

## 황산염을 이용한 매립지 유기물분해 촉진과 분해속도에 관한 연구

김 정 권 · 윤 태 경 · 김 가 야  
동의대학교 공과대학 환경공학과 · 동의대학교 공과대학 도시공학과  
(2003년 12월 22일 접수; 2004년 1월 19일 채택)

## The Study on Increase the Decomposition of Organics and Organic Removal Rates by using Sulfate in Sanitary Landfills

Jung-Kwon Kim, Tae-Kyung Yoon and Ga-Ya Kim  
Department of Environmental Engineering, Dong-Eui University, Busan 614-714, Korea  
\*Department of Urban Engineering, Dong-Eui University, Busan 614-714, Korea  
(Manuscript received 22 December, 2003; accepted 19 January, 2004)

In this study, sulfate reduction reaction was used to increase the decomposition of organics, which is the most critical factor for the stabilization of a landfill site. Composite of sewage sludge, papers, and incineration ashes was used in the column. The experimental results indicated that out of 10 reactors, the reactors 3, 4, 8, and 9 showed higher organics (i.e., TOC) removal rate than that in the absence of sulfate. The organics removal rates (K) in R3 and R9 were  $8.65e^{-4}/d$  and  $3.82e^{-4}/d$ , respectively. The times to reach 10% of initial concentrations in R3 and R9 was 7.3 and 16.5 years, respectively, showing faster organics decomposition rates in these reactors.

Key Words : Landfill Site, Sludge, Stabilization, Decomposition, Organics Removal Rates

### 1. 서 론

최근까지 배출되는 쓰레기의 증가에 따라 소각의 비율도 증가되었지만, 매립의 형태도 계속적으로 이루어지고 있다. 또한, 현재 관리형 매립지의 경우도 상당히 많이 존재한다. 이러한 매립지의 경우는 무엇보다도 매립지 안정화 확보를 통한 토지이용문제가 제일 중요한 문제라고 할 수 있다. 일본의 경우는 약 10여 년 전부터 매립지 안정화 방한의 일환으로 혐기성 매립지를 준호기성 매립지로 구조 변환시켜 유기물분해의 촉진을 꾀하였다. 우리나라의 경우는 김포매립지가 그 대표적인 매립지라 할 수 있다. 그러나, 매립지의 경우 물처리 부분과는 달리 불균일질 이면서도 내부의 확인이 정확하게 이루어지지 않기 때문에 안정화에 대한 지표 역시 표준화되

어 있지 않다. 일반적으로 침출수 중의 COD와 BOD의 비, 총질소에 대한 암모니아질소 비, 또는 발생하는 메탄가스구성비 등으로 판단하는 경우가 많다. 매립지에서 발생하는 침출수처리<sup>1-5)</sup> 및 가스 발생<sup>6-8)</sup> 등에 대한 기존의 연구는 다소 진행되었으나, 매립지내의 유기물 분해에 관한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 기존의 관리형 매립지 또는 현재 건설중인 혐기성 매립형태에서 황산염환원균(이하 SRB : Sulfate Reducing Bacteria)을 이용하여 유기물 분해촉진과 그에 따른 분해속도상수 및 안정화에 소요되는 시간을 산출하여 매립지 안정화에 기초자료로서 제공하고자 한다.

### 2. 이론 연구

#### 2.1 SRB와 MPB의 기질에 대한 경쟁

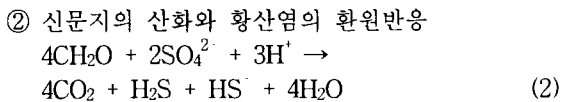
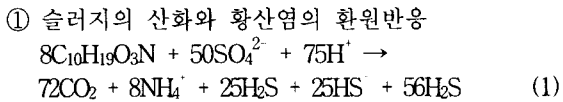
일반적으로 메탄생성은 2가지 주요경로를 가진다. 즉, 수소와 탄소로부터 메탄을 생성하는 것과 유기물질의 혐기성분해시 메탄생성의 60~70%를 점

Corresponding Author : Jung-Kwon Kim, Department of Environmental Engineering, Dong-Eui University, Busan 614-714, Korea  
Phone : +82-51-890-2077  
E-mail : Jungkkim@deu.ac.kr

하고 있는 초산으로부터 메탄을 생성하는 경로이다. 그러나 이러한 반응에서 황산염이 존재한다면 SRB와 메탄생성균인 MPB(Methane Producing Bacteria)가 수소와 초산을 두고 경쟁을 하여 수소와 초산에 대한 친화력이 큰 SRB가 수소와 초산을 보다 효과적으로 이용한다고 보고되어져 왔다<sup>9-11)</sup>. 그리고, 松井<sup>12)</sup>은 수소농도가 낮은 영역에서는 SRB가 MPB보다 수소 이용면에서 유리하고, 초산의 경우는 열역학적으로 초산을 전자공여체로서 황산염환원반응이 초산으로부터 메탄 생성보다 먼저 일어난다. 제한되어진 유기물에 대해서는 황산염 농도가 증가하면 우선 SRB가 제한되어진 유기물을 이용하기 때문에 MPB가 이용할 수 있는 탄소가 부족하여 활동이 억제되지만 충분한 탄소원이 존재할 경우 기질 이용면에서 열세인 MPB도 기질이용가능성이 높아 서로 경쟁관계에 놓이게 된다.

2.2 이화적 황산염반응

미생물에 의한 이화적인 황산염환원반응은 황산염을 전자수용체로서 이용하면서 동시에 전자공여체로서 유기화합물 이용하는 형태이다. 즉, 황산염 환원에 의해 유기물의 산화, 분해가 이루어진다<sup>9)</sup>. 본 연구에서 이용한 하수슬러지(이하 슬러지라고 함)와 신문지(셀룰로스)를 전자공여체로서 이용하는 황산염환원반응의 화학양론식은 다음과 같을 것이다.



여기서, 본 실험에 사용한 슬러지의 C, N 구성비를 분석한 결과 C : N = 10 : 1 였기 때문에 가정하수고형물의 분자식인 C<sub>10</sub>H<sub>19</sub>O<sub>3</sub>N을 적용시켰다<sup>13)</sup>. 따라서, 이론적으로 1mole의 황산염이 환원되어질 때 반응식 (1)에서는 0.16mole의 슬러지가 그리고 반응식 (2)에서는 2mole의 신문지가 각각 산화되어진다. 슬러지와 신문지의 분해중간 산물은 많은 유기산이며, 황산염 환원은 이 유기산분해의 다양한 경로에 관여하고 있다. 위 반응식에서도 알 수 있듯이 황산염환원반응에서는 황화수소가 발생하기 때문에 그 독성과 악취문제<sup>14)</sup>에 대한 대책이 필요하다. 본 연구에서는 검토하지 못했지만 장래의 연구방향으로서 황화수소를 매립지 표층부에서 호기성 처리하여 발생한 황화수소를 산화시키는 연구가 병행되어야

할 것이다. 이 경우 호기성 토양필터를 설치하는 경우와 같다. 황화수소의 토양필터에 의한 산화 방법은 실용되어진 기술이며 실제 매립지에 적용할 경우는 매립지 심부에서 발생한 황화수소 이산화수소 가스누출 및 표층부의 가스방출방법 등은 장래 연구해야할 필요가 있다고 생각된다.

3. 실험 및 방법

3.1 실험장치

본 연구에 사용한 매립지 모의실험 column을 Fig. 1에 나타내었다. 실험 column은 직경 100mm, 높이 600mm, 총 용량 4.3L의 폴리 아크릴 용기를 사용하였다. Fig. 1의 ①은 시료주입구, ②는 일정기간동안 반응조 내부에 모아진 물을 반응조로부터 유출시켜, 침출수로서 보관하기 위하여 용량 1L 침출수 보관용 플라스크이다. 그리고 ②의 침출수 보관용 플라스크에는 ③의 질소 가스 백을 접속시켜 플라스크 기상부를 완전한 혐기성상태로 유지하였다. ④는 발생하는 가스를 포집하기 위한 포집 백이다.

3.2 실험에 사용한 쓰레기 성상

인공시료 쓰레기로서 소각잔사와 전기집진재(EP재)를 습중량비로 95:5의 비율로 혼합한 것(이하 소각재라고 부름)과 신문지 및 하수슬러지를 이용하였다. 실험에 이용한 소각재는 일본 K시 청소공장(스토카로)으로부터 샘플링한 것으로, 함수율 22%, 열작감량 16.2%였고, 신문지의 함수율은 6.8%였다.

3.3 실험조건

본 실험에서는 Table 1에 나타난 것처럼, 10개의 반응조 R1~R10 중, R1~R5의 그룹에는 슬러지+신문지, R6~R10의 그룹에는 슬러지+신문지+소각재를

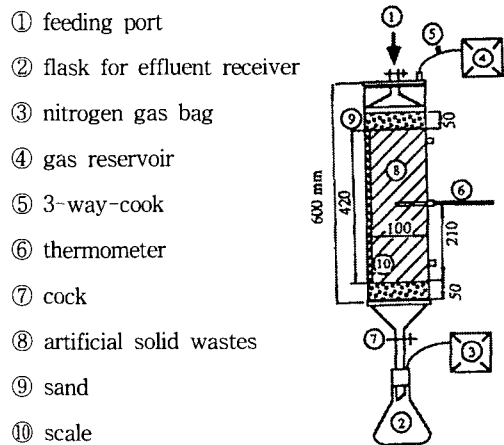


Fig. 1. Experimental Aparatus.

Table 1. Composition of artificial solid wastes with different sulfate concentration

Reactor	Packing	Sulfate conc. (g/L)	Cd conc. (mg/L)
R1	Sludge+Newspaper	0	0
R2	"	0	100
R3	"	2.2	100
R4	"	4.4	100
R5	"	44.0	100
R6	Sludge+Newspaper+Ash	0	0
R7	"	0	100
R8	"	1.7	100
R9	"	3.4	100
R10	"	34	100

Table 2. Packing volume and density of each reactors

Reactor		R1~R5	R6~R10
Packing volume (Wet kg)	Sludge	0.85	0.74
	Newspaper	0.15	0.11
	Ash	-	1.25
	Total	1.0	2.1
Packing density(wet kg/L)		0.3	0.64

Table 3. Removal ratio of organic matters during the experimental period

Reactor	Total carbon in the reactors(g)				Carbons removal(g)					Removal ratio(%)
	Sludge	News-paper	Ash	Total	Gas		Eff. TOC	Eff. IC	Total	
					CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>				
R1	55.2	62.1	-	117.3	1.59	0.37	28.7	3.0	33.6	28.7
R2	55.2	62.1	-	117.3	2.75	0.73	44.4	1.61	49.5	42.2
R3	55.2	62.1	-	117.3	0.70	0.14	51.2	3.78	55.8	47.6
R4	55.2	62.1	-	117.3	0	0	47.2	6.01	53.2	45.4
R5	55.2	62.1	-	117.3	0	0	21.9	9.49	31.4	26.8
R6	48.0	45.5	50.3	143.8	2.21	0.33	11.6	2.29	16.4	11.4
R7	48.0	45.5	50.3	143.8	2.41	0.45	19.8	1.67	24.3	16.9
R8	48.0	45.5	50.3	143.8	0.26	0.40	22.5	4.50	27.6	19.2
R9	48.0	45.5	50.3	143.8	1.11	0.14	29.6	8.09	38.9	27.1
R10	48.0	45.5	50.3	143.8	0	0	20.6	4.67	25.3	17.6

각각 1kg, 2.1kg(습중량기준)을 완전하게 혼합시켜 넣었다. 단, 소각재는 4.75mm체로 걸러서 통과한 것만 이용하였고, 신문지는 가능한 가로, 세로 2cm정도 되게 잘라서 충전하였다. 충전밀도는 반응조 R1~R5 그룹의 경우 0.30wet.kg/L, 반응조 R6~R10 그룹은 0.64wet.kg/L 였다. 황산염은 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 로서 주입하였고, Cd은 중금속 고정 경향을 파악하기 위하여 CdCl<sub>2</sub>로서 주입하였으나, 그 경향은 본 논문에서는 생략하였다. 시료주입은 각각의 실험 반응조에

대하여 Table 2에 나타낸 것처럼 설정하였다.

### 3.4 실험방법

우선 쓰레기 충전 후 반응조를 밀폐시키고, 반응조 내부를 실제 매립지와 유사하게 하기위해, 밀폐시 반응조 내부를 질소가스로서 치환하지 않고, 반응조를 옥외에 설치하여 어떤 온도 유지시설을 하지 않고 외부기온 그대로 실험을 행하였다. 시료의 주입은 설정수량부하(일본의 연간 강우량 1,800mm)를 평균하여 1주일분량(270mm)을 주 2회로 등분하

여 실시하였다. 유출한 침출수는 실험개시로부터 실험 220일째까지는 10일에 1회, 실험 221일째부터 500일까지는 14일에 1회, 그 후는 21일에 1회 채취하여 분석함을 원칙으로 하였다.

### 3.5 분석항목 및 분석방법

분석항목 중 황산염은 세관식 등속전기영동분석장치(IP-3A, Shimadzu)를 이용하였고, TOC(Total Organic Carbon : 총유기탄소) 및 IC(Inorganic Carbon : 무기탄소) 분석은 분석용의 침출수를 0.45  $\mu\text{m}$  멤브레인 여과지로 여과시킨 다음 TOC 분석장치(Shimadzu TOC-500)로 분석하였다. 또한 가스분석은 TCD 크로마토그래피(Shimadzu GC-8A형, 유리칼럼, 35 $^{\circ}\text{C}$ , 질소가스이용)를 이용하였다.

## 4. 결과 및 고찰

본 연구에서는 유기물제거 및 분해속도를 반응조의 침출수, 발생하는 가스 등을 탄소기준의 물질수지를 취하여 구하였다. 침출수는 TOC 및 IC로서, 발생하는 가스는  $\text{CH}_4$ 과  $\text{CO}_2$  등을 기준으로 하였다.

### 4.1 TOC의 농도 변화

Fig. 2에 침출수 중의 유기물의 지표인 TOC 농도의 변화를 나타내었다. 그룹 R1~R5의 경우는 R4 및 R5에서 실험 개시 약40일 경에 최대 5,000mg/L를 나타낸 후 서서히 감소하였다. 이것은 반응조 중의 고형유기물 즉 슬러지가 실험초기에 주입수에 의해 용출되었기 때문이라고 생각되어진다. 그 후 다시 실험 260일째 반응조 R3과 R4에서 6,100mg/L와 4,000mg/L 정도의 2차 최대 농도를 나타내었다. 이것은 40일경에 생긴 제1차 최대치에서는 ORP(20~40mV) 등의 결과로부터 볼 때 호기성반응 및 단순한 슬러지의 washout 등에 의한 것에 비하여 완전한 혐기성상태(ORP -100~-300mV)에 의한 고형유기물의 생물학적 분해가 일어난 것으로 추정되어졌다. 그러나 같은 기간 중 메탄 등의 가스 발생량은 거의 없고(Fig. 3의 메탄가스 발생경향 참조) 황산염 환원량이 많은 것을 고려한다면 생성되어진 유기산은 MPB보다는 SRB의 황산염 환원시에 소비되어진 것이라고 생각되어진다. 실험종료인 705일째 부근에서는 대부분 300mg/L 이하였다. 이 원인으로서는 시료로서 충진한 인공폐기물 중 신문지보다 상대적으로 분해되기 쉬운 슬러지의 분해가 거의 끝나기 때문으로 생각되어진다. 그룹 R6~R10의 경우도 그룹 R1~R5와 거의 유사한 유출경향을 나타내었다. 더욱이 반응조 R7은 R2와는 시간차는 있지만 가스발생량이 최대로 많았던 400일째 정도에서 최대 3,000mg/L 정도로 높았다. 따라서, TOC 유출

은 실험초기 호기성반응 및 주입수에 의한 슬러지의 용출에 의한 부분과 그 후 혐기성반응에 의한 생물학적인 고형유기물 분해 등의 2단계로 진행되었고, 또한 신문지, 소각재보다도 상대적으로 분해가 쉬운 슬러지가 먼저 분해되었다.

### 4.2 발생가스(메탄 및 이산화탄소)변화

황산염첨가의 유무에 따른 메탄생성의 경향을 알아보기 위해 Fig. 3에 메탄농도의 시간적 변화를 나타내었다. 그룹 R1~R5의 경우 황산염첨가의 반응조 R4와 R5에는 전 실험기간 중 메탄 발생이 전혀 없었지만, 반응조 R3에서는 실험 2년째부터 발생하여 실험 약 481일째에 최대 41%를 나타내었다. 한편 황산염 무첨가의 반응조 R1과 R2의 경우, 가스발생량에 비례하여 메탄생성농도도 증가하는 경향이 보였다. R1과 R2에서 각각 실험 496일째와 556일째에 최대 59%와 66%의 농도를 나타내었다. 따라서, 황산염 무첨가의 반응조에서는 메탄 발생량이 많았으나 황산염첨가의 반응조에서는 메탄억제가 발생하여 메탄발생에 의한 유기물제거는 적었다. 그룹 R6~R10의 경우 반응조 R6과 R7은 R1과 R2와 유사하게 실험 약 450일째 60% 정도를 나타내었지만 황산염첨가의 반응조 중 R8과 R9는 실험 449일

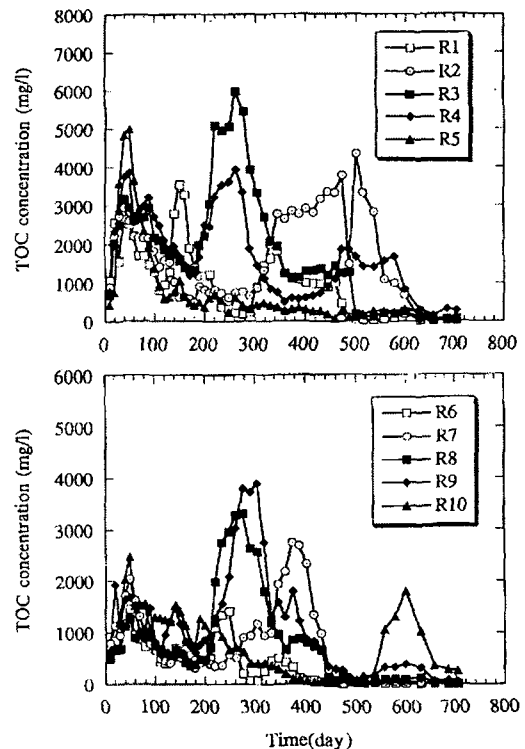


Fig. 2. Temporal variation of TOC concentration.

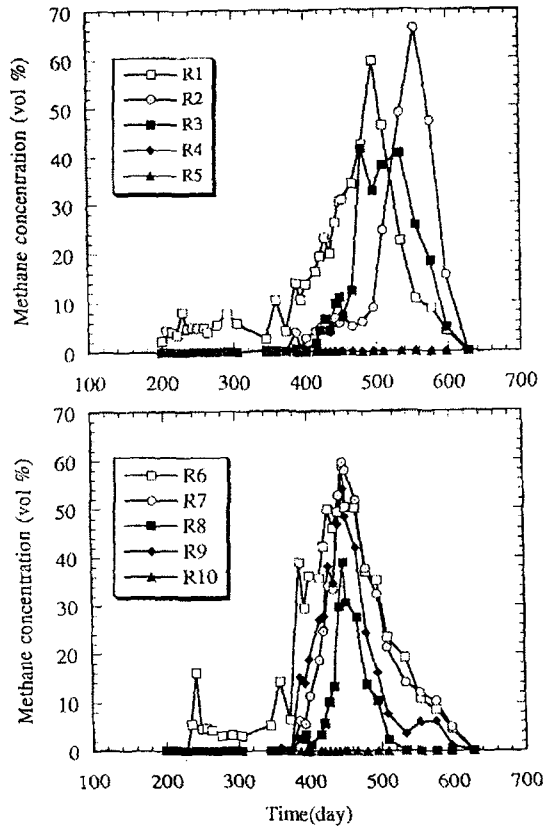


Fig. 3. Temporal variation of CH<sub>4</sub> concentration.

제 각각 39%와 54%를 나타내었다. 따라서 전체적으로 메탄가스발생에 의한 유기물제거는 황산염 첨가의 반응조에서 SRB에 의한 유기물제거가 이루어져 오히려 황산염 무첨가의 반응조보다 적은 량의 제거가 이루어졌다. Fig. 4에 이산화탄소의 발생경향을 나타내었다. 본 연구에 있어서 SRB에 의해 유기물 분해에 이루어질 경우 최종산물로 이산화탄소가 발생된다. 그룹 R1~R5의 경우 R1 과 R2는 실험 496일째와 510일째 각각 최대농도 14% 외 17%를 나타내었다. 반응조 R3는 실험 221일째에 약 15%의 나타낸 후 감소하다가 실험 496일째 16%의 최대농도를 나타내었다. 반응조 R5는 실험 428일째에 3%의 농도를 보였으나, 그 이외의 실험기간 중은 검출 한계치(0.1%)이하였다. 그룹 R6~R10의 경우 반응조 R6과 R7에서 실험 각각 428일째와 449일째에 11% 와 13%의 최대 농도를 나타내었다. 반응조 R8과 R9에서는 농도변화가 심하였으나, 전부 10%이하였고, R10은 R5와 마찬가지로 검출 한계치(0.1%)이하였다. 전반적으로 메탄 발생에 의한 유기

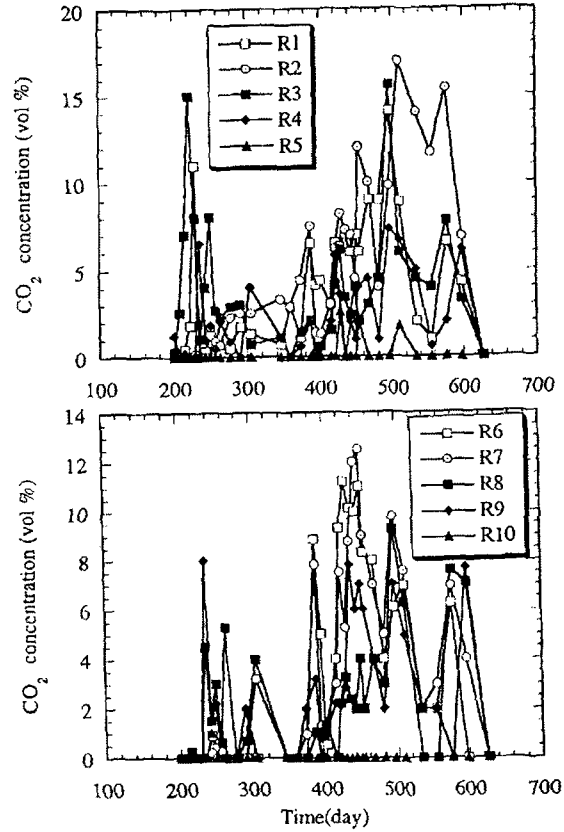


Fig. 4. Temporal variation of CO<sub>2</sub> concentration.

물제거보다는 이산화탄소 발생에 의한 제거는 적은 것으로 나타났다.

#### 4.3. 각 유기물제거에 의한 물질수지(Carbon base)

Table 3에 실험 705일째까지의 탄소를 기준으로 한 물질수지를 나타내었다. 총 총진 탄소량은 반응조 R1~R5그룹이 117.3g, R6~R10의 그룹이 143.9g 이었다. 또한 제거율은 발생가스에 의한 탄소제거와 유출 TOC 및 IC에 의한 제거의 합계를 총 제거량으로 하고, 그것과 반응조 중의 총 탄소량의 비로서 구해진다. 그룹 R1~R5의 경우 반응조 R1, R2 및 R3는 가스발생에 의한 탄소제거가 이루어졌고, R4 및 R5는 가스발생에 의한 것보다 유출 IC에 의한 탄소제거가 많았다고 생각되어졌다. 이것은 황산염을 첨가한 반응조에서 메탄억제에 따른 발생이 예상되었던 이산화탄소<sup>15)</sup>가 반응조 내부의 수용액에 용해되어 침출수 중의 IC로서 유출했기 때문이라고 생각되어진다. 전체적으로는 반응조 R3과 R4에서 가장 높은 총 탄소제거율 47.6% 및 45.4%를 각각 나타내었다. 특히 R3는 R1보다 약 2배정도 높은 제거율을 나타내었다. 그룹 R6~R10의 경우 그룹 R

1~R5와 유사하게 황산염을 첨가한 반응조 중 R8과 R9가 황산염 무첨가의 반응조 R6, R7 보다도 약 2.5배 높은 제거율인 19.2%와 27.1%를 각각 나타내었다.

4.4 유기물 (Carbon base) 제거속도

Table 3의 결과를 기준으로 다음 식을 이용하여 반응조 내의 유기물제거(Carbon base) 속도정수 K를 구하였다. 단, 본 연구에서는 K를 주입 황산염농도의 함수로서 계산하였다.

$$-\frac{dC}{dt} = K(SO_4^{2-}) \times C$$

$$C = C_0 \exp(-K \cdot t) \quad (3)$$

- 여기서,  $C_0$  : 반응조 내의 총진 탄소량 (g)
- $C$  : 탄소 잔존량 (g)
- $t$  : 시간 (t)
- $K$  : 유기물 속도제거(탄소기준) 속도정수
- $SO_4^{2-}$  : 주입 황산염농도 (g/l)

이 식(3)을 실험결과에 회귀한 것이 Fig. 5의 반응조 내의 잔존유기물량의 시간에 따른 변화이다. 역시 반응조 R3과 R4 및 반응조 R8과 R9에서 빠른 유기물제거를 나타내고 있음을 알 수 있었다. Table 4는 각각에 대한 회귀식과 유기물제거 속도정수 K 값을 구하여 나타낸 것이다. 반응조 R3과 R4에서  $8.65e^{-4}/d$  및  $7.77e^{-4}/d$ 를 나타내었고, 그룹 R6~R10의 경우는 반응조 R8과 R9에서  $2.60e^{-4}/d$  및  $3.82e^{-4}/d$ 를 각각 보여 타 반응조보다 매우 높은 속도정수를 나타냄을 알 수 있었다. 그리고 K와 주입 황산염농도의 관계를 회귀 분석한 것이 Fig. 6은 주입황산염농도와 K와의 관계를 나타낸 것이다. 이때

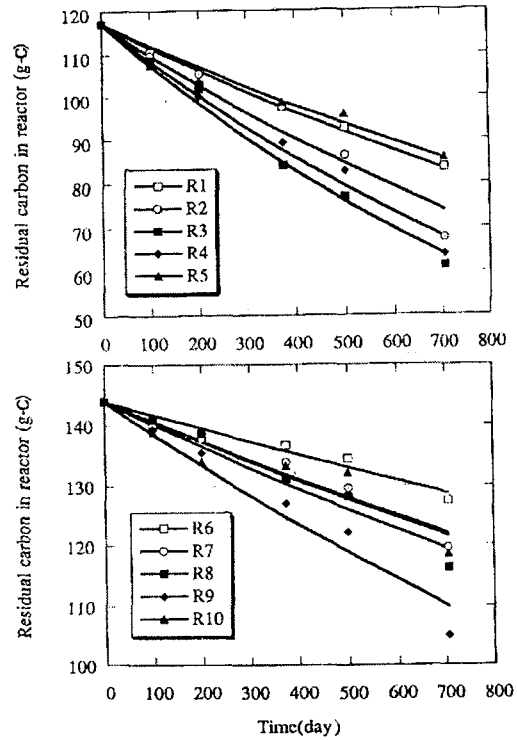


Fig. 5. Temporal variation of residual carbon in reactor.

그룹 R1~R5에서는 가장 높은 농도의 황산염을 주입한 반응조 R5와 그룹 R6~R10에서 반응조 R10은 주입농도가 너무 높아 그 경향을 알 수 없었으므로 삭제하고 타 반응조(황산염 주입 반응조)만으로 그 관계를 나타내었다. 전체적으로 각각 3점의 포인트로서 나타내어 약간 부족한 면은 있으나, 그룹 R1~R5에서는  $y=0.000582+0.0000987x$  그룹 R6~R10의 경우는  $y=0.000170+0.0000812x$  (여기서, x는 주입황

Table 4. Estimated first order decay regression equation for each reactors

Reactor	Regression equation	Coefficient
R1	$C = 117.2 \exp(-0.000489 \times t)$	0.991
R2	$C = 117.2 \exp(-0.000653 \times t)$	0.974
R3	$C = 117.2 \exp(-0.000863 \times t)$	0.996
R4	$C = 117.2 \exp(-0.000777 \times t)$	0.992
R5	$C = 117.2 \exp(-0.000449 \times t)$	0.967
R6	$C = 143.9 \exp(-0.000158 \times t)$	0.979
R7	$C = 143.9 \exp(-0.000234 \times t)$	0.982
R8	$C = 143.9 \exp(-0.000266 \times t)$	0.981
R9	$C = 143.9 \exp(-0.000382 \times t)$	0.977
R10	$C = 143.9 \exp(-0.000239 \times t)$	0.937

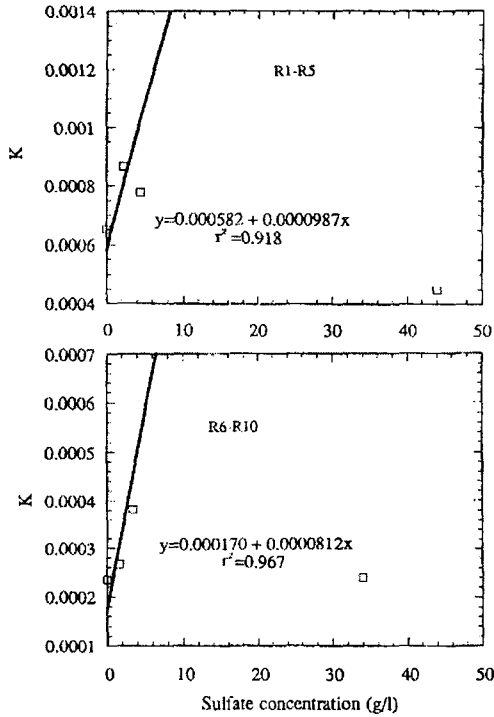


Fig. 6. Relationship between sulfate concentration and K value.

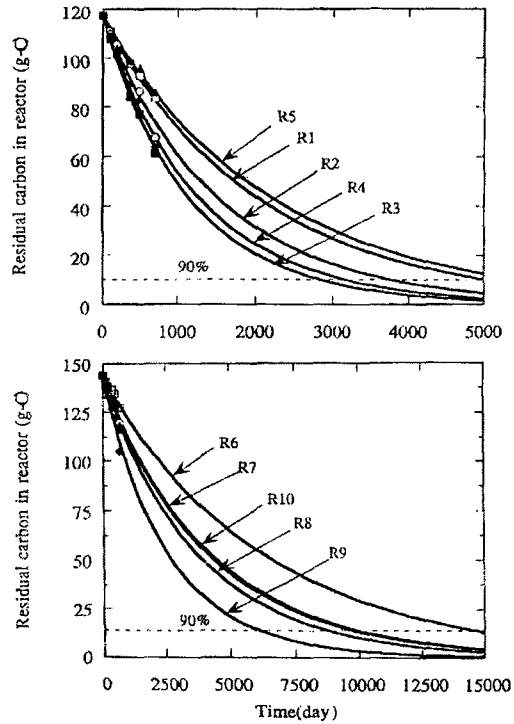


Fig. 7. The time to reach 10% of initial carbon(g c).

산염농도)를 각각 나타내었다. 따라서, 아직 많은 보충 연구가 되어야겠지만 이 결과를 바탕으로 실제 매립지에서 유기물제거 혹은 매립지 안정화를 촉진시키거나 예측을 가능케 할 수 있는 기초자료로도 제공될 수 있을 것으로 생각되어진다.

#### 4.5 장래에 대한 유기물 분해의 예측 모델

앞의 식(3)을 이용하여 본 연구에 있어서 유기물 분해의 예측을 해보았다. 여기에서는, 반응조 중의 전 탄소량의 10%가 생물학적으로 분해되기 어렵다고 가정하고 나머지 90%가 제거되어질 때까지 걸리는 시간 즉,  $C/C_0$ 가 0.1로 되는 시간을 식(2)에 의해 추산하였다.

$$t = -\frac{1}{K} \ln \frac{C}{C_0}$$

여기서,  $\frac{C}{C_0}$ 에 0.1을 대입하여,

$$t = -\frac{1}{K} \ln(0.1) \quad (4)$$

를 만들었다.

이 예측 모델을 나타낸 것이 Fig. 7로서 유기물 제거율이 90%에 도달할 때까지 걸리는 시간예측도

델이고, 그 추산 결과를 Table 5에 나타내었다. 그룹 R1~R5의 반응조 각각의 총 총진량 117.3g의 90%인 105.6g이 제거되는 데는 황산염 무첨가의 반응조 R1에서 12.9년이 걸리는데 반하여 황산염첨가의 반응조 중 R3에서는 7.3년이 걸려 빠른 안정화를 나타내었다. 그룹 R6~R10에서는 총 총진량 143.8g의 90%인 129.4g이 제거되는 데는 반응조 R6이 40년이 소요되는데 비하여 R9는 16.5년으로 2.5배 정도나 빠른 분해기간을 나타내었다. 그러나, 실제 매립지의 경우 매립쓰레기의 90%는 완전히 분해되기 어렵기 때문에 Fig. 7을 기준으로 적절히 추정할 수 있을 것으로 생각되어진다. 따라서, 매립지의 안정화를 촉진하기 위한 일환으로 황산염환원을 이용할 경우 앞으로 많은 연구의 여지는 있으나 유기물 분해의 경향과 속도 등은 충분한 자료로서 이용될 수 있을 것으로 생각되어진다.

#### 5. 결 론

본 연구는 황산염을 이용하여 매립지에서 매립지 안정화에 가장 중요한 유기물분해 촉진에 대하여 살펴보았다. 그리고, 유기물분해의 속도정수와 각 유기물 분해율에 따른 소요시간도 함께 산출해 본 결과 다음과 같은 결과를 알 수 있었다.

Table 5. Estimated time to reach 90% removal of initial organics(C/C0 = 0.1)

Reactor	Sulfate conc.(g/L)	K	Estimated time (C/C0 = 0.1(year))
R1	0	4.89e-4	12.9
R2	0	6.53e-4	9.7
R3	2.2	8.65e-4	7.3
R4	4.4	7.77e-4	8.1
R5	44	4.49e-4	-
R6	0	1.58e-4	40.0
R7	0	2.34e-4	26.9
R8	1.7	2.60e-4	23.7
R9	3.4	3.82e-4	16.5
R10	34	2.39e-4	-

- 1) 황산염 무첨가의 반응조에서는 가스발생에 의한 탄소제거가 어느 정도 보였으나, 황산염 첨가의 반응조에서는 가스발생에 의한 탄소제거는 이루어지지 않고 유출 IC에 의한 탄소 제거가 많았다.
- 2) 황산염첨가의 반응조 중 R3, R4, R8 및 R9에서 황산염 무첨가의 반응조보다 높은 탄소 제거율을 나타내었다. 특히 R3는 R1보다 약 2배정도 높은 제거율을 나타내었고, R8과 R9가 R6, R7보다도 약 2.5배 높은 제거율인 19.2%와 27.1%를 각각 나타내었다.
- 3) 반응조별 유기물제거속도정수 K값을 구한 결과, 반응조 R3과 R4에서  $8.65e^{-4}/d$  및  $7.77e^{-4}/d$ 를 나타내었고, 그룹 R6~R10의 경우는 반응조 R8과 R9에서  $2.60e^{-4}$  및  $3.82e^{-4}$ 를 각각 보여 타 반응조보다 매우 높은 속도정수를 나타냄을 알 수 있었다.
- 4) 주입 황산염농도와 유기물 제거속도정수 K값과의 관계에서 그룹 R1~R5에서는  $y=0.000582 + 0.0000987x$ , 그룹 R6~R10의 경우는  $y=0.000170+0.0000812x$  (여기서, x는 주입 황산염농도)를 각각 나타내었다.
- 5) 유기물 제거율이 90%에 도달할 때까지 걸리는 시간예측모델을 이용한 결과, 황산염 무첨가의 반응조 R1에서 12.9년이 걸리는데 반하여 황산염첨가의 반응조 중 R3에서는 7.3년이 걸려 빠른 안정화를 나타내었다. 그룹 R6~R10에서는 반응조 R6가 40년이 소요되는데 비하여 R9는 16.5년으로 2.5배 정도나 빠른 분해기간을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 동의대학교 2001년도 교내연구비로 수행되었기에 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1) Kettunen, R. H., E. M. Pulkkinen and J. A.

Rinalta, 1996, Anaerobic and sequential anaerobic-aerobic treatment of municipal landfill leachate at low temperatures, *Bioresour. Technol.*, 58, 31-33.

2) Thomas, H. C. and P. Kjeldsen, 2001, A simple model for the distribution and fate of organic chemicals in a landfill, *MOCLA, J. of waste management and Research*, 19, 201-216.

3) Pohland, F. G., J. T. Dertien and S. B. Ghosh, 1983, Leachate and gas quality changes during landfill stabilization of municipal refuse, *Proc. 3rd. Intl. Symp. Anaer. Dig.*, Cambridge, MA, 185-201pp.

4) Mendez, R., J. M. Lema, R. Blazquez, M. Pan and C. Forjan, 1989, Characterization, Digestibility and Anaerobic Treatment of Leachates from Old and Young landfills, *Wat. Sci. Tech.*, 21, 145-155.

5) 貴田晶子, 1985, 産業廢棄物中の重金屬調-産業廢棄物の溶出液のpHと重金屬溶出量および溶出率との關係-, 第6回全國都市 清掃研究發表會講演論文集, 82-84pp.

6) 한현수, 권정안, 김승조, 2001, 폐기물의 유기탄소 함량을 이용한 매립가스 발생량 예측, *한국폐기물학회지*, 18(8), 702-714.

7) 池田孝, 1982, 埋立地における發生ガスの舉動 (その1), *都市清掃*, 35, 485-490.

8) Kjeldsen, P., A. Dalager and K. Broholm, 1997, Attenuation of methane and non methane organic compounds in landfill gas affected soils, *J. of Air and Waste Management Association*, 47, 1268-1275.

9) 松井三郎, 立筋征弘, 1989, 硫酸鹽還元菌, *環境技術*, 18(4), 229-244.

10) Laanbroek, H. J and N. Pfenning, 1981,



- Oxidation of Short-Chain fatty Acids by SRB in Freshwater and in Marine Sediments, Arch. Microbial., 128, 330-335.
- 11) Kristjansson, J. K, P. Schönheit and R. K. Thauer, 1982, Different  $K_s$  values for hydrogen of methanogenic bacteria and sulfate reduction bacteria, Arch Microbial., 131, 278-282.
  - 12) 松井三郎, 1989, 嫌氣性處理における硫酸鹽還元菌の役割, 京都大學環境衛生工學研究會 第11回 Symposium 講演論文集, 253-258pp.
  - 13) Sawyer, N and L. M. Perry, 1978, Chemistry for Environmental Engineering, McGraw-Hill, 242-244pp.
  - 14) Gunnar, B., 2001, Inhibition of methane oxidation by volatile sulfur compounds ( $\text{CH}_3\text{SH}$  and  $\text{CS}_2$ ) in landfill cover soils, J. of waste management and Research, 19, 314-319.
  - 15) 竹内準一, 1989, SRBの生理生態, 用水と廢水, 31(4), 294-305.