

강우강도에 따른 비점오염원 유출 특성에 관한 연구 - 계분을 중심으로 -

이 민 우*⁺ / 이 영 신**

A study on Runoff Characteristics of Non-point Pollutant with Rainfall Intensity

- A case of fowls manure -

Min-Woo Lee*⁺ / Young-Shin Lee**

요약 : 본 연구는 강우강도에 따른 계분의 농지 환원시 비점유출로 인하여 수계에 미치는 영향을 연구하였다. 실험실 규모의 반응조를 제작하여 강우강도에 따른 표면유출수와 토양침투수에 대해 조사하였다. 표면유출수의 경우 10mm/hr 이하의 강우에서는 일어나지 않았으며, 20mm/hr에서 일부 유출되는 경향을 보였다. 32.4mm/hr시 가장 높은 표면유출을 보였으며 이때, BOD₅는 686mg/L, COD_{Mn}은 630mg/L의 농도를 나타내었다. 토양침투수의 경우도 32.4mm/hr의 강우시 많은 양의 계분퇴비가 유출되었고, 43.2mm/hr의 강우시에는 유출되는 양이 큰 폭으로 줄어들었다가 강우량이 증가할수록 유출되는 양이 다시 많아졌다. 비점유출량을 산정한 결과 BOD₅는 32.4mm/hr의 강우시 가장 높게 나타났고, T-N은 67.1mm/hr의 강우시 가장 높게 나타났다.

핵심용어 : 비점오염, 계분퇴비, 강우강도, 비점유출을

Abstract : The fowls manure is using as fertilizers for farmland because of enough nutrients. However, excess nutrients can be washed off during a storm and affected on nearby waterbodies. In this paper, the runoff characteristics from farmland were studied to determine the washoff mass. A lab-scale reactor was designed to estimate the surface runoff and infiltration rates according to the rainfall intensity. Surface runoff water did not occur at 10mm/hr rainfall intensity, but some runoff occurred at 20mm/hr rainfall intensity. At 32.4mm/hr rainfall intensity, it shows the highest pollutant concentrations such as 686mg/L for BOD₅ and at 630mg/L COD_{Mn}. The pollutant as based on fowls manure compost was highly washed-off by subsurface water at 32.4mm/hr rainfall intensity, however the concentration was largely decreased at 43.2mm/hr rainfall intensity. The summary of the results is that the highest wash-off concentrations value shows at 32.4mm/hr rainfall intensity for BOD₅ and at 67.1mm/hr for T-N and T-P.

Keywords : Non-Point Pollutant, Fowls manure, Rainfall intensity, Non-point runoff rate

1. 서 론

농업을 기반으로 하는 우리 역사의 특성상 축산업이 농림산업에서 차지하는 비중이 높다.¹⁾ 현재 우리나라의 축산업은 서구형 문화에 따른 육

류의 급속한 소비증가와 정부 지원에 힘입어 가축 사육두수가 급격히 증가하였을 뿐만 아니라²⁾, 가축 사육의 지역집중과 편중현상을 초래하고 있다³⁾. 이러한 변화는 축산업으로 인한 오염의 집중

+ Corresponding author : leemin0807@kwwater.or.kr

* 정희원 · 한서대학교 환경공학과 공학석사

** 정희원 · 한서대학교 환경공학과 교수 · 공학박사

현상을 심화시키고 있다. 특히 인스턴트식품이 대중화되면서 닭의 사육두수 또한 지속적인 증가추세에 있다. 이러한 변화는 양계업으로 인한 오염의 집중현상을 심화시키고 있다. 이는 계분의 발생량이 증가하게 된 원인으로 인근 하천과 지하수 및 토양에 심각한 오염원으로 자리 잡게 되었다⁴⁾. 계분은 질소, 인등 다양한 유기물질과 영양물질을 포함하고 있으며⁵⁾ 발생량에 비해 수질오염 부하량이 매우 크기 때문에⁶⁾ 수계에 미치는 영향 또한 심각한 수준이다.

양계업의 발달에 따라 변화하는 양계분뇨 및 폐수배출에 의한 오염물질 부하량을 연구하여 현실에 적합한 오염물질 배출원단위를 산정함으로써 수질오염총량관리 실시에 필요한 축산계 오염물질 발생량을 예측하고, 더 나아가 수질보전정책 수립에 필요한 기본 자료 확보의 필요성이 대두되고 있다.

본 연구에서는 계분의 농지 환원시 비점유출로 인하여 한강수계에 미치는 영향을 연구하였다. 실제 가금 농가의 계분퇴비를 실험실규모의 실험을 통하여 강우강도에 따라 직간접적으로 수계에 유출되는 질소·인의 농도와 부하량을 연구하고 퇴비로 인한 오염물질의 비점유출비를 산정하여 수계에 미치는 영향을 연구하였다

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

계분퇴비의 농지 환원시 수계에 미치는 영향을 조사하기 위하여 Fig. 1과 같이 두께 1cm의 코팅된 나무 함판을 이용하여 반응조를 제작하였다. 반응조의 규격은 가로 70cm × 세로 70cm × 높이 55cm로 실 유효용적은 0.245 m³ 이며, 총 4개를 제작하였다. 반응조의 바닥은 함석으로 이루어져 있으며, 토양으로 침투된 강우의 하부배수를 위하여 일정간격으로 구멍을 뚫었다. 또 물 빠짐을 고려하여 10°의 경사(토양의 경사 기준)를 주었고, 시료 채취구는 표면유출수와 토양침투수를 채취할 수 있도록 2개소를 설치하였다. 반응조의 하

부는 토양으로 침투되는 물을 포집하기 위하여 삼각 웨어 형태로 제작된 빈 공간을 두었다.

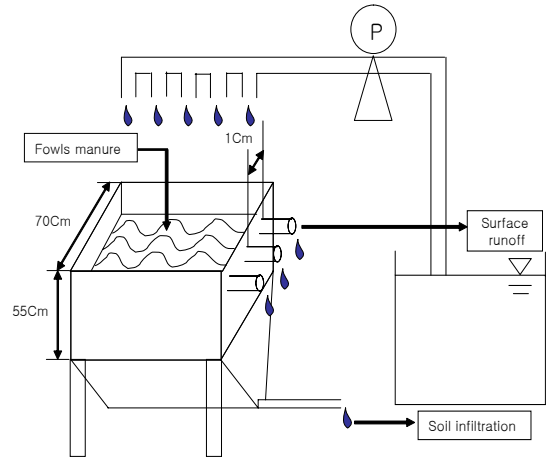


Fig. 1. Schematic diagram of lab scale reactor

본 연구에서 사용된 퇴비는 실제 농가에서 자원화한 계분퇴비로 그 성상을 Table 1에 나타내었다. 연구에 이용된 토양은 보통 밭토양으로 각 구성 성분별 함량은 Table 2에 나타내었다. 실험 깔럼 내 조성은 하부 50cm 이내로 토양을 압밀하여 채우고, 퇴비는 토양의 용적대비 20%로 고정하도록 하였다. 또한, 일반 농지(밭)와 유사한 토양조건을 만들기 위해 하부 10cm에 토양을 채우고, 다짐작업을 하여 50cm 이내로 토양을 반복하여 채워 넣었다.

본 연구의 대상이 되는 한강수계내 강우강도를 조사하여 가장 빈번한 횟수의 강우강도를 선정하여 5, 10, 20, 32.4, 43.2, 50.3, 57.1mm/hr의 강우량을 선정하였으나 10mm/hr 이하의 강우에는 유출이 발생하지 않아 제외하였다. 실험이 실내에서 수행된 관계로 인위적인 강우 조건을 만들어 주어야 한다. 따라서 강우가 일정한 간격으로 내릴 수 있는 살수장치가 요구되었다. 살수장치는 잔디밭의 물 공급에 사용되는 스프링쿨러가 이용될 수 있으나, 본 연구에서는 토양상자에 보다 일정한 간격으로 균일한 강우를 적용하기 위하여 살수장치를 제작하여 강우강도를 인위적으로 조절하였다.

Table 1. Characteristics of fowls manure

BOD ₅ (mg/L)	COD _{Cr} (mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)	SS(mg/L)	T-N(mg/L)	T-P(mg/L)
41,567	133,767	56,233	150,500	8,293	4,030

Table 2. Soil classification of farmland

Sand(%)	Silt(%)	Clay(%)	Soil Texture
60-70	20-25	5-20	Sandy soil

Table 3. Measurement methods

Parameters	Methods
BOD ₅	Winkler Azide Modification Method(20℃ 5day)
COD _{Mn}	Titration method(KMnO ₄)
T-N	Spectrophotometric Method(K ₂ S ₂ O ₈)
T-P	Spectrophotometric Method(Ascorbic Acid)

2.2 연구방법

본 연구는 강우시 유출특성을 조사하여 수계에 미치는 영향을 연구하는 것이다. 실제 농가의 계분퇴비를 인공강우 조건하에 실험실규모의 실험을 통하여 직·간접적으로 수계에 유출되는 성분을 연구하여 계분퇴비로 인한 오염물질의 비점유출 특성을 파악하고자 한다. 분석항목을 Table 3에 나타내었다.

2.2.1 강우강도에 따른 표면유출수 농도변화

계분퇴비와 토양을 혼합 후 변화하는 강우강도 조건에 따라 지표면으로부터 발생하는 표면 유출수를 분석하였다. 유출수질에 직접 영향을 미치는 토층은 강우강도에 다소 영향을 미치지만 지표면에서 1cm 내외이기 때문에 혼합 깊이가 약 15cm로 혼합하였다.

2.2.2 강우강도에 따른 토양침투수 농도변화

계분 및 계분퇴비는 강우시 토양으로 침투 및 환원되어 농도가 낮아지게 된다. 계분퇴비의 형태에 따라 다른 성상을 나타내기도 한다. 본 연구에

이용된 계분퇴비는 부분적으로 생분에 가까운 형태의 고형물이 일부 존재하였다.

2.2.3 강우강도에 따른 비점유출비 산정

계분퇴비가 농지로 환원되어 농지에서 유출되는 양은 계분퇴비 오염물질 농도에서 비점유출비를 곱하여 산정한다. 또한, 강우시 유출수의 농도는 표면유출수만을 고려하였고, 작물을 재배하지 않았기 때문에 이로 인한 삭감은 고려하지 않았다. 단, 강우조건에 따른 표면 유출수량 측정시의 오염물질농도에 유출유량을 곱한 유출량(g)을 구하고 비점유출비를 산정하였다.

2.2.4 비점유출비에 따른 실제 배출량 산정

한강수계의 7개 시군을 대상으로 닭의 사육두수를 조사하여 강우시 배출될 수 있는 계분 및 계분퇴비의 실제배출량을 산정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 강우강도에 따른 표면유출수 농도변화

본 연구시에는 10mm/hr 이하 강우에서는 표면

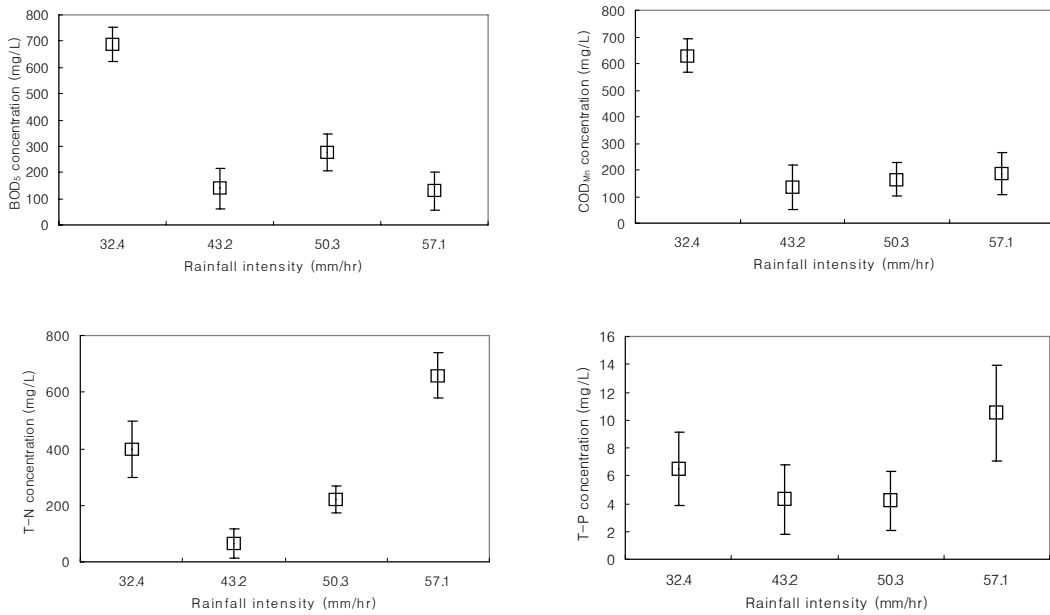


Fig. 2. Surface runoff concentration (as fowls manure)

유출이 발생하지 않았으며, 20mm/hr에서는 일부 유출되기는 하였으나 그 양이 극히 미량이었기 때문에 이후 데이터에서 제외하였다. Fig. 2는 강우 강도에 따른 표면유출시 수질변화를 나타냈다. 32.4mm/hr의 강우강도에서 표면최대유출량을 보이고 점차 유출되는 양이 감소하였다. 이는 초기 세척효과에 의해 최초로 많은 양이 유출되는 것으로 판단된다. T-N, T-P는 최초 표면유출 후 50.3mm/hr의 강우까지는 유출되는 양이 많지 않으나 57.1mm/hr의 강우시 최대유출량을 보인다. 이는 N, P이 토양에 흡수되는 능력이 높기 때문에 일정량 이상의 강우시 유출되는 것으로 사료된다.

Fig. 3은 단일 실험의 오차를 줄이기 위해 동일한 조건의 4개의 반응조에서 동시에 실험하였을 때의 계분퇴비의 표면유출량을 누적하여 나타낸 것이다. 약간의 편차를 보이긴 하지만 대체로 강우강도에 비례하여 유출되는 양도 증가하였다. Fig. 1과 같이 20mm/hr 이하의 강우강도에서 유출되는 양은 극미량이었다. 20mm/hr 이후 유출되는 양이 급격한 증가를 보이며 32.4mm/hr의 강우강도에 최고값을 나타내었고 점차 유출되는

양이 줄어들었다.

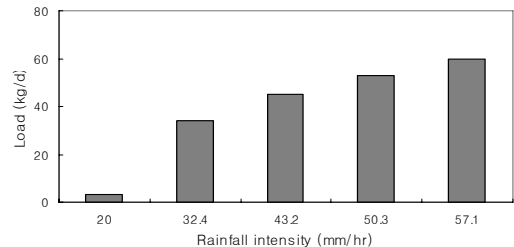


Fig. 3. Accumulated surface runoff volume (as fowls manure)

3.2 강우강도에 따른 토양침투수 농도변화

Fig. 4는 강우강도에 따른 토양침투시 수질변화를 나타냈다. 32.4mm/hr의 강우시 가장 많은 양의 계분퇴비가 유출되었다. 43.2mm/hr의 강우시에는 침투되는 양이 큰 폭으로 줄어들었으며 강우량이 증가할수록 침투되는 양이 다시 많아졌다. 32.4mm/hr의 강우시 미세입자의 유기물이 토양으로 침투되어 유출되고, 조대입자의 유출이 일어나기까지는 더 많은 강우량을 요구하기 때문으로 판단된다.

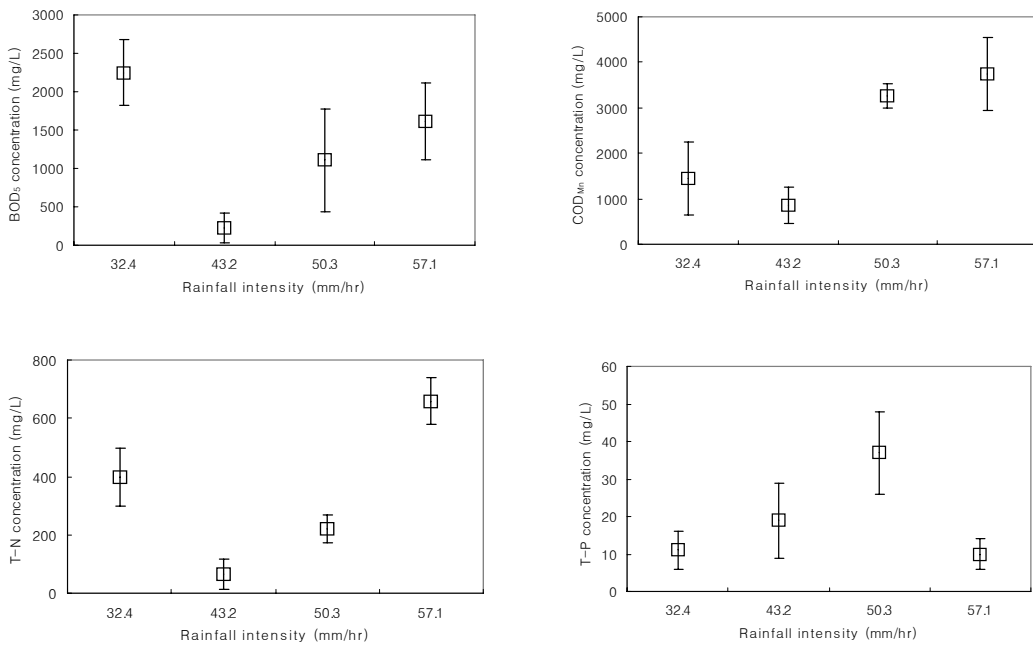


Fig. 4. Soil infiltration water concentration (as fowls manure)

Fig. 5는 단일 실험의 오차를 줄이기 위해 동일한 조건의 4개의 반응조에서 동시에 실험하였을 때의 계분퇴비의 토양침투량을 누적하여 나타낸 것이다. 20mm/hr 이하의 강우강도에는 침투가 거의 이루어지지 않았고, 20mm/hr 이상의 강우강도에서 유출되는 양이 급격한 증가를 보이며 32.4mm/hr의 강우강도에 피크치를 나타내었고 점차 침투되는 양이 감소하였다.

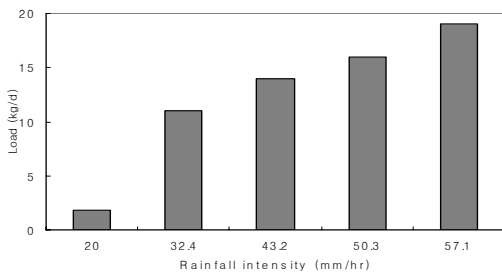


Fig. 5. Accumulated soil infiltration water (as fowls manure)

3.3 강우강도에 따른 비점유출비 산정

표면유출 및 침투시 10mm/hr 이하의 경우 모

두 극히 적었으며, 20mm/hr의 강우강도에 약간의 유출을 나타냈으나 그 양이 미미하였다. 비점유출량은 BOD₅, COD_{Mn} 경우 32.4mm/hr의 강우시에 가장 높게 나타났고, T-N, T-P는 57.1mm/hr의 강우시 가장 많은 유출량을 보였다.

비점유출량을 토대로 비점유출비를 산정한 결과, BOD₅는 0.015의 유출비를, COD_{Mn}은 0.010, T-N은 0.002, T-P는 0.002로 계분퇴비의 수계 유출시 수계에 영향을 줄 것으로 판단된다. 비점유출비 역시 BOD₅, COD_{Mn}은 32.4mm/hr의 강우강도에서 가장 높게 나타났으며, T-N, T-P는 57.1mm/hr에서 가장 높은 수치를 나타냈다.

3.4 비점유출비에 따른 실제 배출가능량 산정

한강수계 7개 시군을 대상으로 닭의 사육두수를 조사하여 계분 및 계분퇴비로 인한 강우시 배출가능량을 산정하였다. 강우시 관리상의 소홀 등으로 방치된다면 한강수계로 배출되는 계분 및 계분퇴비의 배출가능량은 BOD₅ 144.8kg/d, COD_{Mn} 96.4kg/d, T-N·T-P 19.4kg/d이 될 것으로 판

Table 4. Non-point runoff characteristics at various rainfall intensity

		20 mm/hr	32.4 mm/hr	43.2 mm/hr	50.3 mm/hr	57.1 mm/hr
BOD ₅	Fowls manure(g)	213	213	213	213	213
	Non-point runoff volume(mg/L)	0.015	8.588	1.039	4.065	2.035
	Non-point runoff rate(%)	0.0001	0.040	0.005	0.019	0.010
COD _{Mn}	Fowls manure(g)	288	288	288	288	288
	Non-point runoff volume(mg/L)	0.010	8.055	1.024	2.165	2.673
	Non-point runoff rate(%)	0.00003	0.028	0.004	0.008	0.009
T-N	Fowls manure(g)	42	42	42	42	42
	Non-point runoff volume(mg/L)	0.002	0.048	0.043	0.031	0.287
	Non-point runoff rate	0.0001	0.001	0.001	0.001	0.007
T-P	Fowls manure(g)	21	21	21	21	21
	Non-point runoff volume(mg/L)	0.001	0.040	0.032	0.038	0.147
	Non-point runoff rate(%)	0.00003	0.002	0.002	0.002	0.007

Table 5. Discharge of Han river watershed

Item	Area	Livestock number (두)	Discharge (kg/d)	Item	Area	Livestock number (두)	Discharge (kg/d)
BOD ₅	이천시	3,176,000	47.6	T-N	이천시	3,176,000	6.4
	용인시	2,316,000	34.7		용인시	2,316,000	4.6
	가평군	1,430,000	21.5		가평군	1,430,000	2.9
	양평군	1,397,000	21.0		양평군	1,397,000	2.8
	광주시	658,000	9.9		광주시	658,000	1.3
	남양주시	434,000	6.6		남양주시	434,000	0.9
	여주군	231,000	3.5		여주군	231,000	0.5
COD _{Mn}	이천시	3,176,000	31.8	T-P	이천시	3,176,000	6.4
	용인시	2,316,000	23.1		용인시	2,316,000	4.6
	가평군	1,430,000	14.3		가평군	1,430,000	2.9
	양평군	1,397,000	14.0		양평군	1,397,000	2.8
	광주시	658,000	6.6		광주시	658,000	1.3
	남양주시	434,000	4.3		남양주시	434,000	0.9
	여주군	231,000	2.3		여주군	231,000	0.5

단되어 집중적인 관리가 필요할 것으로 사료된다.

4. 결 론

계분이 강우시 유출되어 비점오염원으로서 수계에 미치는 영향을 연구하기 위하여 실제 가금농가의 계분퇴비가 강우강도의 변화에 의해 유출

되는 정도를 파악하기 위한 실험실 규모 실험을 통하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 1) 강우강도에 따른 표면유출시 10mm/hr 이하 강우에서는 표면유출은 일어나지 않았으며, 20mm/hr에서 일부 유출되는 경향을 나타내었다. 32.4mm/hr시 가장 높은 표면유출농도를 보였으며 이때, BOD₅는 686±62mg/L, COD_{Mn}

은 $630 \pm 46 \text{mg/L}$ 의 농도를 나타내어 초기세척 효과가 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

- 2) 강우강도에 따른 침투수의 변화는 32.4mm/hr 의 강우시 많은 양의 계분퇴비가 토양으로 유출·침투되었고, 43.2mm/hr 의 강우시에는 유출되는 양이 큰 폭으로 감소하였다가 강우강도가 증가할수록 다시 증가하였다. 32.4mm/hr 의 강우시 작은 입자의 유기물이 모두 침투되어 유출되고 조대입자의 유출이 일어나기 까지 더 많은 강우량을 필요로 하기 때문으로 판단된다.
- 3) 강우강도에 따른 비점유출량을 산정한 결과 $\text{BOD}_5 \cdot \text{COD}_{\text{Mn}}$ 은 32.4mm/hr 의 강우시 가장 높게 나타났고, $\text{T-N} \cdot \text{T-P}$ 는 57.1mm/hr 의 강우시 높게 나타나 강우량에 따라 유출성분이 다른 것으로 판단된다.
- 4) 한강수계 인근 7개 시군에서 한강으로 배출되는 계분 및 계분퇴비의 배출가능량을 산정한 결과 평균값이 BOD_5 144.8kg/d , COD_{Mn} 96.4kg/d 으로 나타날 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 한강수계관리위원회에서 시행한 '2005년도 환경기초조사사업보고서'의 지원과 '2008년도 한서대학교 교비학술지원사업'에 의하여 연구된 결과로, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. '환경부', 오수·분뇨 및 축산폐수처리 통계, 2003
2. '정일환 등', 축산자원화물의 농지주입에 따른 비점오염 유출특성, 대한상하수도학회·한국물환경학회 공동추계 학술발표회 논문집, 2006
3. '박중웅', 돈사형태 및 계절별 축산폐수의 특성에 관한 연구, 한국폐기물학회, 2003
4. '홍성구', 축산분뇨 농지환원을 위한 적정관리 방안, 한국농공학회, 2002
5. '홍지형' 외, 축산폐기물 자원화, 동화기술, 1999
6. '농림부', 축산분뇨 처리 및 자원화 대책, 1999