

TECHNICAL NOTE

가축분뇨실태조사를 위한 우선 조사 대상지역 선정 방안 도출

류흥덕 · 박배경 · 정유진* · 안기홍 · 최원식 · 김용석 · 류덕희
국립환경과학원

Determination of Prior Areas for Livestock Excreta Pollution Survey

Hong-Duck Ryu, Bae Kyung Park, Eu Gene Chung*, Ki Hong Ahn, Won-Sik Choi,
Yongseok Kim, Doughee Rhew

National Institute of Environmental Research, Incheon 22689, Korea

Abstract

The purposes of this study were to suggest the methodology to select prior areas in the environmental pollution survey for livestock excreta (EPSLE) as well as to elucidate the validity of the methodology. In this study, the prior areas in the EPSLE were determined by examining the number of compost facilities categorized according to the three levels of size including the basin, the sub-basin and the watershed, respectively, based on the data from "Annual Nation-wide Pollution Sources Survey (2012)". The results suggested that the list of prior basins were Nakdong, Geum, Youngsan and Han river basins in order. Also, it was examined that the prior sub-basins in the four river basins including Nakdong, Geum, Youngsan and Han rivers were Naesung Stream, Geumgang Gongju, Juam Dam and Namhan Downstream, respectively. The prior watersheds in the sub-basins of Naesung stream, Geumgang Gongju, Juam Dam and Namhan Downstream were Seocheon Downstream, Geum Stream, Gyeombaek Suwipyo and Yanghwa Stream, respectively. The validity of the methodology used in this study was elucidated by analyzing the correlation of the number of compost facilities with the concentrations of T-N and T-P observed in the end-points of sub-basins. The results of correlation analysis showed that the concentrations of T-N and T-P increased with the number of compost facilities. Specifically, there was the stronger correlation between the number of compost facilities and the concentrations of T-N than that for T-P. Consequently, it was proved that the methodology used in this work was valid and rational for the selection of prior areas in environmental pollution survey for EPSLE.

Key words : Prior area, Environmental pollution survey, Livestock excreta, Compost facility, Four river basin, Watershed, T-N, T-P

1. 서론

환경부에서 발간한 2014 환경백서에 의하면 2013년 말 현재 주요 축종(한우, 젓소, 돼지, 닭)의 경우 13만8천여 축산농가에서 16,459만두의 소, 돼지 등을 사육하

고 있으며, 전년에 비해 한우·돼지 사육은 다소 감소하고, 젓소와 닭은 늘고 있다. 또한 가축사육 두수가 증가됨에 반해 축산 농가는 감소하고 있어 전업화, 기업화 추세가 지속되고 있는 실정이다(Ministry of Environment, 2014). 한편 주요 축종의 가축분뇨 발생량은 126,264

Received 10 July, 2015; Revised 10 August, 2015;

Accepted 13 August, 2015

*Corresponding author: Eu Gene Chung, Watershed and Total Load Management Division, National Institute of Environmental Research, Incheon 22689, Korea
Phone: +82-32-560-7384
E-mail: egchung@korea.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© 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.

m³/일이며, 이 중 돼지 50,551 m³/일, 한우 39,977 m³/일, 젖소 15,985 m³/일, 닭 19,751 m³/일로 돼지사육 농장에서 발생하는 가축분뇨가 40 %로 가장 많은 양을 차지하고 있다(Ministry of Environment, 2014). 이렇게 발생하는 가축분뇨의 89 %는 자원화시설에서 퇴비·액비로 처리가 되고 있고, 11 %는 개별시설이나 공공처리시설을 통해 정화 처리되고 있어 가축분뇨의 대부분을 자원화 처리에 의존하고 있는 실정이다(Ministry of Environment, 2014).

하지만 가축분뇨를 퇴비·액비로 자원화 하는 현 가축분뇨 정책은 자원화라는 긍정적 측면의 이면에 환경에 여러 가지 부정적인 영향을 주고 있는 것이 현실이다. 통제되지 않는 상황에서 농경지에 퇴비·액비의 무분별한 살포는 필요 이상의 양분(질소 및 인 등)이 토양에 과잉으로 축적되어 강우 시 지하수 및 주변 하천, 호소로 유입되어 수질을 악화시킬 우려가 매우 농후하다. 실제로 우리나라의 양분수지(양분 잉여량)는 다른 OECD 국가에 비해 상당히 높은 편에 속한다(Kim 등, 2005; Kim 등, 2008). 한국농촌경제연구원 자료에 의하면 우리나라 농지 ha당 양분 초과율(양분수지)은 2001년에 질소, 인산이 각각 82.1 %, 57.8 %로 최하수준에 이르렀다가 다시 증가하여 2004년에 각각 105.8 %, 78.6 %에 이르고 있는 것으로 보고되고 있다(Kim 등, 2005). 농지에 과잉으로 축적된 양분 중 질소 및 인은 하천 및 호소로 유입될 경우 용존산소의 고갈 및 부영양화의 주요 원인이 된다(Neal과 Heathwaite, 2005; Dupas 등, 2015). 특히, 가축분뇨에 고농도로 함유되어 있는 암모니아성 질소(NH₄-N)는 수생태계에서 독성을 유발시키기 때문에 적정량의 퇴비·액비 살포는 매우 중요하다고 할 수 있다(Georgieva 등, 2010; Alonso과 Carmargo, 2011; Ferretti와 Calesso, 2011). 오염 부하량 측면에서도 가축분뇨에 함유된 유기물, 질소 및 인 농도가 매우 높기 때문에 비록 적은양이 환경에 유입되어도 그 영향은 크다고 예측할 수 있다. 농촌진흥청의 가축분뇨의 농경지 사용 시 환경영향평가 및 모델 개발에 관한 연구에 따르면 가축분뇨 액비가 사용된 논에서 질소수지에 따른 수질영향평가 결과 N 시비량을 163 kg/ha 이상을 투입할 경우 환경에 부하를 주는 것으로 예측하였다(Rural Development Administration, 2012). 미국의 경우에 있어서도 가축분뇨 자원화로 발생한 퇴비·액비 및 화학비료의 농

경지 살포가 하천을 오염시키는 주요 비점오염원임을 강조한 바 있다(Puckett, 1995). Shin 등(2006)은 기저유출에 의한 하천 수질 오염을 강조한 바 있는데 이들의 연구 결과로 볼 때 퇴비·액비의 농경지 살포는 강우 시 지하로 유입되어 기저유출로 인한 하천의 수질오염을 야기시킬 가능성이 매우 농후하다고 판단된다. 팔당상수원 지역에서의 축산에 의한 수질오염 실태조사와 관련된 연구에서 Ahn 등(2001)은 우기 시 축사근처의 가축분뇨나 퇴비더미의 일부 성분이 빗물에 의해 용탈되어 하천으로 유입된다고 기술하였다. 익산왕궁지역 축사 부근 하천 오염 현황을 조사한 환경부 보고서에 따르면 가축분뇨로 인하여 주변하천이 심각하게 오염된 것으로 나타났다(Ministry of Environment, 2010).

위 결과를 고려할 때 가축분뇨의 자원화와 이를 농경지에 살포함에 따른 환경적인 영향이 크다고 예측되는 반면 퇴비·액비 발생량, 퇴비·액비가 농지에 적용되는 양, 토양에 축적된 양분량 및 퇴비·액비에 포함된 양분이 지하수나 주변 하천으로 유입되는 양 등에 대한 정보는 거의 전무한 상황이기 때문에 퇴비·액비 살포와 이로 인한 환경 영향 실태 파악이 매우 어려운 것이 현실이다. 이에 환경부는 최근 “가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률”(이하 “가축분뇨법”) 제7조제1항에서 농림축산식품부장관, 환경부장관, 시·도지사, 특별자치시장 또는 특별자치도지사는 가축분뇨의 관리 및 이용과 관련된 정책을 효율적으로 수립·추진하기 위하여 농경지에 포함된 비료의 함량, 비료의 공급량 및 가축분뇨 등으로 인한 환경오염의 실태 등을 조사(가축분뇨실태조사) 할 수 있도록 법을 개정(개정 2014.3.24.) 한 바 있으며, 같은 법 시행령 제4조제2항(본조신설 2015.3.24.)에서 조사대상 지역에 대하여 규정하고 있다.

하지만 시행령에서 규정하고 있는 조사대상 지역은 가축분뇨, 퇴비·액비 등으로 인하여 수질, 토양, 지하수 등의 환경이 오염되었거나 오염될 가능성이 크다고 인정하는 지역, 주거 밀집 지역으로 생활환경의 보호가 필요한 지역, 상수원보호구역, 특별대책지역 등 조사대상 지역의 범위가 넓고 구체적이지 않아 실질적인 조사가 어려운 실정이다. 따라서 법 개정에 따른 “가축분뇨실태조사”를 효율적으로 수행하기 위해서는 우선 조사대상 지역 선정에 대한 방법론이 선행 연구 되어져야 할 필요성이 있다. 현재까지 우선 조사대상 지역 선정과 관련하여

구체적인 방법론이 제시된 바는 없지만 비점오염원을 대상으로 하여 AHP(analytic hierachy process) 의사결정에 의한 오염영향 지수 산출을 이용한 정성분석 방법 등이 제시된 바 있다 (Ministry of Agriculture, 2007; Jang 등, 2012). 특히 Jang 등(2012)은 새만금 유역을 대상으로 호소의 부영양화를 유발하는 비점오염원 중 T-P를 기준으로 정성적 비점오염원 영향지수 NPSI(non-point source index)를 산정하여 비점오염원대책 우선지구(동·리 단위)를 선정하였다. AHP 의사결정에 의한 오염영향 지수 산출을 이용한 정성 분석 방법은 전문가에 의해 비점오염원 유발에 미치는 지표표를 선정하고 지표간의 가중치를 산정하여 오염영향 지수 도출을 통해 우선 지역을 선정하는 방법이다. 하지만 AHP 의사결정에 의한 오염영향 지수 산출 방법은 지표간의 독립성 미확보, 계층 수준의 부적절성 등으로 분석결과의 불확도가 높아 질 수 있는 단점이 있다.

본 연구에서는 오염에 기여하는 여러 인자들 중 가축분뇨의 89 %가 자원화 되고 있는 현실을 감안하여 자원화 비율이 높은 지역일수록 주변 환경을 오염시킬 가능성이 크다고 보고 이를 기준으로 대권역, 중권역 및 소권역 우선 조사 대상지역을 선정하고자 하였다. 특히, 자원화의 경우 자체처리를 통해 발생하는 퇴비·액비의 대부분이 그 지역 농경지에 살포되는 경향이 많기 때문에 자원화 시설 개수와 주변 환경오염과의 상관관계는 매우 높을 것으로 판단된다. 따라서 자체처리를 하는 자원화 시설 개수를 기준으로 우선 조사대상 지역을 선정하고자 하였으며, 가축분뇨 자원화 중 비율이 높은 퇴비화 시설 개수와 주변 인근 하천 및 호소의 T-N 및 T-P 농도와 상관관계 분석을 통하여 본 연구에서 사용한 방법론의 타당성을 검증하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 전국 축종 및 수계별 가축분뇨 자원화 현황

전국 축종별 가축분뇨 처리실태 분석은 최근 3년간(2011-2013년) 통계청 통계 자료를 활용하여 한우, 육우(젓소 수컷 포함), 젓소암컷, 돼지, 육계, 산란계 및 오리 를 대상으로 하여 축종별 가축분뇨 자원화 현황 분석을 실시하였다(http://kostat.go.kr, 2014).

전국 수계별 가축분뇨 자원화 현황은 2012년 기준 전

국오염원 원시 자료를 분석하여 대권역, 중권역, 소권역 별 및 각 권역별 가축 농가 규모별로 허가대상, 신고대상, 신고미만 시설로 나누어 가축분뇨 자원화 현황을 파악하였다(National Institute of Environmental Research, 2014). 중권역별 가축분뇨 자원화 현황 파악은 대권역별 자원화 현황 파악을 마친 후 자원화 비율이 가장 높은 권역을 선정한 후 해당 대권역 범위에 속해 있는 중권역 지점을 대상으로 자원화 현황을 파악하고자 하였으며, 자원화 시설 중 대부분을 차지하고 있는 퇴비화 처리 시설을 대상으로 실태파악을 하였다. 소권역별 가축분뇨 자원화 처리 현황 역시 자원화 비중이 높은 퇴비화 시설을 대상으로 조사를 실시하였으며, 중권역별 퇴비화 처리율이 가장 높은 중권역 지역 내에서 소권역 조사 대상 지역을 선정하고자 하였다. 중권역별 조사대상 지역은 Table 1에 나타내었으며, 각 지점별로 번호를 배당하였다.

2.2. 가축분뇨 자원화가 주변 하천 및 호소의 T-N 및 T-P 농도에 미치는 영향

가축분뇨 자원화가 주변 하천 및 호소의 수질에 미치는 영향을 조사하기 위해서 중권역 지점 중 퇴비화 시설이 많은 지역, 보통인 지역, 적은 지역 중 대표할 만한 지역을 수계별로 선정하여 이들 지역의 퇴비화 시설개수와 주변 하천의 T-N 및 T-P 농도와 상관관계를 규명하고자 하였다. 하천 및 호소의 T-N 및 T-P 농도는 해당 중권역 말단 지점의 최근 3년간(2011-2013) 산술평균한 자료를 사용하였으며, 해당 자료는 물환경정보시스템으로부터 확보하여 사용하였다(http://water.nier.go.kr/main/, 2014).

3. 결과 및 고찰

3.1. 전국 축종별 가축분뇨 자원화 현황에 따른 우선 조사대상 지역 선정 방안

2011-2013년도 통계청 통계자료에 따르면 축종별 가축분뇨 처리 실태는 Table 2와 같다(http://kostat.go.kr, 2014). 정화처리보다는 자원화(퇴비·액비) 처리 비율이 매우 높은 것을 알 수 있으며, 축종에 관계없이 가축분뇨의 퇴비화 처리 비율이 가장 높은 것을 알 수 있다. 최근 3년간(2011-2013) 축종별 가축분뇨 자원화 현황을 구체적으로 살펴보면 한우 농가의 경우 다른 축종에 비

Table 1. Sub-basin locations in the four river basins including Han, Geum, Nakdong and Yongsan rivers

Location number	Four river basins			
	Han river	Geum river	Nakdong river	Yongsan river
1	Gangneungnamdae Stream	Gap Stream	Gahwa Stream	Gomakwon Stream
2	Gyeongang Stream	Geumgang Gongju	Gam Stream	Geumsanmyeon
3	Namhan Upstream	Hangang Seohae	Geojaedo	Boseong River
4	Namhan Downstream	Geumgang Estuary Bank	Geumho River	Seonjingang Dam
5	Dal Stream	Nonsan Stream	Nakdonggang Namhae	Seomjingangdam Downstream
6	Samcheokosip Stream	Daecheong Dam	Nakdonggang Estuary Bank	Seomjingang Seonamhae
7	Seom River	Daecheong Upstream	Nakdong Goryeong	Seonjingang Downstream
8	Soyang River	Daecheong Downstream	Nakdong Gumi	Seomjin Gokkseong
9	Sihwa Lake	Daeho Seawall	Nakdong Milyang	Sueo Stream
10	Ansung Stream	Dongjin River	Nakdong Sangju	Sunchang
11	Yangyangnamdae Stream	Mangyeong River	Nakdong Waegwan	Sinangun
12	Uiam Dam	Mujunamdae Stream	Nakdong Changnyeong	Yeoju
13	Inbuk Stream	Miho Stream	Nam River	Youngsangang Upstream
14	Imjin Upstream	Bocheong Stream	Nangang Dam	Youngsangang Midstream
15	Imjin Downstream	Bunam Seawall	Namhaedo	Youngsangang Estuary Bank
16	Cheongpyong Dam	Sapgyo Stream	Naesung Stream	Youngsangang Downstream
17	Chuncheon Dam	Yeongdong Stream	Daejong Stream	Youngam Seawall
18	Chungju Dam	Yongdam Dam	Milyang River	Youngam Stream
19	Chungjudam Downstream	Yongdamdam Downstream	Byoengsung Stream	Osu Stream
20	Paldang Dam	Jujin Stream	Suyeong River	Watan Stream

Location number	Four river basins			
	Han river	Geum river	Nakdong river	Youngsan river
21	Pyeongchang River	Jikso Stream	Andong Dam	Wando
22	Pyeonghwatui Dam	Cho River	Andongdam Downstream	Yo Stream
23	Hangang Goyang		Young River	Isa Stream
24	Hangang Seoul		Yongdeokosip Stream	Jaeju Namhae
25	Hangang Seohae		Yangpi Stream	Jaeju Donghae
26	Hangang Downstream		Wi Stream	Jaeju Bukhae
27	Hantan River		Imha Dam	Jaeju Seohae
28	Hongcheon River		Taehwa River	Juam Dam
29			Hapcheon Dam	Jiseok Stream
30			Hyeongsan River	Jindo
31			Hwang River	Tamjin River
32			Hoeya River	Hwangryong River
33			Hoe Stream	

Table 2. Disposal status of livestock excreta in the years of 2011-2013

Year	Way of dealing	Domestic animal species							
		Korean cattle	Beef cattle	Milk cow	Pig	Cooking chicken	Layer chicken	Duck	
2011	Compost	137,453	2,800	5,000	2,897	13,857	15,293	2,235	
	Liquid manure	458	60	8	1,028	38	100	19	
	Purification treatment	420	23	131	346	75	199	18	
	Others	8,255	93	102	175	6,046	4,483	780	
2012	Compost	125,996	2,631	4,914	2,159	13,369	17,098	2,001	
	Liquid manure	376	66	75	1,105	19	28	29	
	Purification treatment	218	15	55	353	16	42	17	
	Others	6,592	82	88	186	5,898	3,967	390	
2013	Compost	110,634	2,675	4,803	2,084	16,372	18,185	2,085	
	Liquid manure	227	0	8	1,064	17	27	34	
	Purification treatment	284	25	59	295	21	0	0	
	Others	4,202	90	80	163	4,703	3,966	360	

해 퇴비화 처리를 하는 농가 수가 월등히 많은 것을 알 수 있으며, 돼지를 사육하는 농가에서는 액비로 자원화 하는 경향이 높을 것을 알 수 있었다. 환경부가 발간한 2014년도 환경백서에 따르면 축종별 마릿수 기준으로 돼지에 이어 한우가 두 번째를 차지하고 있는데 한우와 돼지로부터 발생하는 분뇨가 퇴비 및 액비로 자원화 되고 있다는 사실은 시사 하는 바가 크다(Ministry of Environment, 2014). 연도별 축종에 따른 퇴비·액비 자원화 실태 동향은 한우를 사육하는 농가를 제외하고는 연도별 변동사항이 규칙적이거나 변동 폭이 크지 않으며, 한우의 경우는 퇴비·액비 자원화 농가의 수가 2011년부터 2013년까지 다소 크게 감소하는 경향성을 보이고 있음을 알 수 있었다. 위 사실을 근거로 할 때 “가축분뇨법” 제7조제1항에서 규정하고 있는 “가축분뇨실태조사”를 시행하는 경우 우선 조사대상지역으로 퇴비에 의한 영향을 파악하고자 할 때는 한우농가가 밀집되어 있는 지역을, 액비에 의한 영향을 파악하고자 할 때는 돼지 사육 농가가 밀집되어 있는 지역을 우선 조사대상 지역으로 선정하여 조사하는 것이 가장 타당할 것으로 판단된다.

3.2. 대권역별 가축분뇨 자원화 현황에 따른 우선 조사대상 지역

2012년도 기준 대권역별(한강권역, 낙동강권역, 금강권역, 영산강권역) 자원화 현황은 Fig. 1과 같다. 축종별 자원화 처리 실태와 마찬가지로 대권역별 자원화 처리 역시 모든 권역에서 퇴비화 처리를 하는 농가가 액비화 처리를 하는 농가에 비해 월등히 높음을 알 수 있다. 퇴비

화 처리의 경우 낙동강>금강>영산강>한강 순으로 농가 수가 많아 낙동강권역이 다른 권역에 비해 퇴비화 처리를 하는 농가가 월등히 많음을 알 수 있다.

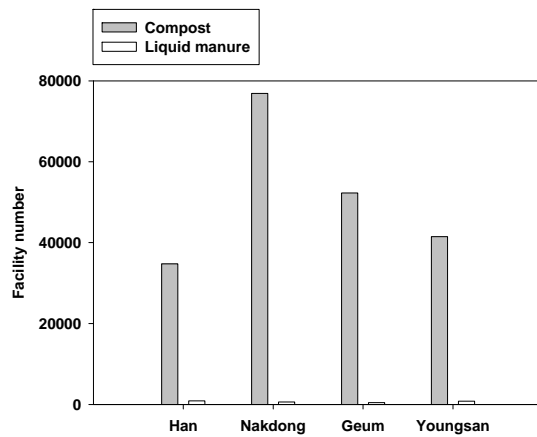


Fig. 1. Facility numbers of compost and liquid manure in four river basins.

각 수계의 가축농가 규모별(허가대상, 신고대상, 신고미만) 자원화 처리 현황은 Fig. 2와 같다. 퇴비화 시설의 경우 한강수계를 제외한 다른 모든 수계에서 허가대상 <신고대상<신고미만 순으로 퇴비화 처리를 하는 농가 수가 많았고, 한강수계의 경우 신고대상>신고미만>허가 대상 순으로 퇴비화 처리를 많이 하는 것으로 나타났다. 한편 퇴비화 처리를 하는 신고미만 농가의 경우 낙동강 수계가 가장 많이 퇴비화 처리를 하는 것으로 나타났다

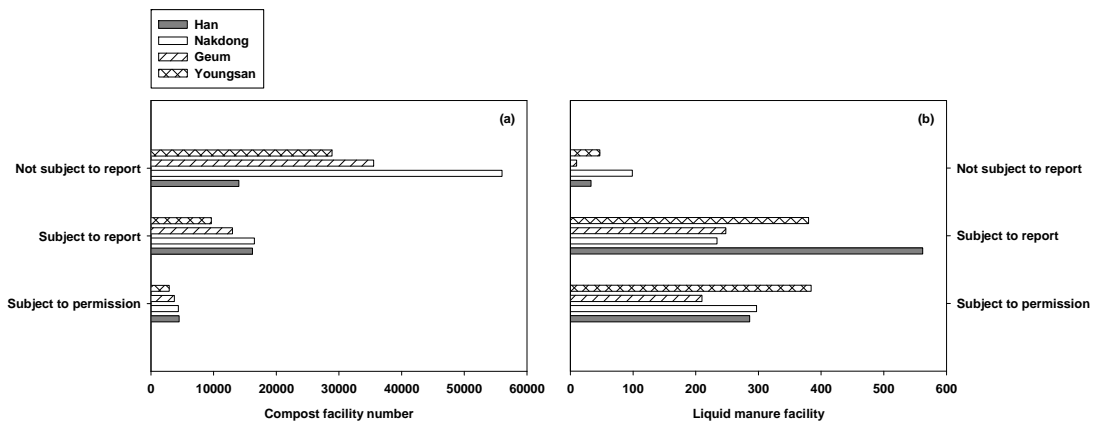


Fig. 2. Facility numbers of compost (a) and liquid manure (b) based on livestock facility scale in four river basins.

며, 허가대상 및 신고대상 농가의 경우 신고미만 농가에 비해 각 수계별 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 여기서 한 가지 특이할만한 점은 Fig. 1의 각 수계별 퇴비화 처리하는 농가의 순위가 Fig. 2a의 신고미만 시설의 수계별 순위와 일치한다는 사실이다. 이러한 사실은 각 수계에서의 퇴비화가 신고미만 시설에 의해 주로 영향을 받는다는 것을 의미하며, 정책적으로 가축분뇨 퇴비화를 관리하기 위해서는 신고미만 시설 관리가 우선적임을 시사하는 것이라 할 수 있다. 가축분뇨를 액비로 처리하는 농가의 경우 퇴비화 처리를 하는 농가와와는 달리 각 수계에서 허가대상 및 신고대상 농가에서 많이 하는 것으로 나타났으며, 신고미만 농가의 수는 상대적으로 매우 적은 것으로 나타났다(Fig. 2b). 여기서 주목할 점은 한강 수계의 경우 신고대상 농가에서 가장 많이 액비 처리를 한다는 점이다. 이상에서 살펴본 결과 퇴비·액비의 농

경지 살포로 인해 주변 환경오염 우려가 있을 경우 가축분뇨의 대부분이 퇴비로 전환되는 것을 고려할 때 퇴비화 시설이 많은 지역을 중심으로 낙동강>금강>영산강>한강 권역 순으로 조사를 실시하되 낙동강, 금강, 영산강은 신고미만 시설이 밀집되어 있는 지역을 우선 조사하고 한강의 경우는 신고대상 시설이 밀집되어 있는 지역을 우선 조사대상 지역으로 선정 하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

3.3. 중권역별 가축분뇨 자원화 현황에 따른 우선 조사대상 지역

4대강 수계 중권역별 가축분뇨 퇴비화 시설 현황은 Fig. 3과 같다. 낙동강 수계 중권역 지역 신고미만 시설의 가축분뇨 퇴비화 현황을 분석한 결과 “남강” 및 “내성천” 유역이 다른 유역에 비해 가축분뇨 퇴비화 시설이 특히 많은 것으로 나타났다(Fig. 3a). 낙동강 수계에서

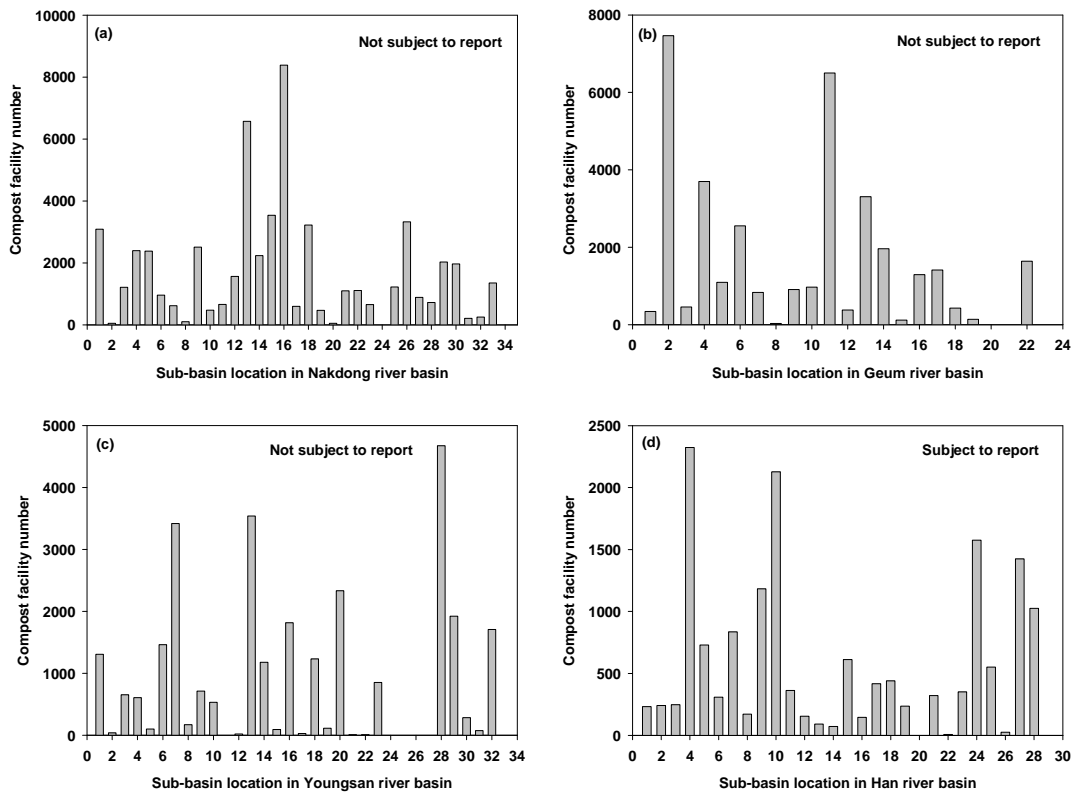


Fig. 3. The number of compost facilities in each sub-basin location of the four river basins. Labels shown in X-axes are referred to the Table 1.

가축분뇨 퇴비화 시설이 가장 많은 “내성천”의 경우 2013년도 대구지방환경청 자료에 의하면 타 지역에 비해 축산계 오염원의 비중이 약 80 %를 차지하고 있으며, 축산사육두수의 증감이 BOD, T-N 및 T-P 발생 및 배출 부하량의 증가와 밀접한 관련이 있다고 기술하고 있다 (Daegu Regional Environmental Office, 2013). 금강 수계의 경우는 “금강공주”와 “만경강” 유역에서 퇴비화 처리를 많이 하는 것으로 조사되었으며, 그 밖에 “금강하구연”, “대청댐”, “미호천” 등의 지역이 퇴비화 시설이 많은 것으로 나타났다(Fig. 3b). 특히, 만경강 유역은 본 연구에서 금강유역 내의 우선 조사대상 지역 후보지 두 번째에 속하는 중권역으로 Jang 등(2012)이 발표한 새만금 유역 농업비점오염원 관리를 위한 우선지구 선정 연구에서 도출된 후보지와 동일하다. 또한 이 지역의 주요 오염 원인이 축산 활동으로 인한 것으로 기술하고 있어 본 연구에서 가축분뇨실태조사 우선 조사대상 지역 선정에 위해 가축분뇨 퇴비·액비 자원화 시설수와 그 지역의 환경오염과의 관련성을 연계시키는 설정이 틀리지 않음을 알 수 있었다. 환경부 보고에 따르면 “만경강” 중권역에 속하는 “익산천”의 수질이 가축분뇨에 의해 심각하게 오염되어 있음을 밝힌바 있다(Ministry of Environment, 2010). 영산강 수계의 경우 “섬진강 하류”, “영산강 상류”, “주암댐” 유역에서 퇴비화 처리를 많이 하였으며 “고막원천”, “섬진강서남해”, “영산강중류”, “영산강하류”, “영암천”, “와탄천”, “지석천”, “황룡강” 등도 비교적 퇴비화 시설이 많은 지역으로 나타났다(Fig. 3c). 한강 수계의 경우는 “남한강 하류”, “안성천”이 퇴비화 처리를 특히 많이 하는 것으로 나타났으며, “달천”, “섬강”, “시화호”, “홍천강” 유역에서도 퇴비화 처리 시설이 많았다(Fig. 3d). 이를 종합해 보면, 낙동강, 금강, 영산강 및 한강 수계에서 우선 조사대상 중권역은 각각 “내성천”, “금강공주”, “주암댐” 및 “남한강하류” 유역으로 나타났으며, 이들 유역을 중심으로 우선 조사 대상 소권역을 선정해야 할 것으로 판단된다.

3.4. 소권역별 가축분뇨 자원화 현황에 따른 우선 조사대상 지역

4대강 대권역별 우선 조사대상 지역으로 선정된 중권역 지점을 대상으로 하여 각 중권역 내의 소권역 퇴비화 시설개수는 Table 3과 같다. Table 3에 따르면 낙동강

유역의 “내성천” 중권역의 경우 “서천하류”, “금천”, “한천하류” 등의 순으로 퇴비화 처리를 많이 하는 것으로 나타났다. 금강 수계의 경우 “금강공주” 중권역 지점에서 “금천”이 퇴비화 처리 시설이 가장 많은 것으로 나타났으며, 영산강 수계는 “주암댐” 중권역 지점 내의 “겸백수위표” 및 “주암댐상류” 유역에서 퇴비화 처리 농기수가 많은 것으로 나타났다. Lee 등(2012)의 위성영상을 이용한 주암댐 유역 비점오염부하량 평가에 관한 연구결과에서도 소권역별 유출부하량 분석결과 BOD의 경우 “겸백수위표”가 가장 높았고 T-N 및 T-P 부하량에 있어서도 “보성강상류” 유역 다음으로 높은 값을 보이고 있음을 알 수 있었다. 한강 수계의 “남한강하류” 중권역의 경우 “양화천”, “청미천상류”, “청미천중류”, “홍천합류점” 지역에서 퇴비화 처리 시설이 많았다. 특히, “양화천” 다음으로 퇴비화 시설이 많은 “청미천중류” 및 “청미천상류” 유역 등 청미천 유역은 상수원보호구역 상류에 속하는 지역으로써 가축분뇨가 주요 오염원으로 특별한 관리가 필요한 지역으로 보고하고 있다(Kim 등, 2014).

이상의 연구 결과를 토대로 하여 새로 개정된 “가축분뇨법” 제7조제1항에 따라 가축분뇨 퇴비·액비의 농경지 살포에 따른 환경오염 실태 조사(가축분뇨실태조사) 시 각 수계별 우선 조사대상 지역을 선정한다면 Table 4에 제시된 지역을 우선 조사대상 지역으로 선정하여 조사하는 것이 타당하리라 판단된다.

3.5. 각 수계별 중권역 지점 퇴비화 시설 개수와 수질(T-N, T-P)과의 상관관계 분석

각 수계별(낙동강, 금강, 영산강, 한강) 중권역 지점의 퇴비화 시설수와 그 지역의 최근 3년간(2011~2013년도) 수질(T-N 및 T-P) 산술평균 데이터와의 상관관계를 분석함으로써 본 연구에서 우선 조사대상 지역 선정에 사용된 방법의 타당성을 입증하고자 하였다. 각 수계에서 중권역 지역의 선정은 퇴비화 시설수를 기준으로 하여 퇴비화 시설수가 많은 지역, 중간 지역, 적은 지역을 대표하는 곳을 임의로 선정하였으며, 수질 데이터는 각 중권역 지역 말단 지점의 수질 데이터를 이용하였다. 낙동강 수계의 경우 대표 중권역 지점으로 “내성천”, “위천”, “가화천”, “황강”, “낙동구미”, “영덕오십천” 지역을 선정하였으며, 금강은 “금강공주”, “무주남대천”, “갑천”, “응담댐하류” 지역을, 영산강 수계의 경우는 “영산

Table 3. The number of compost facilities in each watershed of the four river basins including Han, Geum, Nakdong and Yongsan rivers

Basin	Sub-basin	Watershed	No. Compost facilities	Basin	Sub-basin	Watershed	No. Compost facilities
Nakdong river	Naesung Stream	Gyeongcheon Dam	159	Yongsan river	Juam Dam	Gyeombaek Suwipyo	1,774
		Geum Stream	1,009			Dongbok Dam	676
		Nakhwaam Stream	345			Dongbok Stream	649
		Naesung Upstream	934			Boseong Upstream	507
		Naesung Midstream	420			Songgwang Stream	67
		Naesung Downstream	754			Juam Dam	61
		Daehari Stream	109			Juamdang Upstream	1,267
		Seocheon Upstream	716				
		Seocheon Downstream	1,387				
		Yecheon Suwipyo	626				
		Okgye Stream	622				
		Weolpyo Suwipyo	742				
		Jukgye Stream	756				
		Toil Stream	336				
		Hancheon Upstream	701				
		Hancheon Downstream	949				
		Geum river	Geumgang Gongju			Gongju Suwipyo	162
Gyuam Suwipyo	1,058			Geumdang Stream	157		
Geumnam Suwipyo	94			Namhan Downstream	71		
Geum Stream	1,988			Bokhacheon Upstream	280		
Nonsancheon Junction	431			Bokhacheon Midstream	71		

Basin	Sub-basin	Watershed	No. Compost facilities	Basin	Sub-basin	Watershed	No. Compost facilities
		Daegyo Stream	234			Bokhacheon Downstream	200
		Suksung Stream	911			Yangpyeong Suwipyo	208
		Oacheon Junction	434			Yanghwa Stream	544
		Yongsu Stream	145			Yanghwacheon Junction	98
		Yugu Stream	642			Yeaju Suwipyo	145
		Yugucheon Junction	409			Eung Stream	356
		Ji Upstream	1,086			Juksan Stream	178
		Ji Downstream	804			Cheongmi Suwipyo	177
		Jicheon Junction	870			Cheongmi Upstream	411
						Cheongmi Midstream	431
						Cheongmi Downstream	112
						Heukcheon Upstream	169
						Heukcheon Downstream	254
						Heukcheon Junction	299

Table 4. Order of prior areas in environmental pollution survey for livestock excreta

Order of Priority	Basin	Sub-basin	Watershed	No. compost facilities in the watershed
1	Nakdong river	Naesung Stream	Seocheon Downstream	1,387
2	Geum river	Geumgang Gongju	Geum Stream	1,988
3	Youngsan river	Juam Dam	Gyeombaek Suwipyo	1,774
4	Han river	Namhangang Downstream	Yanghwa Stream	544

강 상류”, “섬진곡성”, “오수천”, “요천” 지역을, 한강 수계의 경우는 “남한강하류”, “안성천”, “경안천”, “인북천”, “임진강상류” 지역을 대표 중권역 지역으로 선정하였다(Table 1 참조).

각 중권역 수계별 퇴비화 시설개수와 T-N과의 상관관계를 분석한 결과 모든 수계에서 퇴비화 시설 개수가 증가할수록 하천의 T-N 농도도 높아지는 경향을 관찰할 수 있었으나 그 상관관계가 크지는 않은 것으로 나타났다(Fig. 4). 하지만 분명한 것은 퇴비화 시설 개수가 많을수록 해당 지역 중권역 말단 지점의 T-N 농도가 높아진다는 사실이며, 이러한 경향성은 Fig. 5의 T-P와 퇴비화 시설 개수와의 상관관계 분석 결과에서도 동일하게 관찰되었다. 특이할 만한 사실은 Fig. 4 및 5에서 낙동강 유역의 경우 다른 권역에 비해 퇴비화 시설 개수와 T-N 및 T-P 농도와의 상관관계가 낮은 것으로 분석되었는데 이

에 대한 원인은 기축분뇨 퇴비의 농지 살포 이외에 토지계로 인한 비점오염원 배출량 등 다른 인자에 의한 오염이 크기 때문일 것으로 판단된다. 실제로 전국오염원 축산계 자료를 분석한 결과 토지계와 축산계 T-N 및 T-P 배출부하량을 100으로 가정하였을 때 축산계 배출부하량이 차지하는 비율이 낙동강 다른 수계가 다른 수계에 비해 낮은 것을 확인할 수 있었다(National Institute of Environmental Research, 2014).

4대강 중권역 모든 지점을 조사대상 지역으로 선정 후 T-N과 T-P 중 어느 수질 항목이 퇴비화 시설개수와 상관성이 더 높은지를 파악하기 위해 퇴비화 시설개수, T-N, T-P와의 3차원 상관관계 분석을 실시하였다. 분석 결과 T-P 항목에 비해 T-N 항목이 퇴비화 시설개수와의 상관성이 더 높은 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 6). T-P의 경우 퇴비화 시설개수가 많은 지역이라도 그 지역에서

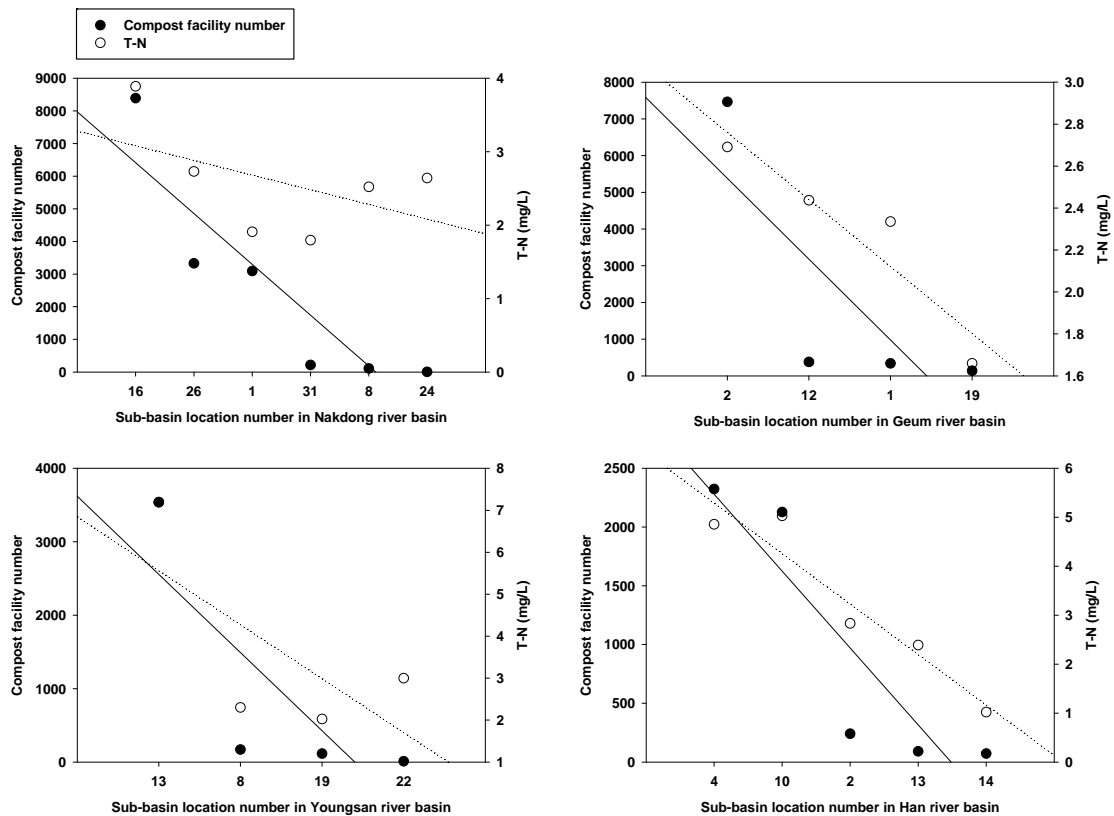


Fig. 4. Correlation between the number of compost facilities and the concentrations of T-N in each sub-basin of four river basins.

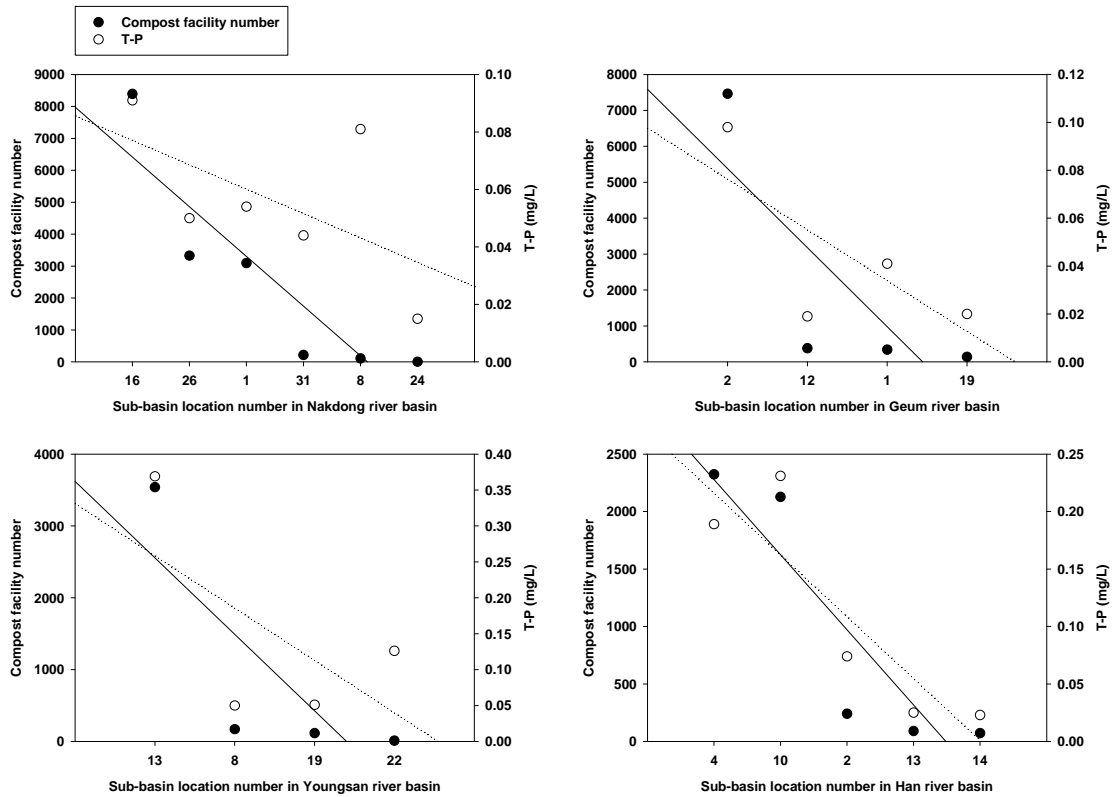


Fig. 5. Correlation between the number of compost facilities and the concentrations of T-P in each sub-basin of four river basins.

T-P의 농도가 높아지는 경향성이 높지 않은 반면 T-N의 경우는 그 경향성이 명확하게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 가축분뇨 자원화로 인한 수질오염이 T-P보다는 T-N의 영향을 더 많이 받음을 의미하는 것이라 할 수 있다. 실제로 국립환경과학원의 연구 결과에 의하면 가축분뇨 자원화를 통해 발생하는 퇴비의 주요 성분 중 T-N 함량이 T-P 보다 월등히 높은 것을 알 수 있다 (National Institute of Environmental Research, 2013).

이상의 결과를 종합해 보면 개별처리시설에 의존하여 가축분뇨를 자원화 하는 경우 자원화물의 대부분이 주변 농지에 살포되기 때문에 자원화 중 대부분을 차지하고 있는 퇴비화 시설 개수와 주변 하천 및 호소의 수질 오염은 밀접한 관련을 가지고 있으며, 이러한 사실을 통해 “가축분뇨법”에 의한 가축분뇨실태조사 시 환경오염 현황 조사의 경우 본 연구에서 접근한 가축분뇨 자원화 개

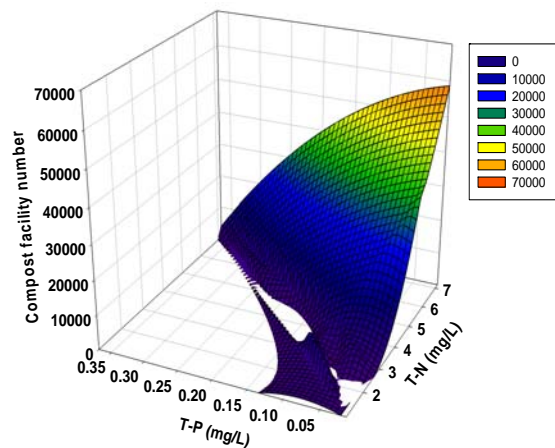


Fig. 6. Three-dimension correlation among the number of compost facilities and the concentrations of T-N & T-P in the four river basins.

별처리시설 현황을 통하여 우선 조사대상 지역을 선정 방법은 매우 타당한 것으로 판단된다.

4. 결 론

2012년도 전국오염원조사 자료의 가축분뇨 자원화(퇴비·액비) 개별처리시설 현황 분석을 통한 가축분뇨 실태조사 우선 조사대상 지역 선정의 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 축종별 자원화 현황을 근거로 가축분뇨실태조사를 실시 할 경우 퇴비 및 액비에 의한 환경오염현황 조사 시 각각 한우 및 돼지 사육 농가가 밀집되어 있는 지역을 우선 조사대상 지역으로 선정하는 것이 타당한 것으로 나타났다.

(2) 대권역별 우선 조사대상 지역 선정 시 퇴비화 시설이 많은 지역을 중심으로 낙동강>금강>영산강>한강 권역 순으로 조사를 실시하되, 낙동강, 금강, 영산강은 신고미만 시설이 밀집되어 있는 지역을 우선 조사하고 한강의 경우는 신고대상 시설이 밀집되어 있는 지역을 우선 조사대상 지역으로 선정하는 것이 합리적인 것으로 나타났다.

(3) 대권역별 우선 조사대상 지역 선정 지역을 중심으로 낙동강, 금강, 영산강 및 한강 권역의 우선 중권역 조사대상 지역은 각각 “내성천”, “금강공주”, “주암댐” 및 “남한강하류” 유역이 우선 조사대상 지역으로 선정되었다.

(4) 우선 중권역 조사대상 지역인 “내성천”, “금강공주”, “주암댐” 및 “남한강하류”의 우선 소권역 조사대상 지역은 각각 “서천하류”, “금천”, “검백수위표” 및 “양화천”인 것으로 나타났다.

(5) 전국 4대강 중권역의 개별 퇴비화 처리시설 개수와 각 중권역 지점의 하천 본류의 말단 지점의 T-N 및 T-P 수질과의 상관성을 분석한 결과 개별 퇴비화 처리시설이 많은 곳일수록 T-N 및 T-P 농도가 높은 경향성을 보이고 있음을 관찰할 수 있었다. 이때 T-P 보다는 T-N과의 상관성이 더 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 가축분뇨 개별 퇴비화 처리시설 수가 많은 지역을 가축분뇨실태조사 시 우선 조사대상 지역으로 선정할 수 있다는 본 연구의 접근 방법의 타당성을 입증하는 결과라 할 수 있다.

REFERENCE

- Ahn, H. K., Choi, H. L., Jung, W. C., Kim, K. Y., Kim, J. K., Park, I. H., Jung, Y. C., 2001, Impact of livestock waste on the water quality of Paldang reservoir, J. Anim. Sci. & Techno., 43(4), 569-586.
- Alonso, Á., Camargo, J., 2011, The freshwater planarian *Polycelis felina* as a sensitive species to assess the long-term toxicity of ammonia, Chemosphere, 84, 533-537.
- Daegu Regional Environmental Office, 2013, Implementation assessment for water environmental management plan of sub-basin of Naesung stream, 11-1480 359-000093-01, Daegu.
- Dupas, R., Delmas, M., Dorioz, J., Garnier, J., Moatar, F., Gascuel-Oudou, C., 2015, Assessing the impact of agricultural pressures on N and P loads and eutrophication risk, Ecol. Indic., 48, 396-407.
- Ferretti, J., Calessio, D., 2011, Toxicity of ammonia to surf clam (*Spisula solidissima*) larvae in saltwater and sediment elutriates, Mar. Environ. Res., 71, 189-194.
- Georgieva, N., Yaneva, Z., Dospatliev, L., 2010, Ecological monitoring of the fresh waters in Stara Zagora Region, Bulgaria I. quality analysis of nitrogen compounds contents, Desalination, 264, 48-55.
- Jang, N., Kim, B., Im, S., Kim, T., 2012, A study on evaluation of target region for the agricultural non-point sources management, J. Korean Soc. Environ. Eng., 34(1), 23-31.
- Kim, C. G., Kim, T. Y., Shin, Y. K., 2005, Implementation program for introducing regional-based maximum nutrients loading system, Korea Rural Economic Institute, Seoul.
- Kim, D. W., Jang, M. J., Han, I. S., 2014, Determination of focused control pollutant source by analysis of pollutant delivery characteristics in unit watershed upper Paldang lake, J. Korean Soc. Environ. Eng., 36(5), 367-377.
- Kim, P. J., Lee, Y. B., Lee, Y., Yun, H. B., Lee, K. D., 2008, Evaluation of livestock manure utilization rates as agricultural purpose in developed OECD countries by using nutrient balance, Korean J. Environ. Agric., 27(4), 337-342.
- Lee, G. S., Kim, T. K., 2012, Estimation of nonpoint source pollutant loads of Juam-Dam basin based on the

- classification of satellite Imagery, J. Korean Assoc. Geo. Info. Stud., 15(3), 1-12.
- Ministry of Environment, 2010, Measure plan for managing livestock manure and improving water quality, Sejong.
- Ministry of Environment, 2014, 2014 White paper of environment, 11-1480000-000586-10, Sejong.
- Ministry of Agriculture, 2007, Development of non-point source pollution control and management technologies for the Saemangeum watershed, Sejong.
- National Institute of Environmental Research, 2014, Water Information System, <http://water.nier.go.kr/main/>
- National Institute of Environmental Research, 2013, Study based on basic unit of livestock pollution source for extended application of target pollutant of total load management(I), Incheon.
- National Institute of Environmental Research, 2014, Nationwide annual report for pollution sources in the year of 2012, 11-1480523-000429-10, Incheon.
- Neal, C., Heathwaite, A. L., 2005, Nutrient mobility within river basins: a European perspective, J. Hydrol., 304, 477-490.
- Puckett, L. J., 1995, Identifying the major sources of nutrient water pollution, Environ. Sci. Technol., 29, 408-414.
- Rural Development Administration, 2012, Soil quality assessment environmental impact of livestock manure application to cropland, Jeonju.
- Shin, Y., Lyou, C., Choi, Y. H., Lim, K. J., Choi, J., 2006, Pollutant load characteristics by baseflow in a small agricultural watershed, J. Korean Soc. Water Environ., 22(2), 244-249.
- Statistics Korea, 2014, <http://kostat.go.kr>.