

시설재배지 주변 소하천에서 영양염류의 유출특성

The Characteristics of Nutrients Effluent in the Small Sized Stream Situated near the Greenhouse Site

유 찬* 윤 용 철* 안 병 관** 옥 정 훈**
Yu, Chan · Yoon, Yong Cheol · Ahn, Byuong Kwan · Ok, Jung Heun

Abstract

In this study, the runoff characteristic of nutrients in the small sized stream was investigated with seasonal change. The area considered was greenhouse site situated near Nam river, Jinju, Korea. In this site, groundwater was used for the irrigation and cultivation method was the rotating system of the farmland to the paddy in the warm season. Various items, total phosphorus(T-P), total nitrogen(T-N), dissolved oxygen(DO), BOD, etc., were analyzed to trace the seasonal variation of concentration of each components. In the results of investigation, it was verified that nutrients runoff in the greenhouse site was very high degree and affected small sized stream seriously during investigation period, especially T-P in the rainy season and T-N in fall season, and it was observed these phenomenon might be related with soil and plants around the drainage channel although this is needed future work to precisely verify.

1. 서 론

최근 정부에서는 쌀 개방문제와 FTA의 시행 등으로 어려움에 처한 농촌지역의 실질적인 소득증대를 위한 방안으로 농촌종합개발과 농촌관광 등의 지원방안을 강구하여 추진 중에 있다. 이는 농촌의 생활환경을 개선하고 문화수준을 높여 삶의 질을 향상시키고 도시민들에게 농촌의 어메니티를 제공함으로써 농촌주민들에게 농

업이외에도 소득을 증진시킬 수 있는 방안을 제공한다는 중요한 의미를 가진다.

그러나 최근 농촌지역은 환경문제에 직면하고 있다. 농촌지역에서 배출되는 각종 비점오염원의 정도가 우려할만하다는 연구 결과들이 발표되고 있으며, 환경부를 중심으로 이에 대한 조사가 활발하게 이루어지고 있다. 지난 1998년~2000년 사이에 정부합동으로 실시한 조사에 따르면 우리나라의 4대강에서 비점오염원의 부하

*경상대학교 농업생명과학대 (chanyu@gsnu.ac.kr)
**경상대학교 대학원

키워드 : 시설재배지, T-P, T-N, 영양염류, 초생수로

량이 22~37%에 달하고, 팔당상수원의 경우 오염부하의 약 절반인 44.5%가 비점오염원인 것으로 나타나고 있다(정부합동 2000). 이러한 비점오염원이 수질에 미치는 영향력은 규제기준이 설정되어 있는 점오염원들에 대한 규제가 계속 강화되고 환경기초시설들이 확충됨에 따라 점차 증가할 것으로 예상된다.

특히 농업활동이 비점오염원에서 차지하는 비중은 미국의 예에서 그 심각성을 간접적으로 파악할 수 있다. 미국에서는 과거 20여 년간 깨끗한 수자원을 확보하기 위해 지속적인 개선 노력을 펼쳐 왔지만, 1998년에 조사 대상지역의 하천의 35%, 호수의 45%, 강하구면적의 44%에서 수질이 저하되었으며, 2000년에는 더욱 더 악화되어 하천의 39%, 호수 46% 그리고 강 하구 51%가 수질이 저하된 것으로 나타났다. 그 주요 원인으로는 농촌지역에서 배출되는 질소(N)와 인(P) 등 각종 영양분과 토양 침식물, 병원균 등의 비점오염원 등을 꼽고 있었으며, 특히 하천의 경우 농업지역에서 발생하는 오염원의 영향이 가장 크고 호수와 강하구, 바다 연안의 경우에도 그 주요 원인은 농촌지역에서 발생하는 비점오염원인 것으로 나타났다(US EPA, 2002; US EPA, 2000; US EPA, 1999; SERA-IEG 7, 1998).

최근 환경부에서도 “화학물질 환경배출량 보고제도”를 비점오염원으로까지 확대하기로 하고 비점오염원의 조사대상을 정하고 체계적인 관리를 시도하고 있지만 농업분야에서는 농약 성분만 포함하고 있다(환경부, 2003). 따라서 다른 성분들에 대해서는 각 지역특색 혹은 영농 형태에 따른 비점오염원의 발생과 거동특성에 대한 연구가 활발하게 이루어져야 환경적으로 효과적인 대책 수립이 가능할 것이며, 농촌개발의 효과를 지속시킬 수 있을 것으로 예상된다.

경상남도 지역은 시설재배가 가장 활발한 지역으로서 우리나라 전체 시설재배면적의 20% 이상을 차지하고 있다. 주요 재배작물은 채소류이지만 일본을 대상으로 한 특화 농산물의 재배도 활발하게 이루어지고 있다. 이 지역은 상대적으로 온난한 기후로 인해서 대부분의 시설재배지가 초여름이 시작되는 5~6월까지의 채소류 등의 발작물을 재배하고 그 이후에는 일정한 담수기간을 거쳐 제염을 실시한 후에 벼를 재배하는 답전윤환방식을 채택하여 적용하고 있다. 하지만 이 과정에서 많은 양의 염류가 제염되어 세탈 및 용탈되기 때문에 주변 수계를 오염시키고 하천의 부영양화를 촉진시키는 비점오염원의 하나로 지목되고 있다. 기존 연구 자료에서는 경남·부산지역 시설재배지 토양의 90% 이상이 적정관리 범위 이상 염류가 집적되어 있는 것으로 보고된 바도 있다(이성태 등, 1998).

따라서 본 연구에서는 농촌의 비점오염원 관리를 위한 기초 자료를 제공하기 위해서 답전윤환재배방식의 시설재배지 밀집지역에서 주변 소하천으로 유출되는 영양염류의 유출특성을 파악하고 주변수계와의 관계를 관찰하여 그 결과를 제시하였다.

II. 재료 및 방법

연구 대상지역은 기본조사를 거쳐 Fig. 1과 같이 경남 진주시에 위치한 시설재배단지 중에 1개 지점을 선정하였다. 이 지역은 남강 주변 충적층에 조성되어 지하수를 이용한 관개를 실시하고 있었으며, 주요 재배작물은 채소 및 과일(상추, 호박, 수박, 딸기) 그리고 벼로서 전형적인 답전윤환방식의 영농을 실시하고 있는 시설재배단지였다.

주요 관측지점은 시설재배지 말단 유출수로

에서부터 주 하천인 남강에 합류하기 전까지 중간 지점에 9개소를 선정하여 2004년 7월~9월 까지 월 1회 간격을 기준으로 관측하였으며(토양샘플은 측정 1번을 제외하고 8개지점), 기상 상황을 고려하여 추가적인 분석을 실시하였다. 측정 1, 2번은 시설재배지내 간선수로상의 지점으로서 시설재배지 말단의 유출부이고, 측정 3, 4 그리고 8은 다른 지역(논) 수로가 시설재배지 배수로와 중간에서 합류되는 지점이며, 최종적으로 측정 9번을 통하여 남강으로 방류되게 된다. 여기서 측정 2번 이후 9번까지는 흙 수로로서 수로주변에 고마리, 도루박이 그리고 환삼덩굴 등의 자생식물들이 높은 밀도로 서식하고 있었다(1번 지점은 콘크리트 수로). 그 개략적인 조사내용과 조사대상지역 그리고 측점에 관한 내용은 Table 1 및 Fig. 1에 나타내었다. 한편

관측기간동안 기상자료는 조사지역내에 위치한 진주기상대의 자료를 입수하여 사용하였으며, Fig. 2와 같다. 조사 기간동안 진주지역에서는 6월말에서 7월중말까지 우기가 진행되었으며, 본격적인 관측은 우기 이후 7월말부터 시작하였다. 그 이후에는 8월말 9월 중순, 11월 중순 경에 50mm/일 이상의 강우가 발생되었다.

본 연구에서는 제염과정에서 다량 유출될 것으로 예상되는 인(P)성분을 중심으로 관련항목을 선정하였으며, 질소(N) 성분에는 유출수내의 변화특성에 관심을 가지고 관측하였다. 주요 분석항목으로는 수질은 하천수질환경 기준에서 DO, BOD, 총질소(T-N), 총인(T-P)을 측정하였으며, 총질소, 총인은 환경오염공정 시험법에 의한 흡광도법으로 분석하였고(환경부, 1977), DO, BOD측정은 Standard

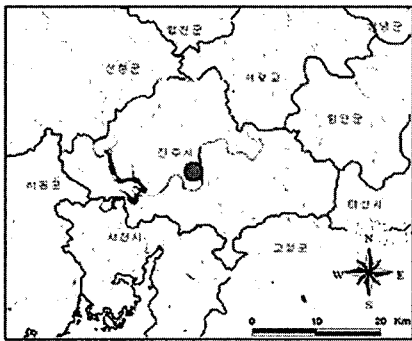


Fig. 1. Location and Site map

Table 1. Information of site and investigation plan

Item		Site
Watershed area (Greenhouse area)		345521 m ² (181,228 m ²)
G/W area ratio		52.5 %
Major products		Rice, Vegetation & Fruit
Cultivation method		Paddy & farmland
Irrigation		Groundwater/pumping
Drainage		Concrete flume & Vegetated earth channel
Investigation period		2004. July~December
Sampling	water	9 points
	soil	8 points
Measuring frequency		2 times/month
Measuring frequency		

Methods에 의해 분석하였다. 토양은 토양내 유기인산(P₂O₅)과 전 질소(T-P) 그리고 Ca, K 등 치환성양이온 등을 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

관측 기간동안 분석된 배수로 내의 수질 분석 결과는 측정마다의 전체적인 경향은 Table 2에 나타내었으며, 배수로 내 토양시료의 분석결과는 Table 3에 나타내었다.

시간적 변화에 따른 각 측정에서의 농도변화는 Fig. 3에 나타내었다. DO 값은 관측기간 동안 모든 측정에서 평균 5.44 mg/L 이상인 것으로 나타났으며, 강수량이 적고 기온이 낮아지는 10월~11월 사이에는 8 mg/L 이상으로 특히 양호하게 나타났다. 그러나 우기 직후인 7월말에는 그 값이 3mg/L 이하로 나타나서 오염의 정도가 심한 것으로 나타났다. BOD는 우기 직후인 7월말에 18.45mg/L 평균의 두배 정도의 농도를 보였으며, 대부분의 관측기간 동안은 2~11mg/L의 농도를 나타내었다(reference : USDA, 2001, pp.2-37).

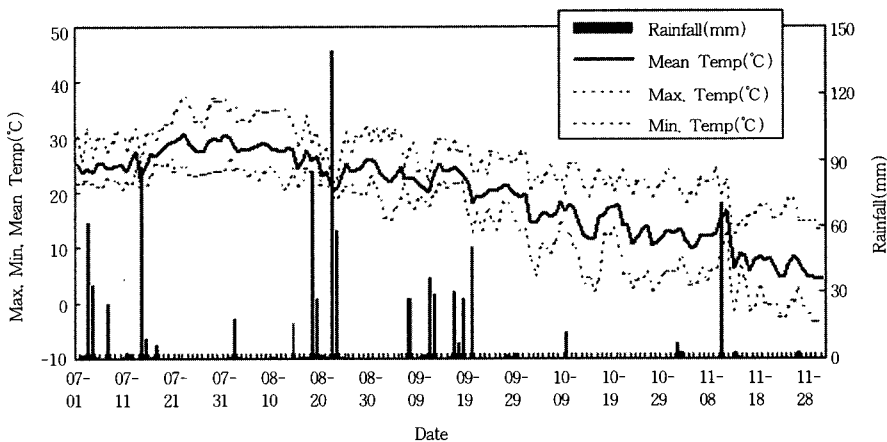


Fig. 2. Meteorological data(Jinju Station)

Table 2. Results of water sample analysis (unit:mg/L)

Sample	DO			BOD			T-P			T-N		
	Max.	Min.	Mean.	Max.	Min.	Mean.	Max.	Min.	Mean.	Max.	Min.	Mean.
1	11.70	3.000	7.493	18.45	0.500	6.636	31.13	0.090	5.703	142.55	41.13	105.52
2	11.50	2.900	6.686	13.50	3.200	7.600	28.14	0.093	5.295	142.47	42.30	102.85
3	11.20	2.900	6.386	11.40	1.200	5.514	13.74	0.027	3.309	141.61	12.74	85.759
4	9.800	1.800	5.443	8.300	1.200	5.514	20.06	0.081	4.156	139.34	13.91	58.779
5	11.90	3.300	6.714	10.50	1.100	5.429	22.56	0.052	4.290	142.36	43.76	101.84
6	7.700	4.700	5.800	7.500	2.000	4.500	15.80	0.065	4.121	135.90	52.08	89.145
7	10.00	3.300	6.336	8.400	2.000	4.143	12.78	0.076	2.928	139.00	53.66	101.49
8	10.60	3.000	6.629	5.200	1.800	3.479	15.89	0.066	3.352	139.24	55.80	100.99
9	12.70	4.900	8.571	4.000	0.600	2.529	13.32	0.034	2.715	142.28	54.30	96.132

Table 3. Results of soil sample analysis

Sample	P ₂ O ₅ (mg/kg)			T-N (mg/kg)			Exchangeable Cation(cmol/kg)											
	Max.	Min.	Mean.	Max.	Min.	Mean.	Ca			K			Na			Mg		
							Max.	Min.	Mean.	Max.	Min.	Mean.	Max.	Min.	Mean.	Max.	Min.	Mean.
2	714.0	4.5	273.	161.0	98.0	133.0	7.583	0.03	3.98	1.34	0.21	0.85	0.17	0.07	0.14	0.48	0.12	0.34
3	364.5	2.7	148.8	280.0	119.0	168.0	10.272	0.023	4.534	0.713	0.243	0.451	1.018	0.036	0.322	0.378	0.073	0.219
4	231.6	2.1	132.7	231.0	112.0	164.5	10.656	0.019	4.453	1.186	0.294	0.667	0.647	0.028	0.211	0.320	0.065	0.188
5	488.2	4.2	233.9	189.0	126.0	161.0	6.111	0.037	2.602	0.756	0.235	0.447	1.363	0.051	0.384	0.376	0.067	0.235
6	287.6	91.7	187.9	434.0	140.0	262.7	5.536	0.060	3.433	0.394	0.209	0.324	2.059	0.096	0.757	0.493	0.143	0.325
7	395.0	5.5	223.0	280.0	119.0	161.0	6.864	0.037	4.985	0.422	0.137	0.312	1.103	0.051	0.349	0.318	0.071	0.223
8	245.7	6.4	148.7	231.0	63.0	147.0	6.645	0.033	3.264	0.722	0.285	0.458	0.686	0.047	0.230	0.286	0.070	0.187
9	499.5	3.4	159.3	259.0	49.0	138.3	3.166	0.065	2.055	0.416	0.237	0.322	1.395	0.043	0.424	0.286	0.065	0.176

한편 영양염류 중 T-P는 전 측정에서 평균 2.9~5.7mg/L의 농도를 나타내 일반적인 경우 보다는 매우 높은 유출농도를 나타내었으며, 특히 7월말 최고 31.135mg/L가 관측되어 매우 높게 나타났다. 그러나 이러한 경향은 하루로 갈수록 또한 여름에서 겨울로 진행될수록 점차 감소되는 것으로 나타났다.

T-N의 경우에는 관측기간이나 측점에 관계없이 매우 높은 농도로 나타나고 있는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 경향은 본 지역이 주로 지하수를 용수로 사용하기 때문으로 추측되었

으며, 특히 강수량이 적고 용수의 사용량이 급격하게 줄어드는 10월~11월말 사이의 값들이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 한편 관측지점 중 측정 3, 4와 8에서의 염류의 유출 수준은 상대적으로 낮게 나타났으나, 그 배출 농도의 절대치는 높은 것으로 나타났다.

Fig. 4는 배수로 주변 토양 샘플에서 P₂O₅와 T-N의 농도를 분석한 결과로서, 대체로 토양내 인산이나 질소의 농도가 매우 높다는 것을 알 수 있었다. 특히 8월 10일 자료에서는 인산의 함량이 질소보다도 훨씬 높은 것으로 나타나

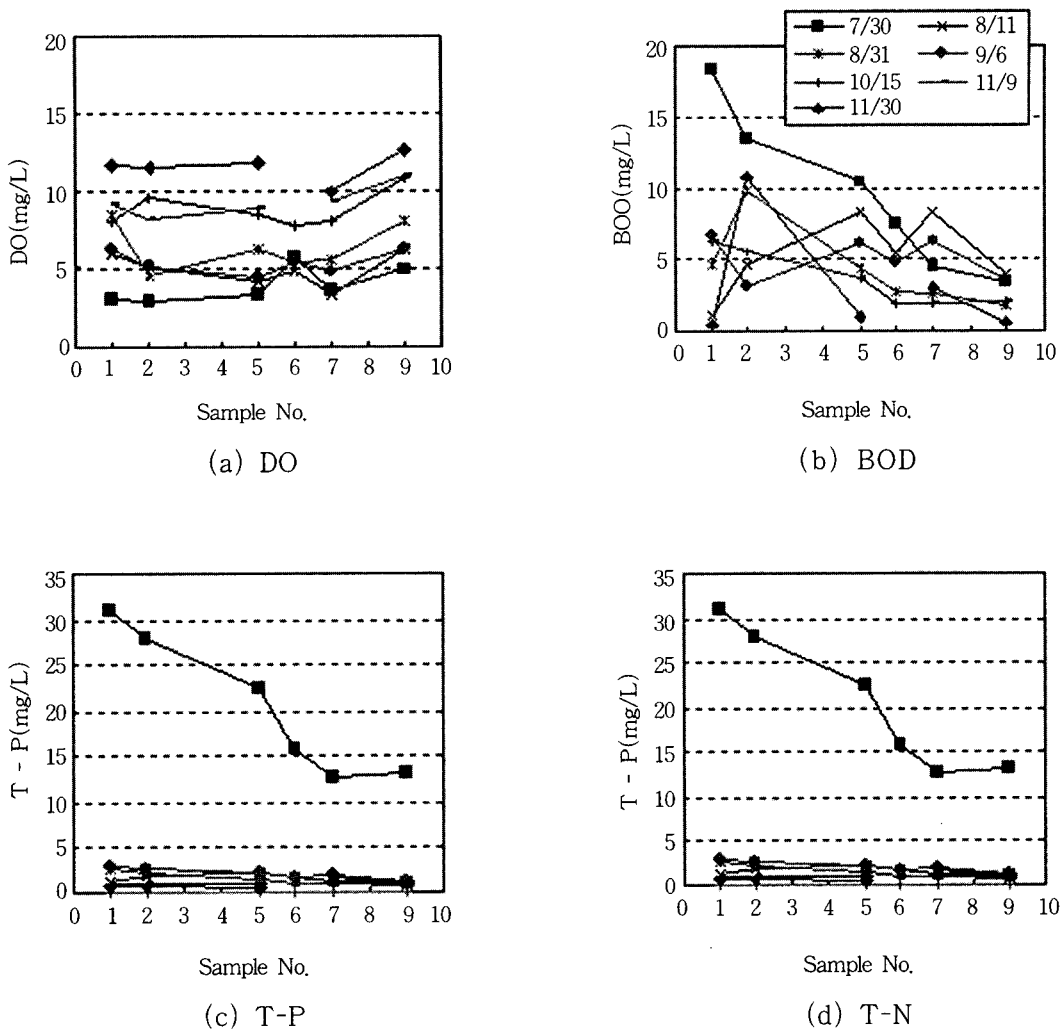


Fig. 3. Variation of water quality in drainage pathway with sampling time

특이한 현상을 나타내었으며, 그 후 10월중 측정 자료에서는 다시 질소 성분의 농도가 높아지는 것으로 나타나서 8월 중 인산의 축적이 과다한 것으로 판단되었다. 이는 7~8월 사이 집중적인 강우로 인하여 유출된 성분들이 주변의 토양에 침전 혹은 흡착되었던 것으로 판단할 수 있다.

한편 수질관측 결과에서는 높은 농도의 T-P가

하류로 방류되면서 최종 측정 9번까지 상당한 크기로 저감되는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 대상지역의 배수로가 흙 수로이면서 수로 주변에 식생이 왕성하게 번식하고 있다는 사실에서 어느 정도 예상되었던 결과이지만 본 관측과정에서 계산된 결과에 따르면, 특히 인의 유출이 심했던 7월말에는 측정 1, 3, 4 및 8번에서 유입된

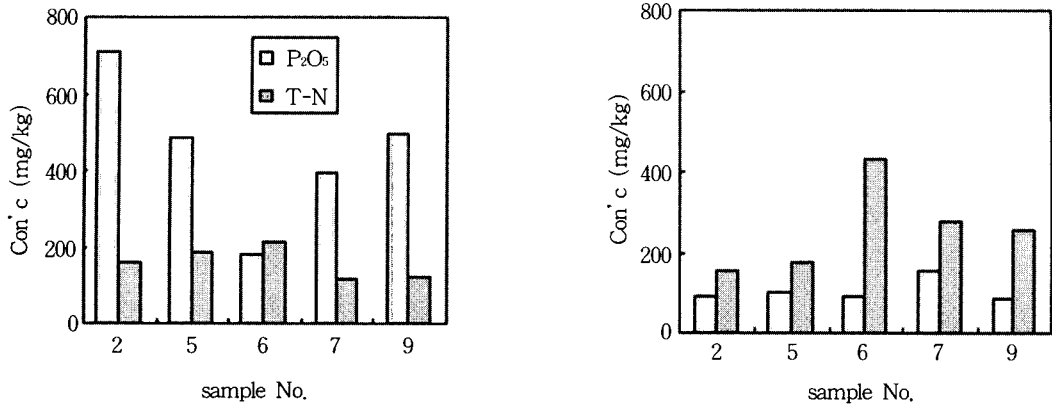


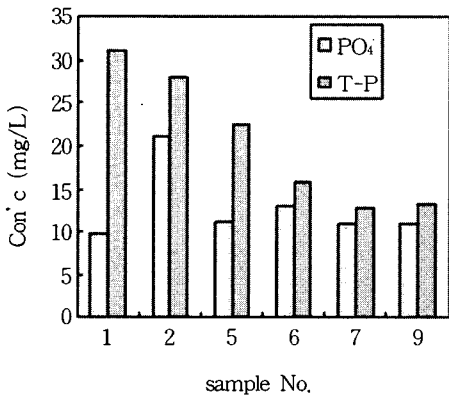
Fig. 4. Variation of P₂O₅ & T-N in soil

인의 전 농도에 81.2% 정도가 저감된 13.3mg/L 정도만이 마지막 측정 9번에서 관측되었다.

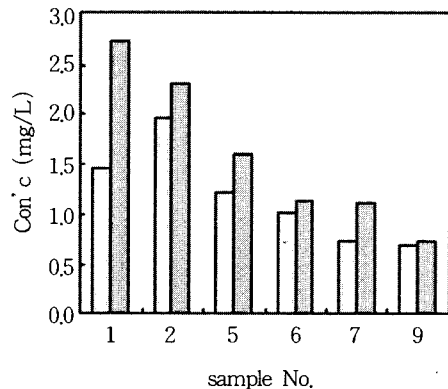
또한 토양내 인산의 농도 변화에서도 8월보다는 10월 분석자료의 인산 함유량이 크게 감소한 것에서 수질과 토양 분석자료 간에 상호 관련성이 있을 것으로 예상되었다. 이러한 현상은 여러 가지 원인이 있지만 주로 낮은 유속 혹은 저유량에 의해서 입상의 인 성분들이 수로바닥에

침전되거나 미세토양 입자나 식물체의 표면에 흡착되기 때문일 것이며, 따라서 본 연구에서는 이러한 현상들을 좀더 자세히 파악하기 위하여 배출수 성분 중에서 PO₄의 함량과 T-P의 관계, 또한 PO₄와 T-P의 함량과 토양 중 P₂O₅의 함량에 대한 분석을 실시하여 상호간의 관계에 대해서 알아보았다.

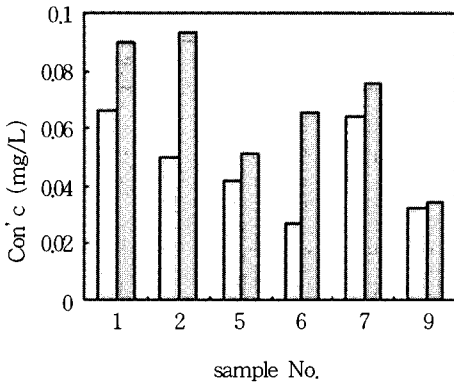
Fig. 5는 PO₄와 T-P의 관계를 측정시기별로 나타낸 것이다. 그림에서는 PO₄와 T-P 농도



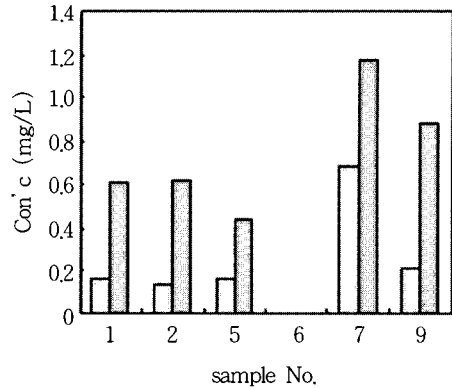
(a) 30-July



(b) 30-August



(c) 15-October



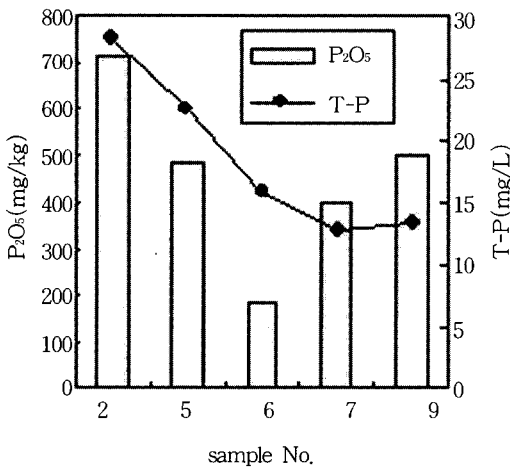
(d) 30-November

Fig. 5. Relationship between PO₄ & T-P in water

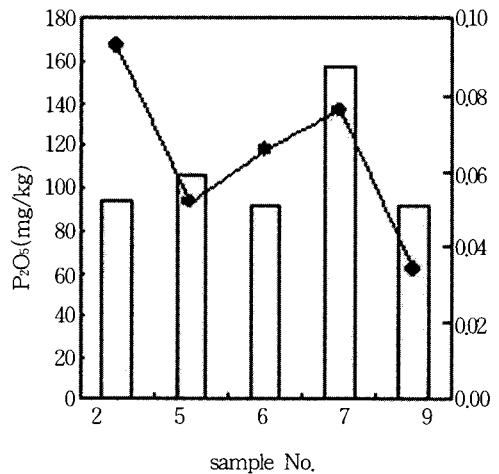
사이에 측정 시기에 관계없이 일정한 비례관계가 나타나고 있다. 또한 Fig. 6은 토양 중 P₂O₅와 배출수 중 T-P농도와의 관계를 나타낸 것인데, 이 경우에도 P₂O₅의 농도는 PO₄의 경우와 같이 배출수 중 T-P의 농도와 일정한 관련성을 가지는 것으로 나타났다.

따라서 이 두 가지 성분은 T-P와 일정한 관계

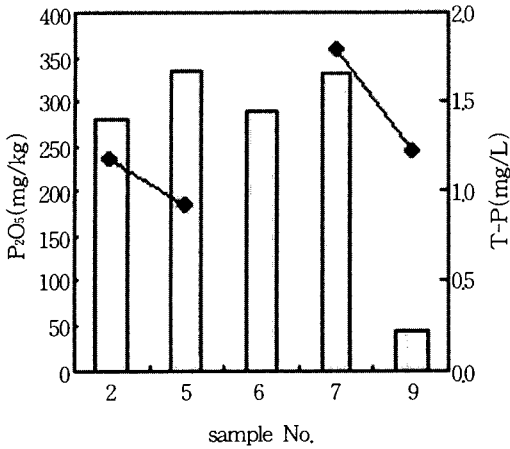
를 가지고 농도가 변화되는 것으로 판단되며, Fig. 7에서는 T-P 값에 대한 PO₄와 P₂O₅농도비를 측정시기에 따른 변화로 나타내어 보았다. PO₄/T-P의 비는 주요 강우가 기록되었던 8월 말과 10월 중순경에 배수로 끝부분들에서 증가되는 것으로 나타났으며, 이때 T-P 농도에 대한



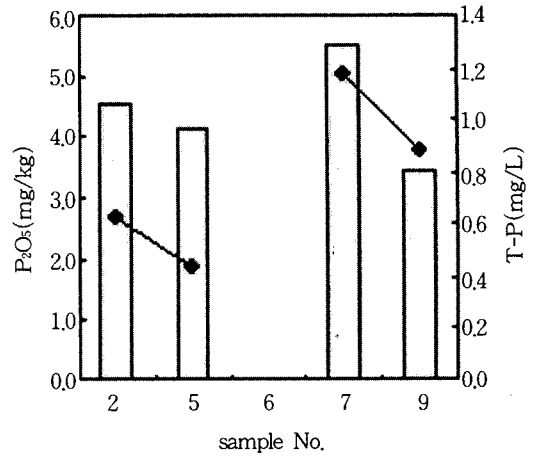
(a) 1-August



(b) 15-October



(c) 11-November



(d) 30-November

Fig. 6. Relationship between T-P in water & P₂O₅ in soil

PO₄의 농도가 0.7 이상 10월에는 0.9이상까지 근접하는 것으로 나타났다. 이러한 관계는 관측 지역 내에서 염류유출이 토양의 흡착, 식물의 양분흡수와도 밀접한 관련을 가진다는 근거로 확인이 가능하며 식물체 분석등의 연구등과 함께 관련 연구가 체계적으로 수행된다면, 정량적인 연구의 수행도 가능하리라 예상되었다.

IV. 결 론

이상의 결과들에서는 조사 대상 시설재배지 주변의 수질상황은 매우 열악한 것으로 나타났으며, 염류유출의 정도는 매우 높은 것으로 나타나 이에 대한 적절한 대책의 수립이 필요하다고 판단되었다. 이와 같은 원인은 대상지역이 농업을 집약적으로 하는 시설재배지역이며, 특히

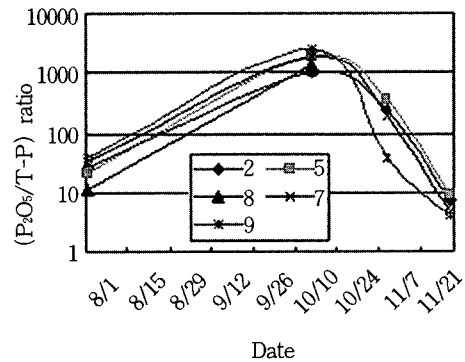
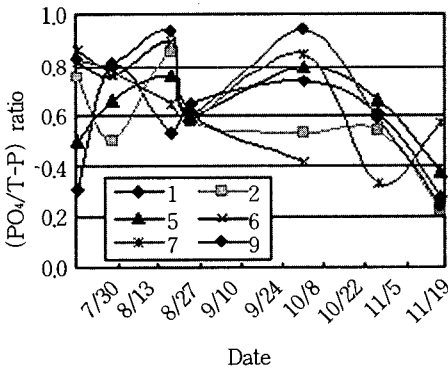


Fig. 7. Ratio PO₄ and P₂O₅ to T-P

답전유환방식을 적용하는 영농법에 있다고 판단되었다.

특히 인성분은 7~8월 사이에 높은 농도의 유출을 보였는데, 이는 이 기간이 우기이고 또한 답전유환체계에서 답수후 제염과정에서 염류유출이 집중적으로 발생되기 때문으로 판단되었다. 또한 질소성분은 인 성분과는 다르게 10~11월에 높은 농도를 나타냈으며, 이는 이 지역이 농업용수로서 지하수를 주로 사용하기 때문으로 판단되었다.

한편 시설재배지 외부의 초생 배수로에서 상당한 정도의 인성분이 저감되어 말단에 이르러서는 상대적으로 낮은 농도로 배출되는 것이 관측되었다. 이는 앞서 언급되었던 것처럼 인 성분 중 무기염류의 농도변화에서 유추해 보면 흡수로자체와 주변의 식생이 인성분의 농도를 저감시키는 완충지의 역할을 수행하기 때문일 것이며, 그 효과는 클 것으로 기대되었다. 그러나 그 효율을 검토하기 위해서는 별도의 체계적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 이상태, 이흥재, 조주식, 허종수, 1998, 경남 시설원예지 농업용 수질현황, 한국환경과학회 1998년도 봄 학술발표회.
2. 정부합동, 2000, '98~'00 4대강수계 물관리종합대책.
3. 통계청 2000, 시설면적 규모별 농가수 및 시설면적.
4. 환경부, 2003, 비점오염원의 화학물질 배출량 산정 지침.
5. SERA-IEG 7, 1998, Environmental uses and implication, Soil Testing for Phosphorus, USDA-CSREES Regional committee.
6. US EPA, 2002, Nat'l Management Measures for the control of Nonpoint Pollution from Agriculture.
7. US EPA, 2000, Nutrient Criteria Technical Guidance Manual - Rivers and Stream.
8. USDA, 1999, A procedure to estimate the response of aquatic systems to changes in phosphorus and nitrogen inputs, Nat'l water and climate center.
9. USDA, 2001, Stream corridor restoration-principles, processes, and practices, USDA-Natural resources conservation service.

본 연구는 농촌진흥청 농촌특정연구사업의 연구비 지원에 의해서 수행되었음.