sludge

Sludge	Radiation Condition	TVS removal at the end of tests	UB(%)	First order decay rate				Fraction of substrate(%)	
				Duration (day)	k_1 (day ⁻¹)	Duration (day)	k_2 (day ⁻¹)	S ₁ /S ₀	S ₂ /S ₀
WAS	Control	41~43	42~45	0-11	0.111~0.114	11-70	0.048~0.049	74	26
	3kGy	46~47	49	0-11	0.142~0.144	11-70	0.041~0.044	82~83	17~18
	10kGy	48~51	51~53	0-11	0.162~0.165	11-70	0.041~0.046	83~85	15~17
T-S	Control	37~39	39~41	0-11	0.108	11-83	0.026~0.034	73~74	26~27
	3kGy	46~48	49~50	0-11	0.133~0.134	11-83	0.037~0.038	80	20
	10kGy	47~49	49~51	0-11	0.151~0.153	11-83	0.035~0.038	82	18

마선을 조사한 폐활성슬러지는 생분해성 유기물의 82~83%가 S₁으로써 초기분해속도상수 k₁, 0.142~0.144day⁻¹로 원슬러지에 비해 비교적 빠르게 분해되었다. 한편 10kGy조사시는 유기물의 83~85%가 k₁, 0.162~0.165day⁻¹로 다소 빠르게 분해되는 것으로 나타났다. 그러나 다량의 하수 슬러지 처리시 경제성을 고려해 볼때 10kGy의 고선량보다는 3kGy조사시 다량의 슬러지를 처리할 수 있으므로 3kGy조사만으로도 효과적인 분해속도 증진 및 유기물분해효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 또한 k₂는 모든 조사조건에서 0.041~0.049day⁻¹의 범위로 나타나 소화진행 후반부에서도 꾸준히 분해가 진행되는 것으로 나타났다.

농축슬러지의 경우도 폐활성슬러지와 마찬가지로 감마선 조사량이 증가할수록 분해속도가 비례하여 증가하는 경향을 보였다. 즉 원슬러지는 전체 생분해유기물(BVS)중 73~74%의 유기물이 초기분해속도인 k₁, 0.108day⁻¹로 분해되었으며, 3kGy조사시는 유기물의 80%가 S₁으로써 0.133~0.134day⁻¹의 속도로 분해되었다. 또한 10kGy조사시는 전체 유기물 중 82%가 0.151~0.153day⁻¹의 빠른 속도로 분해되는 것으로 나타나 폐활성 슬러지와 마찬가지로 저선량인 3kGy조사시 효율적으로 슬러지를 처리할 수 있음을 알 수 있다. 또한 폐활성슬러지와 비교할 경우는 농축슬러지가 여전히 다소 낮은 분해속도를 보였으나, 전처리하지 않은 경우의 농축슬러지의 k₁분해속도가 0.108day⁻¹임을 비교하면 감마선 전처리로 인해 초기분해속도가 매우 증가하였음을 알 수 있다.

본 결과를 토대로 감마선조사 전처리에 의해 하수슬러지 세포내에 차단되어 있던 기질을 용출시킴으로써 미생물에 의해 빠른 시간내에 효과적으로 이용됨을 알 수 있다.

또한 하수 슬러지에 감마선 조사시 하수슬러지의 혐기성 소화시간을 단축시킬 수 있을 것으로 예상되며, 체류시간을 기존의 소화조와 동일하게 유지할 경우는 소화효율을 크게 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

4. 결론

하수슬러지에 감마선을 조사하여 물리·화학적 성장변화를 평가하고 혐기성 생분해 특성과 분해속도에 미치는 영향을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 폐활성슬러지와 농축슬러지에 3kGy의 감마선을 조사하

였을 때 SCOD의 가용화율은 Control대비 8배와 7배로, S-Protein은 4배와 3배로, S-Carbohydrate는 8배와 6배로 증가하여 낮은선량의 감마선조사에 의해서도 하수슬러지의 가용화율이 월등히 증가함을 알 수 있다.

2. 감마선을 조사한 폐활성슬러지의 혐기성최종생분해도는 51%이었으며 이는 조사하지 않은 폐활성슬러지에 비해 약 8% 이상 최종생분해도가 향상되었다. 이때 감마선조사 폐활성슬러지의 초기분해속도 k₁은 조사선량에 따라 0.143~0.164day⁻¹의 범위로 생분해가 가능한 기질의 약 83%가 11일 이내에 분해되며 나머지 17%는 분해속도상수 k₂, 0.043day⁻¹로 느리게 분해되었다.
3. 감마선을 조사한 농축슬러지의 혐기성최종생분해도는 50%이었으며 조사하지 않은 농축슬러지에 비해 10%이상 생분해도가 증가되었다. 감마선조사 농축슬러지의 초기 분해속도 k₁은 조사선량에 따라 0.134~0.152day⁻¹의 범위로 생분해가 가능한 기질의 약 81%가 11일 이내에 분해되고 나머지 기질 19%는 k₂, 0.037day⁻¹속도로 느리게 분해되었다.

이상의 결과로부터 하수슬러지에 감마선을 조사할 경우 슬러지의 가용화가 현저히 증가하여 후속처리시 양질의 기질로 활용이 가능하고 혐기성소화 분해시간을 단축시킬수 있다고 판단된다.

사 사

이 연구는 2003년 과학기술부의 원자력증장기 연구개발 사업의 일환으로 수행되었으며 이에 감사의 뜻을 포함합니다.

참고문헌

1. 이상석 외 3인, 방사선생물학, 정문각, pp. 25-38 (1994).
2. 문서연, Anaerobic Filter를 이용한 축산폐수의 전처리 특성연구, 충남대학교 대학원 석사학위 논문 (2001).
3. 김석규, 송호연, Saburo Matsui, Anaerobic Degradation of Selected Lignocellulosic Materials using Modified BMP Assays, 대한환경공학회지, 20(10), pp. 1413-1424 (1998).
4. Jewell, W.J., Cummings, R.J., Richards, B.K. & Herndon, F., Engineering design considerations for methane fermentation of energy crops, Annual report to Gas Research Institute, Chicago, U.S.A. (1997).

5. H. Kang., P. Weiland., Ultimate anaerobic biodegradability of some agro-industrial residues, *Bioresource Technology*, **43**, pp. 107-111 (1993).
6. 신경숙, 하수슬러지의 효율적인 처리를 위한 전자빔 응용, 충남대학교 박사학위 논문 (2003).