

논에서 영양물지 수지를 이용한 논 정화능력 분석

정 재 운* / 윤 광 식**+ / 최 우 정*** / 최 우 영**** / 이 수 형***** /
장 남 익***** / 홍 순 강***** / 주 석 훈*****

Analysis of Purification Capacity of Paddy Fields Using Nutrient Balance

Jung, Jae Woon / Yoon, Kwang Sik**+ / Choi, Woo Jung / Choi, Woo Young /
Lee, Soo Hyung / Chang, Nam Ik / Hong, Soon Kang / Joo, Seuk Hun

요약 : 본 연구에서는 논에서의 영양물질 제거능력에 대하여 평가하였다. 논을 인공습지라는 관점으로 보고 전라남도 함평군 엽다면 화양리의 논 지구(이하 학야지구)를 시험지구로 선정하여 2004년 5월부터 9월까지 영농기간동안 조사하였다. 학야지구를 대상으로 물수지 및 물질수지를 조사하여 논에서의 T-N, T-P의 제거능력을 조사한 결과 지표유출 부하로 T-N, T-P가 각각 20.82 kg/ha, 1.55 kg/ha로 나타났으며, 이는 연구대상 논에 총 투입된 T-N, T-P의 13.2%와 6.4%에 해당되는 양이다. 연구 결과는 투입된 대부분의 영양물질이 논에서 처리됨을 보여주었다.

핵심용어 : 논, 영양물질, T-N, T-P

Abstract : In this study, the nutrient removal capacity of paddy field was investigated. Paddy field was considered as a constructed wetland. The present study was conducted during a cropping period in a rice cultivation area located in Hampyung-gun, Jeollanamdo, Korea. Water balance and mass balance of nutrients were estimated after intensive field monitoring. The surface runoff losses of T-N and T-P were 20.82 kg/ha and 1.55 kg/ha, respectively. The losses were 13.2% and 6.4% of T-N and T-P input into paddy fields, respectively. The results showed that the paddy fields have nutrient removal function.

Keywords : Paddy field, Nutrient, T-N, T-P

1. 서 론

4대강의 비점오염원에 의한 오염부하량은 개략적으로 22~40% 정도를 차지하고 있고, 특히 수도권 지역의 주요 상수원인 팔당 상수원은 44.5%가 비점오염원에서 배출되고 있는 것으로 조사되었

으며, 2020년에는 54.3%까지 증가할 것으로 예측되고 있다(환경부, 2004). 이러한 비점오염의 정화를 위하여 녹지대, 식생대, 인공습지같은 자연정화처리에 관심이 쏠리고 있으며 인공습지 효과에 대한 연구가 이루어지고 있다. 노희명 등(2002)은 시화지구 인공습지에서 갈대에 의한 질

+ Corresponding author : ksyoon@chonnam.ac.kr
* 전남대학교 생물산업공학과
** 전남대학교 생물산업공학과(농업과학기술연구소)
*** 전남대학교 생물산업공학과
**** 전남대학교 생물산업공학과
***** 국립환경과학원 영산강물환경연구소
***** 국립환경과학원 영산강물환경연구소
***** 초당대학교 소방행정학과
***** 한국농촌공사

소 및 인 흡수에 관한 연구를 하였는데 T-N, T-P가 각각 23.8~45.1 g/m², 2.1~5.9 g/m²만큼 감소되었다고 보고하였다. 허인량 등(1999)은 인공습지에서 8개월간 BOD, T-P, T-N이 각각 64.5%, 18.3%, 34.5%의 제거율을 나타냈고 이중 수생식물에 의한 T-P, T-N의 제거율은 각각 55.1%, 28.8%로 보고하였다. 윤춘경 등(2004)은 지하흐름형 인공습지에서 T-N, T-P가 각각 24.1%, 46.2%로 처리효율을 보인다고 보고하였다. 김춘송 등(2007)은 수생식물을 대상으로 정화능력을 평가한 결과 표면수의 정화효율을 T-N, T-P가 각각 81.6~87.3%, 38.5~93.1%로 보고하였다. 또한 윤춘경(2003) 등은 논에서의 영양물질 수지를 분석한 결과 영농기간동안 강우가 800 mm를 초과하지 않는다면 영양물질을 축적하는 공익적 기능을 가지고 있다고 보고하였다.

2007년 현재 우리나라의 논 면적은 국토 면적의 약 10.9%인 108만 4천 ha로 인간의 활동이 이루어지는 단일 토지이용으로써 가장 많은 면적을 차지하고 있다(농림부, 2007). 논은 인위적으로 만든 습지 중 가장 넓은 면적을 차지하며 비점 오염관리를 위해 연구가 필요한 대상이다. 논외의 경우 오염원으로 연구는 이루어 졌지만 인공습지라는 관점에 그 정화능력을 살펴본 사례는 드물다. 따라서 본 연구에서는 논에서의 질소와 인의 정화능력을 살펴보는 것을 목적으로 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 시험지구 선정

기상 및 수문자료 취득 및 관측이 용이하고, 접근성이 양호한 전라남도 함평군 염다면 화양리의 논 지구를 시험지구(이하 학야지구)로 선정하였다. 본 지구의 관개원은 농업기반공사 함평지사에서 관리하는 대동저수지(관개면적 992.3ha, 저수용량 5309천m³)이다. 학야지구는 동경 126° 30'52"~126° 31'25", 북위 35°02'10"~35°02'11"에 위치하고 있으며 영산강 유역의 평야지대를 대표할 수

있는 농업지대로 비교적 용·배수의 측정이 용이한 유역이며, 지형의 특성에 따라 0.2~0.4 ha의 소구획 지구로 용·배수가 분리되어 있다. 또한, 동쪽으로는 함평천이 흐르며 서쪽으로는 학야지구에서 배출되는 주 배수구가 흐르는 유역면적이 13.69 ha인 논 지구이다. 다음 그림 1은 조사지점의 수문 계측망이다.

2.2 물수지 측정 및 분석 방법

학야지구의 물수지분석을 위해 용수로 시점과 배수로 말단에 유속계를 설치하여 수위-유량관계식을 이용하여 유량을 산정하였다. 증발량과 침투량을 측정하기 위해 학야지구 논에 증발량계 및 침투량계를 설치하였다(그림 1). 한편, 관개부하량과 유출부하량을 산정하기 위해서 용수로 시점과 배수로말단에서 각각 수질시료를 채취한후 유량과 농도의 곱으로 부하량을 산정하였다. 시료채취 주기는 10mm 이상 강우를 기준으로 강우 발생시 1~5회 수질시료를 채취하였으며, 비강우시의 경우에는 1주간격으로 수질시료를 채취하였다. 강우시 강우부하량은 각 강우사상별로 강수를 채취 하여 강우 EMC(Event Mean Concentration)와 강우량의 곱으로 강우부하량을 산정하였다.

수질분석은 수질오염공정시험법에 준하여 T-N과 T-P를 분석하였으며, 식물체 분석은 수확시기에 0.5 m²의 면적에서 벼를 샘플링 하여 약 1주일동안 건조 시킨후 중질, 잎, 뿌리, 줄기의 건물중을 측정한 후, 분쇄기로 분쇄하여 농업과학기술원에서 제공하는 토양 및 식물체 분석법에 의하여 T-N과 T-P를 분석하였다.

2.3 물수지 분석 및 물질수지

논에서의 물 수지는 강우량과 관개량으로 구성되는 유입량과 관개 또는 낙수에 의한 논 표면수의 유출량, 증발산량, 침투량으로 구성되는 유출량으로부터 계산할 수 있으며, 일반적인 논에서의 물수지 식은 다음과 같다.

$$ST_t = ST_{t-1} + IR_t + RAIN_t - INF_t - ET_t \quad (1)$$

여기서, ST 는 저류량(mm), IR 은 관개량 (mm), $RAIN$ 은 강우량 (mm), INF 는 침투량 (mm), ET 는 증발산량 (mm)이다.

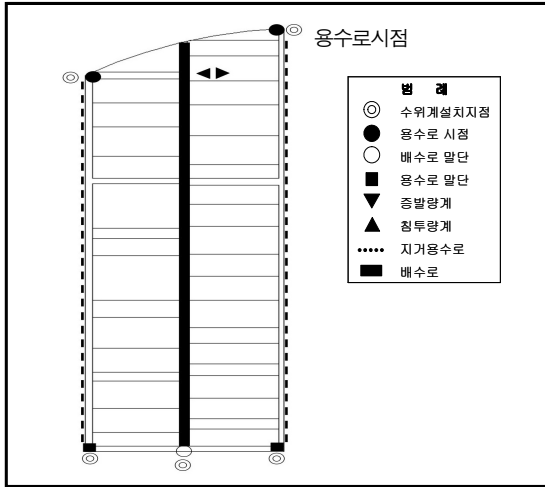


그림 1. 영산강 수계 학야지구 수문 계측망

논에서의 영양염류의 공급원은 인위적 공급원과 자연적 공급원이 있다. 화학비료와 퇴비 등의 유기질 자재는 인위적인 공급원이며, 수계로부터 관개수나 대기로부터의 강수와 토양 미생물에 의한 질소 고정에 의하여 영양염류가 자연적으로 공급된다. 또한, 논으로부터의 영양염류 배출에는 인위적 배출과 자연적 배출이 있다. 영양염류는 수확물과 식물 잔재물의 지출 소강에 의해서 논으로부터 인위적으로 배출된다. 외부수계로의 배출

은 논물의 표면유출 및 지하침투에 의해 일어난다. 또한 질소는 NH_3-N , NO_x 의 토양표면으로부터의 휘산과 탈질작용에 의해 대기층으로 방출된다. 이러한 인자들을 반영하여 윤춘경 등(2003)이 제안한 식을 나타내면 다음과 같다.

$$L_{IR} + PR + Fert = L_{DR} + L_{INF} + Harv + \Delta \quad (2)$$

여기서, L_{IR} = 관개, PR = 강우, $Fert$ = 시비에 의한 유입이고, L_{DR} = 지표유출, L_{INF} = 침투, 그리고 $Harv$ = 식물흡수, Δ = 기타손실(휘산, 탈질 등)을 의미한다.

2.4 학야지구 영농현황

학야지구의 영농현황 및 시비량은 표 1과 같다. 학야지구의 시비시기는 기비의 경우 5월 28일에($55.5 N kg ha^{-1}$, $51.5 P_2O_5 kg ha^{-1}$)사용하였으며, 분얼비는 6월 17일($27.2 N kg ha^{-1}$), 이삭비는 7월 30일($46.5 N kg ha^{-1}$)에 각각 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 토양분석

토양은 물수지, 영양물질 수지 및 벼의 생육과 수확량에 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 본 시험지구(학야지구)의 토성을 조사하기 위하여 표토(0-10 cm)를 채취하여 입경분석을 수행하였다. 미국 농무성의 삼각좌표분류법에 의해 입

표 1. 학야지구 시비 및 영농현황

날 짜	영농 및 시비	비 고
5월 22일	경운	
5월 28일	이앙 및 기비	재식거리 15×30cm, 1주당 3본식 $55.5 N kg ha^{-1}$, $51.5 P_2O_5 kg ha^{-1}$, $45 K_2O kg ha^{-1}$
6월 17일	분얼비	$27.2 N kg ha^{-1}$
7월 30일	이삭비	$46.5 N kg ha^{-1}$
9월 25일 ~ 10월 5일	수확	

도 분석한 결과 모래가 11.7%, 실트 61.4%, 점토 26.9%로 토성은 미사질양토(Silt Loam Soil)로 분류되었으며, 토양통은 평택통이다(농촌진흥청 토양정보시스템).

3.2 물수지 분석

영산강 수계 학야지구의 물수지 분석결과는 표 2와 같다. 영농기간동안의 논으로 유입되는 총 유입량은 1760.2 mm로 나타났고, 이 중 69.5%가 강우에 의해 공급되었고, 30.5%가 관개에 의해 공급되었다. 총 유출량은 배수량과 증발산량이 각각 853.5 mm, 553.4 mm로 가장 많은 부분을 차지하고 있으며, 침투량이 318.0 mm로 상대적으로 작았다. 총 유입량의 월별 변화를 살펴보면, 7월과 8월에 가장 많은 강우가 내렸으며, 관개량은 이양초기인 6월과 중간낙수 이후인 8월에 많은 관개가 이루어졌다. 총 유출량은 강우가 많이 내린 7월과 8월에 많이 이루어졌으며, 증발산량은 작물생육시기별로 점점 증가하는 경향을 보였다. 침투량은 이양초기와 중간낙수 이후에 가장 많은 침투량을 보였다.

3.3 영양물질수지 분석

유입과 유출에서 전체적인 영양물질 수지 분석 결과는 표 3, 표 4와 같다. 조사기간 전체 수계로 배출된 지표유출부하량은 T-N은 20.8 kg/ha, T-P는 1.55 kg/ha로 나타났다. 순별로 살펴보면, T-N의 경우 5월 하순, 6월 중순, 7월 하순의 시기에 각각 56.25, 29.41, 47.47 kg/ha로 Input이 많은 것으로 나타났고 이는 시비의 영향 때문이다. Output 중 지표유출의 경우 강우와 시비의 영향으로 6월 중순, 6월 하순, 7월 초순 사이에 각각 3.80 kg/ha, 4.23 kg/ha, 3.24 kg/ha로 큰 지표유출 부하가 발생하였다. T-P의 경우 Input은 시비가 이루어진 5월 하순에 22.55 kg/ha로 가장 크게 나타났으며, T-P의 Output 중 지표유출의 경우 7월 초순, 8월 중순, 9월 중순의 시기에 각각 0.28, 0.24, 0.22 kg/ha로 나타났다. 한편, 전체기간 작물흡수는 T-N, T-P가 각각 124.2 kg/ha, 11.80 kg/ha로 나타났으며, 이러한 연구 결과는 윤춘경 등(2003)이 논에서 벼의 작물 흡수량은 T-N의 경우 126.3 kg/ha, T-P의 경우 18.5 kg/ha로 보고한 결과와, Liu 등(2003)이 보

표 2. 영산강수계 학야지구 논 물수지(2004)

월별	순별	유입(mm)			유출(mm)				A-B*
		강수량	관개량	소계(A)	배수량	침투량	증발산량	소계(B)	
5	초	30.0	9.7	39.7	3.3	0.0	0.0	3.3	36.4
	중	18.0	11.0	29.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.0
	하	35.0	26.7	61.7	3.3	23.5	20.9	47.8	13.9
6	초	0.0	84.4	84.4	6.7	27.5	28.5	62.7	21.7
	중	112.5	40.5	153.0	28.8	25.0	32.1	85.9	67.1
	하	159.5	42.7	202.2	112.0	32.0	24.2	168.2	34.0
7	초	173.5	21.8	195.3	81.8	23.8	30.4	136.0	59.3
	중	153.5	29.7	183.2	93.0	13.2	28.3	134.5	48.7
	하	0.0	60.2	60.2	30.0	23.9	79.2	133.0	-72.8
8	초	40.5	59.9	100.4	47.9	27.6	84.2	159.7	-59.3
	중	172.5	38.5	211.0	136.2	24.6	58.8	219.6	-8.6
	하	108.5	33.4	141.9	94.2	26.4	53.2	173.7	-31.8
9	초	4.0	68.9	72.9	37.3	24.0	47.9	109.2	-36.3
	중	215.5	8.8	224.3	140.4	24.0	31.2	195.6	28.7
	하	1.0	0	1.0	38.6	22.5	34.5	95.7	-94.7
합계		1,224.0	536.2	1,760.2	853.5	318.0	553.4	1,724.9	35.3

* Unaccounted

고한 T-N 76~124 kg/ha, T-P 16~25 kg/ha의 연구결과와 유사한 결과이다. T-N의 Input 중 시비가 차지하는 비율은 82.2%로 가장 높은 비율을 보였고, Output은 작물흡수량이 85.6%로 가장

많은 비중을 차지하고 있다. T-P의 경우도 Input은 시비가 92.5%, Output은 작물흡수량이 88.4%를 차지하여 가장 높게 나타났다. 영농기간 동안 논에서의 누적 질소와 인의

표 3. 학야지구 논의 T-N 수지(2004)

월별	순별	Input(kg/ha)				Output(kg/ha)			A-B
		강우	관개	시비	소계(A)	지표유출	작물흡수량	소계(B)	
5월	초	0.36	0.12	0	0.48	0.01	ND	ND	ND
	중	0.21	0.14	0	0.35	0.00	ND	ND	ND
	하	0.42	0.33	55.5	56.25	0.82	ND	ND	ND
6월	초	0.00	2.72	0	2.72	0.61	ND	ND	ND
	중	1.34	0.87	27.2	29.41	3.80	ND	ND	ND
	하	1.90	0.87	0	2.77	4.23	ND	ND	ND
7월	초	2.06	0.44	0	2.5	3.24	ND	ND	ND
	중	1.83	0.60	0	2.43	1.22	ND	ND	ND
	하	0.00	0.97	46.5	47.47	0.42	ND	ND	ND
8월	초	0.48	2.25	0	2.73	0.70	ND	ND	ND
	중	2.05	1.04	0	3.09	1.76	ND	ND	ND
	하	1.29	0.93	0	2.22	1.18	ND	ND	ND
9월	초	0.05	1.93	0	1.98	0.51	ND	ND	ND
	중	2.56	0.25	0	2.81	1.79	ND	ND	ND
	하	0.01	0.00	0	0.01	0.53	124.20	124.73	ND
합계		14.56	13.46	129.20	157.22	20.82	124.20	145.02	12.2

ND: Not determined

표 4. 학야지구 논의 T-P 수지(2004)

월별	순별	Input(kg/ha)				Output(kg/ha)			A-B
		강우	관개	시비	소계(A)	지표유출	작물흡수량	소계(B)	
5월	초	0.03	0.00	0	0.03	0.00	ND	ND	ND
	중	0.02	0.01	0	0.03	0.00	ND	ND	ND
	하	0.04	0.01	22.50	22.55	0.01	ND	ND	ND
6월	초	0.00	0.03	0	0.03	0.01	ND	ND	ND
	중	0.11	0.04	0	0.15	0.11	ND	ND	ND
	하	0.16	0.05	0	0.21	0.14	ND	ND	ND
7월	초	0.17	0.02	0	0.19	0.28	ND	ND	ND
	중	0.15	0.03	0	0.18	0.20	ND	ND	ND
	하	0.00	0.09	0	0.09	0.07	ND	ND	ND
8월	초	0.04	0.13	0	0.17	0.07	ND	ND	ND
	중	0.17	0.05	0	0.22	0.24	ND	ND	ND
	하	0.11	0.04	0	0.15	0.11	ND	ND	ND
9월	초	0.00	0.09	0	0.09	0.04	ND	ND	ND
	중	0.22	0.01	0	0.23	0.22	ND	ND	ND
	하	0.00	0.00	0	0	0.06	11.80	ND	ND
합계		1.22	0.6	22.50	24.32	1.55	11.80	13.35	10.97

ND: Not determined

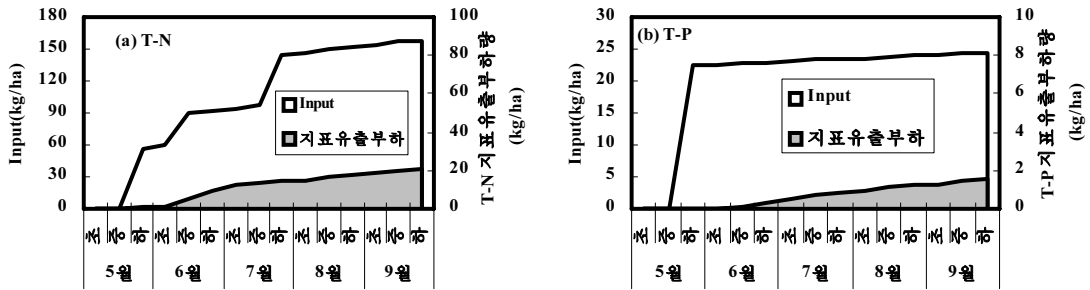


그림 2. 누적 질소와 인의 Input과 누적 지표유출부하량

Input과 누적 지표유출부하량은 그림 2와 같다. T-N과 T-P은 시비에 의해 급격히 영양물질이 투입되어도 지표유출부하가 급격히 증가하지 않았다. 이는 논이 저류기능이 있으므로 30 mm이하의 크지 않은 강수를 저류하여 논 밖으로 유출되는 것을 억제하기 때문이다. 또한, 유입된 영양물질 부하가 논 안에서 작물흡수, 휘산, 탈질 등의 정화기작이 이루어져 전체 Input T-N의 13.2%와 Input T-P의 6.4%만이 수계로 유출 되었다. 이는 논이 인공습지와 마찬가지로 영양물질을 제거하는 기능이 있음을 알 수 있었다. 실제로 여주지구(농립부, 2002)에서 시비를 하지 않은 논의 정화 기능을 연구한 실험 결과를 살펴보면, 유입수 평균 T-N, T-P농도가 각각 10.53 mg/L, 0.35 mg/L이었고, 유출수 평균 T-N, T-P농도가 각각 2.72 mg/L, 0.13 mg/L로 수질정화 효과가 있음을 보여 주었다. 따라서 논의 정화기능을 최대한 이용하는 농경배수 관리기법에 대한 연구가 필요함을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 전라남도 함평군 엄다면 화양리에 위치한 논을 대상으로 영농기간인 2004년 5월에서부터 9월말까지 논에서의 물수지 및 영양물질 수지를 파악하였으며 그 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 물수지의 경우 강수량은 1224.0mm이고, 관개량은 536.2 mm로 총유입량은 1760.2 mm

였고 지표유출량은 853.5 mm로 나타났다.

- 2) 시비, 강우, 관개등에 의한 영양물질의 전체 Input은 T-N, T-P 각각 157.2, 24.32 kg/ha이고 Input 중 시비가 차지하는 비중은 T-N, T-P가 각각 82.2%, 92.5%이다.
- 3) 작물흡수량의 경우 T-N, T-P 각각 124.2, 11.80 kg/ha로 Input T-N, T-P의 79.0%, 48.5%, 시비기준 96.1%, 52.4%를 차지한다.
- 4) 전체기간 지표유출 부하로 T-N, T-P가 각각 20.82 kg/ha, 1.55 kg/ha로 나타났으며, 이는 연구대상 논에 총 투입된 T-N, T-P의 13.2%와 6.4%에 해당되는 양이며, 이러한 결과로부터 논이 영양물질을 정화하는 기능을 가지고 있다는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2008년 영산강·섬진강수계 환경기초조사사업 연구 및 전남대학교 농업과학기술연구소의 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 김춘송, 고지연, 이재생, 박성태, 구연충, 강항원, 생활오폐수에 대한 정화력이 높은 수생식물 선발, 한국환경농학회지, 제26권, 제1호, pp. 25-35, 2007
- 노희명, 최우정, 이은주, 윤석인, 최영대, 시화지구

- 인공습지에서 갈대에 의한 질소 및 인 흡수, 한국생태학회지, 제25권, 제5호, pp. 359-364, 2002
- 농림부, 농림부 통계연보, 2007
- 농림부, 농지배수의 친환경적 관리 및 처리 기법 개발, 2002.
- 윤춘경, 장재호, 정광욱, 함중화, 습지-연못 연계 시스템에 의한 수질개선과 농업적 재이용 타당성 분석, 한국육수학회지, 제37권, 제3호, pp. 344-354, 2004
- 윤춘경, 황하선, 전지홍, 함중화, 수도재배시 논에서의 영양물질 수지 분석, 한국육수학회지, 제36권, 제1호, pp. 66-73, 2003
- 허인량, 오근찬, 신용건, 최지용, 정의호, 인공습지를 이용한 영양염류 제거, 한국환경공학회지, 제21권, 제5호, pp. 921-928, 1999
- 환경부, 관계부처합동 [물관리 종합대책]의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책, 2004
- X.J.Liu, J.C.Wang, S.H.Lu, F.S.Zhang, X.Z.Zeng, Y.W.Ai, S.B.Peng, P.Christie. Effects of non-flooded mulching cultivation on crop yield, nutrient uptake and nutrient balance in rice-wheat cropping systems, Field Crops Research, pp. 1-15, 2003