

Research Article

Open Access

## 돈분액비 토양침투율과 토양내 분포 특성

심호영,<sup>1</sup> 이교석,<sup>1</sup> 이동성,<sup>1</sup> 전대성,<sup>1</sup> 박미숙,<sup>1</sup> 신지수,<sup>1</sup> 이연경,<sup>1</sup> 구지원,<sup>1</sup> 김수빈,<sup>1</sup> 송승근,<sup>1</sup> 정덕영<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 생물환경화학과

### Infiltration Rates of Liquid Pig Manure with Various Dilution Ratios in Three Different Soil

Ho-Young Shim,<sup>1</sup> Kyo-Suk Lee,<sup>1</sup> Dong-Sung Lee,<sup>1</sup> Dae-Sung Jeon,<sup>1</sup> Mi-suk Park,<sup>1</sup> Ji-Su Shin,<sup>1</sup> Yun-Koung Lee,<sup>1</sup> Ji-Won Goo,<sup>1</sup> Soo-Bin Kim,<sup>1</sup> Seong-Geun Song<sup>1</sup> and Doug-Young Chung<sup>1\*</sup> (<sup>1</sup>Department of Bio-Environmental Chemistry, College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea)

Received: 29 August 2014 / Revised: 13 September 2014 / Accepted: 20 September 2014

Copyright © 2014 The Korean Society of Environmental Agriculture

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.

#### Abstract

**BACKGROUND:** Increase in application of liquid pig manure(LPM) in agriculture as nutritional source has become a social issue due to its influence on water quality. Also, proper application methods have not been developed with respect to indigenous properties of LPM and soil physical properties. Therefore, we conducted this experiment to observe the infiltration characteristics and distribution of dissolved organic compounds of LPM in soils having different soil textures.

**METHODS AND RESULTS:** To do this experiment, we collected three different soils and LPM. We analyzed the physical and chemical properties of both soils and LPM to determine the dilution ratios of LPM. The LPM diluted to 4 different ratios with distilled water was applied to the top of soil column. Infiltration rates were observed by time and depth until the amount of effluent collected from the bottom of the soil columns were stabilized while maintaining the hydraulic head 3 cm above the soil column. The results showed that infiltration rates increased with increasing

dilution ratios in the order of sandy, loamy sand, and sandy loam> The time required to reach steady state was increased with decreasing sand contents clay.

**CONCLUSION:** The size and amount of the dissolved organic compounds in LPM that can determine the efficiency as fertilizer and environmental problems as nonpoint pollution source in water quality have not been investigated with respect to behavior and transport of them in soil. Therefore, it requires further research how we can properly apply LPM as valuable fertilizer substitute for inorganic fertilizers.

**Key words:** Infiltration rates, Liquid pig manure, Soil column, Soil texture

#### 서론

가축분뇨 액비는 가축의 사육과정에서 배출되는 분, 뇨 및 청소수의 혼합물 또는 기타 가축분뇨 처리과정에서 발생하는 물질을 일정기간 부숙시켜 병원성 미생물, 충란, 잡초종자 사멸, 이분해성 물질 분해 등의 과정을 거쳐 경종적으로 안정화된 액상상태의 물질로서 양질의 비료로 토양에 환원 시에는 자원으로써의 가치가 높다. 그리고 축산농가의 가축분뇨 처리비용 절감, 경종농가의 비료비용 절감 및 축산분뇨에 의한 환경

\*교신저자(Corresponding author): Doug Young Chung  
Phone : +82-42-821-6739; Fax : +82-42-821-6739;  
E-mail : [dychung@cnu.ac.kr](mailto:dychung@cnu.ac.kr)

오염 방지 등의 장점이 있어 액비 사용농가가 증가하고 있다.

“액비”라 함은 가축분뇨를 액체상으로 발효시켜 만든 비료성분이 있는 물질로서 「비료관리법」 제2조 제4호에 따라 고시한 비료공정규격 중 가축분뇨발효비료(액)의 공정규격을 충족하는 액상물질로 질소전량, 인산전량, 칼리전량 각각의 성분 함계량 0.3% 이상으로 염분(NaCl)은 0.3% 이하이고 수분함량은 95% 이상이어야 한다. 또한 농촌진흥청 비료관리법 “비료공정규격” 중 “가축분뇨 발효액”은 최소등급만을 제시하고 있어(RDA, 2013) 공동자원화센터 및 액비유통센터를 통해 생산·유통되는 액비의 품질은 균일하지 않은 실정이다.

한편 양돈 분뇨에는 가축의 성장 및 방역을 위해 사용된 중금속, 항생제 등이 다량 함유되어 있어 양돈분뇨를 활용한 액비는 중금속이나 항생제와 같은 오염물질로 인하여 농경지에 무분별하게 장기 연용하면 유출 시 토양과 지하수 및 지표수를 오염시킬 수 있다(Song, 2012). 그러나 액비가 토양 화학성에 미치는 영향, 이용에 따른 농경지의 중금속 축적정도, 중금속 축적에 따른 작물의 피해 사례, 인체에 대한 안전성 조사 및 관리방안 설정 등의 연구는 극히 미흡한 실정이며 가축분뇨 액비의 중금속 함량에 관한 전국적인 현황에 대한 조사가 일부 지역적으로 제한되어 있다(Kim et al., 2004; Lee et al., 2011). 김(2012)이 보고한 바에 따르면 돈분액비를 연용한 논토양내 중금속의 침출성 함량과 분포는 비소 0.77(0.08~3.06), 카드뮴 0.16(0.01~0.37), 구리 4.46(1.38~7.72), 니켈 0.71(0.08~1.69), 납 5.73(2.16~10.01) 및 아연 4.82(1.16~12.10) mg kg<sup>-1</sup>이었다. 그리고 액비에 함유된 중금속의 경우 Cu와 Zn 함량이 다른 중금속에 비해 현저하게 높았으며 항생제의 경우 Tetracycline의 농도가 0.5 mg/L 이상인 것으로 조사되었다. 또한 항생물질의 경우 평균적으로 주입 농도의 75%가 용출수에서 발견되어 지하수에 영향을 미칠 수 있는 것으로 나타났다(Song, 2012).

한편 폭기형태나 저장조의 유형, 전처리 과정 등 액비생산 시스템의 특징에 따라 생산되는 액비의 이화학적 특성이나 고형물 형태의 슬러지의 양이나 특성에 차이가 매우 크다(Kim, 2012). 그러므로 폐수에 포함된 유기물함량이나 부유고형물질의 양이 증가할수록 폐수에 포함된 유기물이 토양공극에 남게 되어 토양막힘현상이 증가되어 수분침투력을 급격하게 낮출 뿐만 아니라 공기 유통에 영향을 미쳐 토양을 환원상태로 전환시키는 것으로 알려져 있다(Siegrist and Thresher, 1985; Siegrist, 1987).

이와 같이 액비의 생산환경과 처리시설의 조건에 따라 액비의 성상은 다양하다. 특히 액비성상별 액비 처리 효율을 최적화시키기 위한 액비 내 유기물 함량에 따른 수리전도 특성 변화와 수리전도성 변화에 따른 토양내 질산태 이온이나 인산 이온의 이동과 분포 특성에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 공동자원화 시설을 통해 생산되는 부숙된 액비의 특성을 조사하여 액비내 유기물 함량에 따른 최적 액비 처리 방안 수립을 위한 근거 자료로 활용하기 위하여 공동자원화시설 최종처리조에서 채취한 액비를 희석하여 희석비율별 액비의 토양침투 특성과 정상상태에 도달하기까지 경과 시간 등에 관한 연구를 수행하였다.

## 재료 및 방법

액비시료는 충북 연기군에 위치한 농협 공동자원화센터에서 2013년 4월부터 8월까지 총 9회에 걸쳐 최종 처리조에서 돈분액비를 수집하여 돈분액비의 기초 특성을 조사하였다(Table 1). 그리고 이의 결과를 근거로 2013년 9월 2일 채취한 돈분액비원액을 증류수를 이용하여 액비원 대 증류수 희석비율을 4단계(1:0, 1:1, 1:5, 1:10)로 희석하여 충남대학교 실습포장 표층(sandy soil)과 전남 해남군 산이면에서 채취한 논토양 표층(Sandy loam soil)과 밭토양 표층(loamy sand soil)을 채취하여 Dry oven을 이용하여 105°C에서 48시간 건조 후 Wiley mill(Thomas, Hamilton, TX, USA)을 이용하여 분쇄 후 2 mm 체를 통과한 토양시료를 채취하여 사용하였다.

### 돈분 액비 침투율(Infiltration rate of pig swine liquid)

돈분 액비 침투(Infiltration) 특성을 조사하기 위하여 직경 60 mm 아크릴 토주에 30 cm 깊이(토양의 부피는 847.8 cm<sup>3</sup>)에 Dry oven을 이용하여 105°C에서 72시간 건조한 토양을 용적밀도 1.2 g cm<sup>-3</sup>로 충전하기 위하여 각각의 건조한 토양을 1017.4 g 채취하여 아크릴토주에 자연낙하방식으로 충전한 후 토주의 깊이와 동일한 철자를 이용하여 원형아크릴 토주 주위로 균일하게 타격하여 최종 토주내 토양의 깊이를 30 cm가 되도록 하였다. 한편 투입 액비용액 처리에 따른 토양표면을 분산을 방지하지하기 위하여 충전된 토양표면에 직경 60 mm 두께 5 mm 원형아크릴판 상하면에 메쉬 250 μm Nylon을 처리된 판을 설치하였다.

액비처리량은 질소처리량을 10a당 10 kg-N으로 기준하

**Table 1. Ranges of chemical properties of composted pig swine liquid fertilizer collected from public resource recycling center located in Yungigun, Chungbook from April to August of 2013**

Category	pH	EC	TDS	OM	Ash	T-N	T-P	Soluble	
								NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P
	(1:5)	(dS m <sup>-1</sup> )		(%)				(mg L <sup>-1</sup> )	
Range	7.78~8.84	13.4~41.1	2.01~3.33	0.54~1.43	0.88~2.14	645~2133	357~1311	162~302	98.1~277.4
Average	8.85	29.5	2.85	0.98	1.92	862.5	652.8	193.1	188.4
Stdev	0.54	13.9	0.66	0.45	0.63	447.9	315.9	71.7	91.8

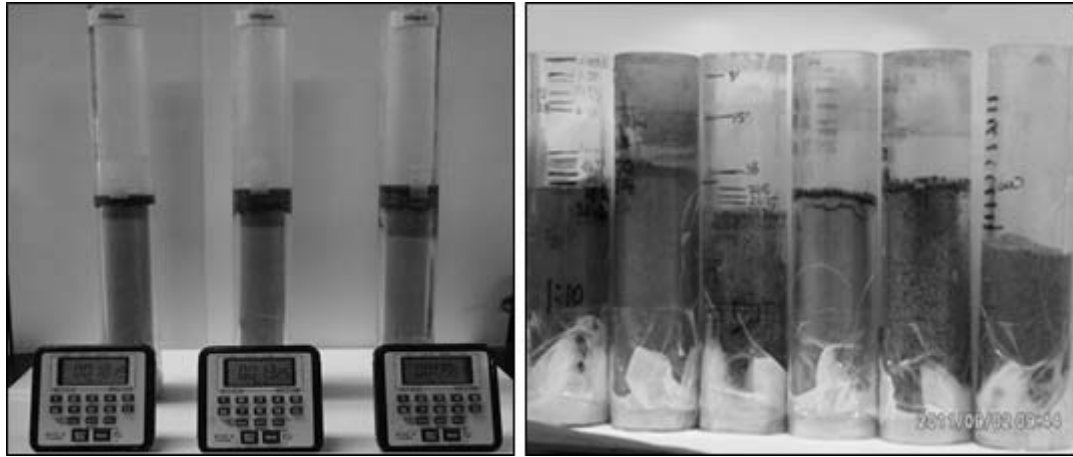


Fig. 1. Pictures of acrylic columns packed with different soil samples (left) to observe infiltration rate and distribution of organic matter in liquid pig manure with depth of soils (right).

여 2013년 9월 4일 채취한 액비의 전질소함량(T-N)을 조사하여 액비원액(Liquid Pig Manure, LPM) 대 증류수(distilled water, DW)의 비율을 1:0(PLF), 1:1, 1:5 그리고 1:10으로 희석한 후 각각의 희석비율별로 투입 액비처리량을 환산한 다음 토주 상부에 희석된 액비를 처리한 후 침투율이 급격하게 감소하는 초기상태(initial state, IS)와 정상상태(steady state, SS)에 도달한 침투율(infiltration rate; IR)을 시간별로 조사하였다(Fig. 1). 이와 같은 조건하에서 조사된 내용은 시간별 유입수 침투 깊이와 정상상태에 도달하기까지의 토양침투율과 침투된 액비에서 유래한 토양 깊이별 유기물 분포특성을 조사하였다.

본 시험에 사용된 토양과 액비원액의 특성을 농촌진흥청 표준토양분석법에 준하여 조사하였다(NIAST, 2000). 조사항목은 토양의 경우 pH, EC, OM과 토성을 조사하였으며(Table 2) 액비원액은 pH, EC, TDS, OM, Ash함량, T-N, T-P 그리고 수용성 상태의 질산태질소와 인산이온의 함량을 조사하였다(Table 3). 액비원액에 존재하는 질산태질소와 인산이온은 AS5A 칼럼을 장착한 Ion chromatography(Dionex, Boston, MA, USA)를 이용하여 조사하였다.

## 결과 및 고찰

각각의 토성에 4단계로 희석된 액비용액을 처리한 후 표면침투율을 조사한 결과 희석된 액비용액 처리 후 급격하게 감소하여 액비 처리 후 약 1시간 정도 후 점진적으로 정상상태에 도달하는 것으로 조사되었다(Table 4). 정상상태의 침투율에 도달하는데 소요된 시간은 양질사토, 사질양토 그리고 사토 순으로 감소하였으며(Fig. 2, 3, 4) 한편 동일한 토성과 조사시간에서의 침투율은 희석비율이 증가할수록 증가하였다. 특히 모래함량이 가장 높은 사토에서 액비희석비율이 1:0일 경우 정상상태의 침투율이  $0.01 \text{ cm hr}^{-1}$ 이었으나 액비희석비율이 1:10으로 증가함에 따라  $1.80 \text{ cm hr}^{-1}$ 로 급격하게 증가하는 것으로 조사되었다. 이와 같은 경향은 사질양토와 양질사토에서도 같은 경향을 보였다. 그리고 순수한 물과 각각의 희석된 액비용액의 정상상태의 침투율을 비교하여 보면 조사된 토성과 희석비율 모두에서 순수한 물의 침투력보다 낮은 것으로 조사되었다. 일반적으로 토양에서 침투율은 서행감소(slow reduction), 급진감소(rapid reduction), 점진감소(gradual decline)로 구분한다 (Thomas et al., 1966).

Table 2. Physical and chemical characteristics of soil samples used in this experiment

pH (1:5 H <sub>2</sub> O)	EC (dS m <sup>-1</sup> )	OM (%)	Particle size distribution(%)			Soil Texture
			Sand	Silt	Clay	
6.24	2.84	1.92	58.9	34.2	6.9	Sandy loam
6.85	3.89	1.38	85.5	9.5	5.0	Loamy sand
6.48	3.11	1.52	90.5	4.4	5.1	Sand

Table 3. General properties of liquid pig manure used in this experiment

pH (1:5)	EC (dS m <sup>-1</sup> )	TDS	OM (%)	Ash	T-N	T-P	Soluble	
							NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P
							(mg L <sup>-1</sup> )	
8.85	29.5	2.85	0.98	1.92	862.5	652.8	193.1	188.4

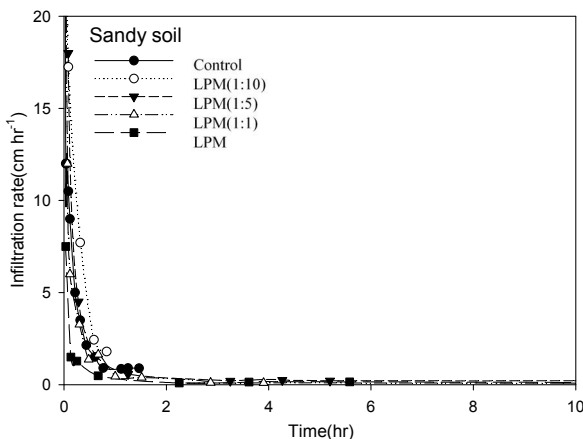
**Table 4. Initial and final infiltration rates of liquid pig manure depending on dilution ratios in three different soils**

Dilution Ratio (LPM vs. DW)	Infiltration rate (cm hr <sup>-1</sup> )					
	Sandy loam		Loamy sand		Sand	
	IS	SS	IS	SS	IS	SS
0:1	-	0.45	-	1.2	-	1.85
1:0	0.58	0.02	0.90	0.03	7.50	0.09
1:1	2.80	0.06	4.87	0.08	18.1	0.21
1:5	4.14	0.13	7.67	0.68	24.6	0.96
1: 10	5.47	0.31	10.0	0.95	72.4	1.80

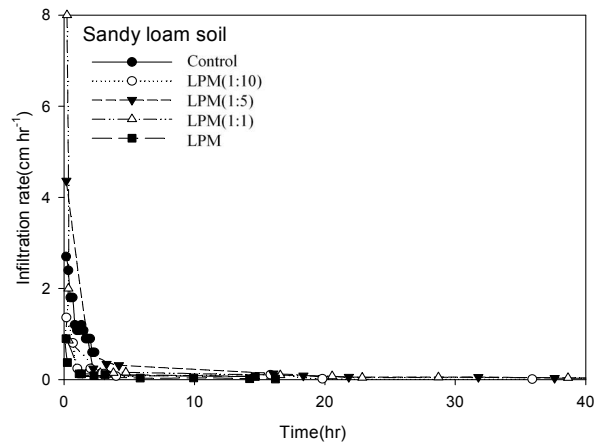
LPM, Liquid Pig Manure; DW, Distilled Water; IS, Initial State; SS, Steady State

이러한 침투력의 변화는 토양공극의 막힘 현상(clogging)은 토양에 유입되는 수분에 포함된 유기물, 점토입자 물질의 특성과 양에 의해 결정된다. Jones와 Taylor (1965)가 발표한 하수슬러지를 토양에 처리 시 침투력 감소 조사 결과를 보면 연속 또는 주기적으로 액상 상태의 하수슬러지를 토양에 처리 시 처리량에 따라 토양 지표면 가까이에서 토양막힘 현상이 발생한다고 보고하였다. 따라서 돈분 액비의 희석비율이 증가할수록 액비에 포함된 유기 고형물질함량이 감소되어 상대적으로 토양막힘 현상이 감소되어 침투율은 증가하는 것으로 판단한다.

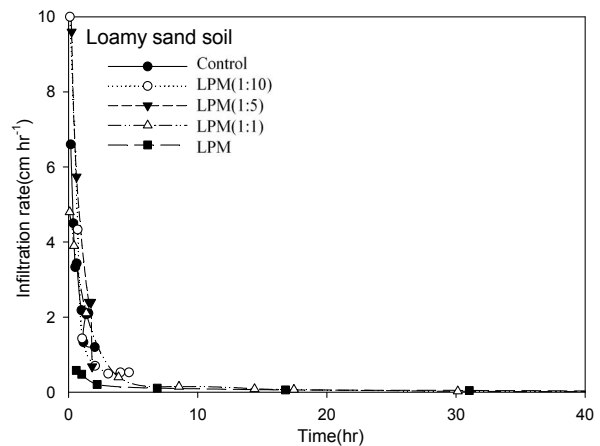
이와 같이 각각의 희석비율별 정상상태의 침투율과 정상상태 침투율에 도달하는 시간을 비교하여 보면 침투율은 희석비율이 증가함에 따라 침투율도 증가하나 반면 침투에 소요되는 시간은 감소하는 경향을 보였다. 따라서 침투율은 액비용액내 함유된 유기물함량에 의해 결정되며 또한 토성별 점토함량에 따른 개별공극의 크기와 액비내 용존 유기물을 포함하는 액비용액의 이동성에 영향을 미치는 것으로 판단한다 (Kaiser and Guggenberger, 2008).



**Fig. 2. Changes of infiltration rates of liquid pig manure with four different dilution ratios depending on time required to reach the steady state in soil columns packed with sandy soil. The bulk density and hydraulic head of each soil column were adjusted to 1.2 g cm<sup>-3</sup> and 3 cm above the top of soil, respectively.**

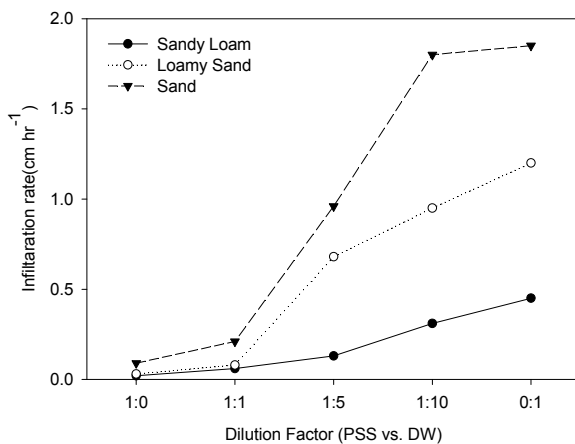


**Fig. 3. Changes of infiltration rates of liquid pig manure with four different dilution ratios depending on time required to reach the steady state in soil columns packed with sandy loam soil. The bulk density and hydraulic head of each soil column were adjusted to 1.2 g cm<sup>-3</sup> and 3 cm above the top of soil, respectively.**



**Fig. 4. Changes of infiltration rates of liquid pig manure with four different dilution ratios depending on time required to reach the steady state in soil columns packed with loamy sand soil. The bulk density and hydraulic head of each soil column were adjusted to 1.2 g cm<sup>-3</sup> and 3 cm above the top of soil, respectively.**

토성별 희석비율에 따른 정상상태에서의 침투율을 비교한 결과(Fig. 5) 침투율은 액비 대 증류수의 희석비율이 증가함에 따라 1:1까지는 서서히 증가하다가 희석비율이 1:5 이상으로 증가함에 따라 급격하게 증가되어 사질토양의 경우 침투율이 증류수의 침투율과 유사한 수준으로 증가하였다. 그러나 사질양토와 양질사토의 침투율은 증류수침투율의 약 69%와 79% 정도 수준으로 조사되었다. 따라서 희석된 액비의 침투율은 토성에 영향을 받는 것으로 추정된다. 이는 Siegrist and Thresher(1985)가 보고한 것처럼 토양에 유입되는 폐수에 포함된 유기물이나 부유고형의 양이 증가할수록 유기물이 토양공극에 남게 되어 토양막힘현상이 증가되어 수분침투력을 급격하게 낮추는 것에 기인하는 것으로 판단한다.



**Fig. 5.** Infiltration rates of liquid pig manure with four different dilution ratios depending on dilution factor in soil columns packed with three different soils. The bulk density and hydraulic head of each soil column were adjusted to  $1.2 \text{ g cm}^{-3}$  and 3 cm above the top of soil, respectively.

## 결론

농경지에 비료로 처리하는 액상상태의 발효 돈분뇨 액비에는 고질상태로 존재하는 용존상태의 유기물뿐만 아니라 다양한 크기의 고형물도 포함되어 있다. 이러한 성상을 가진 돈분 액비를 토성이 다른 농경지에 처리 시 토성별 공극크기는 돈분액비에 포함된 고형상태의 유기물 이동성에 영향을 줄 것으로 판단한다. 특히 점토함량이 높은 토성의 토양 표면에 액비를 살포 시 지표면 토양의 공극의 크기보다 입경이 큰 고형상태의 유기물은 지표면 가까이 위치하게 되어 토양으로 침투되는 수분침투율에 영향을 미칠 것으로 판단한다. 그리고 현재 처리되고 있는 액비 처리 기준을 질소로 기준할 때 처리되는 액비의 양은 극히 제한적이며 반면 인이나 구리와 같은 성분은 과다하게 투입될 우려가 높아 염류장해나 중금속오염의 가능성도 높다. 이와 같이 처리된 액비에 포함된 양분의 이용효율은 증대시키기 위해서는 처리하는 액비의 질소와 인 함량을 조사하여 처리량을 결정한 다음 이를 기준한 새로운 경운 방식과 관계 기술 개발도 고려되어야 한다. 한편 토양표

면에 살포한 액비의 살포양과 살포방식에 따른 침투율 변화는 강우 시 강우량과 강우강도에 따라 강우침투율을 결정하는 주요 요인이어서 연간 강우 사상을 고려한 적정 액비살포 시기를 결정하여 액비의 비료로서의 효과를 증대시키고 비점 오염원로서의 환경영향을 최소화하기 위한 토성특성별 액비 처리 기준이 개발되어야 한다.

## Acknowledgment

This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ009302012013)", National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

## References

- Go, W.R., Kim, J.Y., Yoo, J.H., Lee, J.H., Kunhikrishnan, A., Lee, J.M., Kim, K.H., Kim, D.H., Kim, W.I., 2012. Monitoring of Heavy Metals in Agricultural Soils from Consecutive Applications of Commercial Liquid Pig Manure, *Korean J. Environ. Agric.* 31, 217-223.
- Jones, J. and Taylor, G. 1965. Septic tank effluent percolation through sands under laboratory conditions. *Soil Science.* 99. 301-309.
- Kaiser, K. and Guggenberger, G. 2008. Mineral surfaces and soil organic matter. *European Journal of Soil Science.* 54.2, 219-236.
- Kim, M.C., Song, S.T., Hwang, K.J., 2004. Evaluation of slurry, urine and fermented liquid manure at pig farms in Jeju area regarding chemical composition and pollution level, *J. Anim. Sci. & Technol.* 46, 469-478.
- Lee, J.H., Go, W.R., Kunhikrishnan, A., Yoo, J.H., Kim, J.Y., Kim, W.I., 2011. Chemical composition and heavy metal contents in commercial liquid pig manures, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44, 1085-1088.
- Lee, S.N., Hong, J.K., 2004. Analytical Methods of Antibiotics in Food and Aqueous Sample. *Anal. Sci. & Technol.* 17, 43-58.
- Siegrist, R.L., 1987. Soil clogging during subsurface wastewater infiltration as affected by effluent composition and loading rate. *J. Environ. Qual.* 16, 181-187.
- Song, Y.S., 2012. A Study on the Runoff Characteristics of Heavy Metals and Antibiotic in Livestock Origin Fertilizer on Land Application Area Master Thesis. pp. 67-75, Woosong Univ., Korea.
- Thomas, R.E., W.A. Schwartz, and Thomas W. Bendixen. 1966. Soil Chemical Changes and Infiltration Rate Reduction Under Sewage Spreading. *Soil Science Society of America Journal.* 30.5, 641-646.