

放牧地와 草地의 地表水 및 地下水 水質 特性 Characteristics of Runoff and Groundwater Quality from a Pasture and Field

최 중 대* · 최 예 환* · 김 기 성*
Choi, Joong Dae · Choi, Ye Hwan · Kim, Ki Sung

Abstract

Characteristics of runoff and groundwater qualities from a pasture and field were investigated. Flumes and monitoring wells were installed and water qualities of $\text{NO}_3\text{-N}$, TP and TKN were monitored from Aug. 1993 to Aug. 1994. Runoff from the pasture which was a sandy soil with cobbles mostly formed with seeping water at the bottom of it. But once overland flow occurred because of heavy rainfall, runoff increased sharply. $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration in pasture runoff was relatively stable ranging between 0.241–3.962mg/l. TP and TKN concentrations were stable but sharply increased once overland flow occurred. $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration in pasture groundwater was relatively stable regardless of depth of monitoring wells but TP and TKN concentrations were smaller in deeper wells. Runoff from the field which was flat and covered well with Sudan grass and surface residue was relatively small and $\text{NO}_3\text{-N}$, TP and TKN concentrations in runoff were stable and seemed unaffected by flow rate. $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration in field groundwater increased at the rate of 2.2mg/l per 100 m during a growing season as groundwater flows through the field. No significant differences in TP and TKN concentrations between the upper and lower areas in field groundwater were detected.

요 지

강원도의 대표적인 토지이용 방법인 방목지와 초지의 유출수 및 지하수의 수질 특성을 구명하기 위한 연구이다. 강원대학교 농장과 목장에 시험유역을 설치하고 Flume과 지하수 관측정을 이용하여 1993년 8월부터 1994년 8월까지 수질을 관측하였다. 수질관측 항목은 $\text{NO}_3\text{-N}$, TP 및 TKN이었다. 조립질 토양인 방목지의 유출은 대부분 지하수를 통하여 배출되었으며 호우시만 지표면 유출이 발생하였고 유출량은 급격히 증가하였다. 유출수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 0.241~3.962mg/l로 비교적 안정되어 있었다. 평시 유출수의 TP와 TKN 농도는 안정되어 있으나 호우시는 급격히 증가하였다. 지하수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 관측정의 깊이에 관계없이 비교적 일정하였으나 TP와 TKN 농도는 깊은 관측정에서 농도가 작았다. 평지에 조성되고 Sudan Grass로 잘 피복된 초지 유출수의 수질은 유출량에 관계없이 비교적 일정하였다. 초지 지하수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 상류에서 하류로 흐를수록 2.2mg/l 정도 증가하였다. 상류부와 하류부의 TP와 TKN 농도는 유의성 있는 차이를 보이지 않았다.

* 강원대학교 농공학과

1. 서 론

우리나라의 河川과 湖水들은 과도한 영양분의 유입과 공업지대에서 배출되는 중금속 등에 의해 오염도가 점점 심화되고 있다. 공장지대가 거의 없고 농업과 임업이 주산업인 강원도 지역의 河川과 湖水도 富營養化 등으로 인하여 수질이 점차 저하되고 있다. 우리나라의 청정호수로 대표되던 소양호의 수질도 富營養化로 인해 2급수로 저하되었다(Kim 등, 1985a,b; 조규송 등, 1990; 김범철 등, 1988; 허우명 등, 1992; 허인량 등, 1993). 湖水의 富營養化에는 총질소와 총인의 농도가 중요한 역할을 하고 있다. 정부는 대도시의 상수원 보호를 위하여 팔당호와 대청호를 호수수질 특별대책지역으로 정하고 1996년까지 이들 湖水의 총질소와 총인의 농도를 각각 0.3mg/l 와 0.02mg/l 이하로 유지하는 계획을 설정하고 있다 (이상은, 1995). 오염된 湖水를 처리하기 위한 연구도 다방면에서 서로 상이한 방법을 이용하여 이루어지고 있다(배정옥 등, 1994; Cooke와 Kennedy, 1981; 김상종 등, 1994; 권순국 등, 1987, 1989). 이들 연구 보고서들은 하나같이 저수지 유역의 효율적인 관리 없이는 수질을 개선하려는 소기의 목적을 달성할 수 없다고 결론을 내리고 있는데 반하여 우리나라에서 유역의 관리와 수질에 관한 연구는 찾아 보기 힘들다. 河川이나 호수유역의 효율적인 관리를 위해서는 유역의 土地利用과 수질과의 관계가 이론과 실험을 통하여 정립되어야 한다.

농어촌지역에서 수질의 변화는 土壤, 降雨, 地質構造, 營農方法, 栽培作物, 農產物價格, 畜產現況, 住居形態, 教育水準 등 수없이 많은 인자들에 영향을 받기 때문에 단순히 토지의 이용과 汚染負荷 排出量을 정량적으로 분석함으로서 쉽게 기술할 수는 없다. 미국을 비롯한 환경 선진국들에서는 위에 열거한 인자들과 수질과의 관계를 구명하기 위한 많은 연구가 이루어졌다. 우리나라의 경우 농촌지역에서 土地利用과 수질과의 관계를 연구한 예는 극히 드물고 토양유실과 토지생산성과의 관계연구가 약간 있을 뿐이다. Jung 등(1985)은 20% 경사지 사질토양을 개간한 첫해에는 연간 약 209 MT /ha의 토양이 유실되며 토양이 안정되는 2~5년 사

이에는 112MT/ha의 토양이 유실된다고 보고하였다. 지표가 지표잔유물과 재배작물로 피복이 된 경우는 토양유실을 1MT/ha 이하로 줄일 수 있으며 작물재배 방법에 따라 토양유실량은 14~43MT/ha 까지 광범위하게 변하기 때문에 토양유실을 줄이기 위한 최적영농관리방법의 중요성을 강조하였다. 1989년 농촌진흥청의 자료에 따르면 옥수수 재배지 1ha당 지표면 유출에 의하여 15.5kg의 질소와 10kg의 인산이 유실되었으며 21.5MT/ha의 토양이 유실되었다. 또한 유실되는 토양(1MT)에 포함되어 있는 질소의 함량을 2~4kg으로 보면 토양유실과 함께 유실되는 질소의 양은 43~86 kg에 이르게 되어 경지에 투입되는 화학비료의 약 절반이 유실된다고 하였다. 토양보전을 위한 무경운 재배시는 토양유실량을 62% 줄일 수 있고 영양분의 손실도 32% 까지 줄일 수 있다 (Yoo와 Jung, 1992).

이상의 연구들은 지표수에 의한 단위면적당 토양유실량 산정에 국한되어 있고 유출량과 수질과의 관계 및 지하수 수질에 관하여는 기술되지 않고 있다. 河川 및 호수수계의 오염은 주변농경지로 부터 지표수 뿐만 아니라 지하수에 의한 질산성 질소와 같은 영양염류의 유입이 중요한 역할을 하고 있다. 전 국토의 70% 이상이 토수성이 크고 각종의 영양염류들을 地中에 흡착시킬 수 있는 점토함량이 작은 화강암 풍화토 등으로 이루어진 우리나라의 토질을 고려하여 볼 때 지표수 뿐만 아니라 지하수를 통한 오염물의 유입이 많을 것으로 예측이 되며 크고 작은 水系에 많은 영향을 주고 있다고 사료된다. 따라서 본 연구의 목적은 강원도의 대표적인 土地利用 형태인 放牧地와 목초를 재배하는 草地를 선정하고 이들 土地利用이 지표수 및 지하수의 수질에 미치는 영향을 구명하는데 있다. 본 연구의 결과는 최적영농관리방법의 개발, 수자원의 효율적인 보전을 위한 정책개발 및 교육홍보용으로 유용하게 사용될 수 있다.

2. 연구방법

강원도 춘천군 신북면 유포리에 소재하는 江原大學校 附設 農場과 牧場의 放牧地(Pasture) 1필지

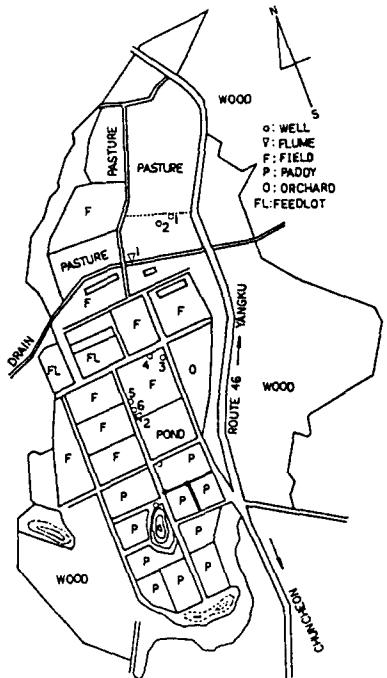


Fig. 1. Location Map of Flumes and Monitoring Wells

Table 1. Pasture Management and Fertilizer Application in 1993 and 1994

Date	Works	Remarks
93/3/6	Urea Application	200kg
3/25	Urea Application	200kg
4/8	Urea Application	150kg
5/20~23	Grass Harvest	
6/24~27	Grazing	35cows
6/27	Urea Application	150kg
7/28~8/2	Grazing	35cows
8/2	Urea Application	150kg
8/28~9/1	Grazing	35cows
9/29~10/3	Grazing	35cows
94/3/10	Urea Application	125kg
4/1	Urea Application	325kg
5/19	Grass Harvest	
5/20	Urea Application	325kg
6/20	Urea Application	225kg
7/8	Grass Harvest	

Table 2. Sudan Grass Field Management and Fertilizer Application in 1993 and 1994

Date	Works	Remarks
93/4/20	N.P.K application	150kg
	Fused and Superphosphate	200kg
	Potassium chloride	50kg
5/10~13	Winter wheat harvest	
5/13	Plow and disk	
5/15	Sudan grass harvest	
5/18	Urea application	150kg
6/4	Urea application	150kg
6/27	Trichlorfon application	1.5kg
7/22~23	Sudan grass harvest	
7/29	Urea application	150kg
9/6~7	Sudan grass harvest	
9/10	Plow and disk	
9/13	Winter wheat seeding	
94/3/8	Urea application	125kg
4/4	Urea application	75kg
5/10	Winter wheat seeding	
5/11	Sudan grass seeding	
7/18	Sudan grass harvest(1st)	
7/18	Urea application	
9/12	Sudan grass harvest(2nd)	
10/14	N.P.K application	75kg
10/14	Winter wheat seeding	

(약 3정보, 6 내지 10도 경사)와 草地(청예작물포, Sudan grass field) 1필지 (밭, 약 2,070평, 1 내지 3도 경사)를 연구대상 토지로 선정하였다. 연구대상 토지외의 토지이용은 논(Paddy), 동물사육장(Feedlot), 과수원(Orchard) 및 관리사 등이 있다(Fig. 1). 放牧地에서는 오차드그라스(*Dactylis Glomerata*), 알파파(*Medicago Sativa*), 티모시(*Phleum Repens*), 클로버(*Trifolium Repens*), 켄터키 블루그라스(*Poa Pratensis*) 등이 혼합되어 자라고 있으며 草地에서는 飼料作物로 수단그라스(*Sorghum Vulare var. Sudanense*)를 재배하고 있으며 겨울에는 胡麥을 파종하고 있다.耕耘, 施肥, 農藥撒布, 收穫 등의 管理方法은 農場과 牧場의 관행에 따랐으며 관리일지는 Table 1과 2에 나타냈다. 降雨 및 기타 氣象資料는 약 7km

Table 3. Average Monthly Precipitation and Temperature in Chuncheon Area between Jan. 1993 and Aug. 1994

Month	Precip. (mm)	Temp. (°C)	Month	Precip. (mm)	Temp. (°C)
93/1	10.0	-3.7	93/11	49.5	7.2
2	49.1	-0.2	12	13.0	-1.6
3	22.5	4.3	94/1	10.2	-2.8
4	83.5	10.4	2	4.6	-1.6
5	184.9	17.5	3	21.7	3.1
6	170.7	21.7	4	35.0	13.6
7	318.4	22.5	5	130.6	16.7
8	199.9	22.2	6	99.9	21.6
9	45.7	19.0	7	128.5	27.4
10	13.8	11.0	8	248.5	25.8

떨어진 春川測候所의 측정자료를 이용하였으며 1993년 1월부터 1994년 8월까지의 월평균강우량과 기온은 Table 3에 나타냈다. 地表流出量의 측정을 위해 放牧地와 草地의 排出口에 각 1개의 Flume을 제작하여 설치하였다. Flume에는 靜水井(Stilling Well)과 Richard型 수위측정기를 설치하여 유량을 측정하였다. 地下水位의 측정과 地下水의 水質試料 채취를 위해 放牧地에 2개 그리고 草地에 4개의 觀測井을 설치하였다(Fig. 1). 지표수 수질샘플은 상시 흐름이 존재하면 약 2주일 간격으로 채취하였고 상시 흐름이 없는 경우는 강우시 유출이 발생할 때 채취하였다. 지하수 수질샘플은 진공수질시료채취기를 제작하여 약 2주일 간격으로 채취하였다. 수질시료는 1993년 8월부터 1994년 8월까지 13개월간 채취되었다. 채취된試料는 즉시 Ice Box에 저장하여 강원도 보건환경연구원 수질조사과 분석실로 운반되어 硝酸鹽($\text{NO}_3\text{-N}$), 總磷(TP) 및 킬달질소(TKN)에 대하여 분석되었다. 分析方法은 환경부에서 제정한 수질공정시험법과 Standard methods for the examination of water and wastewater(1989)의 규정에 따랐다.

3. 결과 및 고찰

3.1 수문특성

1993년의 여름은 비가 많이 오고 氣溫이 낮아 벼를 비롯한 여러 農作物이 冷害를 입었고, 1994년은 8월만 제외하고는 93년도에 비해 강수량이 훨씬 적었으며, 또한 극심한 무더위로 연구대상 방목지 및 초지는 약간의 한해를 입었다. 放牧地에서 地表面 流出은 측정기간 동안 1회 (93년 8월 9일) 관측되었다. 나머지 降雨는 地下水를 통해 下流部의 대수층으로 배수가 되고 있고, 이중 일부분은 放牧地의 下端部에서 자연용출되어 배수로로 배출된다. 관측기간중 초지의 지표면 유출은 93년에 4회 측정되었으며 94년에도 2회 발생하였으나 심야에 발생하여 측정하지 못했다.

流域內의 地下水位 변동은 각 연구대상토지에 설치한 地下水 觀測井을 통하여 관측되었다. 草地의 上流部에서는 地下水位가 높아 93년 7월과 8월의 雨期에는 地下水位가 저지대의 地面까지 도달하기도 하였으며 乾期인 11월에는 약 70cm 정도 하강하였고, 94년 6월 20일에는 가뭄 때문에 지면하 1m 70cm 정도까지 하강하였다. 반면에 草地의 下流部에서는 雨期에도 地下水位는 地面下 약 1m 지점에 있었으며, 가뭄이 심할 때는 地下水位가 관측정 깊이 이하로 내려가기도 했다. 草地 上流部의 地下水位가 地面 가까이 있는 것은 이 지역이 구릉지를 절취하여 경지정리한 절토구간이며, 절토층이 지면하 약 2m 깊이에 존재하여 帶水層이 두껍지 못하기 때문이다. 반면에 下流部의 地下水位가 비교적 地面下 깊은 곳에 존재하는 이유는 과거 이 지역이 소양댐의 코어점토를 채취한 후 覆土한 지역이기 때문에 草地의 上流部와는 달리 절토층이 땅속깊이 존재하고 따라서 自由面 帶水層이 相對的으로 깊기 때문인 것으로 사료된다. 관측정 3번과 6번에서 측정한 지하수위의 변화는 Fig. 2에 나타났다. 관측정 사이의 수위차는 약 4 m 정도를 유지하였다. 주변의 지형과 다른 관측정의 수위를 고려하면 초지의 지하수는 3과 4번에서 5와 6번 관측정 방향으로 흐르는 것으로 생각된다. 放牧地에는 2개의 地下水位 관측시설이 설치되었다 (관측정 1과 2번). 雨期에는 2군데 모두에서 地下水가 관측이 되었으나 降雨가 중단되고 약 20일 후에는 관측정 1이 말라 얕은 地下水層에서 地下水가湧출되었음을 알 수 있었다. 관측정 2는 1이 마르고

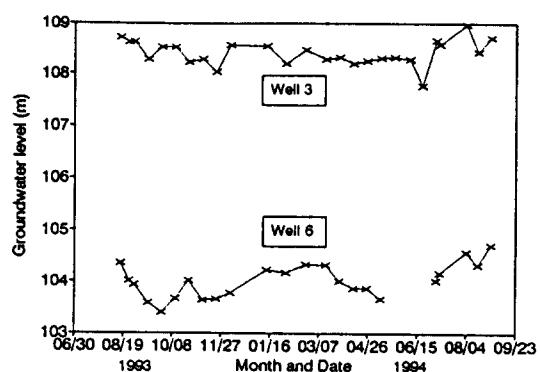


Fig. 2. Groundwater Level Fluctuation in a Sudan Grass Field

Table 4. Runoff and Water Quality from the Pasture (Flume 1)

Date	Flow rate (l/min)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l)	TP (mg/l)	TKN (mg/l)
93/7/29	250	3.056	0.191	0.470
8/2	60	2.062	0.123	0.157
	220	0.560	0.179	0.470
8/9	2,000	3.197	5.726	12.841
8/10	220	3.526	0.676	1.910
	115	0.241	0.245	0.658
8/13	462	0.632	0.463	0.626
8/16	250	3.962	0.216	0.157
8/24	60	2.570	0.038	0.125
8/30	8	1.824	0.215	0.628
Average		2.163	0.209	0.415
Std.		1.327	0.122	0.235

* Averages and standard deviations of TP and TKN were calculated without using the two highest measures of 8/9 and 8/10.

약 20일이 지난 후에 말라 관측정 2는 1보다 깊은地下水層에서 용출되고 있었음을 알 수 있었다.

3.2 放牧地의 流出과 地表 및 地下水 水質

放牧地 下端部(관측정 1과 2 부근)에서 나타나는 溢出水가 모여 地表流出을 이루었다. 따라서 雨期에는 지표유출이 계속되었으며 放牧地 出口에 설

치한 Flume 1에서 측정된 地表流出量은 地下湧出水量의 크기에 주로 지배되었다. 집중호우시를 제외한 평시의 유출량은 약 50~300 l/min 정도였고 暴雨時 地表面을 통한 直接流出이 발생하였을 때는 2,000 l/min 이상의 유출도 발생하였다 (Table 4). 그러나 乾期에는 地下水 湧出이 적어지며 地表流出量도 서서히 감소하여 우기가 끝난 후 약 30~40일 후에는 유출이 중지되었다. 방목지의 유출이 주로 지하용출수에 의존되었기 때문에 유출수의 수질은 비교적 변화가 적었다. 1994년도에는 방목지 하류부근의 교량공사 등으로 인하여 유출량 측정을 못하였다.

지표수 수질의 주요한 측정항목은 $\text{NO}_3\text{-N}$, TP 및 TKN이었으며 총부유물질(TSS)과 생물화학적 산소요구량(BOD)도 일부 측정되었다. TSS와 BOD의 농도는 2회 측정되었으며 TSS는 각각 4.3과 6.7 mg/l, 그리고 BOD는 각각 1.0과 0.9 mg/l 였다. 유출수의 거의 대부분이 放牧地 下端部에서 발생하는 지하용출수가 원인이 되어 유기물질을 비롯한 부유물질들이 토층에 의해 여과되었으며, Flume 1이 설치된 바로 전면에 직경 약 3m, 최대 수심 약 30cm 정도의 작은 웅덩이가 있어 작으나마 지표유출시 발생되는 부유물질들이 침전되기 때문에 TSS와 BOD가 크게 나타난 것으로 생각된다. 그러나 93년 8월 9일처럼 集中豪雨로 인한 直接地表流出量이 地下湧出水量보다 상대적으로 많아질 때는 TSS와 BOD의 농도도 상당히 증가될 것으로 예상된다.

측정기간중의 $\text{NO}_3\text{-N}$ (질산성질소 혹은 질산염) 농도는 0.241~3.962 mg/l의 분포를 보였다. $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도는 유출량의 크기에 관계없이 비교적 일정한 경향을 보였다. 放牧地에서 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 생성은 가축의 분뇨, 비료, 또는 지표식물의 잔유물 등이 분해되고 窒酸化作用(Nitrification)을 받아 생성된다. 방목지에서는 비료의 사용량과 잔유물이 상대적으로 작으므로 $\text{NO}_3\text{-N}$ 생성은 주로 방목되는 소의 분뇨에서 발생된다고 볼 수 있다. 한달에 약 25일 정도 32마리의 소를 주간에만 방목하였다. 따라서 한우의 1일 배설량 20kg 중에 약 70%를 방목시 배설한다고 가정하면 1일의 배설량은 448 kg이며 이중 질소와 인의 양은 각각 약 2.7kg과 1.

5kg 정도로 추정된다 (신항식 등, 1990). 유기물은 $\text{NO}_3\text{-N}$ 으로 전환된 후, 일부는 식물의 영양분으로 이용되고 남은 양이 침투하는 지표수와 함께 땅속으로 침투된다. 침투된 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 일부는 깊은 地下水層으로 침투되어 유역의 하류로 운반이 되며 얕은 地下水層에 존재하는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 放牧地 下端部에서 용출되는 지하수와 함께 용출되는 것으로 생각된다. 특히 放牧地의 토질은 굵은 호박돌을 포함하는 사질토이기 때문에 방목지 상부지역에서 발생되는 상당한量의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 하부지역으로 운반되는 동안 깊은 지하수층으로 이동하며, 하부지역에서 용출하는 지하수에 포함되어 있는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 주로 하부지역에서 생성되는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 에 의하여 보충되는 것으로 사료되어 지표수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 크지 않은 것으로 사료된다.

地表流出水의 TP농도는 유출수의 출처에 따라 많은 변화를 보이는 것으로 나타났다. 즉 유출수가 주로 방목지의 하단부에서 용출하는 지하수로 구성되어 있는 경우 TP의 농도는 0.038~0.463mg/의 분포로 비교적 안정된 농도를 유지하였다. 그러나 93년 8월 9일의 豪雨에 의한 地表面流出이 발생하여 유출량이 급격히 증가한 경우는 TP 농도가 5.726mg/로 측정되어 평상시의 TP 농도보다는 비교할 수 없을 정도로 높았다 (Table 4). 이는 지표에 잔류하던 가축분뇨 등이 지표면 유출수의 掘流力에 의해 운반되었기 때문인 것이다. 93년 8월 10일의 측정에서도 TP의 농도는 평시의 농도보다 크게 나타났는데, 이는 前日 발생한 지표면 유출시 운반된 有機質殘留物의 영향 때문인 것으로 사료된다. TP 농도가 0.01~0.1mg/만 되어도, 호수에서 富營養化를 촉진시키는데 충분하다(정필진과 이종범, 1991). 따라서 방목지 유출수의 TP 농도는 상당히 높아 隣近의 水系로 직접 유입된다면 水系에 富營養化를 유발할 수 있는 충분한 농도이다. 특히 호우로 지표면 유출이 발생하면 TP 농도는 급격히 증가하여 수계에 가해지는 인부하량도 급격히 증가한다. 수계에 땅이 건설되어 있다면 인부하는 호수에서 정체되어 호수의 부영양화에 많은 기여를 한다. 한두번의 豪雨만으로도 연간 TP 부하량의 70~80% 이상을 상회할 수 있어(김범철 등, 1992) 豪雨時의 TP 流出規制對策이 절실하게 요구된다.

구된다.

평상시 방목지에서 유출되는 TKN 농도는 0.125~0.658mg/ℓ로 비교적 안정되었다. 그러나 TKN도 TP 농도와 마찬가지로 豪雨時 지표면 흐름이 발생하고 유출수의 대부분이 지표면 흐름으로 구성될 때는 TKN의 농도가 12.841mg/ℓ에 달했다(Table 4). 이는 지표면 흐름의 掘流力에 의하여 지표에 残留하던 가축분뇨가 운반되어 TKN의 농도를 증가시키는 것으로 생각된다. 유출수에 포함되어 있는 有機物質은 결국은 分解되어 水中의 營養鹽濃度를 높이고, 富營養化를 촉진하기 때문에 TP의 경우와 같이 平常時의 유출보다는 지표면 흐름이 발생하는 豪雨時의 TKN 유출이汙染負荷量으로 볼 때 인근 수계의 수질에 더 큰 영향을 미치므로 豪雨時의 TKN 流出規制策을 수립해야 할 것이다.

地下掘鑿裝備의 부족으로 방목지에는 깊은 관측정을 설치하지 못하여 충분한 자료를 축적할 수 없었으나 얕은 지하수 수질의 기초적인 특성은 파악할 수 있었다(Table 5). 지하수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도는 관측정1의 93년 8월 24일과 94년 8월 29일 측정치를 제외하고는 지하수층의 깊고 얕은 층에 관계없이 비교적 일정한 농도를 보였다. 위의 두 측정치가 낮은 농도를 보인것은 관측정이 마르면서 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도도 낮아졌기 때문으로 생각된다. 방목지 지하수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 2.452~6.595mg/ℓ 범위로 유출수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도 2.163mg/ml 보다는 약간 높았다. 지표수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 지하수의 농도보다 작은 이유는 지하수가 용출되어 지표수 관측지점까지 흐르는 작은 수로들에는 많은 물이끼가 자라고 있었으므로 미생물과 물이끼 등에 의한 自淨作用에 의해 동화가 되었기 때문으로 사료된다. 얕은 지하수층과 조금 깊은 지하수층의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 비슷한 이유는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 陰이온이기 때문에 地中에 흡착이 안되므로 지표식물과 미생물의 영양분이나 혹은 脱窒酸化作用을 받아 질소개스로 공기중으로 방출이 되지 않는 한 지하수와 함께 깊은 지하수층으로 자유롭게 이동이 될 수 있기 때문이다.

放牧地에서 TP의 농도는 地下水層의 깊이에 따라 많은 차이가 있었다. 관측정 사이의 평균 TP

Table 5. Groundwater Quality in the Pasture.

Date	N03-N (mg/l)	TP (mg/l)	TKN (mg/l)
Well 1			
93/8/16	2.660	0.490	0.282
8/24	0.431	0.586	0.470
94/7/4	3.336	0.026	0.014
7/18	4.564	0.104	0.093
8/4	6.167	0.122	0.112
8/16	4.359	0.018	0.142
8/29	0.120	0.019	0.859
Average	3.091	0.195	0.424
Well 2			
93/8/16	4.744	0.014	0.094
8/24	2.778	0.057	0.031
8/30	2.452	0.043	0.125
94/7/4	6.595	0.048	0.014
Average	4.142	0.040	0.066

농도는 관측정1의 농도가 관측정2의 농도보다 약 5배 정도 높았다. 관측정1이 얕은 地下水에서 그리고 관측정2가 조금 깊은 地下水에서 용출되고 있음을 고려하여 볼 때, 유기물은 지하를 침투하면서 조밀한 토양조직에 걸려지고 무기인($\text{PO}_4\text{-P}$) 등은 토양입자에 흡착이 되어 지하로 깊이 내려갈 수록 또한 운반거리가 클수록 TP 농도가 작아짐을 의미하고 있다. 비슷한 경향은 TKN의 농도에서도 나타났다. 주로 수중의 有機窒素와 암모니아 질소의 함량을 나타내는 指數인 TKN 농도는 얕은 地下水(관측정1)에서 溢出되는 觀測井에서 $0.014\text{mg}/\ell$ 에서 $1.112\text{mg}/\ell$ 까지 검출되었다. 그러나 1994년 7월 4일 측정한 $0.014\text{mg}/\ell$ 는 94년 최초의 관측치로 대수층이 충분히 충진되지 못한 상태에서 지하수가 용출되어 관측정 주변의 지표유입수가 용출된 것으로 사료되고 따라서 TKN의 농도가 작은 것으로 생각된다. 94년에 1회만 측정할 수 있었던 관측정2에서도 TKN의 농도는 $0.014\text{mg}/\ell$ 로 관측정1과 같은 값을 보여 관측정1과 동일한 이유로 TKN 농도가 작은 것으로 생각된다. 이들 두 최소농도치를 제외하면 관측정1의 평균 TKN 농도는 $0.493\text{mg}/\ell$ 이고 관측정2의 농도는 $0.083\text{mg}/\ell$ 로 관측정1의 TKN 농도가 관측정2 보다 약

6배정도 높게 나타났다. 이는 有機 및 암모니아 窒素가 地中을 통과하는 동안 미세한 土壤組織에 의해 여과되고 흡착되기 때문이다. 따라서 TP와 TKN은 지하수를 따라 이동하면서 농도가 감소되고 있음을 보여주고 있고, 반면에 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 地下水層의 깊이에 관계없이 지하수와 함께 자유로이 이동되고 있음이 나타났다. 이와 같은 이유로 미국을 비롯한 많은 非點源 汚染에 관한 研究先進國에서는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 農業流域과 住居生活에서 발생하여 規制하기도 힘들고 處理하기도 어려운 汚染物質로 규정하고 특별한 관심을 가지고 연구하고 있다.

본 연구대상 放牧地는 토양이 사질토인 관계로 대부분의 降雨가 地下水를 통해 배출되어 $\text{NO}_3\text{-N}$ 를 제외한 기타 營養鹽類들과 유기물질들은 토양의 自淨作用에 의해 상당히 제거될 수 있어 주변 水系의 水質에는 영향이 비교적 작을 것으로 사료된다. 그러나 放牧地의 토양이 비교적 점토성분이 많은 토질이라면, 투수계수가 작아 작은 비에도 地表面流出이 많이 발생하게 되고 유출수의 掃流力에 의해 각종의 有機物質들과 營養鹽類들이 인근의 湖水나 水系로 운반된다. 오염물질들이 일단 水系로 유입이 되면 확산과 이동이 빠르며, 水中에서의 自淨作用은 토양에서의 自淨作用보다 비교될 수 없이 약해 오염의 범위가 넓어지고 오염물질의 제거에 막대한 자금과 시간이 소요된다. 특히 경사가 급한 지역에 조성한 방목지의 경우 지표면 유출수의 掫流力은 훨씬 크기 때문에 동일한 양의 降雨條件下에서도 더 많은 오염물질을 하류로 이송할 수 있다. 이들 오염물질들이 인근의 水系로 유입되기 전에 차단하는 기술의 개발이 절실히 필요하며, 또한 대형 목장의 방목지와 集團 飼育場으로부터 유출수를 규제할 수 있는 강력한 법적인 규제조치도 확립되어야 한다.

3.3 草地의 流出과 地表 및 地下水 水質

飼料作物栽培用 草地에서는 수단그라스를 재배하였다. 무성한 수단그라스 때문에 지표는 완전히 覆되어 빗방울의 충격에 의한 土壤의流失은 없는 것으로 사료되었다. 다만 中間 牧草收穫後에서부터 牧草가 어느 정도까지 성장하는 동안 약간의

지표가 露出이 되었으나, 수확시 殘留物이 많이 발생하여 약 60% 정도의 지표가 파복된 상태였다. 이와 같이 지표가 노출된 상태에서 豪雨時 발생하는 土壤流失은 멀리 운반되지 못하고 地表殘留物과 출뿌림으로 심은 수단그라스의 줄에 걸려지고 억류되어 土壤流失은 거의 발생하지 않았다. 그러나 草地의 규모가 커서 (약 6,843m²) 豪雨時에는 土地周邊으로 유출수의 집중이 일어나고, 이로 인하여 토지주변의 경사가 국지적으로 3° 이상 되는 지역과 유출수가 다양으로 집중되어 흐르는 지역에서는 작은 Rill Erosion의 흔적이 가끔 목격되었다. 초지의 토양은 점토가 많이 포함된 화강암 풍화토로 복토된 지역이어서 투수계수가 비교적 작았으며 유출도 방목지 보다는 많이 발생하였다. 강우강도가 작은 경우는 유출량이 작았으며 강우강도가 클수록 유출도 많아 93년 8월 9일의 호우시에는 流出量이 2,200 l/min에 달하였다(Table 6). 연구대상 초지의 경사가 평균으로 보면 1~2° 정도의 평지임을 고려하여 볼 때, 대부분의 초지나 밭이 이것보다는 경사가 심한 강원도 지역의 초지와 밭에서는 호우시 상당한 양의 토양유실이 발생할 것으로 사료되므로 이에 대한 연구와 대책이 절실히 요구된다. 土壤流失은 土壤流失 자체도 문제가 되지만 토양에 흡착되어 있다 토양유실과 함께 유실되는 각종의 유기물질, 資養鹽類, 그리고 殘留農藥 등에 의한 수자원의 오염으로 環境保存에 대한 경각심이 높아지면서 우리나라에서는 새롭게 부상하는 관심분야가 되었다. 이에 따라 農村振興廳에서도 비료와 농약의 권장사용량을 줄여 환경을 보호보전하기 위한 노력을 하고 있다.

초지 유출수의 NO₃-N 농도와 유출량과의 상관관계는 찾을 수 없었으며 농도의 변화는 비교적 크게 나타났다. 유출수의 TP 농도는 비교적 안정되어 있었으며 방목지의 경우와는 달리 유출량과 관계가 없는 것으로 나타났다. 유출수의 TKN 농도도 TP 농도와 동일한 경향을 보였다. 방목지의 경우 호우로 인하여 지표면 유출이 발생하면 지표에 잔류하던 축분이 쉽게 유실되어 높은 TP와 TKN 농도를 보였다. 그러나 초지의 경우는 지면이 1~2° 정도의 경사로 매우 평坦하고 대부분 풀밭과 줄기로 구성된 잔유물이 토양과 잘 결합되어 있어 호우

Table 6. Runoff and Its Quality from the Sudan Grass Field (Flume 2)

	Flow rate (l/min)	NO ₃ -N (mg/l)	TP (mg/l)	TKN (mg/l)
Date				
93/7/29	180	3.056	0.191	0.470
8/9	2,200	1.793	0.643	1.034
8/10	380	4.137	0.871	0.908
	68	2.174	0.614	1.660
8/13	300	0.550	0.674	0.971
Average		2.342	0.533	1.009
Std.		1.348	0.197	0.426

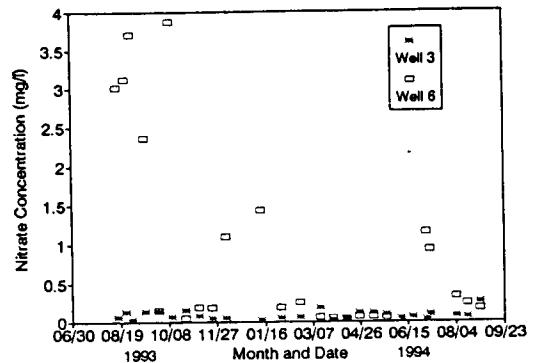


Fig. 3. NO₃-N Concentration Changes in Groundwater of a Sudan Grass Field

시에도 유실이 되지 않았기 때문이다.

草地에서의 地下水質은 4개의 관측정을 설치하여 시료를 채취하고 분석하였다. 3번과 4번 관측정은 草地의 地下水 흐름방향의 上流에 위치하고 5번과 6번 관측정은 下流에 설치되었다. 3번과 6번 관측정은 관측정이 마르지 않아 연중 관측이 가능하였고 4번과 5번 관측정은 우기에만 관측이 가능하였다. 그러나 94년의 봄 가뭄시에는 6번 관측정도 말라 두번 결측하였다. 3번과 6번 관측정의 NO₃-N 농도의 변화는 Fig. 3에 4번과 5번은 Table 7에 나타냈다.

상류부 관측정과 하류부 관측정의 NO₃-N 농도는 많은 차이를 보였다. 관측정 3번의 NO₃-N 농도는 평균이 0.083mg/l (표준편차 0.057mg/l)로 안정되어 있으나 6번의 NO₃-N 농도는 광범위

Table 7. $\text{NO}_3\text{-N}$ Concentration(mg/ℓ) Changes in Groundwater around the Sudan Grass Field

Date	Well 4	Well 5
93/8/16	0.282	3.582
8/24	0.312	1.836
8/30	1.083	2.100
94/7/4	0.316	dried
7/18	0.481	dried
8/4	0.931	6.253
8/16	0.425	7.240
8/29	0.363	3.560
Average	0.524	4.095
Std.	0.308	2.199

한 변화를 보였다. 강우가 많았고 서늘하였던 93년 여름에는 변화는 심하였으나 높은 농도를 보였고 강우가 작았고 무더웠던 94년 여름은 농도가 비교적 작았다. 비영농기인 겨울과 이른 봄철에는 상류와 하류사이의 차이가 작았다. Fig. 3에서 나타나듯이 93년 12월 6일과 94년 1월 12일 측정치가 각각 $1.101\text{mg}/\ell$ 와 $1.440\text{mg}/\ell$ 로 전후의 측정치보다 월등히 높게 나타났으나 이의 원인은 아직 밝혀지지 않고 있다. 두 관측정 사이의 농도를 비교하기 위하여 5% 유의수준에서 t-test를 실시하였던 바 영농기인 6월에서 10월 사이에는 유의성있는 차이를 보였으며 비영농기인 11월에서 5월 까지는 유의성있는 차이가 나타나지 않았다. 우기에만 측정된 Table 7의 관측정 4번과 5번 사이의 농도 차이는 더욱 크게 나타났다. 4번 관측정도 3번 관측정과 함께 초지의 상류에 위치하나 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 높은 것은 관측정 상부에 위치한 초지에 영향을 받기 때문인 것으로 생각된다. 5번과 6번 관측정도 5번이 6번보다 농도가 높았는데 이는 6번 관측정이 주변의 농업용 저수지의 수위에 어느 정도 영향을 받아 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 희석이 되었기 때문으로 사료된다. 이상으로 부터 초지의 얕은 지하수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 영농활동과 강우량에 의해 직접적인 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 관측기간 동안의 上流部와 下流部에서 질산성질소의 平均濃度 차이는 약 $2.6\text{mg}/\ell$ 정도였으며, 이를 地下水가 통과하는 거리로 환산하면 약 100 m당 $2.2\text{mg}/\ell$ 정도가 증가되는 것으로 나타났다. 강우가 많지 않았고 영농활동이 비교적 적은 호매파종 후 겨울동안의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 上流部와 下流部 사이에 차이가 거의 없었다. 이는 강우가 적어 地下水로 침투되는 침투량이 적어 침투수와 함께 지하수로 유실되는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 량이 작았고, 地下浸透量이 작아서 浸透速度가 느려지고 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 地層에 머무는 시간이 길어지므로 각종 微生物에 의한 동화가 증가되었으며, 根群域에 남아있던 剩餘 窒素成分이 호매에 의해 영양분으로 섭취되어 지하수와 함께 유출되는 절대량이 작았기 때문인 것으로 사료된다. 미국의 경우 호매과 같은 겨울작물(Winter Crop)의 재배가 耕作地의 土壤流失, 다짐과 함수비 등의 물리적 성질 및 각종 영양염류의 유출에 미치는 연구도 많이 이루어지고 있다(Choi 등, 1988, 1992).

草地 地下水의 TP 농도는 Fig. 4와 Table 8에 나타났다. 상류에 위치한 3과 4번 관측정의 TP 농도는 비교적 안정되어 있었으나 하류의 5와 6번 관측정의 농도는 심한 변화를 보였다. TP 농도의 변화는 강우가 많았고 서늘했던 93년 여름에 크게 나타났으며 강우가 적었고 무더웠던 94년 여름에는 작았다. 특히 94년 여름의 상하류 TP 농도는 거의 차이가 없었다. 6번 관측정에서 94년 1월 12일에 측정된 TP 농도는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도와 마찬가지로 전후의 농도보다 높은 값을 보였으며 관측정 4와 5의 경우 상하류 위치에 관계없이 93년 여름의 TP 농도가 94년 여름의 농도보다 다소 높은 경향을 보이고 있다. 이의 원인 구명을 위해서는 보다 체계적이고 장기간의 연구가 요망된다.

草地의 토양이 방목지의 토양보다는 점토성분을 많이 포함하고 있어 토양의 인산염 등 인산화합물의 흡착효율은 방목지의 사질토양보다는 클 것이라는 예측과는 달리 초지주변에서의 TP 농도는 방목지 2번 관측정의 TP 농도보다 크며 약 150m 떨어진 우물에서 측정한 농도보다 약 3배 정도나 높다. 이는 초지지역이 소양댐 건설시 쿄아점토를 절취하고 주변의 표토를 이용하여 복토를 한 지역이므로 복토시 유기물이 함께 복토되어 지하수로 서서히 침출이 되기 때문인 것으로 추정되나 정확한 원인을 알기 위하여는 보다 깊은 연구가 필요하다.

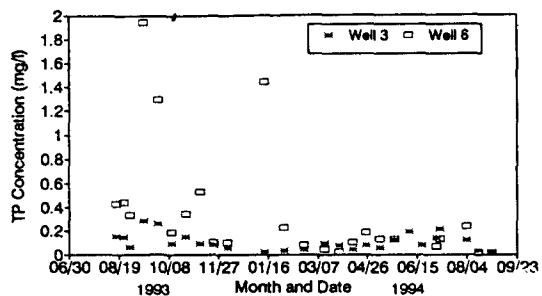


Fig. 4. TP Concentration Changes in Groundwater of a Sudan Grass Field

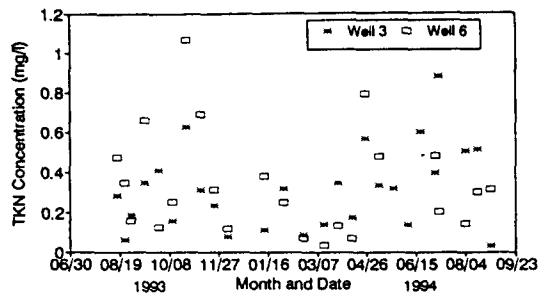


Fig. 5. TKN Concentration Changes in Groundwater of a Sudan Grass Field

Table 8. TP Concentration (mg/l) Changes in Groundwater around the Sudan Grass Field

Date	Well 4	Well 5
93/8/16	0.216	0.076
8/24	0.215	0.410
8/30	0.564	0.360
94/7/4	0.056	dried
7/18	0.411	dried
8/4	0.235	0.228
8/16	0.036	0.033
8/29	0.051	0.035
Average	0.223	0.190
Std.	0.174	0.168

草地周邊地下水의 TKN농도는 Fig. 5와 Table 9에 나타냈다. 초지의 상류부와 하류부 사이의 TKN 농도 차이는 앞서서 설명한 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이나 TP처럼 크지 않았다. 그러나 TKN의 농도는 측정시마다 많은 변화를 보였으며 지하수의 농도라기에는 상당히 크게 측정되었다. 이는 방목지 2번 관측정의 TKN 농도보다도 높은 값이며 초지에서 약 150m 정도 떨어진 우물에서 측정한 농도의 약 7배 정도나 높다. 초지의 경우 방목지 토질보다는 점토성분이 많이 포함되어 있어 토양조직이 조밀할 것으로 예측이 되어 TKN 농도는 방목지의 TKN 농도보다는 작을 것으로 예측되었다. 이는 초지가 복토를 한 지역으로 TP의 경우와 마찬가지로 복토

Table 9. TKN Concentration (mg/ml) Changes in Groundwater around the Sudan Grass Field

Date	Well 4	Well 5
93/8/16	0.517	0.470
8/24	0.063	0.063
8/30	0.595	0.407
94/7/4	0.057	dried
7/18	1.523	dried
8/4	0.215	0.495
8/16	0.141	0.314
8/29	1.160	0.251
Average	0.534	0.333
Std.	0.545	0.162

시의 유기물이 원인이 될 수도 있으나 깊은 연구가 필요하다.

4. 결 론

강원도의 대표적 토지이용인 방목지와 초지의 지표수 및 지하수의 수질 특성을 구명하기 위하여 1993년 8월부터 1994년 8월까지 강원대학교 농장과 목장에 시험포를 설치하고 수질을 관측하여 다음의 결론을 얻었다.

1. 호박돌이 포함된 사질토 방목지의 유출은 주로 지하수를 통한 유출이었으며 집중호우시 지표면 흐름이 발생하면 유출량 및 TP와 TKN의 농도

- 는 급격히 증가하였다. 방목지 유출수의 NO_3-N 농도는 $0.241\text{--}3.962\text{mg/l}$ 정도로 유출량과는 관계없이 비교적 일정하였다.
2. 방목지 지하수의 NO_3-N 의 농도는 관측정의 깊이에 관계없이 비교적 일정하였다.
 3. 방목지 지하수의 TP 농도는 깊은 곳에서 용출하는 지하수에서 낮았다.
 4. 방목지 지하수의 TKN 농도는 깊은 곳에서 용출하는 지하수에서 낮았다.
 5. 초지는 $1\text{--}2^\circ$ 의 경사로 평지이며 작물과 지표잔유물로 잘 피복되어 있어서 유출은 비교적 작았다. 유출수의 NO_3-N , TP 및 TKN 농도는 유출량에 관계없이 비교적 일정하였다.
 6. 초지 지하수의 NO_3-N 의 농도는 상류부보다 하류부의 농도가 높았으며 농도의 증가율은 100m 당 2.2mg/l 정도였다.
 7. 초지 지하수의 TP 농도는 상류에서는 비교적 일정하였으나 하류에서는 변화가 심하였다. 그러나 상류와 하류사이에서 유의성있는 농도의 차이는 나타나지 않았다.
 8. 초지 지하수의 TKN 농도는 모든 관측정에서 많은 변화를 보였으며 상류와 하류사이에 유의성있는 농도의 차이는 없었다.

참 고 문 헌

- 권순국, 유명진 (1987). “담수호의 환경오염 및 부영양화 방지대책 수립 (I).” 농림수산부, 농업진흥공사.
- 권순국, 유명진 (1989). “담수호의 환경오염 및 부영양화 방지대책 수립 (III).” 농림수산부, 농업진흥공사.
- 김범철, 안태석, 조규송 (1988). “한강수계 인공호의 부영양화에 관한 비교 연구.” 한국육수학회지, 제21권, 제3호, pp. 151-163.
- 김상종, 최중기, 안태영, 유근배, 이종호 (1994). “댐저수지 수질회복 기술개발에 관한 연구(3 차) 보고서.” 한국수자원공사.
- 배정옥, 김도한, 김홍겸 (1994). “대청댐 저수지 수질개선을 위한 인 불활성화에 관한 연구.” 한국수자원공사 수자원기술성과 발표문집, 한국수자원공사, pp. 417-426.
- 신항식, 구자공, 최용수, 박홍석, 김종오, 전황배, 정연구 (1990). “전국 축산분뇨 적정관리대책 연구.” 한국환경과학연구협의회.
- 이상은 (1995). “오 폐수의 질소·인 고도처리 기술.” 첨단환경기술, 제3권, 제1호, pp. 10-25.
- 조규송, 김범철, 안태석 (1990). “소양호 수중생태계의 인순환에 관한 연구.” 한국학술진흥재단.
- 정팔진, 이종범 (1991). 환경공학개론. 동화기술.
- 허우명, 김범철, 안태석, 이기종 (1992). “소양호 유역과 가두리로부터 인부하량 및 인수지.” 한국육수학회지, 제25권, pp. 207-214.
- 허인량, 이해금, 최규열, 박성빈 (1993). “소양호 COD의 연중, 계절적 변화 및 지역적 분포.” 한국수질보전학회지, 제9권, 제2호, pp. 93-97.
- Choi, J.D., Shirmohammadi, A., Ryu, N.H., and Choi, Y.H. (1992). “Effect of tillage on nonpoint source of surface and ground water system (I): Effect of tillage practices on density and saturation of soil.” *J. of KSAE (English Ed.)*, Vol. 34, pp. 1-11.
- Choi, J.D., Magette, W.L., Shirmohammadi, A., Mitchell, J.K., and Rawls, W. (1988). “Impact of tillage on selected soil physical properties.” Paper No. 88-2601, presented at the 1988 International Winter Meeting of the ASAE, Chicago, Illinois, USA.
- Cooke, G.D., and Kennedy, R.H. (1981). “Precipitation and inactivation of phosphorus as a lake restoration technique.” *EPA-600/3-81-012*.
- Jung, P.K., Ko, M.H., and Um, T.K. (1985). “Discussion of cropping management factor for estimating soil loss.” *J. Kor. Soc. Soil Fert.*, Vol. 18, pp. 7-13.
- Kim, B.C., Cho, K.S., and Ahn, T.S. (1985a). “Horizontal variation of primary productivity and environmental factors in the Lake Soyang.” *Kor. J. Limnol.*, Vol. 18, pp. 1-10.
- Kim, B.C., Shim, J.H., and Cho, K.S. (1985b). “Temporal and spatial variation of chlorophyll a concentration in Lake Soyang.” *J. Kor. Wat. Pollut. Res. Contr.*, Vol. 1, pp. 18-23.

Standard methods for the examination of water and wastewater (1989). 17th Ed., American Public Health Association, Washington D. C.
Yoo, S.H., and Jung, Y.S. (1992). "Soil management for sustainable agriculture in Korea."

Extension Bulletin 355, Food and Fertilizer Technology Center, Taiwan.

〈접수: 1995년 2월 14일〉