

농업소유역 하천의 수질변화에 관한 연구 Water Quality Changes of Small Stream in Two Rural Watersheds

최 중 대*, 최 예 환*, 이 찬 만**
Choi, Joong-dae, Choi, Ye-hwan, Lee, Chan-man

Abstract

Flow rate and selected water quality of 2 small rural streams located in Kangwon-do, Korea, were monitored and land use of the watersheds was investigated to describe the trend of stream water quality for 2 years. Water qualities were analyzed with respect to BOD, SS, T-N, nitrate, T-P and E-coli. Most of the measured BOD and SS was less than 1 mg/l and 25 mg/l, respectively. T-N concentration showed a large fluctuation but also showed a trend of periodicity. T-N concentration was relatively low from the mid January to the end of April (0.560~3.229 mg/l) and relatively high from the early June to the early January (0.700~19.200 mg/l). Nitrate concentration ranged between 0.0~3.718 mg/l but most of the concentration was less than 1 mg/l. However, nitrate concentration did not show any periodicity. There were no significant difference in T-N and nitrate concentration between sampling sites, and streams, respectively. T-P concentration ranged from 0.0~2.410 mg/l and showed no clear periodicity. However, higher T-P concentration was measured between January and March in both streams in general. It was observed that stream water quality had a close relationship with water quality of subsurface flow from the paddy fields.

I. 서 론

대도시의 상수원이나 농업용수로 사용되는 팔당호 등의 인공호수에 녹조주의보가 내려지고 있다. 녹조나 남조류의 과다번식은 다양한

오염원으로부터 영양물질의 과다유입으로 수체의 부영양화가 가속되면서 나타나는 현상이다. 부영양화의 주요한 원인인 영양물질은 단지 점원오염(Point source pollution)으로 대표되는 산업폐수와 도시생활오수 뿐만 아니라 비점원

* 강원대학교 농과대학
** 강원대학교 대학원

키워드 : 수질, 농업유역, 모니터링, 하천, 총질소, 총인, BOD, SS

오염(Nonpoint source pollution)으로 대표되는 농가 가축 폐기물, 농촌의 생활하수, 농경지와 영농 활동, 도로 및 주거지 등에서도 많이 발생한다.

비점원오염이란 토지이용이나 오염된 대기 때문에 발생하는 지표수 및 지하수의 오염으로 정의된다. 즉, 비점원오염은 어느 한 특정한 지점을 선택하여 이곳이 바로 오염원을 배출하는 지점이라고 단정할 수 없는 넓은 지역에서 동시다발적으로 일어나는 오염을 말한다(Magette, 1989). 미국 EPA(Environmental Protection Agency, 1989)의 보고에 의하면 비점원오염이 미국의 河口(Estuary), 호수 및 강으로 유입되는 총 오염물질의 각각 45%, 76% 및 65%를 차지한다. 우리나라와 같이 집약농업과 축산업이 발달한 네델란드의 경우 지표수로 방출되는 총 질소의 60%와 총인의 40~50%는 농업부문에 발생된다(Boers, 1997). 환경부(1995)의 비점원오염 연구용역에 의하면 우리나라의 수계로 유입하는 총 오염원중 비점원오염이 차지하는 부하량은 SS가 54.7%, BOD가 16.1%, T-P가 26.2% 그리고 T-N이 50.4%로 나타났다. 이는 우리나라에서도 수자원의 질을 보호하기 위해서는 비점원오염이 반드시 통제되어야 함을 입증하고 있다. 그러나 비점원오염은 가장 관리하기가 어렵고 여러가지 오염 중에서도 가장 이해가 덜된 오염원이며 시급한 연구 과제로는 모든 토지이용에 대한 처방과 반응 관계(Dose and response relationships)의 개선, 토지이용이 수질에 미치는 영향의 예측능력 개선, 그리고 위험성 판단(Risk assessments)과 Predictive model의 입력자료를 위한 자료은행(Data bases)의 확대 및 개선이다(Magette, 1990).

대표적인 비점원오염 물질은 부유토사, 총질소, 총인 등으로 농경지 등 농업지역에서 많이 발생되고 있다. 총인과 총질소를 포함한 영양물질들은 농경지에 시비한 다양한 종류의 화학 및 유기질 비료의 직접유출에 의하거나 혹은 토사에 흡착되었다가 강우시 토사의 유실과 함께 수계로 유입된다(EPA, 1989). 비점원오염은 지표수 뿐만 아니라 지하수도 오염시키고 있다

(Weidner, 1988 ; EPA, 1986, 1991).

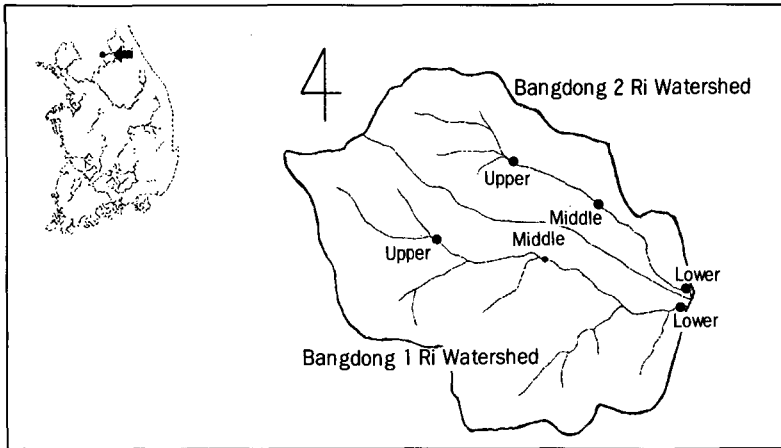
국내의 하천 유역에 대한 수질분석연구는 주로 환경부에서 농어촌 소유역이 아닌 대유역을 상대로 정책적으로 이루어지고 있다. 연구의 목적도 오염의 근원적인 원인을 규명하고 이의 처리나 제거 등 구체적으로 실무에 적용하기 위한 것보다는 단순하게 주기적으로 수질을 측정하고 이를 환경부 수질기준과 비교하고 원리적인 개선대책들을 발표하는데 있으며, 학계나 일반인에게는 수질검사 결과가 공개되지 않아 실질적으로 수자원 보존 및 개선을 위한 학술적인 연구에는 도움을 주지 못하고 있다. 농촌에서 토지이용과 수질과의 관계를 연구한 사례는 찾아보기 힘들다. 홍(1989) 등과 신(1990)이 논으로부터 질소와 인의 유출특성에 관한 논문을 발표하였으며 권(1992) 등은 농어촌용수 환경관리에 관한 연구를 하였다. 오와 이(1997)는 저수지 유입수의 수질을 측정하였으며 농촌유역에 대한 장기적인 수질 측정에 관한 연구는 극소수의 연구자에 의하여 소규모로 추진되고 있다. 도시유역의 경우 최(1986), 윤(1993), 방(1997) 등이 부산, 서울 및 청주에서 비점원오염 물질의 유출특성에 관한 논문을 발표하였다.

농업지역을 대상으로 하는 비점원오염 연구의 궁극적인 목적은 농경지와 농업활동에서 발생하는 비점원오염이 유역의 수질에 미치는 영향을 규명하는 것이다. 이를 위하여는 장기적인 유역과 수질 모니터링을 통하여 주요한 비점원오염원을 규명하고 수질오염에 미치는 우선순위에 따라 오염원을 통제하는 기술을 개발하고 보급할 수 있어야 한다. 본 연구의 목적은

- 1) 전통적인 2군데의 강원도 농촌유역에서 2년간 수질을 모니터링하여 수질자료를 구축하고,
- 2) 평 갈수기 하천수질의 계절적 및 연간변화를 고찰하고, 3) 주요한 하천 비점원오염원을 기술하는 것이다.

II. 연구방법 및 이론

본 연구의 시험유역으로 강원도 춘천시 서면



(Fig. 1) Studied watersheds and sampling locations

방동1리와 방동2리 유역을 선정하였다. 방동리 유역은 춘천시 도심과 8km 떨어진 그린벨트내에 위치하고 있어 전혀 도시화가 이루어지지 않은 전형적인 강원도의 농촌 마을이다. 마을의 한 가운데로 각각 1개씩의 하천(방동1천, 방동2천)이 흐르고 있으며, 이 하천들은 마을 어귀에서 하나의 하천으로 합류하여 북한강에 건설된 의암호로 유입한다. 방동리 유역은 전반적으로 西高東低의 계란형으로 지형에 따라 방동1리와 방동2리의 유역으로 구분된다(Fig.1). 방동1리와 방동2리는 마을의 규모와 영농활동이 비슷하여 Clausen(1991)이 지적한 대로 비점원오염의 비교분석에 좋은 장점을 지니고 있다.

유역의 오염발생량을 예측하기 위하여 일반적인 유역의 특성조사를 실시하였으며 하천의 상류, 중류, 하류부에 각 1개의 유량 및 수질 측정 지점을 선정(총 6개 지점)하여 수질시료를 채취하고 유출량을 측정하였다. 상류 측정지점은 상류부에 농경지나 농가가 많지 않아 하천의 수질이 자연의 하천수질(Background water quality)로 생각할 수 있는 지점에 설치하였다. 중류 측정지점은 각 마을의 경지 면적이 약 1/2되는 지역에 그리고 하류 측정지점은 두 하천이 합류하는 부근에 설치하여 하천의 상·중·하류에서 오염물 농도의 변화상태를 측정할 수 있게 하였다. 각각의 측정지점은 유량측정의

편의를 도모하기 위하여 기존의 보(Weir)가 있는 곳이나 혹은 하천의 형상이 유량을 측정하기에 용이한 장소로 선정하였다.

유출량의 측정과 수질시료의 채취는 약 2주일 간격으로 이루어졌으며, 각 지점마다 약 3,000ml의 수질시료를 채취하였다. 유출량의 측정은 전자식 유속계를 사용하여 유속을 측정하고 측정단면을 횡단측량하여 유수단면적을 구하였으며, 유수단면적에 유속을 곱하여 유량을 계산하였다. 홍수시 유량이 많을 경우에는 표면부자를 사용하여 유속을 측정하였다. 채취된 수질시료는 즉시 얼음이 충전된 Ice box에 보관하고 강원대학교 농과대학 공동실험실로 운반하여 제반 규정에 따라 BOD, TSS, T-P, T-N, 질산성 질소 및 대장균에 대하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 유역의 개황 및 생활환경 조사

방동1천과 방동2천의 유역 면적은 각각 9.2km²와 4.6km²로 방동1천의 유역면적이 방동2천에 비해 약 2배 정도 넓다. 방동1리와 방동2리의 경지면적은 각각 115.5(논 58, 밭 57.5)ha와 101.6(논 49, 밭 52.6)ha로 논과 밭의 비율은 거의 비슷하다.

<Table 1> The present housing patterns on the watershed concerned

Classification		Watershed	
		Bangdong 1	Bangdong 2
Population		368	271
Number of households	Farming	69	61
	Nonfarming	17	3
Kitchen type	Traditional Kitchen	72	44
	Western Kitchen	14	20
Drinking water sources	Temporary tap Water well	82	55
		4	9
	Water in stream	0	0
Bathroom	Installed	37	54
	Not installed	49	10

'95년 11월 현재 방동1리는 86가구에 368명, 그리고 방동2리는 64가구에 271명이 거주하고 있다<Table 1>.

현대식 목욕탕이 설치된 주택은 방동1리와 2리에서 각각 37동과 54동으로 연중 샤워 등을 하고 있다. 부엌의 구조는 현대식 입식부엌이 방동1리와 2리가 각각 14가구와 20가구이다. 수세식 화장실과 정화조의 설치는 방동1리와 2리에 각각 14가구와 20가구에 설치된 것으로 나타났다. 화장실의 경우는 1가구에 2개 이상 있는 농가가 많았으며, 신축 중인 주택이 많아 정화조, 목욕탕, 입식부엌의 숫자는 빠르게 증가할 것으로 생각된다.

연구유역의 가축은 한우가 주종을 이루어 방동1리와 2리에 각각 562마리와 418마리가 사육되고 있었다. 개의 사육이 많아 방동1리와 2리에 각각 123마리 및 112마리였으며 기타의 가축 사육은 미미하였다. 축분은 대부분 유기비료로 재활용되고 있었으나 축뇨는 적절히 처리되지 못하고 토양으로 침투되거나 배수로로 통하여 배출되고 있었다.

연구기간 중 연강수량은 '95년에 1,593.1mm 그리고 '96년에 1,185.7mm로 '95년의 강수량이 '96년의 강수량보다 407.4mm가 많았다. 강수량 중 지표유출을 유발하여 비점원오염 물질을 유출시킬 수 있는 5mm 이상의 강우는 1차년도 연구

기간에 1,486.9mm, 그리고 2차년도 연구기간에는 1,144.7mm였다. 1차년도에는 7월과 8월에 집중적으로 많은 비가 내렸으며, 2차년도에는 6월과 7월에 많은 비가 내려 1차년도와 2차년도의 강수량 및 강수분포에서도 차이를 보였다.

2. 하천의 특성 조사

방동1천은 비교적 하폭이 넓고 하상에는 굵은 호박돌 크기의 돌로 피복되어 있으며 비교적 사력퇴적층이 깊어 복류수를 통한 유출이 많을 것으로 생각된다. 반면에 방동2천은 방동1천에 비하여 하폭이 좁고 퇴적층은 낮은 것으로 조사되어 복류수를 통한 유출이 많지 않을 것으로 생각되었다. 두 하천 모두 제방으로 잘 정비되어 있으며, 하상의 퇴적층이 비교적 깊은 방동1천의 경우 유역에서 유입되는 많은 비점원오염 물질이 하상에서 여과되어 분해되는 율이 클 것으로 생각되는 반면에, 방동2천은 퇴적층이 낮아 여과에 의한 자정효과는 방동1천에 비하여 작을 것으로 사료된다. 하천의 양안이 제방으로 축조되어 있어 하천 주변의 농경지나 주택에서 발생하는 오염물질은 하천으로 직접 유입되지 못하고 배수로로 통하여 유입된다.

평수기 및 갈수기의 방동1천과 2천의 하천유량은 많지 않았다. 유역면적이 큰 방동1천이나 유역면적이 작은 방동2천 모두 유량은 비슷하게 나타났다. 이는 방동1천은 하상의 퇴적깊이가 깊어 복류수로 유출되는 유출이 방동2천 보다 많기 때문인 것으로 생각된다. 복류수 유출을 제외한 지표유출량은 12월과 1월에 약 0.000~0.007 m³/s로 매우 작았다. 우기에는 유역면적이 넓은 방동1천이 방동2천보다 많은 유량을 보였다. 방동1천에서 선형 강우없이 일 강우량이 141.5mm였던 '96년 7월 26일 39.1 m³/s까지 유출량을 측정할 수 있었다. 상류, 중류 및 하류의 유량측정지점별 유량의 차이는 건기에는 많지 않았으나 우기에는 유역면적에 비례하여 하류로 갈수록 유량이 증가되었다.

3. 수질분석 결과

가. BOD 분석결과

BOD는 방동1천과 방동2천의 각 수질측정 지점마다 총 46회 측정되었다. 46회의 측정중 0.5 mg/ℓ 이상의 BOD는 방동1천 상류 4회, 중류 3회, 그리고 하류에서 7회, 그리고 방동2천의 상류 6회, 중류 4회, 그리고 하류에서 8회만이 측정되었다. 나머지 수질시료에서의 BOD 값은 0.5이하이거나 0으로 측정되었다. BOD의 최대 측정값은 '96년 8월 21일 방동2천의 상·중·하류 측정지점에서 각각 8.0, 9.5, 9.0mg/ℓ였다. 이때는 8월 21, 22, 23일 연속강우로 하천유량이 증가하였을 때이며 상류부터 하류까지 높은 BOD 값을 보이고 있으며, 방동1천에서도 비교적 높은 값을 보이고 있어 상류의 산간계곡과 중·하류 주변의 농경지로부터 다양한 유기물이 하천으로 유입되기 때문인 것으로 생각된다. 건기나 평시의 BOD는 거의 0에 가까운 값을 보여 BOD를 기준으로 하면 유역에 많은 가축이 사육되고 있었음에도 불구하고 1급수의 수질을 대부분 유지하고 있었다. 이는 하천 양안에 제방이 축조되어 있어 오염물질의 직접적인 유입이 제한되어 있고 유역토양의 투수계수가 높아

축노 및 생활하수의 대부분이 토양으로 침투하여 자정작용으로 분해된 후 지하수를 통하여 하천으로 유입되기 때문인 것으로 생각된다.

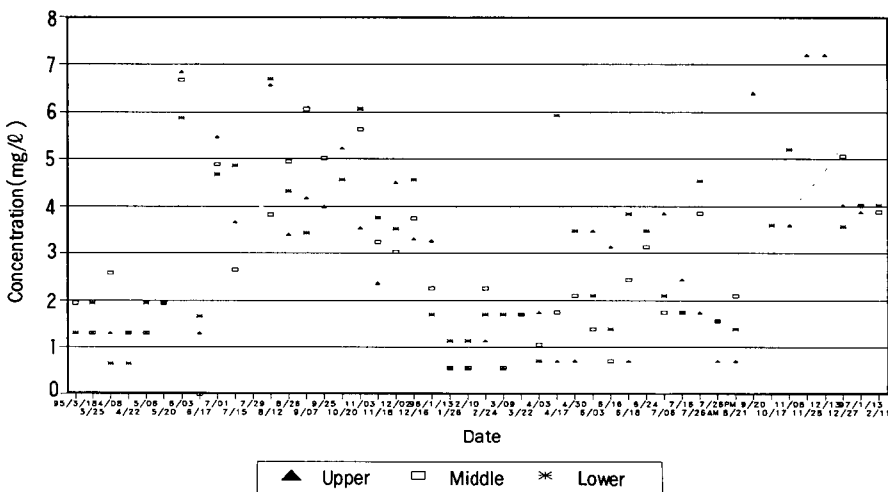
나. SS 분석결과

강우로 인하여 하천유출량이 증가하지 않는 한 SS의 농도는 상수원수 1급수 수질기준인 25mg/ℓ 이하의 맑은 물을 유지하였다. 건기나 평시의 SS 농도는 0.0~10mg/ℓ 이하의 맑은 물을 보였으나 홍수시에는 최대 703.0mg/ℓ 까지 측정되었다. 하천이 제방으로 잘 보호되어 있고 산에는 나무가 울창하여 홍수시에도 하천으로 유입되는 배수로의 유출량이 많지 않은 경우는 하천의 SS 농도는 크게 증가하지 않는 것으로 나타났다.

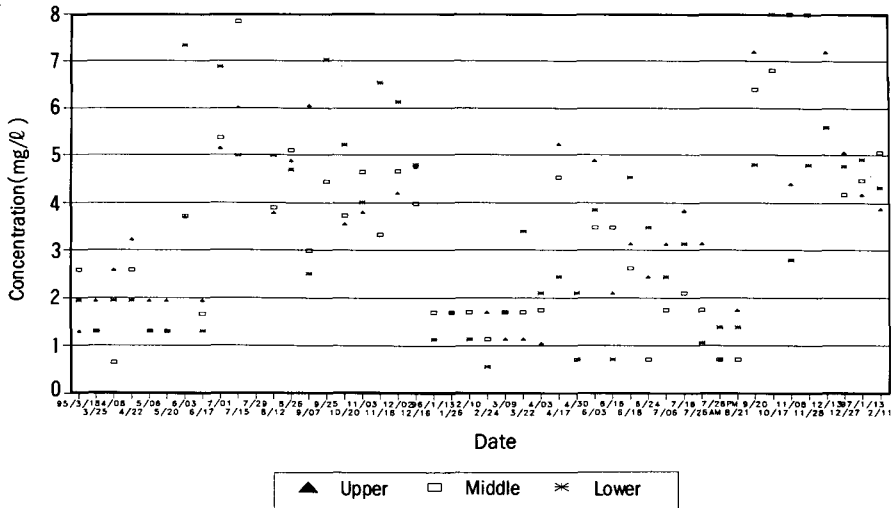
다. T-N (총질소) 분석결과

총질소 농도의 계절적 변화는 <Fig. 2>와 <Fig. 3>에 나타냈으며, 그림에서 총질소 농도 8 mg/ℓ 이상은 제외되었다.

그림에서 나타나듯이 자료의 분산이 다소 크기는 해도 총질소의 농도는 계절에 따른 변화상을 잘 나타내고 있다. 방동1천이나 방동2천 모두에서 봄철 총질소의 농도는 낮았으나, 6월



<Fig. 2> T-N concentration change of Bangdong 1 stream with time



〈Fig. 3〉 T-N concentration change of Bangdong 2 stream with time

중순 이후 증가하여 높은 농도를 유지하다 1월 중순에 감소하였고(1차년도), 2차년도에는 1월 중순 이후 낮은 농도를 유지하던 총질소는 6월 초순 이후에 증가하여 1월 중순까지 높은 농도를 유지하였다. 따라서 연구유역 하천의 총질소 농도의 변화양상은 1월 중순부터 6월 중순까지는 비교적 낮았고, 6월 하순부터 1월 초순까지는 비교적 높은 농도를 보이는 주기성을 갖고 있다고 볼 수 있다.

총질소 농도의 변화는 강우량과 비농사와 연관을 지어서 해석할 수 있다. 2월부터는 봄 농사를 위하여 각종 퇴비, 축분 등이 논과 밭에 시비되며 밭과 논갈이가 시작된다. 4월 중순부터 5월 초순에는 모내기 준비를 위한 못자리가 형성되고 논에는 담수가 시작되며 우리나라의 강우특성상 4월에 비교적 많은 봄비가 내린다. 담수된 논으로부터 지하침투가 발생하여 지하수위를 높이고 침투수와 함께 지하수로 유출된 각종 영양분이 지하수와 함께 하천으로 유입하여 하천의 총질소 농도를 높이기 때문인 것으로 생각되었으며, 이는 동일한 유역에서 지하수위의 변화와 수질조사를 모니터링한 자료(최중대, 1996)와 정확히 일치하고 있다. 제1차와 제2차년도 총질소 농도 변화의 차이는 강우량과

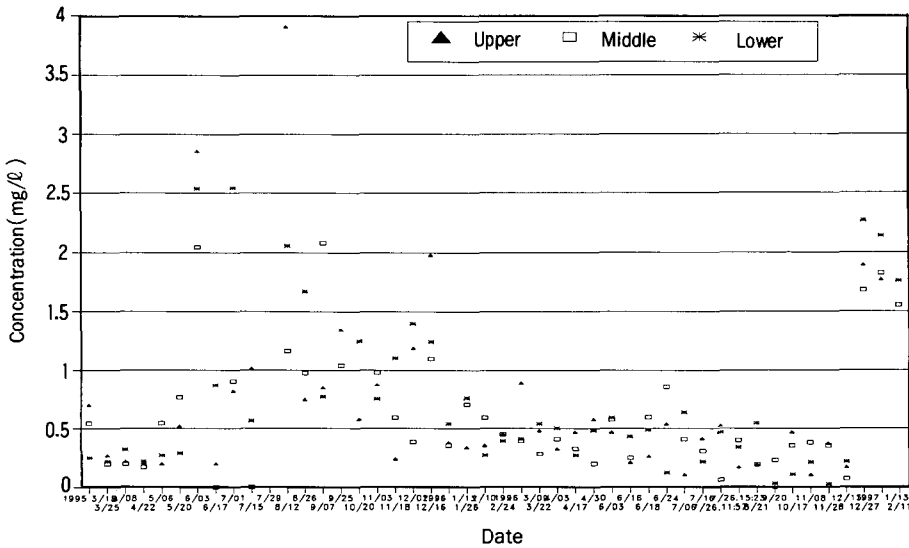
온도 등이 서로 많은 차이를 보였기 때문인 것으로 사료된다. 연구유역에는 축산업도 비교적 활발하게 진행되고 있고 논과 밭의 비율이 비교적 반반으로 나누어져 있지만 본 연구유역에서는 비농사를 위한 담수가 평 갈수기 하천의 총질소 농도를 약 1~4 mg /ℓ 증가시키는 것으로 나타나 비농사가 평 갈수기 하천의 T-N 농도에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

총질소는 1월 하순부터 4월 정도까지 0.560 ~3.229 mg /ℓ 정도의 비교적 낮은 농도를 보여 주었으며, 5월부터 1월초까지는 0.700~19.200 mg /ℓ 정도의 농도로 변화의 폭이 매우 크게 측정되었다.

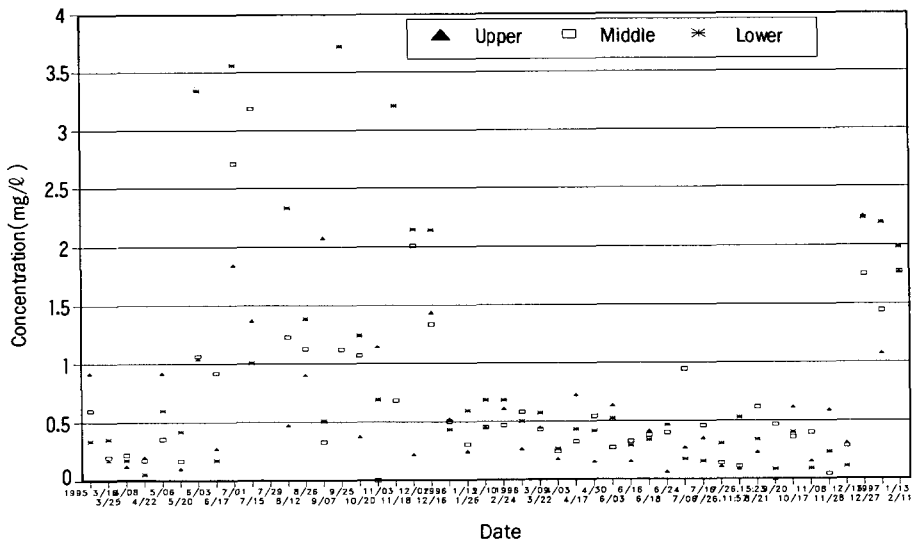
고농도의 총질소는 2차년도('96년) 9월 중순부터 12월 중순 사이에 방동1리와 방동2리 하천에서 동시에 측정되었다. 최대 농도 19.200 mg /ℓ 는 12월 13일 방동2리 중류 측정지점에서 측정되었으며, 이 기간동안에는 상당히 높은 총질소가 검출되었으나 원인에 대해서는 아직 규명되지 못했다.

라. 질산성 질소($\text{NO}_3\text{-N}$) 분석결과

방동1천과 방동2천의 계절별 질산성 질소의 변화는 〈Fig. 4〉와 〈Fig. 5〉에 나타났다. 총 263



<Fig. 4> Nitrate concentration change of Bangdong 1 stream with time



<Fig. 5> Nitrate concentration change of Bangdong 2 stream with time

개의 측정치중 특이하게 높게 측정된 농도 4개를 제외한 질산성 질소의 측정범위는 0.0~3.718 mg /ℓ 였으며 대부분의 농도는 1.0 mg /ℓ 보다 작았다. 특이값은 방동1천의 중류와 하류에서 각 1회 8.313 mg /ℓ, 방동2천 상류에서 2회 5.6 33 mg /ℓ 와 8.313 mg /ℓ 가 측정되었다. 이 측정값들은 주변의 상황과 인접 측정지점의 농도

와 비교하여 볼 때, 샘플링시나 분석시에 오차가 발생하여 생긴 것으로 추정된다. 따라서 <Fig. 4>와 <Fig. 5>에는 이들 값을 제외하였다. 특이값을 제외한 각 측정지점의 질산성 질소 농도 범위는 방동1천 상·중·하류 측정지점에서 각각 0.0~1.979 mg /ℓ, 0.0~1.82 mg /ℓ, 0.020~2.550 mg /ℓ 였고 방동2천에서는 각

각 0.0~2.25 mg /ℓ, 0.04~3.186 mg /ℓ, 0.08~3.718 mg /ℓ 였다. 총질소의 농도에 비하여 질산성 질소의농도의 변화폭이 다소 크게 나타났다. 질산성 질소 농도의 상류, 중류 및 하류 수질측정별로 유의성 있는 차이가 검출되지 않았다. 또한 방동1천과 방동2천의 수질비교에서도 서로 유의적인 차이를 발견할 수 없었다.

그림에서와 같이 질산성 질소의 변화양상은 총질소의 변화양상과 다소 차이를 보였으나 방동1천과 방동2천은 동일한 양상을 보였다. 제1차년도의 경우는 질산성 질소와 총질소와의 변화양상이 비슷하였으나, 2차년도의 변화양상은 상당한 차이를 보였다. 1차년도의 경우 질산성 질소의 농도는 6월초부터 증가하기 시작하여 비교적 높은 농도를 유지하다 총질소와 같이 1월 중순경에 농도가 작아졌다. 다만 질산성 농도의 증가시기가 총질소의 농도 증가보다 약 2주일 정도 시차를 두고 늦게 시작된 점에서 차이가 있었다. 또한 질산성 질소의 농도변화는 총질소의 농도변화보다 다소 크게 나타났지만 기본적인 변화경향은 비슷하였다. 따라서 유기물이 질산성 질소로 분해되는데 걸리는 시간 때문에 질산성 질소 농도의 상승시기가 총질소에 비하여 다소 늦은 것으로 해석하였다(최중대, 1996).

그러나 2차년도에는 눈에 담수가 된 후에도 하천의 질산성 질소의 농도는 증가하지 않았다. 영농철에 증가하지 않고 약 0.5mg /ℓ 정도이던 질산성 질소는 모든 작물의 수확이 끝난 12월 초부터 1.5~2.0mg /ℓ 로 상승하여 2월 중순까지 지속되는 경향을 보였다. 1차년도와 2차년도의 영농활동이 비슷하였고 유역의 토지이용에도 차이가 거의 없었다. 다만, 1차년도와 2차년도의 강우량과 강우분포에는 차이가 있었다. 하천수 수질에 미치는 영향 중 토지이용과 영농활동의 영향이 동일하다고 가정하면 강우, 온도 및 토양 중의 미생물의 유기물 분해능력이 중요한 인자로 작용할 수 있다. 인위적인 활동에 의하여 오염이 발생하였다면 방동1천과 방동2천 사이에 농도의 변화양상이 달라야 하나 두 하천의 농도변화양상이 동일하여 인위적인 활동에

의하여 2차년도의 질산성 질소의 농도변화가 1차년도의 변화와 다르다고 하기가 매우 어렵다.

1차년도의 질산성 질소 농도로 보아서는 T-N 농도와 같이 비농사를 위한 담수와 관계가 있다고 할 수 있겠으나, 2차년도의 질산성 질소 농도는 1차년도의 농도와 상이한 양상을 보여 논의 담수외에 또 다른 인자가 작용하고 있는 것으로 생각된다.

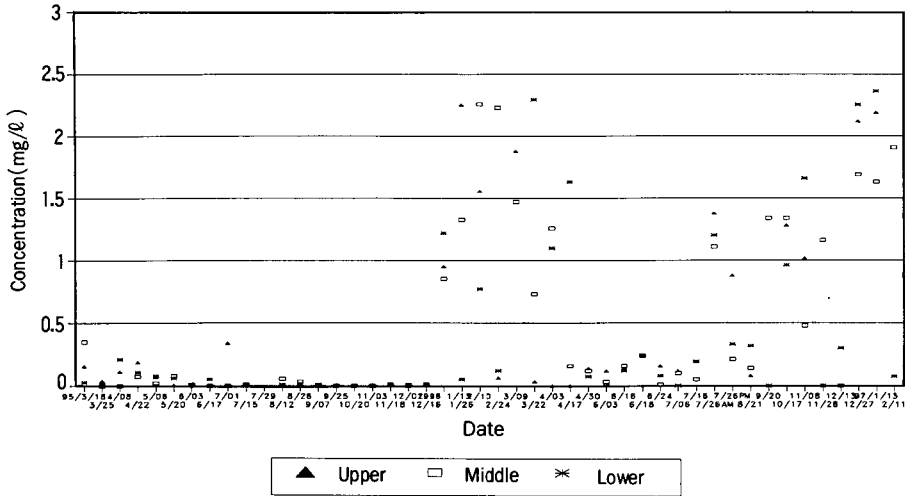
이를 보다 정확히 기술하기 위해서는 장기적인 모니터링 연구가 수행되어야 한다.

마. 총인(T-P) 분석결과

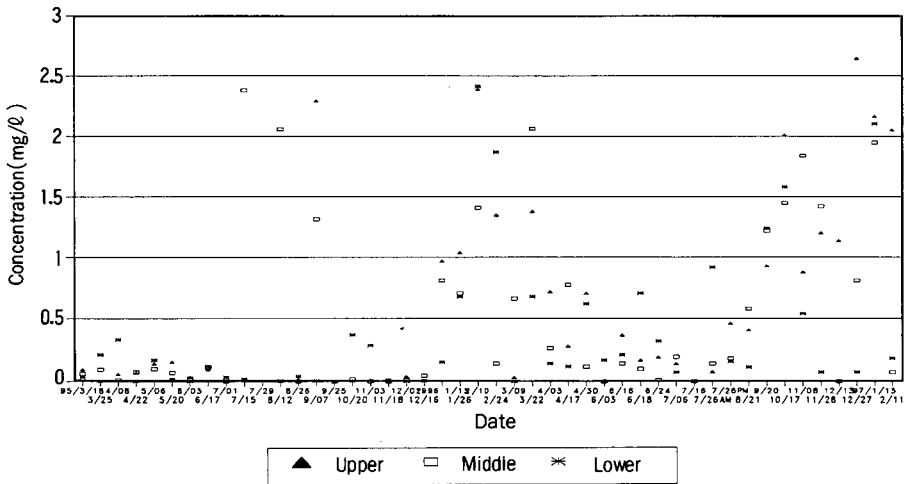
방동1천과 방동2천의 총인 농도의 변화경향은 <Fig. 6>과 <Fig. 7>에 나타났다.

그림에서 보듯이 총인의 변화양상은 불규칙하나 두 하천에서 총인의 농도는 동절기인 1월~3월에 가장 높게 나타났다. 방동1천의 경우 총인농도의 증가는 1차년도에는 1월초부터 시작된데 반하여 2차년도에는 7월 말부터 시작되었다. 방동2천의 경우는 방동1천과는 달리 7월과 8월에도 높은 총인 농도를 보였다가 다시 감소하였으며 1월에 증가하였다.

총인의 농도는 특이값 2개를 제외하면 0.0~2.410 mg /ℓ 의 범위였다. 특이값은 '96년 3월 9일 방동1천 하류수질측정지점에서 측정된 8.810 mg /ℓ 와 '96년 6월 18일 방동1천 상류수질측정지점에서 측정된 12.910 mg /ℓ 로 이들 값은 샘플 채취시나 분석시에 오차가 발생하였던 것으로 예상된다. 각 측정지점별 총인의 농도는 방동1천의 상류, 중류 및 하류 수질측정지점에서 각각 0.0~2.25 mg /ℓ, 0.0~2.30mg /ℓ 그리고 0.0~2.290 mg /ℓ 였으며 방동2천의 경우는 각각 0.0~2.390 mg /ℓ, 0.0~2.380mg /ℓ 그리고 0.0~2.410mg /ℓ 였다. 상류, 중류 및 하류의 수질측정지점간 총인 농도는 서로 유의적인 차이가 없었으며 총인농도는 비교적 큰 변화를 보였다. 방동1천과 방동2천의 상류, 중류 및 하류 측정지점별로 총인 농도를 비교하여도 유의적인 차이는 없었다. 즉, 방동1천과 방동2천의 상류, 중류 및 하류 측정지점의 총인은 유의



<Fig. 6> Total phosphorus concentration change of Bangdong 1 stream with time



<Fig. 7> Total phosphorus concentration change of Bangdong 2 stream with time

적인 차이 없이 서로 비슷한 농도를 보였다.

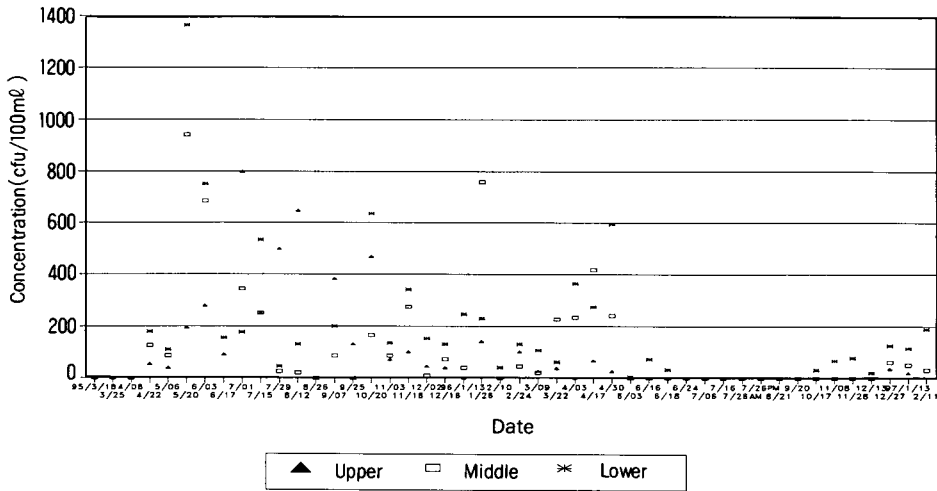
1차년도와 제2차년도의 연도별 총인 농도는 서로 유의적인 차이를 보이지는 않았지만 '95년과 '96년의 총인 농도에 어느 정도 차이가 있음이 나타났다. 방동1천 상류수질 측정지점의 경우 3월부터 5월까지 '95년이나 '96년의 총인 농도가 비슷하였으나 7월부터 1월까지는 '96년도의 총인 농도가 '95년도의 총인 농도보다 다소 높게 나타났다. 방동1천 중류 및 하류 수질

측정지점에서 '96년도의 총인 농도가 '95년도의 총인 농도 보다 같거나 혹은 높게 나타났다. 이와 같은 경향은 방동2천에서도 동일하게 관측되었다. 일반적으로 방동1천과 방동2천의 경우 '96년도의 총인 농도가 '95년도의 총인 농도보다 다소 높게 나타났다. '96년(2차년도)의 총인 농도가 '95년의 총인 농도보다 높게 측정되는 이유는 명확하지 않다. 유역의 토지이용이나 영농관리방법이 '95년과 '96년 사이에 변화가 없

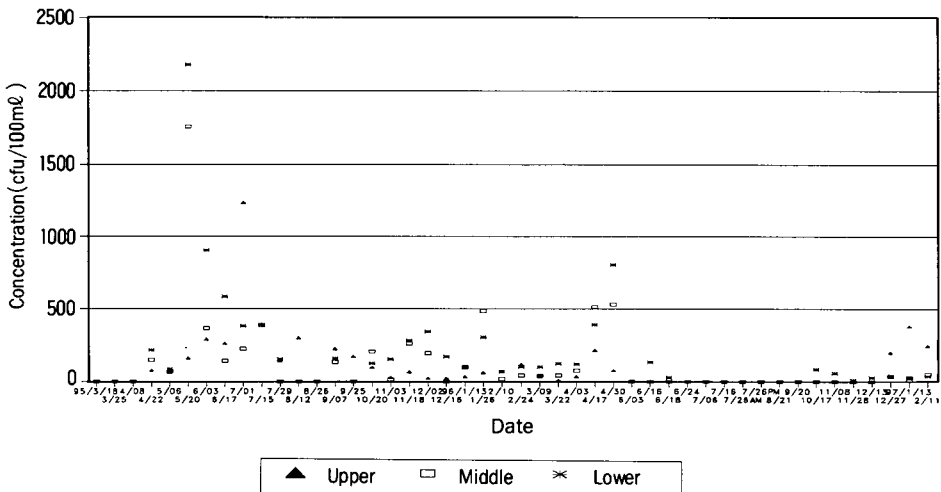
었기 때문에 토지이용이나 영농방법의 변화 때문에 총인농도가 달라졌다고 하기는 어렵다. '95년과 '96년의 5mm 이상의 유효연강수량의 차이는 전술한 대로 약 30% 정도 '95년이 많았다. 그러나 '95년에는 8월에 집중강우가 있어 연강수량이 많아진 것이고 월별 유효 강수량의 분포는 '96년도가 '95년도 보다는 고르게 분포하고 있다. 따라서 강수량만 가지고 '95년과 '96년의 총인 농도의 차이를 설명하기는 부족하였다.

바. 대장균(Total E-coli) 분석결과

대장균의 계절별 변화양상은 <Fig. 8>과 <Fig. 9>에 나타냈다. 대장균의 농도는 대단히 변화가 심하였으나 방동1천과 방동2천 사이의 변화경향은 비슷하였다. 방동1천의 대장균은 0.0~1,365cfu/100ml 범위였으며, 방동2천은 0.0~2,175cfu/100ml 범위였다. 대장균의 변화 중 '96년 여름 하천의 대장균 농도가 거의 0으로 측정되었다. 이는 '95년 여름의 대장균 농



<Fig. 8> Total coliform change of Bangdong 1 stream with time



<Fig. 9> Total coliform change of Bangdong 2 stream with time

도와도 대비되는 것으로 원인은 확실하지 않다. 방동1천과 방동2천 및 상, 중, 하류 수질측정지점 사이의 비교에서도 대장균 농도는 서로 유의적인 차이를 보이지 않았다. 그림에서 나타나듯이 1차년도와 2차년도 사이의 대장균 농도는 1차년도('95년)가 2차년도('96년)보다 높게 나타났다. 이는 총인의 농도와는 반대의 경향을 나타냈으나 그 원인은 확실하지 않다. 하천의 대장균은 내부생성과 외부유입 대장균으로 나눌 수 있겠으나 이들의 생성과 유입에는 많은 자연적인 인자들이 작용하고 있으므로 하천에서의 대장균의 거동을 파악하기 위하여는 보다 정밀한 실험설계하에 장기간의 모니터링 연구가 필요할 것으로 사료된다.

투수계수가 높은 사질토로 구성된 농어촌 지역의 하천수 수질에 영향을 주는 인자 중의 하나는 지하수 유입량과 수질이다. 본 연구구역에서도 평 갈수기 하천수의 총질소 및 질산성 질소의 농도는 비농사로 인한 담수로 많은 영향을 받아 총질소는 약 1~4 mg /ℓ, 그리고 질산성 질소는 약 1~2 mg /ℓ 정도 농도가 증가되는 것으로 나타났다. 유역 모니터링의 중요한 변수 중의 하나는 수질분석을 얼마나 자주해야 하는가 하는 질문이다. 연구대상 유역의 연구자료가 없는 경우에는 본 연구에서와 같이 약 2주일 간격으로 유량의 측정과 수질분석이 이루어지면 수질의 연간 및 계절적인 변화를 측정하기에 적절할 것으로 생각된다. 그러나 오염물질의 배출량 추정을 위하여는 홍수기의 유량 및 수질의 측정이 매우 중요하기 때문에 연구의 목적에 따라 샘플링 계획이 다를 수 있다. 유역면적이 작을수록 수질에 작용하는 변수의 영향을 많이 받기 때문에 대유역 보다는 수질 및 유량의 측정을 자주해야 할 필요가 있다. 특히, 유출량의 변화가 비점원오염 물질의 발생, 운반 및 퇴적에 많은 영향을 주므로 유출량의 측정에 많은 노력을 기울여서 강우시에는 5분 혹은 10분 단위로 유출량을 측정하는 것이 하천의 수질을 분석하고 효율적인 유역관리 계획을 세우며 또한 수학적 모델을 개발하는데 결정적인 기여를 할 수

있다.

IV. 결 론

본 연구는 강원도 농업유역의 소하천에서 수질의 변화특성을 규명하기 위하여 하천수질의 변화를 2년간 지속적으로 모니터링한 연구결과이다. 매2주 간격으로 유출량과 수질을 측정하였으며 유역의 토지이용조사는 매년 가을에 실시하였다. 대표유역으로 강원도 춘천시 서면 방동1리와 방동2리를 선정하였으며, 하천수질의 측정은 BOD, SS, T-P, T-N, Nitrate 및 대장균 등에 대하여 분석하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 방동1천과 방동2천의 BOD는 대부분 1mg /ℓ 이하로 측정되었다. SS의 농도도 강우시를 제외하고는 대부분 25mg /ℓ 이하로 1급수의 수질을 유지하였다. 이는 하천 양안에 제방이 축조되어 있어 오염물질의 직접적인 유입에 제한되어 있고 유역토양의 투수계수가 높아 축뇨 및 생활하수의 대부분이 토양으로 침투하여 자정작용을 받은 후 지하수를 통하여 하천으로 유입되기 때문인 것으로 해석되었다.

2. 연구유역 하천의 총질소 농도의 변화양상은 1월 중순부터 6월 중순까지는 비교적 낮고, 6월 하순부터 1월 초순까지는 비교적 높은 주기성을 보였다. 총질소는 1월 하순부터 4월 정도까지 0.560~3.229mg /ℓ 정도의 비교적 낮은 농도였으며, 6월부터 1월초까지는 0.700~19.200mg /ℓ 정도의 비교적 높은 농도를 보였다. 11.0mg /ℓ 이상의 농도는 총 270회 측정중 9회로 매우 작았다. 총질소의 농도는 방동1천과 방동2천, 상·중·하류의 수질측정지점 및 1차년도와 2차년도 사이에 유의적인 차이를 보이지 않았다.

3. 질산성 질소의 농도는 일반적으로 0.0~3.718mg /ℓ였으며 대부분의 농도는 1.0mg /ℓ보다 작았다. 총질소 농도보다 질산성 질소 농도의 변화폭이 다소 크게 나타났다. 질산성 질소의 농도는 방동1천과 방동2천 및 상·중·하류의 수질측정지점 사이에 유의적인 차이는 보

이지 않았으나 1차년도와 2차년도 사이에는 농도의 변화양상이 서로 달랐다.

4. 총인 농도의 변화폭은 매우 컸으며 동절기 인 1월~3월에 가장 높게 나타났다. 총인의 농도는 대부분 0.0~2.410mg/ℓ의 범위였다. 1차년도와 2차년도 및 상·중·하류의 수질측정지점간 총인 농도는 서로 유의적인 차이는 관측되지 않았다. 그러나 방동1천과 방동2천과의 비교에서는 방동2천의 총인 농도가 방동1천의 농도보다 다소 높게 나타나는 경향을 보였다.

5. 대장균의 농도는 대단히 변화가 심하였다. 방동1천과 방동2천 및 상·중·하류 수질측정지점 사이의 유의적인 차이는 나타나지 않았으며 방동1천과 방동2천의 변화양상은 비슷하였다. 그러나 두 하천에서 모두 1차년도의 대장균 농도는 2차년도의 농도보다 높게 나타났다. 방동1천의 대장균은 0.0~1,365cfu/100mℓ 범위였으며 방동2천은 0.0~2,175cfu/100mℓ 범위였다.

6. 사질토가 많은 본 유역에서 평 갈수기 하천수의 총질소 및 질산성 질소의 농도는 벼농사로 인한 담수로 많은 영향을 받아 총질소는 약 1~4mg/ℓ, 그리고 질산성 질소는 약 1~2mg/ℓ 정도 농도가 증가되는 것으로 나타났다.

본 연구는 한국과학재단 핵심전문연구비 (951-0601-036-2) 지원으로 수행되었음

참고문헌

1. 권순국, 유명진, 1992. 농어촌 용수 환경 관리에 관한 연구, 최종 보고서, 서울대 농업생명과학대 부속 농업개발연구소.
2. 방기웅, 이준호, 유명진, 1997. 도시소유역에서의 비점오염원 유출특성에 관한 연구, 한국수질보전학회지, 13(1) : 79~99.
3. 신동석, 1990. 논에서의 질소 및 인의 농도와 유출입, 서울대 석사학위 논문.
4. 오종민, 이수환, 1997. 신갈저수지 및 유입하천의 수질특성에 관한 연구, 한국수질보전학회지, 13(1) : 9~16.
5. 윤용남, 신현석, 1993. 도시소유역에서의 유출과 비점원오염물 배출간의 상관관계에 관한 연구, 제35회 수공학연구발표회 논문집, 한국수문학회지, pp.227~240.
6. 최우정, 1986. 강우시 부산시내 하천으로 유입되는 비점원오염물에 관하여, 부산 수산대 석사학위 논문.
7. 최중대, 1996. 강원도 농촌유역의 지하수 수질과 하천수질, 1996년도 한국농공학회 국제심포지엄 및 학술발표회 논문집, pp.79~85.
8. 최중대, 1996. 농촌유역의 소하천 유출량과 비점원 오염물질의 배출, 1996년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.577~582.
9. 환경부, 1995. 비점오염원 조사연구사업 보고서.
10. 홍성구, 권순국, 1989. Characteristics of Pollutant Loading into streams from Flooded Paddies - On the special Reference to Total Kjeldal Nitrogen and Total Phosphorus, J. of Korean Society of Agricultural Engineers, 31(3) : 93~102.
11. Boers, P. C. M., 1997. Agricultural Waste Management : Nutrient Emissions from Agriculture in the Netherlands, Rural Environment Improvement, Proc. of the Int. Sym. KSAE, Oct. 1977, Seoul, Korea, pp. 21~33.
12. Clausen, J. C., 1991. Deveopling a Monitoring System for Rural Surface Waters : Individual BMPs, EPA Nonpoint Source Solutions, EPA /625 /4-91 /027, Sep. 1991. pp : 99~102.
13. EPA, 1986. Handbook, Stream Sampling for Waste Allocations, EPA /625 /6-86 /013, Center for Environmental Research Information, Cincinnati, OH 45268.
14. EPA, 1989. Nonpoint Sources Agenda for the Future, pg2.
15. EPA, 1990. RCWP : Rural Clean Water Program, EPA440 /4-90-012. Office of Water(WH-553).
16. EPA, 1990. Seminar Pubilcation for Nonpoint Source Watershed Workshop, Nonpoint source Solutions, EPA /625 /4-91 /

- 027, Office of Research and Development, Office of Water, Washington, DC 20460.
17. Magette, W. L., 1989. Citizen's Guide to Environmental Terminology, Cooperative Extension Service, University of Maryland, Water Resources 18.
 18. Magette, W. L., 1990. Water Quality/Land Use. IN: Water Issues in the Middle Atlantic States, AES and CES of the University of Maryland System and USDA ARS Beltsville, Maryland, A Symposium Paper held in NOV.1, 1990, Calvert Holiday Inn, Beltsville, Maryland.
 19. Magette, W. L., 1992. Indian Town BMP Demonstration Farm Project. Department of Agricultural Engineering, University of Maryland, College Park, Maryland, USA 20742.
 20. Meals, D. W., 1990. LaPlatte River Watershed Water Quality Monitoring and Analysis Program-Year 11, Program Report No. 12, Comprehensive Final Report, Vermont Water Resources Research Center, University of Vermont.
 21. Weidner, K., 1988. Murky Water, Penn State Agriculture, Spring /Summer 1988, pg4.

약 력

최 중 대



- 1979. 강원대학교 농과대학 농공학과 졸업
- 1982. 강원대학교 대학원 농학석사
- 1992. 미국 메릴랜드 주립대학교 공학박사
- 현재 강원대학교 농공학과 조교수
농촌환경연구회 이사
KCID 편집·학술분과위원

최 예 환



- 1965. 서울대학교 농공학과 졸업
- 1967. 서울대학교 대학원 농학석사
- 1981. 화란 델프트 공대 공학석사
- 1983. 서울대학교 대학원 농학박사
- 현재 강원대학교 농공학과 교수
강원대학교 평의회 의장
한국농공학회 회장
KCID 이사

이 찬 만



- 1997. 강원대학교 농공학과 졸업
- 현재 강원대학교 대학원 석사과정