

개별농가와 연계한 가축분뇨 공공처리시설의 처리용량 확대 가능성에 관한 연구

김재환 · 김정호* · 박치호** · 곽정훈 · 최동윤 · 정광화 · 정의수 · 유용희 · 정만순
농촌진흥청 국립축산과학원

A Study on Expansion Possibility of Treatment Capacity in Public Livestock Manure Treatment Plant Integrated Individual Farmhouses

Kim, J. H., Kim, J. H*, Park, C. H**, Kwag, J. H., Choi, D. Y., Jeong, K. H.,
Chung, U. S., Yoo, Y. H. and Chung, M. S.
National Institute of Animal Science, R.D.A., Suwon, Korea

Summary

The objective of this study is to predict the expansion possibility of treatment capacity in public livestock manure treatment plant (PLMTP) integrated individual farmhouses. According to the treatment efficiency and cost reducing effect, expansion possibility was examined using three cases; (i) decrease of influent concentration from 20,000 mg/L BOD to 1,000 mg/L BOD, (ii) maintenance of low concentration influent with minimum revising existing facilities (BIOSUF) and (iii) maintenance of low concentration influent without revising existing facilities (liquid corrosion method, LCM). In BIOSUF, the treatment capacity increased from 130 ton/day to 300 ton/day. Also, LCM resulted in expansion of treatment capacity from 210 ton/day to 250 ton/day while that of designed concentration influent decreased from 210 ton/day to 190 ton/day. The treatment costs were 14,674 won/ton and 9,929 won/ton for BIOSUF and LCM, respectively. After some revisions, it will be changed to 7,221 won/ton and 8,277 won/ton. Therefore, it must be considered that the livestock manure treats to low concentration and flows into PLMTP for the efficient operation and reducing treatment cost.

(Key words : Livestock manure, PLMTP (public livestock manure treatment plant), SCB (slurry composting & biofiltration), Operating cost)

서 론

최근 '12년부터 가축분뇨의 해양배출 금지
조치가 발표된 후 양축농가에는 가축분뇨 처

리문제에 전전공공하였고, 정부에서는 가축
분뇨의 자원순환을 촉진시키기 위한 조치가
추진되어 '가축분뇨의 관리 및 이용에 관한
법률'을 제정하게 되었다.

* (주)아쿠아테크 (Aquatech co., Ltd.)

** 농업기술실용화재단 (The Foundation of Agriculture Technology Commercialization and Transfer)

Corresponding author : Kim, J. H., National Institute of Animal Science, R.D.A., Suwon, Korea.

2009년 11월 21일 투고, 2009년 12월 30일 심사완료, 2010년 1월 5일 게재확정

환경부는 한미 FTA 발효 등에 대비한 가축분뇨 관리 대책¹²⁾에서 처리시설을 확충(공공 16개소, 공동 70개소)하여 중규모 이하 농가(돼지 2,000두 이하) 가축분뇨의 60%를 처리할 수 있는 처리체계 구축(처리용량 10천톤/일에서 26천톤/일) 하고, 또한 지금까지의 정화처리 위주에서 지역특성을 고려한 퇴·액비 자원화시설을 우선적으로 설치토록 전환하고, 공공처리시설 미설치 지역중 돼지분뇨 다량발생지역(신고이하 소규모)에 우선적으로 신규설치를 확대할 계획이며, 농식품부⁶⁾에서는 공동자원화시설을 '11년까지 70개소를 설치하여 1일 평균 7,000톤 이상 처리 가능토록 할 계획임을 밝혔다.

그 결과로 '04년도 80.5%였던 자원화 물량이 '08년도에는 84.3%(35백만톤)로 증가하고 해양배출물량은 5.7%에서 3.5%(1.5백만톤)으로 감소해 가고 있으며, 특히 환경부에서 추진하고 있는 가축분뇨공공처리시설로 대표되는 정화방류는 5.7%에서 7.0%(2.9백만톤)으로 증가하고 있다.

그러나, 최근 대한양돈협회⁶⁾는 가축분뇨 공공처리시설의 운영개선과 배출자 중심의 효율적 처리방안을 보고하면서 처리능력 및 가동률 향상과 양질의 고품질 액비를 생산하기 위해 운영 중인 공공처리시설에 자원화 시설(액비화 시설)을 추가하는 “가축분뇨 공공처리시설의 자원화 확보 전략”을 추진해야 하며, 환경부와 농림수산식품부의 이원화된 정책집행에 따른 비효율성을 개선하기 위해서는 공공처리와 공동자원화 개념을 통합한 “대규모 통합 시스템 구축 전략”을 미래지향적인 견지에서 적극 검토해야 한다고 제시하였다. 이는 김 등²⁾이 제시한 지역단위 양분총량제 도입과 함께 고려할 필요가 있다고 판단된다.

환경관리공단 등^{7,8)}은 공공처리시설의 중요한자인 설계유입수질, 처리용량의 결정 시 해당지역의 축산현황과 인근 환경기초시설

및 관거의 유무 등 지역적 특성이 고려되어야 하며, 축산변화를 예측한 설계 유입수질과 처리용량의 결정이 필요하다고 하였다. 또한 김 등¹⁾은 공공처리시설의 경제적 적정규모는 180~200톤/일인 것으로 분석하고, '06년 현재 평균 처리시설 규모 124톤/일과 비교하면 약 1.5~1.6배 수준이어서 대부분이 규모의 경제 효과를 달성시키지 못하고 있음을 시사하고, 신규 설치 시 지역 내 자원화시설 등 관련 시설과의 연계성과 경제적 적정규모를 고려하여 시설투자 계획을 수립해야 할 것이라 보고한 바 있다.

이처럼 가축분뇨 공공처리시설의 신규설치를 통한 처리용량을 확대하는 측면도 중요하지만 기존에 운영되고 있는 시설들에 대한 처리효율과 경제성을 향상하기 위한 노력도 추진되고 있는데, 환경부 등^{9, 10, 11)}에서는 축산폐수공공처리시설 기술진단과 가축분뇨공공처리시설 성능평가 및 운영기술지원 등을 실시하고 있다.

위와 같은 상황 하에서, 가축분뇨 처리방법의 개발로 인해 기존의 고농도처리에서 저농도처리(SCB 여과액 등)가 가능해지고 있다는 것인데, 농가에서 전처리하여 공공처리시설에 저농도로 유입시킬 경우 처리용량의 변화와 이에 따른 경제적 비용절감 효과가 어떻게 나타날 것인지 그 가능성을 검토하는 것이 본 연구의 목적이라 할 수 있다.

재료 및 방법

1. 조사방법

최근에 와서 가축분뇨의 처리방법이 다양하게 변하고 있는데, 특히 SCB(퇴비단여과법) 등에 의해 저농도 여과액이 생산되어 농경지 액비로 활용되거나, 정화처리 되고 있는 바, 이를 분석의 기초로 하기 위하여 도드람환경연구소의 협조를 얻어 경기 이천시

역에 있는 Y양돈영농조합의 SCB 시설에서 '07년 5월부터 9월까지 15회에 걸쳐 투입된 돈분뇨 슬러리와 SCB 여과액을 채수하여 분석한 자료를 사용하였다.

가축분뇨 공공처리시설의 유입수 농도 변경에 따른 처리용량 증대 가능성을 분석하기 위하여 다음을 전제조건으로 하였다. 첫째, 양돈농가 보유 퇴비화시설을 퇴비단여과(SCB)시설 등으로 전처리하여, 유입수질을 고농도(BOD 20,000 mg/L)에서 저농도(BOD 1,000 mg/L 이하)로 변경한다. 둘째, 기존 시설의 개·보수를 최소화하면서 유입수 전량을 저농도로 유입시킬 경우(BIOSUF)를 검토하였다. 셋째, 시설의 개·보수 없이 유입량의 일부를 저농도로 유입시킬 경우(액상부식법)를 검토하였다.

2. 분석방법

가. 물질수지 및 시설용량 산정 방법

공공처리시설의 처리량 증대가능성을 분석하기 위하여 '06년도 운영 중인 52개 가축분뇨 공공처리시설의 여러 가지 처리공법 중에서 상위 2개의 공법⁴⁾ 즉, BIOSUF(하수연계처리)와 액상부식법(단독처리)을 대상으로 하여 해당 공법사*의 산정 프로그램에 의해 물질수지와 시설용량을 산출하였으며, 경제성 분석에 있어서는 해당 공법이 적용된 공공처리시설의 '07년도 운영비 자료를 기준으로 산출하였다.

나. 이화학적 수질분석 방법

유입수의 이화학적 수질분석 항목으로 생물학적 산소요구량(biological oxygen demands, BOD₅), 화학적 산소요구량(chemical oxygen

demand, CODMn), 부유물질(suspended solids, SS), 총질소(total nitrogen, TN), 총인(total phosphate, TP)이 고려되었으며, 모든 항목은 수질오염공정시험방법(환경부, 1992)에 명시된 순서와 방법을 따랐다.

결과 및 고찰

1. 가축분뇨 공공처리시설의 이용 능가

가축분뇨공공처리시설은 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률이 제정되기 전까지는 축산폐수공공처리시설로 불리었다. 이와 관련된 축산폐수공공처리시설 설치 및 운영·관리지침¹⁰⁾에 가축분뇨는 농가에서 최대한 자체 처리토록 하되, 이를 퇴비 또는 액비 등으로 재활용방안을 우선적으로 추진하도록 유도하여야 하며, 축산농가의 자체 처리만으로는 해당 지역에서 발생하는 가축분뇨를 적정 처리할 수 없는 경우, 지자체는 이를 처리하기 위한 방안을 강구하도록 명시하였다. 처리대상농가에 있어서도 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 제24조 제8항에는 기존 공공처리시설 중 처리용량에 여유가 있는 경우 배출시설 설치 허가대상까지 유입이 가능토록 허용되어 있어 지자체에서는 공공처리시설의 운영효율을 높이기 위하여 신고규모 이상 농가의 가축분뇨를 유입시키되 수수료를 차등하고 있다.

가축분뇨의 양분부하 수준에 따른 지역유형별 가축분뇨 공공처리시설이용 양돈농가의 규모로 보면 표 1과 같이 과소지역의 경우는 신고미만 규모가 주를 이루는 반면 균형지역과 과잉지역은 대부분이 신고규모이상인 것으로 파악되는데, 이는 가축사육두수가 과밀상태인 지역일수록 전·기업화되어 소규모 농가의 급속 감소에 기인한다고 판단된다.

* 자료 및 처리용량 산정에 협조해 주신 도드람환경연구소와 (주)아쿠아테크(Biosuf) 및 (주)파이닉스R&D(액상부식법)에 감사드립니다.

Table 1. Number of used farm by region type in Public Livestock Manure Treatment Plant (PLMTP)

(Unit : household)

Region*	Treatment capacity (ton/day)	Number of farm	Farm size**			
			Permission	Report	Less than report	
Excess	P	200	93	4	89	
	I	90	110	41	69	
Balance	Y	150	120	13	88	19
	HW	70	18	4	14	
Insufficient	HY	100	106	46	9	51
	W	70	38		10	28

* Based on the nutrient balance index by region, if the nutrient rate is above 80 percent, the areas are classified as the "excess region." if the nutrient rate is between 50~80 percent, the areas are classified as the "balance region.", if the nutrient rate is less than 50 percent, the areas are classified as the "insufficient region."

** Based on building capacity, if the areas are more then 1,000 m², the farm is classified as the "permission size." if the areas are between 500~1,000 m², the farm is classified as the "report size.", if the areas are less than 500m², the farm is classified as the "less than report size."

2. SCB 여과액

SCB (Slurry Composting & Biofiltration, 퇴비단여과법)는 양돈농가에서 사용하고 있는 기계식 퇴비화시설의 바닥에 여과액 배출틀과 송풍장치를 설치하여 돼지 액상분뇨(슬러리)를 물리적 여과뿐만 아니라 생물적 분해 효과도 탁월하도록 개선함으로써 무취·저농도의 여과액을 생산할 수 있는 기술이며 '09년 현재 전국 200여 개소에 설치되어 있다.

Y양돈영농조합의 SCB 시설에서 조사된 유입 슬러리와 여과액의 오염물질 농도 변화는 표 2와 같다. 즉, SCB 시설을 통해 처리된 퇴비단여과액은 BOD가 24,625 mg/L에서 664

mg/L로 97.3%가 제거되었고, COD는 25,060 mg/L에서 7,709 mg/L로 69.2%, SS는 33,226 mg/L에서 519 mg/L로 98.4% 제거되어 오염물질의 제거효율이 대단히 높은 수준이다.

이러한 이유에서 고농도의 돼지분뇨를 농가에서 전처리한 후 저농도로 가축분뇨 공공처리시설에 유입시키면 현재의 처리효율과 처리물량을 대폭 향상시킬 수 있을 것으로 판단하였다.

3. 유입수 수질 변동에 따른 처리물량 증대 효과

환경부에서는 가축분뇨 공공처리시설의 처

Table 2. Change of water quality in Slurry Composting Biofiltration (SCB) facility

(Unit : mg/L)

Item	BOD	COD _{Mn}	SS	T-N	T-P
Swine slurry (A)	24,625	25,060	33,226	2,669	1,416
SCB water (B)	664	7,709	519	1,298	472
B/A (%)	2.7	30.8	1.6	48.6	33.3

리효율과 경제성을 향상하기 위해서는 축산 변화를 예측하여 설계유입수질과 처리용량을 결정하여야 하며, 가동일로부터 매 5년마다 전문기관에 의한 기술진단을 받아야 한다고 명시하고 있다.¹⁰⁾ 동 기술진단보고서에서는 BIOSUF와 액상부식법의 공법의 특징을 다음과 같이 설명하고 있다.^{9, 11)}

BIOSUF 공법의 경우는 반입-협잡물제거-저류-원심분리-저류-탈질조-질산화조-침전조-탈질조-질산화조-침전조-UF-응집-가압부상-하수연계처리의 공정을 기반으로 하는데, 전처리로 원심분리를 이용하여 고형물을 제거하고 탈질조-질산화조로 구성된 생물반응조에서 유기물 및 질소를 제거한 후 한외여과막을 이용하여 고액분리시켜 처리한다. 전탈질 구조로 되어 있어서 유입수를 탄소원으로 이용할 수 있으나 부족분에 대해서는 메탄올을 주입하고 있으며, 후속처리공정에서 응집처리하고 있으나 COD가 높아 하수연계처리하고 있다.

반면, 액상부식법의 공정은 반입-협잡물제거-침사조-원심분리기-저류조-탈질조-질산화조-응집반응-탈수-상향류여과-모래여과-활성탄여과-방류로 이루어지며, 전처리로 물리적인 조작만으로 탄소원의 제거를 최소화하고 생물학적 처리에서 탈질효율을 최대화하여 질소를 제거하는데, 후속처리로는 응집을 통해 색도와 인을 제거하고, 여

과공정을 거쳐 방류하는 시스템이다. 생물학적 처리 후 별도의 침전지가 없이 높은 MLSS를 유지하면서 운전하며 유입유량만큼 전량 탈수하는 것이 특징이다.

이와 같은 특성 하에서 유입수의 농도를 저농도로 변경하였을 경우 처리용량 변화를 산출해 보았다. 우선 BIOSUF 공법에 있어서는 표 3에서와 같이 현재 유입수 수질이 BOD 16,123 mg/L, COD 5,369 mg/L, SS 12,615 mg/L인 것을 각각 664 mg/L, 7,709 mg/L, 519 mg/L로 유입시키고 방류수 수준을 각각 16.9 mg/L, 36.7 mg/L, 1.2 mg/L로 할 경우, 현재 설계기준 처리용량 130톤/일에서 2.3배인 300톤/일을 유입시킬 수 있을 것으로 산출되었다. 단, 퇴비단침출수의 C/N비가 맞지 않아 (통상 적정C/N 비는 3~5) 유기 탄소원으로 메탄올을 주입할 필요가 있다. 이러한 용량 증대 효과에 따라 기존시설 중 일부의 시설 증설이 필요한데, 표 4와 같이 1차저류조는 21%, 2차저류조 59%, 완충조 44% 그리고 한외여과막 50% 정도가 추가되어야 할 것으로 산출되었다. 이 때에 추가되는 시설비는 약 880백만 원으로 I공공처리시설 총사업비 6,064백만 원의 14.5% 수준이 소요될 것으로 추정된다.

액상부식법의 경우는 고농도의 MLSS로 운전하므로 저농도의 유입에는 한계가 있다. 따라서 BIOSUF 공법과 같이 시설개선을 통

Table 3. Water quality of influent in Public Livestock Manure Treatment Plant (PLMTP)

Item		I PLMTP (Sewage link treatment)	SCB water	Discharge water
Influent Quantity (m ³ /day)		130	300	-
Water quality (mg/L)	BOD	16,123	664	16.9
	COD	5,369	7,709	36.7
	SS	12,615	519	1.2
	T-N	3,461	1,298	26.8
	T-P	369	472	13.7

Table 4. Change of treatment quantity by low concentration influent with minimum revising existing facilities (BIOSUF)

Item	Existing (A)	SCB water (B)	Difference (B-A)
Influent quantity (m ³ /day)	130	300	170 m ³ (130%)
Storage tank (1)	138 m ³ × 1 day	303.6 m ³ × 1 day	165.6 m ³ (120.7%)
Storage tank (2)	396 m ³ × 1.8 day	629.2 m ³ × 1.8 day	233.2 m ³ (58.9%)
Denitrification reactor (1)	1,755 m ³ × 8.5 day	1,755 m ³ × 5 day	—
Buffer tank	5 mD × 3.5 mH	6.0 mD × 3.5 mH	1.0 mD (44%)
Denitrification reactor (2)	1,033.6 m ³ × 5.8 day	1,033.6 m ³ × 2.9 day	—
Membrane filter	80 BL	120 BL	40 BL (50%)
Blower	22m ³ /min × 40kw × 4(1) 7.9m ³ /min × 15kw × 2(1)	20m ³ /min × 35kw × 4(1) 7.7m ³ /min × 15kw × 2(1)	—
Air blow pipe	400 m 50 m	360 m 48 m	—

한 처리물량 증대 보다는 기존 시설의 증축은 고려하지 않고, 고농도 유입량을 최대한 줄이면서 저농도 유입물량을 증대하는 것으로 설정 하였다.

분석결과를 보면 표 5에서와 같이 현재 유입수 수질이 BOD 17,000 mg/L, COD 19,000 mg/L, SS 25,000mg/L 인 것을 각각 664mg/L, 7,709mg/L, 519mg/L로 유입시키고 방류수 수질을 각각 16.6mg/L, 33.8mg/L, 15.5mg/L로 할 경우, 고농도인 설계 유입물량 210톤/일을 190톤/일로 감소시키는 대신 저농도의 유입물량을 60톤까지 처리함으로써 250톤/일로 처리용량의 확대가 가능할 것으로 산출되었다.

4. 처리물량 증대에 따른 운영비 절감 효과

유입수 농도변화에 따른 처리용량의 증대를 통해 시설운영비의 절감효과를 표 6과 같

이 산출하였다.

BIOSUF 공법의 경우는 연간 약품비가 169,324천 원에서 207,786천 원으로 22.7%가 증가하고, 전력비와 시설유지보수비가 각각 21.9, 15.0% 증가되어 연간 운영비는 557,020천 원에서 13.6%가 증가된 632,544천 원이었으나, 톤당 처리비는 당초 130톤/일 처리 시의 14,674원/톤에서 50.8%가 절감된 7,221원이 될 것으로 추정되었다.

액상부식법은 큰 변화가 없었으나 MLSS 농도가 낮아진 만큼 염화제2철과 고분자 등의 약품 투입량이 감소되어 약품비가 172,000천 원에서 165,000천 원으로 4.9% 감소되었으며, 유입물량 증대에 따른 탈수기 가동시간이 약 1시간 정도 늘어나 전력비가 1.6% 정도 상승되었다. 따라서 유입수 농도 변경 전 (210톤/일)에는 연간 운영비가 623,320천 원인 반면 변경 후(250톤/일)에는 619,320천 원으로

Table 5. Change of treatment quantity by low concentration influent without revising existing facilities (Liquid Corrosion Method)

Item		C PLMTP (Unilateral treatment)	SCB water	Discharge water
Influent quantity (m ³ /day)		210(190)	250(60)	—
Water quality (mg/L)	BOD	17,000	664	16.6
	COD	19,000	7,709	33.8
	SS	25,000	519	15.5
	T-N	5,000	1,298	44.0
	T-P	700	472	4.9

() is Influent quantity for MLSS control.

Table 6. Change of operating cost by Influent quantity

Item		Total	Operating cost (1,000won/year)					Operating cost per ton (won)
			Labor	Chemicals	Electric power	Repair	Others	
BIOSUF	Existing (A)	557,020	92,049	169,324	155,000	20,415	120,232	14,674
	Change (B)	632,544	92,049	207,786	189,000	23,477	120,232	7,221
	B/A (%)	113.6	—	122.7	121.9	115.0	—	49.2
Liquid Corrosion Method	Existing (A)	623,320	121,320	172,000	189,000	46,000	95,000	9,929
	Change (B)	619,320	121,320	165,000	192,000	46,000	95,000	8,277
	B/A (%)	99.3	—	95.9	101.6	—	—	83.4

0.7% 감소하였으며, 이를 가동율 82%¹⁾를 고려한 톤당 처리비로 환산하면 각각 9,929원/톤, 8,277원/톤으로서 약 16.6%의 비용절감 효과를 가져오는 것으로 추정되었다.

이상의 결과로 보면 가축분뇨 공공처리시설의 유입농도를 저농도화 한다면 1일처리물량의 확대가 가능할 뿐만 아니라 처리비용의 절감효과가 크게 나타나므로 분석의 전제 조건인 저농도 슬러리를 지속적으로 유입시킬 수 있을 것인가가 중요한 관건이 된다. 이를 위해서는 우선 양축농가가 보유하고 있는 퇴비화시설을 퇴비단여과법으로 개조하여 저농도로 1차 처리한 후 공공처리시설로 유입시

킬 수 있는 지역내 가축분뇨 처리시스템의 구축을 유도하여야 하고, 또는 사회적 비용이 지출되더라도 공공처리시설에 이 시설을 추가로 설치하는 방안도 강구할 필요가 있다.

이와 함께 가축분뇨를 유입할 경우, 규제대상과 규제미만 농가의 유입농도를 차별화(예, 규제미만은 유입농도 미규제, 규제대상은 BOD 1,000 ppm 이하를 의무화) 하는 것이 요구되며, 특히 유입물량 및 유입농도의 지속화가 중요하므로 가축사육 과밀지역에 우선 시범실시 후 제도화할 필요가 있다. 또한 기술적으로 보완이 되어야 하겠지만 퇴비단여과법을 기반으로 하는 저농도 액비의 수

요기에는 농경지로 환원시키되 비수기에는 이를 공공처리시설로 유입시켜 액비의 장기 저장에 따른 양축농가의 부담경감 방안도 고려해 볼 수 있을 것으로 판단된다.

요 약

가축분뇨 공공처리시설 유입수의 농도변경에 따른 처리효율과 비용절감 효과를 검토하기 위하여 다음을 전제조건으로 분석하였다. 첫째 유입수질을 고농도 (BOD 20,000 mg/L) 에서 저농도 (BOD 1,000 mg/L 이하)로 변경한다. 둘째, 기존 시설의 개·보수를 최소화 하면서 유입수 전량을 저농도로 유입시킬 경우 (BIOSUF) 셋째, 시설의 개·보수 없이 유입수의 일부를 저농도로 유입시킬 경우 (액상부식법)를 검토하였다.

처리용량 확대에 있어서, BIOSUF 공법의 경우는 저류조 등 일부시설을 증설한다면, 현재의 설계 유입물량 130톤/일에서 2.3배인 300톤/일을 유입시킬 수 있을 것으로 산출되었다. 액상부식법의 경우는 설계 유입물량 210톤/일을 190톤/일로 감소시키는 대신 저농도의 유입물량을 60톤까지 확대함으로써 250톤/일 처리가 가능할 것으로 분석되었다.

톤당 처리비의 경우는, BIOSUF 공법은 유입수 농도 변경 전에는 14,674원/톤이었으나 변경 후에는 7,221원/톤으로 50.8%가 감소되었으며, 액상부식법은 당초 9,929원/톤이었으나, 변경 후에는 약 16.6%가 감소된 8,277원/톤으로 산출되어 비용절감 효과가 있는 것으로 분석되었다.

따라서 가축분뇨 공공처리시설의 운영효율을 높이고 양축농가의 처리비용 경감을 위해

서는 가축분뇨(슬러리)를 농가단위에서 저농도로 처리한 후 공공처리시설로 유입하는 체계의 강구가 필요하다.

인 용 문 헌

1. 김재환 등. 2008. 가축분뇨 공공처리시설의 경제적 적정규모 설정, 축산시설환경학회지 14(1):23-30.
2. 김창길, 김태영, 신용광. 2005. 지역단위 양분총량제 도입 세부시행방안 연구, 한국농촌경제연구원.
3. 농림부. 2007. 가축분뇨 해양배출감축대책.
4. 농촌진흥청. 2009. 양돈분뇨 경지순환 및 이용체계 개선에 관한 연구.
5. 농협중앙회. 2007. 2007 낙농·양돈 분뇨 처리 현황조사.
6. 대한양돈협회, 2008. 가축분뇨 공공처리시설의 운영개선과 배출자 중심의 효율적 처리방안.
7. 최홍림 등. 2003. 축산폐수배출시설 및 처리시설 관리개선 방안연구.
8. 환경관리공단. 1999. 축산폐수관리의 효율성 및 경제성 향상방안 연구.
9. 환경부, 2004. 축산폐수공공처리시설 기술진단 보고서.
10. 환경부, 2005. 축산폐수공공처리시설 설치 및 운영·관리지침 개정안.
11. 환경부, 2007. 가축분뇨공공처리시설 성능평가 및 운영기술지원.
12. 환경부, 2007. 한미 FTA 발효 등에 대비한 가축분뇨 관리 대책.
13. 동화기술, 2008. 공정시험방법.