

논에서 강우에 의한 질소와 인산의 유출특성

조재영 · 한강완* · 최진규¹ · 손재권¹

전북대학교 농과대학 응용생물공학부, ¹전북대학교 농과대학 농공학과

초 록 : 본 연구는 논에서 강우에 의한 질소와 인산의 유출특성을 조사하였다. 이를 위하여 농업이외의 오염원이 비교적 적은 전라북도 진안군 마령면 평지리 일대 5,000 m²의 논을 시험포장으로 선정하여 1997년 5월 1일부터 1998년 4월 30일까지 12개월 동안 유출수 중 질소와 인의 시기별 함량변화 및 논에서의 유출수문 자료를 수집하였다. 논에서의 평균 유효우량은 관개기간 동안에 77.0 mm, 비관개기간 동안에는 21.2 mm로 나타났으며, 초기 유출우량은 관개기간 동안 6.3-33.7 mm의 범위로 평균 12.9 mm, 비관개기간 동안 5.9-12.5 mm의 범위로 평균 9.2 mm로 산정되었다. 유출계수는 관개기간 중 0.59-1.36, 비관개기간 동안에는 0.57-0.86의 범위를 나타내었다. 관개기간과 비관개기간 사이에 영양물질의 유출특성에 차이가 있는지를 조사한 결과, 질소원과 인산원은 시기별로 유출량의 차이가 나타나지 않은 반면, 부유물질은 시기별로 차이를 나타내고 있었다. 논에서 강우-유출 중 발생하는 유출수량을 이용한 유출부하량 예측 결과, 질소원은 유출부하량 예측이 가능하였지만, 입자대 성분의 형태로 유출이 발생하는 부유물질과 전인은 약간의 오차가 발생하였다. (2000년 6월 2일 수리, 2000년 10월 26일 접수)

서 론

농경지에서 강우에 의한 유출과정은 토양유실과 오염물질의 이동, 지하수오염 등을 발생시키며, 이와 같은 현상이 반복되면서 유역의 수문환경과 물질운송이 진행된다. 비가 오면 흙알갱이가 탈립되어 빗물에 의해 하류로 이동하게 되는데, 이때 토양표면에 부착 되어 있는 비료와 농약 중 수용성 성분이 일부 용해되거나 토양입자 표면에 부착된 상태로 지표유출이 발생하게 된다.¹⁾

최근 들어 세계적으로 농업비점오염원으로 인한 수질오염 문제를 해결하기 위하여 연구개발이 활발하게 이루어지고 있으나,^{2,7)} 우리 나라에서는 초기 연구 단계로⁸⁻¹¹⁾ 이 분야에 대한 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다. 특히 우리 나라의 경우 논이 전체 농경지 면적의 60% 이상을 차지하고 있는데, 논에서 영양물질의 이동과 물질수지는 벼에 대한 양분의 수급을 결정하고 주변 수계 환경에 영향을 미칠 수 있으므로 논에서 농업 비점오염물질의 유출 메카니즘에 대한 정량적인 평가가 선행되어야 할 것으로 생각된다.

본 연구는 농업활동 과정에서 발생하는 농업비점오염원의 강우에 의한 유출과정 중 논에서의 유출특성을 조사하고자 하였다. 이를 위하여 농업이외의 오염원이 비교적 적은 논을 시험포장으로 선정하여 1997년 5월부터 1998년 4월까지 12개월 동안 논에서의 유출 특성과 관련된 자료를 수집하여 분석하였다.

재료 및 방법

본 실험에 사용된 시험포장은 1995년 5월에 경지정리가 완료된 전라북도 진안군 마령면 평지리에 위치하고 있으며, 축산

찾는말 : 질소, 인, 유출, 유효우량, 부유물질
 *연락처 : Tel: 82-63-270-2547, Fax: 82-63-270-2550
 E-mail : riverhan@moak.chonbuk.ac.kr

폐수, 가정하수 및 산업폐수로부터 영향을 받지 않은 전형적인 수도작 농업지대이다. 시험포장 구획은 장변 100m와 단변 50m로서 면적은 5,000 m²이다(Fig. 1). 본 시험포장의 토양은 지산미사질양토(Jisan Silt loam, SiL; fine loamy, mixed mesic family of Fluventic Haplaquepts)로서 논토양의 이화학적 특성은 Table 1과 같다. 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 침투수량계(2800K 1, Guelph, USA)와 증발산량계(Wether log, Rainwise, USA)를 각각 1조씩 설치하였다. 모든 측정 기기는 1997년 5월 1일부터 1998년 4월 30일까지 운영하였다.

시험포장은 1997년 5월 13일에 논갈이를 하고 답수를 시킨 후, 5월 26일에 재식거리 15×30 cm, 1주 당 3본씩 기계이앙

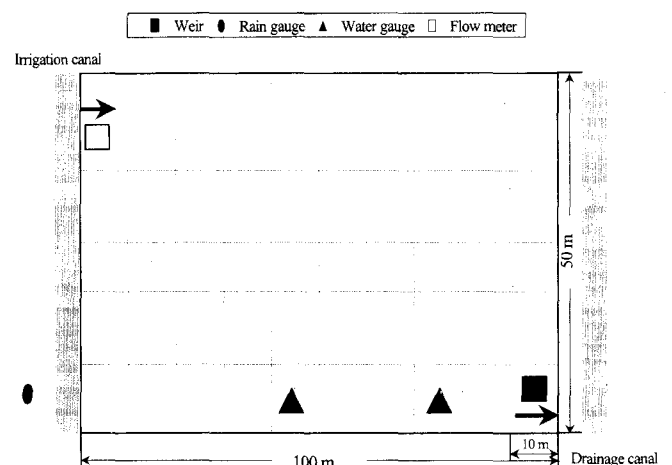


Fig. 1. Area of experimental plot and placement of the experimental equipments.

Table 1. Physical and chemical properties of the experimental paddy soil in runoff characteristic study

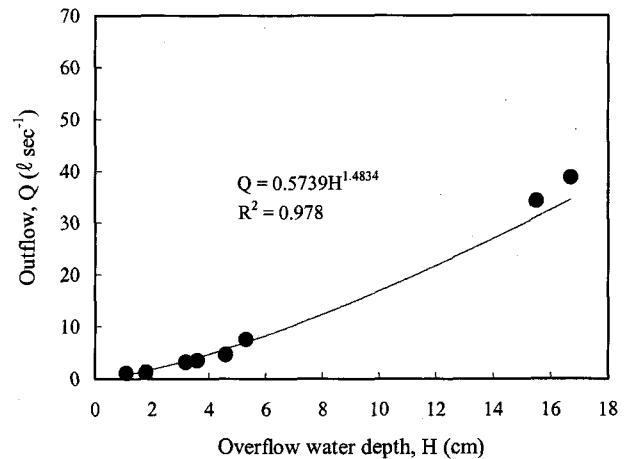
Chemical properties		Particle size fraction (%)	
Organic matter (%)	2.15	Sand	29.5
pH (1 : 5)	5.81	Silt	55.3
Total-N (mg kg ⁻¹)	856.47	Clay	15.2
Total-P (mg kg ⁻¹)	246.34		
CEC (cmol (+) kg ⁻¹)	10.54		
Exchangeable cations (cmol (+) kg ⁻¹)			
	Ca	4.35	
	Mg	3.02	
	Na	0.15	
	K	0.45	

을 실시하였다. 시험포장의 재배품종은 화선찰벼이며, 9월 29일에 수확하였다. 비관개기간 동안에는 수확후 벼짚을 전랑 논 토양에 살포하고 비경운 상태로 두었다가 1998년 3월 20일에 1차 논갈이를 한 다음, 4월 25일에 2차 논갈이를 실시하였다. 본 시험포장은 경지정리(1994년 11월-1995년 5월)가 완료된 논으로 경지 정리가 끝난 최근 3년 동안 표준시비량(N:P:K = 11:8:7 kg 10a⁻¹)의 2-3배에 해당하는 과잉의 화학비료가 시비되었다. 1995년도에는 30 kg N 10a⁻¹, 4.2 kg P 10a⁻¹, 6.8 kg K 10a⁻¹에 해당하는 화학비료가 사용되었으며, 1996년도에는 26 kg N 10a⁻¹, 3.8 kg P 10a⁻¹, 3.8 kg K 10a⁻¹에 해당하는 화학비료를 사용하였다. 본 연구기간의 시비량은 5월 22일에 모내기 기비(基肥)로 10.72 kg N 10a⁻¹, 2.72 kg P 10a⁻¹ 그리고 2.72 kg K 10a⁻¹를 전층시비(全層施肥) 하였으며, 6월 13일에 분얼비(分蘖肥)로 7.36 kg N 10a⁻¹을, 7월 28일에 수비(穗肥)로 3.68 kg N 10a⁻¹을, 1998년 3월 18일에 규산질비료를 200 kg 10a⁻¹ 수준으로 시비하였다.

논바닥 형태는 작물 재배시기별로 약간 다르고 특히 개토(客土), 논갈이 및 바닥정리 등 여러 가지 요인에 의하여 변하기 때문에 균일한 수평면으로 볼 수 없다. 시험포장 구획내 논바닥의 불규칙 상태를 조사하기 위하여 장·단변이 100 m × 50 m인 필지를 10 m 간격의 방안망으로 구성하고, 그 지점에 대하여 1997년 5월 10일에 수준측량을 실시하였는데, 시험포장의 66개 지점에 대한 상대적 바닥표고는 최소 298.240 m, 최대 298.381 m로 평균 298.340 m이었으며, 최대표고차 14.1 cm, 표준오차 0.36 cm 그리고 표준편차는 2.87 cm로 나타났다.

강우자료는 시험포장내에 설치된 자기우량계의 자기기록지에 누가우량으로 기록되었다. 12개월간 1,510.2 mm의 강우량이 기록되었으며, 최대 일우량은 8월 4일의 129.8 mm day⁻¹였고, 최대 시우량은 7월 15일 20:00-21:00의 26.1 mm hr⁻¹였다. 관개수량은 시험포장의 관수로 유입구에 설치된 유량계를 이용하여 관개수 유입량을 측정하였으며, 매 관개시마다 bucketing을 통하여 유량을 보정하였다. 유출수량은 웨어에서 유출되는 수위를 측정하는 다음 웨어유량공식을 이용하여 유량을 산정하였다.¹²⁾ 웨어의 월류수두와 실측된 유출수량과의 지수관계는 Fig. 2에 나타나 있다.

강우 시료는 2 mm 이상의 강우사상이 발생할 때마다, 관개수 시료는 매 관개시마다 관개수 유입구에서 채수하였다. 유출

**Fig. 2. Exponential relationship between overflow water depth and the outflow from the paddy field.**

수는 유출이 발생할 때마다 2시간 간격으로 시험포장의 웨어 유출구에서 폴리에틸렌 용기(2 l)에 채수하였으며, 모든 수질시료는 4°C 이하의 온도로 보관하면서 분석시료로 사용하였다.

시료의 분석은 USDI의 수질분석법에 기준하였다.¹³⁾ 부유물질(suspended solids)은 시료 1000 ml를 취하여 유리섬유여지법으로, 전질소와 암모니아태질소는 수질시료 500 ml를 취하여 각각 환원증류-킬달법과 중화적정법으로 분석하였다. 총인산은 수질시료 500 ml를 취하여 50 ml로 농축한 다음 ascorbic acid reduction법에 기준하여 분석하였다. 질산태질소는 0.45 μm 이하의 유리섬유여지(GF/C)를 사용하여 여과한 다음 이온크로마토그래피(Sykam 4260, Germany)를 이용하여 분석하였다. 토양의 분석은 농촌진흥청의 토양화학분석법에 기준하였다.¹⁴⁾ 토성은 micropipette법으로 측정하였으며, 토양 pH는 1:5 H₂O 현탁액 중에서 유리전극으로 측정하였고, 유기탄소 함량은 Walkley-Black법으로, 양이온 치환용량은 1 N ammonium acetate를 이용하여 토양을 NH₄⁺로 포화시킨 후 킬달증류법을 이용하여 측정하였으며, 치환성 양이온은 1 N ammonium acetate로 침출하여 ICP(Liberty Series II, Varian, Australia)로 분석하였으며 토양의 이화학적 성질은 Table 1에 나타내었다.

결과 및 고찰

총강우량에서 비가 내리기 시작하여 배수구에서 유출이 시작될 때까지의 초기유출우량을 감한 강우량을 평균하여 유효우량으로 산정하였다.¹⁵⁾ 그 결과 관개기간은 평균 77.0 mm, 비관개기간은 평균 21.2 mm에 해당하는 값을 나타내었다. 논에서 유효우량은 선행강우량, 무강우일수, 물꼬높이, 초기답수심, 경종방법 및 침투손실 등에 따라 차이를 나타낼 것으로 생각된다. 또한 유출이 일어나지 않은 초기 유출우량은 관개기간의 경우 6.3-33.7 mm의 범위로 평균 12.9 mm, 비관개기간은 5.9-12.5 mm의 범위로 평균 9.2 mm로 산정되었다. Kunimatsu *et al.*¹⁵⁾의 실험결과에 의하면 비관개기간 동안 논에서의 초기유출우량은 2.0-5.5 mm의 범위로 평균 3.5 mm로 나타났다. 또한 논에서의 초기유출은 평균 3.5 mm에서 시작되었지만 전면유출은

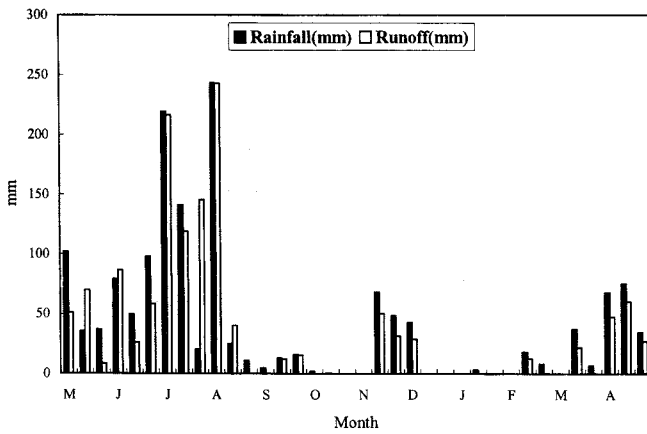


Fig. 3. Rainfall and amount of runoff at the experimental plot.

약 9.8 mm에서 시작되었다. 논에서 지표유출시 직접 유출량에 기여하는 유효강우량은 크게 2가지 요소의 손실에 의하여 총 강우량 보다 감소하게 된다. 첫째는 담수심이 물꼬높이 보다 낮은 경우 지표유출이 시작될 때까지 강우량이 직접 유출되지 못하고 저류되는 경우이며, 둘째는 수도체 염면에 의한 차단, 논토양 균열층에서의 저류, 증발 및 삼투 등이다. 보통 논외의 경우 동일 구획내에서는 편평한 것으로 가정하고 있지만, 실제로는 출수기 건답 관리시 배수의 용이성을 기하기 위해 상당한 경사를 지니고 있는 경우가 많고, 또한 이앙 및 농약살포와 같은 영농활동 과정에서 경작자 및 영농 기계의 작업에 의하여 국부적으로 높고 낮은 굴곡부위가 발생되고 있다. 영농기간과 비영농기간 사이에 유효우량과 초기 유출우량이 차이를 나타내는 것은 강우강도, 토양특성, 토양 관리방법 등이 서로 다르기

때문에 나타난 결과로 생각된다.

1997년 5월 1일부터 1998년 4월 30일까지 시험포장의 논을 대상으로 강우에 의한 유출 사상 및 유출조건을 Fig. 3와 Table 2에 나타내었다. 여기에서는 강우-유출을 대상으로 하였으며, 낙수기간 중 인위적인 배수활동, 물관리 부실로 인한 누수 및 유출사상은 제외하였다. 강우량은 유출이 발생한 기간의 총강우량을, 초기유출우량은 강우가 내리기 시작하여 웨어에서 유출이 시작될 때까지의 강우량을, 또한 유출계수는 유출량 / 강우량으로 나타내었다. 유출계수는 관개기간에 0.59-1.36, 비관개기간에 0.57-0.86의 범위를 나타내었다. 유출 계수가 1.00을 넘는 경우가 관개기간 중에 2회 있었는데 이는 경작자가 논물관리를 위하여 강우가 내리고 있는 과정에 논물꼬를 개방하여 담수상태의 논물이 다량 유출된 경우와, 강우-유출 과정중에 관개수가 공급된 경우로 조사되었다. Event 11의 경우 전강우를 10월 1일을 기준으로 하여 산정하였으며, 무강우 일수는 유출사상에 큰 영향을 미치지 않는 2 mm 미만의 강우량부터 포함시켰다.

강우사상별 각 화학성분의 유출량(L)과 유효우량(Ri-r)과의 관계를 관개기간과 비관개 기간으로 분류하여 대수 형태(L_i = a(R_i-r)^b)로 도시한 결과 유의성 있는 직선관계를 나타내었다(Fig. 4). R_i는 총강우량, r는 초기유출우량, a와 b는 회귀식의 계수로 Table 3에 나타나 있다. 강우-유출에 따른 관개기간과 비관개기간 중 화학성분의 유출특성을 조사한 결과, 주로 입자태 성분으로 지표유출이 발생하는 부유물질의 경우 계수 a가 증가할 것으로 예상되었는데, 오히려 큰 폭으로 감소하였다. 따라서 부유물질의 경우는 강우규모가 클 경우에 상대적으로 유출량이 증가할 수 있을 것으로 생각된다. 그 밖에 질소원과 인산

Table 2. Hydrological conditions at the observations of runoff loading from the paddy field

Runoff No.	Runoff period (Year. Month. Date)	Rainfall (mm)	First rainfall (mm)	Runoff (mm)	Runoff coef.	Previous rainfall (mm)	Days of drought (day)	Remark
1	1997.05.07-05.10	87.0	33.7	51.3	0.59	14.9	5	
2	1997.05.13-05.13	29.6	6.3	22.0	0.74	93.3	3	2nd plowing (basal fertilization)
3	1997.05.24-05.25	9.2	9.2	6.0	0.65	42.2	9	transplanting
4	1997.06.01-06.04	27.2	10.1	40.6	1.49	24.4	5	
5	1997.06.05-06.08	52.0	8.9	46.4	0.89	27.2	3	fertilization at tillering stage
6	1997.06.20-06.21	27.6	10.3	27.6	1.00	74.3	11	
7	1997.06.25-07.10	316.6	9.8	272.4	0.86	28.4	4	
8	1997.07.11-07.19	140.9	7.6	114.7	0.81	316.6	8	fertilization at panicle stage
9	1997.08.03-08.05	191.8	15.8	260.6	1.36	162.8	13	
10	1997.08.10-08.11	75.0	13.3	62.3	0.83	191.8	2	
11	1997.11.12-11.14	56.7	12.5	44.0	0.78	2.4	42	after harvest
12	1997.11.17-11.17	11.5	26.9	6.6	0.57	56.7	2	
13	1997.11.25-11.25	18.8	8.9	12.5	0.66	16.9	6	
14	1997.11.29-11.29	24.5	10.0	19.0	0.78	18.8	3	
15	1997.12.06-12.07	36.9	8.3	29.1	0.79	24.5	6	
16	1998.02.19-02.19	16.5	12.5	12.6	0.76	47.8	72	
17	1998.03.19-03.20	34.5	10.1	22.0	0.64	27.7	25	1st plowing
18	1998.04.01-04.02	40.5	12.0	34.7	0.86	41.6	10	
19	1998.04.05-04.05	20.0	9.1	13.0	0.65	40.5	3	
20	1998.04.12-04.14	57.3	7.1	47.0	0.82	27.6	5	
21	1998.04.23-04.24	34.5	5.9	27.0	0.78	75.7	8	

Event No. 110: cropping season, 1121: non-cropping season.

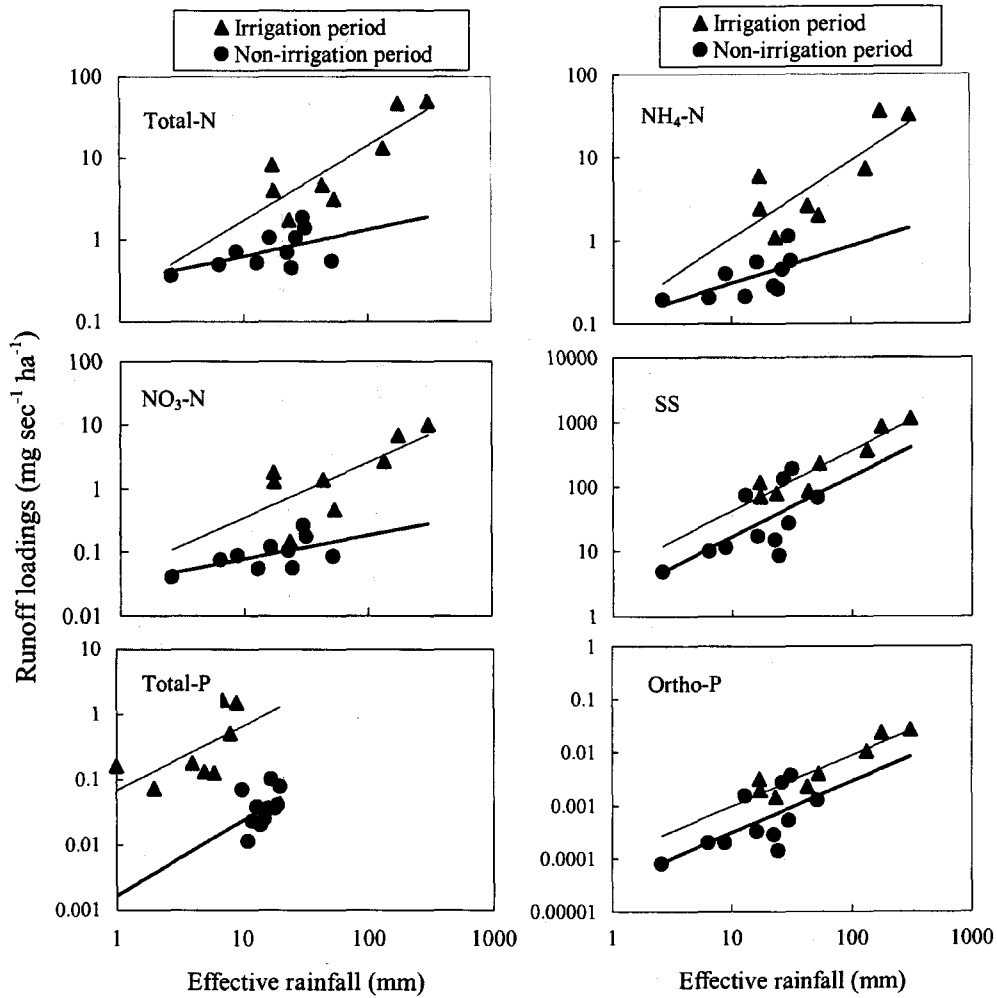


Fig. 4. Relationship between runoff loading of nitrogen, phosphours, and SS from the paddy field and effective rainfalls.

원은 관개기간과 비관개기간 사이에 유출량의 차이가 나타나지 않았다. 관개기간과 비관개기간 중 계수 b는 큰 차이를 나타내지 않았다. 비관개기간 중 경운이 되면 담수상태에서 토양과 물의 접촉시간이 길어져 가용성 물질의 용출률이 증가할 것으로 예상된다. 하지만 강우 규모가 커져 논 내부에서 토양입자를 분산시킬 수 있는 충분한 접촉시간을 갖지 못하고 바로 유출이 일어나게 되면 입자태 성분으로 주로 유출이 발생하는 전인의 경우 강우량 규모의 효과가 그 이상으로 작용하지 않을 것으로 예측된다. 유효유량과 화학성분의 유출 부하량 간에는 유의성 있는 직선관계가 나타났으나, 관개기간과 비관개기간 사이에 유출 부하량 차이가 크게 나타나지 않았다. 향후 논에서 영양물질의 유출특성에 대한 데이터가 장기적인 연구를 통하여 충분히 축적된다면 강우-유출 과정 중 유효유량에 대한 자료를 이용한 논에서의 농업비점오염원의 유출부하량을 유의성있게 예측할 수 있는 프로그램의 개발이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

강우-유출 과정 중 논으로부터 하천에 부하되는 유출 부하량과 유출량과의 관계는 직선형($L = aQ + b$)과 곡선형($L = aQ^b$)으로 표현할 수 있다.¹⁵⁾ 주요 화학성분별로 유출량과 유출 부하량의 관계를 조사한 결과(Table 4), 유출량이 증가함에 따라 유출 부

하량이 증가 하는 경향을 잘 나타내고 있었다(Fig. 5, 6). 전질소는 직선식과 곡선식이 완전히 일치하였고, 질산태 질소와 암모니아태 질소는 직선식과 곡선식이 거의 접근하였다. 부유물질, 전인 그리고 가용성 인은 직선식과 곡선식이 약간의 차이를 나타내고 있었는데, 직선식에 비하여 곡선식에서 유출 부하량이 과대평가 되고 있었다. 이와 같이 거의 대부분의 화학성분이 유출 부하량과 유출량 사이에 유의성 있는 직선관계를 나타내고 있는 것으로 보아 강우-유출과정 중 논으로부터 하천에 유입되는 유출량을 적용하여 유출 부하량을 추정할 수 있을 것

Table 3. Exponential relationship ($L_i = a(R_i - r)^b$) between the effective rainfall and the runoff loading of chemical components from the paddy field

Properties	Irrigation period		Non-irrigation period	
	$a \cdot 10^{-3}$	b	$a \cdot 10^{-3}$	b
SS	12824.0	0.7125	1923.7	0.9347
Total-N	776.7	0.6097	295.3	0.3255
NH ₄ -N	539.3	0.5896	156.4	0.2841
NO ₃ -N	127.7	0.6397	32.7	0.3721
Total-P	44.0	1.1369	1.6	1.1576
Ortho-P	0.3	0.7231	0.5	0.9652

Table 4. Outflow-runoff loading equations of chemical components

Properties	Outflow-runoff loading equation			
	Linear		Curvilinear	
Total-N	L = 13.2030Q+5.3827	r ² = 0.95	L = 14.7550Q ^{0.9688}	r ² = 0.94
NH ₄ -N	L = 9.9929Q+0.8649	r ² = 0.94	L = 8.5295Q ^{0.9994}	r ² = 0.88
NO ₃ -N	L = 2.0966Q+1.4754	r ² = 0.85	L = 2.5561 ^{0.9620}	r ² = 0.84
Total-P	L = 0.4274Q+0.2616	r ² = 0.99	L = 0.5263Q ^{1.0024}	r ² = 0.98
Ortho-P	L = 0.0065Q+0.0078	r ² = 0.88	L = 0.0083Q ^{1.0929}	r ² = 0.86
SS	L = 239.370Q +354.93	r ² = 0.78	L = 364.1200Q ^{0.9828}	r ² = 0.86

L = runoff loadings (mg sec⁻¹ ha⁻¹), Q = outflow (l sec⁻¹ ha⁻¹).

으로 생각된다. 그러나 입자태 성분이 주를 이루고 있는 부유물질과 전인은 직선식과 곡선식에서 약간의 오차가 발생하고 있다.

본 연구에서는 관개기간과 비관개기간을 대상으로 논에서의 영양물질 유출특성의 차이를 비교하고자 하였다. 그 결과 유출토사의 경우에는 시기별로 유출특성에 차이를 나타낸 반면, 질소와 인산의 경우 큰 차이를 나타내지 않았다. 논에서 영양물질의 유출 특성을 명확히 규명하기 위해서는 적어도 2-3년 이상 지속적으로 여러 가지 농업형태, 강우조건, 토양특성을 고려한 정확한 연구가 지속적으로 이루어져야 하며, 비관개기간의 경우에도 경운 여부, 벧짚 살포 등 제반 요인을 검토한 세밀한 연구가 추가로 이루어져야 할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 농림부의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

1. Park, S. W., Yoo, S. H. and Kang, M. S. (1997) Non-point sources pollution loadings from land uses on small watersheds. *J. Kor. Soc. Agri. Eng.* **39**, 115-127.
2. Allan O., Rhoades, E. D., Smith, S. J. and Menzel, R. G. (1980) Fertilizer nutrient losses from rangeland watersheds in central Oklahoma. *J. Environ. Qual.* **9**, 81-86.
3. Kunimatsu, T. (1983) Crop land-recycling of nutrients and purification function in paddy fields. *Res. Rep. Lake Biwa Res. Inst.* **2**, 28-35.
4. Kunimatsu, T. (1986) Management and runoff of nutrients from farming land. *Water Management Technol.* **27**, 713-720.
5. Owens, L. B., Edwards, W. M. and Keuren, R. W. (1991) Baseflow and storm flow transport of nutrients from mixed agricultural watersheds. *J. Environ. Qual.* **20**, 407-414.
6. Sharpley, A. N., Smith, S. J., Berg, W. A. and Williams, J. R. (1985) Nutrient runoff losses as predicted by annual and monthly soil sampling. *J. Environ. Qual.* **14**, 354-359.
7. Takeda, I., Kunimatsu, T., Kobayshi, S. and Maruyama, T. (1991) Pollutant balance of a paddy field area and its loading in the water system-studies on pollution loadings from a paddy field area. *The Japanese Soc. Irrig. Drain. Reclam. Eng.* **153**, 63-72.
8. Chung, J. B., Kim, M. K., Kim, B. J. and Park, W. C. (1999) Nitrogen, phosphorus and organic carbon load in the Imgo small agricultural watershed catchment. *Kor. J. Environ. Agri.* **18**, 70-76.
9. Jung, Y. S., Yang, J. E., Park, C. S., Kwon, Y. G. and Joo, Y. K. (1998) Changes of stream water quality and loads of N and P from the agricultural watershed of the Yul-munchon tributary of the Buk-Han river basin. *J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert.* **31**, 170-176.
10. Kim, B. Y. and Cho, J. K. (1995) Nutrient effluence by the outflowing water from the paddy field during rice growing season. *Korean Comm. Irrig. and Drain.* **2**, 150-156.
11. Lee, C. K., Lee, K. C., Lee, H. J., Rhu, H. I., Lee, M. H., Jun, S. H., Kim, S. S., Kim, S. K. and Kim, S. D. (1990) Studies on good agricultural practice in the use of fertilizer and agrochemical. *Rep. Natl. Environ. Res. Korea* **12**, 293-310.
12. Bos, M.G. (1976) In 'Discharge Measurement Structures,' 2nd Ed., Chap. 4, Madison, WI.
13. U.S. Department of Interior. (1971) In 'FWPCA Methods for Chemical Analysis of Water Wastes,' Natl. Environ. Res. Center. Anal. Qual. Control Lab., Cincinnati, Ohio.
14. National Institute of Agricultural Science and Technology (1988) In 'Methods of Soil Chemical Analysis,' Sammi Printing Co., Seoul, Korea.
15. Kunimatsu T, Rong L, Sudo M and Takeda I (1994) Runoff loadings of materials causing water pollution from a paddy field during a non-planting period. *The Japanese Soc Irrig. Drain and Reclam Eng.* **170**, 45-54.

Runoff Characteristics of N and P by Rainfall in Paddy Field

Jae-Young Cho, Kang-Wan Han*, Jin-Kyu Choi¹ and Jae-Kwon Son¹(*Department Agricultural Chemistry, Chonbuk National University, Chonju 561-756; ¹Department Agricultural Engineering, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea*)

Abstract: This research was carried out to investigate the runoff pattern of nutrients by rainfall from the paddy field located at the southwest of Korea. Effective rainfalls were 17.0 and 21.2 mm for irrigation and non-irrigation period, respectively. The first runoff in paddy field was 6.3-33.7 mm (average = 12.9 mm) and 5.9-12.5 mm (9.2 mm) for irrigation and non-irrigation period, respectively. And runoff ratio was 0.59-1.36 and 0.57-0.86 for irrigation and non-irrigation period, respectively. During irrigation and non-irrigation period, the outflow increased significantly with the precipitation. Pattern of precipitation-runoff differed between irrigation and non-irrigation period, as affected by precipitation intensity, hydrological condition, and cropping. There existed a linear relationship between the runoff loading of N and P and precipitation. During the irrigation and non-irrigation period, runoff loadings of N and P were not significantly different. However, there was significant difference in case of total suspended solids.

Key words: effective rainfall, nitrogen, phosphorus, runoff, total suspended solids

*Corresponding author