

필지 논으로부터 영농기 토사유실량

Sediment Losses from a Paddy Plot during Cropping Period

윤광식** · 조진구* · 한국현* · 최진규** · 손재권** · 조재영**

*전남대학교 농과대학 (농업과학기술연구소), **전북대학교 농과대학(농업과학기술연구소)

Yoon, Kwang-Sik* · Cho, Jin-Goo* · Han Kuk-Heon* · Choi, Jin-Kyu** · Son, Jae-Gwon** · Cho, Jae-Young**

*College of Agriculture (Institute of Agri. Science & Tech.), Chonnam National University

**College of Agriculture (Agri. Science & Tech. Institute), Chonbuk National University

---ABSTRACT---

A study was carried out to investigate the losses of sediment at a paddy plot located at the southern Korea. The observed amount of precipitation, irrigation, runoff for the experimental paddy plot during the cropping period were 1,030, 566, and 701 mm in 1999 and 1,214, 413, and 710 mm in 2000, respectively. The observed sediment losses from the plot during cropping period were 1,221.3 kg ha⁻¹ in 1999 and 1,274 kg/ha kg ha⁻¹ in 2000, respectively.

키워드 : 농업비점원, 논, 침투, 토사, 유출

1. 서론

우리 나라는 여름철에 비가 많이 오고 지형조건이 급준하기 때문에 토사의 유출이 많아서 1ha당 평균 25t 정도로 세계적으로도 침식의 잠재력이 높은 지역으로 분류되어 있다. 따라서 산림과 논이 없다면 아마도 세계에서 가장 침식이 많은 나라가 되었을 것이다. 이러한 경험은 이미 우리 나라에서 산림이 황폐하였던 1950~1960년대에 충분히 겪은 바 있다.

논으로부터의 유출량은 관개수량에 의한 담수심과 강우량 및 논외 배수 관리방식에 크게 영향을 받게 된다. 논에서의 유출현상에 대한 연구로는 임과 박(1997), 김 등(1998)이 있다. 최근에 비점원 오염원으로서 논에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다

(홍과 권, 1989; 신과 권, 1990; 김과 조, 1995; 박 등, 1997; 김 등, 1999). 하지만 대부분의 연구가 유출수의 질소와 인의 농도를 살펴본 경우가 대부분이며, 토사유출을 조사한 연구는 찾아보기 힘든 실정이다.

최근 쌀 생산 과잉과 이에 따른 정부의 다수확 정책 포기 및 뉴라운드 출범으로 생산 공간으로서의 논 기능은 위축되고 있다. 논을 보존하기 위해 논이 가지는 여러 공익적 기능을 계량화 하려는 노력이 이웃 일본과 국내의 일부 연구자들에 (엄과 윤, 2000) 의해 시도되었다. 하지만 이러한 공익적 평가 연구들은 대부분 단순한 계산과 개략적 추정에 의한 것이어서 현장 자료의 뒷받침이 필요하다. 특히 논에서의 토양유실의 경우 거의 전무한 것으로 상정하여 여타 토지 이용의 경우와 비교하고 있는데 실제로 논에서

의 토사유실은 현장에서 목격되고 있으므로 이를 계량화 할 필요가 있다.

본 연구는 1999년 5월부터 2000년 9월 30일까지 전라북도 진안군 마령면 평지리의 수도작 지대를 대상으로 관행영농하에서 논에서 물수지와 토사유출 부하량을 조사하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험포장 및 영농현황

본 실험에 사용된 시험포장은 1995년 5월에 경지정리가 완료된 전라북도 진안군 마령면 평지리에 위치하고 있으며, 축산폐수, 가정하수 및 산업폐수로부터 영향을 받지 않은 전형적인 수도작 농업지대이다. 시험포장 구획은 장변 100 m와 단변 50 m로서 면적은 5,000 m²이다. 본 시험포장의 토양은 지산미사질양토 (Jisan Silt loam, SiL; fine loamy, mixed mesic family of Fluventic Haplaguepts)이다.

본 연구기간 동안 논에서의 영농활동과 시비현황은 <Table 1>과 같다. 시험포장은 1999년 5월 22

일에 논갈이를 하고 담수를 시킨 후, 5월 25일에 재식거리 15 × 30 cm, 1주 당 3본씩 기계이앙을 실시하였다. 시험포장의 재배품종은 화선찰벼이며, 10월 2일에 수확하였다. 비관개기간 동안에는 수확 후 벼짚을 전량 논토양에 살포하고 비경운 상태로 두었다가 2000년 3월 22일에 1차 논갈이를 한 다음, 5월 20일에 2차 논갈이를 실시하였다. 2차년도에는 6월 2일에 이앙을 실시하였으며, 10월 10일에 벼를 수확하였다. 본 연구기간의 시비량은 다음과 같다. 1차년도에는 5월 22일에 모내기 기비로 76 kg N ha⁻¹, 29 kg P₂O₅ ha⁻¹ 그리고 29 kg K ha⁻¹를 전층시비 하였으며, 6월 15일에 분얼비로 28 kg N ha⁻¹, 7월 30일에 수비로 18 kg N ha⁻¹, 2000년 3월 20일에 규산질비료를 2,000 kg ha⁻¹ 수준으로 시비하였다. 2차년도에는 5월 20일에 모내기 기비로 84 kg N ha⁻¹, 31 kg P₂O₅ ha⁻¹ 그리고 31 kg K ha⁻¹를 전층시비 하였으며, 6월 14일에 분얼비로 28 kg N ha⁻¹, 7월 23일에 수비로 28 kg N ha⁻¹을 시비하였다. 본 시험포장에 시비된 화학비료의 양을 농촌진흥청의 추천 시비량 (N : P₂O₅ : K₂O = 110 : 80 : 70 kg ha⁻¹)과 비교하면 질소의 경우 약 110~130 % 그리고 인의 경우 약 40

<Table 1.> The records of agricultural management.

Year	Date	Fertilization and agricultural activity	Remark
1999	May 22, 1999	1st plowing and basal fertilization	76 kg N ha ⁻¹ , 29 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹
	May 25, 1999	rice transplanting	transplanting distance, 15×30 cm, three seedlings
	Jun 15, 1999	tillering fertilization	28 kg N ha ⁻¹
	Jul 30, 1999 Oct 2, 1999	panicle fertilization harvest	18 kg N ha ⁻¹
2000	Mar 22, 2000	spring plowing	
	May 20, 2000	1st plowing and basal fertilization	84 kg N ha ⁻¹ , 31 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹
	Jun 2, 2000	rice transplanting	transplanting distance, 15×30 cm, three seedlings
	Jun 14, 2000	tillering fertilization	28 kg N ha ⁻¹
	Jul 23, 2000 Oct 10, 2000	panicle fertilization harvest	28 kg N ha ⁻¹

% 수준으로 시비되고 있었다.

시험포장에 설치된 시설로는 강우량 측정을 위한 우량계 (Casella rainfall system, England) 1조, 관개수 유입량 측정을 위한 유량계 1조, 논에서 유출수량 측정을 위한 자기수위계 (Water level recorder, Ota Co. Ltd., Japan) 및 웨어 시설 1조, 그리고 간이 침투량계와 증발량계를 각각 1조씩 설치하였다. 모든 측정 기기는 1999년 5월 1일부터 2000년 9월 30일까지 운영하였다. 강우계는 시험포장의 관개수 유입구 옆에 설치하였으며, 강우자료는 자기 우량계의 자기기록지에 누가우량으로 기록된다. 관개수량은 시험포장의 관수로 유입구에 설치된 유량계를 이용하여 관개수 유입량을 측정하였으며, 매 관개시마다 bucketing을 통하여 유량을 보정하였다. 유출수량은 웨어에서 유출되는 수위를 측정한다. 웨어유량공식을 이용하여 유량을 산정하였다.

소는 수질시료 500 mL를 취하여 각각 환원증류-킬달법과 중화적정법으로 분석하였다. 토양분석은 농촌진흥청의 토양화학분석법(1983)의 방법에 기준하였다. 토성은 micropipette법으로 측정하였으며, 토양 pH는 1:5 H₂O 현탁액 중에서 유리전극으로 측정하였고, 유기탄소 함량은 Walkley-Black 법으로, 양이온 치환용량은 1-N ammonium acetate를 이용하여 토양을 NH₄⁺로 포화시킨 후 킬달증류법을 이용하여 측정하였으며, 치환성 양이온은 1N-ammonium acetate로 침출하여 유도결합플라즈마 (Liberty Series II, Varian, Australia)로 분석하였다. 논토양의 이화학적 특성은 <Table 2>과 같다.

2. 시료채취 및 분석방법

유출수는 유출이 발생할 때마다 초기, 중기, 말기 등으로 구분하여 시험포장의 웨어 유출구에서 폴리 에틸렌 용기 (2 L)에 채수하였으며, 모든 수질시료는 4 ℃ 이하의 온도로 보관하면서 분석시료로 사용하였다. 시료의 분석은 공정시험법에 기준하였다. 부유물질(suspended solids)은 시료 1000 mL를

III. 결과 및 고찰

1. 강우특성

1999년 5월 1일부터 2000년 9월 30일까지 시험기간 동안 조사 대상지역에 내린 강우량과 강우 특성을 조사한 결과는 다음과 같다. 장마는 6월 20일에 시작하여 7월 18일에 종료되었는데, 약 28일로서 예년의 29일과 비슷한 경향이였다. 수도권 영농시기로 논에서 물의 유·출입이 많은 6, 7, 8 월에

<Table 2.> Physical and chemical properties of the soil in the paddy plot.

Chemical properties	Particle size fraction (g 100g ⁻¹)
Organic matter (g 100g ⁻¹) 2.32	Sand 25.0
pH (1:5H ₂ O) 5.89	Silt 56.9
Total-N (mg kg ⁻¹) 889.3	Clay 18.1
Total-P (mg kg ⁻¹) 284.2	
CEC (cmol ⁺ kg ⁻¹) 9.6	
Exchangeable cations(cmol ⁺ kg ⁻¹)	
Ca 3.2	
Mg 2.1	
Na 0.1	
K 0.6	

취하여 유리섬유여지법으로, 전질소와 암모니아태질

내린 강우량은 1999년의 경우 765 mm, 2000년의

경우 883 mm로 나타났다. 본 조사기간 동안의 강우특성은 9월에 약 270~290 mm의 강우량이 기록되었다는 점이다. 9월 중 강우량은 1990년부터 1996년까지의 예년 강우량의 약 200%를 나타내었다. 1999년과 2000년 영농기간 동안의 강우량은 각각 1030 mm, 1214 mm를 나타내었다.

2. 물수지

논에서의 물수지 방정식은 다음 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

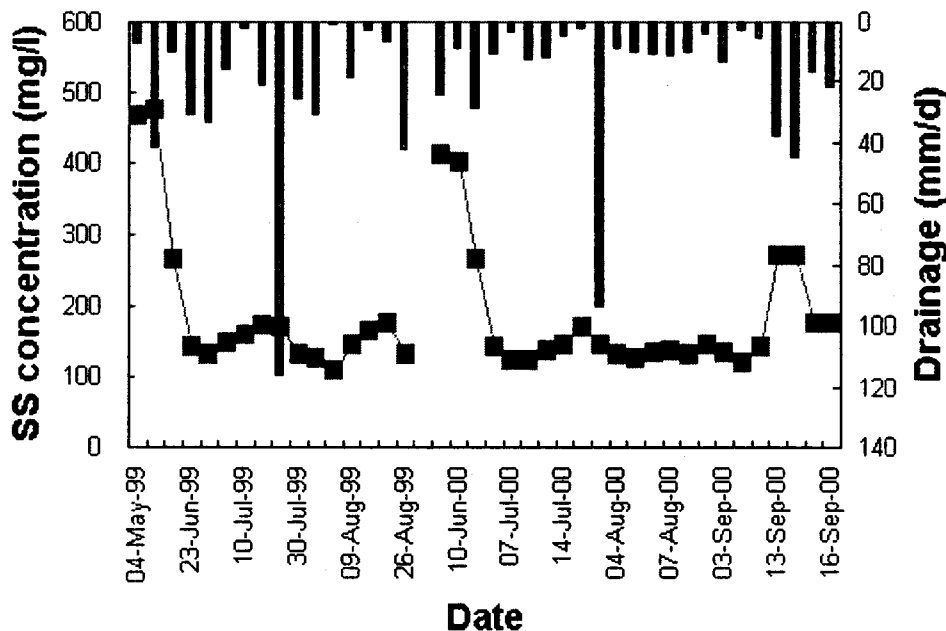
$$W_t = W_{t-1} + I_t + P_t - (R_t + E_t + F_t) \dots \dots \dots (1)$$

여기서, W는 일평균 담수심, I는 관개수량, P는 강우량, R은 유출수량, E는 증발산량, 그리고 F는 침투수량을 의미하며, 첨자 t는 t일을 나타낸다.

조사기간 동안 유·출입된 물의 양을 대입하여 물수지를 계산한 결과, 1999년의 경우 강우량은 1,030mm, 관개수량은 566 mm, 침투수량은 310 mm, 유출수량은 701 mm 그리고 증발산량은 551 mm 이었고, 2000년의 경우 강우량은 1,214 mm, 관개수량은 413 mm, 침투수량은 234 mm, 유출수량은 710 mm 그리고 증발산량은 682 mm 이었다. 미측정 된 유입수량이 1999년의 경우 1 mm, 2000년의 경우 34 mm로 나타났다 (Table 3).

3. 토사의 함량변화와 영농기간 동안의 논에서 토양 유실량

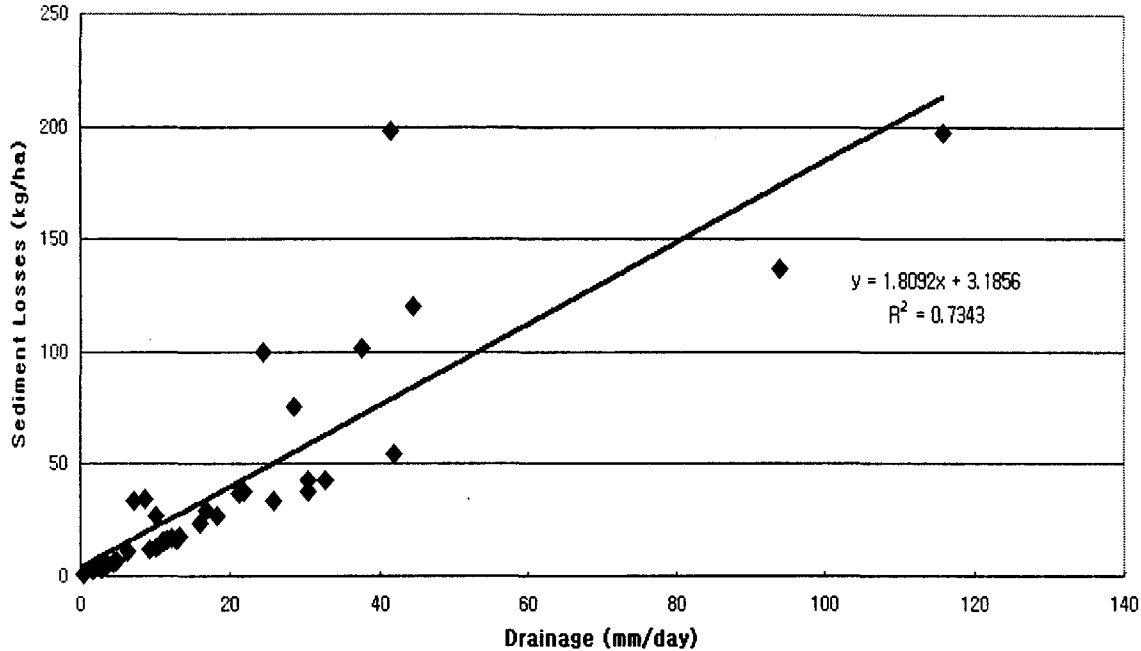
본 연구는 관행영농이 수행되고 있는 논에서 유출수 수질시료중 토사성분의 함량변화와 유출부하량을 평가하고자 하였다. 연구기간 동안 (1999년 5월부터 2000년 9월) 논에서 유·출입되는 수질시료중 토사의 농도 변화를 조사한 결과는 Fig. 1에 나타낸 바와 같다. 2 년간 측정된 수질 자료를 살펴보면 유



<Fig 1.> Variation of sediment concentrations in drainage during cultivation period.

(Table 3.) Water balance and sediment losses from the experimental paddy plot.

Period	Precipitation (mm)	Irrigation (mm)	Drainage (mm)	Evapotranspiration (mm)	Infiltration (mm)	Sediment Losses (kg ha ⁻¹)
1999 년						
05.01~05.10	64.0	0.0	9.9	29.8	20.0	46.2
05.11~05.20	0.0	0.0	0.0	2.3	2.0	0.0
05.21~05.31	32.0	160.2	43.1	43.3	29.8	204.7
06.01~06.10	7.0	92.8	0.0	37.2	27.3	0.0
06.11~06.20	82.1	54.9	13.3	39.5	33.0	35.4
06.21~06.30	71.2	0.0	46.4	39.8	23.8	65.8
07.01~07.10	83.8	0.0	55.8	41.1	16.4	76.2
07.11~07.20	7.2	56.9	23.1	50.4	17.5	39.7
07.21~07.31	194.6	39.3	213.2	48.3	18.4	350.5
08.01~08.10	80.6	0.0	56.3	47.7	15.9	281.6
08.11~08.20	8.0	54.3	2.6	46.6	18.0	2.6
08.21~08.31	130.2	107.7	151.2	33.5	22.5	209.7
09.01~09.10	78.4	0.0	7.5	31.1	23.3	10.2
09.11~09.20	46.4	0.0	8.6	35.3	22.4	11.3
09.21~09.30	144.0	0.0	70.1	25.3	19.9	92.0
Total	1,030	566	701	551	310	1221.3
2000 년						
05.01~05.10	8.6	0.0	0.0	1.2	1.0	0.0
05.11~05.20	7.2	21.8	0.0	11.6	2.0	0.0
05.21~05.31	23.8	10.9	0.0	34.4	22.0	0.0
06.01~06.10	113.4	63.5	32.9	47.3	19.5	134.8
06.11~06.20	13.8	34.0	30.3	51.4	20.9	79.9
06.21~06.30	128.4	17.8	11.0	36.9	19.9	15.7
07.01~07.10	44.6	22.9	15.7	54.4	16.9	19.4
07.11~07.20	53.6	0.6	18.5	56.8	14.3	26.2
07.21~07.31	181.2	71.1	164.6	77.9	10.9	263.5
08.01~08.10	40.8	54.2	67.6	45.0	12.0	87.9
08.11~08.20	86.0	38.9	84.5	44.3	11.3	140.6
08.21~08.31	220.8	62.2	131.2	61.7	15.1	183.4
09.01~09.10	70.4	15.3	24.3	60.7	21.4	33.0
09.11~09.20	220.6	0.0	120.7	64.1	20.6	289.5
09.21~09.30	0.4	0.0	0.0	34.3	27.0	0.0
Total	1,214	413	710	682	234	1274.0



〈Fig 2.〉 Relationship between daily drainage amounts and sediment losses.

출수 시료중 토사의 함량은 1999 년 109.4 ~ 465.2 mg L⁻¹ 의 범위로 평균 193.8 mg L⁻¹ 이었고 2000 년의 경우 유출수 중 측정된 토사 농도는 123.4 ~ 412 mg L⁻¹ 의 범위를 보였으며 평균 180.6 mg L⁻¹ 이었다. 시기별 변화를 보면 영농기 초기에 유출수 중 토사농도는 최고치를 보이다가 이후 급격히 감소한 다음 이후 100 ~ 200 mg L⁻¹ 정도의 농도를 유지하였으며 유출량 크기에는 큰 영향을 받지 않는 것으로 관측되었다. 이는 썩레질 등으로 교란되었던 논표면이 시간이 지남에 따라 안정화 되는데 기인하는 것으로 사료되었다.

조사된 유출량과 토사농도 자료로부터 산정된 영농기간 논에서의 토사 유실량은 1999년 경우 1,221.3 kg ha⁻¹ 이었고 2000년의 경우 1,274 kg/ha kg ha⁻¹ 이었다. 〈Table 3.〉 〈Fig 1.〉에서 나타난 바와 같이 영농기 초기를 제외하고는 토사 농도가 유출수 크기에 큰 영향을 받지 않는 것으로 보아 일별 유출수량과 논에서의 일 토사 손실량은 밀접한 관계가 있을 것으로 판단되어 관측자료를

〈Fig 2.〉와 같이 도시하여 보았다. 그 결과 둘 사이에는 높은 상관관계가 있는 것으로 보이며 물수지를 정확하게 예측할 수 있다면 유량-토사유사량식을 이용 논에서의 토사유실을 비교적 정확하게 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

농경지의 토양침식은 작물과 같은 어느 한가지 요인에 좌우되는 것이 아니고 강우, 지형, 토양특성, 토양관리, 작물종류 등 여러 가지 요인의 복합적인 결과로 나타나는데 그 중에서도 논은 토양침식을 작게 하는 기능을 가지고 있다. 논바닥이 수평으로 유지되어 토양유실 요인 중 지형요인의 효과가 없어진다. 뿐만 아니라 벼는 거의 대부분 재배기간 중 짧은 중간 낙수 기간을 제외하고는 물로 채워져 있으므로 토양유실의 첫 단계인 빗방울에 의한 토립자 타격과 이탈을 근본적으로 봉쇄하는 효과를 지닌다. 따라서 논은 영농기 초기를 제외하고는 토양유실이 거의 없는 것으로 알려져 왔다. (권, 1998) 하지만, 본 연구 결과 논은 영농기 초기도 토양유실이 발생함을 알 수 있다. 이는 논은 담수심이 작을 때 빗방울에 의해 토립자 분리 및

배수물꼬 주변에 집중흐름이 생기면서 수면 경사와 유속이 발생하여 토립자가 운송되는 것으로 판단되었다.

정(1998)은 라이시미타 내에서 보리-콩 작부체계를 비롯하여 14개 작부체계로 토양 유실량 살펴본 바 있는데 나지 128 ton ha⁻¹, 옥수수 단작 54 ton ha⁻¹, 보리-콩 작부에서 31 ton ha⁻¹ 인 것으로 조사되었다. 이에 반하여 본 연구에서 조사된 논외 토양유실량은 1.2 ton/ha ton ha⁻¹ 정도로서 그양이 상대적으로 매우 작음을 알 수 있다.

IV. 요약 및 결론

1999년 과 2000년의 영농기간 중 전라북도 진안군 마령면 필지논을 대상으로 관행영농하에서 토사 유출부하량을 조사하였다. 조사기간 동안 유·출입된 물수지를 계산한 결과, 1999년의 경우 강우량은 1,030 mm, 관개수량은 566 mm, 유출수량은 701 mm 이었고, 2000년의 경우 강우량은 1,214 mm, 관개수량은 413 mm, 유출수량은 710 mm 이었다.

유출수 시료중 토사의 함량은 1999년의 경우 109.4 ~ 465.2 mg L⁻¹ 의 범위를 보였으며 평균 193.8 mg L⁻¹ 이었고, 2000년의 경우 유출수 중 측정된 토사 농도는 123.4 ~ 412 mg L⁻¹ 의 범위를 보였으며 평균 180.6 mg L⁻¹ 이었다. 조사된 유출량과 토사농도 자료로부터 산정된 영농기간 논에서의 토사 유실량은 1999년 경우 1,221.3 kg ha⁻¹ 이었고 2000년의 경우 1,274 kg ha⁻¹ 이었다. 또한, 측정된 자료는 유출수량과 토사유실량 사이에는 밀접한 상관관계가 있음을 나타냈다.

이 논문은 1999 연도 학술진흥재단의 연구비에 의하여 지원되었음
(KRF-99-042-G00002 G1105)

參考文獻

1. 권순국. 1998. 논외의 환경적 역할과 가치 (I). 한국관개배수지 5(1):83-96.
2. 김복영, 조재규. 1995. 벼 재배에서 방류수에 의한 영양염류의 유실. 한국관개배수지 2(2): 150-156.
3. 김진수, 오승영, 김규성. 1999. 광역논에서의 질소·인의 농도와 오염부하량 특성. 한국농공학회지 41(4):47-56.
4. 김현영, 황철상, 강석만, 이광야. 1998. 논유출 특성을 고려한 홍수분석 시스템 개발. 한국농공학회 학술발표회 발표논문집. pp34-40.
5. 박승우, 윤광식, 진영민, 이변우. 1997. 논외의 물질순환 모니터링, 서울대농학연구지 22(1):19-27.
6. 신동석, 권순국. 1990. 논에서의 질소 및 인의 농도와 유출입. 한국환경농학회지. 9. (2):133-141.
7. 엄기철, 윤성호. 2000. 농업의 다원적 기능 계량화 평가. 2000년 농업과학기술 심포지엄 "농업의 다원적 기능" 농촌진흥청 농업과학기술원
8. 임상준, 박승우. 1997. 논외의 유출곡선번호 추정. 한

국수자원학회논문집. pp379-387.

9. 정필균. 1998. 토양보전. 한국토양비료학회지.
31(S.I):27-35.
10. 홍성구, 권순국. 1989. 농경지로부터의 오염물질
유출부하특성. 한국농공학회지
31(3):92-102.
11. 환경처. 1993. 수질오염공정시험법.
12. 농촌진흥청. 1983. 토양화학분석법