

산지에서의 환경보전형 농업을 위한 토양의 질 평가

- 모니터링 시스템의 구축과 기초자료의 수집 -

Soil Quality Assessment for Environmentally Sound Agriculture in the Mountainous Soils

- Installation of Monitoring System and Background Data Collection -

최 중 대 · 김 정 제* · 정 진 철**
Choi, Joong Dae · Kim, Jeong Je · Cheong, Jin Cheol

Summary

This study was initiated to build runoff plots, install soil and water quality monitoring systems and collect background data from the plots and neighboring soils as the 1st year study of a 5 year project to assess soil quality and develop the management practices for environmentally sound agriculture in mountainous soils. Eleven 3×15 m runoff plots and monitoring systems were installed at a field of National Alpine Agricultural Experiment Station to monitor soil quality and discharge of nonpoint source pollutants. Corn and potato were cultivated under different fertilizer, tillage and residue cover treatments. The soil has a single-layered cluster structure that has a relatively good hydrologic properties and can adsorb a large amount of nutrient. Concentrations of T-N, NH₄-N, and NO₃-N of surface soil sampled in the winter were relatively high. Runoff quality in the winter and thawing season in the spring was largely dependent on surface freezing, snow accumulation, temperature, surface thawing depth and so on. Runoff during the thawing season caused serious soil erosion but runoff quality during the winter was relatively good. Serious wind erosion from unprotected fields after the fall harvest were observed and best management practices to reduce the erosion need to be developed.

* 강원대학교 농업생명과학대학
** 농촌진흥청 고령지농업시험장

키워드 : 수질, 비점오염, 시험포, 모니터링 시스템,
고령지 농업, flume

I. 서 론

환경친화농업은 농업의 생산성은 유지하면서도 환경오염물질의 배출을 최소화하여 맑은 물과 푸른 숲으로 대표되는 자연자원을 보전하고 자연자원과 공존할 수 있는 농업을 의미한다. 자연환경과 공존할 수 있는 환경친화농업은 자연환경에 피해를 줄 수 있는 모든 오염물질의 유출, 즉 대기를 통한 유출, 지표유출수와 함께 발생하는 유출 및 지하로 침투되는 유출 등을 차단하거나 최소화하면서 농업의 생산성은 유지할 수 있는 농업을 의미한다. 따라서 농업소득을 위하여 자연이 훼손되거나 오염되어서도 안되며 자연을 보전하기 위하여 농업활동에 제약이 있어도 안된다. 이상의 두가지 목적을 동시에 달성하기 위해서는 자연의 생태계를 보호 보전할 수 있으며 농업의 생산성도 유지할 수 있는 우리나라의 실정에 합당한 최적영농방법이 개발되어야 한다. 미국, 네델란드, 독일 등의 환경선진국에서는 자연생태계와 농업이 공존할 수 있도록 영농방법의 개선, 자원관리의 최적화, 농촌의 전원풍경 및 자연생태계의 복원에 국가차원에서 막대한 연구비와 사업비를 투자하고 있다

자연환경을 보전하기 위하여는 비점오염물질의 생성, 운반 및 변화과정을 정확히 이해하여 농지로 부터 비점오염물질의 유출을 효율적으로 극소화할 수 있는 영농방법을 개발하여야 하고, 농업의 생산성을 유지하기 위하여는 토양의 물리적, 화학적 및 생물학적 質을 향상시켜야 한다¹⁾. 토양의 질 향상은 비료나 농약과 같은 화학영농자재의 사용을 최소화하면서도 농업의 생산성을 유지(저투입 지속적 농업)할 수 있어야 한다. 토양의 질을 향상시키고 비점오염물질의 배출을 최소화시키는 방법을 구명하기 위하여는 토양의 질 평가에 대한 국제적인 경향과 평가방법에 관한 광범위한 문헌고찰이 이루어지고 최소의 자료

로 질을 평가할 수 있는 평가기준과 방법이 정립되어야 하며 토양의 물리적, 화학적, 생물학적 특성 및 토양과 비점오염물질의 유실, 지표유출 및 지하수 흐름 등에 관한 종합적인 연구가 필요하다.

본 연구는 산지농경지에서 환경보전형 농업을 위한 토양의 질 평가와 최적영농기술을 개발하기 위한 5개년간의 연구중 제1차연도 연구로서 다음의 목적을 가지고 수행되었다. (1) 강원도 평창군 도암면에 소재하는 농촌진흥청 고령지 농업시험장에서 감자와 옥수수를 대상으로 한 시험포를 설치하고 실험처리를 하여 산지농경지 토양의 질 변화과정과 비점오염물질의 생성, 운반 및 변화과정을 통합적으로 관찰하고 자료를 수집할 수 있는 monitoring system을 설치한다. (2) 시험포와 주변의 토양 및 수질자료를 기초자료로 수집하고 분석한다. Monitoring system은 향후 4년 동안 시험포에서 유출되는 유출량, 비점원 오염량, 토양의 물리적, 화학적 및 생물학적 변화과정 등을 관측하기 위한 자료수집에 이용된다.

II. 재료 및 방법

1. 시험포의 선정 및 위치

산지농업을 대표할 수 있는 시험포를 선정하기 위하여 농촌진흥청 고령지 농업시험장을 비롯한 대관령 부근의 여타 국립시험장, 개인농가 등을 방문하며 현지를 답사하였다. 답사결과 시험포의 조성, 시설설치, 관리 및 운영과 현지 기관과의 협조관계가 원만히 이루어질 수 있는 고령지 농업시험장의 시험포장중한 곳(이하 대관령 시험포)을 선정하였다. 대관령 시험포의 크기는 장방형으로 가로 약 25m 세로 60m로 1,500m²(454평)이며 시험포의 경사($\tan\theta$)는 0.119(6.8°)에서 0.133(7.6°), 그리고 해발표고는 900m 전후로 고령지 산지 농경지의 특성을 지니고 있다. 대관령

시험포의 위치는 북위 37° 40' 25"와 동경 128° 45' 30" 부근으로 태백산맥의 능경봉(해발 1,123.1m) 줄기에 위치하여 있으며 영동고속도로 대관령 휴게소에서는 남쪽방향으로 약 1.2km 떨어져 있다.

대관령 시험포는 사방 2m 마다 표고를 측정하는 정밀수준측량을 실시하여 50cm 간격의 등고선을 그리고 등고선에 직각방향으로 시험포를 설치하고 번호를 부여하였다(Fig. 1). 시험포의 크기는 가로 3m, 세로 15m(45m², 혹은 13.6평)로 결정하였다. 등고선에 직각방향으로 시험포를 설치하는 이유는 강우시 지표유출이 1차원 흐름을 유지하여 가능한 흐름의 집중(concentrated flow)을 최대로 억제하고 지표면 흐름(overland flow)을 유도하여 유출을 측정하고 비점오염물질의 이동특성을 구명하기 위해서이다. 시험포는 감자용 5

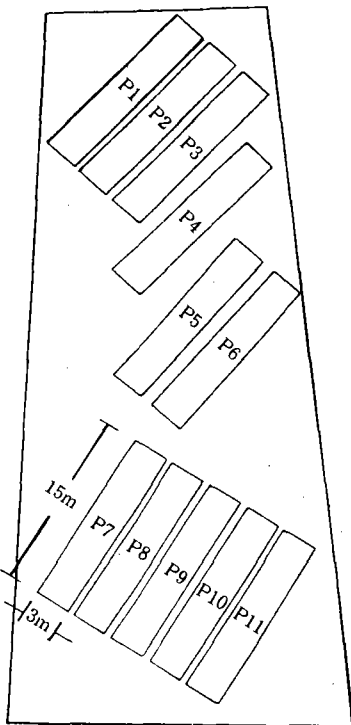


Fig. 1. Lay-out of runoff plots

개 그리고 옥수수용 6개로 총 11개가 설치되었다.

2. 시험포 지역의 토양 및 수문특성

시험포의 토양은 작은 자갈부터 큰 호박돌까지의 돌을 많이 포함하고 있는 압밀된 점토질 토양으로 해발 900m의 고산지대임에도 불구하고 토심이 1m 이상 되었다. 모든 시험포에서 근근역 이하의 토양은 위치에 따라 돌이 많고 적음의 차이는 있으나 기본적으로는 동일한 점토질 토양이었으며 표토층은 작물재배 여부에 따라 다소 차이를 보였다. Fig. 1의 시험포 하단부에서 상부를 보았을 때, 오른쪽 상부 지역은 새로 개간하고 작물재배가 없었던 산지토양으로 호박돌에서 부터 작은 돌까지 많은 돌이 포함되어 있고 유기물의 함량이 매우 적은 압밀된 점토질 토양이다. 압밀된 점토이므로 장마 등의 강우기에는 많은 유출이 발생할 것으로 예측되었다. 고령지 농업시험장에서 감자 등을 재배하던 나머지 시험포의 표토는 약 20~30cm 정도였으며 약간 검은색을 띠고 있었다. 돌의 함량은 오른쪽 상부지역 보다는 적었지만 그래도 상당히 많이 발견되었다. 투수성이 비교적 높은 표토 때문에 작은 강우시에는 유출이 작을 수 있으나 표토심이 작아 큰 강우가 있을 경우에는 많은 양의 유출이 있을 것으로 예상된다.

3. 시험포의 설치

시험포의 경계는 0.7mm 두께의 합석을 30cm 폭으로 절단하여 설치하였다. 폭 30cm의 경계합석의 15cm는 토양에 묻고 15cm는 지상으로 나오게 설치하였다. 따라서 시험포는 강우시 외부에서 침입할 수 있는 지하복류수(subsurface flow 혹은 interflow)와 지표수의 간섭을 받지 않고 시험포만의 유출을 측정할 수 있는 수문학적으로 독립된 공간을 유지할 수 있다. 다만 시험포의 하단은 30cm 폭

의 경계함석을 모두 지하로 묻어 지하의 복류수 형태로 유출되는 유출수량이 최소화되도록 하였다.

Gutter는 시험포에서 유출되는 유출수를 한데 모아 유량이 측정되는 flume으로 보내주는 역할을 한다. Gutter는 0.7mm 함석으로 공장에서 제작하고 현장으로 운반하여 설치하였다(Fig. 2). Gutter와 시험포 하단의 경계함석의 접합을 확실하게 하고 접합부에서의 누출을 방지하기 위하여 폭 30~40cm 그리고 깊이 15~20cm의 시멘트 모르타르 누수방지벽을 경계함석의 상류방향에 설치하고 시멘트 못으로 gutter를 누수방지벽에 고정하였다.

Flume은 gutter에서 수집된 유출수의 량을 측정하고 수질을 측정하기 위한 수질시료를 채취하기 위하여 설치한다. Flume은 두께 12mm 방수합판을 사용하여 제작하였으며 Fig. 2에 나타나 있다. Flume은 gutter 하단부에 폭 1.2m, 길이 2m, 그리고 깊이 1.2m의 구덩이를 파고 gutter에서 집수된 유출수를 손실없이 받을 수 있도록 Fig. 2와 같이 설치하였으며 구덩이의 측면은 브록(block)을 이용하여 벽을 쌓아 flume과 유출수 측정장비를 보호하였다.

유출량 측정은 수위계를 이용하여 flume을 흐르는 유출수의 수심을 측정한 후 이를 유량으로 환산한다. 대표시험포를 선정하여 4개의

수위계를 설치하였고 다른 시험포에서의 유출수심은 수질시료 채취시 인위적으로 측정하도록 하였다. 동절기의 유출량 측정은 수위계를 이용하여 측정할 수 없으므로 대용량을 plastic bucket을 사용하여 눈녹은 물의 유출량을 측정할 수 있도록 하였다. 시험포와 주변에서 유출되는 강우유출수를 배제하기 위하여 400mm와 200mm 플라스틱 주름배수관을 이용하여 약 200m의 지하배수로를 설치하였다.

설치가 완료된 flume의 수심과 유출량과의 관계를 나타내는 rating curve(수위-유량 곡선식)를 구하기 위하여 발전기, 양수기 및 급수차를 동원하여 calibration(flume 검정)을 실시하였으며 각 flume의 수위-유량곡선식은 Table-1에 나타냈다.

4. 시험포의 실험처리 및 작물재배

시험포의 실험처리는 비료의 종류, 경운방법, 그리고 지표피복방법으로 하였다. 비료의 종류는 화학비료, 유기비료 및 화학+유기비료 혼합 등 3처리, 경운방법은 등고선에 평행한 경운방법(contour tillage), 등고선에 직각 방향인 경운방법(up and down tillage) 및 무경운(no tillage) 등 3처리, 그리고 지표피복(surface residue cover)은 무피복, 60% 피복, 100% 피복 및 검은색 비닐멀칭 피복(피복율 80%) 등 4처리로 구분하였으며 처리내용은 Table-2에 나타냈다. 그러나 본 논문에서는 시험포의 구축과 기초자료의 수집에 중점을 두었으며 시험포 처리별 처리효과에 대한 분석은 이루어지지 않았다. 유기비료는 성분분석을 하여 질소(N)량을 기준으로 처리방법에 관계없이 동일한 양의 비료가 사용되도록 하였다.

작물재배는 시험포 조성관계로 1996년 5월부터 시작되었으며 옥수수과 감자의 파종 및 영농관리방법은 고려지 농업시험장의 표준재배기술과 주변 농업인들이 사용하는 관리방법

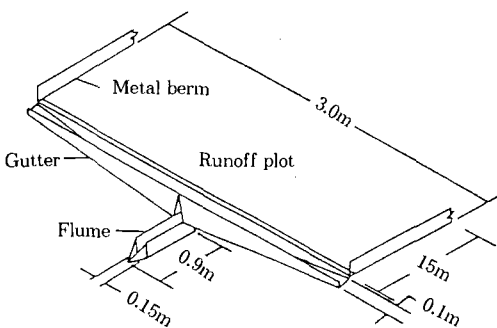


Fig. 2. Installation of gutter and flume

Table-1. Rating curves for the flumes

Flume No.	Flow-depth relationship	R ²
1	$Q=3.0555H+1.2608H^2$	0.9996
2	$Q=3.4344H+1.5999H^2-0.0422H^3$	0.9997
3	$Q=-2.2776H+1.706H^2$	0.9999
4	$Q=-3.1212H+1.6024H^2+0.0161H^3$	0.9992
5	$Q=3.9215H-0.5989H^2+0.1771H^3$	0.9971
6	$Q=8.9756H-2.2512H^2+0.4507H^3$	0.9966
7	$Q=4.8408H-1.0733H^2+0.2123H^3$	0.9996
8	$Q=2.8022H+1.5999H^2-0.0422H^3$	0.9996
9	$Q=2.0705H+1.2557H^2$	0.9951
10	$Q=5.1464H+1.0932H^2$	0.9930
11	$Q=-2.1092H+1.4634H^2$	0.9996

*unit : Q=flow rate (ℓ / min), H=flow depth(cm).

Table-2. Summarized experimental plot treatments

Ploy No.	Crop	Fertilizer	Tillage	Residue
1	Corn	Chemical	Contour	0%
2	Corn	Chemical+Organic	Contour	0%
3	Corn	Organic	Contour	0%
4	Corn	Chemical+Organic	No-till	100%
5	Corn	Chemical+Organic	Up and down	0%
6	Corn	Chemical	Contour	60%
7	Potato	Chemical	Contour	0%
8	Potato	Chemical+Organic	Contour	0%
9	Potato	Organic	Contour	0%
10	Potato	Chemical+Organic	Up and down	0%
11	Potato	Chemical+Organic	Contour	Black vinyl film mulching 80%

을 사용하고 있다. 비료의 사용량은 농촌진흥청의 권장사용량을 시비하였다.

5. 시료의 채취 및 분석

1995년 11월에 시험포장이 정비되고 끈이 어 눈이 내리고 토양이 결빙되어 유출이 없었다. 따라서 수질 및 토양시료의 채취는 1996년 2월의 온난한 때에 쌓였던 눈이 녹으면서 시작되었다. 기온이 올라 눈이 녹기는 해도

지표면이 얼어있고 지면 근처는 영하의 온도가 유지되므로 녹는 눈은 바로 유출로 이어지지 못하고 gutter와 flume에 얼어붙어 있는 경우가 많았으므로 수질시료의 채취가 쉽지 않았다. 제1차년도 동절기에는 배수로가 설치되지 않았기 때문에 시험포에 쌓여 있던 눈은 기온이 상승하면 서서히 녹아서 각 시험포의 하단부에 파놓은 웅덩이에 고였다가 서서히 지하로 침투하여 배수되었다. 96년 2월 29일과 3월 16일의 수질시료(1차시료)는 웅덩이에서 채취가 되었으며 3월 30일의 수질시료(2차시료)는 눈녹은 물이 흐르는 flume에서 시료를 채취하였다. 웅덩이에 고여있는 유출수에는 대관령 고산지대의 강한 바람에 날리는 부유사나 작은 유기물 입자와 같은 이물질이 혼합되기 때문에 직접유출수와는 수질분석치에 차이가 날 수 있다. 토양시료는 시험포 번호 3번과 10번에서 채취하였으나 시험포가 깊숙히 얼어 있었기 때문에 표토와 서릿발을 주로 채취하였다. 봄이 되면서 강우가 없어 수질 및 토양시료의 채취가 중단되었다. 제1차년도에 채취하고 분석한 수질 및 토양시료에 대한 샘플채취일 및 시험포의 상황은 Table-3와 같다.

III. 결과 및 고찰

토양시료의 분석결과는 Table-4에 나타났다. 점토질 토양의 구조결정에 중요한 역할을 하는 Ca, Mg 그리고 Na 농도분석에서 Na 농도는 작은 데 반하여 Ca와 Mg 농도가 높았다. Ca나 Mg 이온은 수화되지 않기 때문에 토립자에 흡착이 되어도 입자와 입자사이의 거리가 짧고 van der Waals 인력이 강하여 점토입자들은 작은 덩어리(flocs)를 이루며 이들 작은 덩어리가 다시 큰 덩어리를 이루는 단립구조(團粒構造)를 이루고 있으므로 점토질 토양으로는 수문학적 특성이 양호하여 토

Table-3. Sampling dates and runoff plot conditions

Date	Samples	Plot conditions	Weather
96. 2. 29	Water and soil	<ul style="list-style-type: none"> • Frozen, snow accumulation 20 cm • Drain pool had a little water 	Cloudy, -2~-3°C
96. 3. 16	Water and soil	<ul style="list-style-type: none"> • Frozen, snow accumulation 40cm • Drain pool was almost empty 	Clear; 4~5°C
96. 3. 30	Water and soil	<ul style="list-style-type: none"> • Surface thawing depth 0~1cm • Snow accumulation 0~15cm • 70% of the plots were snow-covered • Snow-melt runoff • Drain pool was full with runoff water • Temperature of runoff was 0.6°C • Heavy soil erosion due to runoff over • the frozen surface was observed 	Drizzle, 6°C

Table-4. Soil sample analysis results

Date & sample	96. 2. 29.		96. 3. 16.		96. 3. 30.	
	Top soil 1	Top soil 2	Top soil 1	Top soil 2	Top soil 1	Top soil 2
pH	4.57	4.58	5.25	5.11	5.25	5.17
EC(μ s/cm)	178.3	148.0	131.0	137.0	53.1	71.4
T-N(mg/kg)	1,456.3	1,078.8	3,130.0	3,070.0	2,200.0	2,260.0
NH ₄ -N(mg/kg)	67.45	67.45	310.16	140.98	1,113.70	155.08
NO ₃ -N(mg/kg)	63.94	404.55	1,099.64	126.88	28.96	14.10
Ava. P ₂ O ₅ (mg/kg)	8.16	4.04	238.13	384.36	461.96	409.82
OM(%)	5.32	4.22	4.24	4.52	4.55	4.54
Ca(cmol+/kg)	3.2	0.9	3.52	3.57	3.69	3.18
Mg(cmol+/kg)	0.57	0.16	0.35	0.48	0.29	0.22
K(cmol+/kg)	0.75	0.57	2.36	2.07	1.08	1.98
Na(cmol+/kg)	0.04	0.04	0.08	0.06	0.04	0.04
CEC(cmol+/kg)	15.78	11.57	12.88	12.68	11.63	11.96
Fe(mg/kg)	500	600				
Mn(mg/kg)	73.68	73.68				
Zn(mg/kg)	21.13	21.13				

*Blanks were not analyzed.

양침투량이 비교적 많고 영양염의 흡착능이 좋아 작물생산에 비교적 좋은 토양조건을 지니고 있다.

표토의 총질소(T-N), 암모니아성 질소(NH₄-N) 그리고 질산성 질소(NO₃-N)의 농도는 비교적 높게 나타났다. 총질소의 농도는 1,078.8~3,130.0mg/kg, 암모니아성 질소는 67.45~1,113.70mg/kg, 그리고 질산성 질소는 14.10

~1,099.64mg/kg의 범위에 있었으며 시료별로 심한 차이를 보이고 있다. 표토에서 토양시료를 채취할 때 유기물 등이 혼입되었기 때문에 질소화합물의 농도가 높고 변화가 크게 나타난 것으로 생각된다. 유기물의 함량과 pH는 각각 4.22~5.32%와 4.57~5.25의 범위로 비교적 편차가 작았다.

동절기의 수질시료는 채취가 가능한 시험포

에서만 채취를 할 수 있었고 시료의 양도 충분하지 못한 경우가 많아 제한된 부분에 한하여 분석을 하였다. 수질분석결과는 Table-5에 요약되었다. 6번과 9번 시험포에서는 수질시료채취를 못하였다. 동절기에 채취된 수질시료의 pH 범위는 5.07~6.95로 대부분 6에서 7사이로 약한 산성을 띄는 것으로 측정이 되었으며 시료사이의 차이는 크지 않았다.

전기전도도(EC)는 11.80~150.60 μ s/cm로 시료에 따라 많은 변화를 보였다. 1차시료의 전기전도도가 2차시료의 전기전도도 보다 비교적 높게 나타났다. 이는 고산지대의 강한 바람으로 유사나 기타 작은 이물질들이 혼입되기 때문인 것으로 사료되며 따라서 고산지

대의 밭은 풍식의 방지와 수질보전차원에서 추수후의 토양관리의 필요성을 나타내 주고 있다.

총질소의 농도는 1차와 2차 시료사이에 현격한 농도의 차이를 보였다. 1차시료의 총질소 농도는 3.24~8.63mg/l로 높은 데 비하여 2차시료의 총질소 농도는 8번 시험포를 제외하고는 1.69~3.26mg/l로 비교적 낮은 농도를 보였다. 8번 시험포의 수질시료는 flume에서 시료를 채취할 수 없어 웅덩이에서 채취를 하였기 때문에 총질소의 농도가 높게 나타난 것으로 생각된다. 따라서 고산지대의 눈이 녹아 내리는 유출수의 TN농도는 1.5~3.5mg/l 정도로 예측할 수 있다. 그러나 본 수질시료는

Table-5. Runoff sample analysis results

Plot No.		1	2	3	4	5	7	8	10	11
Analysis	Date									
pH	96.2.29			5.16						
	96.3.16		5.51	6.13	6.46	66.1		6.95	6.39	
	96.3.30	6.36	6.12	5.85	6.17	6.27	6.44	6.01	6.13	5.07
EC (μ s/cm)	96.2.29			11.80						
	96.3.16		64.00	28.93	42.40	36.60		64.70	150.60	
	96.3.30	33.30	22.12	15.78	28.67	19.99	20.74	37.10	14.56	80.80
T-N (mg/l)	96.2.29			4.05						
	96.3.16		4.32	3.24	5.39	4.32		4.32	8.63	
	96.3.30	1.69	2.26	1.69	3.26	2.82	1.69	4.51	2.26	2.26
NH ₄ -N (mg/l)	96.2.29			0.26						
	96.3.16		0.86	0.81	0.98	0.91		1.47	1.10	
	96.3.30	0.57	0.52	0.39	0.39	0.40	0.64	0.85	0.36	0.50
NO ₃ -N (mg/l)	96.2.29			0.08						
	96.3.16		2.22	1.08	1.27	0.46		2.77	7.21	
	96.3.30	1.31	1.23	0.89	1.80	1.08	1.09	2.00	0.85	5.00
T-P (mg/l)	96.2.29			0.34						
	96.3.16		0.05	0.84	0.42	0.74		1.05	1.60	
	96.3.30	2.26	1.92	1.02	1.00	1.96	1.07	0.36	0.80	2.21
PO ₄ -P (mg/l)	96.3.16		0.00	0.02	0.02	0.03		0.02	0.02	
	96.3.30	0.06	0.06	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00
SS (mg/l)	96.3.16		50.0	51.0	315.0	71.0		162.0	320.0	
	96.3.30	124.0	24.0	1.0	12.0	2.5	1.0	92.0	14.5	15.5

* Samples from plot no. 6 and 9 were not collected and analyzed

** Blanks were not analyzed

토양유실이 발생하지 않은 순수한 눈 녹은 유출수의 경우이고 토양유실을 동반하는 경우에는 적용되지 않는다. 암모니아성 질소(NH₄-N)의 농도도 총질소의 농도변화와 같은 변화를 보였다. 2차시료의 암모니아성 질소의 농도는 1차시료 농도 보다 평균 2.17배 높게 나타났다. 1차시료의 평균 암모니아성 질소의 농도는 1.02mg/l였고 2차시료의 농도는 0.39~0.85mg/l(평균 0.47mg/l)였다. 암모니아성 질소에 대한 우리나라의 음용수 기준인 0.5mg/l와 비슷한 수준으로 나타났다. 질산성 질소(NO₃-N)의 평균농도는 1차시료에서 1.56mg/l 그리고 2차시료에서 1.28mg/l로 암모니아성 질소의 농도보다는 높았다. 이는 유기물이 분해되고 암모니아성 질소도 질화반응을 받아 질소화합물의 안정된 형태인 질산염(nitrate)으로 변환되기 때문인 것으로 생각된다.

총인(T-P)과 PO₄-P의 농도는 질소화합물과는 다른 양상을 보이고 있다. T-P의 평균농도는 1차시료에서 0.7mg/l였고 2차시료에서 1.45mg/l로 시험포에서 유출되어 웅덩이에 고여있던 유출수 보다는 시험포에서 직접 유출되는 유출수의 평균농도가 2배 이상 높게 나타났다. PO₄-P의 농도는 1차시료에서는 0.00~0.03mg/l, 그리고 2차시료에서 0.04~0.06mg/l로 T-P 농도에 비해서는 작은 농도를 보였으나 1차시료 보다 2차시료에서 높은 농도를 보였다. T-P와 PO₄-P의 농도가 2차시료에서 높게 측정되는 원인에 대해서는 보다 많은 연구가 필요하다.

부유물질(SS)의 농도는 1차시료와 2차시료

사이에 현격한 차이를 보이고 있다. 시험포에서 유출이 되어 웅덩이에 고여있던 1차시료에서는 50.0~320mg/l까지 광범위하게 변하나 시험포에서 직접유출되는 2차시료에서는 1.0~124.0mg/l로 비교적 작은 농도를 보였다. 본 유출시료의 채집은 폭 3m, 길이 15m인 작은 시험포 하단에서 측정되는 수질시료로 유출량이 작아 토양유실이 거의 발생하지 않았고 따라서 부유물질의 농도가 작게 측정되었다. 그러나 시험포 주변의 경작지(밭)에서는 상당한 량의 유출과 함께 많은 토양이 유실되는 것이 관측되었기 때문에 해빙기 고산지대의 토양관리의 중요성을 잘 나타내고 있다. 특히, 지표면의 1-2cm 정도만 녹아 있는 상태에서 유출이 발생하므로 지하수 침투가 없기 때문에 유출량이 많고 또한 토양유실량도 상당히 많은 것으로 관측되었다.

시험포에 쌓여있던 눈의 수질특성을 분석한 결과와 시험포 주변의 하천에서 채취한 수질시료의 분석결과는 Table-6에 요약되었다. 시료로 채취한 눈을 녹인 후 측정된 pH는 5.43과 5.78로 약산성이었다. 전기전도도(EC)는 지표에 쌓인 눈에 주변에서 얼마나 많은 이물질이 바람을 타고 혼입되었는지에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다. 채취한 시료에 혼합물이 많을 경우 전기전도도와 부유물질(SS)의 농도가 상승하였다. 총질소, 암모니아성 질소 및 질산성 질소의 농도도 바람을 타고 혼입되는 이물질의 혼입정도에 따라 다르며 해빙시에는 눈녹는 유출수와 함께 유출이 되기 때문에 수질을 악화시킨다. 본 시료는

Table-6. Snow sample and nearby stream water quality analysis results

Analyzed item	Sample date	pH	EC (μs/cm)	SS (mg/l)	TN (mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	TP (mg/l)	PO ₄ -P (mg/l)
Snow	96.2.29	5.43	6.6		2.70	0.34	0.12	0.27	
Snow	96.3.16	5.78	26.9	12.5	5.39	0.88	0.88	1.01	0.03
Stream	96.3.30	6.42	31.6	0.5	1.69	0.20	1.22	0.80	0.04

쌓여있는 눈 중에서 비교적 깨끗한 부분에서 채취된 것으로 총질소와 암모니아성 질소의 농도는 높게 측정된 반면 질산성 질소의 농도는 상대적으로 낮게 측정되었다. 3월 16일 측정된 눈과 시험포 유출수의 암모니아성 질소 농도는 서로 비슷하였고 질산성 질소의 농도는 시험포 유출수의 농도가 눈의 농도보다 대부분 상당히 높게 나타났다. 따라서 암모니아성 질소의 경우 눈 녹은 유출수가 시험포를 통과하는 동안 농도의 변화가 작아 시험포에서 암모니아성 질소의 용탈은 작거나 없는 것으로 생각할 수 있다. 그러나 질산성 질소의 경우는 눈 녹은 물의 농도보다 시험포 유출수의 농도가 높아 유출수가 시험포를 통과하는 동안 시험포 토양에 잔류하던 질산성 질소가 유출되는 것으로 생각할 수 있다. 총인과 PO_4 -P의 경우는 눈 녹은 물이나 시험포 유출수나 농도가 비슷하여 토양유실이 발생되지 않는 한 시험포에서는 총인과 PO_4 -P의 유출은 미미한 것으로 사료된다. 대관령 지역은 청정지역으로 알려져 있으나 겨울철에는 강한 바람의 영향으로 많은 먼지가 발생하며 농경지에서는 바람에 의한 토양유실(풍식)이 심각한 것으로 관측되었기 때문에 고산지대에 쌓인 눈도 적설기간에 따라 또한 위치에 따라 다양한 양의 이물질이 혼합되고 이들 눈이 녹을 때는 혼입되었던 물질들이 수질에 많은 영향을 줄 수 있다는 것이 입증되고 있다.

3월 16일은 온도가 높아서 그 동안 쌓였던 눈이 많이 녹아내리는 시기였기 때문에 시험포 주변의 하천은 수량이 풍부하였다. 시험포와 주변의 밭에서 상당히 많은 유출수가 발생하였고 지표만 얇게 녹으면서 포화된 느슨한 토양의 유실이 심하여 엄청난 양의 유사가 발생되었다. 경사지 밭에서 발생된 유출수와 유사는 하천으로 유입되기 전에 약 20~40m의 하천변 수림을 통과하여 하천으로 유입하였다. 유출수에 포함된 유사와 기타 오염물질들

은 하천변 수림을 통과하는 동안 많이 정화되어 있었다. 하천에서 채취한 수질시료의 pH는 6.42로 눈의 pH 보다는 다소 높았으며 전기전도도는 31.60s/cm 그리고 부유물질의 농도도 0.50mg/l로 매우 청정하였다. 총질소, 암모니아성 질소, 질산성 질소 및 총인의 농도는 각각 1.69, 0.20, 1.22 및 0.80mg/l로 시험포 유출수의 수질보다는 작거나 비슷한 수준을 유지하였다. 총인과 PO_4 -P의 농도도 시험포 유출수의 수질과 비슷하였다. 하천변 수림에서 정화작용을 많이 받아 경지유출수의 수질보다는 많이 개선되었지만 미국 Florida 지역 천연초지(natural range) 유출수의 총인의 평균농도 0.18mg/l(Gornak, 1996)와 비교하면 대관령 계곡의 총인농도 0.80mg/l는 상당히 높은 편이다. 이는 산지와 경사지 농지로부터 많은 양의 눈 녹은 유출수가 유입되기 때문인 것으로 생각된다. 시험포가 동결되어 있는 상태에서 발생하는 유출수의 수질은 비교적 양호한 것으로 나타나고 있으나 해빙기의 표토가 약간 녹게되는 상태에서 발생하는 유출은 상당한 양의 토양유실을 수반하기 때문에 수질이 매우 악화되는 것으로 나타났다.

IV. 요약

산지농경지에서 환경보전형 농업을 위한 토양의 질 평가와 최적영농기술을 개발하기 위한 5개년간의 연구중 제1차년도 연구로 토양의 질 변화와 비점오염물질의 이동을 관측하기 위한 monitoring system을 구축하고 토양 및 수질에 관한 기초자료를 수집하기 위한 연구에서 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 농촌진흥청 고령지 농업시험장의 한 시험포장에 토양의 질 변화와 비점오염물질의 이동을 관측하기 위한 3×15m 크기의 시험포 11개와 유출수 관측시설을 설치하였다.
2. 시험포 토양은 단립구조(團粒構造)의 점

토질 토양으로는 수문학적 특성이 양호하여 우수의 토양침투량이 비교적 높고 영양염의 흡착능이 좋아 작물생산에 비교적 좋은 토양 조건을 지니고 있다. 겨울에 측정 한 표토의 질소화합물의 농도는 비교적 높아 T-N의 농도는 1,078.8~3,130.0mg/kg, NH₄-N은 67.45~1,113.70mg/kg, 그리고 NO₃-N은 14.10~1,099.64mg/kg 였으며 시료별로 많은 차이를 보였다. 유기물의 함량과 pH는 각각 4.22~5.32%와 4.57~5.25의 범위로 비교적 편차가 작았다.

3. 동절기 유출수의 수질은 적설량, 온도, 눈 녹는 양에 따른 유출량, 배수로 웅덩이에 의 지체시간 등에 따라 많은 차이를 보였다. 동절기에 시험포 유출수의 수질은 pH 5.07~6.95, 전기전도도(EC) 11.80~150.60 μ s/cm 였다. 총질소의 농도는 1.69~8.63mg/l, 암모니아성 질소는 0.26~1.47mg/l, 그리고 질산성 질소는 0.08~7.21mg/l 였다. 총인의 농도는 0.05~2.26mg/l, 인산염(PO₄-P)은 0.0~0.06mg/l, 그리고 부유물질은 1.0~320.0mg/l 였다. 질소화합물의 농도는 시험포에서 직접 유출되는 유출수에서의 농도가 웅덩이에 고여 있던 유출수보다 낮았으나 인화합물의 경우는 반대의 경향을 나타냈다. 상기한 농도는 동절기 시험포의 유출량이 작고 토양유실이 일어나지 않는 상태에서의 수질이므로 이는 해빙기에 많은 토양유실을 동반하는 유출수의 수질과는 상당한 차이가 있을 수 있다.

4. 시험포에 쌓여있는 눈의 수질은 바람에 의한 불순물의 혼입정도에 따라 차이가 있는 것으로 관측되었다. 눈의 수질은 pH 5.43~5.78, EC 6.6~26.9 μ s/cm, TN 2.70~5.39mg/l, NH₄-N 0.34~0.88mg/l, NO₅-N 0.12~0.88mg/l, T-P 0.27~1.01mg/l 였다. 해빙기 시험포 주변 하천의 수질은 pH 6.42, EC 31.6 μ s/cm, TN 1.69mg/l, NH₄-N 0.20mg/l, NO₃-N 1.22mg/l, T-P 0.80mg/l로 나타났다.

본 연구는 1995년도 교육부 학술연구 조성비(농학:농-95-18)에 의하여 연구 되었음

참 고 문 헌

1. 농업기술연구소. 1983. 한국토양총설
2. Davis, R. L. 1993. Evaluating and Designing Riparian Corridors for Water Quality. Integrated Resource Management and Landscape Modification for Environmental Protection, Proceedings of the International Symposium. ASAE Publication 13-93. American Society of Agricultural Engineers, 2950 Niles Rd., St. Joseph, MI 49085, USA.
3. Doran, J., 1996. The International Situation and Criteria for Indicators, In : Soil Quality Indicators for Sustainable Agriculture in New Zealand : Proceedings of a Workshop, K. C. Cameron, I. S. Cornforth, R. G. McLaren, M. H. Beare, L. R. Basher, A. K. Metherell and L. E. Kerr (eds.), Lincoln Soil Quality Resesarch Center, Lincoln University, New Zealand.
4. Federal Ministry for the Environment. 1992. Environmental Protection in Germany. Public Relations Division. Bonn, Germany. 40p.
5. Flippo, H. N. and D. R. Jackson. 1993. A Bibliograhpy of Selected Nonpoint Source Literature. Susquehanna River Basin Commission. Publication No. 148. 1721 N. Front Street, Harrisburg, PA 17102, USA.
6. Gale, J. A. et al. 1993. Evaluation of the Experimental Rural Clean Water Pro-

- gram (RCWP). National Water Quality Evaluation Project, NCSU Water Quality Group, Biological and Agricultural Engineering Department, North Carolina Cooperative Extension Service, North Carolina State University, Raleigh, NC 27695, USA. 558p.
7. Gornak, S. I., 1996. Computer Modeling tracks Runoff, Resource Nov. 1996, pp. 9-10, ASAE, 2950 Niles Rd., St. Joseph, MI 49085, USA.
 8. Larson, W. E. and F. J. Pierce, 1994. The Dynamics of Soil Quality as a Measure of Sustainable Management, In : Defining Soil Quality for a Sustainable Environment, J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek and B. A. Stewart (eds.), Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 35. Madison, WI, USA. pp. 37-51.
 9. Ministry of Agriculture, Nature Management and Fisheries. 1990. Nature Policy Plan of the Netherlands. The Hague, The Netherlands. 103p.
 10. Tuttle, R. W. and R. L. Gray. 1993. Wetland Restoration/Landscape Ecology - Lessons Learned in Germany and the Netherlands. Integrated Resource Management and Landscape Modification for Environmental Protection, Proceedings of the International Symposium. ASAE Publication 13-93. American Society of Agricultural Engineers, 2950 Niles Rd., St. Joseph, MI 49085, USA.
 11. U. S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. 1992. Engineering Field Book, Chapter 13, Wetland Restoration, Enhancement or Creation. 79p.
- (접수일자 : 1996년 12월 28일)