

구제역 매몰지역 침출수에서 발생하는 난분해성 유기물질 거동

강미아* · 안예솔

국립안동대학교 환경공학과

Behavior of Refractory Organic Matter in Leachate from Landfill Contaminated by Foot-and-mouth Disease

Meea Kang* and Yaesol An

Department of Environmental Engineering, Andong National University

구제역 매몰지에서 발생하는 침출수는 지하수, 호수 및 하천수 등의 자연수에서 나타나는 유기물질의 성상(친수성 유기물질: 22~27%)과 달리 친수성유기물질을 44~50%로 포함하고 있었다. 자연수에서는 유기탄소가 미생물의 대사 등에 의해 감소되는 경향을 나타낸다. 하지만, 매몰 초기에 발생하는 구제역 침출수(leachate-1, 2)에서는 RTOC와 RDOC의 농도가 초기 TOC, DOC 농도보다 높게 나타나는 특성이 있다. 매몰시간이 경과하면서 RTOC와 RDOC는 초기 TOC와 DOC보다 낮게 검출되었다. 구제역 침출수 중 386일이 경과한 leachate-6의 RDOC는 RTOC 중에 91%를 차지하였다. 이것은 안정화된 매몰지 환경에서도 침출수 중에는 여전히 미생물 등의 활동에 의해 제거되기 어려운 형태의 난분해성 유기물질이 유기물질의 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다. 따라서 구제역 침출수의 난분해성 유기물질의 검출수준과 성상은 지표수 및 지하수에 대한 영향을 파악하는 정보로서 유효하며, 침출수 내 환경을 이해하는 데에도 기여할 것으로 기대된다.

주요어 : 구제역, 침출수, 난분해성유기물질, 수질

The leachate from landfill (Andong city) contaminated by foot-and-mouth disease (FMD) contains 44%-50% hydrophilic organic matter, compared with 22%-27% in natural water bodies such as ground water, lake water, and river water. In such natural water, the organic matter content is reduced by the metabolism of microbes in the water. However, in the case of leachate-1 and -2, the concentrations of RTOC (refractory total organic carbon) and RDOC (refractory dissolved organic carbon) were higher than the initial TOC and DOC after burial. According to time elapsed after burial, the concentrations of RTOC and RDOC were decreased below the initial TOC and DOC. In the case of leachate-6 (386 days after burial), RDOC made up 91% of RTOC. This result shows that organic matter in the leachate was composed dominantly of RDOM, most of which was not removed by the metabolism of microbes. Hence, the presence and characteristics of RDOM provide a valuable indication of the effect of leachate on the quality of surface water and ground water. Such information is useful in understanding leachate environments.

Key words : FMD (foot-and-mouth disease), leachate, RDOM (refractory dissolved organic matter), water quality

*Corresponding author: wdream@andong.ac.kr

© 2013, The Korean Society of Engineering Geology

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 론

2010년 겨울, 구제역은 바이러스 배출량이 소보다 일반적으로 1,000배 많은 돼지 양돈단지에서 최초 발생(경북 안동와룡면 소재의 양돈단지)하였으며, 계절적으로 방역이 어려운 겨울에 발생하여 그 차단에 더욱 어려움이 있어 전국적인 피해를 낳게 되었다(Chen et al., 2007; Mingala et al., 2009; Madhanmohan et al., 2010; GGEC, 2011; Kang et al., 2012). 정부 및 지자체의 초기대응이 신속하지 못하였으며, 결국 11월에 발생한 구제역은 전국으로 확산하여 12월 25일 정부 당국은 차단방역을 포기하고, 전국적인 구제역 백신 접종을 시작하였다. 이러한 과정 중에, 11개 시·도, 76개 시·군, 3,748 농가에서 구제역이 발생하여, 최종적으로 약 3,750,000 여두의 가축을 매몰처분하였다. 특히 돼지의 경우, 국내 사육두수의 약 1/3에 해당하는 숫자가 매몰 처분된 것이다. 2010년 발생한 구제역은 한국 역사에 유래가 없을 정도의 대규모 가축의 살처분 및 매립으로 이어져, 이 때 대량 발생한 가축 매몰지에서는 침출수가 발생하게 되고, 침출수 중의 난분해성유기물질 거동에 대한 조사는 찾아보기가 어려운 현실이다(GGEC, 2011).

한편, 구제역 매몰지역에서 발생하는 침출수(이후 구제역 침출수)는 질산성질소와 병원성 미생물 등의 고농도 오염물질을 함유하므로 환경에 악영향을 미치는 오염원에 해당하므로 구제역 침출수에 대해서는 잠재적 위험에 대한 조사도 포함되어야 한다. 구제역 침출수 중의 고농도 질산성질소와 병원성 미생물은 처리하기가 용이하지 않으며, 구제역 침출수를 대상으로 하는 적정처리 방법은 처리효율 뿐 만 아니라 처리비용을 고려하여야 하는 등 단시간에 위해성을 저감하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 현재까지는 구제역 침출수에 대한 사후관리를 강화하여 안전성 확보에 노력하고 있다.

매몰지 사후관리강화의 일환으로 매몰지 주변 지하수의 수질조사를 함에 있어서, 2차조사시에는 TOC (total organic carbon: 총유기탄소) 항목이 추가되어 있고, 관측정 수질조사에서도 필요시에 TOC를 추가하도록 하고 있다(KSSGE, 2011). 즉 구제역 침출수에 대한 유기물질 오염도 관리강화를 의미한다고 할 수 있다. 그러나 구제역 매몰지의 인근 지하수 수질조사 항목 및 관측정 수질조사 항목에서도 TOC 중에 포함되어 있는 난분해성유기물질의 수준, 거동에 대한 내용은 포함되어 있지 않다.

이 연구에서는 구제역 침출수에서 발생하는 난분해성 유기물질의 거동과 특성을 조사하여 자연수에서의 이들 현상과 비교하여 구제역 침출수가 지표수 및 지하수에 미치는 영향평가의 기초자료를 하고자 하였다.

연구방법

시료의 채수 및 수질분석

연구에 사용된 구제역 매몰지 침출수는 2010년 12월 10일에 한우 213두를 매몰한 경상북도 안동시 와룡면에 소재하는 매몰지에서 채수하였다. 매몰지 현장에서 매몰지 담당자의 협조하에 개폐장치로부터 회수하였으며, 시료는 즉시 멸균 시료통에 담아 냉장보관하여 실험실로 이송하였다. 지하수는 매몰지 인근 300 m 이내의 안동시 와룡면 주계리 소재의 시료를 이용하였으며, 하천수와 호소수는 각각 낙동강 상류와 안동호의 호소상층수의 수질자료를 활용하였다.

매몰지 침출수는 동물 사체의 수분, 혈액 등으로부터 생성되므로 매몰 직후에는 침출수 발생이 거의 없어 시료채취가 불가능하였다. 이에 이 연구에서는 2011년에는 매몰 후 107일째인 3월 27일부터 2달 간격으로 시료를 5회 채취하였고, 이후에는 연구결과를 반영하여 시료채취가 가능한 때에 2회 추가하였다. 시료의 채취지점과 특성에 대해 Table 1에 정리하였다.

모든 시료는 채수 후 즉시 수온, pH (Mettler Toledo InLabR 413, UK), ORP (HI991003, Rumania), DO (DO24P, Japan) 등의 항목을 측정하였다. DOC 분석을 위한 시료는 0.45 µm membrane filter (Whatman GF/F, Whatman International Co., UK)를 이용하여 시료채수 현장에서 여과한 후 수질오염공정시험방법(ME, 2008)에 따라 분석하였다.

침출수 혐기적 배양 시료 채취

침출수 내의 미생물활동에 영향을 미치는 환경 중, 호기적 또는 혐기적 영향을 파악하기 위해 시료 채취 때부터 anaerobic jar를 이용하여 채수한 후 이송하였다. 즉시 혐기성 clean box로 넘겨 Fig. 1의 사진과 같은 장치에서 작업하였다. 혐기성 조건을 위해 채취시료를 즉시 혐기성 anaerobic broth 한천배지에 도말하고, 이를 anaerobic jar에 배양시킨 결과 침출수 중에 혐기성균은 거의 없는 것으로 나타났다. 이것은 구제역 침출수가 이미 산소와 많은 접촉을 하였거나, 또는 통기성혐기성균이 우점종으로 나타남을 의미한다(Fig. 1).

Table 1. Characteristics of sampling sites.

Classification	GPS (Global Positioning System)	Remarks
Leachate 1~7	N36°38'24.7", E128°47'27.0"	- The same burial site with 213 cattle - Buried date : 2010/12/10
River water	N36°46'45.0", E128°53'6.65"	Nakdong river (inflow to Andong lake)
Lake water	N36°35'6.0", E128°46'34.2"	Andong lake
Ground water	N36°38'24.1", E128°47'1.8"	300 m around burial site

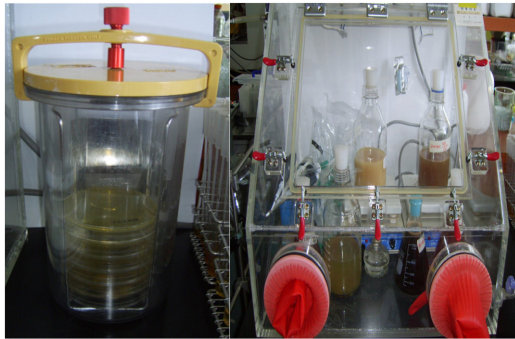


Fig. 1. Anaerobic jar and anaerobic clean box.

RTOC 및 RDOC 분석

유기물질 중 유기물질은 종속영양 박테리아에 의해 무기화되어 생분해(Servais et al., 1989; Huck, 1990) 되는 데, 이 후 남아있는 DOC 농도를 측정(Sievers 900, USA)하여 RDOM의 대표인자로 사용하였다. 실험 전에 vial을 세제로 충분히 세척한 후, 질산으로 세정하여 3차 증류수로 3번 이상 행군 다음, 회화로에서 550 °C로 4시간 동안 열처리 하여 잔존하는 유기물질을 모두 태운 후 실험에 사용하였다. 원수 중에 존재하는 큰 유·무기물 입자 및 원생동물(protozoa)을 제거하기 위해 시료수를 2 µm polycarbonate filter (millipore, USA)로 여과한 후 시료 100 mL 당 시료원수 1 mL를 첨가하였다(Servais et al. 1989). 구제역 침출수와 자연수의 차이점을 명확히 하고자 Choi et al. (2011)와 같이 RTOC에 대한 실험을 추가로 시행하였다. 또 28일간 20°C의 암소에서 배양하는 RTOC, RDOC 실험기간 중에 발생하는 변화를 파악하기 위해 일주일 간격으로 TOC, DOC를 분석하였다. 28일간 배양 후에 잔존하는 TOC와 DOC를 각각 RTOC 및 RDOC로 하였다.

DOM 성상 및 RDOM 분석

구제역 침출수와 하천수, 호소수 및 지하수 등에서 검출되는 유기물질의 성상의 특성을 비교하기 위해 DOM

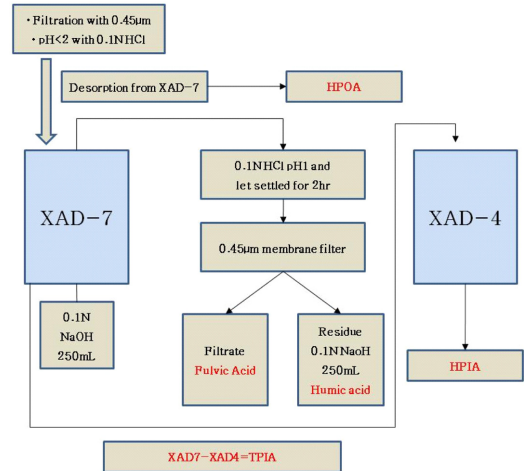


Fig. 2. Schematic diagram of the procedure for DOM fraction, which comprises HPOA (hydrophobic acid), HPIA (hydrophilic acid), and TPIA (transphilic acid).

성상을 조사하였다. DOM을 소수성 물질, 친수성 물질 및 전이성 물질로 분리하였으며(Fig. 2), 이를 위해 Amberlite XAD-7과 Amberlite XAD-4 수지(Malcom, 1985; Collins et al., 1986; Huck, 1990)를 사용하였다.

결과 및 고찰

유기물질 검출 특성

국내 16개 지역의 구제역 침출수의 수질특성을 조사한 연구결과(Jeong et al., 2012)에서는 pH 5.57~7.40의 범위와 Eh -134~358 mV의 범위임을 보고하고 있으며, 이는 구제역 침출수 중의 풍부한 유기물질에 의한 환원 환경 조성에 기인한 것으로 발표하고 있다. 또한 이 연구에서 TOC는 2.3~6822 mg/L의 범위로 광범위로 나타나는 것으로 보고하고 있다. 이번 연구에서는 TOC 58~1226 mg/L로 광범위하며, 매몰 107일째인 leachate-1에서 1226 mg/L로 가장 높게 검출되었고 156일째인 leachate-2에서는 266 mg/L로 급감하였다(Table 2). 이것

Table 2. Collection and water quality of leachate-1~7.

Classification	Leachate-1	Leachate-2	Leachate-3	Leachate-4	Leachate-5	Leachate-6	Leachate-7
Date	2011-03-27	2011-05-16	2011-07-20	2011-09-29	2011-11-17	2011-12-27	2012-05-31
Water temp.(°C)	11.3	12.7	20.0	14.7	14.4	-	15.3
pH	6.2	6.3	6.8	7.3	7.0	-	7.0
ORP (mV)	37.3	29.5	12.8	-10.2	-6.9	-	-1.9
DO (mg/L)	3.15	4.03	4.17	3.77	5.08	4.96	1.85
No. of bacteria (CFU/mL)	5.0×10^3	8.7×10^4	3.3×10^4	4.3×10^4	6.2×10^3	-	-
TOC (mg/L)	1226	266	213	161	126	107	58
DOC (mg/L)	1186	212	198	155	118	105	56
DOC/TOC (%)	96.7	80.0	93.1	95.5	93.6	98.1	96.6

※ No. of bacteria (CFU/mL) was used in reference (Kang et al., 2012).

※ “-” means no experiments.

Table 3. Collection and water quality of natural water.

Classification	River water	Lake water	Ground water
Date	2010-10-06	2010-10-06	2011-03-27
water temp. (°C)	19.3	15.5	9.7
pH	8.5	7.2	6.3
ORP (mV)	-80.1	-9.9	4.5
DO (mg/L)	10.4	8.76	9.32
TOC (mg/L)	0.867	2.641	2.140
DOC (mg/L)	0.697	2.490	1.950
DOC/TOC (%)	80.1	98.1	91.1

※ Data of river and lake water were used in reference (Choi et al., 2011).

은 DOC에서도 같은 경향으로 나타났다. leachate-2에서의 TOC 및 DOC의 검출수준은 leachate-1을 기준으로 할 때, 각각 78%와 80%의 감소율을 나타내었다. 이후 346일째인 leachate-5에서의 TOC와 DOC는 각각 126 mg/L과 118 mg/L으로 검출되어 leachate-2를 기준으로 할 때, 각각 53%와 44%의 감소율을 나타내었다. 초기에 발생하는 구제역 침출수에서는 TOC와 DOC의 감소율에 유의한 차이를 나타내지 않았으나, 156일이 경과한 이후에는 TOC보다 DOC의 감소율이 낮게 나타났다. 386일 경과 후(leachat-6) 357일째(leachate-7)까지의 TOC와 DOC의 변화는 TOC 107 mg/L에서 58 mg/L로, 각각 46%와 47%의 변화율로 나타나 유의한 차이가 없는 것을 알 수 있으며, leachate-7의 시료에서는 구제역 매몰지의 안정화된 환경을 나타내는 것으로 판단된다. DOC/TOC는 80~98%로 나타났는데, 이 중 최저농도의 TOC가 검출되었던 leachate-2 (80%)를 제외하면 다른

침출수 시료에서는 모두 93% 이상으로 높게 나타났다. leachate-2에서 DOC/TOC (%)가 낮게 나타난 것은 시료 중의 미생물 수가 급격히 증가하면서 침출수 내의 용존성유기탄소를 소비하는 것을 예측할 수 있다.

소 매몰지 침출수 중의 유기물질 검출을 기반으로 매몰지의 안정화를 평가해 볼 수 있다. Fig. 3에서와 같이 매몰 시간이 경과함에 따라 TOC와 DOC의 검출 농도는 낮아지는 경향을 나타내었는데, 매몰한 후 156일이 경과(leachate-2)하면 매몰지내 환경이 80% 수준으로 안정화되는 것을 알 수 있다.

난분해성 유기물질의 친·소수성 구성

구제역으로 인해 매몰된 가축 사체에 의해 발생하는 침출수는 실제 매립지내 침출수의 환경을 알지는 못하지만, 지하수, 하천수 및 호소수 등의 생성과정과는 다르다. 유기물질 중에서 생분해가 어려운 것은 용존성

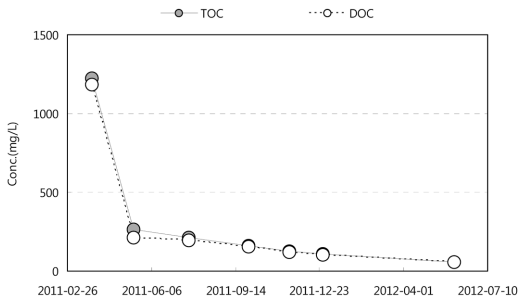


Fig. 3. Temporal variations in TOC and DOC concentrations in leachate at the same site.

물질이므로 DOC의 친·소수성 등이 분획구성으로 난분해성수준을 알 수 있다. 구제역 침출수로부터 발생하는 유기물질 중에서 난분해성유기물질의 정도를 파악하기 위해 용존성유기물질을 DOC 인자로 추정하여 이를 DOM (dissolved organic matter: 용존성유기물질)로 보고, 친수성산(HPIA: hydrophilic acids, 소수성산(HPOA: hydrophobic acids) 및 전이성산(TPIA: transphilic acids) 물질로 구분하여 Fig. 4에서 나타내었다. 하천수 및 호소수는 강우량, 방류량 등에 의해 유기물질 성상이 변화하기 쉬우므로(Choi et al., 2011) 건기의 시료를 채취하여 분석한 결과를 이용하였다.

구제역 침출수 중의 친수성, 소수성 및 전이성 DOM이 차지하는 비율을 살펴보면, 친수성 DOM 44~64%, 소수성 DOM 33~49%, 전이성 DOM 3~7%이다. 이 중, 친수성 DOM 비율이 64%로 가장 높은 leachate-2에서는 소수성 DOM 비율이 33%로 가장 낮게 나타났다. leachate-2의 시료는 미생물의 수가 가장 많이 나타났었는데, 이것은 친수성 DOM의 비율이 높은 것과 앞서 기술한 낮은 DOC/TOC (%)와 상관성이 있을 것으로

예상된다. 즉 leachate-2는 총유기물질 중에서는 상대적으로 분해가 어려운 DOC 함유가 적고 이러한 DOC (DOM 측정인자) 중에서는 소수성 물질이 적기 때문에 친수성 비율이 높다. 이러한 유기물질의 환경이 미생물의 대사활동을 촉진시켜 침출수 내의 유기물질 농도를 저감시켜 매몰지의 환경을 안정화하는데 기여하는 것이라고 생각할 수 있을 것이다.

지하수, 하천수 및 호소수 등의 친수성 DOM 및 소수성 DOM이 차지하는 비율은 각각 22~27%와 50~70%이었다. 즉 연구대상으로 한 자연수에서는 유기물질의 절대적인 농도는 TOC는 0.867~2.641 mg/L, DOC는 0.697~2.490 mg/L로 낮게 검출되지만, 유기물질 중 난분해성 유기물질이 포함되는 비율은 높게 나타났다. 따라서 자연수와 현저하게 다른 침출수의 DOM 구성 특성은 침출수로부터 오염되는 경로 등을 해석할 수 있는 요소가 될 수 있을 것으로 기대된다.

난분해성 유기물질 거동

구제역 침출수의 난분해성 유기물질의 거동을 파악하기 위해 Table 1에 정리된 시료 중에서 leachate-1, 2, 5, 6의 시료를 대상으로 RTOC와 RDOC는 Fig. 5에 나타내었다. 구제역 침출수 중, leachate-1과 leachate-2는 초기 TOC, DOC보다 RTOC와 RDOC가 높게 나타났다. 이후 매몰 시간이 경과되면서 초기 TOC와 DOC보다 RTOC와 RDOC가 차지하는 비율이 낮게 나타났다. 이것은 매몰지 내부를 알 수 없는 상황에서 구제역 침출수의 난분해성 유기물질 거동을 통해 안정화를 예측할 수 있는 자료로 활용할 수 있다. 기존의 연구(Fig. 6)에서 보여지는 하천수와 호소수에서는 계절적 요소 또는 유입되는 하천수 등에 의한 영향을 받아 RDOC의

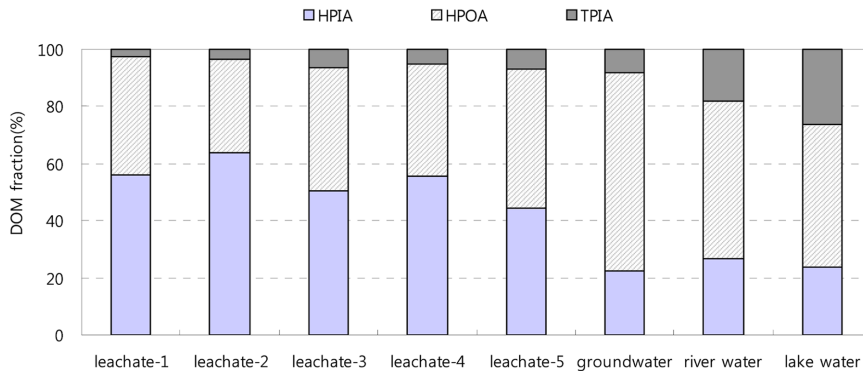


Fig. 4. Proportion of HPOA, TPIA and HPIA in the DOM of leachate-1 to leachate-5 and natural water samples such as ground water, river water and lake water.

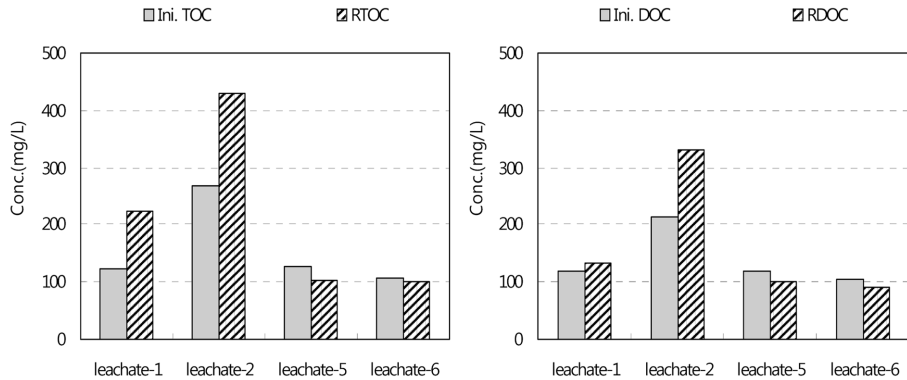


Fig. 5. Comparison between the initial concentrations of TOC (DOC) and RTOC (RDOC). Actual conc. of leachate-1 was 10 times higher than its conc. as shown in Fig. 5.

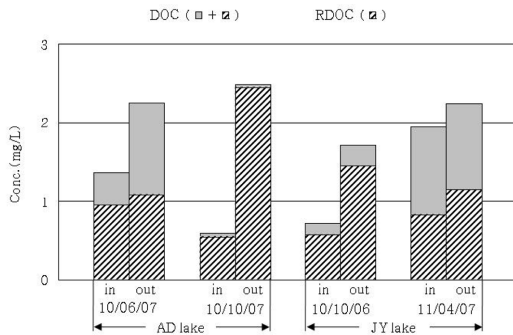


Fig. 6. Concentrations of DOC and RDOC in 'in' (inflowing rivers) and 'out' (lake effluent) (Choi et al., 2011).

검출수준이 달라지는 것을 알 수 있다. 구제역 침출수 중 leachate-1과 leachate-2에서 보여지는 현상과는 전혀 다른 결과를 나타냄을 알 수 있다. 자연수에서는 조류활동과 미생물활동을 DOM 증감원인으로 들 수 있으며, 조류나 박테리아의 생리작용 및 자기분해에 의한 유기탄소 생성과 그 생물학적 분해에 의해 유기물질들이 증감될 수 있다고 보고하고 있다(Hur et al., 2006). 그러나 자연수 중에서는 초기 TOC와 DOC를 초과하여 존재하는 RTOC와 RDOC에 대해 보고된 사례는 없으며, 구제역 침출수의 초기시료의 난분해성유기물질 거동은 자연수의 그것과는 분명한 차이를 나타내는 것으로 보여진다.

RTOC와 RDOC의 분석을 위해 소요되는 28일간의 배양과정에서의 TOC, DOC 변화에 대한 조사를 일주일 간격으로 실시하여 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 대상으로는 leachate-1, 2, 5, 6의 시료를 이용하였다. RTOC 실험기간 중에서 나타나는 TOC 변화는 leachate-

1과 2에서 동적으로 나타났으며, RDOC 실험기간 중에서 나타나는 DOC 변화는 leachate-2에서 동적으로 나타났다. 여기서 동적이란 의미는 변화폭이 50%를 상회하는 경우를 의미한다. leachate-5, 6에서는 저감되는 현상을 보였으며, 이는 자연수에서의 거동과 유사하게 나타나기 시작함을 시사한다.

이것은 매몰된 시간이 경과하여 안정화된 환경을 갖추게 됨에 따라 분해가 가능한 유기물질은 사용되고, 분해가 어려운 DOC는 침출수 중에 변화 없이 남아있음을 시사한다. 구제역 가축의 매몰이 환경에 미치는 잠재적 영향에 대해 예측하기 위해 다양한 연구들이 진행되어 왔는데, 일부의 연구결과들은 동물사체의 부패에 의한 화학적 생산물에 의한 지표수 및 지하수의 오염이 가장 심각한 환경영향이라고 정의하였다(McDaniel, 1991; Yang et al., 1999; Plumers et al., 2002; Yoon et al., 2006). 구제역 침출수의 RTOC 또는 RDOC 등과 같은 난분해성 유기물질의 거동을 분명히 파악함으로써 매몰지의 안정화수준을 평가할 수 있다. 또한 자연수와 다른 난분해성 유기물질의 거동을 나타내는 구제역 침출수로 판단되는 경우에는 사후관리에 더욱 철저해야 할 것이다.

구제역 침출수내 미생물 활동을 위한 환경 검토

구제역 침출수내 호기적 조건과 혐기적 조건이 미생물의 활동을 변화시켜 유기물질의 변화를 유도할 것으로 생각되어 COD_{Mn} 을 분석하여 그 영향을 조사하였다. 채취한 시료(leachate-7)의 수질특성은 Table 2에 나타난 바와 같으며, 그 밖에 TDS (Total dissolved solid) 93 mg/L, DO 포화도 19%였다. 현장조건과 유사한 온도

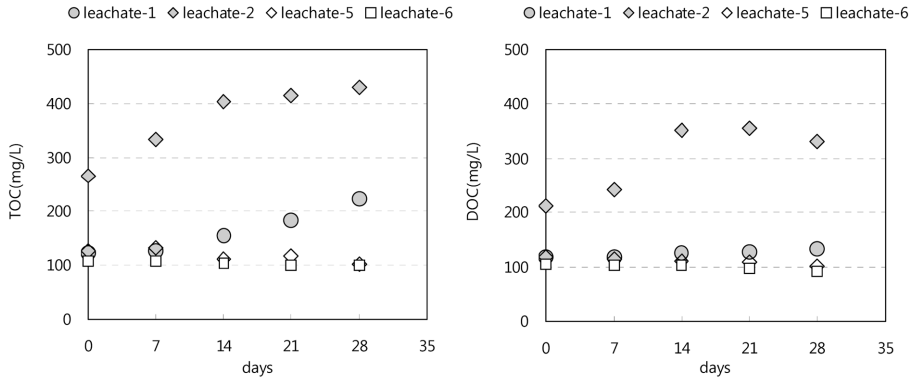


Fig. 7. Temporal changes in the concentrations of TOC and DOC during the experiment period of RTOC and RDOC. Actual conc. of leachate-1 was 10 times higher than its conc. as shown in Fig. 5.

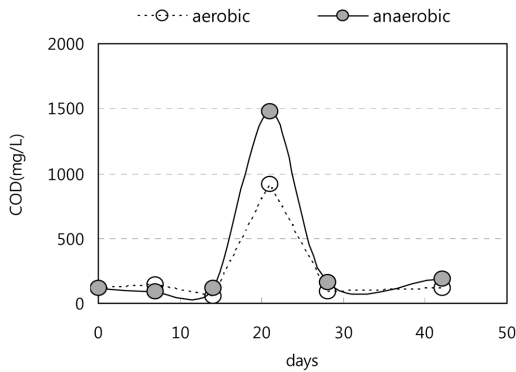


Fig. 8. Temporal changes in COD_{Mn} in leachate-7 under aerobic and anaerobic conditions.

(15.3°C)와 암조건에서 호기적 배양과 혐기적 배양을 하면서 COD_{Mn}를 42일간 일주일 간격으로 시간흐름에 따라 분석하여 그 변화를 Fig. 8에 나타내었다.

leachate-7의 초기 COD_{Mn}은 120 mg/L였으며, 호·혐기 조건에 관계없이 증가한 후에 감소하는 경향을 나타냈다. 두 조건 모두 14일 경과 후에 증가를 시작하여 21일 째에 최고 높은 농도(호기조건에서 COD_{Mn} 920 mg/L, 혐기조건에서 COD_{Mn} 1480 mg/L)로 검출되었다. 28일 째에는 최저값(호기조건에서 COD_{Mn} 90 mg/L, 혐기조건에서 COD_{Mn} 160 mg/L)을 나타내었다가 다시 증가하는 현상을 보였다. 즉 침출수 내의 유기물질 농도는 미생물의 활동에 따라 변화를 거듭하게 되는 것을 알 수 있다. 현장에서는 인위적인 혐기적 실험조건에서 나타나는 변화와 호기적 실험조건에서 나타나는 변화의 범위 안에서 COD_{Mn}의 변화를 예측할 수 있을 것이다.

결론

구제역으로 한우 213두를 매몰한 지역에서 발생한 침출수와 자연수의 유기물질 거동을 비교분석하였다. 유기물질 거동은 경시변화, 난분해성유기물질의 성장 등을 조사하였다.

자연수에서는 미생물대사 등의 활동으로 유기물질을 사용하여 시간이 경과함에 따라 잔존하는 유기물질 양이 감소하게 되고, 이 때 남아있는 유기물질을 난분해성 유기물질이라 하며 초기 유기물질 양보다는 적은 양으로 남는 것이 일반적인 특성이다. 그러나 침출수에서는 이러한 자연수에서의 특징과는 다른 경향을 나타내었다. RTOC 및 RDOC는 초기의 TOC 및 DOC의 농도보다 높았으며, 침출수의 체취 시간 즉 매몰된 후의 경과시간에 따라 약간씩의 변화를 나타냈다. 한편 DOC/TOC의 비율은 처음과 28일 후에 비슷하게 나타나므로 이 또한 자연수에서는 그 비율이 증가하는 것을 고려할 때 침출수의 유기물질 거동은 자연수와는 현저한 차이를 나타낼 수 있다.

침출수의 난분해성유기물질 성상은 자연수와는 달리, 친수성산의 비율이 50% 이상으로 높았으며, 소수성산의 비율은 자연수(전이성산 포함하여 70% 이상)에 비해 상대적으로 낮게 검출되었다. 한편, 침출수는 용존산소가 부족하고 산화환원 전위도 음의 영역에 있는 등, 혐기적 환경조건에 있는 것으로 나타났으나, 호기조건과 비교할 때, 유기물질의 증감변화에 대해서는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다.

이번 연구를 통해서 침출수는 자연수와는 완전히 다른 유기물질 거동을 나타내는 것은 명명백백히 알 수

있었고, 이를 활용하여 인근 지하수, 지표수 등에 침출수가 미치는 영향을 과학적으로 평가할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

이 연구는 안동대학교 2011년 교육역량강화 지원사업 및 경북녹색환경지원센터(과제번호 11-2-70-72-10)의 지원에 의해 수행되었기에 이에 감사드립니다.

References

- Chen, S., Lee, M., Sun, Y., Yang, P., Lin, Y., Hong, M., Robertson, I., Edwards, J., and Ellis, T., 2007, Immune responses of pigs to commercialized emulsion FMD vaccines and live virus challenge, *Vaccine* 25, 4464-4469.
- Choi, B., Kang, M., and Shon, H., 2011, Lake's function on control of refractory dissolved organic matter caused by upstream rivers to Andong lake and Jinyang lake, *J. Korean Wetlands Soc.*, 13, 343-353. (in Korean)
- Collins, M. R., Amy, C. L., and Steelink, C., 1986, Molecular weight distribution, carboxylic acidity, and humic substances content of aquatic matter: implication for removal during water treatment. *Environ. Sci. Technol.* 20, 1018-1032.
- GGEC (Gyeongbuk Green Environment Center), 2011, Relationship between DOM and microorganism affected by the leachate from the FMD landfill site in Andong. (in Korean)
- Huck, P. M., 1990, Measurement of biodegradable organic matter and bacterial growth potential in drinking water. *Jour. AWWA* 82(7), 78-86.
- Hur, J., Shin, J. K., and Park, S. W., 2006, Characterizing Fluorescence Properties of Dissolved Organic Matter for Water Quality Management of Rivers and Lakes. *Hour. KSEE* 35(8), 940-945. (in Korean)
- Jeong, D. H., Lee, C. G., Shin, J. S., Kim, S. H., Yoon, S. H., Kim, Y. S., Yu, S. J., and Kim, S. J., 2012, A Study on Treatment Measures of Carcass Disposal Site Leachate into the Livestock Manure and Sewage Treatment Facilities using NIER-MASS program. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 21(5), 725-734. (in Korean)
- Kang, M., Kim, M., Choi, B., and Shon, H., 2012, Physical and chemical characteristics and analysis of organic matters in the leachate caused by the FMD landfill site. *Korean J. Microbiol. Biotechnol.*, 40(2), 128-134, 2012. (in Korean)
- KSSGE (Korean Society of Soil and Groundwater Environment), 2011, Hydrogeological conditions and management guide for FMD landfill. (in Korean)
- Madhanmohan, M, Nagendrakumar, S., Narasu, M., and Srinivasan, V., 2010, effect of FMD vaccine antigen payload on protection, sub-clinical infection and persistence following needle challenge in sheep. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases* 33, e7-e13.
- Malcom, R. L., 1985, The Geochemistry of stream fulvic and humic substances. In: *Humic Substances in Soil, Sediment and Water: Geochemistry, Isolation and Characterization*. G.R. Aiken, D.M. McKnight, R.L. Wershaw and P. MacCarthy (eds). Wiley-Intersciences, New York, 181-209.
- McDaniel, H. A., 1991, Environmental protection during animal disease eradication programmes. *Revue scientifique et technique Office international des Epizooties* 10(3), 867-884.
- ME (The Ministry of Environment), 2008, Standard Method of Water Quality. (in Korean)
- Mingala, C., Konnai, S., Venturina, F., Onuma, M., and Ohashi, K., 2009, Quantification of water buffalo cytokine (*Bubalus bubalis*) expression in response to inactivated foot-and-mouth disease (FMD) vaccine. *Research in Veterinary Science* 87, 213-217.
- Plumers, F., Akkerman, A., Vanderwal, P., Dekker, A., and Bianchi, A., 2002, Lessons from the food-and-mouth disease outbreak in Netherlands in 2001. *Rev. Sci. Tech.* 21(3), 711-721.
- Servais, P. Anzil, A., and Ventresque, C., 1989, Simple method for determination of bio degradable dissolved organic carbon in water. *Applied. and Environ. Microbiology*, 55, 2732-2734.
- Yang, P., Chu, R., Chung, W., and Sung, H., 1999, Epidemiological characteristics and financial costs of the 1997 food-and-mouth disease epidemic in Taiwan. *Vet Rec* 145, 731-734.
- Yoon, H., Wee, S., Stevenson, M., O'Leary, B., Morris, R., and Hwang, I., 2006, Simulation analyses to evaluate alternative control strategies for the 2002 food-and-mouth disease outbreak in the Republic of Korea. *Preventive Veterinary Medicine*, 74, 212-225.

원고접수일: 2013년 10월 30일

수정본채택: 2013년 12월 11일

게재확정일: 2013년 12월 13일

강미아

국립안동대학교 환경공학과

경북 안동시 송천로 1375

Tel: 054-820-6267

Fax: 054-820-6267

e-mail: wdream@andong.ac.kr

안예슬

국립안동대학교 환경공학과

경북 안동시 송천로 1375

Tel: 054-820-7881

Fax: 054-820-6267