

양돈 퇴, 액비 내 중금속 및 항생제의 토양 흡착특성 연구

어 성 욱*⁺

Soil Adsorption Characteristics of Heavy Metals and Antibiotics in Piggery Waste Fertilizer

Oa, Seong Wook*⁺

요약 : 양돈 농가에서 구리, 아연 등의 성장촉진제와 항생제들이 사료 첨가제로 사용되는데 사료에 주입된 많은 양이 분뇨로 배설되고 있다. 국내 양돈 폐수의 90% 이상이 퇴, 액비 형태로 농지에 적용되고 있는 상황에서 퇴, 액비 내에 함유된 중금속과 항생물질은 토양에 흡착되어 농지에 잔류하거나 지하수나 지표수로 유출되어 수계로 빠져나간다. 농지에 살포된 중금속과 항생물질의 토양 내에서의 거동을 살펴보기 위해 실험실 기초 실험을 수행하였는데, Jar test와 칼럼 용출 실험을 수행하였다. 실험결과 아연의 86.4와 구리의 68%가 토양에 흡착되는 것으로 나타난 반면, 액비에 포함된 항생물질의 60% 이상은 칼럼 용출수로 용출되는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 흡착, 항생제, 퇴비, 중금속, 액비

Abstract : Due to the wide use of feed additives on pig farms, large content of heavy metals and antibiotics have been found in piggery wastes. More than 90 % of piggery wastes were applied to crop field in Korea. The metals and antibiotics originated from piggery waste in the soil may affect plant growth and human health. To examine the adsorption capacity and residual ratio of heavy metals and antibiotics to the soil, a couple of jar test and leaching tests were conducted. While 86.4 % of zinc and 68% of copper applied were adsorbed to soil particles, while over than 60% of antibiotics in pig manure liquid fertilizer were leaked out to effluent.

keywords : Adsorption; antibiotics; compost; heavy metal; pig liquid fertilizer

1. 서 론

우리나라의 양돈 업계는 점차 대규모, 산업화 되어가고 있으며 이에 따라 어느 정도의 밀식 사육이 불가피한 실정이다. 돼지의 생육 촉진과 가축 전염병 예방을 위해 성장촉진제와 항생제가 사료 첨가제로 사용되어 왔는데, 주로 구리와 아연 성분이 성장촉진제로 사용되었으며 sulfonamides 성분이 사료 첨가형 항생제로 가장 많이 사용되어져 왔다(Garcia-Galan et al., 2008, 2010). 우리나라 양돈분뇨 처리 현황을 살펴보면 전체 발

생량의 90% 이상이 퇴·액비 등으로 농지에 적용되고 있는 실정으로(환경부, 2011), 분뇨로부터의 중금속과 항생물질에 의한 인근 지하수와 지표수의 오염 개연성을 배제할 수 없는 상황이다. 이제 까지 농지로 전환되는 가축분뇨에 의한 오염은 유기물질과 질소, 인 등에 한정하였으나, 농지 오염이 식품과 지하수 등을 통해 직, 간접적으로 인체에 미치는 영향을 고려할 때 중금속 및 항생물질에 대한 관찰을 배제할 수 없는 상황이다. 중금속으로 오염된 토양에서 자란 식물들은 중금속 성분을 과량 함유 할 뿐만 아니라, 생육

+ Corresponding author : swoa@wsu.ac.kr

* 정회원 · 우송대학교 철도건설시스템학과 · 교수

장애가 보고되고 있으며(이선녀, 홍종기, 2004), 중금속 오염 농산물을 섭취하는 인축에 대한 간접적인 피해까지 알려지고 있다(이종팔 등, 1996, 김준호, 조도순, 1995).

항생물질의 경우 내성 증가 등으로 사용을 엄격히 규제 하고 있으나, 국내의 가축 사육 환경상 사용규제가 용이하지 않은 상황이다. 우리나라는 2011년 7월부터 사료 내 항생제 사용을 금지하여 점차 적인 사용량 감소가 기대되지만, 개별 농가에 대한 직접적인 사용 통제는 제도가 정착되지 못한 상황이다. 인간과 가축에 사용되는 항생제는 대부분 부분적으로만 대사 작용에 작용된 후 상당량이 분, 뇨로 배설이 되는 것으로 알려져 있다(R. Hirsch et al., 1999). 항생제는 물에 잘 녹지만, 분해가 잘 되지 않도록 만들어져 인간과 동물의 배설물을 통해 생태계에 노출된 후 상당 기간 잔류할 가능성이 존재한다. 국내에서는 Chlortetracycline, Oxytetracycline, Tetracycline, Doxycycline이 동물 먹이 첨가제로 가장 많이 사용되고 있으며(이선녀, 홍종기, 2004), chlortetracycline, oxytetracycline의 경우 한국 사료용 및 치료용 항생제 1, 2 위의 판매량을 보여주고 있다(고영립 등, 2009). 특히 Oxytetracycline은 항생제 중에서 가장 광범위한 항균 범위를 나타내는데, 장기간의 사용 또는 오남용으로 인해 항균물질 내성을 증대시켜 치료효과가 저하되고 있는 것으로 보고되고 있다(이희정 등, 2006). 따라서 가축분뇨에서 배출된 항생제가 토양과 수계가 혼재된 환경 내에서 어떻게 거동할 수 있는지에 대한 국내 항생제 거동 연구는 극히 드문 실정이다.

본 연구는 양돈분뇨를 이용하여 제조된 액비와 퇴비의 농지적용 시, 중금속과 항생물질의 토양과 지하수, 농지 인근 하천, 습지 등의 수계로의 거동을 살펴보기 위한 기초 실험을 수행한 것으로, 실험실에서 Jar Test와 칼럼 시험을 통해 양돈 퇴, 액비 내 중금속과 항생물질의 토양흡착과 유출 시험을 수행한 것이다.

2. 실험 방법

2.1 토양의 물리, 이화학적 분석

실험에 적용한 토양은 옥수수를 재배중인 밭에서 채취하였으며, 과거 양돈 퇴, 액비 적용 이력이 없는 토양을 채취하여 사용하였다. 토양 분석을 위해 토양 1,000 g을 삼각좌표분류법(조석희, 2011)에 의해 분류하여 흙의 성상을 파악하였으며, 토양의 중금속 분석은 자연 건조 후 0.15 mm이하로 사분하여 토양오염공정시험기준에 준하여 비소(As), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 니켈(Ni), 납(Pb), 아연(Zn)에 대해 유도결합플라즈마(SHIMADZU, ICPE-9000)를 이용하여 분석하였다(환경부, 2009).

2.2 퇴, 액비의 특성

충남 논산의 공동처리시설에서 생산된 퇴비와 액비는 수질오염공정시험기준(환경부, 2010)으로 총인(TP), 생물화학적산소요구량(BOD5), 부유물질(SS), 산도(pH)와 전기전도도(EC)(Thermo SCIENTIFIC사, ORION 5 STAR)를 분석하였으며, 액비의 COD_{Cr}, TKN은 Standard method(APHA, 1998), 퇴비의 TKN은 토양화학분석법으로(농촌진흥청, 1988) 분석하였다. 중금속은 2.1절에 나타낸 토양의 중금속 분석과 동일한 방법을 사용하였다. 액비내 함유된 항생제 분석을 수행하였는데, 항생제는 tetracycline 계열의 OTC(Oxytetracycline)와 CTC(Chlortetracycline)로 선별하여 동시분석 하였다(Agilent Technologies, Inc., 2008). 항생제 분석을 위해 시료를 원심분리하여 상정액을 취해 GF/C여과지로 여과하고, 고체상 추출법(Solid-phase extraction; SPE, Agilent, Part No.:12109206)을 실시하였다. 용출 한 후 질소 농축기로 완전증발 시킨 뒤 메탄올 : 10 m mol/L TFA solution(1 : 19) 0.5 mL로 추출하여 0.45 μm 멤브레인 필터로 여과 후 HPLC(High-performance Liquid Chromatography, SHIMADZU, AT-100)를 이용하여 Table 1. 의 조건으로 분석하였으며 추출법은 Fig. 1에 나타낸 것과 같다.

Table 1. Analysis conditions of HPLC for tetracycline

Column	Agilent ZORBAX SB-C8 250mm x 4.6mm, 5 μ m		
Flow rate	1.5 mL/min		
Injection volume	20 μ l		
Ending time	20 min		
Mobile phase	Methanol-acetonitrile-10 mmol/L TFA solution, gradient elution		
Time (minutes)	% methanol	% acetonitrile	% 10mmol TFA
0	1	4	95
7.5	6	24	70
13.5	7	28	65
15	1	4	95

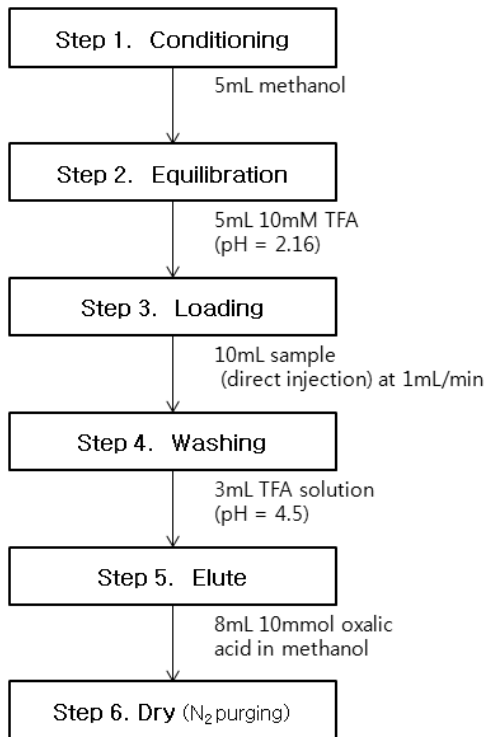


Fig. 1 SPE(Solid-phase extraction) procedure for tetracycline analysis

2.3 토양의 중금속 흡착률 분석

2.3.1 입도별 흡착실험

토양 입도 크기를 모래질(0.05mm ~ 2mm), 실트

질(0.005mm ~ 0.074mm), 점토질(0.074mm이하)로 각각 분류하고 증류수 1L에 각 10 g의 토양을 주입하고, 여기에 구리와 아연 표준물질을 5 mg/L로 오염시켰다. 각각의 비이커를 급속교반(100rpm 3분), 완속교반(40rpm 15분) 후 20분간 정치한 뒤 상정액을 채취하여 구리와 아연의 입도별 흡착율을 분석하였다.

2.3.2 농도별 흡착실험

1L 증류수를 담은 비이커에 고루 섞은 토양 50 g과 구리와 아연 표준물질을 0 ~ 5 mg/L 까지 5가지 농도로 혼입 후 교반실험(Jar-test)를 실시하였다. 급속교반(100rpm 3분)과 완속교반(40rpm 15분) 후 20분 간 정치한 뒤 상정액을 채취하여 Cu와 Zn의 농도별 흡착률을 분석한 후 Freundlich 등은 흡착식을 이용하여 해석하였다.

2.4 중금속 및 항생제 용출 실험

퇴, 액비의 농지 주입시 토양 잔류량을 분석하기 위해 칼럼 용출 시험을 실시하였다. 칼럼은 Fig. 2 와 같이 단면적 28 cm², 높이 40 cm인 아크릴원통으로 3 set를 제작하였다. 삼각좌표분류법으로 나눈 조립토의 토양 1,000 g을 칼럼에 넣어 주고 다짐 없이 흔들어 수평을 만들어준 뒤 각 칼럼에 액비(Liquid Fertilizer, LF), 퇴비(Composted

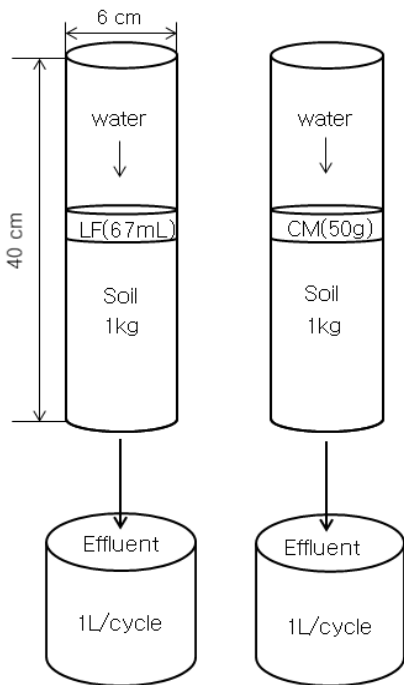


Fig. 2 Schematic diagram(left) and picture(right) of columns

Materials, CM)를 각각 주입하였으며, 토양만을 주입한 대조구(Standard, ST)를 제작하여 비교 관찰 하였다. 칼럼에 주입된 토, 액비의 양은 질소함유량을 기준으로 주입량을 산정하였는데(어성욱, 2011), EU 의 질산염 관리령 기준인 210 kgN/ha/yr의 양을 근거로 하였다. 액비 67 mL, 토비 50 g을 각각의 칼럼에 주입하고 유출수 1 L가 유출될 때 이를 1 cycle로 하여 실험하였다. 이는 각 칼럼별로 투수 속도가 상이하어, 1 bed volume의 유출수가 유출되는 것을 기준으로 결정한 것이다. 중금속의 경우 토·액비 살포칼럼의 유출수와 유출 후 토양 깊이 별 5구간으로 나누어 깊이별 중금속 잔류량을 조사하였으며, 항생제의 경우 토양에서의 분석법이 정립되지 않아 흡착

량의 직접 분석이 곤란하여 유입, 유출수의 농도 분석을 통해 흡착량을 간접적으로 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 토양의 물리, 이화학적 분석 결과

실험에 사용된 토양은 Table 2와 같이 모래분(sand) 84%, 실트분(silt) 13% 점토분(clay) 3%의 입도 분포로 삼각좌표 분류법에 의해 모래질 옥토(sandy loam)로 나타났다. 토양의 초기 중금속 농도는 비소가 1.3 mg/kg, 카드뮴이 0.5 mg/kg, 크롬이 14.4 mg/kg이며, 구리가 16.5 mg/kg, 니켈이 9.6 mg/kg, 납이 15.0 mg/kg이며 아연이 48.7 mg/kg로 분석되었다.

Table 2. Initial heavy metal concentration and soil texture size for applied soil

Heavy metal concentration (mg/kg)							Particle size (%)		
As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	sand	silt	clay
1.3	0.5	14.4	16.5	9.6	15.0	48.7	84	13	3

3.2 퇴·액비 성상 분석 결과

Table 3에 나타난 것과 같이 퇴비는 가축분뇨 퇴비로 유기물 30%, 유기물 대 질소비가 40, 염분 1.8, 수분 55%, 무아발아지수 70으로 나타나고 있으며, 질소 26,000 mg/kg을 포함하고 있는 것으로 분석되었다. 액비는 COD 18,132 mg/L, BOD 11,045 mg/L, SS 13,825 mg/L, TKN 3,359 mg/L 그리고 T-P가 639 mg/L로 분석

되었다. 중금속 함유량은 액비내에 구리의 농도가 60.0 mg/L 이며 아연이 55.2 mg/L 정도로 다른 중금속 성분보다 높게 나타나고 있었다. 퇴비의 경우 비소가 4.7 mg/kg, 납이 66 mg/kg, 구리가 276 mg/kg이며 아연은 632 mg/kg로 액비의 경우와 마찬가지로 구리와 아연 성분이 고농도로 함유되어 있는 것으로 나타났다. 액비 내 항생제는 OTC 2.8 mg/L, CTC 2.2 mg/L로 분석되었다.

Table 3. Initial Characteristics and antibiotic concentration of liquid fertilizer(LF) and the Composted Materials(CM)

organic & nutrient		COD	BOD	SS	TKN	T-P		
	LF (mg/L)	18,132	11,045	13,825	3,359	639		
Heavy metals		As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	LF (mg/L)	0.1	ND	0.4	60.0	0.5	0.1	55.2
	CM (mg/kg)	4.7	ND	ND	276.0	ND	66.0	236.7
Antibiotics		OTC			CTC			
	LF (mg/L)	2.8			2.2			

3.3 토양의 흡착을 분석결과

3.3.1 입도별 흡착실험

퇴, 액비에 가장 고농도로 함유된 중금속 항목인 구리와 아연에 대한 흡착 실험을 수행 하였다. 흡착 효율을 파악하기 위해 입경별로 흡착실험을

수행한 결과를 Table 4에 나타내었다. 구리의 흡착률은 모래질에서 30.3%, 점토질에서 68.3%로 나타나 입경이 작아질수록 흡착률이 커지는 것으로 나타났다. 아연의 경우는 점토질 보다 실트질에서 64.2 %의 흡착률을 보이고 있다. 구리의 최대 흡착량은 34.1mg/kg 이며, 아연의 최대 흡착량은 32.1mg/kg 로 측정되었다.

Table 4. Removal rate of Cu and Zn by soil adsorption with different soil particle size

Size	Ratio (%)	Runoff water (mg/L)		adsorption rate (%)	
		Cu	Zn	Cu	Zn
sandy	94	3.5	3.1	30.3	38.9
silt	2	2.0	1.8	59.1	64.2
clay	3	1.6	2.6	68.3	48.3

이를 토대로 토양 내에 잔류 및 흡착 될 수 있는 중금속의 평균 최대 함유량을 계산하면 각각 구리가 15.2 mg/kg이고 아연은 19.1 mg/kg로 나타나는데, 전체적으로 구리보다 아연이 흡착률이 더 높은 것으로 나타났다. 이는 아연이 구리보다 토양 친화도가 강하기 때문인 것으로 설명되며 또한 토양의 성상에 의해 이 둘 간의 흡착형태가 바뀌는 것으로 알려져 있다(박진식 등, 1997, 김보정 등, 2008). 일반적으로 입경이 작을수록 흡착률이 양호한 것으로 알려지고 있는데, 본 실험에서는 아연의 경우 실트질에서 64.2 %의 흡착률을 보여 점토질에서의 흡착률 48.3 %보다 높게 나타나고 있다. 이는 토양입자 크기가 다를 경우 토양 표면의 물리화학적 특성이 균질하지 못해 일정한 특성을 보여주지 못하는 데 따른 것으로 분석되어진다(박홍석 등, 2001),

3.3.2 농도별 흡착실험

Freundlich 등은 흡착식(식 1)을 이용하여 실험에 적용된 토양의 중금속 흡착능력을 분석하였다. Fig. 3에 그 결과를 보여주고 있으며, Table 5. 에 나타낸 것과 같이 상수 1/n이 Cu 0.38, Zn 0.15로 나타나 토양이 중금속에 대해 양호한 흡착제로 작용하는 것으로 나타났다. 박진식 등(1997)과 문정호 등(2004)등에 의하면 일반적으로 상수 1/n이 0.1~0.5 값을 보일 때 양호한 흡착제로 평가되는 것으로 보고하고 있다.

$$\frac{X}{M} = k \cdot C^n \quad (\text{식 1})$$

여기에서,

X : 흡착된 피흡착물의 농도

M : 주입된 흡착제의 농도

C : 흡착되고 남은 피흡착물질의 농도, 평형농도

K, n : 경험상수

Table 5. Constant numbers and correlation coefficients for Freundlich isotherm adsorption equation

	Cu	Zn
k	0.059	0.037
1/n	0.38	0.15

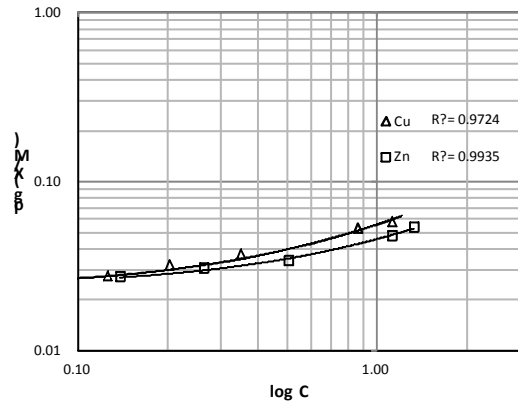


Fig. 3 Freundlich isotherm diagram for Cu and Zn on soil.

3.4 칼럼 용출 시험 결과

3.4.1 유출수 내 중금속 분석결과

퇴, 액비 각 칼럼에 주입한 퇴비 내 구리와 아연의 농도는 276 mg/kg과 632 mg/kg 로 주입된 양은 각각 13.8 mg, 31.6 mg이며, 액비의 구리와 아연의 농도는 60.0 mg/L, 55.2 mg/L로 주입된 양은 각각 4.02 mg, 3.69 mg이다. 액비의 경우 6회(1000 mL/회) 유출수 중 구리의 농도는 0.02 ~ 0.20 mg으로 Fig. 4 (a)에 나타난 것처럼 주입된 양의 7.3 %가 유출되어 토양에 주입량의 90% 이상이 흡착된 것으로 나타났다. 특히, 5회 이후부터는 유출농도가 분석되지 않았다. 아연의 유출수 중 농도는 0.04 ~ 0.27 mg으로 2.7 ~ 7.5 %로 구리와 유사하게 나타나고 있다. 퇴비 칼럼에서의 유출수 중 구리의 농도는 0.02 ~ 0.20 mg으로 Fig. 4 (b)에 나타낸 것과 같이

0.15 ~ 1.45 %로 나타나고 있으며, 아연의 농도는 0.04 ~ 0.27 mg으로 주입량 대비 0.13 ~ 0.85 %가 유출되는 것으로 나타났다. 액비는 액체의 형태로 토양의 짧은 시간 안에 토양 공극사이로 침투하여 단시간 내에 지하수로 유출되는데

반해, 퇴비는 고형물로 퇴비층이 형성되어 퇴비층 내 잔류농도로 유출 비율이 낮은 것으로 나타나고 있으나, 장기간에 걸쳐 유출될 가능성이 있는 것으로 판단된다.

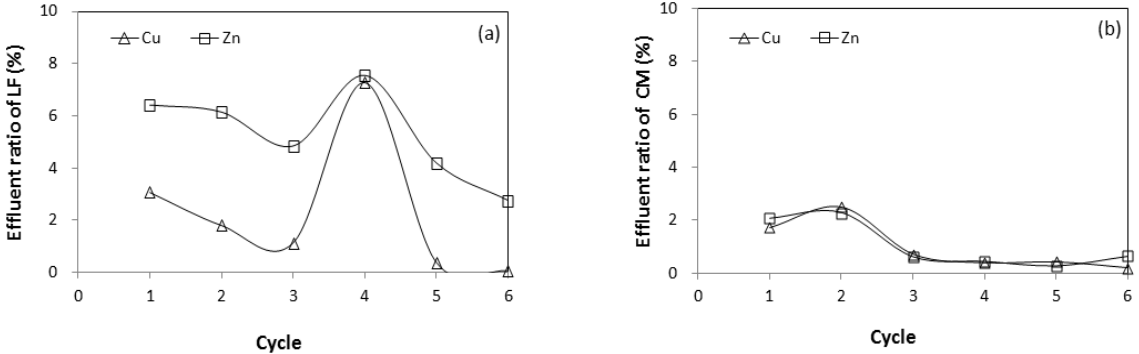


Fig. 4. Heavy metal composition in column effluent ((a) LF, (b)CM)

3.3.2 칼럼 내 중금속 분포 형태

액비를 주입한 칼럼에 구리 4.02 mg이 주입되어 86.3%가 토양에 흡착되었으며, 13.7 %인 0.55 mg이 유출되었다. 아연은 토양에 3.69 mg이 주입되어 68 %가 흡착되었고, 유출수로 주입량의 32 %가 유출되었다. 퇴비 주입 칼럼에서는 구리 7.8 mg이 주입되어 93.9%가 토양에 흡착되었으며, 아연은 93.6 %가 흡착되고 6.4%가 유출수로 유출되었다. 퇴비의 경우 구리와 아연 모두 주입량의 6%만이 유출되었고 대부분이 토양에 잔류하는 것으로 나타났다. 양돈 퇴, 액비를 토양에 적용할 경우 퇴, 액비 내 중금속 성분은 대부분이 토양에 흡착되는 것으로 나타나 식물체 내 중금속 축적의 문제와 토양에 대한 중금속 축적을 모니터링 해야 할 필요성을 제시하고 있다. 중금속의 종류에 따라 Cu, Cd > Pb > Zn의 순서로 독성이 강하다고 알려지고 있으며 고농도의 영향을 보다 면밀히 검토해야 할 필요가 있을 것이다(김준호 등, 1995). 또한 이종팔 등(1996)은 중금속 오염 지역에서 작물 내의 중금속함량은 Zn > As > Cd > Cu > Pb의 순으로 존재하는 것으로 보고하고

있다. 오, 남용으로 인한 식물체의 흡수 축적으로 인한 2차 피해를 경계해야 한다고 하였는데 칼럼 토양 내 잔류된 중금속 농도를 분석하여 퇴, 액비 적용 칼럼 층별 흡착률을 조사하였으며 그 결과를 Fig. 5.에 나타내었다. 액비 적용칼럼의 경우 구리와 아연 모두 상층부에 86 %, 69 %정도가 흡착됨을 확인할 수 있었으며(Fig. 5. (a)), 퇴비의 경우 구리와 아연이 각각 2 ~ 24 %, 6 ~ 41 % 분포로 골고루 흡착 됨 을 확인할 수 있었다(Fig. 5. (b)). 또한 구리의 칼럼실험 흡착률은 액비 86.3 %, 퇴비 93.9 %이고 입경별 흡착률이 점토 질에서 68.3 %이다. 아연의 경우 칼럼실험 흡착률은 액비 68.0 %, 퇴비 93.6 %이고 입경별 흡착률이 실트질에서 64.2 %였다. 입경별 흡착 실험은 고형물이 없는 표준액으로 실험한 반면, 칼럼 실험에서는 고형물이 존재하는 퇴, 액비를 이용하여 실험한 결과이다. 칼럼 실험에서는 퇴, 액비의 여과수만 유출되어 고형물 농도가 1 %인 액비보다 45 %인 퇴비가 흡착률이 높게 나왔으며, 입경별 흡착실험보다 칼럼실험에서의 흡착률이 높게 나타나고 있는데 이 역시 고형물 농도와 관련이 있는 것으로 판단된다.

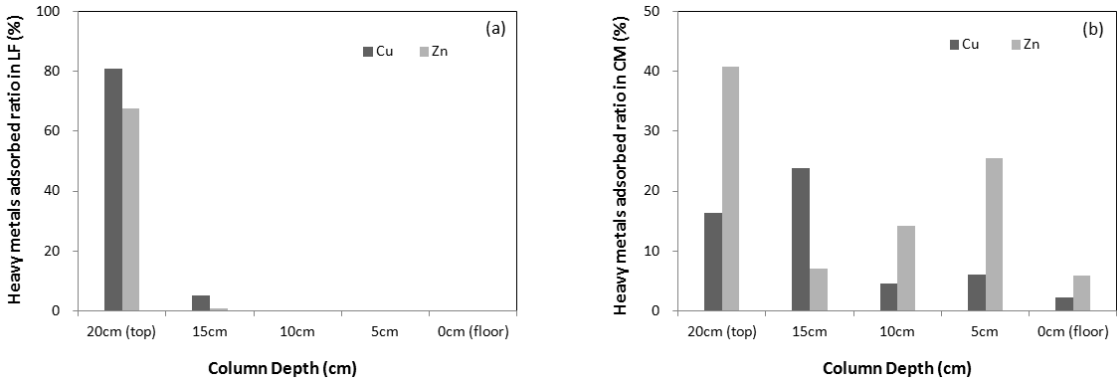


Fig. 5. Heavy metals adsorbed ratio with each column depths((a)LF , (b)CM)

3.3.3 유출수 내 항생제 분석결과

액비내의 항생제 경우 OTC는 0.67 mg이 살포되어 토양에 총 0.22 mg인 32.84 %가 잔류되어 있고 1, 2회에 걸쳐 0.45 mg, 67.16 %가 유출되었으며, CTC의 경우 토양에 0.15 mg이 살포되어 0.05 mg인 32.16 %가량이 토양에 잔류되고, 1회에 걸쳐 0.1 mg인 67.84 %가 유출수로 나왔다. 항생제의 경우 67%이상이 유출되어 지하수에 대한 모니터링이 필요할 것으로 사료된다(Fig. 6).

임정은 등(2009)의 연구에 따르면 저질토 및 토양시료의 항생물질이 수질 시료의 항생물질 보다 다량으로 검출됨을 확인 하였다. Tetracycline 계열 항생물질이 토양고형물, 유기물, 양이온과 강하게 결합하여 상대적으로 적게 검출된 것으로 판단되는데 농업 활동을 위해 다량으로 투입되는 가축 퇴비가 환경 중의 항생물질 농도 증가의 주 원인이 될 수 있음이 꾸준히 보고되고 있어 지속적인 모니터링이 요구된다(이현용 등, 2009).

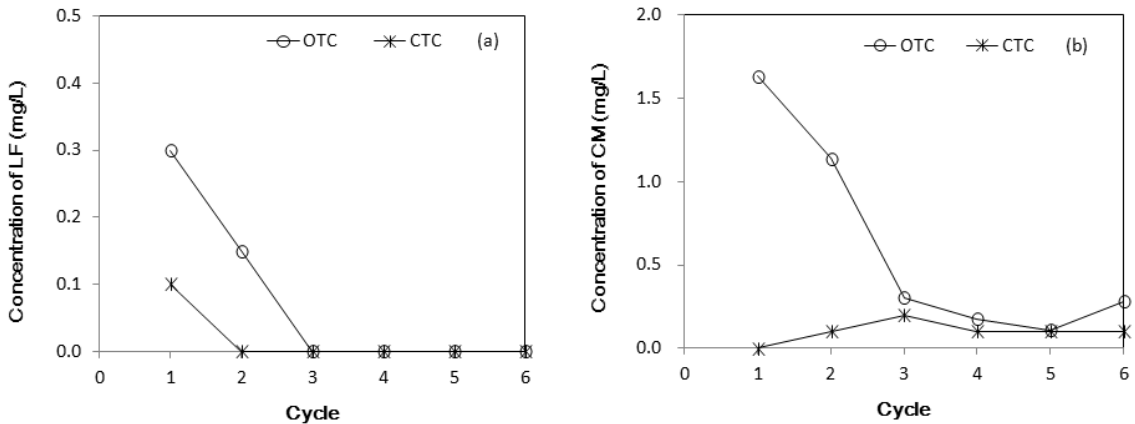


Fig. 6. Antibiotics concentration in LF and CM column effluent (Unit: mg/L)

4. 결론

양돈분뇨를 액비로 생산하는 공동자원화시설의 액비와 퇴비의 농지적용 시 중금속과 항생제의 토

양 흡착과 유출 농도를 분석하여 토양과 지하수에 미치는 영향에 대하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 양돈 퇴, 액비 내 중금속 성분은 구리와 아

연을 가장 많이 함유하고 있으며, 항생제는 OTC가 2.8 mg/L, CTC 는 2.2 mg/L 농도로 액비에서 분석되었다.

- 2) 토양의 중금속 흡착실험 결과 Freundlich 흡착식 상수 $1/n$ 이 구리 0.38, 아연 0.15로 양호한 흡착제의 값을 나타내고 있다.
- 3) 칼럼 용출 시험 결과 액비 주입 칼럼은 주입된 구리의 86.3 %가 토양에 흡착되었으며 아연은 68 %가 흡착되었다. 퇴비 주입 칼럼에서는 주입된 구리 성분의 93.9 %가 흡착 되었고 아연은 93.6 %가 흡착되었다. 퇴, 액비 적용 농지에 대한 토양 및 식물의 중금속 축적에 대한 모니터링이 필요하다.
- 4) 항생제 경우 OTC는 주입량의 67 %가 유출되었으며, CTC의 경우 68 %가 유출되었다. 항생제는 단시간에 유출되는 특성으로 분석되어 토양 살포 후 빠른 시간 안에 지하수 및 인근 수계로 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 고영림, 박찬구, 김정희, 정지연, 김판기 2009. 환경 중 잔류의약품질 분석방법 연구 및 오염실태, 한국환경독성학회 춘계학술대회논문집, pp. 33-38.
- 김보정, Murray B., McBride 2008. 토양에 유입된 카드뮴, 구리, 아연의 시간에 따른 분배 계수의 변화, 지하수토양환경, 13(5), pp. 47-56.
- 김준호, 조도순 1995. 초본식물의 중금속 내성에 대한 연구, Journal of Ecology and field biology, 18(1), pp.147-156.
- 농촌진흥청 농업기술연구소 1988. 토양화학분석법, pp.57-70.
- 문정호, 최충호, 김태진, 유병로, 김철규 2004. 점토 광물에 의한 중금속의 흡착 특성, 한국폐기물자원순환학회추계학술연구회발표논문집, pp.366-369.
- 박진식, 문추연, 장성호, 손희정, 성낙창, 김수생 1997. 복토재와 연탄재를 이용한 침출수 전처리에 관한 연구 (II), 한국폐기물학회지, 14(6), pp.604-610.
- 박홍석, 박광진, 윤석표 2001. 매립지주변 토양의 pH와 입경분포가 침출수 중의 중금속과 COD 저감에 미치는 영향, 한국폐기물자원순환학회지, 18(2), pp.136-144.
- 여성옥 2011. 양돈 퇴, 액비의 수질환경 영향 분석을 위한 영양물질 이동경로 연구, 한국습지학회지, 13(3), pp.465-470.
- 이선녀, 홍종기 2004. 식품 및 수질시료 중 항생제의 분석법 분석과학 17(2), pp.43A-58A.
- 이종팔, 박노권, 박선도, 최부술, 김복진 1996. 아연광산 인근 토양중의 중금속 함량이 콩의 생육 및 중금속 흡수에 미치는 영향, 한국환경농학회지, 15(3), pp.257-281.
- 이현용, 임정은, 권오경, 김성철, 서영호, 양재의, 옥용식 2009. 토양 및 수질 중 항생제 처리기술에 관한 최근 연구동향 농업과학연구, 20, pp.45-54.
- 이희정, 이태식, 손광태, 김풍호, 조미라, 박미정, 이영호 2006. HPLC를 이용한 어패류 중의 테트라사이클린계 항생제 분석방법 개발, 국립수산과학원연구보고, pp.521-527.
- 임정은, 김성철, 이현용, 권오경, 양재의, 옥용식 2009. 국내 우분 퇴비화 시설 인근 농경지 및 수계 중 Tetracycline 및 Sulfonamide 계열 항생물질의 분포특성, 대한환경공학회지, 31(10), pp.845-854.
- 조석희 2011. 토양환경관리개론, 동화기술, pp.20-21.
- 환경부 2009. 토양오염공정시험기준.
- 환경부 2010. 수질오염공정시험기준.
- 환경부 2010. 가축분뇨 통계.
- Agilent Technologies, Inc. 2008. Deterination of Tetracyclines in Chicken by Solid-phase Extraction and High-performance Liquid Chromatography Application Note.

APHA AWWA WEF 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition.

Garcia-Galan M. J., Diaz-Cruz M. S. and Barcelo D. 2008. Identification and determination of metabolites and degradation products of sulfonamide antibiotics. *Trend in Analytical Chemistry*, 27: 1008-1022.

Garcia-Galan M. J., Diaz-Cruz M. S. and Barcelo D. 2010. Determination of 19 sulfonamide in environmental water samples

by automated on-line solid-phase extraction-liquid chromatography tandem mass spectrometry(SPE-LC-MS/MS). *Talanta*, 81: 355-366.

R. Hirsch, Th. Ternes, K. aberer, K. L. Kratz (1999). *Te science of the Total Environment*, 225, 109-11.

○ 논문접수일 : 2012년 06월 22일

○ 심사의뢰일 : 2012년 06월 22일

○ 심사완료일 : 2012년 07월 10일