

Cage Test를 통한 양돈폐수 발생원단위 설정

김용석 · 박재홍 · 박지형 · 박배경 · 어성욱^{*†}

국립환경과학원 유역총량연구과
^{*}우송대학교 철도건설시스템학과

Estimation of Unit Loads Generation for Swine Wastewater by Cage Test

Yong Seok Kim · Jae Hong Park · Ji Hyoung Park · Bae Kyung Park · Seong Wook Oa^{*†}

Watershed and Total Load Management Research Division, National Institute of Environmental Research

^{*}Department of Railroad, Construction System, Woosung University

(Received 26 August 2014, Revised 14 April 2015, Accepted 16 April 2015)

Abstract

To evaluate the unit load generation and discharge, pig cage test was conducted. Feed intake, drink amount, and urine generation increased growth stage (heavy weight) of the pig more great. However, the sum of the urine and manure did not show a significant difference in the growth stages of pigs. Because of the limit of the experiment, e.g., research period, high pigpen temperature, breed-related stress and etc., it could not be derived the results of the four seasons. Therefore, in order to generalize the results, the feed intakes were calibrated using a NRC (National Research and nutritional requirements of pigs from the Commission) standards. The finalized unit load generation and generation amounts of manure and urine were estimated at BOD 104.1 g/head/d, T-N 21.2 g/head/d, T-P 4.9 g/head/d, manure 0.96 L/d, urine 1.66 L/d with consideration of revised feed intake. Compare to the former research results of MOE (Ministry of Environment, 1999) and NIAS (National Institute of Animal Science, 2008), the generation amounts of manure and urine were similar to the NIAS's values. In case of unit load generation, BOD and T-N were almost similar in all of them. However, the T-P unit load generation of MOE was more difference, e.g., 2.5 times high, compare to this study.

Key words : Cage test, Swine wastewater, TOC, Unit loads generation

1. Introduction

가축분뇨는 고농도 유기물질과 영양물질을 함유하고 있어 수질오염 총량 부하의 큰 비중을 차지하고 있다. 발생량은 전체 하·폐수 대비 0.6%에 불과하나 녹조나 부영양화의 원인 물질인 질소, 인의 농도가 월등히 높아 하천에 미치는 오염부하량이 25.8%에 달하는 것으로 추정되고 있다. 따라서 하천의 수질개선에 있어 가축분뇨관리의 중요성이 매우 크다고 할 수 있다. 한편 가축분뇨 중에서 양돈분뇨가 전체발생량의 36.4% (MOE, 2013) 이상을 차지하는 것으로 조사되고 있으며, 돈분뇨는 대부분 퇴·액비 형태로 사용되어 수계 및 토양, 지하수 오염의 주요 원인으로 작용할 우려가 있다.

이에 따라 가축분뇨의 적정관리 및 자원화를 통하여 친환경 축산 기반의 조성과 수질오염방지를 동시에 추구하려는 목적하에 환경부와 농림부는 2006년 9월 27일에 현행 “가

축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률”을 제정·공포(법률 제 8010호)하여 2007년 10월 1일부터 시행하고 있다. 한편 지금까지 정화처리 위주의 공공처리시설을 지역 특성을 고려한 퇴·액비 자원화 시설을 먼저 설치토록 전환하고, 축산농가, 경종농가, 양돈협회, 농협 등이 참여하는 “지역 단위 퇴·액비 유통센터”를 활성화하여 자원화를 촉진하고자 하였다. 그러나 초창기의 가축분뇨 공공처리시설은 개별 농가에서 운영되는 저장액비 시설에 의해 고액분리를 거친 상장액을 처리하였으나 수거시스템과 농가의 인력난 등으로 고형물 농도가 높은 폐수가 유입되어 처리에 많은 문제점이 대두되었다.

공동자원화 시설의 경우 가축분뇨를 가장 경제적으로 처리할 수 있으며 친환경 농업과 연계될 경우 자원 재활용 효과를 기대할 수 있으나, 현실적으로는 지역별 환경용량을 고려하여야 하며 무분별하게 사용할 경우 환경오염을 가중시키는 원인이 될 수도 있다. 처리 개념에서 비료 생산 개념으로 가축분뇨 관리가 변하고 있으나, 액비 이용 농가의 제한, 수송 및 공급의 문제 등으로 액비의 수급 부조화가 수시로 발생하고 있다.

한편, 지하수 조사 결과 약 40% 이상의 천층 지하수가 질산성 질소로 오염되어 있는 것으로 확인되고 있어(MOE, 2012), 국내의 농지 및 토양은 과영양 상태에 있다고 판단

[†] To whom correspondence should be addressed.
swoa@wsu.ac.kr

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.

할 수 있다. 여기에 가축 분뇨 액비를 지속적으로 공급함으로써 영양물질의 수계 유출률이 커지고, 호소의 부영양화를 가속시킬 수 있을 것으로 예측된다.

이렇듯 수질오염의 주요한 오염원인 축산분뇨에 대한 적절한 관리 및 정책을 수립하기 위해서는 원단위에 대한 지속적인 조사가 필요함에도 불구하고 환경부가 지난 2008년 가축 분뇨 발생량 원단위를 변경 고시한 이후 뚜렷한 조사나 연구가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 현재 수질관리의 가장 핵심 정책인 수질오염총량관리제에서도 2008년 이전의 원단위가 사용되고 있는 실정이다. 물론 과거에 조사되었던 원단위가 신뢰성이 결여된 것은 아니지만 사료 형태, 사육환경 등 관리여건들이 변화됨에 따라 이에 부합되는 원단위로의 지속적인 조사와 개정이 필요하므로 원단위에 대한 연구는 지속적으로 장기적인 관점에서 주기적으로 수행될 필요가 있다. 또한, 수질오염총량관리 대상물질 확대를 위해 유기 오염인자로 TOC 항목의 적용을 검토하고 있어 이 항목에 대한 가축분뇨의 발생 및 배출 원단위 확보가 시급한 실정이다.

따라서 본 논문은 가축분뇨 중 오염 기여도가 큰 양돈폐수에 대해 발생원단위를 조사하여 기존원단위와의 비교를 통해 개선방안을 마련하고 수질오염총량관리제의 대상물질 항목인 TOC에 대한 원단위도 함께 조사하고자 하였다.

2. Materials and Methods

2.1. 대사 실험(Cage test)

양돈분뇨의 발생량 및 오염물질 농도조사를 위해 대사 실험(Cage test)을 수행하였다. Cage test는 돼지의 성장단계별 분과 요의 발생량과 발생농도 결정을 위해 수행하는데 돼지의 체중별로 각각 균일 사료 급여 후 돼지의 성장량과 분뇨 발생량 등을 측정하는 시험법이다.



Fig. 1. The cage used in this study.

2.2. 실험 설계 및 주입 사료

돼지의 성장단계를 고려하여 평균 체중 약 23.1 kg, 60.8 kg 및 93.6 kg의 교잡종 수돼지를 각각 4두씩, 총 12두를 사료 먹이통이 설치된 대사 틀에 개체별로 사양하였다.

사료는 일반 양돈 농가에서 각 성장 단계별로 급여하고 있는 사료(후기 자돈 사료, 육성돈 사료 및 비육돈 사료)를 급여하였다. 실험설계는 완전 임의배치법이며, 처리구는 돼

지의 성장 3단계(후기 자돈 : 23.1 kg, 육성돈 : 60.8 kg, 비육돈 : 93.6 kg)로 구분하여 수행하였다. 처리구별로 5회 반복하여 실험하였다.

2.3. 사료 급여 및 시료 채취

사료는 무제한으로 급여하며, 오전 8시와 오후 5시로 나누어 2회 급여하였다. 물은 상시 급여하며 일일 음수량도 측정하였다. 오전 8시 급여 전, 사료 먹이통에 남아있는 사료 및 물의 무게를 측정하여 전날 사료 및 음수량을 측정하였다.

분과 요의 채취는 표시제법을 이용하였다(Adeola, 2001). 7일의 적응 기간 후, 8일째 되는 날과 13일째 되는 날의 오전 8시에 0.5%의 Cr₂O₃을 표시제로 사료에 첨가하였다. 표시제가 분에 처음 나타나는 시점부터 분 채취를 시작하며, 두 번째 표시제 첨가 후 표시제가 다시 나타나기 이전까지 분을 모두 수거하였다. 뇨는 8일째 되는 날의 오후 2시부터 5일간 수거하였다.

2.4. 실험기간, 조건, 실험 분석

실험은 약 1개월(2013. 7. 29 ~ 2013. 8. 21) 동안 수행되었으며, 실험 기간 중 돈사 내부 온도는 최저 26°C, 최고 31.5°C로 유지되었다.

매일 수거된 분 샘플은 무게를 측정된 후, 플라스틱 용기에 밀봉하여 -20°C에서 냉동 보관하였다. 수거된 요는 무게를 측정된 후 샘플링 하여 -20°C에서 냉동 보관하였다. 사료 및 채취한 분·요의 질소 및 인 함량을 분석하였으며(AOAC, 2007), 발생오염원단위 산정을 위해 수질오염공정시험법(MOE, 2007)과 폐기물공정시험방법(MOE, 2011)에 준하여 BOD, TOC, TN 및 TP에 대한 분석을 하였다. 분은 냉동분을 건조한 후 분석하였다.

2.5. 발생원단위(유량, 부하) 조사 방법

양돈분뇨의 발생 오염부하량 원단위는 발생농도와 폐수발생량으로부터 계산되었으며, 양돈 분뇨의 폐수발생량은 용수사용량 및 분뇨 발생량에서 양돈의 흡수량 및 손실량을 제함으로써 산정하였다. 용수사용량의 결정을 위해 조사대상 농가의 지하수 관정에 대해 계량기를 설치하여 조사 기간에 용수사용량을 결정하였다. 분뇨 발생량, 양돈의 흡수량 및 손실량은 대사실험(cage test)을 통하여 산정하였다. 발생농도는 수계별 개별농가 및 공공처리장의 발생농도를 항목별로 분석하였다.

2.6. 통계 분석

실험 데이터는 SAS(SAS Inst., Inc., Cary, NC)의 GLM procedure를 이용해서 분석하였다. UNIVARIATE procedure를 통해서 처리 내 분산 및 outlier를 검증하였으며, outlier로 확인된 observation은 최종 통계처리를 위한 data set에서 제외하였다. 완전 임의배치법에 적합한 모델을 사용하고, 고정변수로는 돼지의 체중을 포함하였으며, 각 처리의 평균은 최소자승평균을 사용하였다. 실험단위는 동물이며, 통계적인 유의성은 P-value가 0.05 이하 일 때로 하였다.

3. Results and Discussion

3.1. 대사실험 결과

양돈분뇨의 발생량 및 오염물질 농도조사를 위해 수행된 대사실험 결과 분 발생량은 자돈(23.1 kg) 0.77 L, 육성돈(60.8 kg) 0.65 L, 비육돈(93.6 kg) 0.55 L로 각각 조사되어 자돈, 육성돈, 비육돈의 순으로 높게 나타났다. 반면, 요 발생량의 경우는 자돈이 1.56 L, 육성돈은 1.68 L, 비육돈은 1.75 L로 나타나 분 발생량의 경우와는 반대로 비육돈, 육성돈, 자돈의 순으로 높게 나타났다. 이를 합한 분뇨의 발생량은 자돈이 2.33 L, 육성돈이 2.34 L, 비육돈이 2.30 L로 나타나 총 발생량은 체중과 관계없이 거의 유사한 것으로 나타났다.

생분의 경우 성장단계가 진행될수록 총배출량이 감소하는 결과를 볼 수 있었던 반면 수분을 제외한 나머지 건조물량(Dry Matter, DM)의 함량은 사료섭취량의 증가와 함께

증가한 것으로 보아 장관의 성장 등으로 인한 수분 흡수율의 증가가 생분의 발생량 변화에 큰 영향을 주었다고 추정되었다.

소화율 측정에 대한 자료는 없으나 육성돈(60.8 kg) 보다 비육돈(93.6 kg)의 사료 섭취량이 약간 증가(Table 1)하였음에도 DM의 발생량이 감소(Table 2)한 것은 비육돈의 소화율이 높다고 추정할 수 있을 것이다.

표 2에는 대사실험 결과물과 사료의 섭취량과 이에 따른 분뇨 발생량의 물질수지를 정리하였다. 사료섭취량은 자돈의 경우 하루에 855 g, 육성돈의 경우 1,536 g, 비육돈은 1,684 g 으로 하루 평균 1,358 g을 섭취하는 것으로 나타났다. 음수량과 분뇨 발생량의 차이가 평균 1.2 L로 나타났다. 이는 돼지의 대사에 이용되는 수량으로 예측된다. 따라서 양돈 농장의 용수사용량으로부터 폐수 발생량을 산정할 경우 돼지 마리당 1.2 L의 대사 이용량을 감한 후 계산하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

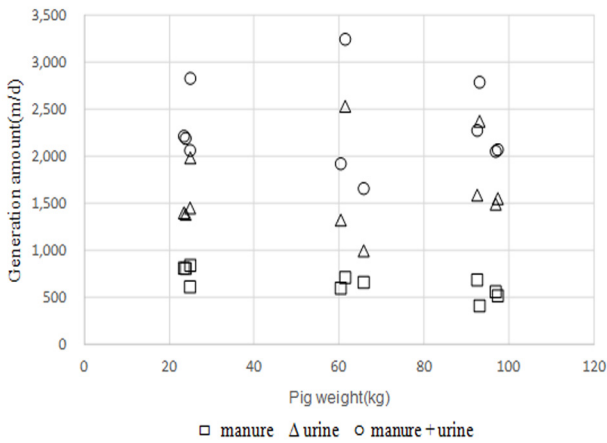


Fig. 2. The generation amounts of manure and urine on pig weight (wet base).

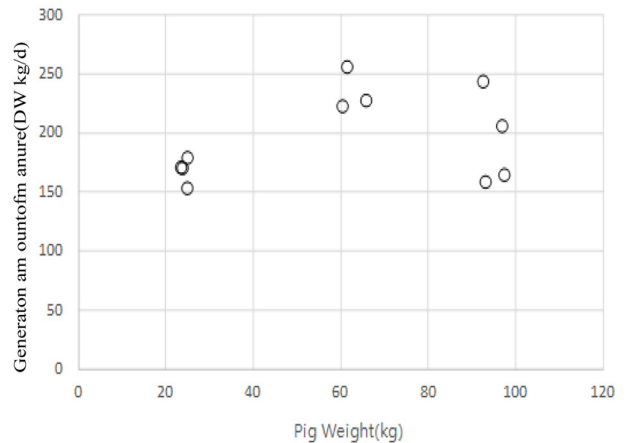


Fig. 3. The generation amounts of manure on pig weight (dry weight base).

Table 1. The analysis results of various parameters

	Weight (kg)			Standard error	P-value		Avg.
	23.1	60.8	93.6		Linearity	Curvilinearity	
Feed intake (g/d)	855	1,536	1,684	46	< 0.001	0.004	1,358.33
Drink amount (g/d)	3,159	3,556	3,811	430	0.289	0.930	3,508.67
Nitrogen in feedstuff (%)	3.13	2.89	2.67	-	-	-	2.90
Phosphorus in feedstuff (%)	0.61	0.45	0.41	-	-	-	0.49
Excretion of manure (mL/d)	769.3	658.4	545.6	-	-	-	657.7
Excretion of manure (g/d)	169	236	194	14	0.189	0.018	199.67
Nitrogen in manure (%)	2.13	2.91	2.75	0.40	0.271	0.410	2.60
Phosphorus in manure (%)	1.59	1.33	1.68	0.06	0.355	0.005	1.53
Excretion of nitrogen from manure (g/d)	3.55	6.89	5.33	0.78	0.111	0.044	5.26
Excretion of phosphorus from manure (g/d)	2.68	3.14	3.22	0.18	0.053	0.474	3.01
Digestion rate of nitrogen (%)	86.5	84.5	88.2	2.7	0.675	0.437	86.40
Digestion rate of phosphorus (%)	48.8	54.7	53.4	2.1	0.121	0.238	52.30
Excretion of urine (g/d)	1,558	1,619	1,754	269	0.604	0.905	1,644
Manure(wet)+urin (g/d)	2,327	2,272	2,514	-	-	-	2,371
Nitrogen in urine (%)	0.38	0.63	0.77	0.09	0.010	0.672	0.59
Phosphorus in urine (mg/kg)	9.24	16.1	51.8	13.4	0.048	0.385	25.71
Accumulation rate of nitrogen (%)	64.1	63.2	59.5	3.9	0.406	0.769	62.27
Accumulation rate of phosphorus (%)	47.8	53.5	51.8	2.0	0.163	0.212	51.03

Table 2. Feed intake and generation amounts of manure and urine by pig weight

	Weight (kg)			Avg.
	23.1kg	60.8kg	93.6kg	
Feed intake (g/d)	855	1,536	1,684	1,358
Drink amount (g/d)	3,159	3,556	3,811	3,508
Manure(wet) (g/d)	762	658	545	655
Solid content of manure (%)	22.0	35.9	35.5	30.4
Manure(dried) (g/d)	168.9	236.0	193.7	199.5
Urine (g/d)	1,558	1,682	1,754	1,664
Generation amounts of manure and urine (g/d)	2,327	2,340	2,230	2,299
Drink amount -(Manure(wet) + Urine) (g/d)	832	1,216	1,581	1,209

* A sample of 60.8kg pig was excluded for diarrhea

3.2. 급여량 보정

본 연구의 결과를 2008년도 환경부의 ‘가축분뇨 배출원 단위 재산정 결과공지’의 분뇨발생량과 비교하였을 때 약 290 g/일 만큼 적은 것으로 나타났는데, 이는 2008년도의 실험은 20~110 kg 성장단계의 돼지들로 평균을 구하였으나, 본 연구에서는 20~90 kg 성장단계의 돼지들 평균을 구하였기 때문에 더욱 적게 측정되었을 가능성이 있다. 뇨의 발생량은 약 100 g/일 정도 적은 것으로 나타났다.

표 3은 NRC(1998)의 체중별 사료섭취량 값을 보여주고 있다. 본 연구결과와 비교를 위해 NRC Standards 값에 대한 회귀식을 이용하여 본 연구의 체중별 해당 값과 비교한 결과 그림 4에 나타낸 것과 같이 체중별로 NRC(돼지사양표준, Nutrient Requirements of Swine in National Research Council) 값에 대해 62.0%, 61.4%, 56.1%의 사료 소비량을 보인다. 그 차이는 특히 90 kg의 체중에서 가장 크게 나타나고 있는데, 이는 실험 기간 중 돈사의 높은 온도(평균 29.9°C)로 인하여 사료 섭취량이 30% 이상 감소한 것으로 추정되며, 체중이 증가할수록 온도의 증가에 따른 사료 섭취량 감소는 증가하기 때문에(Noblet et al., 2001) 본 연구에서도 가장 높은 체중에서 사료 섭취량이 가장 많이 감소한 것으로 추정된다. 그 뿐만 아니라 일반적인 사육환경이 아닌 대사 틀에서의 사육으로 인하여 스트레스에 의해 사료 섭취량이 감소한 것으로 추정된다.

실제 분뇨 발생량 원단위는 이러한 영향 등을 고려하고 4계절 평균을 적용하는 것이 타당하나 본 연구 기간의 시간적 제약에 따른 여건상 본 연구결과를 일반화(normalize)하는 과정이 필요할 것으로 판단된다. 이를 위해 본 실험의 사료

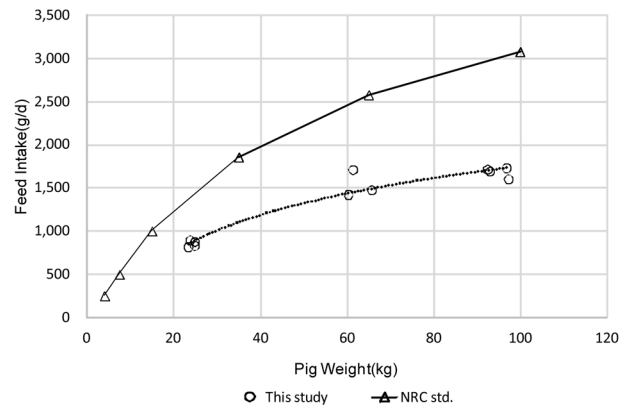


Fig. 4. Difference of feed intake between NRC standards and this study results.

섭취량과 NRC Standards 값의 차이 비율을 분뇨 발생량에 적용하여 보정하는 방법을 적용하였는데, 각 체중 구간별로 급여량 차이인 38%, 38.6%, 45.9%를 보정하였으며, 그 결과를 표 4에 나타내었다. 표 4의 성분발생량은 대사실험 (cage test) 결과값을 적용하여 나타내었다. 그림 5는 원자료와 급여량 보정 결과의 차이를 보여주는 것인데, 보정 전에는 체중이 증가할수록 분발생량이 증가하다 90 kg 급육성돈에서 분 발생량이 오히려 감소하는 것으로 나타났으나, 보정 후에는 체중증가에 따라 분발생량이 증가하는 관계를 보여주고 있다. 또한 이 제안 자료는 EU의 돼지 체중별 분뇨발생량 자료(IKC Veehouderij, 1993; Ireland, 2001; Smith et al., 2000)와 일치하는 결과를 보인다.

Table 3. NRC standards

	Body Weight (kg)					
	3-5	5-10	10-20	20-50	50-80	80-120
Average weight in range (kg)	4	7.5	15	35	65	100
DE content of diet (kcal/kg)	3,400	3,400	3,400	3,400	3,400	3,400
ME content of diet (kcal/kg)	3,265	3,265	3,265	3,265	3,265	3,265
Estimated DE** Intake(kcal/day)	855	1,690	3,400	6,305	8,760	10,450
Estimated ME*** Intake(kcal/day)	820	1,620	3,265	6,050	8,410	10,030
Estimated feed Intake (g/day)	250	500	1,000	1,855	2,575	3,075
Crude protein (%)	26.0	23.7	20.9	18.0	15.5	13.2

* Dietary Amino Acid Requirements of Growing pigs Allowed Feed Ad Libitum (90% dry matter)

** DE : Digestible Energy

*** ME : Metabolizable Energy

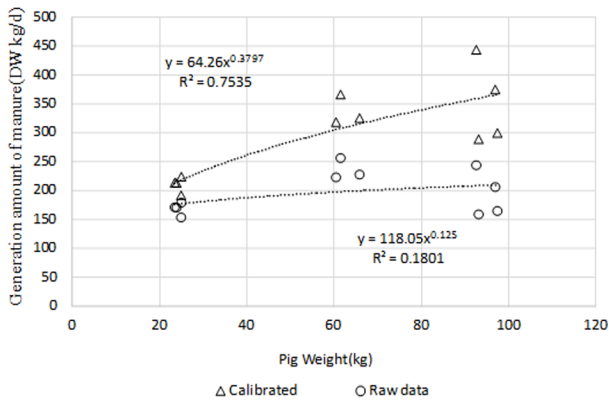


Fig. 5. The generation amounts of manure by pig weight after revision of feed intake.

표 5는 대사실험 결과 발생된 분뇨의 각 수질 항목에 대한 분석자료를 나타내었다.

3.3. 원단위 안 및 기존 자료와의 비교

사료 급여량이 보정된 표 4의 분뇨발생량과 표 5의 수질

항목별 농도분석결과를 바탕으로 표 6에 돼지의 성장단계별 오염물질의 발생 부하 원단위를 제시하였다. 즉 표 4의 분과 요의 발생량에 표 5의 분과 요 오염물질 항목별 농도를 곱하여 부하량을 산정하고 분과 요의 부하량 합을 발생 원단위 값으로 제시하였다.

한편, 표 7에는 기존에 조사된 원단위와 본 연구에서 도출된 원단위를 비교하여 나타내었다. 표 7에서 보는 바와 같이 1999년 환경부의 고시 자료와 비교할 경우 분뇨 발생량의 경우 많은 차이를 나타내고 있으며, 원단위의 경우 BOD는 거의 유사하게 나타나고 있으나, 질소는 6.5 g/두/일, 인은 7.3 g/두/일이 작게 나타나고 있다. 특히 인의 경우는 본 연구결과가 약 2.5배 낮게 나타나 그 차이가 크게 발생하고 있다. 따라서 인의 오염부하량 값에 대해서는 추가적인 조사 내지는 현재의 원단위에 대한 재조정이 필요할 것으로 판단된다.

한편 국립축산과학원에서 조사된 자료와 비교할 경우 분뇨발생량의 경우 거의 유사하게 나타나고 있으며, 부하량의 경우 BOD, T-N, T-P 모두 전체적으로 본 연구의 결과와 유사한 것으로 나타났다.

Table 4. The generation amounts of manure and urine by pig weight after revision of feed intake

Body Weight (kg)	Raw excretion (L/head/d)	Manure DM (g dw/head/d)	DM (%)	Urine (mL)	Manure+Urine (mL)
23.1	0.953	211	22.0	1,558	2,511
60.8	0.939	337	35.9	1,682	2,558
93.6	0.988	352	35.5	1,754	2,742
Avg.	0.960	300	30.4	1,664	2,604

Table 5. The results of pollutants concentration

Body Weight (kg)	TOC		BOD		TN		TP	
	Urine (mg/L)	Manure (mg/kg)	Urine (mg/L)	Manure (mg/kg)	Urine (mg/L)	Manure (mg/kg)	Urine (mg/L)	Manure (mg/kg)
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
23.1	5,993	371,600	9,450	231,000	5,335	39,125	543	12,446
	1,012	37,772	533	35,507	971	3,574	112	560
60.8	7,898	381,900	13,063	250,000	5,867	35,767	432	11,711
	2,096	35,794	360	5,813	877	4,163	31	767
93.6	9,275	393,200	14,919	247,500	7,983	32,925	1,006	13,996
	881	13,338	730	16,212	648	1,588	120	1,140
Avg.	7,722	382,233	12,477	242,833	6,395	35,939	660	12,718
	1,915	28,437	2,557	24,743	1,445	3,969	274	1,257

Table 6. The unit load generation by pig weight

Body Weight (kg)	Generation amounts of manure and urine (L/head/d)	BOD (g/head/d)	TOC (g/head/d)	T-N (g/head/d)	T-P (g/head/d)
	SD	SD	SD	SD	SD
23.1	2.51	69.7	87.6	16.5	3.5
	0.0	6.9	5.2	1.8	0.2
60.8	2.56	118.9	141.5	21.6	4.6
	0.0	4.6	6.2	1.7	0.4
93.6	2.74	123.8	154.6	25.6	6.7
	0.0	21.9	24.5	3.2	0.8
Avg.	2.60	104.1	127.9	21.2	4.9
	0.1	29.4	34.6	4.7	1.6

Table 7. Comparison of generation amounts of manure, urine and unit load generation

	Ministry of Environment (1999)		National Institute of Animal Science (2008)		This study	
	Manure	Urine	Manure	Urine	Manure	Urine
Generation amounts of manure and urine (L/d)	1.6	2.6	0.87	1.74	0.96	1.66
Unit load generation of BOD (g/head/d)	109		117.4		104.1	
Unit load generation of T-N (g/head/d)	27.7		21.0		21.2	
Unit load generation of T-P (g/head/d)	12.2		4.6		4.9	

4. Conclusion

Cage test를 통한 양돈 분뇨 원단위 조사 결과 다음의 결론을 도출하였다.

1) 자돈, 육성돈, 비육돈에 대한 대사실험(cage test) 결과 발생부하 원단위는 평균 BOD 104.1 g/두/일, TOC 127.9 g/두/일, TN 21.2 g/두/일, TP 4.9 g/두/일로 조사되었으며, 이때 분뇨 발생량은 평균 2.6 L/두/일로 나타났다.

2) 환경부와 국립축산과학원의 기 조사된 결과와 비교할 때 분뇨발생량은 국립축산과학원의 경우가 본 연구결과와 더욱 유사한 것으로 나타났으며, BOD, TN의 원단위값은 BOD는 환경부, TN은 국립축산과학원의 원단위가 본 연구결과와 더욱 유사한 것으로 조사되었으나 두 기관의 기 조사된 값이 본 조사결과와 크게 차이를 나타내지는 않았다.

3) TP 원단위의 경우는 국립축산과학원과 본 연구결과가 유사하게 나타났지만, 환경부의 원단위값과는 다소 다른 차이를 나타내었다.

원단위 조사는 최대한 실제 사육현장에서와 동일한 여건 하에서 장기적인 관점에서 조사가 이루어져야 하며 특히 기존의 결과와 많은 차이가 발생된 TP의 경우는 본 연구결과를 활용하여 원단위를 변경하거나 필요시 추가조사를 통한 검증이 필요할 것으로 판단된다.

References

- Adeola, O. (2001). *Digestion and Balance Techniques in Pigs*, Lewis, A. J. and Southern, L. L. (eds.), CRC Press, Washington, DC, pp. 903-916.
- Association of Official Agricultural Chemists (AOAC). (2007). *Official Methods of Analysis*, Howitz, W. and Latimer Jr, G. W.(18th eds.), AOAC Int., Gaithersburg, MD.
- IKC Veehouderij. (1993). *Handboek voor de varkenshouderij*, Rosmalen.
- Ireland. (2001). *Comments Ireland to first draft*.
- Ministry of Environment (MOE). (2007). *su-gil-o-yeom-gong-jung-si-heom-gi-jun*. [Official Test Methods for water], Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2011). *pye-gi-mul-gong-jung-si-heom-gi-jun*. [Official Test Methods for waste], Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2012). *su-jil-cheuk-jung-mang-un-yeong-gyeol-gwa*. [The Result of Operating Water Quality Monitoring Network], Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2013). *ga-chuk-bun-choe-ri-tong-gye*. [Statistical Analysis of Livestock Wastewater], Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Noblet, J., Le Dividich, J., and Van Milgen, J. (2001). *Thermal Environment and Swine Nutrition*, Lewis, A. J. and Southern, L. L. (eds.), CRC Press, Washington, DC.
- National Research and Nutritional Requirements of Pigs from the Commission (NRC). (1998). *Nutrient Requirements of Swine* (10th eds.), Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Smith, K. A., Charles, D. R., and Moorhouse, D. (2000). Nitrogen Excretion by Farm Livestock with Respect to Landspreading Requirements and Controlling Nitrogen Losses to Ground and Surface Waters, Part 2: Pigs and Poultry, *Bioresource Technology*, 71(2), pp. 183-194.