

연구논문

가축분뇨 및 퇴비·액비에 의한 환경영향조사 연구

- 마산천 유역의 금속성분 및 POPs를 중심으로 -

정동환 · 이영준 · 이철구 · 최성아 · 김민영 · 이영선 · 김미진 · 유순주

국립환경과학원 물환경공학연구과

Environmental impact of livestock manure and organic fertilizer use on the Masan stream watershed

Dong-Hwan Jeong · Youngjoon Lee · Chulgu Lee · Sung-Ah Choi ·
Minyoung Kim · Youngseon Lee · Mijin Kim · Soonju Yu

National Institute of Environmental Research

Abstract

In order to analyze environmental impact of livestock manure and organic fertilizers, this study investigated livestock-breeding and pollution loads, the status of individual and public livestock manure treatment facilities, and the status of production, supply and components of compost and liquid fertilizers in the Nonsan area. Also, on a trial basis, this study investigated the life cycle of the environmental impact of livestock manure and its organic fertilizers on stream, groundwater, and agricultural soil. The results are as follows.

Firstly, were detected the range of 0.13~1.32 $\mu\text{g/L}$ of As, 0.004~0.467 $\mu\text{g/L}$ of Cd and 0.5~9.2 $\mu\text{g/L}$ of Pb as a harmful substances which show lower concentrations than person preservation criteria of water qualities and aquatic ecosystem. However, it is not clear that heavy metals affect environment such as stream, groundwater and agricultural soil. Secondly, this influence could change according to investigation time and treatment efficiency. As were detected large amounts of persistent organic pollutants(e.g. 14.24~38.47 $\mu\text{g/L}$ of acetylsalicylic acid, 1.17~2.96 $\mu\text{g/L}$ of sulfamethazine, and 2.25~174.09 $\mu\text{g/L}$ of sulfathiazole) in effluent from livestock farms and small amounts of sulfathiazole(ND~1.63 $\mu\text{g/L}$) in the stream, it is necessary to monitor POPs at individual and public livestock manure treatment facilities. However, significant environmental impact did not appear at groundwater and agricultural soil in the test area supplied with liquid fertilizers.

These results could be applied to investigate the environmental impact of livestock manure through a comprehensive livestock manure management information system.

Keywords : Livestock manure, Organic fertilizer, Metal ion, POPs

I. 서론

1. 연구의 배경과 목적

최근 축산농가가 대규모화되어 가축분뇨의 고농도 발생부하량이 급증하고 있다. 2012년부터는 가축분뇨의 해양투기 금지로 자원화 89%, 정화 11%로 처리되고 있다(환경부, 2013). 이에 따라 자원화의 규모도 대규모로 이루어질 것이며 퇴·액비 등과 같은 자원화 산물의 이용도 증가할 전망이다. 실제 전체 가축분뇨 발생량 중 약 80%가 자체적으로 퇴비·액비화 시설을 갖추어 비료로 활용하고 있으며, 일부 농가에서는 정화처리하거나 재활용업체 및 공공처리시설을 이용하여 가축분뇨를 처리하고 있다. 이를 위해 가축분뇨의 자원화 활용성을 높일 수 있도록 시범사업을 추진하여 가축분뇨 자원화 관리기반 조성 및 적정처리에 노력하고 있다(환경부, 2012a).

그러나 가축분뇨는 전체 오염원 중 오폐수 발생량의 1%에 불과하나 수질오염 부하량의 37%를 차지하고 있어(환경부, 2012b) 가축분뇨의 관리가 제대로 이루어지지 않을 경우, 즉 가축분뇨나 사용된 퇴·액비, 특히 부숙되지 않은 퇴·액비의 사용은 주변 하천의 수질뿐만 아니라 토양과 지하수에까지 영향을 미칠 수 있다(Ontario MOE, 1989; Alberta agriculture and Agri-Food Canada, 2006). 하지만 아직까지 가축분뇨 및 퇴비·액비 사용에 따른 주변 환경영향에 대한 조사나 연구는 미흡한 수준에 있다.

본 연구에서는 가축분뇨에 의해 발생하는 환경 영향을 파악하기 위해 논산지역을 연구대상으로 가축분뇨, 퇴비·액비에 대한 생산·공급·성분 현황, 마산천 유역의 영양염류 영향, 가축분뇨 및 퇴비·액비 살포로 인한 마산천 유역의 하천, 지하수, 토양 등 환경에 대한 전 과정을 시범 조사하였고 환경에 미치는 영향을 살펴보고자 하였다.

2. 연구의 범위와 방법

(1) 연구범위

축산농가에서 가축분뇨가 발생하여 개별배출시설의 처리과정을 거쳐 환경 중으로 배출되거나, 자원화 시설을 거쳐 퇴비·액비로 전환되어 농경지에 살포되어 하천·지하수 등 환경으로 유출된다. 가축분뇨와 퇴비·액비가 처리 및 이용되어 환경으로 배출되었을 때 그 영향을 평가하기 위한 많은 연구가 수행되었는데(Vu *et al.*, 2007; Waithaka, 2007) 가축분뇨가 하천의 수질에 미치는 영향분석 및 개선대책의 제시(경기개발연구원, 1998), 낙동강 축산계 오염원 TOC 원단위 마련 및 오염물질 배출경로 규명 개선연구(국립환경과학원, 2011a), 가축분뇨 자원화물의 유출특성 및 저감방안 연구(금강수계관리위원회·국립환경과학원, 2008~2009; 환경부 2003), 퇴·액비 살포시 수질에 미치는 영향조사 및 최적 관리방안 연구(금강수계관리위원회·국립환경과학원, 2011), 가축분뇨의 자원화 용량평가에 관한 연구(안태웅 등, 2008; Peters *et al.*, 2003), 가축분뇨수의 무단방류가 셋강오염에 미치는 영향(최홍림 등, 1996), 농지 주입시 배출특성에 대한 축분자원화물 연구(임재명 등, 2009), 돈분뇨 액비가 사용된 논토양 특성 변화(국립농업과학원, 2012; 김민경 등, 2011), OECD 양분수지를 이용한 축산선진국의 농경지 축산분뇨 이용실태 평가(김필주 등, 2008), 액상 가축분뇨의 처리 및 토양환원에 따른 약취 및 약취물질의 평가(고한중 등, 2006) 등의 연구에서 영양염류·냄새물질이 환경에 미치는 영향과 관리대책에 대해 주요 관심 내용으로 다루고 있다.

해외 연구 사례에서도 주로 영양염류와 관련된 연구를 수행하고 있는데, 네덜란드의 경우 퇴비를 장기간 사용하여도 농경지 토양 내에 영양염류 및 유해물질이 집적되지 않도록 사용량 및 농도를 제한하고 있으며, 미국과 유럽에서는 위해성 평가를 실시하여 인

간과 환경에 영향을 미치지 않는 범위에서 사용량 및 농도기준을 설정하고 있다(McGrath *et al.*, 1994; US EPA, 1992). 일본의 경우 농경지 영양염류 유출에 따른 하천 수질오염, 농경지 토양 내 영양염류 용출에 따른 지하수 오염이 발생하고 있으며, 농경지에서 수계로 질소를 주로 배출하고 있는 것으로 조사되었다(梅本 등, 2003; 園田 등, 1997).

잔류의약품질과 관련된 조사·연구 사례는 환경중 의약품질 분석방법 및 노출실태 조사(국립환경과학원, 2006), 잔류의약품질 분석방법 연구 및 실태조사(국립환경과학원, 2011b) 등이 있는데, 이들 연구는 가축분뇨에 포함된 잔류의약품질의 측정분석과 농도 검출을 주로 다루고 있다.

본 연구에서는 다른 연구에서 다루어지지 않은 가축분뇨 및 퇴비·액비에서 발생하는 중금속과 잔류의약품질을 대상으로 축산농가에서부터 토양·지하수·농경지유출수·하천에 이르기까지 이들 물질을 조사하고 그 영향을 분석하였다.

(2) 연구방법

본 연구에서는 가축분뇨에 대한 발생, 처리에 대한 실태를 파악하고자 논산지역을 대상으로 축종별, 행정구역별 가축분뇨에 따른 사육두수 및 발생량을 조사하여 오염부하량을 산정하였고, 가축분뇨 및 퇴비·액비가 환경에 미치는 영향을 체계적으로 파악하기 위하여 논산계룡축산농협을 대상으로 퇴비·액비 성분, 계절별·지역별·작물별 공급 현황 등을 조사하였다. 또한 논산시 대상지역을 정하여 시범적으로 가축분뇨 및 환경영향을 파악하기 위하여 개별 축산농가 가축분뇨 배출 영향조사 및 퇴비·액비 적용 농경지 및 환경 영향 조사를 수행하였다. 여기서 하

천 및 지하수 수질 조사를 위해 중금속, 잔류의약품질 등의 항목을 분석하고, 토양 영향을 조사하기 위해 Ni, Cu, Zn 등 항목을 분석하였다(Table 1). 하천 및 지하수 수질항목은 수질오염공정시험기준의 시험방법을 준용하고 토양항목은 토양환경공정시험기준을 이용하였다. 2012년 4월부터 11월까지 월 1회 6차에 걸쳐 조사를 실시하였고 2013년에는 5월부터 10월까지 4회 등 총 10회 조사하였다(Table 2). 잔류의약품질은 9차 및 10차 2회에 걸쳐 마산천 유역의 축산농가 처리시설 원수 및 방류수, 하천수, 지하수, 농경지 유출수를 조사하였다.

본 연구의 조사지점은 Figure 1에서와 같이 마산천 상류의 일부 지역을 대상으로 하였으며 농경지 유출수 및 토양 시료 채취는 논산시 내 다른 지역을 선정하였다. 축산농가 개별배출시설은 마산천 상류 연무읍 소룡리 A농장과 B농장 2곳을 대상으로 개별처리시설 유입수 및 방류수를 채수하였다. A농장은 마산천 최상류에 위치하며 B농장은 A농장보다 하류에 위치하고 있다. 하천수 수질조사를 위한 시료는 A농장 방류수가 유입되는 마산천A 지점의 상류와 하류, 유입 방류수를 채수하였고, 마산천B 지점은 B농장 방류수가 길이 300 m 정도의 배수로로 거쳐 유입되고 유입지점의 상류와 하류, 배수로 유입수를 채수하였다. A농장의 지하수는 내 60 m 깊이에서 물을 끌어 올리는 관정의 수도꼭지에서 채수하였고, B농장의 지하수는 농경지 내 20 m 깊이의 관정에서 채수하였다. 농경지 유출수는 벼모종을 이앙하는 시기인 2012년 5월 2차 조사시 채수할 수 있었으나 그 시기에는 논에서 물을 가두어 놓고 있어 채수할 수 없었다. 연무읍 1지점, 연산면 1지점, 채운면 1지점 등 3개 지점을 선정하였다. 추가로 2013년 9월 9차 조사

Table 1. Investigation items and analytical methods

Items	Analytical method	Apparatus
Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb	ICP-MS method	Varian, US/820-MS
Acetylsalicylic acid, Sulfamethazine, Sulfathiazole	LC-MS/MS method	Thermo, LC-MS/MS

Table 2. Sampling schedule

Sampling number	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th
Time	'12.04.19	'12.05.29	'12.06.25	'12.08.29	'12.10.09	'12.11.08	'13.05.08	'13.07.02	'13.09.04	'13.10.30

(a) Sampling sites of individual livestock manure treatment facilities(●)



(b) Sampling sites of water qualities at stream(●), groundwater(●) and farmland effluent 2(●)



(c) Sampling sites of water qualities at farmland effluents(●)



(d) Sampling sites of agricultural soil(●)



Figure 1. Sampling sites in the Masan watershed

시 채운면 1지점 농경지 유출수를 채수하였다. 토양 조사도 농경지 유출수와 마찬가지로 벼를 경작하는 기간은 벼와 물이 눈에 차있어 토양 시료를 채취하는 것이 곤란하였다. 벼모종을 이양하기 전인 4월에 채운면 3개 지점에 대해 시료를 1회 채취하였다.

II. 연구결과 및 고찰

1. 논산시 가축분뇨 및 퇴비·액비 현황 조사

(I) 논산시 가축사육 및 오염부하량 현황

2012년 논산시 전체 축산농가는 1,069 가구이며, 한우 사육농가는 502 가구이며 사육두수는 약

14,000 마리, 축사면적은 약 27만 m²이고 사육밀도는 100 m²당 5.2 마리이다. 허가시설의 경우 강경읍에서 한우 사육밀도가 100 m²당 25 마리로 가장 높았으며 신고미만 시설에서 모두 사육밀도가 높게 나타났다. 돼지 사육농가는 186 가구에서 약 170,000 마리를 사육하고 있으며 축사면적은 약 26만 m²로 나타났다. 연무읍에서 약 59,000 마리, 광석면에서 약 44,000 마리 등 가장 많은 돼지를 사육하는 것으로 나타났고 사육밀도는 각각 100 m²당 66 마리, 71 마리로 조사되었다(Figure 2). 이들 지역에서 돼지가 많이 사육되고 있는 것은 논산훈련소가 연무읍 인근에 있어 돈육 공급이 많이 이루어지고 남은 음식물을

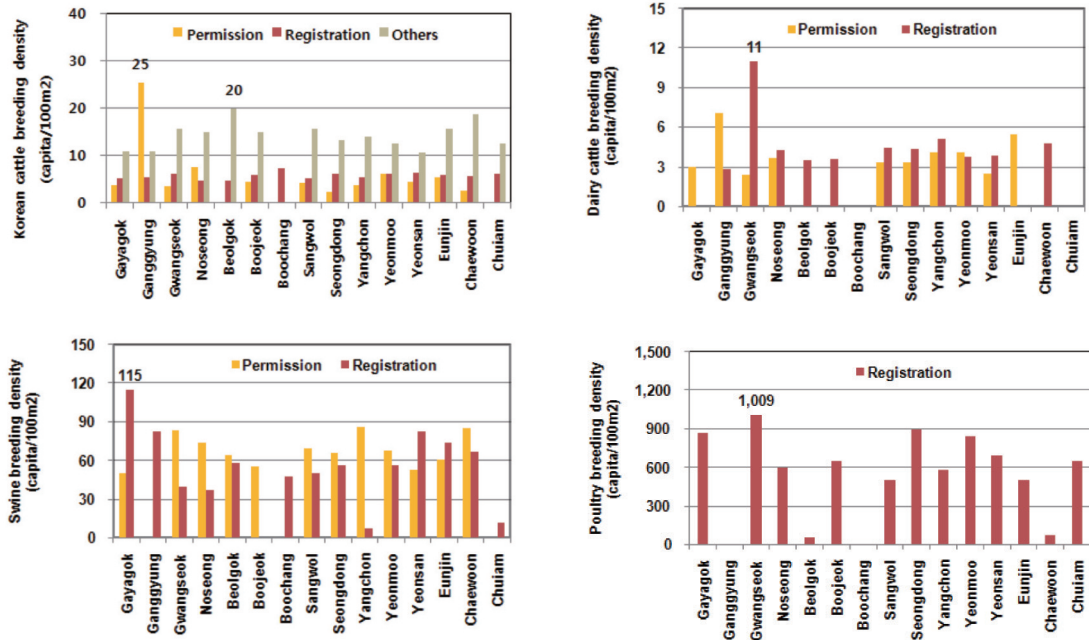


Figure 2. The status of livestock-breeding density in Nonsan city in 2012

Table 3. The status of livestock-based pollution loads in Nonsan city in 2012

Classification	Livestock manure flowrate(m ³ /day)		BOD loads(m ³ /day)		TN loads(m ³ /day)		TP loads(m ³ /day)	
	Generation	Discharge	Generation	Discharge	Generation	Discharge	Generation	Discharge
Gayagok-Myun	62.8	42.9	1,932.5	73.9	435.9	50.6	157.8	5.7
Ganggyung-Eup	14.8	11.1	294.8	14.6	72.6	10.1	24.7	1.1
Gwangseok-Myun	476.1	121.8	7,924.7	239.7	1,932.3	151.2	780.8	17.7
Noseong-Myun	158.1	119.2	2,904.6	162.1	694.9	115.9	275.1	15.8
Beolgok-Myun	50.3	38.8	705.2	39.0	181.8	30.4	74.0	4.4
Boojeok-Myun	47.9	31.4	1,608.9	99.9	360.8	58.1	120.4	5.8
Boochang-Dong	2.2	1.7	38.2	2.4	9.2	1.7	3.6	0.2
Sangwol-Myun	123.4	97.4	2,454.0	159.1	585.0	109.0	227.8	14.0
Seongdong-Myun	118.4	87.1	3,225.1	198.5	738.6	124.0	276.0	15.2
Yangchon-Myun	103.9	65.0	2,100.5	132.0	504.6	84.6	187.6	9.8
Yeonmoo-Eup	608.0	758.9	9,871.0	447.3	2,417.2	324.1	990.3	49.9
Yeonsan-Myun	153.9	106.9	2,962.8	159.3	715.2	113.8	273.2	14.1
Eunjin-Myun	74.8	54.8	1,735.0	96.5	408.7	67.3	154.3	8.0
Chaewoon-Myun	42.7	30.5	774.8	45.0	187.0	30.8	73.5	4.1
Chuiam-Dong	3.8	0.5	185.9	1.7	40.0	0.9	14.5	0.1
Sum	2,041.2	1,568.0	38,717.9	1,871.1	9,283.8	1,272.6	3,633.6	165.9

자료로 이용하기 용이하기 때문이다.

2012년 논산시 가축사육 현황을 근거로 수질오염 총량관리 기술지침에 따라 배출원단위, 연계처리 등을 고려한 오염부하량 산정결과를 Table 3에 나타내

었다. 연무읍 및 광석면에서 발생 및 배출 부하량이 모두 높았는데, 논산시 가축사육 현황에서 보였듯이 돼지 사육두수가 이들 지역에서 가장 많았고 가축분뇨 공공처리시설이 연무읍에 있기 때문이다. 발생량

이 가장 많은 연무읍에서 BOD 발생부하량 9,871 kg/day의 4.5%, TN 발생부하량 2,417 kg/day의 13.4%, TP 발생부하량 780 kg/day의 2.3%가 배출 되는 것으로 나타났다.

(2) 가축분뇨 수거 및 퇴비·액비 공급 현황

2012년 돈분뇨는 전체적으로 고르게 수거되지만 돈분은 봄철에 가장 많이 수거되는 것으로 조사되었고, 우분은 봄철에, 계분은 겨울철에 가장 많이 수거 되는 것으로 나타났다(Figure 3). 2011년 퇴비는 모

종 및 파종을 시작하기 전인 3~4월에 가장 많이 공급(시비)되었고, 퇴비는 포장하여 운반이 용이하므로 논산시 관내 이외에도 가까운 대전, 공주, 부여, 익산 등지까지 공급하는 것으로 조사되었고, 액비는 논산 계룡축산농협이 위치한 광석면과 채운면에서 공급량이 많았다(Figure 4). 2012년부터 가축분뇨의 해양 배출이 금지되고 나서 퇴비화가 증가하였는지 살펴본 결과 논산지역에서는 그 영향이 거의 없는 것으로 나타났다(Figure 5).

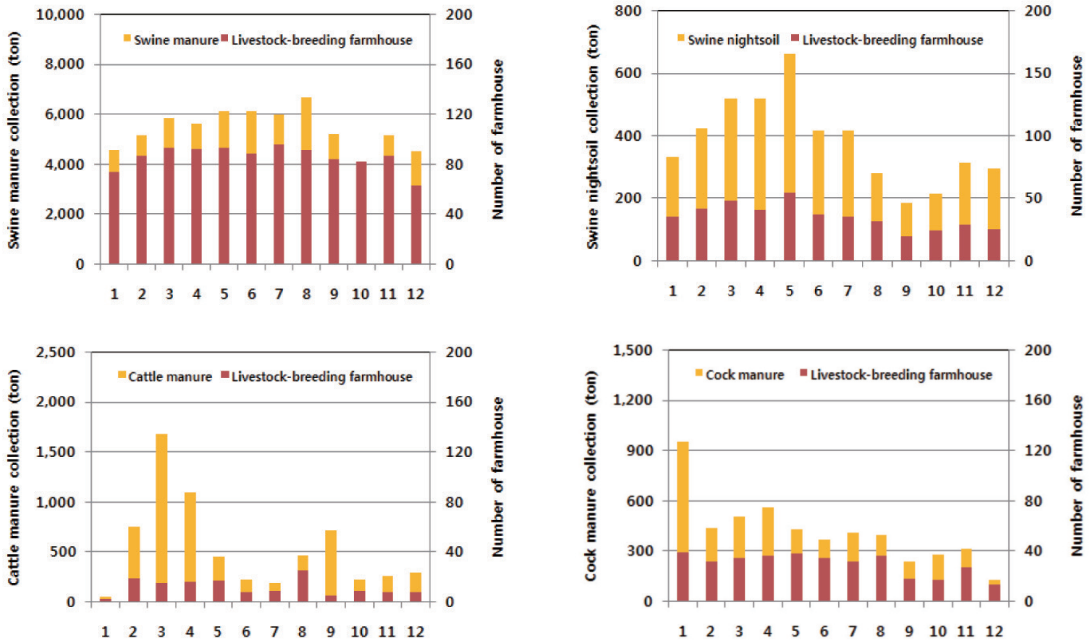


Figure 3. The status of collection for livestock manure

Source: NGNH, 2012.

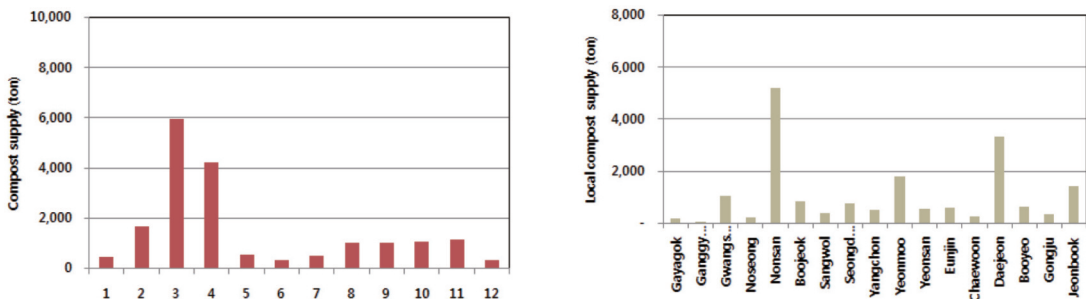


Figure 4. The status of supply for livestock manure compost

Source: NGNH, 2011.

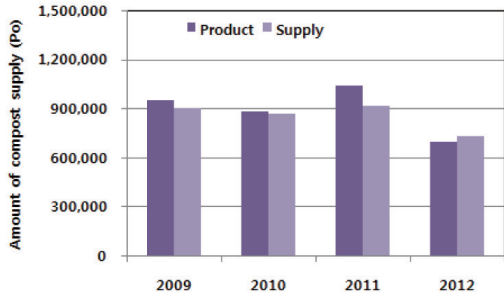


Figure 5. The status of annual supply for livestock manure compost

Source: NGNH, 2012.

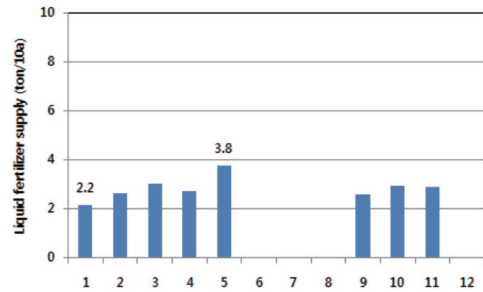
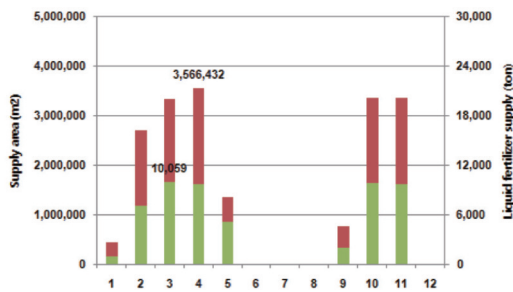


Figure 6. The status of seasonal supply for livestock manure liquid fertilizers

Source: NGNH, 2012.

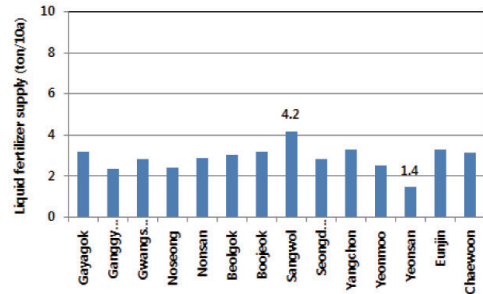
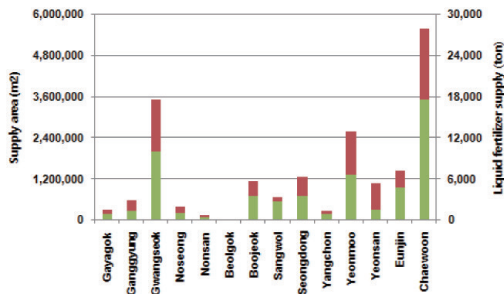


Figure 7. The status of regional supply for livestock manure liquid fertilizers

Source: NGNH, 2012.

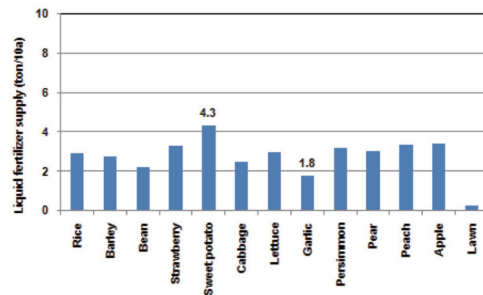
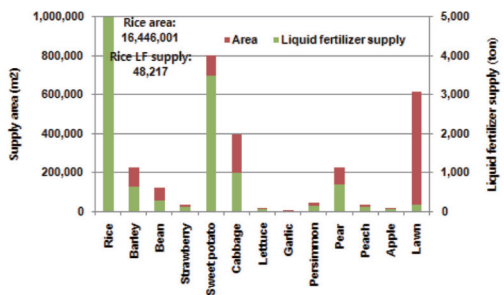


Figure 8. The status of supply by corps for livestock manure liquid fertilizers

Source: NGNH, 2012.

논산지역 전체 액비사용량은 2.9 톤/10a으로 농촌진흥청(2010)에서 발간한 가축분뇨 퇴·액비 이용기술 매뉴얼에 따라 산정한 결과, 그 중 질소비료량은 8.7 kg/10a, 인산비료량은 2.9 kg/10a, 칼리비료량은 13.1 kg/10a으로 나타났다. 2012년 액비는 봄과 가을에 대부분 살포되었으며 특히 단위면적당 액비사용량을 조사한 결과 5월에 3.8 톤/10a로 가장 높게 조사되었다(Figure 6). 논산지역 액비공급량은 채운면(17,612 톤)과 광석면(9,985 톤)이 가장 많았으며, 면적당 액비공급량으로 환산하면 4.2 톤/10a로 상월

면이 가장 높았다(Figure 7). 작물별 액비공급량(시비량)은 벼(논)로써 1,645 ha에 48,217톤을 공급하였으며 단위면적당 액비공급량이 큰 작물은 4.3 톤/10a로 고구마가 가장 많았다(Figure 8). 액비는 취급이 용이하기 때문에 논농사 및 밭농사 경종농가 모두에게 인기가 좋은 것으로 나타났다.

(3) 퇴비·액비 주요성분 현황

「비료 공정규격 설정 및 지정」 농촌진흥청고시(2010)에서 비료 규격기준에 따르면 주요 성분인 질소, 인산, 칼리 등 3 항목의 합계가 0.3% 이상이 되

도록 규정하고 있다. 2011~2013년까지 논산계룡축산농협에서 비료성분 분석기관에 의뢰하여 측정된 퇴비·액비 성분 분석결과는 Table 4 및 Table 5와 같다. 액비성분 분석결과에 의하면 질소 0.04~0.41%, 인산 0.03~0.19%, 칼리 0.13~0.52%, 칼슘(CaO) 0.02~0.15%, 고토(MgO) 0.003~0.07%의 무기물질이 존재하는 것으로 조사되었다. 또한 퇴비의 성분 중 C/N 성분이 규격기준 이내이나 다소 높게 조사되었고, 액비의 성분 중 주요 비료 성분(질소, 인산, 칼리)이 계절에 따라 개별 성분별로 변동이 크게 나타나 비료질을 안정화하여 일정한 수준의 제품을

Table 4. Analytical results of compost components of livestock manure

Classification	Public standards	2011				2012		2013						
		Mar	Jun	Sep	Dec	Mar	Aug	Jan	Feb	Apr	Jul	Aug	Sep	
Main components	Organic matter	30%↑	49.4	53.7	48.3	48.6	70.2	75.4	64.5	70.3	37.2	47.5	42.5	44.8
	Nitrogen	-	1.7	1.6	1.5	1.6	2.0	1.9	1.9	1.6	1.5	2.1	1.7	1.7
	C/N	40↓	29.1	33.6	32.2	30.4	35.1	39.7	22.1	24.1	25.5	23.2	24.9	26.4
Harmful components (mg/kg)	Arsenic	45↓	-	2.2	1.7	-	-	-	0.25	-	-	-	0.13	-
	Cadmium	5↓	-	-	-	-	-	-	-	0.18	0.28	-	-	-
	Mercury	2↓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.13	-
	Lead	130↓	4.6	4.5	8.3	3.1	4.3	0.8	-	-	4.3	3.4	1.0	2.8
	Chromium	200↓	5.3	8.0	12.0	9.5	0.8	9.8	-	-	12.5	14.6	27.7	-
	Copper	360↓	78.0	72.7	61.1	86.7	166.3	168.2	106.1	143.5	181.2	141.1	91.2	98.5
	Nickel	45↓	3.2	6.3	5.1	4.3	2.5	6.4	-	-	7.8	11.4	16.6	-
	Zinc	900↓	258.1	212.9	276.3	309.3	500.7	456.9	329.7	528.3	542.2	508.9	454.8	488.9
Others	Salt	1.8%↓	1.02	0.96	1.18	0.87	0.84	1.11	1.07	1.31	1.51	1.89	0.98	1.06
	Moisture	55%↓	30.4	27.1	32.2	31.4	39.6	39.9	35.0	45.2	43.8	35.2	45.3	41.8
	Maturation	CoMMe-100*	CM	CM	CM	CM	CM	CM	-	CM	CM	CM	CM	CM
Seed budding**		70↑	-	-	-	-	-	89.0	-	-	-	-	-	-

Source: NGNH, 2011~2013.

* 콤백(CoMMe-100) 측정법은 수분을 유지시키면 미생물이 활성화하면서 암모니아와 이산화탄소가 발생하는데 이를 젤상태의 패들과 반응시켜 색변화를 기계적으로 측정하여 부숙도를 판정하며, 부숙도는 부숙완료와 미부숙 사이에서 5등급으로 판정

** 종자발아법은 페트리디시에 무 종자 30개를 넣어 5일후 무순의 발아율과 뿌리길이를 측정하여 발아지수(GI)를 산정하고 이 지수가 70 이상이면 부숙완료로 판정

Table 5. Analytical results of liquid fertilizer components of livestock manure

Classification	Public standards*	2011		2012		2013							
		Mar	Sep	Aug	Sep	Mar	Apr	Jun	Aug	Sep-1	Sep-2		
Main components (%)	Nitrogen	Sum of each component 0.3%↑	0.10	0.32	0.04	0.08	0.37	0.41	0.40	0.04	0.18	0.11	
	P ₂ O ₅		0.14	0.07	0.06	0.03	0.11	0.05	0.09	0.04	0.04	0.19	
	K ₂ O		0.23	0.24	0.18	0.26	0.30	0.31	0.52	0.13	0.44	0.39	
	CaO		-	0.15	0.12	0.025	0.02	0.15	0.07	-	0.02	-	-
	MgO		-	0.07	0.02	0.01	0.003	0.04	0.01	-	0.02	-	-

Table 5. Continued

Classification	Public standards*	2011		2012		2013						
		Mar	Sep	Aug	Sep	Mar	Apr	Jun	Aug	Sep-1	Sep-2	
Harmful components (mg/kg)	Arsenic	5↓	-	-	-	-	-	1.50	-	-	-	0.05
	Cadmium	0.2↓	-	-	0.05	0.18	-	0.19	0.05	0.18	0.05	-
	Mercury	0.2↓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Lead	15↓	-	-	-	-	-	0.45	0.13	-	0.07	0.08
	Chromium(Cr ⁶⁺)	30↓	(0.08)	(0.06)	(0.41)	(0.31)	(0.37)	(0.45)	1.86	(0.11)	0.66	0.75
	Copper	50↓	18.68	36.67	4.61	3.09	9.19	6.70	7.73	1.93	7.69	15.85
	Nickel	5↓	0.41	0.19	0.27	0.67	0.97	1.14	1.72	0.47	0.77	1.48
	Zinc	130↓	53.63	36.67	10.76	13.11	48.40	37.39	22.1	7.04	40.77	90.56
Others (%)	Salt(Na ₂ O)	0.3%↓	0.06	0.07	0.05	0.08	0.09	0.10	0.19	-	0.15	0.18
	Moisture	95%↑	-	-	-	-	-	-	96.3	-	97.5	97.3
Heavy metals (mg/kg)	Iron	-	121.34	91.09	25.85	26.13	110.10	55.39	-	12.39	-	-
	Manganese	-	15.3	10.29	3.44	2.49	16.69	8.91	-	2.59	-	-
	Boron	-	6.91	1.78	4.70	6.99	2.71	4.75	-	5.48	-	-
	Aluminium	-	27.5	17.95	8.32	2.15	39.21	17.35	-	2.55	-	-

Source: NGNH, 2011~2013.

만들어 내는 것이 필요하다. 동일한 수준의 양분을 갖는 퇴비·액비 제품은 경작지에서 필요로 하는 성분의 부족량에 맞게 시비할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 시범지역 가축분뇨 및 퇴비·액비로 인한 환경영향 조사결과

2012년 4월부터 11월까지 6회, 2013년 5월부터 10월까지 4회에 걸쳐 총 10회 시료를 채수하여 수온, 전기전도도, pH, DO 등 현장항목, BOD, COD, SS, TOC 등 일반항목, TN 및 TP 계열 등 영양염류, Cu, Zn, Ni 등 금속성분, Na, Mg, Cl, SO₄ 등 무기물질, 잔류의약품물질을 조사하였다. 본 논문에서는 금속성분과 잔류의약품물질에 대해 고찰하였다.

가축분뇨 및 환경(하천·지하수·토양) 조사·분석 자료를 검토한 결과 간헐적으로 방류하는 축산농가 개별처리시설 방류수와 퇴비·액비를 이용하는 농경지 유출수가 주변 하천, 지하수, 토양에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 나타났다. 이는 산림지역이 크게 차지하는 강경천의 소지류인 마산천 상류지역을 대상으로 조사하였기 때문에 가축분뇨의 배출과 퇴비·액비의 사용이 환경에 미치는 영향이 작음으로 판단되었다.

(1) 금속성분

Ni은 가축사료의 항생제에 포함되어 있는 성분으로 현재 사료에 항생제 사용을 금하였기 때문에 주사로 가축에 주입되어 뇨의 형태로 배출된다. 또한 Cu와 Zn은 가축의 성장촉진제로 사용되며 먹는물 수질기준의 심미적 영향물질로 관리하고 있다. As, Cd, Pb는 “수질 및 수생태계 환경기준” 중 하천에서 사람의 건강보호 기준, 지하수 환경기준, 먹는물 수질기준, 토양오염기준에 규정된 유해물질이다.

Ni은 두 축산농가 가축분뇨 개별처리시설의 원수에서 63.7~278.3 µg/L, 방류수에서 2.5~21.9 µg/L, 축산농가의 지하수에서 0.24~0.64 µg/L, 하천수에서 0.21~4.91 µg/L, 농경지 유출수에서 1.20~3.22 µg/L의 범위에서 조사되었다. Ni은 정해진 환경기준이나 수질기준이 없어 계량적으로 농도의 높고 낮음을 비교하기 어려웠으며 WHO의 먹는물 수질관리 지침(환경부, 1998)에 따르면 지하수나 먹는물에서 수백 µg/L 수준까지 존재한다고 한다.

Cu는 먹는물 수질기준에 1 mg/L(1,000 µg/L) 이하로 정해져 있다. 두 축산농가의 원수를 제외하고는 모든 시료에서 먹는물 수질기준 이하로 조사되었다. Zn은 먹는물 수질기준에서 3 mg/L(3,000 µg/L)

이하로 규정하고 있다. Cu와 마찬가지로 두 축산농가의 원수에서 먹는물 수질기준 이상으로 조사되었으나 대부분 이 기준 이하로 조사되었다.

As는 하천에서 사람의 건강보호 기준으로 50 µg/L 이하로 정하고 있고, 마산천 두 지점에서 0.6~4.2 µg/L로 기준보다 낮게 나타났다. 지하수의 생활용수 환경기준에서도 하천 환경기준과 마찬가지로 50 µg/L 이하로 정하고 있어 0.13~1.32 µg/L의 범위에서 조사되어 이 기준보다 낮은 값을 나타냈다. 또한 As는 농경지유출수 1.8~5.3 µg/L, 농장의 방류수 1.0~6.4 µg/L로 나타나 모든 시료에서 이들 기준보다 낮은 값을 나타냈다.

Cd은 이파이이파이병을 일으키며 하천에서 사람의 건강보호 기준 및 먹는물 수질기준으로 5 µg/L로 정하고 있다. 마산천 유역에서 조사한 결과 축산농가의 방류수에서 0.007~0.577 µg/L, 하천에서 0.004~0.467 µg/L, 농경지유출수에서 0.011~0.047 µg/L로 나타나 이들 기준보다 낮은 값을 갖는 것으로 조사되었다. 또한 지하수의 생활용수 환경기준으로 10 µg/L 이상으로 정하고 있으며, 0.002~0.017 µg/L로 나타나 이 기준보다 매우 낮은 값을 갖는 것으로 조사되었다.

Pb은 먹는물 수질기준 10 µg/L 이하, 하천에서 사람의 건강보호 기준 50 µg/L 이하, 지하수의 생활용수 환경기준 100 µg/L 이하로 정하고 있다. Pb은 축산농가의 방류수에서 0.3~11.4 µg/L, 하천에서 0.5~9.2 µg/L, 지하수에서 0.019~2.373 µg/L, 농경지유출수에서 1.3~10.0 µg/L로 조사되어 축산농가의 방류수 및 농경지유출수 일부 시료를 제외하고 나머지 모든 시료에서 낮은 값을 갖는 것으로 조사되었다.

경작지 토양에서 금속성분을 분석한 결과 토양오염우려기준의 1지역 기준보다 매우 낮은 값을 갖는

것으로 조사되었다. 토양에서 Ni은 5.6~8.5 mg/kg(1지역 토양오염우려기준 100 mg/kg 이하), Cu는 8.5~12.3 mg/kg(같은 기준 150 이하), Zn은 35.2~67.1 mg/kg(같은 기준 300 이하), As는 3.6~4.2 mg/kg(같은 기준 25 이하), Cd은 0.062~0.086 mg/kg(같은 기준 4 이하), Pb은 11.1~16.6 mg/kg(같은 기준 200 이하)의 범위에서 조사되었다. 퇴비·액비를 시비하지 않은 토양1 지점보다 시비한 토양2·토양3 지점에서 Ni, Cu, Zn, Pb의 농도가 1.0~1.9배 정도 높게 조사되었으나 As, Cd은 오히려 낮게 나타나 퇴비·액비 시비에 따른 영향 여부를 판단하기 곤란하였다.

(2) 잔류의약품질

잔류의약품질 중 항생물질 사용현황은 Table 6에 나타내었는데 2011년 7월부터 가축의 배합사료에서 항생물질 사용이 전면 금지되기 때문에 사용량이 점차 감소하고 있다. Acetylsalicylic acid는 진통제 또는 소염제로 사용되며, Sulfamethazine과 Sulfathiazole은 항생물질로 사용된다.

기존 연구에서 처리시설, 하천수에서 의약품질이 검출된 사례를 조사한 결과, 국립환경과학원(2011b)이 수행한 연구에서 하천수에서 Acetylsalicylic acid 0.012~1.181 µg/L, Sulfamethazine 0.004~0.309 µg/L, Sulfathiazole 0.012~0.961 µg/L 등의 의약품질이 검출되는 것으로 조사되었으며, 국립환경과학원에서 2006년 수행한 연구에서 하수처리시설에서 Acetylsalicylic acid가 원수에서 불검출~88.99 µg/L, 방류수에서 불검출~6.73 µg/L 범위에서 검출되는 것으로 나타났다. 또한 가축분뇨 공공처리시설에서 Sulfamethazine이 원수에서 불검출~658.511 µg/L, 방류수에서 불검출~1.856 µg/L 범위에서 검출되고, Sulfathiazole이 원수에서 0.193~2,293.934 µg/L, 방류수에서 불검출~4.077 µg/L 범위에서 검

Table 6. Annual status of antibiotic use for livestock (unit: kg)

Antibiotics	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Sulfamethazine	33,812	20,098	26,864	28,308	27,731	24,024	19,390	19,472	17,067
Sulfathiazole	134,517	123,596	96,403	122,496	103,868	106,523	86,886	28,314	48,481

Source: MAFRA · NVRQS, 2011.

Table 7. Analytical results of POPs in the Masan watershed

Classification		Acetylsalicylic acid ($\mu\text{g/L}$)		Sulfamethazine ($\mu\text{g/L}$)		Sulfathiazole ($\mu\text{g/L}$)	
Quantitative limits		0.50		0.05		0.05	
Sampling time		9th	10th	9th	10th	9th	10th
A farmhouse	Livestock manure	-	67.47	-	17.70	-	2,205.95
	Effluent	-	38.47	-	1.17	-	174.09
	Groundwater	-	ND	-	ND	-	ND
B farmhouse	Livestock manure	-	6,332.01	-	3.01	-	289.04
	Effluent	-	14.24	-	2.96	-	2.25
	Groundwater	-	ND	-	ND	-	ND
Stream	Upflow of A	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Downflow of A	ND	ND	ND	ND	ND	1.63
	Upflow of B	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Downflow of B	ND	ND	ND	ND	ND	0.41
Effluent from	-	ND	-	ND	-	ND	-

출되는 것으로 조사되었다.

본 연구에서 9차 및 10차 조사시 마산천 유역에서 가축분뇨에 사용된 잔류의약품질 분석결과, 축산농가 배출시설 원수에서 Acetylsalicylic acid 67.47 및 6,332.01 $\mu\text{g/L}$, Sulfamethazine 3.01 및 17.70 $\mu\text{g/L}$, Sulfathiazole 289.04 및 2,205.95 $\mu\text{g/L}$ 로 검출되었고, 방류수에서 Acetylsalicylic acid 14.24 및 38.47 $\mu\text{g/L}$, Sulfamethazine 1.17 및 2.96 $\mu\text{g/L}$, Sulfathiazole 2.25 및 174.09 $\mu\text{g/L}$ 로 검출되었다. 지하수와 농경지 유출수에서 이들 잔류의약품질은 검출되지 않았으며, 하천수에서 항생물질인 Sulfathiazole이 소량으로 검출되었다(Table 7). 가축분뇨 허가·신고대상 개별처리시설의 방류수에서 잔류의약품질에 대한 지속적인 모니터링을 통하여 검출여부를 조사하는 것이 필요하다.

III. 결론

가축분뇨에 의해 발생하는 환경 영향을 파악하기 위해 논산지역을 연구대상으로 가축사육 및 오염부하량, 가축분뇨 개별배출시설 및 공공처리시설 현황 및 퇴비·액비에 대한 생산·공급·성분 현황을 조사하고, 가축분뇨 및 퇴비·액비 살포로 인한 마산천 유역의 하천, 지하수, 토양 등 환경 영향에 대한 전 과정을 시범 조사한 결과는 다음과 같다.

시범지역의 하천수에서 유해물질인 As는 0.13~1.32 $\mu\text{g/L}$, Cd은 0.004~0.467 $\mu\text{g/L}$, Pb은 0.5~9.2 $\mu\text{g/L}$ 의 범위에서 검출되었으며 수질 및 수생태계의 하천 환경기준 중 사람의 건강보호 기준보다 낮은 값을 갖는 것으로 나타났다. 즉, 시범지역에서 가축분뇨 및 퇴비·액비 사용에 따른 지하수 및 토양 등 주변 환경에 대한 중금속의 영향은 나타나지 않았다. 시범지역 축산농가 개별처리시설 방류수에서 일부 잔류의약품질이 검출(Acetylsalicylic acid 14.24~38.47 $\mu\text{g/L}$, sulfamethazine 1.17~2.96 $\mu\text{g/L}$, sulfathiazole 2.25~174.09 $\mu\text{g/L}$)되었고, 하천수에서 sulfathiazole이 소량 검출(ND~1.63 $\mu\text{g/L}$)되어 개별 및 공공처리시설에서의 잔류의약품질 모니터링이 필요한 것으로 나타났다.

본 연구의 결과를 토대로 가축분뇨 통합환경관리 시스템을 통한 가축분뇨 관리지역 선별에 따라 가축분뇨 환경오염 실태조사 시 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

사사

국립환경과학원의 “가축분뇨에 의한 환경영향 시범조사” 연구사업 수행에 협조하여 주신 논산계룡축산농협 장장님을 비롯한 직원께 감사드리며, 특히 김완주님, 박경수님께 감사드립니다.

참고문헌

- 경기개발연구원, 1998, 가축분뇨가 하천의 수질에 미치는 영향분석 및 개선대책의 제시.
- 고한중, 최홍림, 김기연, 이용기, 김치년, 2006, 액상 가축분뇨의 처리 및 토양환원에 따른 악취 및 악취물질의 평가, 한국동물자원과학회지, 48(3), 453-466.
- 국립농업과학원, 2012, 가축분뇨의 농경지 투입에 따른 수질특성 변화양상 구명.
- 국립환경과학원, 2006, 환경중 의약품질 분석방법 및 노출실태 조사(I).
- 국립환경과학원, 2011a, 낙동강 축산계 오염원 TOC 원단위 마련 및 오염물질 배출경로 구명 개선연구.
- 국립환경과학원, 2011b, 잔류의약품질 분석방법 연구 및 실태조사(IV).
- 금강수계관리위원회, 국립환경과학원, 2008~2009, 가축분뇨 자원화물의 유출특성 및 저감방안 연구.
- 금강수계관리위원회, 국립환경과학원, 2011, 퇴비·액비 살포 시 수질에 미치는 영향 조사 및 최적 관리방안 연구.
- 김민경, 권순익, 강성수, 한민수, 정구복, 강기경, 2011, 돈분뇨 액비가 시용된 논토양 특성 변화, 유기물자원화, 19(4), 97-105.
- 김필주, 이용복, 이연, 윤홍배, 이경동, 2008, OECD 양분수지를 이용한 축산선진국의 농경지 축산분뇨 이용실태 평가, 한국환경농학회지, 27(4), 337-342.
- 농림수산식품부, 국립수의과학검역원, 2011, 2010년도 축산 항생제내성균 감시체계 구축 보고서.
- 농촌진흥청, 2010, 가축분뇨 퇴·액비 이용기술 매뉴얼.
- 농촌진흥청, 2010.03.29, 「비료 공정규격 설정 및 지정」, 고시 제2010-8호.
- 안태웅, 최이송, 오종민, 2008, 가축분뇨의 자원화 용량평가에 관한 연구, 환경영향평가, 17(5), 311-320.
- 임재명, 이영신, 한기봉, 2009, 농지 주입시 배출특성에 대한 축분자원화물 연구, 유기물자원화, 17(4), 91-102.
- 최홍림, 손재호, 류순호, 1996, 가축분뇨수의 무단 방류가 셋강오염에 미치는 영향, 농촌계획, 2(1), 69-78.
- 환경부, 2003, 축산폐수 배출시설 및 처리시설 관리개선 방안 연구.
- 환경부, 2012a, 환경백서.
- 환경부, 2012b, 「가축분뇨 관리 선진화 종합대책」.
- 환경부, 2013, 「가축분뇨 에너지화 대책」.
- 梅本英之, 宮川修, 2003, 施肥法別水田窒素排出量の定量的評価, 日土肥誌, 74, 665-668.
- 園田敬太郎, 徳田祐二, 岡本佐知子, 田中靖志, 北野毫, 大橋恭一, 1997, 水田からの築養塩類發生負荷量(第1報), 水田作付期間の水田群築養塩類發生負荷量について, 滋賀縣農業試験報告, 38, 57-65.
- Alberta Agriculture and Agri-Food Canada, 2006, A survey of nutrients and major ions in shallow groundwater of Alberta's agricultural areas.
- McGrath, S.P., Chang, A.C., Page, A.L., 1994, Land application of sewage sludge: Scientific perspective of heavy metal loading limits in Europe and the United States, Environmental Review, 2, 108-118.
- Ontario Ministry of the Environment, 1989, Impacts of livestock manure on water quality in Ontario(An appraisal of current knowledge).
- Peters, J., Combs, S., Hoskins, B., Jarman, J., Kovar, J., Watson, M., Wolf, A., Wolf, N., 2003, Recommended methods of manure analysis, The Board of Regents of the University of Wisconsin System.
- US EPA, 1992, Technical support document for land application of sewage sludge, Volume I. Eastern research group,

Lexington.

Vu, T.K.V., Tran, M.T., Dang, T.T.S., 2007, A survey of manure management on pig farms in Northern Vietnam, *Livestock Science*, 112, 288-297.

Waithaka, M.M., Thornton, P.K., Shepherd, K.D., Ndiwa, N.N., 2007, Factors affecting the use of fertilizers and manure by smallholders: the case of Vihiga, western Kenya, *Nutr. Cycl. Agroecosyst*, 78, 211-224.

〈약어정리〉

POPs(잔류의약물질): Persistent Organic Pollutants

NGNH(논산계룡축산농협): Nonsan-Gyeryong Livestock-breeding and Agricultural Cooperative Federation

CM(부숙완료): Complete Maturation

MAFRA(농림수산식품부): Ministry of Agricultural, Food and Rural Affairs

NVRQS(국립수의과학검역원): National Veterinary Research and Quarantine Service