

가축분뇨 공공처리시설의 경제적 적정규모 설정

김재환 · 박치호 · 곽정훈 · 최동윤 · 정광화 · 정의수 · 정연배 · 유용희

농촌진흥청 축산과학원

Estimate on Economical Optimum Scale of Public Livestock Manure Treatment Plant

Kim, J. H., Park, C. H., Kwag, J. H., Choi, D. Y., Jeong, K. H., Chung, U. S., Chung, Y. B. and Yoo, Y. H.

National Institute of Animal Science, R.D.A., Suwon, Korea

Summary

The objective of this study was to estimate the optimum scale of PLMTP (Public Livestock Manure Treatment Plant) for the efficient management of public sector by long-run cost function. An economic analysis was performed using the survey of 52 PLMTP records collected by Ministry of Environment in 2007. The main results obtained in this study can be summed up as follows.

The optimum scale under given environmental conditions turned out to be 180~200 m³/day which is almost 1.5~1.6 times of the average scale of sample plants, 146 m³/day. This gap between the optimum and current scale suggests that there remains the possibility of further expansion of scale.

(Key words : Livestock manure, PLMTP(public livestock manure treatment plant), Running cost, Optimum scale)

서 론

최근 환경의 중요성이 급속히 증대됨으로써 축산경영에도 영향을 크게 미치고 있다. 그 중 중요한 변화는 해양오염방지법의 강화로 2012년부터 가축분뇨의 해양배출이 금지되고, 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 제정을 통해 자원화 및 관련 규제가 강화되고 있다. 특히 지역단위 양분총량제도의 도입은 이제까지의 양축농가 단위에서의 가축분뇨처리 체계에서 지역 단위로의 변화를 예

고하고 있으며, 가축분뇨공공처리시설을 중심으로 한 지역단위 가축분뇨 공동처리 및 공동조직운영 체계구축이 요구되고 있다.^{4,9)}

이와 함께 정부는^{5,11)}는 2012년까지 약 4,000억 원을 투자하여 공공처리시설과 공동자원화시설 86개소를 신설하는 등으로 중규모 이하 농가(돼지 2,000두 이하) 가축분뇨의 60% 정도를 처리한다는 계획이다. 특히 환경부는 소규모(신고이하) 농가의 가축분뇨 처리를 위해 '07년도에 추진 중인 가축분뇨(축산폐수)공공처리시설(32개소)을 조기에 완

Corresponding author : Yoo, Y. H., National Institute of Animal Science, R.D.A., Suwon, 441-350, Korea.
E-mail : kimjh@rda.go.kr

공하고, 미설치지역에 16개의 시설을 새로이 추진할 계획이다. 또한 지금까지 정화처리 위주에서 지역특성을 고려한 퇴·액비 자원화시설을 우선적으로 설치토록 전환하고, 축산농가와 경종농가 및 생산자단체 등이 참여하는 “지역단위 퇴·액비 유통센터”를 활성화하여 자원화를 촉진할 예정이라 밝히고 있어 지자체 중심의 지역단위 공공처리시설의 역할 증대가 기대되고 있다.

그러나 농가단계에서의 가축분뇨 처리비용에 대한 조사·연구는 농촌진흥청⁶⁾과 허 등¹³⁾에 의해 많이 이루어져 왔지만, 점차 확대되는 지역단위 가축분뇨 공공처리시설에 대해서는 환경관리공단 등^{8,10,12)}이 주로 처리기술 분야에 중점적인 평가를 실시하였고, 지역의 입지조건에 우선하여 규모가 설정되므로 시설투자의 경제적 수준의 고려는 미약하였다.

이와 같은 여건 하에 장기평균비용함수를 이용하여 가축분뇨 공공처리시설의 적정규모를 산출함으로써, 정책적으로 최적 시설규모로의 접근을 유도하고 정부투자의 효율을 증대시키기 위하여 본 분석을 수행하게 되었다.

재료 및 방법

1. 분석자료

본 분석을 위하여 이용된 자료는 전국 52개소에서 운영되고 있는 가축분뇨(축산폐수) 공공처리시설의 '06~'07년도 축산폐수공공처리시설 운영·관리카드'로써 환경부의 도움을 받았다.

표 1에서 보는 바와 같이 100톤/일 이하 규모가 19개소로서 약 37%를 차지하고, 201

톤 이상은 7개소 14%에 불과하였다.

현재 가동 중인 가축분뇨공공처리장은 반입원료에 따라 가축분뇨 전용처리와 가축분뇨와 분뇨를 병합처리 하는 형태로 나누어지고, 또 가축분뇨의 반입에서 방류까지 단독으로 처리하는 경우와 하수종말처리장과 연계처리 하는 형태로 구분된다. 특히 단독처리의 경우는 기술적으로 법적 방류수질 기준 이하로 처리해야 하므로 처리공정이 복잡하고 초기공사비와 유지관리비의 소요가 많은 반면 하수연계처리의 경우는 전처리개념이므로 처리공정이 단순하고 부하변동 시 처리효율에 미치는 영향이 적을 뿐만 아니라 공사비와 유지관리비가 적게 소요된다는 장점¹²⁾이 있어 확대되고 있다.

표 2에서 보는 바와 같이 52개 공공처리시설 중 순수 가축분뇨만 처리하는 시설은 32개소 62%를 차지하고 있고, 처리유형으로 보면 정화방류까지 단독처리하는 시설은 19개소로 36%에 불과하고, 하수종말처리시설과 연계처리하는 경우가 31개소 60%를 차지하고 있다. 반면 화성시의 액비화 시설과 파주시의 퇴비화(열교환) 위주의 자원화 2곳이 운영되고 있으나, 앞에서도 언급되었듯이 정책적으로 확대될 전망이어서 지역 내 자연순환농업 정착에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 분석방법

위의 횡단면자료를 이용하여 장기 평균비용함수를 계측하고, 그로부터 총비용(TC)함수 및 한계비용(MC)함수를 도출하여 공공처리시설의 적정규모를 추정하는 전통적 방법

Table 1. Number of Public Livestock Manure Treatment Plant (PLMTP) by scale (2006)

Total	100 ton/day and less	101~150	151-200	201 ton/day and more
52	19	17	9	7
(100%)	(36.5)	(32.7)	(17.3)	(13.5)

Table 2. Number of PLMTP by treatment type (2006)

Total	Influent material type		Treatment type		
	Livestock manure	Livestock manure + human waste	Unilateral treatment	Sewage link	Recycling
52 (100%)	32 (62)	20 (38)	19 (36)	31 (60)	2 (4)

을 사용하였는데, 김과 조¹⁾ 의해 우유생산의 경제분석이 이루어진 바 있다.

다음과 같은 2차식을 이용하였다.

$$(2-1) Y_i = a + bX_i + cX_i^2$$

Y_i : i 공공처리시설의 가축분뇨 톤당 처리비용(운영비, 천원)

X_i : i 공공처리시설의 가축분뇨 1일 처리규모(톤)

이용된 처리비용 자료는 시설투자와 운영비가 국가 또는 지자체에서 지원을 받는다는 공공시설의 특성 상 처리비 중 감가상각비 등이 고려되지 않은 순수 시설 운영비를 전제로 하고 있다.

또한, 이상의 결과로부터 적정규모의 결정을 위해서는 시설규모의 한계수익(MR)을 계측하여야 하는데, 일반적으로 투입물로부터 발생하는 단위당 수익을 도출하여 사용하지만 공공처리시설의 경우는 지자체에서 직접 또는 위탁운영 하여 농가의 비용부담을 최소화하기 때문에 수익을 산출하기 곤란하다. 이를 위하여 양돈농가가 돼지슬러리의 해양배출 시 지불가격 20,000원/톤을 기준으로 하였는데, 최근 해양배출물량의 감축으로 30,000원/톤 수준을 상회하는 경우도 있다. 이 또한 농가의 위치나 조건에 따라 많은 차이가 있지만, 통상적인 농가 지불가능 수준으로 보아도 무리가 없을 것으로 판단하여 적용하였다¹⁾.

1) 양돈농가 톤당 분뇨처리비용은 조사농가 전체의 1/4 이상이 20,000원 이상, 과반수농가가 약 16,000원 이상, 전남, 경북, 경남, 제주 농가는 과반수 이상이 18,000원 이상으로 추정.(2007, 농협중앙회, 88쪽)

본 분석의 통계적 처리는 APL을 이용하여 T-test에 의한 유의성 검정을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 가축분뇨 공공처리시설의 처리 비중

환경부에서는 '91년부터 가축분뇨 공공처리시설을 설치하여 '06년도말 52개소가 운영되고 있다. 표 3에서 보는 바와 같이 '06년도 가축분뇨 발생량 131천톤/일 중 양축농가에서 자체처리 되는 물량은 82% 수준이며, 해양배출은 5.4%, 퇴비공장 등 공동처리가 6.8%인 반면 공공처리시설에서의 처리는 7.6천톤/일로 전체의 5.8%를 담당하고 있으나 '12년부터 가축분뇨의 해양배출 전면 금지조치가 예정되어 있고, 지역단위 양분총량제도의 실시 등을 고려할 때 공공처리시설의 신규증설 요구가 급속히 증대될 것으로 사료된다.

2. 공공처리시설의 가축분뇨처리 현황

가축분뇨 공공처리시설은 다양한 형태로 운영되고 있는데, 유입원료측면에서는 가축분뇨 단독처리시설과 인분뇨 병합처리시설로 구분되며, 정화처리측면으로는 가축분뇨 단독처리시설과 하수연계처리시설로 구분하고, 시설운영측면에서는 지자체 직접운영과 위탁운영 형태로 구분할 수 있다.

분석에 이용하기 위하여 52개 수집자료 중 '06년도 신규설치로 처리에 안정이 되지 않았거나 하수관로 유입 등 특이시설 지역을

Table 3. Present status of livestock manure by treatment type

(Unit : 1,000 ton/day)

Total quantity	Farm treatment	Public treatment plant	Sea emission	Composting facility
131.0	107.3	7.6	7.1	9.0
(100.0%)	(81.9)	(5.8)	(5.4)	(6.9)

Source) Ministry of Environment. 2007.

제외한 40개소에 대해 처리현황을 정리하면 표 4와 같다. 우선 시설용량을 보면 평균 146톤/일 규모이며 이 중 가축분뇨는 124톤/일으로써 약 85% 수준이며, 가축사육의 부하가 높아질수록 시설규모가 커지고 가축분뇨 처리 비중도 높아짐을 볼 수 있다.

가축분뇨의 1일 평균 유입량은 101톤으로써 시설용량 대비 81.5%의 가동률을 보이고 있는데, 이는 '05년도 전국 제조업 조업일수 기준 평균 가동률 80.0%와 비슷한 경향을 보이는 반면, 김 등²⁾이 보고한 가축분뇨 퇴비공장의 평균 가동률 51.3%와 비교하면 운영의 효율이 상대적으로 높음을 시사한다. 또한 과소지역 평균 가동률 72%에 비해 균형지역 또는 과밀지역은 85% 수준을 보이고 있어 공공처리시설 설치에 우선하는 것이 투자효율을 높일 수 있음을 시사하고 있다.

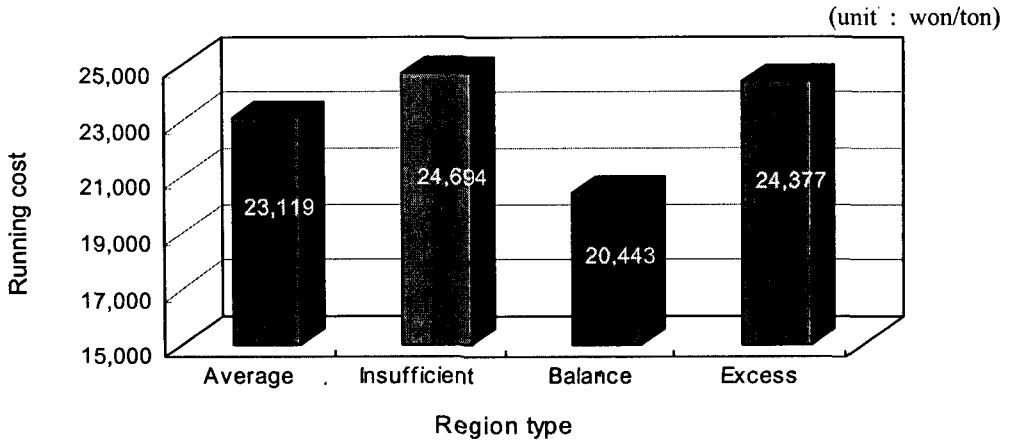
지역 여건에 따라 가축분뇨의 처리효율에 차이가 있을 것으로 판단하고, 지역유형별로 구분³⁾하여 실제 유입수질과 실제 유입수질의 부하수준을 비교해 보았으나, 상호 간 큰 차이는 없었다. 이는 공공처리시설에 유입되는 원료가 거의 양돈분뇨라는 점과 양축농가 규모가 대부분 신고규모 이상이라는 점 그리고 유입 시 일정한 수준을 준수해야 한다는 점 때문인 것으로 판단된다. 그러나 시설용량 대비 실제 유입량을 기준한 가동률의 경우 과소지역이 71%인 반면 균형지역은 84.9%, 과밀지역 85.0%로서 가축 밀집지역일수록 높은 경향을 보이고 있는 반면, 유입되는 BOD는 과소지역 보다 과밀지역이 낮은 경향을 보이고 있다. 이러한 경향으로 보아 가축밀집지역으로 갈수록 가축분뇨의 고액분리가 잘되고 있음을 유추할 수 있다.

Table 4. Present conditions of PLMTP by region type

(unit : m³/day, mg/ℓ)

Region*	No. of plant	Capacity of plant			Influent quantity	Influent water quality			
		Livestock manure	Human waste	Plan		Practice			
				BOD		T-N	BOD	T-N	
Average	40	146	124	22	101	21,029	3,989	18,646	4,100
Insufficient	15	113	93	20	67	21,670	3,986	19,888	3,892
Balance	14	169	139	30	118	19,571	3,961	18,549	4,452
Excess	11	162	147	16	125	22,011	4,057	17,077	3,937

* 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."



(n=40, NS)

Fig. 1. Comparison of running cost with PLMTP as classification of region type.

가축분뇨의 톤당 처리비에 있어서도 지역 유형 간 통계적 유의성은 없었으나, 평균 23,119원 수준이었으며 균형지역이 20,443원으로 상대적으로 낮은 반면 과소지역이 24,694원으로 높은 것으로 나타났다.

3. 공공처리시설의 경제적 적정규모 산출

위에서 선정한 40개소의 공공처리시설 중 통계적 특이치를 갖는 4개소를 제외한 36개소의 횡단면 자료를 이용하여 전체(Type 1, 가축분뇨+분뇨 병합, 단독정화처리+하수연계처리), 가축분뇨 처리형(Type 2, 가축분뇨, 단독정화처리+하수연계처리), 가축분뇨 단독정화처리형(Type 3, 가축분뇨, 단독정화처리)의 3개 유형으로 나누어 경제적 적정규모를 산출하였다.

(Type 1)

$$Y = 39853 - 224X + 0.598X^2 \quad R^2 : 0.17$$

(2.11)* (1.68) F : 3.54*

(Type 2)

$$Y = 64125 - 505X + 1.384X^2 \quad R^2 : 0.37$$

(2.55)* (2.23)* F : 4.62*

(Type 3)

$$Y = 87096 - 720X + 1.893X^2 \quad R^2 : 0.63$$

(2.41)* (2.07) F : 6.06*

위 식에 의해 가축분뇨 1일 처리규모에 대한 톤당 처리비용의 평균비용곡선과 한계비용곡선을 나타낸 것이 그림 2~4인데, 평균비용함수의 계측결과 일부 유형의 회귀계수가 통계적 유의성이 낮은 경우도 있으나 대체적으로 유의성이 인정되고, F-value는 5% 수준에서 모두 통계적 유의성이 있었다.

산출 결과를 보면 Type 1인 전체 36개소 경우 적정규모는 한계수익(MR)과 한계비용(MC)이 일치하는 점에서 약 193톤/일이 되고 이때 톤당 처리비는 18,896원이 되어 전체 평균 처리비용 23,119원/톤에 비해 18%의 비용절감효과가 있는 것으로 분석 되어진다. 다음으로 Type 2인 분뇨 병합처리시설을 제외한 순수 가축분뇨처리시설 19개소에 대한 분석결과는 186톤/일, 처리비는 18,076원/톤으로 추정되었으며, Type 3인 하수연계처리를 제외한 가축분뇨 단독정화처리 10개소의 경우는 192톤/일, 처리비 20,620원/톤인 것으로 분석되어졌다. 특히 Type 2와 Type 3의 결과에서 가축분뇨처리만을 대상으로 한 하수연계처리와 단독처리 간에는 단독처리의 경우 방류에 따른 처리비용이 추가됨으로서 처리비가 상승하는 것은 당연한 결과라 하겠다.

따라서 시설운영비를 기준으로 한 현재의 조건에서는 180~200톤/일 시설규모가 경제

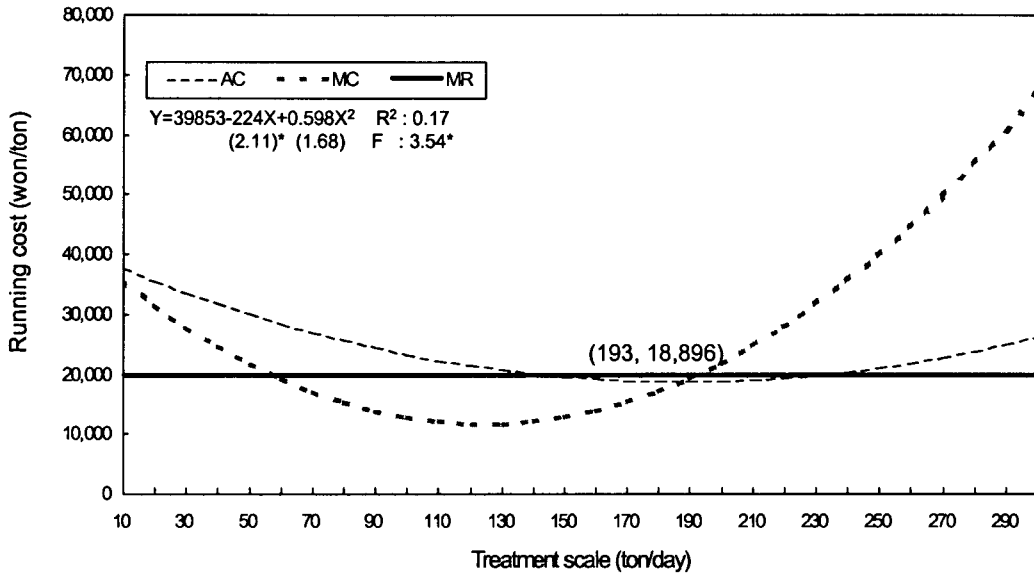


Fig. 2. Optimum scale of Type 1.
(Livestock manure + human waste, Unilateral treatment + sewage link treatment)

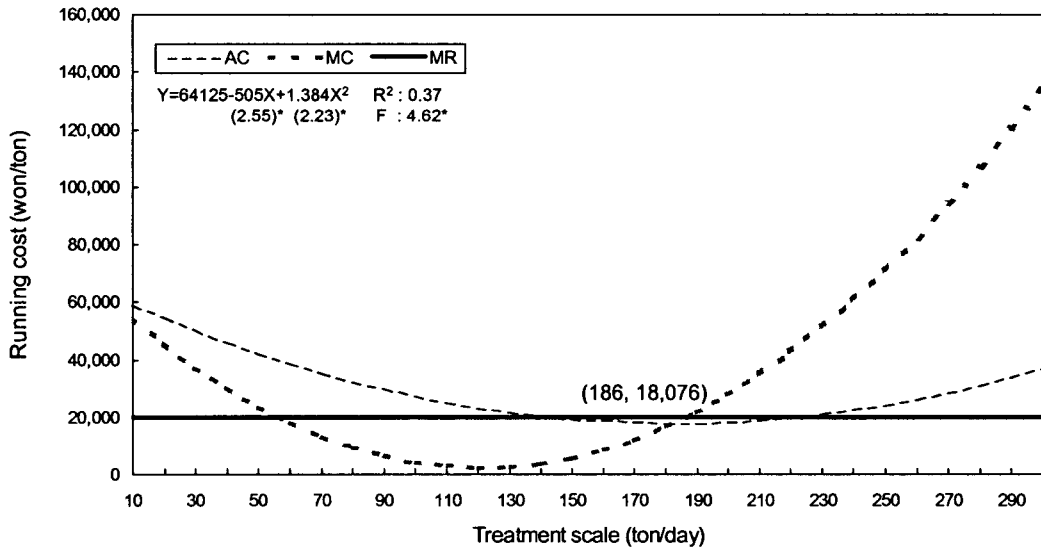


Fig. 3. Optimum scale of Type 2.
(Livestock manure, Unilateral treatment + sewage link treatment)

적 적정수준인 것으로 추정되는데, 처리비용 측면으로 볼 때 허 등¹³⁾이 개별 양돈농가 돼지 분뇨의 최대 절감 가능한 두당 처리비용이 18,000원/두(15,000두 규모)으로 분석한 것을 고려한다면, 위 결과는 공공처리시설에서

추구할 수 있는 규모일 것으로 판단된다.

그러나 표 1의 전국 52개소의 시설규모 분포로 보면 150톤/일 이하가 69%로 대부분의 시설은 적정규모를 하회하고 있고, 표 4의 분석대상 시설의 평균 처리시설 규모 124톤/

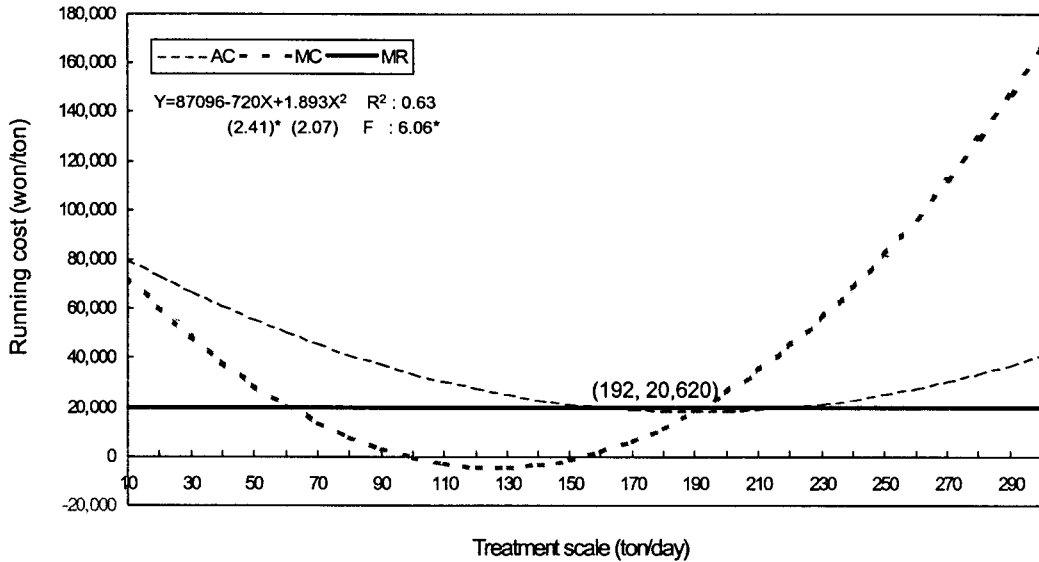


Fig. 4. Optimum scale of Type 3.
(Livestock manure, Unilateral treatment)

일과 비교하면 약 1.5~1.6배 수준임을 알 수 있어 현재의 가축분뇨처리시설은 대부분이 규모의 경제 효과를 증대시키지 못하고 있음을 시사하고 있다.

이상에서 살펴 본 바와 같이 현재의 여건 하에서 가축분뇨 공공처리시설의 경제적 적정규모는 180~200톤/일 인 것으로 분석 되므로, 지역단위 가축분뇨공공처리시설의 신규 설치 시 해당 지역의 입지조건에 따라 규모가 탄력적으로 설정되어야 하겠지만, 정부 또는 지자체의 투자효율 극대화와 자연순환 농업의 조기 달성을 위해서는 가축사육 과밀(양분초과)지역을 우선 대상으로 하되, 지역 내 자원화시설 등 관련 시설과의 연계성과 경제적 적정규모를 고려하여 시설투자 계획을 수립해야 할 것으로 사료된다.

적 요

본 연구는 공공부문의 효율적 투자를 위하여 장기비용함수에 의한 가축분뇨공공처리시설의 적정규모를 산출하고자 수행하였다. 분

석에는 2007년도 환경부에서 수집된 52개소의 자료를 이용하였다. 현재의 주어진 여건 하에서의 경제적 적정규모는 분석대상 시설 평균 146m³/일의 1.5~1.6배에 달하는 180~200m³/일 인 것으로 산출되었다.

이는 향후 규모 확대의 가능성을 시사하고 있어 공공부문의 투자효율 극대화와 자연순환 농업의 조기 달성을 위해서는 가축사육 과밀(양분초과)지역을 우선 대상으로 하되, 지역 내 자원화시설 등 관련 시설과의 연계성과 경제적 적정규모를 고려하여 시설투자 계획을 수립해야 할 것으로 사료된다.

인 용 문 헌

1. 김재환, 조석진. 1994. 우유생산의 경제분석, 농업경제연구 25:69-85.
2. 김재환, 박치호, 광정훈, 류종원. 1999. 가축분뇨 부산물비료의 유통에 관한 연구, 한국축산경영학회지 15(1):139-154.
3. 김재환, 박치호, 한정대, 박백균, 2001. 가축분뇨 비료성분 부하수준을 고려한 지

- 역별 적정사육두수 설정, 농업경영·정책 연구 28(2):255-277.
4. 김창길, 김태영, 신용광. 2005. 지역단위 양분총량제 도입 세부시행방안 연구, 한국농촌경제연구원.
 5. 농림부. 2007. 가축분뇨 해양배출감축대책
 6. 농촌진흥청. 2000. 가축분뇨의 처리체계별 경제성 연구, 1999년도 연구사업보고서.
 7. 농협중앙회. 2007. 2007 낙농·양돈 분뇨 처리 현황조사
 8. 민경석 등. 2007. 가축분뇨공공처리시설 성능평가 및 운영기술지원.
 9. 유덕기, 함병은, 이상덕. 2002. 가축분뇨 자원화를 위한 공동조직운영모델개발관련 연구.
 10. 최홍림 등. 2003. 축산폐수배출시설 및 처리시설 관리개선 방안연구.
 11. 환경부. 2007. 한미 FTA 발효 등에 대비한 가축분뇨 관리 대책.
 12. 환경관리공단. 1999. 축산폐수관리의 효율성 및 경제성 향상방안 연구.
 13. 허 덕, 정민국, 김창길, 유철호. 2000. 가축분뇨처리시설의 시설비 및 운영비 조사연구. 한국농촌경제연구원.