

## 논에서의 질소 및 인의 농도와 유출입

신동석\* · 권순국\*

### The Concentration and Input/Output of Nitrogen and Phosphorus in Paddy Fields

Dong-Seok Shin\* · Soon-Kuk Kwun\*

#### Abstract

For the purpose of evaluating nutrient loadings into rivers and lakes from agricultural land, especially from paddy fields and also nutrient degradation in drainage channels, the Total Kjeldahl Nitrogen(TKN) and the Total Phosphorus(TP) were investigated in 29.5 ha. paddy fields in Hwa-Sung, Kyong-Ki, Korea, during the period from May 8, 1989 to Sep. 27, 1989.

The results of the study can be summarized as follows :

1. Annual inputs into paddy fields were 180 N-kg/ha. 46 P-kg/ha. by fertilization, and 15.0 TKN-kg/ha. 10.0 TP-kg/ha. by irrigation, 8.0TKN-kg/ha. 0.34 TP-kg/ha. by rainfall respectively. The amount of nutrient involved in surface runoff from paddies was 39.0 TKN-kg/ha. 9.2 TP-kg/ha. and in seepage 7.5 TKN-kg/ha. 2.1 TP-kg/ha. respectively
2. In WS1 stream(reach length equals 950m), nutrients decreased 0.31 TKN-mg/L/km, 0.01 TP-mg/L/km and in WS2 stream (reach length equals 750m) which are more meandering and undulating than WS1, the nutrients decreased 0.84 TKN-mg/L/km, 0.11 TP-mg/L/km. From these results, it was concluded that low stream velocity due to meandering and undulation promotes more degradation of nutrient concentrations.
3. For the purpose of decreasing nutrient loads from paddy fields, the amount of fertilizer used needs to be controlled, irrigation weirs need to be constructed in the drainage channels to delay the transportation of nutrients by decelerating the stream velocity and plants such as plantain-lily need to be cultivated in the channel to consume nutrients and therefore enlarge chances of self-purification.

#### 서 언

산업이 발달하고 인구가 증가함에 따라 用水의 需要가 급격히 증가하므로 수자원의 이용율을 높이기 위하여 우리나라에서는 하구언이나 댐을 설치하여 하절기에 편중되어 있는 강수를 저류하여 이용하고 있다. 그런데, 湖沼와 같은 停滯水界는 物質의 순환이 느리기 때문에 藻類(Algae)의 성장의 영양분이 되는 물질들이 집적됨으로써 湖沼 內에 일차 생산자인 光合成 藻類가 과잉 증식하여 富營

養化라는 문제가 제기된다.<sup>3)5)</sup>

湖沼에서 藻類의 과잉번식의 주된 원인은 湖沼 內에 질소 및 인이 과다하게 유입되기 때문이라 알려져 있다.<sup>3)5)</sup> 이러한 營養物質은 주로 公業폐수, 생활하수, 축산하수 및 農業排水 등에 포함되어 하천과 湖沼에 유입된다. 農業排水는 축산분뇨, 비료분 그리고 작물체의 부패로 인한 營養物質이 강우시 농경지로 부터 하천에 유입됨으로써 문제가 되고 있다. 그 중 비료와 농약의 사용량은 농업 생산성 향상의 요구로 인하여 과거에 비하여 크게 증가되는

\* 서울대학교 농과대학(College of Agriculture, Seoul National Univ.)

추세이므로<sup>6)</sup> 다량의 營養物質이 하천에 배출될 가능성이 점차 늘어가고 있다.

그런데, 汚濁물질의 발생원인중 非點源(Non-point Sources)은 負荷 형태가 다양하고 복잡하며 주위 영향을 크게 받아 정확한 負荷量이나 負荷 樣相을 究明하기 어렵다<sup>10)19)</sup>. 非點源은 點源과는 다르게 봄·여름에 주로 負荷되어 년간 변동율이 크며 겨울에는 지표가 결빙되어 負荷량이 거의 없으므로 타 汚染源에 비하여 무시되거나 과소평가 되기 쉽다<sup>10)</sup>. 그러나 경우에 따라서는 點源 보다 非點源에서의 營養物質 負荷량이 크기 때문에 湖沼에서의 수질 관리 및 수질예측을 위해서는 이러한 非點源으로부터의 營養物質 負荷의 究明이 요구된다.

본 논문의 목적은 비의 생육기간 동안 눈으로부터 유출되는 총 케달 窒素(TKN) 및 總磷(TP)의 농도와 유출수량을 조사하여 단위 면적당 TKN 및 TP의 負荷량을 지표유출과 침투유출로 구분하여 제시하고 하천에 負荷된 TKN 및 TP의 流下距離에 따른 감소계수를 제시하여, 눈으로부터 하천 및 湖沼에 유입되는 營養物質의 양을 추정할 수 있도록 함으로써 수질관리 및 수질예측의 기초자료를 제공하는데 있다.

### 재료 및 방법

#### 1. 대상지구

본 연구의 조사 대상 지구는 경기도 화성군 정남면 패광리 통미 들에 위치한 29.3ha의 논 지역으로서 관개 용수원으로는 상류에 위치한 보통저수지를 이용하고 중·만생종 벼를 재배하고 있으며 토양 통은 석천양토와 신흥양토로서 排水가 약간 불량하며 표토의 土性은 植壤土이고 심토는 微砂質壤土로 되어 있다.

Fig. 1에서, ST1은 유입수 측정 지점이고, ST2는 물 收支를 점검하기 위하여 用·排水로 중간에 標尺을 설치한 곳이며, ST3는 논에서 하천으로 排水되는 말단이다. IF1과 IF2는 침투수량 및 TKN과 TP의 농도를 조사하기 위하여 Double-ring Infiltrometer과 PVC관을 설치한 곳이다. WS11, WS12, WS13과 WS21, WS22는 하천에 負荷된 TKN과 TP의 양 및 농도 측정 지점으로서 WS1 지역의 상류는 농경지와 소규모 목장들이 있으며 營養物質 감소율을 WS2와 비교하기 위하여 선정된 곳이다. WS21은 대상지구의 눈으로부터 배제된 물과 보통저수지

물넘이로 배제된 잉여수가 합류되는 지점이다. WS1 하천은 河床의 起伏이 작고 유로가 곧은 반면에 WS2 하천은 河床의 起伏이 크며 보가 2개 설치되어 있고 蛇行이 심하다.

#### 2. 조사 내용 및 방법

본 연구에서는 시비량, 강수량, 관개수량, 침투수량 및 유출수량과 이들에 포함된 영양물질인 질소(TKN)와 인(TP)을 조사 항목으로 하여 이앙기인 5월부터 완전 낙수기인 9월말까지 조사, 분석하였다.

##### 1) 논에서의 조사

시비량 조사는 농가를 개별 방문하여 평균치를 구하였고 강수량은 대상지역에서 가장 가까운 수원측후소자료를 이용하였으며 강우의 採水는 폭우가 있을 때 실시하였다.

눈으로의 유입수는 강우와 관개수 그리고 지구의 유입수가 있는데, 지구의 유입수는 폭우시에만 용수로에 유입되어 승수로를 통하여 배제되므로 물 收支에 큰 영향이 없는 것으로 생각되어 무시하였다.

일별 관개수량 및 지표유출수량은 유량측정을 통하여 유도된 수위-유량관계식과 측정된 일별 수위자료를 이용하여 계산하였다.

침투수량은 Double-ring을 사용, 각각 일주일씩 IF1과 IF2지점에서 조사하여 평균하였고, 표토로부터 0.60~0.80m 깊이에서 PVC관에 유입된 물을 채수하여 분석에 사용하였다.

##### 2) 하천에서의 조사

하천에서의 流下距離에 따른 營養物質의 감소정도를 파악하기 위해서 강우가 없는 날에 대부분 시료를 採水하였으며 하천유량은 시료 採水時마다 측정하였고 또한 강우가 없는 날과 비교해 보기 위하여 비 오는 날에도 측정하였다. 그리고 감소계수가 하천의 지형요소에 영향을 받는지 여부를 검토하기 위하여 수준측량과 거리측량을 하였는데, WS1에서는 하천경사가 0.0046, 사행정도가 0.974, WS2는 각각 0.0022, 0.862였다.

#### 3. 분석 방법

채취된 시료중의 總 케달 窒素(Total Kjeldahl Nitrogen : TKN)와 總磷(Total Phosphorus : TP)은 환경오염공정시험법<sup>11)</sup>에 준하여 분석하였다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 물 收支

##### 1) 강수량

강우자료는 대상지구로부터 15km정도 떨어진 수

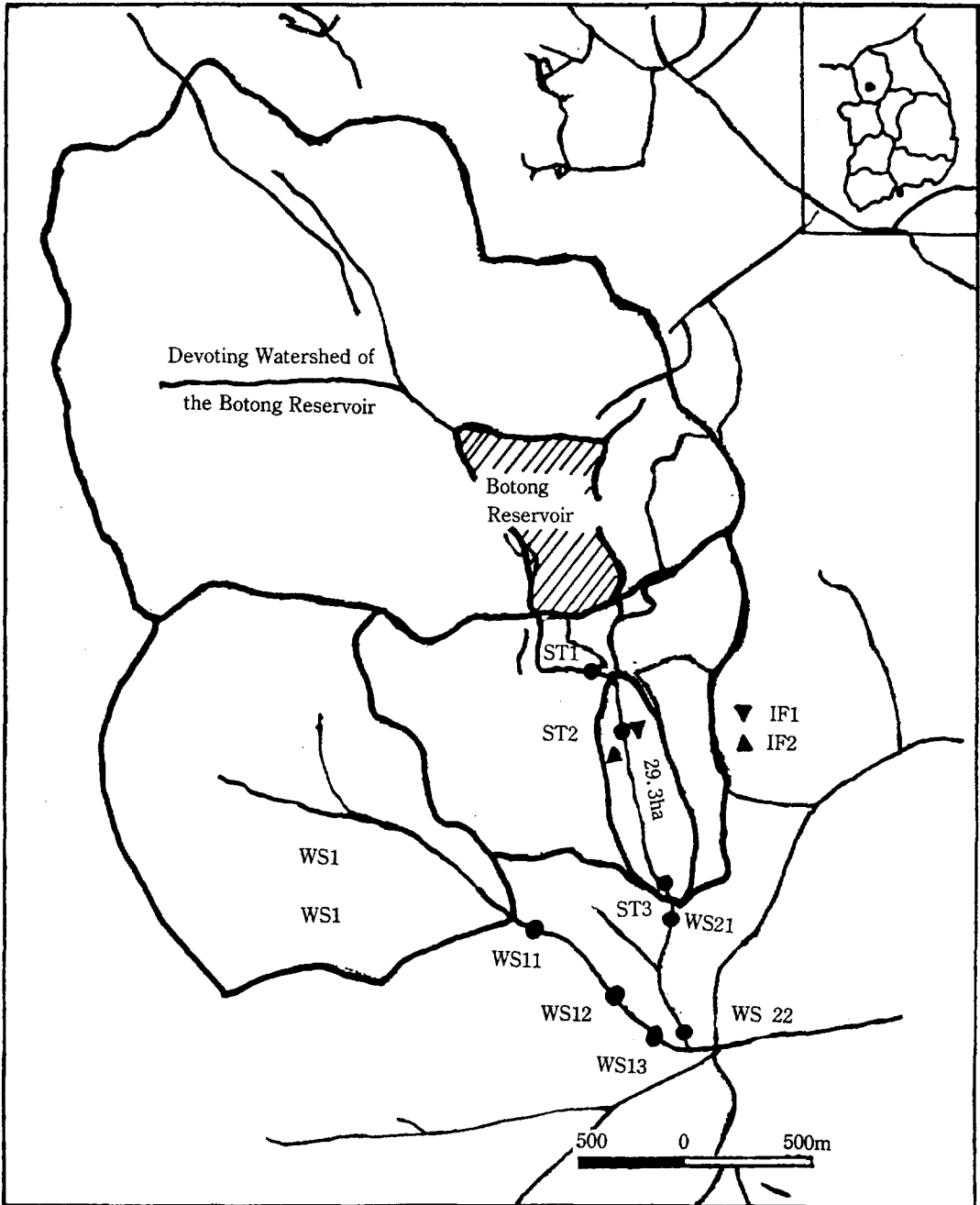


Fig. 1. Location Map of Sampling Sites

원측후소의 관측자료를 사용하였는데, 조사기간인 5월부터 9월까지 808.6mm의 강우가 내렸다<sup>8)</sup>. 이 양은 1월 부터 10월까지 강우의 70% 이상이 되며 강우량은 Table 1에 나타내었다. 그리고 88년도에

비하여 강우량이 100mm가량 더 많았다.

2) 관개량

비가 자주 내리고 강우량도 많아서 관개량은 715.4 mm로 측정되었다. 중간 낙수는 6월말 부터 7월말

까지였으며 8월초에는 며칠간 관개를 재개한 이후에 완전낙수시켜 관개량이 없었으며, 강우가 많아서 관개량은 88년보다 30mm가량 적었다.

3) 침투수량

침투율 측정의 결과는 IF1에서 3.0mm/day, IF2에서는 7.0mm/day였다. 그런데 7mm/day의 경우 변동폭이 ± 5.0mm였고 3mm/day의 경우는 ± 0.5mm로 나타나서 변동폭이 적은 3mm/day를 이용하여 침투수량을 구하였다. 같은 종류의 토양인데도 침투율이 크게 차이가 나는 이유는 double-ring을 타일할 때 下部의 토양이 교란되었거나 地下水位의 급격한 변동으로 부터 기인된 것으로 생각된다. 이렇게 측정된 침투율을 이용하여 5월부터 9월까지 153일 동안의 침투수량을 계산한 결과 318.0mm로 나타났다. 이 결과는 조사기간 153일중에서 중간낙수기의 無降雨 기간인 10일간과 완전낙수 이후의 無降雨 기간인 30일간을 제외한 113일간을

湛水상태로 보고 여기서 침투율을 곱하여 구한 것이다.

4) 지표유출수량

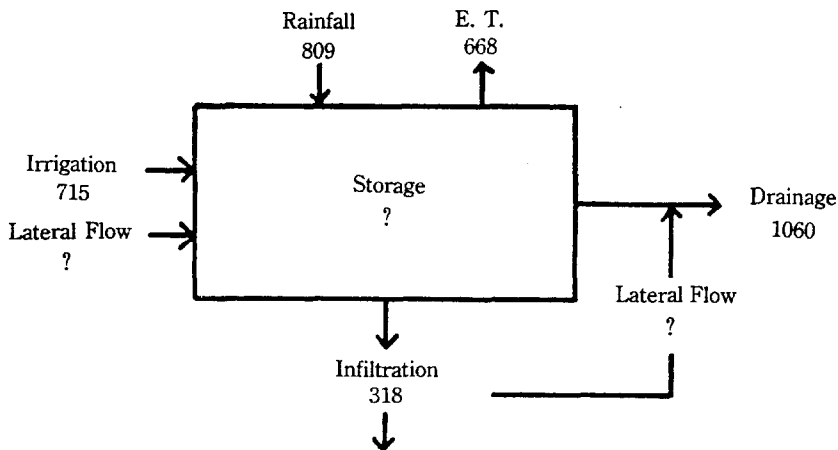
排水路 말단을 빠져나와 하천으로 배제된 물의 양은 1060mm로서 관개기와 강우가 있었던 날에 지표유출수량이 많았다. 1060mm는 측정된 총 유입수량의 70% 정도로서 다소 큰 값을 보이는데, 이 양에는 측정되지 못한 논두렁 삼투수와 인접지역에 내린 강우가 1km나 되는 用·排水路를 통하여 유입되었기 때문이라 생각된다. 증발산량은 증발계 증발량에 작물계수를 곱하여 추정하였으며<sup>4)</sup>, 실측된 유입량 1524mm 중에서 침투수량 318mm와 증발산량 668mm를 제외시키면 508mm가 되므로 지표유출수량 1060mm중에서 기타 미측정 유입수량은 552mm로 추정된다.

이상의 결과를 종합하여 도시하면 Table 1과 Fig. 2와 같다.

Table 1. Inflow and Outflow Data

[mm]

Month		5	6	7	8	9	Total
I	Rainfall	37.7	162.7	192.5	276.1	139.6	808.6
N	Irrigation	306.5	10.85	138.2	161.8	0.0	715.4
O	Drainage	161.1	227.0	320.1	280.9	70.6	1059.9
U	Infiltr.	72.0	90.0	72.0	66.0	18.0	318.0
T	E. T.	69.9	139.2	171.8	220.8	66.4	668.1
Budget		+141.2	-185.0	-233.2	-129.8	-15.4	-552.0



[mm]

Fig. 2. Water Budget in Paddy Field

2. TKN 및 TP의 유입과 유출

物質收支를 계산하기 위해서는 유입량과 유출량 그리고 저류량을 알아야 한다. 논을 대상으로 하면 유입량에는 강우에 의한 것과 관개수에 포함된 량, 시비량 그리고 퇴비 투입량 및 먼지등에 의해 유입되는 것 등이 있다. 본 대상 지역에서는 퇴비나 두엄을 논에 뿌리지 않고, 먼지 등에 의한 유입은 양이 적을 것으로<sup>21)</sup>생각되어 조사에서 제외하였다. 그리고 유출량에는 침투 및 지표유출로 빠져나가는 것과 비의 생장에 소비되는 것이 있다. 비 생장에 소비된 것은 타 연구결과를 보면 질소가 53kg/ha, 인이 12kg/ha로서 시비량의 약 50%, 25%라고<sup>23)</sup> 조사된 바 있지만 본 논문의 목적과 상이하고 또 저류량은 연간 비슷한 양이 유출입하므로 생략하였다.

1) 강우에 포함된 양

조사가간 동안 강우는 808.6mm가 내렸고, 강우가 많이 있었던 날에 농도를 분석한 결과 Fig. 3과 같이 나타났다. 그런데, Fig. 3에 나타난 88년도 자료는 같은 대상 유역에서 홍(1988)이 조사한 것으로서 '89년도 자료와 비교, 도시한 것이다. TKN, TP 모두 '88자료와 같은 경향을 보여서 강우로 인한 유입량의 년변화는 거의 없는 것으로 생각된다.

강우에 포함된 양은 강우를 채취한 날을 기준으로 전·후의 날에는 같은 농도를 갖는다고 가정하고 이 농도에 강수량을 곱하여 얻었으며, 그 결과는 Table 2에서 나타내었다.

유입량의 절대량은 강우가 많은 7.8월 보다는 6.9월에 TKN이 많이 負荷되었고 TP의 량은 9월에 가장 많이 負荷되었다. 이것은 봄·가을에는 대륙성 前線인 양쯔강 기단의 영향을 받게 되어 여름의 태평양기단으로 인한 강우보다 농도가 높게 나타난 것으로<sup>21)</sup>사료된다.

Table 2. Input and Output Nutrients

Month		TKN (TP) [kg/ha]					Total
		5	6	7	8	9	
I	Rainfall	0.52 (0.0)	2.23 (0.0)	1.52 (0.04)	1.67 (0.11)	2.06 (0.19)	8.00 (0.34)
	Irrigation	8.23 (7.29)	2.38 (2.37)	1.82 (0.43)	2.44 (0.12)	0.0 (0.0)	14.87 (10.20)
N	Fertilizer	131.25 (46.4)	26.25 (0.06)	0.0 (0.0)	23.0 (0.0)	0.0 (0.0)	180.50 (46.46)
O	Infilt	2.17 (0.59)	2.71 (0.74)	1.54 (0.29)	0.77 (0.32)	0.36 (0.12)	7.54 (2.06)
U	Drainage	16.05 (4.88)	16.93 (2.95)	3.97 (0.50)	1.66 (0.60)	0.37 (0.27)	38.97 (9.19)
T							

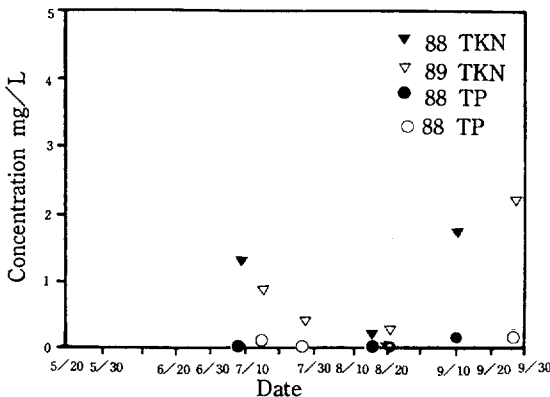


Fig. 3. Concentration of TKN and TP in Rainfall

2) 시비량

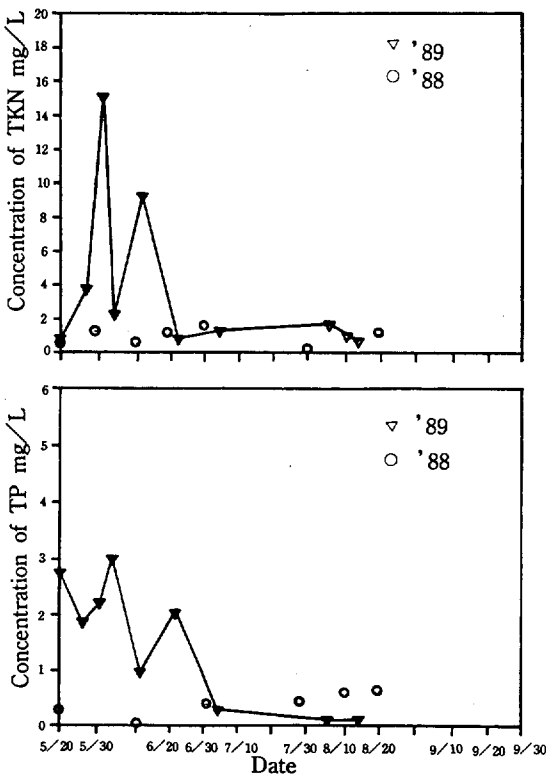
농민마다 각기 영농방법이 다르고 논의 등급에 따라 시비량의 차이는 있으나 대상지구의 경우 복합비료(21-17-21)를 이앙전 300평(0.1ha) 당 2~3포를 주고 이앙직후 복합비료를 0.5포 정도를 더 주며 7월말 이삭거름으로 요소비료를 5kg 정도 뿌린 것으로 조사되어 년평균 시비량은 질소가 180.5kg/ha이고 인이 46.46kg/ha로 계산된다. 이 양은 전국 통계량<sup>6)</sup>보다 질소는 17.5kg/ha가 많고 인은 19.3kg/ha가 적은 것이다. 이러한 차이는 토양의 비옥도 차이와 표본추출의 오차라 사료된다.

3) 관개수에 포함된 양

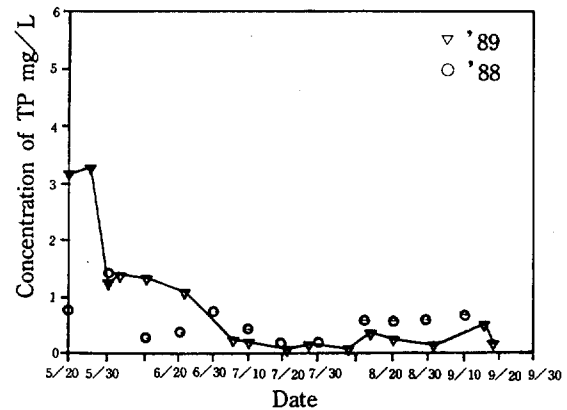
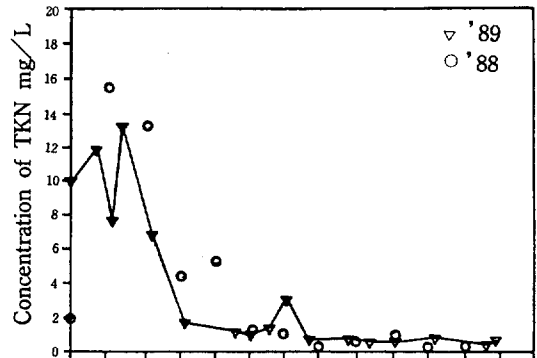
관개수량은 717.2mm이며 측정된 관개수의 농도는 Fig. 4에 나타나 있다. 이 농도에 관개수량을 곱하여 얻은 결과는 Table 2와 같다. 관개수에 포함된 질소와 인이 5월에 많은 이유는 봄철의 逆轉 현상과<sup>22)</sup> 상류측 보통저수지의 浚滌로 인해 저수지 바닥에 쌓여 있던 營養物質 및 미소토립자가 관개수에 포함되어 있었기 때문으로<sup>17)</sup>생각된다. 그리하여 88년도 자료보다 더 높은 농도를 보인 것으로 생각된다.

4) 지표유출량

논에서 지표유출되는 營養物質의 양을 구하기 위해 대상구역의 排水路 말단에서 물을 채취하여 농도를 구한 값은 Fig. 4와 같이 나타났으며 이 농도에 배출수량을 곱해 총 지표유출량을 계산하였는데, 대상 지역에서 조사기간동안 총 지표유출량은 Table 2에 나타내었다. 농도가 5, 6월에 높은 이유는 관개수에 포함된 高濃度의 질소 및 인의 유입과 시비의 효과로 판단된다. 그리고 88년보다 5, 6월에 인의 농도가 큰 것은 고농도의 관개수 때문으로 생각된다.



a) in ST 1 (Irrigation Channel)



b) in ST 3 (Surface Drainage Channel)

Fig. 4. Continue

5) 침투유출량

논바닥을 통하여 지하로 침투되거나 논두렁으로 浸透되어 排水路로 배제된 양은 조사기간 동안 318 mm로 추정되며, 침투수의 농도 변화는 Fig. 5에 나타나 있다. 이 농도에 침투수량을 곱하여 침투유출량을 구한 결과 평균적으로 TKN이 7.54kg/ha, TP가 2.06kg/ha로 나타났으며 월별 분포는 Table 2에 주어져 있다. 침투수 농도의 측정이 7월초부터 시작되었기 때문에 5, 6월의 값은 추정치이며, 그 시기의 관개수농도와 시비량을 고려한다면 실제로는 Table 2에 나타난 결과보다 더 큰 값을 보일 것으로 사료된다. 金 등(1983)의 연구를 보면 비 湛水 재배시 6월초 침투수의 질소농도는 7월보다 10배 이상이 됨을 나타내고 있으며, 인의 경우는 연간 1.0 mg/L 내외로 나타나, 그 변화가 적게 나타나 있다.<sup>1)</sup> 그런데, 침투수의 인의 농도가 질소에 비하여 훨씬 적게 나타난 것은 인산이온이 토립자에 흡착되어

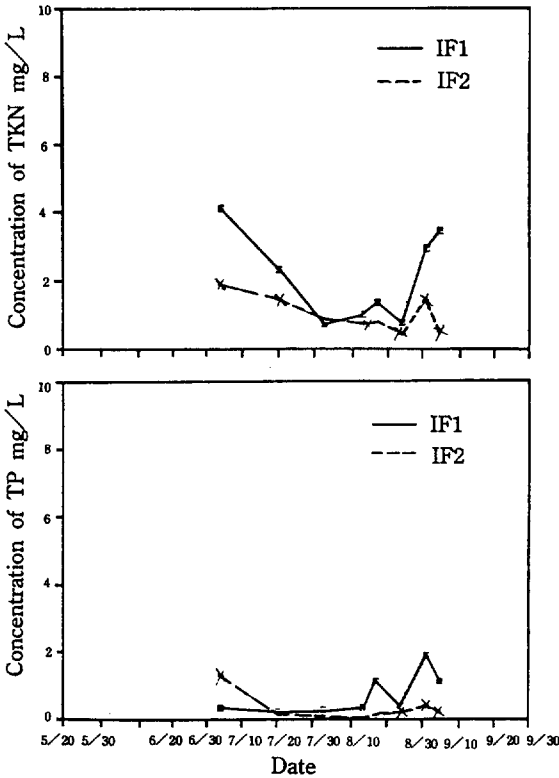


Fig. 5. Variations of Nutrient Concentrations in Infiltration Water.

토양내에서의 용해도가 작기 때문으로 사료된다.<sup>17) 21)</sup>

이상의 결과를 종합하면 Fig. 6과 같이 나타낼 수

있다. 홍(1988)의 자료와 비교해 볼 때 큰 차이가 있는데, 관개량등 물관리 형태와 강우량등 주위환경의 변화가 비점원에서의 부하가 얼마나 큰 영향을 주는지 잘 알 수 있다.

3. 하천에 負荷된 TKN 및 TP의 流下距離에 따른 변화

枝流의 유입으로 하절기에 농도를 측정하지 못하고 강우가 없는 날에 하천수를 채취하여 농도를 측정한 결과 Fig. 7과 같은 값을 얻었다. 그 중 9/17과 9/27은 강우가 있었던 날 採水한 것인데 예상대로 下流로 갈수록 枝流의 유입으로 농도가 증가함을 보여주고 있으며, WS1은 길이가 950m의 하천으로 곧고 굴곡이 작으며, WS2는 길이가 750m로서 구부러지고 굴곡이 심한 편이었다. 농도의 변화량은 WS2에서 더 큰 값을 보이고 있어서 하천굴곡 및 蛇行의 정도는 영양물질의 감소에 어느 정도 영향을 미치는 것으로 사료된다. 無降雨 기간에는, WS1에서 TKN이 평균 0.31mg/L, TP가 0.01mg/L의 감소를 보이며 WS2는 TNK이 평균 0.84mg/L, TP가 0.11mg/L의 감소를 보였다.

측정된 유량에 농도를 곱하여 얻은 영양물질 양의 차이를 보면 無降雨 기간에 WS1의 WS11과 WS13 사이에서 TKN이 평균 0.04g/km, TKN가 0.004g/km의 감소를 보이며 WS2의 WS21과 WS22 사이에서 TKN이 평균 0.24g/km, TP가 0.10g/km의 감소를 각각 보였다.

이러한 결과를 볼 때 시비량을 제한하거나 排水路 중간에 보같은 구조물은 만들어 流速을 줄이고, 질

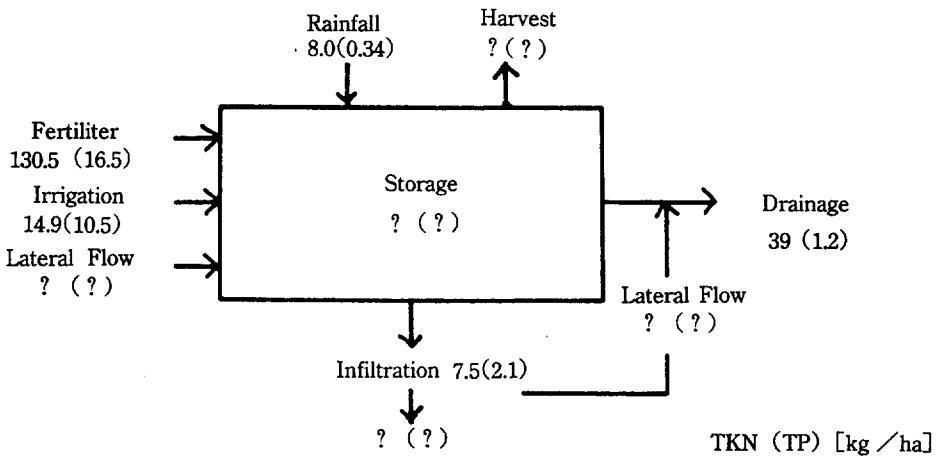


Fig. 6. Nutrients Buaget in Paddy Field.

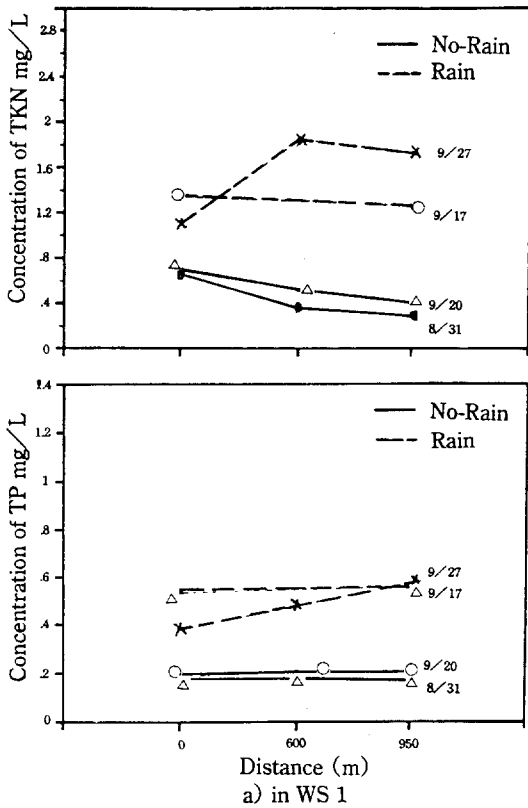


Fig. 7. Changes of Nutrient Concentrations along the Stream.

소나 인등 營養物質을 선택적으로 과량 흡수 소비하는 식물을 재배·보호하면<sup>2)</sup> 하천과 湖沼로 負荷하는 營養物質의 양을 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

요 약

湖沼의 수질관리 및 예측에 필요한 기초자료로서 농경지로부터의 汚染負荷量을 제시할 목적으로 1989년 5월 8일부터 9월 30일까지 4개월의 생육기간에 정남면 소재 29.3ha의 논에서 질소와 인을 조사 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 대상지구로 유입된 관개량은 715mm로서 강우량의 영향을 많이 받았다. 침투수량은 318mm로서 관개와 강우로 인한 湛水有無에 따라, 지표유출수량은 1060mm로서 관개량과 강우량에 따라 월

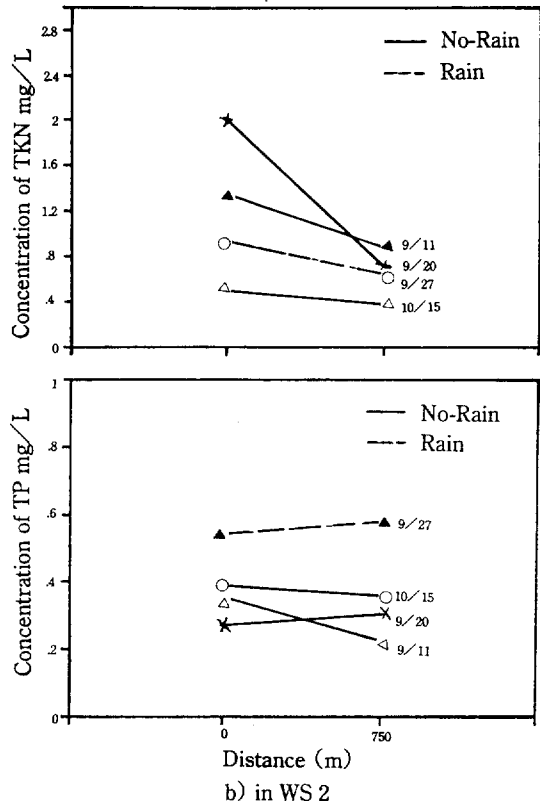


Fig. 7. Continue

별로 큰 변화를 보였다.

2. 연간 살포된 비료의 양은 질소로서 180kg/ha, 인으로서 46kg/ha이었다. 조사기간동안 관개수에 의한 유입은 TKN이 15kg/ha, TP가 10kg/ha이었는데, 5, 6월에 특히 많은 유입을 보이는 것은 이 시기에 관개량이 많았고 저수지의 濇滯로 인하여 관개수에 질소 및 인이 흡착된 토입자가 포함되어 그 농도가 높았기 때문으로 사료 된다.

3. 지표유출량은 조사기간 동안 TKN이 39kg/ha, TP가 9kg/ha로 나타났다. 침투유출량은 TKN이 7.5kg/ha, TP가 2kg/ha를 보였다. 두 값 모두 5, 6월에 큰값을 보이는 이유는 관개수에 의한 유입과 시비로 인한 영향으로 판단된다.

4. 하천에서 流下距離에 따른 영양물질 변화는 WS1에서 TKN이 0.31mg/L/km(0.04g/km), TP가 0.01mg/L/km(0.004g/km)의 감소를 보였고 WS2는 TKN이 0.84mg/L/km(0.24g/km), TP



- 가 0.11mg/L/km(0.10g/km)의 감소를 보였다. WS2가 WS1보다 流距延長이 짧지만 더 큰 감소를 나타낸 것은 사행이 더 심하고 하상기복이 커서 유속이 작기 때문인 것으로 사료된다.
5. 농경지로부터 하천이나 湖沼로 유입되는 汚染物質의 量을 저감하기 위해서는 비료의 사용량을 제한하거나, 排水路와 하천에 보 같은 구조물을 설치하여 유속을 줄이므로서 영양물질을 침전시키거나, 營養물질을 많이 소비하는 식물을 재배하여 자정작용의 기회를 확대시켜야 할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. 金廣植, 1983, 논 토양성분의 溶脱에 관한 연구 (III), 한국토양비료학회지 16(4) : 311-317.
2. 金福榮, 1988, 수질환경과 농업, 한국환경농학회지 7(2) : 153-169.
3. 金善姬, 1983, 댐 호의 부영양화 수준 예측 및 관리 대책에 관한 연구, 서울대 환경대학원 석사학위논문
4. 농업진흥공사, 1985, 작물 소비수량 산정방법의 정립, p. 42~43.
5. ———, 1988, 담수호의 환경오염 및 부영양화 방지 대책 수립(III), p. 199-229.
6. 농협중앙회, 1987, '87 농협연감
7. 李希洙, 1985, 畜産廢水가 하천오염에 미치는 영향에 관한 연구, 건국대 대학원 석사학위논문
8. 중앙기상대, 1989, 기상월보
9. 洪性龜, 權純國, 1988, 농경지로부터의 오염물질 유출 부하 특성, -Kjeldahl질소 및 全磷을 중심으로 -, 한국농공학회지, 31(3) : 93-102
10. 환경청, 1981, 전국 주요 하천 유역 기초 조사 종합 보고서(II), p. 139-159
11. ———, 1987, 환경오염공정시험법, p. 116-121.
12. Asmussen, L. E., 1979, Nutrient Movement in Streamflow from Agricultural Watersheds in the Geogia Coastal Plain, *Trans. of ASAE* : p.809-815.
13. Burwell, R. E., 1975, Sampling Procedures for Nitrogen and Phosphorus in Runoff, *Trans. of ASAE* : p. 912-917
14. Crow, F. R., 1979, Nonpoint Source Pollution, *ASAE Meeting*, Arkansas, April 26
15. Fitzsimmons, D. W., 1972, Nitrogen, Phosphorus and Other Inorganic Materials in Waters in a Gravity-Irrigated Area, *Trans. of ASAE* : p. 292-295
16. Horner, R. R., 1986, Design of Monitoring Programs for Determination of Ecological Change Resulting from Nonpoint Source Water Pollution in Washington State, *Univ. of washington*, p. 2.8-2.79
17. Monke, E. J., 1981, Sediment and Nutrient Movement from the Black Creek Watershed, *Trans. of ASAE* 24(2) : 391-395
18. Schepers, J. S., 1980, Agricultural Runoff during a Drought Period, *J. of Water Pollution Control and Federation*, 52(4) : 711-719
19. Sweeten, J. M., 1978, Nonpoint Sources, *Trans. of ASAE* : p. 474-483
20. Taylor, A. W., 1971, Nutrients in Streams draining Woodland and Farmland near Coshocton, Ohio, *Water Resources Research*, 7(1) : 81-89
21. Uttormark, P. D., 1974, Estimating Nutrient Loadings of Lakes from Nonpoint Sources, *Tech. Report No. EPA-660/3-74-020*
22. Wetzel, R. G., 1983, *Limnology*, Saunders College Publishing, p. 71-97
23. 國松孝男, 1989, 河川 汚濁の 模型的 解析, 技報堂出版社, 東京, p.50-68
24. 武田育郎 外, 1989, 水田郡からに 汚濁 負荷 流出 關する 研究, 未發表 論文