GOVP1199801250

최 종
연구보고서

환경농업의 현장애로 기술개발

Development of Technology for Environmental Agriculture

연구기관

서울대학교 농업생명과학대학

농 림 부

편집순서 2

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 " 현장애로에 관한 연구" 과제 (세부과제 "환경농업의 현장애로 기술개발에 관한 연구")의 최종 보고서로 제출합니다.

1997. 11. 30

주관연구기관명: 서울대 농업생명과학대학
총괄연구책임자: 류 순 호
연 구 원: 박 승 우
연 구 원: 이 호 진
연 구 원: 이 준 호
연 구 원: 이 경 준
연 구 원: 최 홍 림
협동연구기관명: 전북대 농업개발연구소
협동연구책임자: 최 경 구
협동연구기관명: 경북대 농업개발연구소
협동연구책임자: 이 시 민
협동연구기관명: 충북대 농업개발연구소
협동연구책임자: 정 승 근
협동연구기관명: 충남대 농업개발연구소
협동연구책임자: 이 규 승

편집순서 3

요　　　약　　　문

Ⅰ. 제　목

환경농업의 현장애로 기술개발에 관한 연구

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 중요성

우리나라 농업은 다수확형 농업의 생태계파괴와 농산물 안전성 위협에서 이를 극복하는 최선의 방향으로 환경보전형 농업으로 전환해야하며, 저투입 지속농업으로 GR(Green Round)에 대응해야 한다. 이러한 목표를 달성하기 위해서는 종합적, 학제적, 현장 중심의 기술개발과 보급이 이루어져야 한다.

환경농업기술의 개발은 국제적 경쟁력을 갖춘 농업을 위한 적극적인 대안으로 받아들여져야 하며, 환경농업기술의 정착은 환경의 안전성과 생활환경의 개선이라는 금전적으로 계산하기 어려운 엄청난 경제적 효과를 보일 것이다.

또한, 환경농업기술의 보급은 안전하고 고품질인 농산물의 농산물의 시장 경쟁력을 높일것이며, 지속농업 기술은 본질적으로 생태계 친화형 기술이기 때문에 자연환경보전에 공헌할 것이다.

이러한 환경농업기술의 국내현황은 초보적 단계에 머물고 있고, 체계적이라기 보다는 아직은 개인적인 관심수준에 머물고 있고, 유기농법이 유일한 환경농업기술로 오도되기도 하고, 유기농법기술 또한 과학적으로 검증되지 않은채 비정상적이고, 불투명한 방향으로 전달되기도 하는가 하면, 병해충관리 기술의 체계적인 운영없이 진행되는 경우도 적지 않은 현실이다. 국외기술현황은 미국에서는 지속농업이, 물론 아직도 연구

가 진행 중이지만, 일부는 연구개발단계를 거쳐 실정법(Farm Bill)에 의해 농장에 직접 적용단계에 있으며, 지속농업으로 인한 생산성 증가와 소득증대효과를 얻는 현실성있는 체계로 굳어지고 있다.

따라서 본 연구는 3개년(1994-1996)동안 당면한 우리 농업의 문제점을 파악하고 지속농업의 방향을 우리나라의 상황에 맞게 바로 잡아 이를 정착시키는 것을 목적으로 하여 이를 달성을 위한 현장중심의 종합적이고 학제적인 연구를 수행하였다.

III. 연구개발 내용 및 범위

현장애로 기술개발을 위한 연구는 크게 4가지 분야로 나누었고, 각 분야별로 세부 추진과제가 목표로 제시되었으며, 분야내, 분야간에 공동으로 연구가 수행되었다.

1. 영농/작목 기술개발

가. 저투입 작물생산 기술개발

본 연구에서 농민의 기존 논을 활용하여 관행의 벼재배법과 저투입 지속성 재배시험구 (LISA구)를 설치하고 국내 벼재배에 저투입 지속성 재배법을 도입할수 있는지 확인하려는 실증시험 3년간 실시하였다. 저투입 지속성구는 관행구 질소 시비량의 50%, 농약시용량의 1/3만을 투입하였고 특히 질소시비는 기비보다 추비 중심으로 시용하였다.

본 연구를 위하여 1995년부터 1997년까지 3년간 경기도 수원시 권선구 탑동 소재 농민 임형곤씨의 논을 1400평을 시험답으로 사용하여 기존의 벼 관행 재배법과 본연구진이 제시하는 저투입지속성 재배법을 비교하는 실증재배 시험이였다. 매해 3월 30일 벼품종 '봉광벼'를 침종을 시작하였고 4월 15일에 상자육묘로 못자리를 만들었다. 이앙은 5월 20일 이앙기를 사용하여 재식밀도 30 x 15cm로 이식하였다.

처리내용은 농가의 관행 벼 재배구(관행구)와 저투입 지속성 벼 재배구(LISA구)를 설치하였다. LISA구는 질소비료 시비량을 관행구의 절반량으로 하여 추비중심으로 시용하

였고 농약 살포는 최대한 억제하며 사전 예찰을 통한 사전 방제에 힘쓰며 관행구의 1/3량만 살포하였으며 추가 살포가 필요시 연구자에 통보한후 결정하였다.

나. 벼 직파재배시 입묘저해요인 구명시험

연구개발의 범위는 지역내 직파농가중 94년도에 입묘에 실패한 농가와 95년도에 입묘상태가 불량한 농가를 대상으로 파종 조건을 조사확인, 분석하였고, 토양수분 차이에 따른 입묘률, 종자발근처리와 입묘률, 종자건습처리와 발아에 관한 연구를 수행하였다.

연구개발의 내용은 직파유형별, 파종방법별, 종자취급별 입묘실패사례분석 하였고, 포장의 배수조건, 경운정도, 써레질정도, 물고랑설치, 파종직후 포장물관리상태별 입묘실패사례분석하였다. 그리고, 토양수분이 벼 종자의 출현율, 유묘출현 속도, 유묘의 초장에 미치는 영향을 조사하였고, 토양수분이 입묘상태에 미치는 영향, 볍씨 발근처리가 담수상태에서 출현이 미치는 영향, 벼 흡습건조처리가 평균발아시간과 발아균일도에 미치는 영향 등을 분석하였다.

다. 발효퇴비의 종류에 따른 작물의 생육반응 및 유기농재배 작물의 환경스트레스 내성에 관한 연구

본 연구개발의 범위는 유기농 농가 실태조사를 통하여 재배방법의 문제점 파악 및 유기물의 재료및 발효퇴비의 시비량에 작물의 생육반응 조사하였고, 발효퇴비 종류 및 시용량에 따른 토양 반응 및 부식함량의 변화 및 유기농 재배 작물의 환경 스트레스 내성 비교하였다. 그리고 유기물의 시용량을 달리하거나 미생물제 및 유기농업관련제를 사용하여 각종 스트레스에 대한 내성을 증대시킬 수 있는 방안을 강구하였고, 실제 농가에서 사용할 수 있는 지침 마련등을 수행하였다.

연구내용은 분석시험및 노지포장시험을 통한 퇴비종류 및 시용량에 따른 작물의 생육비교하였으며, 돈분시비량 및 산성강우 농도에 따른 토마토, 열무, 고추의 생체중 변화를 조사하였고, 돈분시비량에 따른 고추의 산성강우 피해경감을 분석하였다. 그리고 돈분 및 MVP, chitomate 처리가 열무 및 토마토의 산성강우 피해경감에 미치는 영향, 산성강우에 의한 열무의 엽록소함량변화에 미치는 영향, 토마토의 인공산성우 피해경감에 미치는 영향, 토마토의 산성강우 피해경감에 미치는 영향을 조사하였고, MVP, chitomate 처리가 열무의 사성강우 피해 경감에 미치는 효과, 돈분 시비량에 따른 토마토의 오존 피해경감 및 MVP, chitomate 처리가 토마토의 생육에 미치는 영향, MVP, chitomate 처리가 토마토의 오존 피해경감에 미치는 영향등을 조사하였다.

라. 사료작물 작부체계에서의 Biomass 생산력 및 질소 경제성 비교

본 연구의 개발 범위는 사료작물(사료용 옥수수, 북방형 목초)를 도입한 작부체계하에서의 단위면적에서 생산되는 건물생산량을 비교하여 합리적이고 효율적인 사료 작물의 생산과 공급방안을 제시하는데 있는데, 질소비료의 이용효율을 측정함으로서 사료작물의 질소이용에 대한 경제성을 분석, 질소시비량에 따른 귀리와 유채의 Biomass생산성 검정, 전작물의 종류와 질소시비량이 옥수수의 생육과 수량에 미치는 영향등을 분석하였다.

연구개발 내용은 싸일리지 옥수수의 수량분석, 추파 사료작물의 생육과 예취 수량분석, 사료작물의 질소이용률 분석, 주요 무기성분 함량과 흡수량, 작물의 질소흡수효율 측정, 질소시비량에 따른 귀리와 유채의 초장, 생물량, 엽색도 검정등을 수행하였다.

2. 환경보전 기술개발

가. 토양오염방지 기술개발

연구지역 농경지 토양의 pH, 유기물함량, CEC, 치환성양이온, 유효인산, 총질소 등의 물리､화학적특성을 조사, 토양오염실태를 토양통별로 조사, 토양에 처리된 영농자재가 주변 지표수에 미치는 영향을 조사하기 위해 주변 지표수를 채취하여 질산태 질소, 총질소, 총인함량을 분석, 영농형태별 토지이용도와 농경지 내 영농자재 투입량을 조사, 토양중 농업화학물질의 순환 기작을 분석하였다.

시범농경지를 선정하여 질소와 인의 동태와 작물에 흡수되는 양 및 수확량과의 상호관계 규명하고 시범농경지에서 시기별, 토양깊이별로 질소와 인의 함량 분석을 통해 토양에 존재하는 질소와 인이 주변환경에 미치는 영향 분석을 수행하였다.

토양관리 모형을 위한 기초자료 수집은 기존의 연구결과를 기초로하여 토양오염방지대책의 중요한 수단으로서의 토양관리모형 운용에 핵심적인 함목인 토양수분 프로파일 조사를 위해 소규모 연구포장을 설치하여 정전용량형센서를 이용하여 깊이별로 토양수분상태 프로파일 작성하였으며 주기적으로 지하수위도 조사하였다.

나. 농업유역의 수문ㆍ수질 모니터링

본 연구는 개발목표로서 환경농업의 모니터링, 모델링 기술 개발을 위한 연구범위는 시험유역의 대상지구를 선정하고, 계측망 구성을위해 수문계측을 설비하였고, 유역 수문 특성 조사 및 자연계, 생활계, 축산계 등 환경 오염관련 인자들의 현황을 조사하였으며, 일별, 시간별 강우자료 및 측점별 수위, 유량 자료를 수집하여 분석하였고, 주기적(월2회)으로 수질 현장을 조사하고 샘플링을 실시하였으며, 유역 수질 분석 및 대상유역의 오염 원단위를 정량적으로 해석하고, 반월천 구간별 오염정도와 오염원의 관계 및 토지이용에 따른 오염부하량을 평가하고, 비점오염모형을 선정하여 적용성과 응용성을 고찰하고, 환경보전형 지속농업의 최적관리방안을 계획하고 평가하였다.

연구개발 내용은 시험유역의 선정 및 조사: 대상유역을 선정, 그 특징을 현장답사,

지형도, 토양도, 토지이용도 등을 이용하여 분석, 오염원 조사분석: 생활계, 축산계, 공장폐수 등의 점원오염과 토지이용상태에 따른 비점 오염원에 관한 자료를 조사하고, 그 변동사항을 주기적으로 확인, 오염 부하량 추정 , 수문 모니터링: 유역특성에 따라 시험유역내의 강우량 측점과 하천 수위측점을 선정, 수위 측정 시설을 설치하고, 시간별 자료를 수집, 유속 측정법을 이용하여 수위- 유량관계 조사분석, 수질 모니터링: 지천, 저수지, 하천 등의 수질 측점 선정, 주기적으로 현장 조사, 샘플링 및 수질분석의 실시로 오염물질의 시간적•공간적 변화 분석, 농업유역의 오염기작 분석: 원단위에 의한 오염발생 부하량 산정, 반월천 오염도를 통한 오염경로 해석, 토지이용에 따른 오염부하량 및 비부하량 산정, 농업비점오염 모형의 선정 및 적용: 분포형 폭우사상 비점오염물질의 추정을 위한 AGNPS모형을 적용하여 적용성 및 응용성 고찰, 최적관리방안의 평가: 포장 및 유역규모의 농업비점원 오염 저감방안 계획 및 저감효과 분석 평가 등을 수행하였다.

다. 축산폐수방류가 마을배수의 수질오염에 미치는 영향분석 및 대책

본 연구의 개발범위는 갈치저수지 유역의 환경 및 수질조사, 경축복합형농가의 오염부하 원단위 조사, 수질환경 현황분석, 하천의 오염도 조사 및 오염부하량 산출하였다.

연구개발 내용은 유역특성 및 인근 인구 및 가축사육현황, T-N, T-P항목의 수질현황 조사하였고, 오염부하 원단위 분석(국내, 국외), 유역지점별 수온, 수소이온농도, 용존산소량 분석, 가축분뇨수에 유입에 따른 월별 BOD, COD, SS, Nitrogen, Phosphorus 변화 측정, 지표미생물의 조사, TC/FC 및 FC/FS비 측정하였다.

3. 종합방제 기술개발

가. 환경조화형 해충관리체계 및 전략개발

본 연구의 개발 범위는 농업용수로서 공급원이 다른 농경지(맑은물, 축산폐수, 생활폐수) 3곳을 선정하여 주기적인 해충, 천적 등의 샘플링 및 조사방법 결정, 현장에서 농민대상으로 설문조사, 현장에서 농민대상으로 병해충 인지도 조사, 소규모 농가용 해충관리 방안제시등을 수행하였다.

연구개발 내용은 수도 포장내 곤충상 군집분석, 각 농경지별로 기능군별 밀도특성파악, 주요 해충, 천적의 발생소장분석, 연별 발생추이 분석, 경제적으로 피해를 주는 해충의 선발, 주요 천적의 선발주요해충 발생소장 분석, 오염 부하량에 따른 해충발생특성을 비교 분석, 군포시 소재(속달동, 둔대동) 농민들을 대상으로 병, 해충에 대한 발생 및 관리현황 분석, 현장에서 농민들을 대상으로 병, 해충 인지도 분석, 실용적인 소규모 농가용 벼해충관리방안 제시등을 수행하였다.

나. 무농약 잡초방제 기술개발

본 연구의 개발범위는 전기적 잡초방제기술에 중점을 두었는데, 전기적 방전장치 개발, 방전전압 및 시간의 변화에 따른 발아억제 효과분석, 전극과 잡초간의 거리변화 등의 인자에 의한 방제효과를 조사하였다.

연구개발 내용은 소용량의 고전압 펄스방전장치 제작, 파종전 방전처리와 파종후 방전처리로 잡초방제효과분석, 발아억제효과를 생육단계별로 분석등을 수행하였다.

4. 농림지 자원 기술개발

본 연구의 개발범위는 조사지의 식생조사, 토양조사, 대기오염조사, 산림내 대기오염 현황조사, 입지환경조사를 하였다.

연구개발 내용은 식생조사에서 수고, 흉고직경, 울폐도, 출현종수를 조사하였고, 토

양조사에서 수분함유량, 유기물 함량, 토양 pH측정, 양이온 교환능력 및 치환성양이온량 측정하였으며, 대기오염도조사에서 산성강우, 오존농도를 측정하였고, 입지환경조사에서 무기염동태, 수관통과류, 수간류의 측정, 토양개량시험등을 실시하였다.

Ⅳ. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 영농/작목 기술개발

가. 저투입 작물생산 기술개발

본 연구에서 농민의 기존 논을 활용하여 관행의 벼재배법과 저투입 지속성 재배시험구(LISA구)를 설치하고 국내 벼재배에 저투입 지속성 재배법을 도입할수 있는지 확인하려는 실증시험 3년간 실시하였다. 저투입 지속성구는 관행구 질소 시비량의 50%, 농약시용량의 1/3만을 투입하였고 특히 질소시비는 기비보다 추비 중심으로 시용하였다.
LISA구의 벼생육은 초기에는 초장이나 분얼수 확보에서 관행구보다 부진하였으나 후기로 갈수록 비슷하여 졌다. 출수기 생육 상황은 간장이나 이삭수, 엽면적, 건물중에서 약간 LISA구가 우월하였고 출수기도 약 2-4일 촉진되었다.

벼의 수량구성요소 중 단위면적당 이삭수는 관행구에 비하여 LISA구가 5-19%적었지만 천립중은 LISA구가 높게 나타나 결국 정조 및 현미수량은 차이가 없었다.
본 농가포장에서 1995년 시험성적은 LISA구의 벼 수량은 관행구와 거의 같이 현미수량이 453.4(관행구) 447.2kg/10a(LISA구)였지만, 1996년은 15kg/10a,1997년은 50kg/10a씩 LISA구가 더 다수를 나타내었지만 통계적 유의성은 없었다. LISA구의 현미수량이 시험 2년차, 3년차로 갈수록 증가되었고 저투입으로도 500Kg/10a 이상으로 비교적 높은수량을 올릴수 있음을 입증하였다.
한편 에너지 투입량을 환산하였을 때 관행구에 비하여 LISA구는 28.2%가량 절감효과가 있었다. 생산비는 농약과 비료비용이 300평당 22,270원, 인건비는 60,000원 절약된 것으로 농가조사에서 밝혀졌다.

본 연구의 결과는 농가에 질소비료를 절감하고 농약시용을 억제하여 벼재배하더라도 관행 벼 수량에서 전혀 감소가 없이 평균수량을 달성할수 있음을 확인하였다. 농민의 설문조사에서 질소 비료를 절비함으로서 병의 발생이 적었고 따라서 농약살포를 줄일수 있었음을 확인하였다. 또 농민은 이 방법은 다른 논이나 타 품종을 사용하더라도 동일한 결과를 얻을 것으로 예상하였다. 2년간 농가 실증시험성적으로 판단할 때 국내 벼농사에

저투입지속성 농법을 적용할수 있을 것으로 결론지었고 대규모 벼 재배단지에 LISA 벼재를 실시한다면 수질과 환경보전의 효과도 기대된다.

나. 벼 직파재배시 입묘저해요인 구명시험

벼직파재배가 저투입생산방법으로 농가에 인식되면서 그동안 안정된 생산방식으로 발전되어 왔던 이앙재배로 부터 직파재배로 전환되고 있는데 일부농가에서는 아직 입묘기술의 미흡으로 실패하는 사례가 많다. 농가의 수준에서 일반화할 수있는 입묘향상 방안을 강구하고자 연구가 수행되었고, 연구의 결과와 활용의 범위는 다음과 같다.

1) 건답직파에서는 발아 및 출현의 실패보다는 잡초와의 경합에서 실패하여 입묘불량을 초래하는 경우가 많다.

2) 담수직파의 경우에는 발아 및 출현의 실패가 입묘불량으로 연결된다.

3) 직파재배에서 입묘실패는 종자처리상의 문제나 기상조건보다는 논토양의 물리성에 의하여 크게 좌우된다.

4) 토양수분을 달리하였을 경우 벼종자는 출아율 및 출아속도에 양호한 반응을 보이는 수분범위를 볼수 있어서 토양수분상태를 개선하여 입묘율을 높일 가능성을 보였다.

5) 발근처리종자는 대조종자에 비하여 출아율이 높고 출아속도도 빨랐다.

6) 흡습건조처리를 통하여 발아의 신속과 균일성을 높이는 효과를 검토한 결과 침지시간에 따라 발아속도가 빨라져 평균발아일수가 단축되고 발아가 균일하여지는 결과를 얻어 종자처리기술의 응용가능성을 보였다.

7) 토양수분개선과 종자처리효과가 실제 포장에서 입묘향상으로 나타나는데는 여러 포장환경요소가 관여할 수 있으므로 금후 포장조건에서 더욱 검토할 필요가 있다.

8) 입묘확보 기술의 개발은 지역농가 뿐만 아니라 전국적으로도 영농의 생력화에 크게 기여할 것으로 기대된다.

9) 직파재배를 최초로 시도하는 농가에는 직파재배시 입묘에 대한 확신을 줄 수 있다.

10) 직파재배 경험 농가에는 입묘확보를 위한 과도한 밀파를 피하고 적정 파종량에

접근 할 수 있는 지침이 될 수 있을 것으로 기대된다.

다. 발효퇴비의 종류에 따른 작물의 생육반응 및 유기농재배 작물의 환경스트레스 내성에 관한 연구

발효된 돈분, 계분 및 우분을 pot와 노지포장에 각각 2, 4, 8ton/10a 처리하여 작물의 생육정도를 조사하고 미생물제의 생육촉진효과 및 퇴비시용량에 따른 토양성분의 변화를 측정하였던바 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 화분재배 실험에서는 부숙퇴비 처리의 경우 돈분과 우분은 8ton 시용에서도 관행구인 화학비료처리구에 비하여 생육이 떨어졌으며 계분은 4ton의 시용에서 관행구와 비슷한 생육정도를 보였다.

2) 비가림재배와 노지재배의 비교에서는 비가림재배에서 다소 생육이 좋았으나 큰 유의차는 없었다.

3) 토마토 재배에 있어서 미생물제인 균강과 MVP부숙제를 혼합해 주었을 경우 크게 생장이 증가하지는 않았다. 완전 부숙 퇴비의 경우에는 그 효과가 적은것으로 판단된다.

4) 토양의 미생물 조사에서는 계분 및 돈분과 계분 혼합구에서 그 수가 증가하였으며 노지재배에 비하여 비가림 재배에서 미생물 수가 많았고 균강과 MVP부숙제 처리구에서 그 수가 많았다.

5) Plot 실험에서 토마토의 경우는 우분 4, 8ton/10a 처리구에서 관행 처리구보다도 생육이 좋았으며 오이의 경우에도 같은 결과를 보였다.

6) 토양 분석에서 관행구의 pH는 6.96으로 약간 낮은 편이었으며 각각의 부숙퇴비 시용구에서도 유기물함량 뿐만아니라 T-N, P_2O_5, K_2O, Ca, Mg 등의 함량도 다소 높은 경향을 나타내었다.

7) Pot 실험의 오이 수확량 비교시 계분 8ton/10a 처리구에서 가장 높았으며 무처리구에 비해서 균강과 MVP부숙체 처리구에서 다소 수확량이 높았으나 큰 유의차는

없었다. 토마토 수확량에 있어서도 계분 8ton/10a 처리구에서 가장 높았으며 비가림재배와 노지재배에 따른 수확량의 차이는 노지재배의 경우가 다소 높은 것으로 나타났다.

8) Plot 실험의 토마토 잎 분석에서는 T-N 함량의 경우 우분에서 타처리구에 비하여 높았으며 P_2O_5 함량의 경우는 무처리구, 관행처리구 및 돈분 2ton/10a 처리구에서 높았다. K_2O, Ca 함량은 각각의 처리구에 따른 큰 유의차는 없었으나 무처리구와 관행처리구에 비하여 타 처리구에서 약간 높았다.

9) Plot 실험에서 열무 분석의 경우 NH_4-N 함량은 각 처리에 따라 큰 차이는 없었으나 NO_3-N 함량은 완숙되지 않은 우분 처리구에서 월등히 높았다.

10) 고추에서는 화학비료 시비구에 비하여 돈분시비 구에서 산성강우에 강한 내성을 보였다. 그러나 열무와 토마토에서는 내성증대 경향을 찾아볼 수 없었다.

11) 미생물제인 MVP와 천연물질인 chitomate는 작물의 생육을 증진시켰으며, 열무의 산성강우 피해를 경감시켰으나 토마토에서는 내성증진 효과가 나타나지 않았다.

12) 토마토의 경우 돈분시비와 화학비료시비는 작물의 오존피해 경감에 별다른 차이를 보이지 않았으나, chitomate처리는 MVP에 비하여 토마토의 오존가스 피해를 크게 감소시킬 수 있었다.

라. 사료작물 작부체계에서의 Biomass 생산력 및 질소 경제성 비교

사료작물 작부체계에서 건물 생산성과 질소 이용 효율을 조사하기 위하여 전작으로 옥수수를 재배하고 후작으로 몇가지 목초를 파종하여 시험한 결과는 다음과 같다.

1) 옥수수의 10a당 생체 수량은 7,669kg, 건물수량은 1,984kg이었으며, 건물중에서 종실이 차지하는 비중은 46%, 경엽비율은 54%이었다.

2) 중부지방의 추파 집약 목초로 적당한 것은 귀리, 유채, 이탈리안라이그래스이었으며, 그 건물 생산량은 각각 480kg, 436kg, 405kg이었다.

3) 귀리와 유채의 초장은 중부지방에서 11월 20일에 가장 크게 자라는 것으로 나타

났고, 질소시비량이 증가함에 따라 직선적인 증가를 하였다.

4) 목초의 건물 생산량은 질소 시비량이 많을수록 많았으며, 수확기별로는 11월 30일 예취구가 가장 많았다.

5) 목초의 체내 질소 농도는 수확시기가 늦을수록, 질소의 시비량이 많을수록 높았고, 초종별로는 유채가 귀리보다 높은 것으로 나타났다.

6) 목초의 주요 무기성분함량을 보면 귀리는 인산과 칼리의 흡수량이 많았고, 유채는 칼슘과 마그네슘의 흡수량이 많았다.

7) 단위 질소에 의한 목초의 건물생산량을 비교하여 본 결과 질소 시비량이 많아질수록 질소의 건물 생산량은 낮아졌는데, 귀리가 유채에 비하여 질소의 건물 생산성이 높은 것으로 나타났다.

8) 귀리와 유채의 초장은 질소시비량이 많을수록 증가하여 질소 40kg/10a 시용에서 파종 60일 후에 귀리는 66cm, 그리고 유채는 33cm로 가장 컸다.

9) 귀리의 건물중은 파종 88일 후인 11월 23일에 최고에 달했으며, 무질소구의 229kg/10a에 비하여 질소 20kg과 40kg 시용구에서는 508kg/10a로 122%가 증가하였다. 유채의 건물생산성도 귀리와 비슷하였는데, 유채의 건물중은 무질소구의 180kg/10a에 비하여 질소 40kg/10a 시용구에서는 576kg/10a로 320%가 증가하였다. 따라서 질소의 시비량 증가에 따른 건물생산량의 증가가 귀리 보다 유채가 컸다.

10) 귀리와 유채의 엽색도는 질소시비량이 증가할수록 거의 직선적으로 증가하였는데, 무질소구의 엽색도 32와 28에 비하여, 질소 40kg/10a구에서는 57과 53으로 증가하였다.

11) 귀리와 유채의 질소함량은 질소시비량에 증가할수록 높아졌으며, 파종후 45 52일경에 가장 높았다가 그 후 생육이 진전되면서 감소하였다. 건물생산량이 가장 높았을 때 귀리와 유채의 질소함량은 무질소구에서 각각 1.2%와 1.3%, 그리고 40kg/10a 시용구에서는 각각 3.9%와 3.1%였다.

12) 귀리와 유채의 질소 흡수효율은 질소시용량이 적을 때에 높았으며, 시기별로는 건물생산량이 가장 많은 시기에 높았다. 건물생산량이 가장 많은 시기의 귀리와 유채

의 질소 흡수효율은 질소 5kg/10a 시용구에서는 각각 98%와 93%였으며, 40gk/10a 시용구에서는 각각 46%와 41%였다.

13) 단위 질소량에 대한 건물생산성도 질소 흡수효율과 같이 질소시비량이 증가할수록 감소하였는데, 귀리의 질소경제성은 질소 10kg/10a에서 가장 높았으나, 유채의 질소경제성은 질소 20kg/10a에서 가장 높았다.

14) 초장으로 판단한 귀리의 재생력은 질소시비량이 증가할수록 높았으며, 파종 40일에 예취하는 것이 생초량이 가장 많았다.

15) 옥수수의 추비직전 엽색도는 전작물에 시용한 질소시비량이 많을수록 높았는데, 무질소구에서는 30 32였고, 질소 40kg/10a 시용구에서는 40이었다.

16) 옥수수의 간장과 착수고는 전작물의 종류에 따라서 차이를 보였으나, 생체수량이나 건물수량은 전작물의 종류나, 전작물에 시용한 질소시비량에 영향을 받지않았다. 옥수수의 건물수량은 전작물에 시용한 질소시비량 관계없이 귀리 후작에서는 총건물중이 1786 2147kg/10였으며, 유채 후작에서는 1751 1954kg/10a였다.

17)옥수수의 간장과 착수고는 생체수량과 유의한 상관이 있었으나, 건물수량이나 종실중과는 유의한 상관이 인정되지 않았다.

2. 환경보전 기술개발

가. 토양오염방지 기술개발

1) 토양오염 실태 조사 분석

연구지역 토양은 크게 6개의 토양통으로 분류가 가능하며 토양통별로 토양의 물리적 특성과 화학적 특성을 실측한 결과 인이 상당량 축적되었으며 Mg의 경우 전국 평균치보다 다소 낮은 수준이고 K는 타 지역과 유사하게 집적된 양상이며 Ca는 전국 평균치보다 월등히 높은 수준으로 전지역에 걸쳐 집적되어 있었다.

2) 시범농경지의 질소, 인의 동태특성

A 지역 : 화학비료 시비후 표토에서 약간의 전질소함량의 증가, 담수후 암모니아성 질소의 증가와 질산성질소의 감소, 장마후 아래로의 질산성질소의 이동 경향이 보이며, 장마후 암모니아성질소의 감소와 질산성질소의 증가 경향을 보였고, 이는 상류 수계의 오염원이 영향을 미치고 있었다.

B 지역 : 담수후 질산성 질소의 증가 경향 뚜렷한데, 관개수의 수질이 많은 무기태 질소를 함유하고 있고 표토에서의 빠른 투수속도로 지하수위는 높지만 표토에서는 산화상태가 유지되고 환원상태가 덜 발달되어 질소의 산화가 일어 나는 것으로 분석되며, 장마후 심토에서의 질산성 질소의 증가가 급격히 일어났다.

C 지역 : 장마후 질산성 질소의 아래로의 이동 정도가 약했지만 증가 경향, 화학비료 시비후의 암모니아성 질소의 증가하며, 표토에서의 느린 투수정도를 나타내었다.

세지역 모두 외부 오염원으로부터 질소 유입이 일어나고 강우 후 지표의 유속이 빨라지고 산소 공급이 원활한 시기에 질산태 질소의 하향이동이 두드러졌다.

3) 주변지표수의 오염현황

연구지역은 토지이용형태로 보았을 때 순수농업지역, 축산영농지역 그리고 생활주거지역으로 분류할 수 있으며 지표수의 오염정도(총질소, 암모니아성질소, 총질소)는 축산영농지역, 생활주거지역, 순수농업지역의 순서였고 오염물질의 농도는 강우량에 의해 영향을 받았다.

4) 토양관리 모형 개발을 위한 소규모 포장 연구

연구포장의 토양은 정밀토양도상에서 강서통으로 분류되고 토성은 대체로 양토였지만 실제 토양을 층위별로 조사한바 0-25cm까지는 양토였지만 그 이하는 사질토였다.

토양수분프로파일은 계절과 관수에 따른 약간의 변화가 있고 전반적으로 20cm와 100cm부근에서 가장 높은 수분함량을 나타냈는데 이는 관개와 강우에 의한 지표로

부터의 수분 공급과 지하수위 변동에 의한 수분의 상향이동에 의한 결과로 판단된다. 관개와 강우가 많았던 5월과 6월경은 20cm와 100cm부근에서의 수분함량이 30%이상의 수준이지만 관개와 강우가 거의 없었던 9월경은 20cm부근에서는 30%이하, 100cm부근에서는 20%이하에 불과했다. 특히 100cm 부근의 수분함량은 지하수위와 밀접한 관련을 가지고 있는데 지하수위가 낮아질수로 수분함량이 감소하는 것으로 나타났다

지하수위는 강우가 집중된 시기에는 130cm 부근까지 상승한 상태를 유지했지만 갈수기에 접어들면서 200cm이하로 하강한 상태를 유지했다.

나. 농업유역의 수문 · 수질 모니터링

본 연구는 환경농업을 위한 수문, 수질 등의 순환과정의 현장 모니터링과 그 결과에 근거한 농업비점원오염 추정과 폭우사상에 대한 영양물질의 기작을 종합적이고 체계적으로 조사 분석하고, 최적관리기법의 적용을 위해 물리적 매개변수를 바탕으로 하는 농업비점원오염 추정모형을 선정하여 모형의 적용성을 평가하고, 환경보전형 지속농업을 위한 최적관리방안을 계획, 평가하기 위한 것으로 연구의 결과로부터 예상되는 활용효과는 다음과 같다.

1) 유역단위의 비점원오염 부하량의 정성적, 정량적 결과를 제공함으로서 모델링 및 하천의 수질환경개선을 위한 계획에 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

2) 시험유역의 유역수문특성과 비점오염 부하량의 관계를 제시함으로서 하천의 오염원의 파악 및 제어, 수질 오염물질의 계량화 등의 기초자료로 활용이 기대된다.

3) 농업비점오염의 억제를 위한 최적관리기법의 정립이 가능함으로 농업비점오염모델을 이용한 유역관리방안을 제시할 수 있다.

4) GIS를 이용한 농업비점오염 모델링 기술의 개발과 응용으로 토지이용 및 영농법에 따른 유역 오염부하량 변화를 계량화할 수 있도록 함으로서, 미계측 유역에 대한 적용을 가능하게 할 것이다.

5) 유역 비점오염의 추정과 최적관리기법에 따른 수질저감 기술개발을 꾀할 수 있다.

다. 축산폐수방류가 마을배수의 수질오염에 미치는 영향분석 및 대책

경기도 군포시 대야미동에 위치한 갈치저수지를 대상으로 가축분뇨수의 무단방류가 저수지의 수질에 미치는 영향을 평가하기 위해 얻은 결과는 다음과 같다.

1) 갈치저수지에 대한 주된 오염원은 인근의 영세 축산농가에서 방류되는 축산폐수로 밝혀졌다.

2) 일반적으로 가축사료에서 발생되는 폐수내의 유기물질과 영양소의 농도를 분석해 보면 상당히 높은 농도의 영양소가 발생됨을 알 수 있었다.

3) 우분의 경우에 BOD 360g/두/day, COD 2,974g/두/day, T-N은 92g/두/day, T-P는 199g/두/day로 나타났다.

4) 돼지에 있어서 유기물질 발생 원단위는 분의 경우 BOD 103g/두/day, COD 413g/두/day, T-N 10.5g/두/day, T-P 3.15g/두/day로 나타났다.

5) 돼지에 있어서 뇨의 경우 BOD 36g/두/day, COD 69g/두/day, T-N 33g/두/day, T-P 0.5g/두/day로 나타났다.

6) 닭의 경우 BOD는 3.15g/두/day, COD 8.35g/두/day, T-N 1.25g/두/day, T-P 0.25g/두/day로 계산되었다.

7) 하천에 인접한 젖소사육 농가로부터의 가축분뇨수의 무단방류가 수질오염의 원인임을 밝혀주는 결과로 밝혀졌다.

8) TC, FC 및 FS를 조사하였을 때 지표미생물이 하천을 따른 이동과정중에 약 50%정도 사멸되었음을 나타내고 있었고, 가축분뇨수의 무단방류로 인한 오염이 심각하게 일어나고 있음을 잘 나타내고 있었다.

9) FC/FS비를 비교할 때, 가축분뇨수의 유입이 주원인이고 또한 생활하수 및 인분(人糞)의 복합적인 방출로 오염이 일어나고 있음을 시사하고 있었다.

10) 미생물상의 분포 및 변화에 영향을 주는 인자들로 확산·용존산소농도·온도·광투과도·유속·하상구조 등을 이용한 종합적인 연구와 가축분뇨수가 저수지에 유입된 이후에 저수지에서 일어나는 오염 발생 기작 및 자정능력 평가등이 필요한 것으로 생각

된다.

3. 종합방제 기술개발

가. 환경조화형 해충관리체계 및 전략개발

본 연구에서는 벼해충 종합관리 및 환경보전형 농법개발을 위한 기초자료를 제공하고자 수도 포장 인근 취락지에서 생활오수나 축산폐수의 방류로 인해 농업용수 수질이 악화되고 있는 경기도 반월지역에서 농업용수의 수질오염 정도(맑은물, 생활하수, 축산폐수)가 논생태계내 절지동물 군집구조에 미치는 영향을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 절지동물의 발생밀도는 생활하수 조사구에서 높게 나타났고, 주로 진딧물류와 톡토기류가 밀도의 주를 이루었다.

2) 기능군별 점유밀도는 해충군> 비해충군> 천적군 순으로 나타났고, 해충군의 우점종은 진딧물류(Aphids), 멸구과(Delphacidae), 매미충과(Cicadelidae), 벼물바구미(*L. oryzophilus*), 천적군에서는 거미목(Araneae), 비해충군에서는 톡토기목(Collembola), 깔다구과(Chironomidae), 파리목(Diptera)이 우점을 이루었다.

3) 국내에서 벼에 경제적으로 피해를 입히는 주요해충들(멸구과, 매미충과, 벼물바구미)의 밀도는 조사기간동안 매우 낮은 밀도였고, 농업용수의 수질에 따른 발생차이도 뚜렷하지 않았다.

4) 생육초기에는 주로 해충, 생육중기에는 해충과 천적, 후기에는 해충, 천적, 비해충군이 비슷한 점유율을 보였다.

5) 천적군에 속하는 거미류의 발생밀도는 맑은물 조사구에서 가장 높게 나타났고, 생육중, 후기를 거치면서 밀도가 급증하였는데 반해, 수질이 저하된 용수가 유입되는 생활하수, 축산폐수 조사구에서는 밀도가 낮아 이들 수도포장들의 밀도변동은 이전의 거미군집에 대한 연구들과는 다른 패턴을 나타낸다는 것이 확인되었다.

6) 논거미군집내 우점종들의 구성은 생활하수와 축산폐수조사구에서는 유사하였고, 맑은물조사구에서는 다른 두조사구와는 다른 종들로 구성되어 있었다.

7) 농약의 살포는 1년에 3-4회 가장 많았고, 해충에 대한 인지도가 매우 낮아 농민스스로가 적절한 적기, 적량의 방제대책을 수립하지 못하고 있었다.

8) 해충관리 대안으로는 이 지역의 해충발생을 감안하면, 피해허용수준을 초과하는 벼물바구미를 대상으로 1회의 농약살포가 필요한 것으로 조사되었으며, 방제대책으로는 종자분의 처리가 적절하다.

나. 무농약 잡초방제 기술개발

농약을 전혀 사용하지 않는 전기적 잡초 방제장치의 개발을 목표로 소용량의 고전압 펄스를 이용하여 피를 공시잡초로 방제 효과를 시험한 결과는 다음과 같다.

1) 펄스방전장치의 전압을 20kV로 일정하게하고 방전전극과 잡초간의 거리를 10cm로하여 1회 20초간 2회 방전처리를 한 결과, 잡초의 잎은 방전후 8일 정도되어서 완전 고사되었으며 줄기는 12일후 고사하였으나 식물체 지상부 전체는 15일이 경과하여도 완전 고사되지 않았다.

2) 펄스방전장치의 전압을 30kV로 일정하게하고 방전전극과 잡초간의 거리를 10cm로하여 1회 20초간 2회 방전처리를 한 결과, 잡초의 잎은 방전후 5일 정도되어서 완전 고사되었으며 줄기는 6일후, 식물체 지상부 전체는 11일 경과후에 대부분 고사하였다.

3) 펄스방전장치의 전압을 40kV로 일정하게하고 방전전극과 잡초간의 거리를 10cm로하여 1회 20초간 2회 방전처리를 한 결과, 잡초의 잎은 방전후 5일 정도되어서 완전 고사되었으며 줄기는 8일후 고사하였고 식물체 지상부 전체는 13일이 경과하여 완전 고사되었다.

4) 공시잡초의 입을 대상으로 펄스방전장치의 전압을 30kV로 일정하게하고 방전전극과 잡초간의 거리를 10cm, 20cm, 30cm, 40cm로하여 1회 20초간 2회 방전처리를 한결과 방전전극과 잡초간의 거리를 10cm로 한 경우는방전후 5일 정도되어서 완전 고사 되었으며, 방전전극과 잡초간의 거리를 20cm로 한 경우에는 방전후 10일 정도

경과한 후에 고사하였으나, 30cm이상의 경우는 방전처리후 15일이 경과하여도 고사되지 않았다.

5) 발아억제 효과 분석은 파종전 방전처리를 한 것은 발아률이 30%정도로서 가장 낮았다.

6) 잡초방제효과는 방저을 받은 잡초종자는 발아하여도 생육이 정상적이지 못하고 고사되었다.

7) 잡초의 전기적 방전 특성은 생육과정중에서 전기적 방전을 받으면 잡초의 잎이나, 줄기가 절단된다.

8) 농작업기의 방전장치 메카니즘 개발은 전원공급에 있어 트랙터 구동시 제너레이터를 통해 전원을 공급한다.

4. 농림지 자원 기술개발

대기오염 및 산성우에 의한 산림의 파괴의 가능성을 예측하여 향후 문제 발생시의 대책을 마련할 수 있다는 목표하에 다음과 같은 연구결과들을 얻었다.

1) 조사구내에서 총 출현 종수는 32종, 상층교목에서 17종이, 하층교목에서는 29종이 출현하였다.

2) 토양의 수분함량은 제 3유역이 가장높아 0-5cm에서 22.6±3.8%, 5-10cm에서 22.7±3.2%를 나타내었다.

3) 유기물함량은 제 3유역이 가장높아 0-5cm에서 12.28±1.89%, 5-10cm에서 11.14±1.77%를 나타내었다.

4) 산성우의 영향을 받는 지역으로 강우의 평균 pH는 4.56으로 매우 낮고, 5.6이하의 산성우가 차지하는 비율이 74%를 차지하였으며, 토양 pH는 평균 4.15로 매우 낮게 나타나므로써 수목에서의 피해와 토양 산성화의 가능성을 보여 주고 있었다.

5) 치환성 양이온중 가장 높은 함량을 나타내는 양이온은 Ca^{2+}이고 가장 낮은 함량을 보이는 양이온은 Na^{+}였다.

6) 강우의 산성도 조사는 수원지역의 8월에는 5.0- 5.5에서 높은 분포를 보였고, 수원의 10월의 강우는 6.0-6.5의 범위에서 높은 분포를 보였다.

7) 오존농도측정결과는 0.05ppm에서 0.09ppm의 범위를 나타냈다.

8) 대기오염물질 농도는 NO, NOx는 매우 높은 수치를 나타내었다.

9) 튤립나무는 매우 뛰어난 중화능력과 완충능력을 가지기 때문에 수간류의 pH를 거의 수관통과류(pH : 5.57)와 유사한 5.38로 증가되었으며, 수관 하부의 토양에서도 다른 수종에 비해 높은 pH인 4.30를 나타내었다.

10) 대도시 주변과 공단 주변의 산림 피해와 더불어 고산에서의 수목의 피해에 대한 보고는 위와 같은 가능성을 보여 주고 있었다. 따라서 대도시 주변과 공단 주변의 산림의 피해를 방지하고 산림의 생산성을 유지하기 위한 장기적인 대책이 필요하다.

편집순서 4

S U M M A R Y
(영문요약문)

Ⅰ. Title of the Research

Development of Technology for Environmental Agriculture

Ⅱ. Objectives and Significance of the Research

There are mounting concerns on agricultural environment and productions. The agricultural environment has been polluted in many instances in our country. Waste by-products formed domestic, livestock, and agricultural practices are applied to agricultral soils and watersheds for one of several activities including disposal, nurtrient recycling, and improvement of soil characteristics and so on. In addition, many agrochemicals such as fertilizers, herbicides, insecticides, and fungicides are applied to agricultural environment for pest control and crop production improvement. And these intensive farming activities worsen the agricultural environment and productions. Therefore, it justifies the development of technology for the sustainable agricultural system. Implementation of this system will realize environmental agriculture. Our research methods achieving our goals are as follows:

Part Ⅰ. Development of Farming/ Crop Production technology

1) Development of Sustainable Rice Production Technology

2) Studies on the causes of poor seedling stands in rice direct seeding

3) Effects of Fermentd Animal Manures on Growth of Crops and Studies on Tolerance to Environmental Stress in Crops Cultivated with Organic Farming

4) Biomass Productivity and Nitrogen Efficiency in Cropping Systems of Forage Crops

Part Ⅱ. Development of Environment Conservation technology

1) Development of Soil Pollution Management Systems

2) Hydrologic and Water Quality Monitoring at Agricultural Watersheds

3) The Impact of livestock wastewater to the quality of Galchi-reservoir

Part Ⅲ. Development of Integrated Pest Management technology

1) Development of Environmentally Harmonized IPM Systems and Strategy

2) Studies on Development of Electrical Methods of Weed Control

Part Ⅳ. Development of Forest Management technology

1) New Approach to the Forest Management Techniques based on Establishment of Healthy Forest

III. Contents and Scope of the Research

Part I. Development of Farming/ Crop Production technology

1) Development of Sustainable Rice Production Technology

In this research, we are going to develop a low-input sustainable farming system for Korean rice production. It includes direct seeding technique for eliminating transplanting and low input farming system for efficient use of fertilizer and pesticide.

2) Studies on the causes of poor seedling stands in rice direct seeding

In rice direct seeding system, the crop establishment requires proper soil physical environments, particularly soil moisture, and soils must be managed accordingly. An inquiry into the possibilities of improving seedling stands was conducted by checking the emergence responses in different soil moisture conditons, and the effects of seed treatments including hydration and pre-rooting on emergence.

3) Effects of Fermentd Animal Manures on Growth of Crops and Studies on Tolerance to Environmental Stress in Crops Cultivated with Organic Farming

We are going to develop effects of organic matter application on reduction of plant injury to acid rain and ozone. And we investigate effects of microbial formulation and natural things on reduction of plant injury to acid rain and ozone.

4) Biomass Productivity and Nitrogen Efficiency in Cropping Systems

of Forage Crops

We will examine biomass productivity in cropping system of forage crops, and also nitrogen efficiency and nitrogen utilization in forage cropping system and its relationship with biomass production.

Part Ⅱ. Development of Environment Conservation technology

1) Development of Soil Pollution Management Systems

(1) Analysis of pH, organic content, cation exchange capacity, exchangeable cations, available phosphorus, total nitrogen of cropland soil in research areas.

(2) Investigation of the status of soil pollution according to soil series.

(3) Analysis of nitrate, total nitrogen, total phosphorus of surfce water near cropland.

(4) Elucidatin of nutrient cycling mechanisms in soils.

(5) Collection of soil water profile data for soil management model.

2) Hydrologic and Water Quality Monitoring at Agricultural Watersheds

This study will attempt to quantify daily loadings from forested and farm lands using hydrologic and water quality monitoring. Agricultural Nonpoint Source Pollution model, AGNPS will be calibrated and validated satisfactorily with field data from the watersheds. And it will be used to analyze how effective management practices on agricultural lands are at a watershed and plot scale.

3) The Impact of livestock wastewater to the quality of Galchi-reservoir

We will estimate the impact of wastewater influent into water quality of Galchi reservor. and we will investigate indicator of microorganism in the watersheds.

Part Ⅲ. Development of Integrated Pest Management technology

1) Development of Environmentally Harmonized IPM Systems and Strategy

We will investigate arthropod fauna and analyse population density of pest, natural enemies in rice paddy nearby Banwol watersheds. System analysis on pest management will be accomplished and We will introduce IPM concept for problem-solving.

2) Studies on Development of Electrical Methods of Weed Control

Electrical weed control is versatile and rapid, and is cost competitive with chemical applications, and also efficient in an environmental preservation. Electrical weed contrl systems high voltage spark discharges will be developed. We will evaluate the effectiveness of an electrical discharge system as a means of germination rate and weeds control of weeds.

Part Ⅳ. Development of Forest Management technology

1) New Approach to the Forest Management Techniques based on Establishment of Healthy Forest

This study will be conducted to identify problems in forest caused by both air pollutants and acid rain, through the to measurement of level of air pollutants, and effects of air pollutants on the dynamics of forest nutrients and tree growth. we will predict the probability of forest damage by air pollutants and acid rain, and we will suggest the suitable forest environment to maintain sustainable agricultural conditions.

IV. Results of the Research and Suggestions for the Application

Part I. Development of Farming/ Crop Production technology

1) Development of Sustainable Rice Production Technology

Rice farming in Korea has been successful in high yielding, but it required high inputs such as heavy application of fertilizers and pesticides. Heavy application of nitrogen fertilizer has been blamed for water pollution, while frequent sprays in pesticide have threatened natural ecosystem.
In this research, we were going to develop a low-input sustainable farming system for Korean rice production. It included low input farming system for efficient use of fertilizer and pesticide.

For three years research, we tested our low-input sustainable system(LISA) to farmer's paddy field. LISA plot received 50% in nitrogen fertilizer and 1/3 in agricultural pesticides compared to conventional plot (Control). Nitrogen fertilizer was applied in split rate such as starter, 33% : side dressing at tiller stage, 42% : top dressing at heading stage, 25% for LISA plot.

Rice yield in LISA plot did not different to Control plot, but energy input in LISA could decrease 28.2% from Control. We found that rice yield has gradually increased as continuing LISA farming in same plot.
We concluded that a significant cut-down in nitrogen application and in pesticide use would not decrease rice yield and LISA farming in large area will be the ecological sound system protecting environment.

2) Studies on the causes of poor seedling stands in rice direct seeding

One hundred and fifteen cases of poor seedling stands were examined in 1994 and 1995. In flooded drilling seeding in 1994, seeding increased mainly because of failure in early seeding. Most of examined fields were clay soil with poor drainage conditions or poor drainage conditions, their germination and rooting were restricted leading to failure of seedling stand. In flood seeding the soil physical properties showed unfavorable conditions for seedling stands because of small pore, little air space, excessive soil water. Favorable temperature and good seed-oil contact to ensure adequate water supply are necessary for germination in soil. And proper aeration and low soil strength are necessary for seedling emergence. Root growth and function also acquire suitable regimes of air, water and temperature. If root growth is efficacious, so also may be above-ground seedling growth. Soil aeration and soil density seemed to play most important role in seedling stands. In rice direct seedling fsystems the seedling stand requires proper soil physical environments, and soils must be managed accordingly.

Rice seed showed best emergence in a given soil moisture content implying some possibilities of improving seedling stands by controlling soil moisture conditions. Seed treatments also showed positive results. Pre-rooted seeds improved emergence percentage and emergence speed. Seed hydration fastened and synchronized germination eventhough there was no marked improvement in germination percentage. However, further studies are needed to prove the practical effects of soil moisture control and seed treatments on seedling stands in ricefields because of affecting numerous environmental factors.

3) Effects of Fermentd Animal Manures on Growth of Crops and Studies on Tolerance to Environmental Stress in Crops Cultivated with Organic Farming

This research was conducted to determine the effects of fermented animal manures of swine, fowl and cattle on plant growth and changes on soil chemical properties. Each manure was applied at the rate 2, 4 or 8ton/10a with or without microbial innoculants. Concurrently the effects of rain protection facilities on plant growth were investigated. The results were as follows:

Application of 8ton/10a of fermented cattle manure or swine manure resulted in less plant growth than those of chemical fertilizer in pot experiment. However, application of 4ton/10a fowl manure showed similar results to those of chemical fertilizer.

Plant growth with or without rain protection facilities did not show significant differences in plant height and yield.

Commercial microbial innoculants did not show significant effect on growth of tomato plants. These results indicate that microbial innoculants do not affect increasing plant growth when applied to completely fermented animal manures.

In the investigation of soil microbial population, animal manure and microbial innoculants increased density of soil microorganisms. Rain protection fercilities also resulted in slightly increased microbial population in soil.

Application of 4 and 8tons of incompletly fermented cattle manures per 10a resulted in increased plant growth compared to those of chemical fertilizer in plot experiments.

The treatment of chemical fertilizer application had a little lower in soil pH and in soil organic matter, T-N, P_2O_5, K_2O, Ca and Mg content than those of animal manure application.

Application of fowl manure at rate of 8ton/10a also had the highest amount of yield in tomato and cucumber. Microbial innoculants had a little or no effect on increasing the amount of yield of two crops. Tomato and cucumber plant growth without rain protection facilities had slightly higher amount of tied than those growth under rain protection facilities.

In foliar analysis of tomato plants, the treatment with cattle manure had the highest amount of total nitrogen. However, the treatment with chemical fertilizer or 2ton/10a wine manure had higher amount of P_2O_5 than those of other treatments. The amount of Mg was higher in cattle manure treatments but Ca and K were similar among treatments.

In tissue analysis of radish, NH_4-H contents were not significantly different among treatments. However NO_3-N content was the highest in the treatment with incompletly fermented cattle manure.

Less plant injury to acid rain was observed by the application of organic matter in hot pepper than those of chemical fertilizer, but no effect was observed in tomato plant and radish. MVP and chitomate, microbial fomulation and natural thing, respectively, reduced plant injury, but did not reduce in tomato plants.

Application of chitomate resulted in reduced plant injury to ozone in tomato plant. The other results obtained also indicated that plant tolerance to environmental stress was increased by the application of organic matter or fermented manure. The effects of microbial formulation and natural things on environmental stress depend on crops and the effect on specific crops needs more research.

4) Biomass Productivity and Nitrogen Efficiency in Cropping Systems of Forage Crops

Establishment of sustainable agricultural system is important to maintain high crop productivity and farmer's income without depletion of natural resources and pollution of environment. Suitable cropping system and efficient utilization of nutrient by crop plants are important in sustainable agriculture.

Nitrogen which is one of the most important elements for plant growth is expensive fertilizer to produce as well as an important environmental pollutant. Therefore, biomass production and nitrogen efficiency were examined in the combined cropping system of silage corn and cool season forage crops.

Fresh and dry weight of corn were 7,669kg/10 and 1,984kg/10a, respectively, with 46% of ear weight and 54% of stover weight. Among 6 forage crops oat, italian ryegrass and rape grew enough to harvest before winter in the central area, and their dry weight were 480kg/10a, 436kg/10a and 405kg/10a, respectively. Plant height and fresh and dry weight of oat, rape and their mixture were highest on November 20 and increased as amount of nitrogen application was increased up to 30 kg/10a.

The highest fresh weight of oat, rape and their mixture at the nitrogen application of 30kg/10a were 4,976kg/10a, 7,601kg/10a, and 6,785kg/10a, respectively, while the highest dry weight of them were 927kg/10a, 1,119kg/10a, and 1,096kg/10a, respectively. Nitrogen contents of plants were higher at later harvests, under greater nitrogen levels, and higher in rape than in oat. Among inorganic nutrients, oat absorbed more phosporus and sodium, while rape absorbed more calcium and magnesium. Dry matter production per unit amount of nitrogen applied was decreased as nitrogen was increased and oat was more efficient to produce dry matter than rape.

Plant heights of oat and rape at N 40kg/10a were 66cm and 33cm, respectively. Biomass yield of oat reached the maximum on 23, November, 88 days after planting and it was increased 122% from 229kg/10a at no nitrogen application to 508kg/10a at N 40kg/10a level. Biomass yield of rape was similar to that of oat, i.e. it was increased 320% from 180kg/10a at no nitrogen application to

576kg/10a at N 40kg/10a level. Rape showed the greater response to nitrogen application than oat. Linear increase of chlorophyll value in the leaves of oat and rape was related with nitrogen level.

Chlorophyll values of oat and rape were increased from 32 and 28 at no nitrogen application to 57 and 53 at N 40kg/10a, respectively. Nitrogen contents in oat and rape plants were increased as application of nitrogen was increased and reached the maximum 45 52 days after planting and decreased thereafter. Nitrogen contents in oat and rape plants when the dry matter production reached the maximum were 1.2% and 1.3% at no nitrogen application and 3.9% and 3.1% at N 40kg/10a, respectively.

Efficiency of nitrogen absorption of oat and rape were higher at lower nitrogen level, and were the highest at the growth stage of the maximum dry matter production. Efficiencies of nitrogen absorption in oat and rape were 98% and 93% at N 5 kg/10a and 46% and 41% at N 40 kg/10a, respectively, at the stage of the maximum dry matter production. Dry matter production per unit nitrogen applied was decreased as the amount of nitrogen was increased.

While nitrogen efficiency to produce dry matter in oat was the maximum at N 10 kg/10a, that in rape was the maximum at N 20 kg/10a. Regrowth ability of oat measured by plant height. Culm height and ear height of corn were influenced by the previous crops, but not by the amount of nitrogen applied, while fresh and dry matter yields were not influenced by the previous crops. Dry matter yields of corn after oat and rape cultivation were 1786 2147kg/10a and 1751 1954kg/10a, respectively, over different nitrogen application levels in previous crops. Culm height and ear height were significantly correlated with fresh yield, but there were no significant relationships with dry matter yield and grain yield.

Part Ⅱ. Development of Environment Conservation technology

1) Development of Soil Pollution Management Systems

(1) Investigation of the status of soil pollution in study area.

Phosphorus was accumulated in soil and calcium concentration in the study area was higher than other cropland in all over the contury and potassium was similar but magnesium was lower.

(2) Pollution of surface water

Study areas can be categorized into cropland area, livestock farming area, residential area accoring to land use type and pollution of surface water near livestock farming area was most serious.

(3) The study of nutrients cycling in soils

Research sites representing the major agricultural systems in Banwol were selected for soil and water sampling. Soil and water samples were taken from three sites in study area periodically for five months from May to September 1996. Content of available soil phosphate(Bray No.1-P) was very high in subsoils as well as in surface soil. Contents of T-N, NH4-N, NO3-N, T-P in water samples varied with season. Nitrogen and phosphate of water samples in site B and C were relatively high compared with site A. Tentative conclusion was that the streams in B, C study area were polluted with nitrogen and phosphate by cattle farming operation and domestic waste water.

(4) soil water profile for soil management model

Soil water profile varied with precipitaion and irrigation and the highest water content was obeserved near 20cm and 100cm respectively for the study area. Water at the depths of 20cm was supplied by precipitation and irrigation from surface and 100cm was supplied by upward movement of water from groundwater. The fluctuation of water table depended on the water supply from the surface.

2) Hydrologic and Water Quality Monitoring at Agricultural Watersheds

Nonpoint source (NPS) pollution from small watersheds has recently been brought into attention as a potential pollutant to streams and tributaries, as majority of them are experiencing water quality degradation. This necessitates the quantification of NPS loadings from agricultural and forested lands. And this study has attempted to quantify daily loadings from forested and farm lands using hydrologic and water quality monitoring. The hydrologic monitoring program consists of five water level gauging stations along creeks and stream at the Banwol reservoir watershed having 1220 hectare in size. Water samples were being taken periodically at the streamflow gaging sites and tributaries, and analyzed for nutrient components. Soil samples were also taken and the chemical constitutes analyzed.

The primary results indicate that the major sources of pollution were small villages and dairy farms on the watersheds, constituting two-third of total nutrient loadings to the reservoir. However insignificant, the loadings from paddies and upland areas may cause a significant problem to the water quality of the reservoir and stream as the measured levels of total nitrogen and phosphorus are not low enough to control the quality.

Agricultural Nonpoint Source Pollution model, AGNPS was calibrated and validated satisfactorily with field data from the watersheds. And it was used to analyze how effective management practices on agricultural lands are at a watershed and plot scale. Test runs on individual paddy plot showed that nutrient loading can be significantly reduced by controlling nutrient levels of irrigation water. Reducing fertilization levels and altering irrigation scheduling on paddies do not appear to be effective in controlling outflow water quality.

However, the simulation showed that the effects of best management practices that have been applied to paddies and agricultural lands may not be significant to control watershed NPS loadings. The results suggest that further studies are needed to quantify the effects of landuses and treatments at a watershed scale.

3) The Impact of livestock wastewater to the quality of Galchi-reservoir

Domestic contamination units of livestock wastewater with varieties have been suggested to accurately estimate the impact of wastewater influent into water quality of the Galchi reservoir in was also compared with Daeami-dong, Goonpo-shi, Gyeonggi - do. The suggested data of contamination units for COD, BOD, T-N, T-P, were also compared with foreign data for further literature review if the gap inbetwen exists. COD 2.917g/head-day, BOD 351.7g/head-day, T-N 76.5g/head-day, T-P 187.5g/head-day was recommended for calculation of contamination load from effluent of small-scaled dairy farms which composed of the most livestock farm in Galchi watershed. T-N and T-P concentration in the water of Galchi reservoir were observed much higher compared to other reservoir, which may lead to the conclusion that the livestock wastewater discharged from livestock farms attributes to the eutriphication of the water body. Thus it is vital to properly treat livestock wastewater at the place where the production practice is going on (point-source treatment).

Part Ⅲ. Development of Integrated Pest Management technology

1) Development of Environmentally Harmonized IPM Systems and Strategy

The effects of three different irrigating water qualities(clean water, life sewage and animal sewage) on the pattern of arthropod communities in the rice fields were investigated at Banwol, Kyunggi-do, mid-western part of Korea from 1994 to 1996.

The total density of arthropod was highest in the rice field which was irrigated with clean water(clean water field), and the arthropod community was mainly composed of aphids and collembolans. Each functional group was found in the order of 'pests> non-pests> natural enemies' in its density. The dominant taxa in the pest group were aphids, planthoppers(Delphacidae), leafhoppers(Cicadelidae) and rice water weevil (*L. oryzophilus*). In the non-pest group collembolans, Chironomidae and dipterans were main arthropods, and in the natural enemy group Araneae was the dominant taxon.

In the early growth stage of rice plant the dominant functional group was pests, and in the mid growth stage both the pest and the natural enemy group became dominant. But in the late growth stage none of the functional group was dominant over the other functional groups. The densities of spiders were much more higher in the clean water field than in the other fields. And through all the growth stages of rice plants the density of spiders in clean water field kept increase in contrast to the others. The species composition of spiders in the life sewage field was similar to that in the animal sewage field, but in the clean water field it was different from the other two fields.

Insect pests have occured low at Banwol, so it is not required to heavily control them. But rice water weevil is necessary to be controlled before and after transplanting because their density was occasionally over economic injury level.

2) Studies on Development of Electrical Methods of Weed Control

In order to replace the use of chemicals for weed control, the effectiveness of the device which uses on electrical method has been investigated. Electrical weed control is versatile and rapid, and is cost competitive with chemical applications, and also efficient in an environmental preservation. Electrical weed contrl systems high voltage spark discharges-have been developed. This system generates 10kV peak value. The system which has the simplest circuit for producing high voltages uses step-up transformer, the output of which is rectified and charges an energy storage capacitor.

In this paper, We evaluated the effectiveness of an electrical discharge system as a means of germination rate and weeds control of weeds. The results of these experiments were as follows:

Germination rate of the seeds of weeds which were not discharged was shown as about 99%, but that which was discharged before seeding was shown as about 30%. Germination rate of the seeds of weeds decreased by rising the pulse voltage from 1kV to 3kV. Germination rate of the seeds of weeds decreased by increasing the time of discharge. The separation of 1cm between electrode and the seed of weeds was the most effective of germination control in any other treatments wiht longer separation.

The seeds of weeds which have been discharged(at 1kV pulse voltage) were normal, after germination, but those which have been discharged(at 2 3kV pulse voltage) became weak and then dead 14 15 days later. The seeds of weeds which have been discharged (at 2sec) were normal, after germination, but those which have been discharged(at 6 8sec) became weak and the dead 14 day later.

Part **IV**. Development of Forest Management technology

1) New Approach to the Forest Management Techniques based on Establishment of Healthy Forest

The objectives of this study were to identify the effects of air pollutants and acid rain on the productivity of village forest, and on the limiting factors to the sustainable agriculture and forestry near Banwol Industrial Complex. During the first year of the research, surveys on the vegetation, soil, and air pollution were performed. Vegetation analysis was conducted in three watershed with four quadrats in each watershed.

Species name, diameter at breast height, number of individuals, height, and cover were measured for vegetation analysis. For soil analysis, soil pH, organic matter content, cation exchange capacity, and exchangeable ions were measured. for air pollution analysis, frequency of acid rain, and ozone concentration were monitored during the growing season.

The total tree species identified in this study area were 32, with 17 overstory tree species and 29 understory three species. The average three height was 6.8 10.2, DBH of 6.1 14.0cm, crown coverage of 127 342%. The watershed No.1 consists of *Pinus rigida, Quercus mongolica, Robinia pseudoacacia, Alnus hirsuta* as major tree species. The major species at watershed No.2 were *Quercus aliena, Q. acutgissima*, and *R. pseuoacacia*, while major tree species at watershed No.3 were *Q. variabilis, Q. mongolica*, and *P. densiflora*.

The highest soil water content of 22.7% was observed at watershed No.3, and the lowest at watershed No.2. Organic matter content in soil was the highest at watershed No.3, and the lowest at watershed No.1. The soil pH ranged from 3.94 to 4.41, indicating the acidic condition of the soil.

The average pH of rainfall in July and August were 5.52 and 5.30, respectively. The Frequency of acid rain during the 2 months was 64%, while the frequency of acid rain in nearby Suwon was 58%. The average pH of acid rain was 4.99. The concentration of ozone in the air during the same period ranged from 0.03 to 0.09ppm.

Average pH of precipitaion in this study site was 4.56 and the rate of acid rain(≤ pH 5.6) was 73.7%. This study site appeared to be affected by acid rain and air pollutants, NOx from automobiles especially. Nutrients ware leached from tree crowns exposed to acid rain. The low pH of acid rain increased nutrient leaching from crown. *Pinus rigida* M. with low acid-buffering capacity index accelerated soil acidification, and decreased the forest productivity. The results of this study can be used to predict forest damages caused by air pollutants and acid rain in suburb area and industrial complex, and to maintain the sustainable forests under environmental stress.

편집순서 5

C O N T E N T S
(영 문 목 차)

편집순서 6

목 차

總　論

우리나라의 농업은 지난 30여년간 농업기반조성, 농업기술 연구 및 개발, 지도, 비료 및 농약기술 등에 대한 정부의 지속적인 투자로 괄목할 만한 발전을 이룩하였다. 특히 주곡인 쌀의 자급을 달성하였고, 원예, 축산 등의 육종 및 재배/사육기술 등에서 세계적 수준의 농업기술을 지니게 되었다. 그러나, 최근들어 우리나라의 농업은 폐농, 농촌 노동력의 유출, 생산비 앙등 등과 같은 국내적 요인과 농산물 수입개방(UR)이라는 국외적인 커다란 여건의 변화로 존폐의 위기에 처하는 어려움에 봉착하고 있다. 또한, 농업생산을 위한 많은 농업자재 투입량의 증가에도 불구하고 생산량의 증가는 한계에 이르고 있다. 지난 20년간 비료, 농약 등 농업화학물질의 사용량은 2-3배 증가하여 선진농업국의 단위면적당 평균 사용량을 초과하는 수준에 이르고 있다. 이러한 화학비료, 농약 등의 과다 사용과 집약적 축산시설 등은 식물생산성과 안정성, 생산물의 안전성의 퇴조 뿐만 아니라 수질오염, 토양오염 등 환경오염부하 문제를 가중시키고 있다. 한편, 공장폐수, 생활오수에 의하여 관개수원의 오염이 가속화 되어 이를 이용하고 정화하는 경지생태계의 환경오염 부하를 가속화 시키므로서 작물 생산의 안정성과 생산물의 안전성의 저하 또한 심각한 문제로 대두되고 있다.

농업환경에 관한 문제의 심각성은 1992년 리우에서 열린 국제지구환경회의에서 환경보전을 위한 세계공동의 노력을 합의케 하였을 뿐만 아니라, 이의 실천을 위한 일련의 움직임이 활발히 진행중이며, UR이 타결된 지금 소위 Green Round (GR) 협상이 예상되고 있다. GR의 농업부문의 협상과제는 환경적으로 안전한 농업생산이 전제되지 않는 한 국제무역 등에 불이익이 우려된다. 따라서, UR과 GR 등은 물론이고, 우리농업의 국제경쟁력의 제고를 위해서는 환경적으로 안전한 농업 혹은 환경농업(Environmentally Sound Agriculture)의 실현이 필수적이다.

환경농업은 지속농업(Sustainable Agriculture)으로 대변할 수 있다. 지속농업의 궁극적인 목표는 농업의 높은 생산성을 유지하면서 환경이나 국민보건에 미칠 수 있는

농업의 부정적 영향을 최소화 하고자 하는 농업체계이다. 미국 등 선진 농업국에서는 지속농업기술 개발이 많이 진행되어 이미 실용화 단계에 들어가고 있는 실정이며, 많은 국가들이 자국의 농업생산성 유지를 위한 수단으로 기술개발을 적극적으로 서두르고 있다.

우리나라의 경우, 환경농업은 체계적이고 종합적인 기술개발이 되어야 함에도 불구하고 여러 가지 사정에 의하여 제대로 이루어지지 못해왔다. 그러나 여러 가지 어려운 여건임에도 불구하고 이를 극복하기 위한 노력이 있어야 할 것이며, 본 환경농업의 현장애로 기술사업은 당면한 우리농업의 문제점을 파악하고 이를 극복하기 위한 지속농업의 방향을 우리나라의 상황에 맞게 바로 잡아 이를 정착시키는 것을 목적으로 한다. 지속농업의 환경친화적 기능을 강화하기위해서는:

1) 환경요소와 식물 및 환경요소들간의 유기적 관계를 구명하여 비료, 농약, 에너지의 투입은 줄이는 대신에 이를 생태정보지식의 투입을 늘리므로서 환경적으로 안전하며 작물의 생산성 과 안전성 및 생산물의 안전성을 향상할 수 있는 환경조화적 작물생산기술의 확립

2) 작물 생산의 기본 요소인 토양과 물을 오염시키는 동태적 메카니즘의 구명과 모니터링을 통하여 이를 예측하고 효율적으로 관리할 수 있는 기술의 확립

3) 경지생태계와 산림생태계의 생태정보 파악과 상호연관성 구명을 통하여 이들의 유기적 연관계를 효율적으로 관리할 수 있는 기술의 확립

4) 작물생산기술, 토양 및 수질오염관리기술, 경지 및 산림생태계 관리기술 등을 통합하여 경지생태계의 작물 생산성과 안전성의 유지 증진, 안전한 먹거리의 생산, 환경의 오염 경감과 정화를 위한 작물환경 종합관리 시스템의 확립

등의 당면과제가 해결되어야 한다.

따라서, 본 과제는 다음과 같은 연구분야를 설정하여 이와 같은 당면 과제해결을 위한 학제적인 종합적 접근(Interdisciplinary Hollistic Approach)을 시도하였다.

제 1 분야	영농/작목 기술개발

제 1 장 저투입 작물생산 기술개발

서 울 대 학 교 농학과
연구책임자 : 이 호 진
연 구 원 : 이 정 삼

제 1 절 서 론

한국 농업정책은 국민의 기본 식량인 쌀을 안정적으로 공급하는데 초점을 맞추어 쌀의 증산방안에 계속 노력을 기우려 왔다. 그러나 쌀재배 농민의 영농소득은 늘지않아 채소나 축산에 비하여 저위의 소득수준에 머물러 있고, 해외시장의 쌀값과 비교할때 4배나 고가를 나타내어 국제경쟁력이 소실되어 버린 지 오래다. 벼농사에 투입되었던 농약과 제초제는 생태환경에 영향을 미치고 과다한 시비량은 수질환경 오염의 한 원인이 되고 있다.

현재 우리나라의 작물생산에서 높은 자급율을 유지하고 앞으로도 국내 자급을 확보할 수 있는 작물은 벼 뿐이며, 앞으로도 논은 국내 농경지의 주된 부분을 차지하고 우점 농업생태계로서 유지될 것이다. 또 우리나라 작물생산에서 기본 식량작물인 쌀 생산만은 농산물의 국제적 거래가 개방되더라도 안전한 확보를 지속하여야 한다는 국민적 합의감이 조성되어 있다.

앞으로 국내 벼농사의 지속성을 유지하려면 영농노력과 비용을 절감하고 환경을 보전하는 방향으로 전환되어야 하겠다. 농용자재를 적게 투입하고 농작업을 생력화하여야 할수 있는 재배법이 도입되어야 하고 동시에 현재의 높은 생산성을 유지하는 재배기술이 확립되어야 한다. 또 수질환경에 부영양화를 초래하는 현행 시비법과 주변 생태계에 심각한 손상을 가져오는 농약과 제초제 사용을 절제하고 유기물의 경지환원을 촉진하는 재배법이 확립되어야 한다. 영농수익성 악화와 영농인구의 급속한 감소를 고려하고 깨끗한 환경을 보존하기 위하여서 앞으로의 작물생산에서는 농업자재의 저투입과 생산활동과 생산환경의 지속성이 요청된다.

본 연구에서는 생태계의 보존을 위하여 실제 벼재배농가의 논을 활용하여 벼농사의 시비량을 감량하고 볏짚의 농지환원을 증대시키며 농약 및 제초제시용을 감소시킬 수 있는 한계를 시험하였다. 이 연구의 결과는 앞날의 우리나라 작물생산 재배의 새로운 LISA형 재배법을 확립하는데 기여하며 국내 주곡의 고생산성을 지속할 수 있는 농경영체제 확립에 활용될 수 있고, 농가소득의 향상을 도모하며 합리적 영농의 기반 조성에 기초데이터

로 사용되며, 생태환경을 보호하고 농업활동에서 발생되는 환경공해 유발요인의 배제하는 새로운 농업 형태를 확립하는데 기여하며, 궁극적으로 안전하고 지속적 식량 생산 방식수립에서 실례를 제시하게 될 것이다.

기존의 벼재배방법은 농자재를 많이 사용하고 영농노력을 최대화하여 다수확을 최우선의 목표로 하였다. 그러나 저투입지속성 벼재배 기술은 환경을 보전하고 생태계를 회복하기 위하여 비료와 농약 사용을 감소시키고 영농노력을 절감하여 농업경영을 합리화 하려 한다. 본 연구에서는 농가의 관행재배법과 저투입지속성 기술에 입각한 벼재배를 실시하고 결과를 비교하였다.

농가포장에서 기존 기비시비량을 절감하고 식물체의 영양상태를 판단하여 질소비료를 추비하여 비료절감효과를 생육과 수량으로 판단할것이다. 유기물 환원을 높이기 위하여 벼의 이삭을 제외한 나머지를 포장에 유기물로 환원하며 화학 비료의 시용수준을 감소시키고 질소비료의 적정분시를 실시하였다. 또 제초제와 주요 병충방제 농약을 사전예찰을 통하여 최소한 사용으로 절제하였으며, 이러한 환경보전형 재배관리가 벼의 생육과 수량에 미치는 영향을 검토하고 주변환경에 악영향을 남기지 않고 생태계를 유지할 수 있는 벼의 비배관리법을 규명하였다.

제 2 절 재료 및 방법

본 실험은 1995년부터 1997년 3년간 경기도 수원시 권선구 탑동 소재 농민 임형곤씨의 논을 1400평을 시험답으로 사용하여 기존의 벼재배법과 본연구진이 제시하는 저투입 지속성재배법을 비교하는 실증재배 였다. 시험답은 평탄한 평지에 위치하였고 경지정리가 잘 되었으며 관개수 공급이 원활한 수리답이었다.

해마다 3월 30일에 벼품종 '봉광벼'를 침종을 시작하였고 4월 15일에 상자육묘로 못자리를 만들었다. 이앙은 5월 20일 이앙기를 사용하여 재식밀도 30 X 15 cm로 이식하였다.

시비와 제초제 및 농약 살포는 아래와 같이 실시하였다.

구 분	관행구	LISA구
1. 비료시용	(복합비료)	(단 비)
	(N : P_2O_5 : K_2O)	(N : P_2O_5 : K_2O)
기비	7.0 : 5.5 : 5.5	2 : 8 : 8
1차추비	4.62: 1.8 : 1.8	2.5 :
2차추비		1.5
합 계	11.62 :7.3 : 7.3	6.0 : 8 : 8
2. 농약살포		
제초제	마세트	마무리입제
굴파리방제약	큐라텔	큐라텔입제
잎짚무늬마름병	네오아소진	
이화명충 방제약	디프수화제	

저투입지속성 벼재배를 위한 LISA구의 재배법은 상자육묘와 어린모 기계이앙을 하였고 본답은 경운한 후 물 로타리를 하였다. 본답시비량은 기비 : N-P-K, 2kg-8kg-8kg/10a를 사용하였고, 분얼기 추비로 질소 : 2.5kg/10a(분얼비) 와 수비로서 질소 :1.5kg/10a를 사용하였다. 제초제는 이앙후 2주 마무리입제 3kg/10a를 사용하였고, 병충해 방제에는 파단수화제 100g/10a 만을 살포하였으며 그밖의 농약은 최대한 사전 예찰을 통한 사전 방제 원칙을 지키며 농약살포를 억제하였다.

재배자는 작업일지에 작업명, 노동시간투입, 소요인원, 소요시간, 작업기계명, 연료소요량, 농약, 비료시용량 등 필요사항을 기록하였다.

벼 생육기간동안 상위엽의 綠色度를 Spad Meter(SPAD502, Minolta Co. Japan)를 사용하여 측정하였고 해당엽의 질소함량을 분석하기 위하여 켈달 자동분석장치를 사용하였다.

수질분석을 위하여 논에 채수기(irrometer)를 묻고 토양 층위별로 논 물을 채집하여 시기별로 암모늄태 질소와 질산태 질소 농도를 측정하였다.

시험기간 3년간의 벼 재배기간동안 기상조건은 대체로 고른 기상현상을 나타내었으나 95년은 평년기온보다 약 0.8도, 96년은 1.3도, 97년은 1.1도 정도 높았고, 특히 97년은 봄철기온이 높았으나 9-10월은 빠르게 기온이 낮아졌다. 강우상태가 순조로웠고 별다른 기상재해가 없었다.

제 3 절 결과 및 고찰

본 연구에서는 농가의 관행재배법과 저투입지속성 기술에 입각한 벼재배를 3년간 실시하였고 결과를 비교하였다.

1) 분얼수 변화 : 각 시험구의 3개년간 영양생육기간동안 분얼수를 시기별로 측정하여 분얼소장상태를 나타내었다. 이앙후 45일이 지난 7월5일경에 분얼수가 최대에 도달하였다가 7월31일 이후부터 약세분얼들은 감소하였다. 그러나 기비시용량이 적었던 저투입구에서도 최종 분얼수는 관행구와 차이가 없었다 (표 1).

Table 1. The changes in tiller number during vegetative stage in rice

(unit : tillers/m2)

year	methods	Jun 20	Jul 5	Jul 15	Jul 31	Aug 15
'95	Control			619	541	513
	LISA			551	564	518
'96	Control		538	509	464	
	LISA		540	501	453	
'97	Control	400	636	558	560	
	LISA	402	540	487	476	

2) 草長 : 반면 초장은 관행구가 이앙부터 7월31일까지는 저투입구보다 컸으나, 8월 들면서 저투입구가 도리어 커지는 경향이 있는데 이것은 저투입구는 추비에 치중하여 질소비료가 공급되었기 때문이었다 (그림 1).

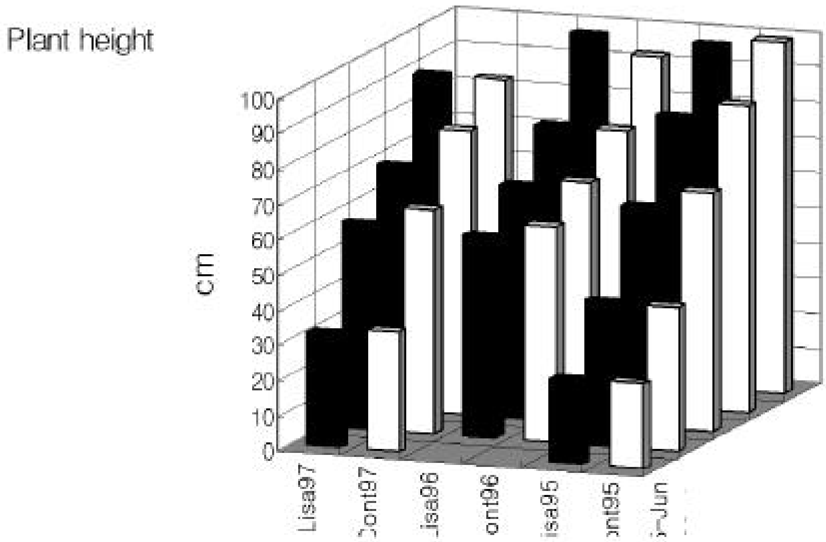


Fig. 1. Plant height during vegetative stage in rice.

3)葉綠度와 엽 질소농도 : 엽의 녹색 정도는 엽록소의 함량과 엽내 질소성분 농도를 나타내고, 엽 광합성 능력을 간접적으로 반영한다. 최근 지속성농업 기술에서 옥수수, 밀, 벼 등 화본과 작물의 엽록도를 측정하여 일정수준의 녹도를 유지하면 더 이상 질소비료 공급을 중지하는 방법을 채택하고 있다.

본 연구에서 벼 생육시기별로 엽록도를 측정하여 식물체의 질소영양상태를 상대적으로 추정하고자 하였다.

영양생장기 동안 葉綠度는 30 이상의 값을 보이다가 출수기이후 서서히 녹도가 감소하여 9월말경 20 이하의 値로 낮아지게 되어 광합성능력의 저하가 예상된다. 처리구별로는 관행구가 높은 값을 보였다가 출수기경에는 지속성구의 추비효과가 나타나 엽록도는 거의 차이가 없게 되었다. 출수후에는 저투입구가 엽록도 감소가 빨랐는데 이는 출수기가 약5일 빨랐고 성숙이 촉진되었기 때문이었다(그림2,3,4).

엽록도와 엽질소함량과는 그림 2와 같이 정의 상관을 나타내어 Spad meter로서 간단히 측정하여 벼 잎의 질소 상태를 추정할수 있었다.

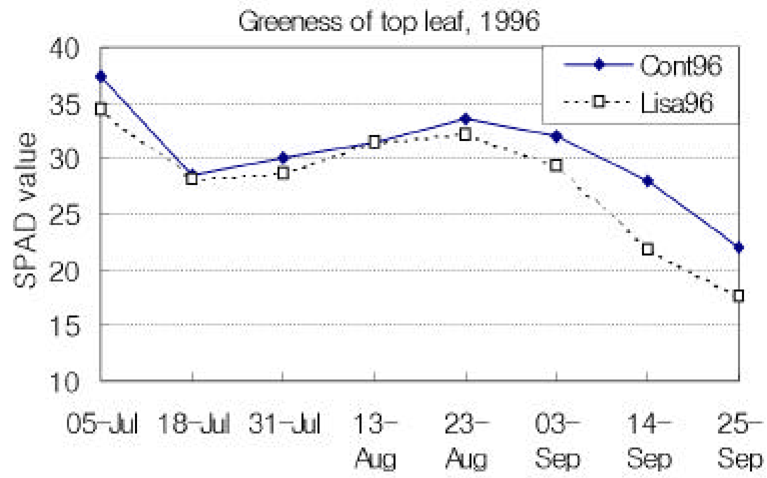


Fig. 2. The changes in leaf greenness of top leaf, 1996

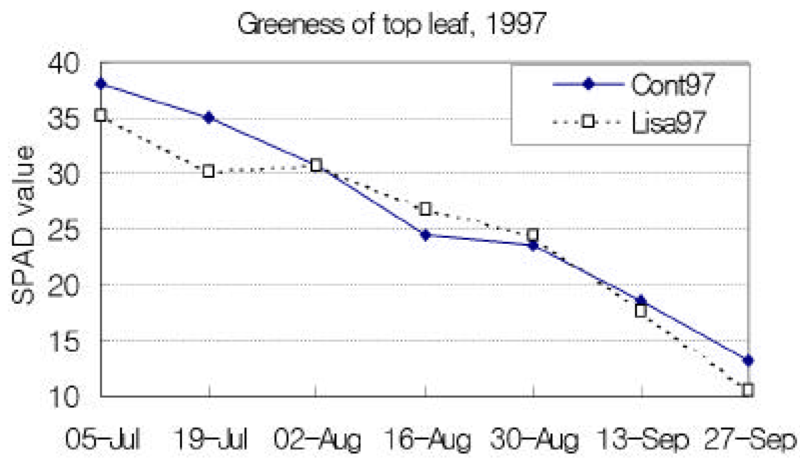


Fig. 3. The changes in leaf greenness of top leaf, 1997

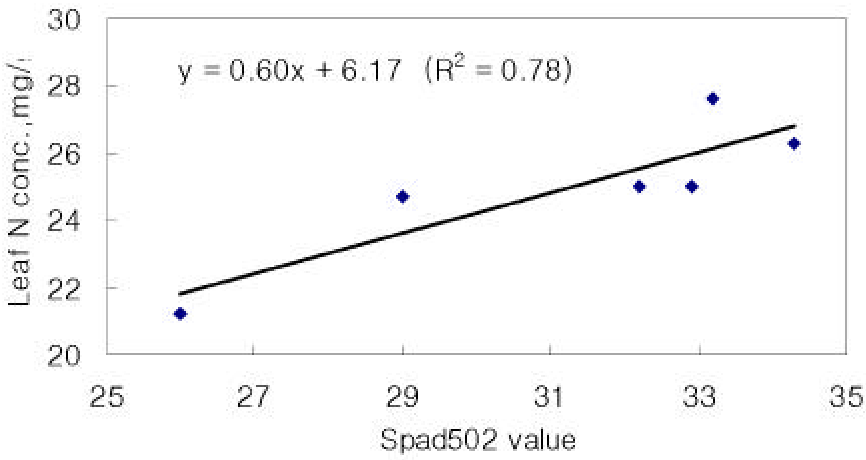


Fig. 4. Relationship between Spad 502 value and N concentration in rice flag leaves.

벼 군락의 일사광 이용 상태는 군락 내부로 투사된 일사광량을 작물집단이 얼마나 광합성에 활용하는가에 달려있다. 포장에서 광투과율을 조사하였을 때 군락하부 지표면에서 군락상부 광도의 12%-13% **정도를 나타내어 한계광도인** 5%**보다 높았고 밀식정도가 과도하지 않았으며 처리구간에는 별 차이가 인정되지 않았다.** (표2)
이것은 군락의 엽면적지수가 4-5**정도 조건에서 벼 군락구조가 광투과에 양호하여 하부에서도 충분한 광도를 유지하였고 광이용 상태가 적절하였음을 보여주고 있다.**

Table 2. Light Transmission Rate(LTR) on September 3, 1996

Method	LTR(%)			
	Ground	20cm	40cm	60cm*
Control	12.6	15.6	22.1	40.1
LISA	13.5	15.3	22.8	39.0

* Height to ground

4) **출수기 생육 상태** : **벼는 출수기** 10**일경 이삭이 완전히 지엽에서 돌출을 완료하고 개화기에 이르면 벼의 영양생장상태는 완전히 성숙된 식물체를 이룬다. 이때의 벼의 줄기길이**(**稈長**)**을 보면 연도간 차이가 조금씩 있지만 관행구에 비해 지속성구가 거의 차이가 없었다. 이것은 생육초기 질소 시비량이 적었지만 추비로 공급된 질소시비량이 충분히 생장에 활용되었음을 의미한다. 이삭길이**(**穗長**)**는** 96**년과** 97**년은 지속성구가 조금씩 길었고 수비의 효과가 있었다. 엽면적지수**(LAI)**는 비슷하였고 건물중은** 95**년을 제외하면 지속성구가 많았다. 출수기는 지속성구가 관행구보다** 2-4**일 빨랐다. 출수기가 빨라지면 양호한 기상조건에서 벼의 등숙이 진행되어 증수에 유리하게 된다.**(**표** 3)

Table 3. Plant Characteristics on 10 days after Heading

year	methods	Culm Length (cm)	Panicle Length (cm)	Leaf blade Wt (g/m^2)	LAI	Dry Matter# (g/m^2)	Heading Date
'95	Control	90.5	17.5	231.1	5.2	844.7	8/23
	LISA	88.8	16.8	218.0	4.3	775.9	8/20
'96	Control	77.0	17.9	212.7	4.5	737.5	8/16
	LISA	80.3	18.3	204.8	4.7	906.7	8/12
'97	Control	84.4	16.6	219.5	4.5	759.4	8/10
	LISA	84.5	18.4	224.2	4.5	821.9	8/8

#: dry matter of above part.

5) **수량과 수량구성요소** : **벼의 수량과 수량구성요소를 조사하여 지속성 재배방법이 수확량에 미치는 영향을 평가하였다.**(**표**4) **단위면적당 벼 이삭수는** 3**년 모두 지속성구가 관행구보다** 5-19% **가량 적었으나** 95**년을 제외하고** 400**개**/m^2**를 유지하여 증수의 기본 조건은 확보되었음을 확인할 수 있었다. 이것은 벼의 분얼중 유효분얼수에 좌우되고 지속성구가 관행구에 비해 유효분얼비율이 높음을 의미하였다.**
이삭당 영화수는 96**년을 제외하면 지속성구가 많았고 천립중 역시 지속성구가 높게 나타나 관행구보다 등숙이 양호하였음을 입증하였다.**

벼의 수확량을 보면 3년간 통계적 유의성이 없어 저투입지속성 재배방법으로 감수되지 않았음을 알 수 있었고, 실제 95년에는 같은 수량이었으나 96년에는 약 3%, 97년에는 약 10% 증수되었다. 현미수량은 96, 97년도 모두 500Kg/10a 이상으로 비교적 높은 수량을 올려 본 시험포장이 국내일반 논에 비해 수량성이 떨어지지 않았다.

연도간 수량변이는 크지 않았는데 시험기간 3년간 대체로 벼재배에 양호한 기상조건이 유지되었고 병충해도 적절히 사전방제되었기 때문이었다. 한편, 지속성시험구는 첫해인 95년 보다 96년, 97년 약 10%씩 계속 증수되어 지속성농업 방식이 수량성저하를 초래하지 않고 지속될 수 있음을 확인하였다.

지속성구의 질소시비가 기비보다 추비위주로 실시되어 벼의 질소이용효율을 높혔을 것으로 보이며, 영양생장보다 생식생장을 촉진하였고 수량성이 향상될 수 있었던 것으로 평가된다.

Table 4. Comparison of rice yield and its components

Year	Method	No. of panicles /m2	No. of spikelets /panicle	Grain filling (%)	1,000 grains wt. (g)	Rice yield (kg/10a) Rough grain	Brown rice
'95	Control	415.3	65.6	73.6	27.4	566.7	453.4
	LISA	338.1	78.9	75.3	27.1	566.8	447.8
		**	**	NS	NS	NS	NS
'96	Control	425.2	61.7	94.3	24.6	641.8	506.4
	LISA	406.7	53.6	94.2	26.3	659.0	519.9
		NS	**	NS	**	NS	NS
'97	Control	525.2	60.1	79.5	24.6	620.9	484.3
	LISA	460.8	73.2	89.3	26.5	684.3	533.8
		NS	**	**	**	NS	NS

NS: not significant at LSD 0.05 level
* : significant at LSD 0.05 level
**: significant at LSD 0.01 level

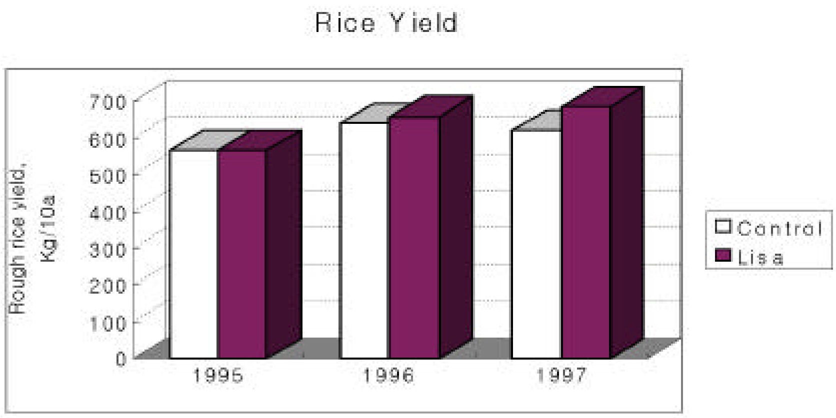


Fig. 5. Comparison of rice yield between CONTROL and LISA.

6) 농용자재 및 에너지 소요 : 지속성농업은 에너지 투입을 감소시켜 환경오염 방지에 기여하고 아울러 농업경영성을 향상하여야 한다. 본 연구에서는 소요된 비료, 농약, 제초제 농용자재와 농기계사용에서 투입된 연료와 영농노동시간 소요를 계산하였고 이들을 에너지단위로 전환하여 처리구별로 비교하였다. 지속성구는 관행구에 비하여 비료와 농약의 절감 효과가 컸으나 농기계사용 연료와 노동력소요에서 차이가 없었다. 결과적으로 본 연구의 시험포장에 한해 영농에 사용된 에너지 투입량을 비교하였을 때 저투입 지속성구는 관행구에 비하여 72.8%에 불과하였고 약 28%의 에너지 절약의 효과가 있었다.
벼농사의 지속성을 향상시키기 위하여서는 궁극적으로 에너지소요의 절감이 필요하며 이것이 농민의 영농비용 감소와 연결되어야 한다. 아울러 지속성농업에는 에너지효율성이 높고, 작업효과가 좋고, 노동시간을 절약할 수 있는 농기계 개발이 필요하다. 비료에서도 소량의 시용으로서도 장기간 논 토양에 유효태로서 존속하여 작물흡수성을 증대할 수 있는 비료의 개발과 시비법 향상이 요구된다. (표 5)

Table 5. Fertilizer, pesticides, and fuel input for rice farming.

	Source	Control	LISA
Fertilizer (kg/10a)	nitrogen (N 46%)	23.91	13.04
	phosphate (P 20%)	40	40
	potash (K 60%)	13.33	13.33
Pesticide (g a. i./10a)	**마세트**(butachlor)	150	-
	마무리(mefenacet + bensulfuron-methyl + dymron)	-	105 + 3.9 + 45
	큐라델(carbofuran)	120	120
	파단(cartap hydro chloride	50	50
	네오아소진(neoasozin)	16	-
	디프(trichlorfon)	150	-
	키타진(IBP)	680	-
Fuel(*l*/10a)	gasoline	3.1	3.1
	diesel	16.45	16.45

Table 6. Energy input in conventional and LISA system for rice farming

Source		Energy equivalents	Input energy(kcal/10a)	
			Control	LISA
Seed		2,952 kcal/kg	11,808	11,808
Fuel	gasoline	10,109 kcal/*l*	31,338	31,338
	diesel	11,414 kcal/*l*	187,760	187,760
Fertilizer	nitrogen	14,700 kcal/kg	161,700	88,200
	phosphate	3,000 kcal/kg	24,000	24,000
	potash	1,600 kcal/kg	12,800	12,800
Herbicide		86,600 kcal/kg	12,990	13,328
Insecticide		85,300 kcal/kg	86,665	14,501
Labor		175 kcal/hr	4,265	4,265
Total			533,326	388,000

7) 토양 및 수질에 미치는 영향 : 지속적 농업은 주변 환경에 악영향을 주지 않아야 한다. 논은 특히 수질 환경에 큰 영향을 미치는데 논에 투입한 비료 성분과 농약, 제초제가 관개수의 침투시 지하수에 유입되거나 배수시 지표수에 유입되어 수질 오염을 초래하는 것으로 알려져 있다. 본 시험구의 논토양의 층위별로 용탈수 採水하여 질산태와 암모늄태 비료의 농도를 측정하였다.

논에 유입된 질소 성분은 기존 논토양의 유기태 및 무기태 질소성분과 시비로 투입된 질소 비료, 관개수에 유입된 질소성분, 강우로서 유입된 질소 성분으로 구분될 수 있다. 본 조사에서 작토층인 지층 20cm에서의 질산태 질소의 변화는 그림과 같이 6월초순까지 급속히 증가하다가 그 이후부터는 1ppm정도를 유지하였다. 지속성구도 관행구와 큰 차이없이 비슷하였으나 추비 시기에 약간의 증가를 나타내었다. 암모늄태 질소는 관행구에서 기

비의 영향으로 높게 유지되다가 수온이 높아진 7월 중순이후는 급속히 감소되었다. 그러나 지속성구는 초기에는 그다지 높지 않았으나 벼 생육이 왕성한 7월-8월에는 관행구보다 높아 유리하였다. 지하 40cm 및 60cm에서 채취된 누출수의 질산농도는 작토층과 차이없이 높았고 계절별 변화도 비슷하였다.

본 결과로서는 지속성구의 지하누출수에서 질산태농도가 관행구의 차이를 인정하기 어려웠다. 질산태 질소의 형태로는 논 시비 질소가 누출되는 것을 방지하려면 이앙전 논의 바닥을 굳히기 작업을 충분히 하여야 하고, 관개수위를 적절히 유지함으로서 표면 流水나 排水를 억제하여 논의 水系를 閉鎖系화하여야 한다(그림 6-1 6).

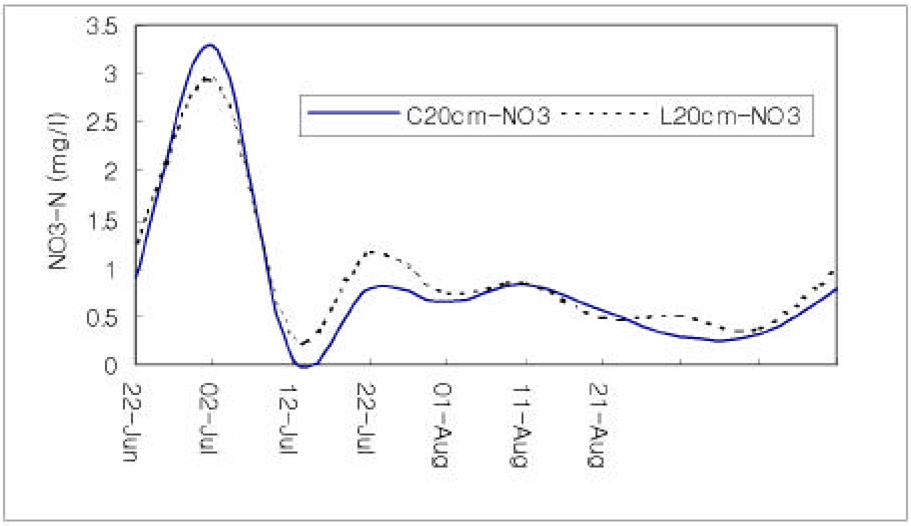


Fig. 6-1 Changes of NO_3-N concentration in paddy water collected in 20cm soil depth. C : Conventional plot, L : LISA plot

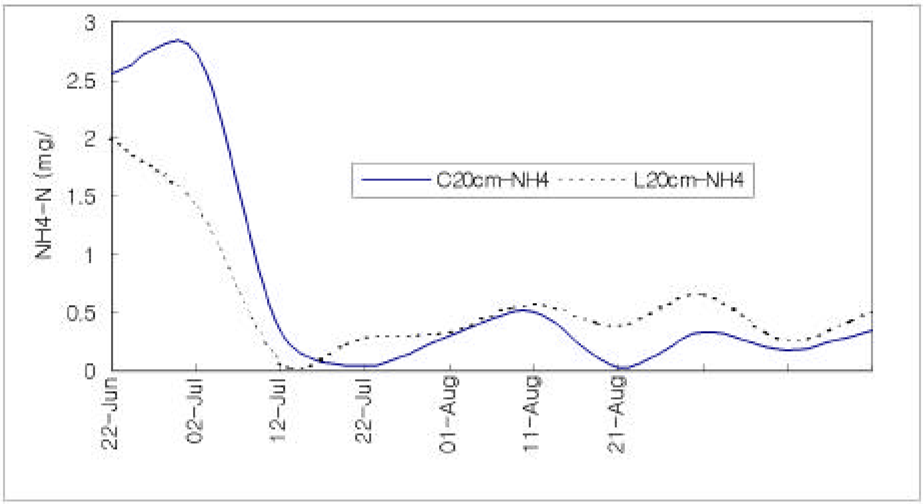


Fig. 6-2 Changes of NH4-N concentration in paddy water collected in 20cm soil depth. C : Conventional plot, L : LISA plot

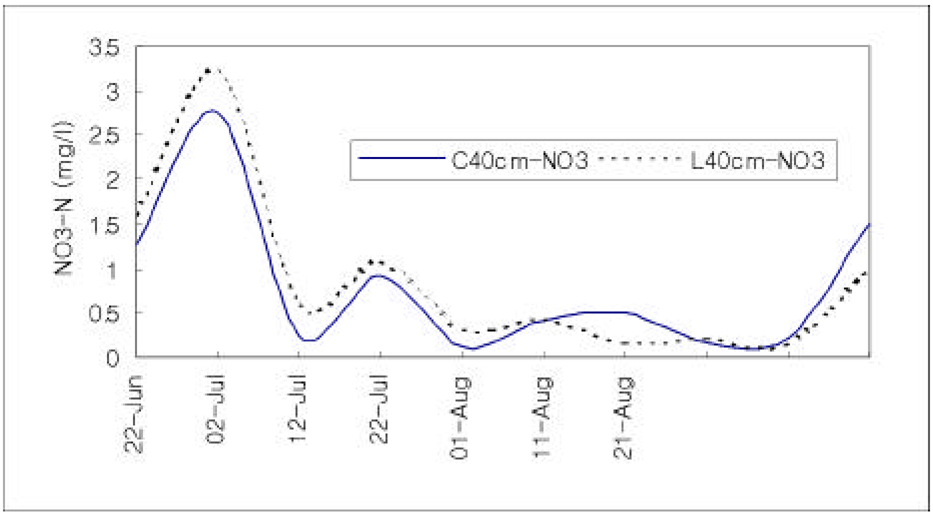


Fig. 6-3 Changes of NO3-N concentration in paddy water collected in 40cm soil depth. C : Conventional plot, L : LISA plot

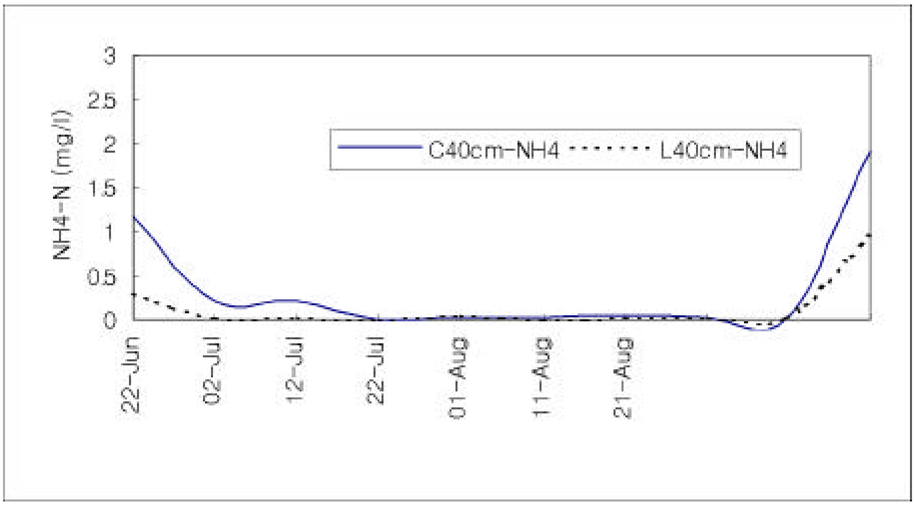


Fig. 6-4 Changes of NH_4-N concentration in paddy water collected in 40cm soil depth. C : Conventional plot, L : LISA plot

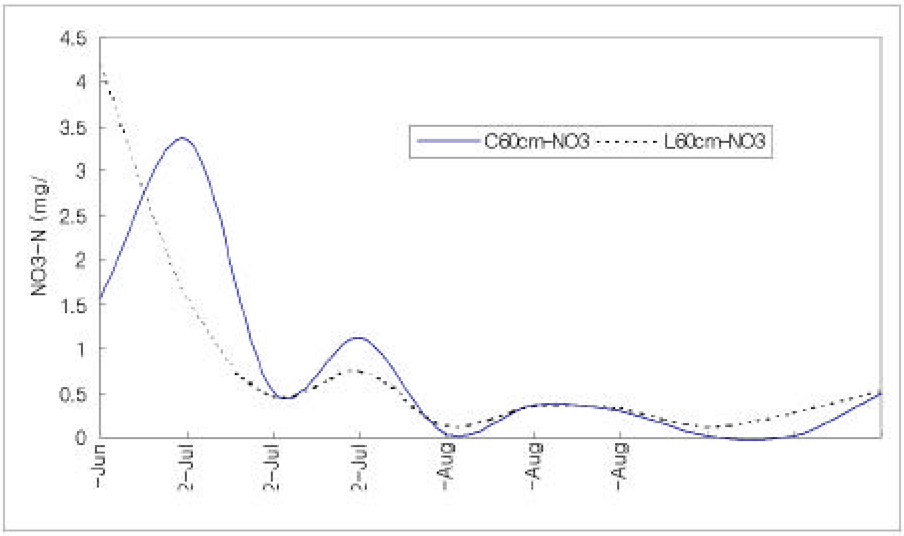


Fig. 6-5. Changes of NO_3-N concentration in paddy water collected in 60cm soil depth. C :conventional plot, L :LISA plot

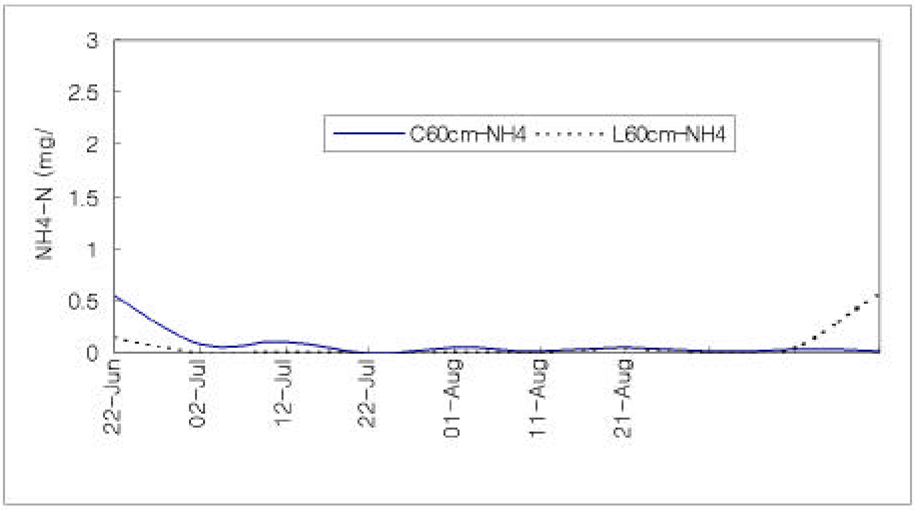


Fig 6-6. Changes of NH4-N concentration in paddy water collected in 60cm soil depth. C :conventional plot, L :LISA plot

제 4 절 요약 및 결론

본 연구에서 농민의 기존 논을 활용하여 관행의 벼재배법(관행구)와 저투입 지속성 재배시험구(LISA구)를 설치하였고 국내 벼재배에 저투입 지속성 재배법을 도입할 수 있는지 확인하려는 실증시험을 3년간 실시하였다. 저투입 지속성구는 관행구 질소 시비량의 50%, 농약시용량의 1/3만을 투입하였고, 특히 질소시비는 기비보다 추비중심으로 基肥:追肥:穗肥를 33%:44%:25% 비율로 시용하였다.

LISA구의 벼생육은 초기에는 초장이나 분얼수 확보에서 관행구보다 부진하였으나 생육후기로 갈수록 비슷하여 졌다. 출수기 생육상황은 간장이나 이삭수, 엽면적, 건물중에서 약간 LISA구가 우월하였고 출수기도 약 2-4일 촉진되었다.

벼의 수량구성요소 중 단위면적당 이삭수는 관행구에 비하여 LISA구가 5-19%적었지만 천립중은 LISA구가 높게 나타나 결국 정조 및 현미수량은 차이가 없었다.

본 농가포장에서 1995년 시험성적은 LISA구의 벼 수량은 관행구와 거의 같이 현미수량이 453.4kg/10a(관행구) 447.2kg/10a(LISA구)였지만, 1996년은 15kg/10a, 1997년은 50kg/10a씩 LISA구가 더 다수를 나타내었지만 통계적 유의성은 없었다. LISA구의 현미수량이 시험 2년·3년차로 갈수록 증가되었고 저투입으로도 500kg/10a 이상으로 비교적 높은 수량을 올릴 수 있음을 입증하였다.

한편 에너지 투입량을 환산하였을 때 관행구에 비하여 LISA구는 28.2%가량 절감효과가 있었다. 생산비는 농약과 비료비용이 300평당 22,270원, 인건비는 60,000원 절약된 것으로 농가조사에서 밝혀졌다.

본 연구의 결과는 농가에 질소비료를 절감하고 농약시용을 억제하여 벼재배하더라도 관행 벼수량에서 전혀 감소가 없이 평균수량을 달성할 수 있음을 확인하였다. 농민의 설문조사에서 질소비료를 절비함으로써 병의 발생이 적었고, 따라서 농약살포를 줄일 수 있었음을 확인하였다. 또 농민은 이 방법을 다른 논이나 타 품종을 사용하더라도 동일한 결과를 얻을 것으로 예상하였다.

3년간 농가 실증시험성적으로 판단할 때 국내 벼농사에서 저투입 지속성 농법을 적용할 수 있을 것으로 결론지었고, 대규모 벼 재배단지에 LISA 벼재배를 실시한다면 수질과 환경보존의 효과도 기대된다.

국내 벼농사가 다수확을 목표로 모든 기술이 보급되었고 질소 비료의 과다한 시용과 농약의 계속적인 살포가 기본이 되었다. 수 십년이상 계속된 다수확 영농은 농토의 산성화와 질산태 질소의 누출에 따른 수질오염을 야기하였고, 생태계의 파괴를 초래하였다.
본 연구는 질소비료 시용을 절감하고 농약시용을 줄이는 저투입 지속성 농업기술을 구내 벼농사에 도입할 수 있는지 확인하려는 실증시험을 3년간 실시하였다. 농민의 기존 논을 활용하여 관행의 벼재배법(관행구)과 저투입 지속성 재배시험구(LISA구)를 설치하여 벼의 생육과 수량성, 농자재와 에너지 투입, 논토양 누출수의 질산오염상태를 조사하였다. LISA구는 질소시비량의 50%, 농약시용량의 1/3만을 투입하였고, 특히 질소시비는 기비보다 추비중심으로 基肥:追肥:穗肥를 33%:44%:25% 비율로 시용하였다.

LISA구의 벼생육은 초기에는 초장이나 분얼수 확보에서 관행구보다 부진하였으나 생육 후기로 갈수록 비슷하여 졌다. 출수기 생육상황은 간장이나 이삭수, 엽면적, 건물중에서 약간 LISA구가 우월하였고 출수기도 약 2-4일 촉진되었다. 벼의 수량구성요소 중 단위면적당 이삭수는 관행구에 비하여 LISA구가 5-19%적었지만 천립중은 LISA구가 높게 나타나 결국 정조 및 현미수량은 차이가 없었다.

본 농가포장에서 시험 1년차 LISA구의 벼 수량은 관행구와 거의 같이 현미수량이 453.4kg/10a(관행구) 447.2kg/10a(LISA구)였고, 2년차는 15kg/10a, 1997년은 50kg/10a씩 LISA구가 더 다수를 나타내었지만 통계적 유의성은 없었다. LISA구의 현미수량이 시험 2년 3년차로 갈수록 증가되었고 저투입으로도 500kg/10a 이상으로 비교적 높은 수량을 올릴 수 있음을 입증하였다. 한편 에너지 투입량을 환산하였을 때 관행구에 비하여 LISA 구는 28.2%가량 절감효과가 있었다.

본 연구의 결과는 농가에 질소비료를 절감하고 농약시용을 억제하여 벼재배하더라도 관행 벼수량에서 전혀 감소가 없이 평균수량을 달성할 수 있음을 확인하였다. 농민의 설문조사에서 질소비료를 절비함으로써 병의 발생이 적었고 따라서 농약살포를 줄일 수 있었음을 확인하였고, 영농비용도 감소되었다. 3년간 농가 실증시험성적으로 판단할 때 국내 벼농사에서 저투입 지속성 농법을 적용할 수 있을 것으로 결론지었고 대규모 벼 재배단지에 LISA 벼재배를 실시한다면 수질과 환경보전의 효과도 기대된다.

참고문헌

1. 이호진 · 김수형 · 이석순. 1994. 중부와 남부지역 벼 건답직파재배의 생산성과 수익성. 한작지 39(5): 512- 518.

2. 이호진 · 서준한 · 이정삼 · 정영상 · 박정근. 1996. 벼 직파재배 노동력 투입 및 에너지 효율성 비교. 한작지 41(1): 115- 122.

3. 이철원 · 윤용대 · 오윤진 · 조상열. 1992. 벼 건답직파재배에서 온도 및 파종심도가 종자의 출아와 중배축 신장에 미치는 영향. 한작지 37(6): 534- 540.

4. 곽태순. 1992. 벼 생력화 재배를 위한 담수직파 파종시기의 등숙환경 분석. 한작지 37(6): 541- 549.

5. 백준호 · 이석순 · 홍승범. 1992. 재배양식에 따른 벼 생육특성과 수량성. 한작지 37(6): 550- 556.

6. 오윤진 · 김정곤. 1992. 벼 직파재배 입모율 향상과 도복경감. 한작지 12(3): 200- 222.

7. 이석순 · 백준호 · 김태주. 1993. 벼 건답휴립직파재배에서 파종양식과 파종량에 따른 생육과 수량. 한작지 37(6):514- 520.

8. 김상경 · 이승필 · 이외현 · 이광석 · 최부술. 1992. 벼 건답직파재배에서 파종기 이동에 따른 생육 및 수량. 한작지 37(5):442- 448.

9. 안명훈 · 김기식 · 한세기 · 허범량 · 김광호. 1990. 이앙기를 이용한 벼 직파방법과 파종기 및 파종량이 수량에 미치는 영향. 한작지 35(4):320- 327.

10. 김순철 · 전병태 · 이수관. 1993. 벼 휴립건답직파 방법의 수량성과 안정성. 농업논문집 35(1): 1- 7.

11. 황등용 · 김순철 · 전병태. 1993. 벼 건답 휴립직파 방법의 토양종류에 따른 생육과 수량반응. 농업논문집 35(1):8- 12.

12. 홍철순 · 박평식. 1992. 수도직파재배 시범농가에 대한 경영성 분석. 농시논문집 34(2):1- 8.

13. 김제규 · 이문회 · 오윤진. 1994. 벼 건답직파재배에서 Gibberellin의 종자분무처리가 출아 및 초기 신장에 미치는 영향. 한작지. 38(4): 297- 303.

14. Charles L. Guy. 1990. Cold acclimation and freezing stress tolerance: Role of protein metabolism. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 41:187- 223.
15. Heydecker, W. 1997. Stress and seed germination. p. 240- 282. In: A. A. Kahn(ed,). The phusiology and biochemistry of seed dormancy and germination. Elsevier/ North- Holland. Amsterdam.
16. Lyons, j. m. 1973. Chilling injury in plants. Annu. Rev. Plant Physiol. 24: 445- 466.
17. Gordon, A. G. 1971. The Germination Resistance test a new test for measuring germination quality of cereals. Can. J. Plant Sci. 51: 181- 183.

제 1 분야	영농/작목 기술개발

제 2 장 벼 직파재배시 입묘저해요인 구명시험

전북대학교 농업개발연구소
연구책임자 : 김 진 기
연 구 원 : 최 경 구

第 1 節 緖 說

벼 직파재배는 저투입생산방법으로 농가에 인식되어 그동안 가장 안정된 생산방식으로 발전되어 왔던 이앙재배를 대신하여 상당한 속도로 확대되고 있는 추세이다. 그러나 일부농가에서는 직파재배에서 가장 기본이 되는 입묘기술의 미흡으로 입묘에 실패하는 사례가 적지 않다. 직파재배를 희망하는 농가가 앞으로 더욱 늘어날 전망임에 비추어 입묘확보를 위한 기술개발이 시급하다.

작물생산을 안정화시키려면 파종후 균일하면서도 충분한 입묘를 신속하게 확보하여야 한다. 벼직파시에 입묘가 불량하다는 것은 논포장조건이 벼종자의 발아 및 출현에 불리한 조건에 있음을 의미하므로 원하는 입묘상태를 성취하기 위하여는 우선 논토양의 물리성 개선을 고려하여야 한다. 직파재배에서 입묘확보는 주로 토양물리성 특히 토양수분을 중심으로한 발아 및 착근환경에 좌우된다고 판단된다.

논토양의 수분과 통기 및 토양밀도는 유묘가 착근하여 출현하는데 영향을 준다29). 뿌리의 착근이 잘 된다면 지상부의 발육도 잘되어 입묘가 충실하여진다. 토양의 수분상태에 따라 공극의 크기, 분포가 달라지는데, 토양공기는 물에 채워지지 않은 나머지 공극에 존재하므로 공기량은 공극분포에 의하여 결정된다. 담수토양에서는 공극의 크기가 작고, 공극량도 많지않다. 논토양이 포화되면 공극중의 산소는 토양수분에 용해되어 수 시간내에 소진되고 산소결핍을 초래한다. 소공극이 많으면 보수능력이 크고 통기는 떨어지고 토양구조가 조밀하게 된다. 토양이 다져져 토양밀도가 높아지면 뿌리의 틈입에 필요한 공극이 적게되며 산소 결핍을 초래하고 뿌리신장에 대한 기계적 저항성이 증대한다. 이와같이 포장에서 기계적 저항성이 커지면 수분과다 및 산소부족과 함께 뿌리의 발육과 기능이 억제되어 유묘의 출현이 저해된다. 반면 건답에서는 통기는 양호하나 수분이 부족하기 쉬운데 논토양이 건조되면 토양의 수분흡착력이 커져 뿌리의 신장이 억제된다. 이 경우 종자와 토립이 잘 접촉되어 있지 않으면 발아에 필요한 흡수가 어려워 입묘가 불량하다. 본 실험은 입묘에 대한 토양수분의 영향을 구명하고자 토양에 수분함량을 달리처리하여 입묘상태를 검토하였다.

다음으로는 종자세가 좋은 종자의 사용을 고려해야한다. 종자는 생리적성숙이후 퇴화과정에 들어가며 이과정은 모식물의 생육상태, 종자의 성숙정도, 수확조제시의 손상및 저장조건등이 복합적으로 관여하여 생리 생화학적 변화 즉 종자세의 저하로 나타난다.

그간 종자세를 개선하고자 시도되었던 여러가지 종자처리기술중[16], Bradford (1986)는 종자의 흡습을 조절하여 발아활동은 시작하되 출현에는 이르지 않도록 제한된 조건으로 흡습시킨후 원래상태로 건조시키는 흡습건조처리 방법을 통하여 종자의 퇴화속도지연과 발아의 신속과 균일화를 시도한 결과를 종합고찰한 바 있다. 흡습건조처리는 초기에는 증류수에 흡습후 발아전에 건조시키는 경화의 효과를 꾀하였는데 후에 염류나 분자량이 큰 PEG 의 삼투액에 침지시켜 발아대사에 필요한 만큼의 흡습을 조절하는 방법을 사용하게 되었다[18]. 그러나 염류용액은 삼투장애가 있고 PEG용액사용시는 종자침지중 산소부족등의 문제가 있으며[4,19,21], 농도가 높거나[15], 처리시간이 길면[9] 처리효과를 볼수 없는 경우가 많고, 또 처리후 세척을 해야하는 취급상의 문제가 있다. 보다 간편한 방법으로 파종전에 벼종자를 일상의 수도물에 짧은 시간 침지처리하는 방법을 검토하였다.

또 입묘는 발아후 유근이 논토양에 착근하여 이루어 지는데 건답직파시는 유근이 초엽에 앞서 나오기 때문에 착근에 큰 문제가 없지만, 담수직파에서는 산소의 부족으로 초엽이 먼저 자라면서 유근의 생장은 상대적으로 억제되어 착근이 늦어진다. 파종전에 종자를 발근유도처리하여 담수조건에서 착근에 대한 효과를 검토하였다.

第 2 節 材料 및 方法

1. 입묘 실패 사례 수집

1994년 입묘 불량사례를 중심으로 설문을 작성하여 자료를 수집하였고(60건), 현지 관찰시 농가면담을 통하여 탐문 수집을 하였다(54건). 수집한 114건의 사례를 중심으로 다음 사항들을 조사하였다

가. 파종까지의 종자 취급 상황

나. 포장의 토양조건 및 수리 조건

다. 파종직후 포장관리 상황

라. 파종후 입묘과정중 특이하게 관찰된 상황

2. 토양수분차이와 입묘

토양수분포화구는 건조토양을 pot에 넣고 수분이 모관상승에 의하여 최대한 흡수되도록 유도한 다음 포화상태의 수분을 유지 시켰고, 토양수분 50%구와 토양수분 25%구는 토양수분포화구의 수분량을 기준하여 각각 조절하였다. 담수구는 5mm 깊이로 관수하였다. 벼종자(동진벼)는 항온상에서 25±1℃, 78시간 정도 침지시켜 초엽이 0.5mm 출현 했을 때 온도 30℃, 광조건하의 포화수증기조건에 두어 초엽과 종자근을 각각 2-3mm 정도 신장시키거나(최아・발근처리), 혹은 같은 조건에서 초엽만 2-3mm 출현시키는 처리를 하였다(최아처리). 흡습처리는 종자를 12시간 및 24시간 침지후 종자의 표면 수분이 마르는 정도로 음건시킨 후 공시재료로 사용하였다. 처리한 종자는 pot(18x15x8cm)에 1cm 깊이로 파종하였다. 실험은 25±1℃의 항온에서 2주 동안 출현율, 출현속도, 입묘상태 및 유묘초장을 조사하였다.

출현속도(Emergence rate, ER; Throneberry and Smith, 1955)

$$ER = \Sigma (ni / ti)$$

식에서, ti : 치상후 조사일수, ni : 조사당일의 출현수

3. 종자발근처리와 입묘

동진벼 종자를 28±1℃에서 48시간 침지시킨 후 꺼내어 종자의 표면에 있는 수분이 마르는 정도까지 음건한 후 통기가 쉬운 자루에 넣어 30℃ 광조건에서 48시간 두어 발근유도처리 하였다. 대조구 종자는 28±1℃에서 96시간 침지하여 최아시켰다. 처리한 종자를 pot(18x15x8cm)에 2cm 깊이로 파종하고 1cm 깊이로 담수하여 20±1℃의 항온에서 2주 동안 출현율을 조사하였다.

4. 종자건습처리와 발아

동진벼를 사용하여 흡습건조처리는 수도물 (20℃)에 5, 10, 15, 20시간 침지한 다음 25℃에서 원래 수분상태로 건조시켰다. 발아검사는 처리종자를 발아접시에 50립식 4반복으로 25℃에 7일간 치상하였으며, 2mm 이상의 백색체 출현을 발아로 간주하여 발아율, 평균발아일수, 발아속도지수, 발아균일도를 조사하였다.

평균발아일수 (mean germination time, MGT; Edwards, 1934)

$$MGT = \Sigma (ti\ ni) / N$$

발아속도지수 (promptness index, PI; Timson, 1965)

$$PI = \Sigma [(T - ti + 1)\ ni]$$

발아균일도 (germination uniformity, GU; Gordon, 1971)

$$GU = \Sigma [(MGT - ti)2\ ni] / N - 1$$

식에서, MGT : 평균발아일수, ti : 치상후 조사일수, T : 총 조사일수
ni : 조사당일의 발아수, N = ∑ ni : 총발아수

第 3 節 結果 및 考察

1. 입묘실패 사례 분석

직파유형별로는 담수직파에서의 입묘실패가 많았는데 1994년에는 무논골뿌림에서의 입묘실패사례가 많았고, 1995년에는 건답직파면적의 증가와 함께 건답직파에서의 실패사례도 증가하고 있었다(표 1). 담수표면직파는 거의 손으로 산파하고 있고, 무논골뿌림과 건답직파는 파종기에 의한 조파방법을 취하고 있었다(표 2).

표 1. 직파유형별 입묘실패사례

내 용	1994		1995	
	사례	비율(%)	사례	비율(%)
담수표면직파	15	25.0	4	7.4
무논골뿌림	43	71.7	31	57.4
건답직파	2	3.3	19	35.2

표 2. 파종방법별 입묘실패사례

내 용	1994		1995	
	손산파	파종기조파	손산파	파종기조파
담수표면직파	15	0	4	0
무논골뿌림	0	43	0	31
건답직파	0	2	0	19

입묘에 실패한 농가에서도 종자의 선종, 침종, 소독 최아의 과정을 모두 거쳤고, 건답직파시는 마른종자를 파종하고 있었다(표 3).

표 3. 종자취급과 입묘실패사례

내 용	1994		1995	
	실시	실시않음	실시	실시않음
담수직파				
까락제거	36	22	24	11
선종	58	0	35	0
침종	56	2	35	0
소독	55	3	35	0
최아	58	0	35	0
건답직파				
까락제거	0	2	18	1
선종	2	0	19	0
침종	0	2	0	19
소독	0	2	18	1

입묘실패 포장은 대부분 식질토양이었으며 포장배수조건이 불량하였다. 경운이 균평하지 않은 곳이 많았으며 써레질을 정밀하게 실시한 경우가 많았다(표 4 - 7).

표 4. 포장의 토성과 입묘실패사례

내 용	1994			1995		
	사양질	식양질	식질	사양질	식양질	식질
담수직파	0	3	55	0	1	34
건답직파	0	2	0	0	4	15

표 5. **포장의 배수조건과 입묘실패사례**

내 용	1994		1995	
	양호	**불량**	**양호**	**불량**
담수직파	10	48	6	29
건답직파	0	2	15	4

표 8- 6. **포장의 경운정도와 입묘실패사례**

내 용	1994		1995	
	균일	**불균일**	**균일**	**불균일**
담수직파	38	20	28	7
건답직파	2	0	11	8

표 7. **포장의 쇄토**(**써레질**) **정도와 입묘실패사례**

내용	1994		1995	
	정밀	**거침**	**정밀**	**거침**
담수직파	43	15	17	18
건답직파	1	1	6	13

표 8. **포장물고랑 설치여부와 입묘실패사례**

내용	1994		1995	
	설치함	**설치않음**	**설치함**	**설치않음**
담수직파	1	57	3	32
건답직파	0	2	1	18

포장 배수조건이 불량한데도 물고랑설치와 같은 특별한 배수설비에 주의를 갖지 않았으며 파종후 담수상태를 유지한 곳이 많았다(표 8).

표 9. 파종직후 포장물관리상태와 입묘실패사례

내 용	1994		1995	
	담수	배수	담수	배수
담수직파	58	0	35	0
건답직파	0	2	0	19

담수직파포장의 파종시 과습, 종자매몰, 뜬묘 와 괴불발생 및 새피해가 두드러지게 관찰되었다. 건답직파포장경우는 건조에 의하여 발아 및 출현이 지연되거나, 입묘의 불량보다는 초기 잡초방제에 실패한 경우가 대부분이었다. 저온(1994년), 건답직파 파종후 강우등 기상조건에 따른 실패도 있었다.

표 10. 입묘과정중 특별히 관찰된 사항

내 용	1994		1995	
	있음	없음	있음	없음
포장과습	51	9	33	21
포장건조	2	58	10	44
파종후 저온	43	17	0	54
종자묻힘	38	22	27	27
종자몰림	5	55	4	50
뜬묘 발생	20	30	18	36
괴불발생	35	25	26	28
새피해	44	16	29	25
잡초발생	60	0	54	0

이상을 종합하여 보면 건답직파에서는 발아 및 출현의 실패보다는 잡초와의 경합에서 실패하여 입묘불량을 초래하는 경우가 많으며, 담수직파의 경우에는 발아 및 출현의 실패가 입묘불량으로 연결된다. 직파재배에서 입묘실패는 종자처리상의 문제나 기상조건보다는 논토양의 물리성에 의하여 크게 좌우되는것으로 생각된다.

2. 토양수분차이와 입묘

가. 토양수분 조건이 출현에 미치는 영향

토양수분조건을 달리 하였을 때 처리된 공시종자의 출현율에 대한 차이를 조사한 결과는 표 11과 같다. 토양수분 50%구와 토양수분 25%구에서의 출현율은 담수구 및 토양수분포화구에 비하여 양호하였다. 최아·발근 처리된 종자는 토양수분 50%구에서 공시 종자가 전부 출현하여 가장 양호한 반응을 보였고, 토양수분 25%구, 토양수분포화구 및 담수구 순으로 낮았다. 최아 종자를 공시재료로 하였을 경우에는 출현율이 토양수분 50%구보다 유사한 경향을 보였으나 특히 토양수분이 과잉조건(토양수분포화구 및 담수구)에서는 출현율이 급격이 낮이짐을 볼 수가 있었다. 흡습처리후 파종한 종자는 토양수분포화구와 담수구 모두에서 출현하지 않았고, 24시간 흡습처리한 경우 토양수분 50%구 및 토양수분 25%구에서는 12시간 흡습처리한 종자보다 출현이 양호하였다.

표 11. 토양수분이 벼 종자의 출현율에 미치는 영향

토양수분조건	출현율(%)			
	최아·발근	최아	24시간 흡습	12시간 흡습
담 수	23	3	0	0
토양수분포화	56	15	0	0
토양수분50%	100	75	46	11
토양수분25%	60	50	37	2
LSD0.05	11.5	9.2	6.7	2.1

나. 토양수분 조건이 출현속도에 미치는 영향

유묘출현속도는 최아·발근 처리한 종자를 파종하였을 때 토양수분 50%구 조건에서 가장 빠른 속도로 유묘가 출현을 하였으며, 토양수분 50%구, 토양수분 25%구에서 토양수분이 과잉상태(토양수분포화구 및 담수구)의 처리구보다 양호한 출현속도를 보였다.

표 12. 토양수분이 벼 종자의 유묘출현 속도에 미치는 영향

토양수분조건	출현속도			
	최아·발근	최아	24시간 흡습	12시간 흡습
담수	6.2	4.5	0	0
토양수분포화	33.1	24.2	0	0
토양수분50%	45.0	36.2	31.9	3.7
토양수분25%	34.6	32.0	31.0	1.8

다. 토양수분 조건이 입묘 및 유묘 초장에 미치는 영향

유묘의 초기초장은 토양수분처리를 달리한 실험구에서 최아·발근 처리와 최아처리한 종자를 파종하였을 때 23-36mm 범위에 있었는데 토양수분 50%구에서 34-36mm로 가장 양호한 신장을 보였다.

표 13. 토양수분이 유묘의 초장에 미치는 영향

토양수분조건	유묘 초장*(mm)			
	최아·발근	최아	24시간 흡습	12시간 흡습
담수	24	23	-	-
토양수분포화	28	29	-	-
토양수분50%	36	34	18	14
토양수분25%	32	30	9	8
LSD0.05	8.9	8.1	4.3	4.2

12시간 흡습과 24시간 흡습처리한 종자는 담수구와 토양수분포화구에서는 출현이 없었던 반면 토양수분 50%구와 토양수분 25%구에서는 18-8mm범위였다.

토양수분조건에 따른 종자처리별 입묘상태는 최아·발근처리 및 최아처리 종자가 흡습처리한 종자보다 양호하였으며, 토양수분별로는 토양수분 50%구가 토양수분 25%구나 토양수분포화구 및 담수구보다 양호한 입묘상태를 보였다. 전체적으로는 최아·발근처리한 종자를 토양수분 50%에 파종하였을 때 입묘상태가 가장 양호하였다.

표 14. 토양수분이 입묘상태에 미치는 영향

토양수분조건	입묘상태*			
	최아·발근	최아	24시간 흡습	12시간 흡습
담수	+	+-	-	-
토양수분포화	++	+	-	-
토양수분50%	+++++	++++	++	++
토양수분25%	+++	++	+	+

*입묘상태 +++++: 극히양호, ++++: 매우 양호, +++: 양호, ++: 보통, +: 저조, +-: 매우 저조, -:무반응

3. 종자발근처리와 입묘

발근처리종자는 대조(최아)종자에 비하여 담수상태에서 출현율이 높고 출현속도도 빨라 이의 응용가능성을 보인다. 담수직파시 파종된 종자가 뿌리를 내리지 못하는 원인은 담수에 의한 산소부족, 담수에 의한 뜬모(浮苗), 바람에 의한 종자의 유동 및 토양의 환원, 토양의 경도, 낮은 수온과 지온에 의한 발근지연 등을 들 수 있다. 파종전 발근유도처리를 하여 파종하면 종자는 발근된 뿌리를 통하여 신속하게 착근되면서 유

아를 출현시킬 수 있는 점이 유리하다. 반면에 초엽이 최아된 종자는 담수조건의 불리한 상태에서 뿌리를 내기까지 초엽에 의존하여 산소공급을 받아야 하기 때문에 착근까지는 다소 시간이 걸리는 것으로 판단된다.

표 15. 볍씨 발근처리가 담수상태에서 출현에 미치는 영향

구 분	출 현 율(%)	출현속도지수
대조구	17	89
발근유도처리구	59	289
LSD0.05	7.8	

한편 발근유도처리종자를 건답직파하면 건조종자를 파종하는 것에 비하여 흡습이 빨라 입묘가 빠르고 균일해 질 가능성이 크다. 그러나 종자발근처리의 효과가 실제 포장에서 나타나는데는 논토양의 수분조건이 크게 영향을 줄 수 있으므로 이에 대하여는 별도의 정밀한 검토가 필요하다.

4. 종자건습처리와 발아

가. 흡습 및 재건조

흡습후 원래중량으로 재건조하는데 소요되는 시간의 범위는 11-45시간이었다. 벼는 침지시간이 길고 흡습량이 많아지면 재건조에 필요한 시간도 길어지는 양상을 보였다.

나. 발아속도

벼는 침지시간이 길수록 평균발아일수(mean germination time : MGT)가 단축되었는데 특히 15시간 침지에서 4.02일로 현저하게 단축되었고, 발아속도지수

(promptness index : PI) 가 커서 침지시간이 길 수록 발아의 신속성이 더욱 현저하게 나타남을 볼 수 있었다. Alvarado 와 Bradford (1988) 는 노화가 진행되면 발아속도가 낮아지는데 이는 발아전에 원형질막, 세포기관, 효소의 치유 및 교체에 필요한 흡수기간이 길어지기 때문이라고 하였다. Goldsworthy 등 (1982)도 종자를 증류수에 흡습건조처리하여 발아속도를 높여 평균발아일수를 단축시키는 효과를 얻었다고 하였으며, 이 외에 토마토22), 부추21), 셀러리9) 등 채소작물종자에서 효과를 보았다는 보고가 있다.

다. 발아균일성

평균발아일수에 대한 분산으로 발아균일도(germination uniformity : GU)을 나타내어 보면 벼는 침지시간이 길어지면 GU 값이 작아져 발아가 균일하여짐을 보이는 경향이었다. Adegbuyi 등 (1981)은 목초종자에서, Haigh 와 Barlow (1987)는 양파와 수수에서, Sung 과 Chang (1993) 은 단옥수수에서 흡습건조처리하여 발아균일 효과를 보았다고 한 바 있다.

표 16. 벼 흡습건조처리가 평균발아시간과 발아균일도에 미치는 영향

흡수 시간	흡수후 수분함량(%)	원래중량으로의 재건조시간	평균발아 일수(일)	발아 속도	발아균일도	발아율 (%)
0	11.0	0	4.6	141	0.642	80
5	11.0	11	4.5	111	0.833	76
10	13.0	15	4.4	139	0.749	76
15	18.2	42	4.0	147	0.783	77
20	21.9	45	4.2	152	0.588	80
$LSD_{0.05}$			0.27	8.6	0.0947	2.4

라. 발아율

벼종자를 20시간 침지하여도 발아율은 무처리와 비슷하였다. 침지시간에 따른 발아율이 경미하나마 높아지는 경향이나 현저한 차이가 없어 흡습처리에 의한 발아율 개선효과는 볼 수 없었다. 한편, Goldsworthy 등 (1982)은 밀 종자를 증류수에 5분간 침지 시키면 노화과정중 발생되는 원형질막과 DNA의 손실이 흡습처리중에 회복될 수 있어 노화종자의 발아율을 높인다고 하여 흡습효과를 보고한 바 있다. Rudrapal 과 Nakamura (1988)는 6개월된 가지와 무우종자를 물에 침지시켜 흡습처리한 후 건조하면 이후 노화조건에서 발아력과 종자세저하를 감소시키는데 종자처리는 세포구성물의 자유라디칼 손상을 줄이므로 발아능의 연장효과를 얻는다고 하였다. 이 밖에도 Basu 와 Pal (1980)은 벼에서, Aschermann-Koch 등 (1992)은 밀에서, Pandey (1988)는 강낭콩에서, Penaloza와 Eira (1993)는 종자세가 약한 토마토종자를 물에 흡습건조처리하여 발아율유지 효과를 보았다고 보고한 바 있다.

종자를 흡습처리하면 노화에 의하여 약화된 발아에 필요한 대사과정이 활성화되어[2,8]), 탈수소효소와 아밀라제의 활성이 커지고[27,28]), 노화된 원형질막의 재조직과 치유[3,20]) 에 의해 당과 같은 전해질의 침출이 적어지고[22,26]), 원형질막 지질의 과산화를 둔화시키는[26,27,28]) 등 노화에 따른 세포구성물의 손상을 줄이므로 이후 발아능 유지의 효과를 얻는다.

그러나, 종자의 노화정도에 따라 흡습건조처리의 효과는 다른데, Basu 와 Pal (1980)은 수확직후의 벼종자보다 12개월간 저장하였던 종자의 흡습건조처리의 효과가 크다고 하였고, Pandey (1989)도 신선한 강낭콩을 흡습처리하면 발아력이 낮아지며 노화종자를 처리하면 개선된다고 하였다. 한편, Dell'Aquila 와 Tritto (1991)는 밀에서 흡습건조처리에 의해 발아율에 변동이 없더라도 평균발아일수와 대사활동은 빨라지며 노화된 종자에서 더 뚜렷하지만 종자의 회복기능상실전에 처리해야 효과가 있다고 하였으며, Nath 등 (1991)은 흡습건조처리가 밀의 발아력 유지에 좋으나 노화후 처리하면 효과가 미미하다고 하였다. Alvarado 와 Bradford (1988)도 흡습

처리가 토마토에서 평균발아일수의 단축효과가 있으나 일단 노화가 진행되면 효과를 인정할수 없었다고 보고하였다.

또, 침지에 따른 장해도 있는데, Saha 와 Basu (1984)는 콩종자를 물에 침지하면 장해를 받는데 종자세가 낮을때 침지장해가 뚜렷하다고 하였으며, Wilson 과 McDonald (1986)도 콩에서, Ellis 등 (1990)은 완두종자에서 급격한 흡습장해를 보고한바 있다. Armstrong 과 McDonald (1992)는 물에 침지한 콩의 발아율이 떨어지는 원인을 자엽이나 배축이 흡습시 생기는 균열 때문으로 생각하였다.

흡습침지시간에 대하여도 일정하지 않은데, 예를 들면 밀을 증류수에 침지하여 흡습건조효과를 얻는데 Goldsworthy 등 (1982)은 5분간 침지 시키고, Nath 등 (1991)은 2시간 침지하였으며, Aschermann-Koch 등 (1992)은 4시간 침지하여 효과를 보았다고 하여 침지시간이 서로 상이하였다. 뿐만 아니라, 흡습건조처리중 건조의 효과에 대하여 Singh 등 (1985)은 셀러리를 물에 흡습후 건조시키면 오히려 퇴화감수성이 높아져 손상 및 퇴화가 쉬워진다고 하였으며, Huang 과 Zou (1989)는 소나무에서, Nienow 등 (1991)은 부추에서, Armstrong 과 McDonald (1992)는 콩에서 건조과정에 의한 흡습효과의 상실을 보고한 바 있다.

이와같이 종자에 대한 흡습건조처리는 종자의 노화정도에 따른 처리의 시기, 침지에 따른 급격한 흡습장해, 흡습시간 및 건조여부등에 대하여 더 검토되어야 할 여지가 많은데, 본 실험에서 벼 종자 발아율에 있어서 뚜렷한 효과를 볼수 없었던 것은 종자의 노화정도, 침지온도 및 시간과 건조방법 등 제반조건에 있어서 차이가 있었기 때문으로 생각된다.

第 4 節 結 論

벼의 생육은 두가지 다른 환경하에서 이루어지는데 지상부는 대기중에서 일조를 받으며 자라고, 지하부는 토양중에서 수분, 양분 및 산소를 흡수하면서 자란다. 대기의 조성은 거의 일정하나 토양공기의 조성은 상황에 따라 급변한다. 반면에 상대습도와 온도는 토중에서 큰 변화가 없는데 비하여 대기중에서는 일중의 변화가 대단히 크다. 직파재배시 입묘는 이 두 환경이 상호간섭하는 논토양 표층부에서 이루어진다. 벼의 입묘를 발아와 착근의 두 단계로 나누어 생각할 수 있으므로 입묘가 잘 되려면 토양환경이 발아와 뿌리의 자람에 적당하도록 되어 있어야 한다.

1. 종자발아환경

종자발아는 적당한 수분, 산소 및 온도가 필요하므로 토양중에서 이 요소들을 얼마나 이용할 수 있는지에 따라서 발아는 좌우된다. 종자발아는 토양수분의 흡습으로 부터 시작되어 종자내의 수분이동과 왕성한 재흡습의 단계를 거친다. 각 단계별로 종자와 토양수분과의 장력, 확산, 토양수분포텐셜, 토양수분 이동력 등이 관여한다. 풍건종자는 흡습시 -50 에서 -100 MPa 정도의 수분포텐셜을 갖는다. 토양과 접촉이 잘 되면 종자는 건조한 토양으로부터도 흡습한다. 또 종자가 토양입자에 비하여 크면 토양과 종자의 접촉면이 넓어지고 접촉부위가 많아져 토양수분은 이 접촉면을 통하여 종자에 더 잘 흡수된다. 토양과 종자사이에 수분의 흐름은 토양중의 수분의 이동과 종자로의 흡습, 그리고 종자내에서의 이동으로 이루어진다.

발아시 산소의 요구는 작물, 품종 및 발아단계에 따라 다르다. 벼는 산소가 전혀 없는 상태에서는 초엽이 비정상적으로 길어지고 제1엽과 종자근 및 관근은 전혀 자라지 못하는 발아를 한다. 산소부족상태에서는 초엽의 출현은 있지만 뿌리의 발생이 적다. 산소 부족시 발아와 초엽신장은 영향을 받지만 신장은 영향받지 않는다. 인도형은 산소요구가 더 많다. 담수하의 논토양은 산소의 부족 때문에 출현과 발아가 적절하지

못하다.

종자발아시 최적온도에서는 최소 시간내에 최대 발아를 볼 수 있다. 높은 온도는 발아증 대사의 이상을 불러 일으킬 수 있고 출현을 낮춘다. 낮은 온도는 발아를 지연시키거나 중지시킨다. 발아와 출현온도는 작물에 따라 다른데, 벼는 10-40℃범위이며 20-35℃에서 가장 발아가 좋다. 41℃에서는 발아가 중지된다. 직파재배시 논토양은 경운과 쇄토(써레질), 관배수에 따라 토양밀도, 토양공극, 수분, 산소, 온도가 달라지고 이것이 발아단계의 호흡에 다르게 영향을 미친다.

2. 착근환경

뿌리는 출현한 후 바로 서로 다른 방향으로 발육하면서 토양에 틈입한다. 종자근은 일일 1-20mm속도로 아래로 자라며, 관근은 수평으로 수 cm 자란 후에 아래로 자란다. 배수조건이 양호한 건답토양에서는 뿌리분포가 큰 제한을 받지 않는다. 담수토양에서는 공극의 크기가 작고, 공극량도 많지않아 뿌리의 발육과 기능이 억제 된다. 토양공극의 크기와 공극량은 열, 공기, 물, 양분의 함량과 이동 및 이용에 영향을 준다. 논토양이 건조되면 토양의 인장력이 커져 자람이 억제된다.

토양이 다져지면 뿌리의 틈입에 필요한 공극이 적게되어 뿌리발육을 저해한다. 뿌리는 작은 공극을 만나면 뿌리직경은 줄이지 못하고 그 공극을 키우게 되며 이때 힘이 필요하다. 토양밀도가 높으면 뿌리신장에 대한 기계적 저항성이 증대하여 산소 결핍을 초래한다. 뿌리는 무기상태에서 염류를 잃는데, 삼투가 떨어지면 토양저항성은 넘어서지 못한다. 포장에서 기계적 저항성은 수분과다 및 산소부족과 함께 뿌리 발육을 저해한다.

담수직파에서 뿌리의 신장은 산소농도와 밀접한 관계에 있다. 뿌리에 산소공급은 뿌리표면을 통한 흡수와 경엽으로 부터의 통기에 의하여 이루어진다. 벼는 낮은 산소농도에 잘 견디도록 적응되어 있으나 뿌리근처의 완전한 무산소 상태에서는 죽게 된다. 온도가 올라가 호흡량이 커지면 산소요구도가 커지고 이용가능성은 떨어진다. 또

일정온도 이하가 되면 뿌리 신장이 안되는데 벼는 발아 후 발육이 정지된다. 근부 대 지상부비율은 토양온도가 높을수록 크고, 토양밀도가 클수록 작다. 온도가 일정할 때는 토양 밀도가 결정적이다. 담수토양에서는 토양공극이나, 온도와 같은 물리성이 뿌리생장에 저해되는 방향으로 전개되어가므로 입묘에 양호한 물리적환경으로 개선하여 유지하여야 한다.

3. 담수토양의 물리적 환경

토양의 물리성은 기본적으로 토성과 토립의 배열에 의하여 결정된다. 토립은 층층이 포개지면서 작은 공극을 남긴다. 굵은 토립으로 이루어진 토양은 대부분 미세한 토립으로 이루어진 토양의 공극보다 크다. 토립의 배치는 공극의 량에 크게 영향을 끼친다. 똑같은 크기라하더라도 담수상태면 작은 공극이 많다. 공극상태를 바꾸면 토양인장력과 토양과 뿌리의 접촉이 달라지고, 토양열, 토양수분, 토양공기의 관계가 달라져 식물 생육에 영향을 준다.

토양의 인장력은 입자의 조성, 토립의 모양, 크기, 공간배열상태를 나타내며 토립의 위치변동에 영향을 준다. 토양을 담수하고 서레질하면 토양밀도와 기계적 저항력이 커진다. 식물뿌리는 직경보다 작은 공극을 뚫고 들어가지 못한다. 담수토양이 건조하면 기계적 저항력은 커진다.

토양온도는 토성과 수분함량에 깊은 관계가 있다. 밀도가 높으면 토립간 접촉이 크고 온도전달이 잘된다. 토양수분도 온도 전달에 크게 작용하나, 토양공기는 열전달이 떨어진다. 담수토양은 밀도가 높고 수분함량이 많기 때문에 건답에서 보다 온도전달이 크다. 담수토양은 건답에 비하여 온도변화가 적다. 토양온도는 발아와 유묘출현, 뿌리신장, 수분 및 가스흐름, 미생물 활동, 양분과 토양용질의 용해도와 이동성등 생육에 영향을 주는 모든 과정에 영향을 미친다.

토양수분함량은 통기, 온도, 온도전도에 영향을 끼친다. 건답에서 관개 후의 높은 수분함량 혹은 강우는 산소부족을 초래한다. 토양공기는 물에 채워지지 않은 나머지

공극에 있는데, 공기의 량은 공극분포에 의하여 결정된다. 논이 포화되면 산소는 토양 수분에 용해되어 수 시간내에 소진되고 산소결핍증을 초래한다.

토양과 종자, 토양과 근부접촉은 발아와 유묘출현 그리고 근부 발육에 중요하다. 토양밀도, 수분함량, 온도 등이 직・간접적으로 접촉과 관련되는 요소가 된다. 종자는 흡습, 팽창되어 단단한 토양이라면 토립을 밀고 출현한다. 종자와 토양의 접촉은 종자근이 출현전후 뿌리를 내리기 위해서도 필요하다. 파종후 강우가 있으면 표층이 굳어져 역시 출현에 영향을 미친다. 토양과 뿌리의 접촉은 유묘를 고정시키는데 뿌리는 신장중에 토립을 밀어내는 압력을 낸다. 너무 다져진 흙은 뿌리가 토립과 접촉되어 있어 가스교환이 제한된다. 건조한 뿌리와 토양의 접촉이 느슨하면 토립주위의 물과 뿌리의 연결이 되지 않는다.

이상 담수직파시 토양물리성과 입묘와의 관계를 요약하면 다음과 같다. 담수토양은 공극의 크기, 분포, 토양수분상태가 건답과 다르다. 공극의 크기와 수분함량은 벼가 자라는데 영향이 크다. 소공극이 많으면 보수능력이 크고 통기는 떨어지고 열 수지가 바뀌고 토양구성이 조밀하여 진다. 토양온도가 적당하고, 종자와 토립이 잘 접촉되어 있으면 발아는 쉽게 된다. 적절한 통기와 토양의 밀도는 유묘가 착근하여 출현하는데 영향을 준다. 뿌리의 생육과 기능발휘에도 적당한 산소, 물, 온도가 필요하다. 뿌리의 착근이 잘 된다면 지상부의 발육도 잘되어 입묘가 충실하여진다. 입묘불량의 정도를 객관화하는 문제와 토양물리성개선을 농가의 수준에서 일반화 할 수있는 방안을 강구하는 것이 앞으로 해결해야할 과제이다.

벼 직파재배가 저투입생산방법으로 농가에 인식되면서 그동안 안정된 생산방식으로 발전되어 왔던 이앙재배로 부터 직파재배로 전환되고 있는데 일부농가에서는 아직 입묘기술의 미흡으로 실패하는 사례가 많다. 농가의 수준에서 일반화할 수있는 입묘향상 방안을 강구하고자 토양수분조건을 달리하여 입묘양상을 조사하고, 종자의 발근 및 건습처리를 통하여 입묘율향상의 가능성을 검토하였다. 토양수분을 달리하였을 경우 벼 종자는 출아율 및 출아속도에 양호한 반응을 보이는 수분범위를 볼수 있어서 토양수분

상태를 개선하여 입묘율을 높일 가능성을 보였다. 한편, 발근처리종자는 대조종자에 비하여 출아율이 높고 출아속도도 빨랐다. 또 흡습건조처리를 통하여 발아의 신속과 균일성을 높이는 효과를 검토한 결과 침지시간에 따라 발아속도가 빨라져 평균발아일수가 단축되고 발아가 균일하여지는 결과를 얻어 종자처리기술의 응용가능성을 보였다. 그러나 토양수분개선과 종자처리효과가 실제 포장에서 입묘향상으로 나타나는데는 여러 포장환경요소가 관여할 수 있으므로 금후 포장조건에서 더욱 검토할 필요가 있다.

參考文獻

1. Adegbuyi, E., S.R. Cooper and R. Don. 1981. Osmotic priming of some herbage grass seed using polyethlene glycol (PEG). Seed Sci. & Technol., 9, 867-878.

2. Alvarado, A.D., K.J. Bradford. 1988. Priming and storage of tomato (Lycopersicon lycopersicum) seeds. II. Influence of a second treatment after storage on germination and field emergence. Seed Sci. & Technol., 16, 613-623.

3. Armstrong, H. and M.B. McDonald. 1992. Effects of osmoconditioning on water uptake and electrical conductivity in soybean seeds. Seed Sci. & Technol., 20, 391-400.

4. Aschermann-Koch, C., P. Hofmann and A.M. Steiner. 1992. Presowing treatment for improveing seed quality in cereals. I. germination and vigour. Seed Sci. & Technol., 20, 435-440.

5. Basu, R.N. and P. Pal. 1980. Control of rice seed deterioration by hydration -dehydration pretreatments. Seed Sci. & Technol., 8, 151-160.

6. Bradford, K.J. 1986. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. HortScience, 21, 1105-1112.

7. Copeland, L.O. and M.B. McDonald. 1995. Principles of seed science and technology. Chapman & Hall. New York. 409p.

8. Dell'Aquila, A. and V. Tritto. 1991. Germination and biochemical activities in wheat seeds following delayed harvesting, ageing and osmotic priming. Seed Sci. & Technol., 19, 73-82.

9. Drew, R.L.K. and J. Dearman. 1993. Effect of osmotic priming on germination characteristics of celeriac (Apium graveolens L. var. rapaceum). Seed Sci. & Technol., 21, 411-415.

10. Edwards, T.I. 1934. Relations of germinating soybeans to temperature and length of incubation time. Plant Physiol., 9, 1-30.

11. Ellis, R.H., T.D. Hong and E.H. Roberts. 1990. Effect of moisture content and method of rehydration on the susceptibility of pea seeds to imbibition damage. Seed Sci. & Technol., 18, 131-137.

12. Goldsworthy, A., J.L. Fielding and M.B.J. Dover. 1982. "Flash imbibition": A method for the re-invigoration of aged wheat seed. Seed Sci. & Technol., 10, 55-65.

13. Gordon, A.G. 1971. The germination resistance test - a new test for measuring germination quality of cereals., Can. J. Plant Sci., 51, 181-183.

14. Haigh, A.M. and E.W.R. Barlow. 1987. Germination and priming of tomato, carot, onion, and sorghum seeds in arange of osmotica. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112(2), 202-208.

15. Hardegree, S.P. and W.E. Emmerich. 1992, Seed germination response of four Southwestern range grasses to equilibration at subgermination matric-potentials. Agron. J. 84, 994-998.

16. Heydecker, W. and P. Coolbear, 1977. Seed treatment for improved performance -survey and attempted prognosis. Seed Sci. & Technol., 5, 353-425.

17. Huang, Y.G. and Q. Zou, 1989. Effects of osmoconditioning and drying on germination of Pinus sylvestris var. mongolica and Larix

gmelinii seeds. Seed Sci. & Technol., 17, 235-242.

18. Kundu, C., C. Banerji, S. Mallik, S.G. Chaterjee, K.T. Ingram, and T.L. Setter. 1995. Seedling vigor: screening, physiology, and relationship to submergence tolerance. Pages 111-118 in Rainfed lowland rice-agricultural research for high -risk environments (ed. Ingram, K.T). International Rice Research Institute, P.O.Box 933, Manila 1099, Philippines.

19. Liming, Shen, D.M. Orcutt and J.G. Foster. 1992. Influence of polyethylene glycol and aeration method during imbibition on germination and subsequent seedling growth of flatpea (Lathyrus sylvestris). Seed Sci. & Technol., 20, 349-357.

20. Nath, S., P. Coolbear and J.G. Hampton. 1991. Hydration-dehydration treatments to protect or repair stored `Karamu' wheat seeds. Crop Sci., 31, 822-826.

21. Nienow, S.W., W. Bujalski, G.M. Petch, D. Gray, and R.L.K. Drew. 1991. Bulk priming and drying of leek seeds: the effects of two polymers of polyethylene glycol and fluidised bed drying. Seed Sci. & Technol., 19, 107-116.

22. Pandey, D.K. 1989. Priming induced alleviation of the effects of natural ageing derived selective leakage of constituents in French bean seeds. Seed Sci. & Technol., 17, 391-397.

23. Penaloza, A.P.S. and M.T.S. Eira. 1993. Hydration -dehydration treatments on tomato seeds (Lycopersicon esculentum Mill.). Seed Sci. & Technol., 21, 309-316.

24. Pill, W. G. 1995. Low water potential and presowing germination

treatments to improve seed quality. Pages 319-359 in Seed quality-basic mechanisms and agricultural implications (ed A. S. Basra). Food Products Press. New York.

25. Roger, P.A. 1996. Biology and management of the floodwater ecosystem in ricefields. International Rice Research Institute, P.O.Box 933, Manila, Philippines. 250p.

26. Rudrapal, D. and S. Nakamura. 1988. The effect of hydration -dehydration pretreatments on egg plant and radish seed viability and vogour. Seed Sci. & Technol., 16, 123-130.

27. Saha, R. and R.N. Basu. 1984. Invigoration of soybean seed for the alleviation of soaking injury and ageing damage on germinability. Seed Sci. & Technol., 12, 613-622.

28. Saha, R., A.K. Mandal and R.N. Basu. 1990. Physiology of seed invigoration treatments in soybean (Glycine max L.). Seed Sci. & Technol., 18, 269-276.

29. Singh, N.T., G.C. Aggarwal and T. Woodhead. 1985. Physical aspects of the root and seed environmentin lowland soil. Pages 367-382 in Soil physics and rice. International Rice Research Institute, P.O.Box 933, Manila, Philippines.

30. Singh, H., S. Morss. and T.J. Orton. 1985. Effects of osmotic pretreatment and storage on germination of celery seed. Seed Sci. & Technol., 13, 551-558.

31. Sung, F.J.M. and Y.H. Chang. 1993. Biochemical activities associated with priming of sweet corn seeds to improve vigor. Seed Sci. & Technol., 21, 97-105.

32. Throneberry, G.O. and F.G. Smith. 1955. Relation of respiration and enzymatic activity to corn seed viability. Plant Physiol., 30, 337-343.

33. Timson, J. 1965. New method of recording germination data. Nature, 207, 216-217.

34. Wilson, Jr., D.O. and M.B. McDonald. Jr. 1986. A convenient volatile aldehyde assay for measuring soybean seed vigor. Seed Sci. & Technol., 14, 259-268.

제 1 분야	영농/작목 기술개발

제 3 장 발효퇴비의 종류에 따른 작물의 생육반응 및 유기농 재배작물의 환경 스트레스 내성연구

충남대학교 농업과학연구소
연구책임자 : 이 규 승
연 구 원 : 구 자 형

第 1 節 緒 說

환경문제의 심각성과 더불어 유기농법의 필요성은 최근에 들어 농업의 활로를 새롭게 할 수 있는 연구과제로 제기되고 있다. 협의적으로 유기농업은 농약, 생장조절제, 제초제등의 일체의 합성화학물질을 사용하지 않고 유기물과 자연광석 미생물등 자연적인 재료만을 사용(미국 캘리포니아 유기식품법 등)함을 의미하고 광의의 개념은 합성물질의 사용을 최대한 억제 또는 일정비율 이하로 구체적으로 정하여 사용(영국 유기농재배자협회, OFC)함을 의미한다(박 등, 1992; 서 등, 1992; 來米, 1986; 熊澤, 1989). 유기농업은 농업과 환경과의 조화를 위하여 생산을 위한 집약적 투입을 가급적 억제하고 농업생산에 의한 환경부하를 경감시킴으로 농업생태계 보호 및 농업으로 인한 환경 오염의 피해를 가급적 줄이려는 노력이다. 한편 수입개방화에 대비한 농업의 국제경쟁력 개발은 저렴한 농산물의 대량생산이 주요과제라 할 수 있으나 우리나라의 경우는 농업의 구조적 여건으로 보아 농산물의 품질면에 중점을 두어 우위를 확보하는데 노력해야 할 것이다(정, 1994; 정 등, 1992; WIles 등, 1989). 농산물의 식품안정성에 중점을 두어 생산이 이루어 진다면 소규모의 집약적 농업으로도 수입개방에 대한 경쟁력을 확보 할 수 있을 것이다. 유기농업으로의 전환은 세계적 추세이며 우리나라에서도 농업에 의한 환경오염을 줄이기 위한 정책이 부분적으로는 시행되고 있으나, 선진국과 비교할때 아직 초보 단계이다. 우리 나라에서는 오래 전부터 일부 농가 및 단체에서 유기농법이 실시되어 왔으나 수량감소의 우려와 식량증산이라는 과제에 밀려 연구 기관에서는 이에 대한 본격적인 연구가 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서, 유기농법에 대한 모델이 전혀 개발되지 않고 토양환경과 작물에 대한 특성의 고려가 없이 시작하는 경우가 많아 숙달된 유기농 경영자가 되기 위해서는 많은 실패를 거듭하는 경우가 많다. 유기농법 농가를 답사한 결과 각기 사용하는 퇴비의 종류, 사용량 등에 현저한 차이가 있을 뿐만 아니라 관리상태도 일정치 않은 실정이다(박 등, 1992; 서 등, 1992; 손, 1994). 대부분의 영농기술이 경험에 의한 것으로 학술적 검증을 거치지 않았고 그 효과에서 개선할 점이 많다. 또한 우리나라에서는 유

기농의 수량감소의 우려와 식량증산이라는 과제에 밀려 학계 또는 연구기관에서의 연구가 전무한 실정에 있다. 일반적으로 농약이나 비료를 전혀 사용하지 않고 순수하게 이루어지고 있는 유기농업은 일반농업에 비하여 20-30%정도 수확량이 떨어지는 것으로 보고 되고 있다. 독일의 경우에는 약 30% 감소되는 것으로 그리고 일본의 경우에는 감소폭이 10% 내외인 것으로 보고되고 있으나 이와 같은 감소율도 유기농업을 5년이상 실시한 농가에서는 일반농업과 토지생산성에서 큰 차이가 없는 것으로 보고 되고 있다.1) 따라서 유기농업을 위한 기술개발은 물론 시작하려는 농가에 마땅한 영농기술의 지침을 마련해 주는 것이 매우 시급한 실정이며 사용하는 유기물의 종류에 따른 비료 성분의 조성을 정확히 알고 이에 따른 시용량의 기준이 시급히 마련되어야 할 필요성이 있다.

한편 유기농법의 많은 장점중의 하나로써 재배된 작물은 잎의 조직이 두껍고 융모도 많을 뿐만 아니라 영양이 균일하여 각종 환경 stress에 대한 내성이 증진되어 한해, 냉해는 물론 병충해에 대한 저항성이 강해지는 것으로 재배가들 사이에 전해지고 있다(윤, 1994; 정 등, 1992; 木村, 1994; 本間, 1989; 新田, 1989). 또한 수확물의 신선도 및 저장성 등도 상당히 증진되는 것으로 알려지고 있으나 실재로 보고된 자료는 드문 실정이다. 따라서 본 시험에서는 토양 환경의 변화를 조사하고, 직접 유기물의 종류와 양을 달리하여 작물을 재배함으로써 유기물의 효과적 사용 방안을 제시하고자 하였다. 아울러 재배된 작물의 환경 스트레스(대기오염, 병충해, 냉해등)에 대한 반응을 조사하고 내성이 증진되었을 경우 이의 생리적 원인을 구명하여 내성 증진 방안을 강구코자 하였다.

第 2 節 材料 및 方法

1. 공시재료

가. 분석시험을 통한 퇴비종류 및 시용량에 따른 작물의 생육 비교

토마토(미니캐롤), 오이(은성백다다기, 흥농), 열무(진주열무, 흥농종묘)를 직경 24 cm의 pot에 정식하여 공시재료로 사용하였다.

나. 노지 포장 시험을 통한 퇴비종류및 시용량에 따른 작물의 생육 비교

토마토(미니캐롤), 오이(장일백반오이, 흥농) 열무(토박이 열무, 중앙종묘)를 8월 17일 정식하여 공시재료로 사용하였다.

2. 실험방법

가. 분석시험을 통한 퇴비종류 및 시용량에 따른 작물의 생육 비교

밭흙과 모래를 1 : 1로 혼합한 토양에 돈분, 계분, 우분 및 돈분과 계분을 2 : 1로 혼합한 것을 각각 2, 4, 8 ton/10a 씩 처리하여 직경 24cm의 화분 용토로 사용하였다. 퇴비의 양은 표토 10cm 깊이까지 혼합되는 양으로 계산하였다. 퇴비의 조제는 돈분과 계분의 경우는 톱밥을 1 : 1로 섞은 후 균강을 혼합하여 40℃에서 부숙시켜 만들었으며[3, 9)] 우분은 자연상태에서 부숙된것을 다른 유기물재료와 섞지 않고 사용하였다. 퇴비구에서의 추비는 시중에서 판매되고 있는 유기질 비료인 바이오콤과 옥비를 1 : 1 섞어 1 cm의 두께로 시비하였고 관행구는 복합비료를 시비하였다. 산성 강우에 의한 작물의 수량 감량을(이 와 김, 1994; 정 등, 1992) 연구하기 위하여 비가림재배와 노지배배로 나누어 시험하였다. 비가림시설은 폴리에틸렌 필름을 이용하였으며 동서 방향으로 길게하여 작물이 남쪽에서 들이치는 비에 노출되지 않도록 하였고 북쪽 방향은 완전히 열린 상태로 두어 시설 아래의 온도가 외부와 차이가 없도록 하였다. 클로로필과 초장은 정식 25일 경과후 조사하였으며 생체중은 65일 경과 후 조사하였다. 토양의 미생물상 조사는(Rheinbaben, 1979) 작물재배후 일정량의 토양을 채취하여 조사하였다.

나. 노지 포장 시험을 통한 퇴비종류및 시용량에 따른 작물의 생육 비교

퇴비는 실험 1에서 사용하였던 계분과 돈분을 야적하였다가 8월에 시용 하였으며 우분은 미숙된 상태로 야적된 것을 사용하였다. 야외 포장에서 사방 1m2 의 plot을 만들어 토마토와 오이는 4주씩 재식하고 열무는 줄뿌림하여 재배하였다. 클로로필과 초장은 정식 60일 경과 후 조사하였으며 엽수, 엽폭, 엽장은 정식 50일 후 조사하였다. 열무의 잎분석은 Chaney and Marbach 방법에 의해 실시하였으며 토마토의 잎 성분분석은 토양분석법(식물체분석; 농촌진흥청, 1989)에 의해 실시하였으며 작물 재배 후 일정량의 토양을 채취하여 토양분석을 하였다.

다. 환경스트레스에 대한 내성 비교

공시 작물은 무우 (토박이 열무), 토마토(미니캐롤) 및 고추(오륜)을 주재료로 하였으며 프러그묘를 직경 10 cm의 프라스틱 포트에 정식하여 실험에 사용하였다.

1) 산성강우처리

인공산성강우의 조제는 물 895 mL에 황산 75 mL와 질산 30 mL를 혼합한후 CaCl2 500 mg을 혼합하여 만든 원액을 지하수에 희석하여 pH 2.0, 2.5, 또는 3.0으로 처리하였다. 처리는 분무기를 사용하여 포트당 30 mL 양이 잎과 토양에 고루 접촉되도록 처리하였고 수분공급은 지하수를 사용하였다.

2) 오존처리

오존 발생기(General Electric)를 사용하여 growth chamber내에서 0.2ppm으로 피해가 발현될 때까지 1일 8시간 또는 9시간 계속하여 처리하였다. 이 때 chamber 내의 온도는 25±2 C, 습도는 70±5%, 조도는 230 umol/cm2/s로 하였다.

3) 피해율 조사: 산성강우 및 오존가스에 의한 피해율은 전체잎에서 피해정도를 0-100% 까지 나누어 조사하고 그 평균값을 택하였다.

第 3 節 結果 및 考察

1. 분석시험을 통한 퇴비종류 및 시용량에 따른 작물의 생육 비교

표 1은 토마토를 노지에서 포트에 재배하면서 초기 생육을 측정한 결과인데 돈분 8 ton/10a의 시용구에서도 관행재배구에 비하여 초장은 비슷하였으나 식물체의 생체중이 현저히 낮게 나타났으며 계분의 경우는 2 ton 이상이면 관행구와 비슷한 생육을 나타내었다. 반면에 우분은 완전 발효된 퇴비로는 8 ton 시비에서도 관행구에 비하여 초장과 식물생체중이 현저히 저조한 것으로 나타났다. 돈분과 계분의 혼합처리구에서는 4 ton시비로 관행구와 비슷한 생육을 얻을 수 있었다. 노지재배와 비가림재배후 토마토의 초장을 비교한 결과(표 2), 비가림 재배에서 다소 신장량이 좋았고 생체중은 대체적으로 더 높은 경향이었다. 그러나 노지재배와 비가림재배에 따른 큰 차이는 없었다. 토마토 재배에 있어서 돈분, 계분, 우분 발효 퇴비에 미생물제인 균강과 MVP를 혼합해 주었을 경우 작물 생육 촉진 효과는 없는 것으로 나타났으며 노지재배와 비가림재배에 따른 차이는 없었다(표 3, 4, 5, 6). 이는 사용된 퇴비들이 거의 완전 부숙되었기 때문에 효소제의 효과가 떨어진것으로 판단된다. 토마토의 경우 재배기간 동안 겹둥근무늬병이 발병되기는 하였으나 심하지 않아 과실의 수확이 가능하였다. 수확한 과실의 외관에 대한 품질 비교는4) 퇴비 종류별로는 구분하기 어려웠으나 노지재배 과실의 과피에서 미세한 검은 반점의 발현이 많은 것을 관찰할 수 있었다. 그림 1, 3은 노지재배에서 일정 기간 수확된 토마토의 수량을 비교한 것인데 계분 8 ton 처리구에서 가장효과가 좋았으며 계분 4 ton 처리구에서도 관행처리구와 수확량이 비슷하였으며 MVP 처리구가 무처리구와 균강처리구에 비하여 수확량이 많았으나 큰 차이는 없었다.

오이의 노지재배의 경우(표 7)는 토마토에서보다 시비량에 따른 차이가 더 컸으며 계분의 경우 4 ton의 시비구는 관행구에 비하여 다소 생육이 떨어지는 경향이었으며, 돈분과 계분의 혼합처리구도 4 ton처리구에서는 관행구와 같은 생육효과를 얻기 어려웠으나 8 ton 처리구에서는 토마토와는 달리 계분 단용구보다 효과가 좋게 나타났다. 특히 우분의 경우는 8 ton 시비에서도 관행구에 비하여 생육이 현저하게 저조한 것으로 나타났다. 비가림재배와 노지재배와의 생육차이는 거의 없었으나(표 9-8) 비가림재

배에서는 계분 처리구가 가장 좋았다. 식물체의 건물중에서는 토마토와는 반대로 노지재배가 많은 것으로 나타났다. 균강과 MVP 부숙제의 처리 효과는 없었으며 노지재배와 비가림재배에 따른 차이도 보이지 않았다(표 9, 10, 11, 12). 생육도중 토마토와는 달리 노균병의 발생이 심하였다. 그러나 대부분의 개체에서 과실을 수확할 수 있었다. 그림 9-2, 9-4는 노지재배에서 일정 기간 수확된 오이의 수량을 비교한 것인데 계분 8 ton 처리구에서 가장효과가 좋았으며 계분 4 ton 처리구에서도 관행처리구와 수확량이 비슷하였으며 MVP 처리구가 무처리구와 균강처리구에 비하여 수확량이 많았으나 큰 차이는 없었다.

열무재배는 발아초기부터 배추흰나비의 애벌레가 많이 발생하여 농약의 사용없이는 재배가 불가능하였으며 피해 발생 개체가 많아 실험 결과 자료를 얻을 수가 없었다.

표 13은 토마토 재배 화분 토양의 미생물 밀도를 나타낸 것으로 비가림재배에서 다소 수가 많았으며 계분 처리구에서 가장 많았다. 퇴비에 미생물제를 혼합했을 경우(표 14)에는 무처리구에 비하여 세균, 곰팡이, 방선균 모두 약간 높은 밀도를 나타내었으며 특히 균강 처리구에서는 두배 이상되었다.

2. 노지 포장 시험을 통한 퇴비종류및 시용량에 따른 작물의 생육 비교

표 15, 16은 야외 포장에 토마토를 정식하여 생육을 측정한 결과로 돈분 8 ton과 계분 4, 8 ton 시용에서는 관행구와 비슷한 초장이었으며 우분 처리구에서는 실험 1의 결과와는 달리 2 ton 시용에서도 생육이 관행구에 비하여 좋은 결과를 나타내었으며 8 ton 시용구에서는 생체중이 관행구의 세배에 달하였다. 이 결과는 실험 1과는 다른데 이유는 우분의 부숙정도가 가장 적절했기 때문으로 판단된다.

오이재배에서는(표 17) 토마토와 달리 초기 생육에서는 화학비료의 시용이 퇴비시용구에 비하여 현저히 좋은 것으로 나타났으나 재배하는 동안 저온과 총채벌레의 발생 및 노균병의 발생을 막기가 곤란하여 계속적인 재배가 어려웠다.

열무에서는(표 18) 돈분과 계분시용구에서는 생육이 아주 저조하였고 2 ton 시비는 무비구와 다름없는 생육을 보였다. 이에 비하여 우분 8 ton의 경우는 추비시용 없이도 충분히 상품성 있는 작물을 생산할 수 있었다. 이러한 결과는 돈분과 계분이 발효퇴비

조제 후 시간이 오래 경과되어 질소 성분의 유실이 많았던데 비하여, 우분은 완전 발효되지 않은 퇴비를 사용하여 질소분의 유실이 적었던데 기인하는 것으로 판단된다. 따라서 퇴비의 보관에도 가장 효과적인 방법이 강구되어야 할 것으로 판단된다.

그림 5는 토마토 식물체의 T-N함량을 분석한 결과인데 작물의 생육이 가장 좋았던 우분 처리구에서 가장 높았다. 그림 6, 7, 8, 9는 토마토 식물체의 인산, 칼리, 칼슘, 마그네슘 함량 분석 결과로서 각 처리에 따른 큰 차이는 나타나지 않았다. 그림 10, 11은 열무의 NH_4-N와 NO_3-N의 함량을 비교한 결과로서 완전발효되지 않은 우분을 시용했던 생산물에서 인체에 유해한 것으로 보고되고 있는 NO_3-N의 함량이 많이 검출되었다. 그러나 가장 높은 수치가 200ppm 정도를 보여 인체에 유해한 함량은 아닌 것으로 나타났다.

표 19는 노지에서 토마토 재배후 토양성분을 조사한 결과인데 복합비료의 사용은 퇴비 시용구에 비해 pH가 낮아지는 경향이었으며 유기물 함량은 계분, 돈분, 우분의 순으로 많았으며 질소함량에서는 퇴비간 큰 차이는 나타나지 않았다. P_2O_5, K_2O, Ca의 함량은 복합비료구에 비하여 각각의 퇴비시용구에서 많았으며 특히 Ca 함량에서는 복합비료구에 비하여 월등하게 높았다. Mg 함량은 퇴비시용구와 관행구사이에 차이가 없었으나 계분구에서 돈분이나 우분구보다 높은 것으로 나타났다.

이상의 결과로 보아 퇴비 시용만으로 유기농업을 영위하기 위해서는 시설재배에서는 가스 장해를 막기위하여 발효퇴비의 사용이 반드시 권장되어야 하겠으나, 노지재배의 경우에는 발효퇴비의 사용은 가스로 발산되는 비료분의 유실이 많기 때문에 경비면으로보아 재고되어야 할 사항으로 판단된다. 본 시험에서 발효된 돈분과 우분만으로는 유기농 초기에 10a당 8 ton의 시용으로도 만족할 만한 생육을 얻지 못하였으나 미발효된 우분을 사용할 경우 충분한 생육을 얻었던 결과로 미루어, 발효퇴비와 미숙퇴비에 따른 적정 시용량의 기준은 물론 노지와 시설내에서의 시용량등에 대하여 기준을 마련하는 일은 매우 시급한 것으로 판단되었다. 대개 유기농단체에서 퇴비시용 추천치는 10a당 3-5ton정도를 추천하고 있으나(정 등, 1992), 농가에 따라서는 발효퇴비를 30-40ton까지 시용하는 경우가 있는데 이는 발효과정에서 소실되는 질소분이 많기 때문에 일어나는 일로 판단되며(Mengel & Kirby, 1978), 비용절감을 위하여 퇴비의 조

제, 사용 시기, 미생물제의 사용등에 대한 구체적인 방안이 검토되어야 할 것으로 판단된다. 또한 토마토, 오이, 열무의 재배실태에서 토마토에 비하여 오이와 열무가 퇴비의 요구도가 훨씬 높은 것을 알 수 있었는데 유기농 초기에 만족한 수량을 얻기 위해서는 작물별, 퇴비별 시용기준의 설정 보급이 시급한 것으로 판단되었다.

Table 1. Effect of animal manure application on growth of tomato plants cultured in pot without rain protection facilities

Treatment	Chlorophyll (μg/㎠)	Height (cm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
Unfertilized	27.00 gz	28.67 h	12.44 g	2.52 f
CF 20Kg/10a	61.37 a	42.67 cde	92.40 ab	16.30 a
SM 2ton/10a	29.60 g	30.33 gh	40.82 f	7.04 e
SM 4ton/10a	40.80 de	38.67 ef	54.40 ef	8.88 de
SM 8ton/10a	40.00 de	46.33bc	54.04 ef	9.52 de
FM 2ton/10a	43.40 cd	43.33 cde	74.66 bcd	11.64 de
FM 4ton/10a	51.40 b	45.33 cd	94.52 a	15.00 abc
FM 8ton/10a	48.33 bc	50.00 b	100.98 a	15.58 a
SM : FM (2:1) 2ton/10a	42.07 de	39.00 ef	65.04 de	10.92 d
SM : FM (2:1) 2ton/10a	48.83 bc	41.00 de	83.32 abcd	15.34 ab
SM : FM (2:1) 2ton/10a	48.83 bc	54.67 a	85.38 abc	15.12 abc
CM 2ton/10a	27.33 g	32.67 gh	67.06 cde	11.40 d
CM 4ton/10a	29.97 g	32.67 gh	71.36 cde	11.96 cd
CM 8ton/10a	32.40 fg	34.67 fg	71.38 cde	12.14 bcd
Total	571.33	560.01	967.80	163.36

z Mean separation within column by Duncan's multiple range test, 5% level.
CF ; chemical fertilizer, SM ; swine manure, FM ; fowl manure, CM ; cattle manure

Table 2. Effect of animal manure application on growth of tomato plants cultured in pot under rain protection facilities

Treatment	Chlorophyll (μg/㎠)	Height (cm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
Unfertilized	26.63 fz	29.00 h	10.40 g	1.70 e
CF 20Kg/10a	61.17 a	40.33 cdef	103.38 c	16.74 c
SM 2ton/10a	27.47 ef	35.67 fg	62.42 f	9.88 d
SM 4ton/10a	34.67 de	37.00 efg	61.12 f	9.52 d
SM 8ton/10a	37.20 cd	43.33 cd	68.56 ef	10.18 d
FM 2ton/10a	38.23 cd	36.33 efg	71.94 ef	11.90 cd
FM 4ton/10a	48.07 b	48.67 b	152.14 b	24.54 b
FM 8ton/10a	51.70 b	53.33 a	196.98 a	34.00 a
SM : FM (2:1) 2ton/10a	34.13 de	40.00 cdef	61.86 f	9.90 d
SM : FM (2:1) 2ton/10a	37.47 cd	44.67 bc	76.32 def	12.80 cd
SM : FM (2:1) 2ton/10a	40.50 c	48.67 b	89.30 cde	13.26 cd
CM 2ton/10a	29.40 ef	34.00 g	86.18 cdef	13.50 cd
CM 4ton/10a	34.00 de	39.00 def	82.34 def	12.66 cd
CM 8ton/10a	35.27 cd	41.00 cde	98.94 cd	13.96 cd
Total	535.91	571.00	1221.88	194.54

z Mean separation within column by Duncan's multiple range test, 5% level.

CF ; chemical fertilizer, SM ; swine manure, FM ; fowl manure, CM ; cattle manure

Table 3. Effect of animal manure application combined with three kinds of microbial innoculants on growth of tomato plants cultured in pot without rain protection facilities

Treatment	Chlorophyll (μg/cm²)	Height (cm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
Unfertilized	27.00 fz	28.67 e	12.44 g	1.70 e
CF 20Kg/10a	61.37 a	42.67 bc	92.40 bcd	16.74 c
SM 2ton/10a + CCM 200Kg/10a	36.90 ef	35.00 d	44.64 f	8.38 d
SM 4ton/10a + CCM 200Kg/10a	36.77 ef	37.33 cd	62.68 ef	10.72 cd
SM 8ton/10a + CCM 200Kg/10a	40.10 def	44.67 ab	49.08 f	8.78 d
FM 2ton/10a + CCM 200Kg/10a	47.27 bcd	46.67 ab	82.26bcde	12.84 abc
FM 4ton/10a + CCM 200Kg/10a	49.90 bc	45.00 ab	112.92 a	16.30 a
FM 8ton/10a + CCM 200Kg/10a	52.17 b	49.00 a	99.82 ab	16.40 a
SM : FM (2:1) 2ton/10a + CCM 200Kg/10a	41.20 def	38.67 cd	77.62 cde	13.34 abc
SM : FM (2:1) 2ton/10a + CCM 200Kg/10a	42.83 cde	39.00 cd	73.12 de	13.16 abc
SM : FM (2:1) 2ton/10a + CCM 200Kg/10a	46.00 bcd	46.67 ab	96.48 abc	16.20 a
CM 2ton/10a + CCM 200Kg/10a	35.10 ef	33.50 de	69.64 e	11.94 bcd
CM 4ton/10a + CCM 200Kg/10a	37.03 ef	35.33 ef	79.52 bcde	14.44 abc
CM 8ton/10a + CCM 200Kg/10a	34.70 f	37.00 cd	82.74 bcde	14.78 ab
Total	588.34	559.18	1035.36	175.72

z Mean separation within column by Duncan's multiple range test, 5% level.

CF ; chemical fertilizer, SM ; swine manure, FM ; fowl manure, CM ; cattle manure

CCM ; compound of three kinds of commercial microbial innoculants prepared by fermentation

Table 4. Effect of animal manure application combined with three kinds of microbial innoculants on growth of tomato plants cultured in pot under rain protection facilities

Treatment	Chlorophyll (μg/cm²)	Height (cm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
Unfertilized	26.63 ez	29.00 g	10.40 f	1.70 f
CF 20Kg/10a	61.17 a	40.33 def	103.38 b	16.74 b
SM 2ton/10a + CCM 200Kg/10a	33.13 d	36.33 f	52.38 e	9.34 e
SM 4ton/10a + CCM 200Kg/10a	36.83 cd	37.67 f	61.90 de	8.78 e
SM 8ton/10a + CCM 200Kg/10a	36.00 cd	45.33 c	65.44 de	10.26 de
FM 2ton/10a + CCM 200Kg/10a	39.17 cd	35.67 f	103.44 b	15.82 b
FM 4ton/10a + CCM 200Kg/10a	50.20 b	44.33 cd	105.56 b	15.98 b
FM 8ton/10a + CCM 200Kg/10a	39.83 c	63.00 a	201.26 a	33.2 a
SM : FM (2:1) 2ton/10a + CCM 200Kg/10a	34.80 cd	38.67 ef	80.18 bcd	9.84 de
SM : FM (2:1) 2ton/10a + CCM 200Kg/10a	37.87 cd	45.33 c	62.40 de	12.58 bcde
SM : FM (2:1) 2ton/10a + CCM 200Kg/10a	40.60 c	50.67 b	99.26 bc	14.80 bc
CM 2ton/10a + CCM 200Kg/10a	34.50 cd	38.00 ef	72.98 cde	10.58 cde
CM 4ton/10a + CCM 200Kg/10a	38.87 cd	40.00 def	78.08 bcde	12.42 bcde
CM 8ton/10a + CCM 200Kg/10a	36.63 cd	42.67 cde	84.58 bcde	14.02 bcd
Total	546.23	587.00	1181.24	186.06

z Mean separation within column by Duncan's multiple range test, 5% level.

CF ; chemical fertilizer, SM ; swine manure, FM ; fowl manure, CM ; cattle manure

CCM ; compound of three kinds of commercial microbial innoculants prepared by fermentation

Table 5. Effect of animal manure application combined with MVP on growth of tomato plants cultured in pot without rain protection facilities

Treatment	Chlorophyll (μg/㎠)	Height (cm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
Unfertilized	27.00 efz	28.67 g	12.44 g	2.52 h
CF 20Kg/10a	61.37 a	42.67 bc	92.40bcd	16.30 ab
SM 2ton/10a + MVP 600L/10a	27.50 f	27.67 g	44.90 f	7.92 g
SM 4ton/10a + MVP 600L/10a	34.80 de	43.00 bc	67.62 cdef	11.96 cdef
SM 8ton/10a + MVP 600L/10a	46.07 bc	46.33 b	87.12 bc	13.68 bcd
FM 2ton/10a + MVP 600L/10a	45.13 c	41.67 bc	61.06 def	9.70 efg
FM 4ton/10a + MVP 600L/10a	48.80 bc	45.67 b	114.32 a	16.50 ab
FM 8ton/10a + MVP 600L/10a	52.53 b	46.00 b	114.42 a	19.72 a
SM : FM (2:1) 2ton/10a + MVP 600L/10a	32.43 def	36.67 de	51.86 f	9.36 fg
SM : FM (2:1) 4ton/10a + MVP 600L/10a	43.60 c	39.00 cd	79.96 bcde	14.30 bcd
SM : FM (2:1) 8ton/10a + MVP 600L/10a	46.37 bc	51.67 a	86.82 bc	14.80 bc
CM 2ton/10a + MVP 600L/10a	28.97 ef	30.67 fg	60.02 ef	10.76 defg
CM 4ton/10a + MVP 600L/10a	30.80 def	34.00 ef	75.66 bcde	12.66 bcdef
CM 8ton/10a + MVP 600L/10a	34.27 def	35.00 def	83.96 bcd	13.48 bcde
Total	559.64	548.69	1032.56	173.66

z Mean separation within column by Duncan's multiple range test, 5% level.

CF ; chemical fertilizer, SM ; swine manure, FM ; fowl manure, CM ; cattle manure

MVP ; commercial micrbial innoculants

Table 6. Effect of animal manure application combined with MVP on growth of tomato plants cultured in pot under rain protection facilities

Treatment.	Chlorophyll (μg/㎠)	Height (cm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
Unfertilized	26.63 fz	29.00 h	10.40 f	1.70 e
CF 20Kg/10a	61.17 a	40.33 cd	103.38 bc	16.74 b
SM 2ton/10a + MVP 600L/10a	27.00 f	33.33 g	56.32 de	6.32 de
SM 4ton/10a + MVP 600L/10a	35.80 cde	38.33 def	53.62 de	8.40 cd
SM 8ton/10a + MVP 600L/10a	35.70 cde	40.00 cde	43.30 ef	8.42 cd
FM 2ton/10a + MVP 600L/10a	41.53 c	43.33 bc	106.00 abc	15.74 b
FM 4ton/10a + MVP 600L/10a	52.77 b	55.00 a	108.78 abc	16.68 b
FM 8ton/10a + MVP 600L/10a	41.77 c	59.00 a	145.42 a	27.16 a
SM : FM. (2:1) 2ton/10a + MVP 600L/10a	30.03 ef	39.33 cdef	76.34 cde	10.50 bcd
SM : FM. (2:1) 4ton/10a + MVP 600L/10a	38.77 cd	43.00 bc	76.14 cdee	10.70 bcd
SM : FM. (2:1) 8ton/10a + MVP 600L/10a	37.30 cde	46.00 b	79.06 cde	11.56 bcd
CM 2ton/10a + MVP 600L/10a	32.87 def	35.00 fg	82.00 cde	11.90 bcd
CM 4ton/10a + MVP 600L/10a	35.90 cde	35.67 efg	68.38 cd	13.86 bc
CM 8ton/10a + MVP 600L/10a	40.30 cde	39.00 cdef	127.72 ab	16.50 b
Total	537.54	576.32	1154.86	176.18

z Mean separation within column by Duncan's multiple range test, 5% level.

CF ; chemical fertilizer, SM ; swine manure, FM ; fowl manure, CM ; cattle manure

MVP ; commercial microbial innoculants

Table 7. Effect of animal manure application on growth of cucumber plants cultured in pot without rain protecton facilities

Treatment	Chlorophyll (μg/㎠)	Height (cm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
Unfertilized	27.23 bcz	15.00 f	14.84 f	3.08 f
CF 20Kg/10a	46.40 a	43.00 cd	68.36 bc	12.26 bcd
SM 2ton/10a	21.63 cd	17.00 f	41.54 e	7.10 e
SM 4ton/10a	21.33 cd	33.33 e	50.84 de	9.20 de
SM 8ton/10a	21.33 cd	47.00 c	62.90 cd	13.92 b
FM 2ton/10a	21.80 cd	36.00 de	80.68 b	13.04 bc
FM 4ton/10a	27.37 bc	64.00 b	96.11 a	15.22 ab
FM 8ton/10a	32.90 b	59.00 b	108.16 a	15.04 ab
SM : FM (2:1) 2ton/10a	22.07 cd	30.83 e	61.54 cd	8.86 e
SM : FM (2:1) 4ton/10a	18.17 d	36.00 de	68.32 bc	10.36 cde
SM : FM (2:1) 8ton/10a	32.20 b	74.33 a	105.86 a	17.30 a
CM 2ton/10a	21.20 cd	13.33 f	53.84 cde	7.36 e
CM 4ton/10a	21.17 cd	14.67 f	68.92 bc	9.00 de
CM 8ton/10a	23.37 cd	14.67 f	68.16 bc	7.70 e
Total	358.17	498.16	950.07	149.44

z Mean separation within column by Duncan's multiple range test, 5% level.

CF ; chemical fertilizer, SM ; swine manure, FM ; fowl manure, CM ; cattle manure

Table 8. Effect of animal manure application on growth of cucumber plants cultured in pot under rain protection facilities

Treatment	Chlorophyll (μg/㎠)	Height (cm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
Unfertilized	17.47 cz	10.67 i	8.52 f	1.02 f
CF 20Kg/10a	46.40 a	51.00 c	71.88 cd	8.66 bcd
SM 2ton/10a	19.07 c	10.67 i	41.16 e	3.18 ef
SM 4ton/10a	18.27 c	43.33 cd	65.18 cd	10.02 bc
SM 8ton/10a	18.83 c	32.00 ef	69.76 cd	11.44 b
FM 2ton/10a	19.03 c	35.33 de	58.08 cde	7.00 cd
FM 4ton/10a	34.97 b	97.33 a	121.34 b	15.30 a
FM 8ton/10a	31.40 b	72.00 b	151.44 a	16.68 a
SM : FM (2:1) 2ton/10a	21.10 c	21.67 gh	50.34 de	5.32 de
SM : FM (2:1) 4ton/10a	20.33 c	29.67 efg	64.64 cd	8.20 bcd
SM : FM (2:1) 8ton/10a	20.67 c	47.67 c	76.52 c	11.86 b
CM 2ton/10a	18.63 c	14.67 hi	52.30 de	5.30 de
CM 4ton/10a	20.70 c	14.33 hi	58.88 cde	8.38 bcd
CM 8ton/10a	20.77 c	24.33 fg	68.00 cd	8.58 bcd
Total	327.64	504.67	958.04	120.94

z Mean separation within column by Duncan's multiple range test, 5% level.

CF ; chemical fertilizer, SM ; swine manure, FM ; fowl manure, CM ; cattle manure

Table 9. Effect of animal manure application combined with three kinds of microbial innoculants on growth of cucumber plants cultured in pot without rain protection facilities

Treatment	Chlorophyll (μg/㎠)	Height (cm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
Unfertilized	27.23 cz	15.00 e	14.84 e	3.08 I
CF 20Kg/10a	46.40 a	43.00 b	68.36 cd	12.26 cdef
SM 2ton/10a + CCM 400Kg/10a	24.60 cd	24.33 de	57.30 d	9.90 efgh
SM 4ton/10a + CCM 400Kg/10a	23.17 cd	35.67 bc	69.72 cd	10.50 defg
SM 8ton/10a + CCM 400Kg/10a	22.30 cd	42.67 b	69.70 cd	12.88 cde
FM 2ton/10a + CCM 400Kg/10a	25.27 cd	43.67 b	82.66bc	13.28 cd
FM 4ton/10a + CCM 400Kg/10a	25.47 cd	64.33 a	97.22 ab	16.30 ab
FM 8ton/10a + CCM 400Kg/10a	32.23 b	74.00 a	104.86 a	18.78 a
SM : FM (2:1) 2ton/10a + CCM 400Kg/10a	22.07 d	29.67 cd	70.56 cd	10.78 defg
SM : FM (2:1) 4ton/10a + CCM 400Kg/10a	23.57 cd	36.00 bc	80.76 c	11.64 cdefg
SM : FM (2:1) 8ton/10a + CCM 400Kg/10a	24.03 cd	64.00 a	96.18 ab	14.56 bc
CM 2ton/10a + CCM 400Kg/10a	24.43 cd	15.00 e	54.80 d	7.30 h
CM 4ton/10a + CCM 400Kg/10a	23.87 cd	14.00 e	60.98 d	9.48 fgh
CM 8ton/10a + CCM 400Kg/10a	24.10 cd	19.33 e	67.20 cd	8.74 gh
Total	338.74	520.67	995.14	159.48

z Mean separation within column by Duncan's multiple range test, 5% level.

CF ; chemical fertilizer, SM ; swine manure, FM ; fowl manure, CM ; cattle manure

CCM: compound of three kinds of commercial microbial innoculants prepared by fermentation

Table 10. Effect of animal manure application combined with three kinds of microbial innoculants on growth of cucumber plants cultured in pot under rain protection facilities

Treatment	Chlorophyll (μg/㎠)	Height (cm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
Unfertilized	17.47 cz	10.67 h	8.52 d	1.02 f
CF 20Kg/10a	46.40 a	51.00 c	71.88 bc	8.66 cd
SM 2ton/10a + CCM 400Kg/10a	22.23 bc	15.33 gh	58.40 c	7.06 b
SM 4ton/10a + CCM 400Kg/10a	22.47 bc	28.33 def	63.68 c	7.94 b
SM 8ton/10a + CCM 400Kg/10a	21.73 bc	30.33 de	68.32 bc	9.22 b
FM 2ton/10a + CCM 400Kg/10a	23.83 b	33.00 d	65.08 c	8.04 b
FM 4ton/10a + CCM 400Kg/10a	48.07 a	77.67 a	88.34 b	14.72 a
FM 8ton/10a + CCM 400Kg/10a	24.53 b	71.00 a	158.46 a	17.58 a
SM : FM (2:1) 2ton/10a + CCM 400Kg/10a	21.70 bc	20.33 fg	61.32 c	7.82 b
SM : FM (2:1) 4ton/10a + CCM 400Kg/10a	23.60 b	48.00 c	62.56 c	9.04 b
SM : FM (2:1) 8ton/10a + CCM 400Kg/10a	22.90 bc	59.33 b	69.72 bc	10.76 b
CM 2ton/10a + CCM 400Kg/10a	23.27 b	12.33 efg	56.88 c	7.50 b
CM 4ton/10a + CCM 400Kg/10a	23.57 b	20.00 fg	63.58 c	7.18 b
CM 8ton/10a + CCM 400Kg/10a	24.90 b	21.67 efg	72.42 bc	9.20 b
Total	366.67	498.99	969.16	125.74

z Mean separation within column by Duncan's multiple range test, 5% level.

CF ; chemical fertilizer, SM ; swine manure, FM ; fowl manure, CM ; cattle manure

CCM ; compound of three kinds of commercial microbial innoculants prepared by fermentation

Table 11. Effect of animal manure application combined with MVP on growth of cucumber plants cultured in pot without rain protection facilities

Treatment	Chlorophyll (μg/cm²)	Height (cm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
Unfertilized	27.23 cdz	15.00 fg	14.84 f	3.08 d
CF 20Kg/10a	46.40 a	43.00 de	68.36 bcd	12.26 a
SM 2ton/10a + MVP 400Kg/10a	20.30 e	18.00 fg	41.78 e	7.08 c
SM 4ton/10a + MVP 400Kg/10a	20.20 e	36.67 e	57.36 cde	10.94 ab
SM 8ton/10a + MVP 400Kg/10a	21.17 e	47.00 d	93.32 a	14.30 a
FM 2ton/10a + MVP 400Kg/10a	20.77 e	49.33 cd	78.72 ab	12.56 a
FM 4ton/10a + MVP 400Kg/10a	29.00 c	70.33 b	83.24 ab	12.48 a
FM 8ton/10a + MVP 400Kg/10a	35.93 b	79.67 a	118.46 de	14.24 a
SM : FM (2:1) 2ton/10a + MVP 400Kg/10a	22.63 de	21.67 f	80.02 ab	7.26 c
SM : FM (2:1) 4ton/10a + MVP 400Kg/10a	21.03 e	45.33 d	79.44 ab	12.90 a
SM : FM (2:1) 8ton/10a + MVP 400Kg/10a	28.70 c	57.33 c	87.38 ab	11.64 a
CM 2ton/10a + MVP 400Kg/10a	18.17 e	12.33 c	50.06 de	7.96 bc
CM 4ton/10a + MVP 400Kg/10a	21.50 e	13.67 fg	57.00 cde	6.68 c
CM 8ton/10a + MVP 400Kg/10a	22.27 de	17.67 fg	75.00 abc	12.72 a
Total	355.30	527.00	984.98	146.10

z Mean separation within column by Duncan's multiple range test, 5% level.

CF ; chemical fertilizer, SM ; swine manure, FM ; fowl manure, CM ; cattle manure

MVP ; commercial microbial innoculants

Table 12. Effect of animal manure application combined with MVP on growth of cucumber plants cultured in pot under rain protection facilities

Treatment	Chlorophyll (μg/㎠)	Height (cm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
Unfertilized	17.47 dz	10.67 f	8.52 d	1.02 f
CF 20Kg/10a	46.40 a	51.00 b	71.88 bc	8.66 cd
SM 2ton/10a + MVP 600L/10a	20.77 cd	15.33 ef	46.44 e	5.62 de
SM 4ton/10a + MVP 600L/10a	20.10 d	26.00 cd	47.50 e	6.92 cde
SM 8ton/10a + MVP 600L/10a	17.47 d	29.67 cd	53.82 cde	7.36 cde
FM 2ton/10a + MVP 600L/10a	19.97 d	31.33 c	70.08 cd	8.74 de
FM 4ton/10a + MVP 600L/10a	42.57 a	78.33 a	108.58 b	15.70 b
FM 8ton/10a + MVP 600L/10a	29.73 b	77.00 a	158.58 a	20.60 a
SM : FM. (2:1) 2ton/10a + MVP 600L/10a	21.90 cd	17.00 ef	47.46 e	3.80 e
SM : FM. (2:1) 4ton/10a + MVP 600L/10a	18.27 d	31.33 c	51.58 cde	4.88 e
SM : FM. (2:1) 8ton/10a + MVP 600L/10a	20.43 cd	47.67 b	63.28 cde	9.82 c
CM 2ton/10a + MVP 600L/10a	19.43 d	13.67 f	49.32 de	7.46 cde
CM 4ton/10a + MVP 600L/10a	20.80 cd	23.00 cde	53.14 cde	5.66 de
CM 8ton/10a + MVP 600L/10a	25.40 bc	22.33 de	62.78 cde	9.44 cd
Total	340.71	474.33	892.96	115.68

z Mean separation within column by Duncan's multiple range test, 5% level.

CF ; chemical fertilizer, SM ; swine manure, FM ; fowl manure, CM ; cattle manure

MVP ; commercial microbial innoculants

Table 13. Effect of animal manure application on density of microorganism in soil of pot cultivated with tomato plants

Treatment	Dw. (g)	Bacteria x 108	Fungi x 104	Actinomy-cetes x 105
	Cultured without rain protection facilities			
Control	0.959	2.20	0.009	2.20
CF 20Kg/10a	0.972	18.76	5.15	0.29
SM 4ton/10a	0.961	14.03	0.29	1.54
FM 4ton/10a	0.947	30.30	0.95	1.52
SM + FM (2:1) 4ton/10a	0.953	20.01	5.72	2.86
CM 4ton/10a	0.971	12.91	1.26	3.20
	Cultured under rain protection facilities			
Control	0.963	4.20	0.58	2.21
CF 20Kg/10a	0.973	9.24	2.53	0.97
SM 4ton/10a	0.969	24.52	1.94	11.24
FM 4ton/10a	0.972	44.71	5.44	11.67
SM + FM (2 : 1) 4ton /10a	0.960	14.02	0.29	1.54
CM 4ton/10a	0.965	38.60	1.54	5.79

CF ; chemical fertilizer, SM ; swine manure, FM ; fowl manure, CM ; cattle manure

Table 14. Effect of microbial innoculants application combined with animal manure on density of microorganism in soil of pot cultivated with tomato plants

Treatment	Dw. (g)	Bacteria x 108	Fungi x 104	Actinomy-cetes x 105
Untreated	0.960	14.02	0.29	1.54
CCM	0.960	29.76	2.50	2.88
MVP	0.955	18.15	1.53	7.93

CCM ; compound of three kinds of commercial microbial innoculants prepared by fermentation MVP ; commercial microbial innoculants

Table 15. Effect of animal manure application on growth of tomato plants cultured in field

Treatment	Chlorophyll (μg/㎠)	Height (cm)	No. of leaf (ea)	Width of 5th leaf (cm)	Length of 5th leaf (cm)
Unfertilized	40.52 dz	54.63 e	13.17 de	18.25 d	22.54 e
CF 20Kg/10a	45.18 cd	72.92 abc	13.83 cde	20.42 bcd	25.92 cde
SM 2ton/10a	46.80 abc	60.92 de	12.33 e	19.25 cd	22.92 de
SM 4ton/10a	45.88 bcd	66.13 cd	14.83 bcd	22.17 bcd	27.61 bcd
SM 8ton/10a	46.12 bcd	74.29 ab	16.58 a	24.42 b	29.08 bc
FM 2ton/10a	40.18 d	60.83 de	12.50 e	17.67 d	22.33 e
FM 4ton/10a	42.20 cd	71.75 bc	13.17 de	19.67 bcd	24.00 de
FM 8ton/10a	44.48 cd	77.67 ab	14.25 bcd	20.00 bcd	26.42 cde
CM 2ton/10a	51.74 ab	75.75 ab	13.75 de	23.50 bc	31.42 b
CM 4ton/10a	47.98 abc	79.88 a	15.83 ab	30.50 a	36.33 a
CM 8ton/10a	52.26 a	77.42 ab	15.42 abc	29.92 a	36.17 a

z Mean separation within column by Duncan's multiple range test, 5% level.
CF ; chemical fertilizer, SM ; swine manure, FM ; fowl manure, CM ; cattle manure

Table 16. Effect of animal manure application on growth of tomato cultured in field

Treatment	Fw. (g/plant)	Diameter (mm)	No. of flower (ea)	No. of fruit (ea)
Unfertilized	128.54 dz	8.73 d	3.00 c	1.75 c
CF 20Kg/10a	232.42 bcd	10.61 cd	4.00 ab	2.33 abc
SM 2ton/10a	157.90 cd	8.86 d	3.00 c	1.92 bc
SM 4ton/10a	273.30 bcd	12.20 bc	3.75 abc	2.56 ab
SM 8ton/10a	361.75 b	12.27 bc	3.92 ab	2.58 ab
FM 2ton/10a	169.64 cd	9.24 d	3.44 bc	2.44 abc
FM 4ton/10a	230.59 bcd	10.58 cd	3.92 ab	2.58 ab
FM 8ton/10a	250.56 bcd	11.03 cd	4.08 ab	2.67 ab
CM 2ton/10a	300.83 bc	11.31 cd	3.50 bc	2.00 bc
CM 4ton/10a	561.46 a	14.77 ab	4.17 ab	2.67 ab
CM 8ton/10a	613.44 a	15.13 a	4.42 a	2.97 a

z Mean separation within column by Duncan's multiple range test, 5% level.
CF ; chemical fertilizer, SM ; swine manure, FM ; fowl manure, CM ; cattle manure

Table 17. Effect of animal manure application on growth of cucumber plants cultured in field

Treatment	Chlorophyll (μg/㎠)	Height (cm)	No. of leaf (ea)	Width of 3rd leaf (cm)	Length of 3rd leaf (cm)
Unfertilized	29.74 dz	9.58 f	2.92 g	5.54 e	5.29 f
CF 20Kg/10a	32.30 bc	60.17 a	7.67 a	13.92 a	10.33 a
SM 2ton/10a	30.14 d	17.67 ef	4.17 f	8.04 d	6.17 ef
SM 4ton/10a	29.98 d	23.50 e	5.08 def	10.04 bcd	7.33 cde
SM 8ton/10a	29.12 d	27.83 de	5.08 def	10.67 bc	8.00 bcd
FM 2ton/10a	28.48 d	20.08 ef	6.17 bcd	12.08 ab	8.75 abc
FM 4ton/10a	29.20 d	29.00 de	4.83 ef	8.58 cd	6.83 def
FM 8ton/10a	30.60 cd	37.92 cd	5.75 cde	10.08 bcd	7.46 bcde
CM 2ton/10a	33.84 ab	29.33 de	5.33 cde	10.50 bc	7.71 bcde
CM 4ton/10a	33.42 ab	47.00 bc	6.33 bc	12.25 ab	8.83 abc
CM 8ton/10a	34.42 a	53.00 ab	7.17 ab	12.04 ab	9.13 ab

z Mean separation within column by Duncan's multiple range test, 5% level.
CF ; chemical fertilizer, SM ; swine manure, FM ; fowl manure, CM ; cattle manure

Table 18. Effect of animal manure application on growth of radish cultured in field

Treatment	Chlorophyll (μg/㎠)	Fw.(g/plant)	Height (cm)	No. of leaf (ea)
Unfertilized	32.04 dz	11.08 e	12.20 f	8.40 cdef
CF 20Kg/10a	32.50 d	15.20 e	14.00 f	7.40 ef
SM 2ton/10a	30.86 d	9.34 e	12.90 f	7.20 ef
SM 4ton/10a	31.84 d	15.30 e	15.96 ef	7.80 def
SM 8ton/10a	30.62 d	36.20 de	23.40 d	9.40 bcde
FM 2ton/10a	31.34 d	7.50 e	14.90 f	6.00 f
FM 4ton/10a	33.06 d	34.96 de	19.00 e	10.60 bcd
FM 8ton/10a	34.22 cd	51.50 cd	24.30 d	10.40 bcd
CM 2ton/10a	38.10 b	65.10 bc	34.20 c	11.60 b
CM 4ton/10a	37.24 bc	86.58 b	38.30 b	11.20 bc
CM 8ton/10a	41.60 a	123.60 a	42.30 a	14.80 a

z Mean separation within column by Duncan's multiple range test, 5% level.
CF ; chemical fertilizer, SM ; swine manure, FM ; fowl manure, CM ; cattle manure

Table 19. Effect of animal manure application on components of soil cultured with tomato plants

Treatment	pH	Organic matter	T-N	P_2O_5	K_2O	Ca	Mg
		(%)					
Unfertilized	7.19	1.45	0.007	0.62	0.02	0.03	0.05
CF 20Kg/10a	6.96	0.54	0.011	0.13	0.02	0.01	0.04
SM 2ton/10a	7.14	1.15	0.011	1.50	0.02	0.06	0.05
SM 4ton/10a	7.30	3.10	0.011	1.10	0.04	0.06	0.05
SM 8ton/10a	7.24	3.24	0.016	1.20	0.03	0.05	0.05
FM 2ton/10a	7.38	4.26	0.011	0.40	0.03	0.06	0.04
FM 4ton/10a	7.32	5.02	0.011	1.50	0.04	0.04	0.04
FM 8ton/10a	7.23	5.71	0.022	1.50	0.04	0.05	0.04
CM 2ton/10a	7.10	2.93	0.011	0.70	0.04	0.03	0.04
CM 4ton/10a	7.19	2.22	0.017	1.10	0.04	0.06	0.04
CM 8ton/10a	7.08	2.26	0.017	1.50	0.03	0.07	0.04

CF ; chemical fertilizer, SM ; swine manure, FM ; fowl manure, CM ; cattle manure

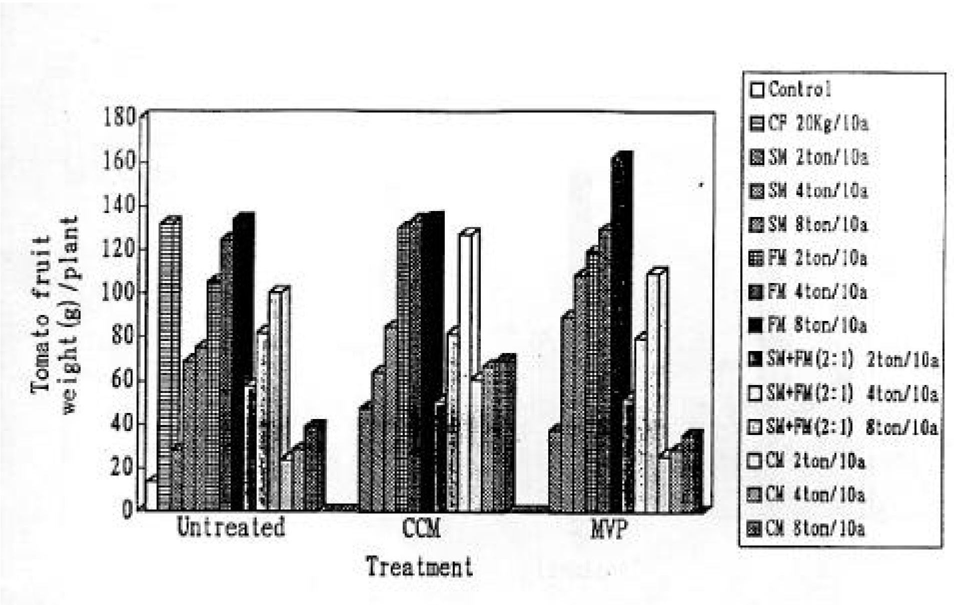


Fig. 1. Effect of animal manure application on fruit weight of tomato plants cultured in pot without rain protection facilities.

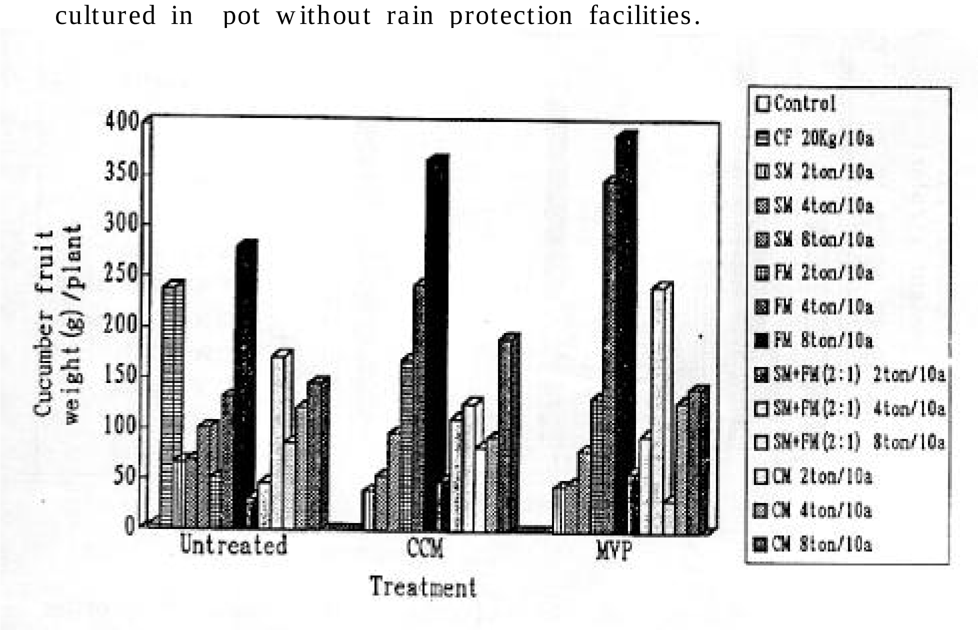


Fig. 2. Effect of animal manure application on fruit weight of cucumber cultured in pot without rain protection facilities.

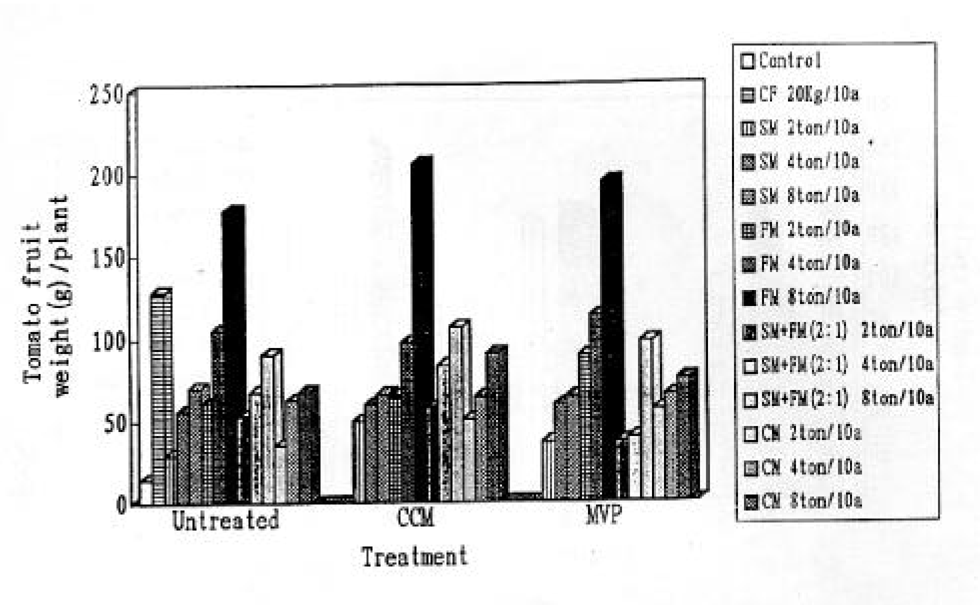


Fig. 3. Effect of animal manure application on fruit weight of tomato plants cultured in pot under rain protection facilities.

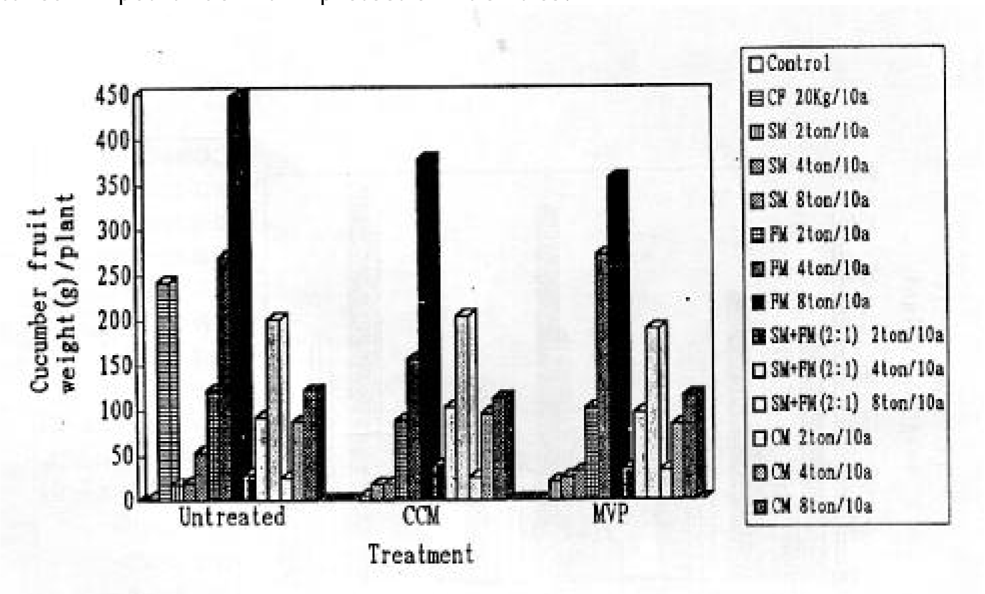


Fig. 4. Effect of animal manure application on fruit weight of cucumber cultured in pot under rain protection facilities

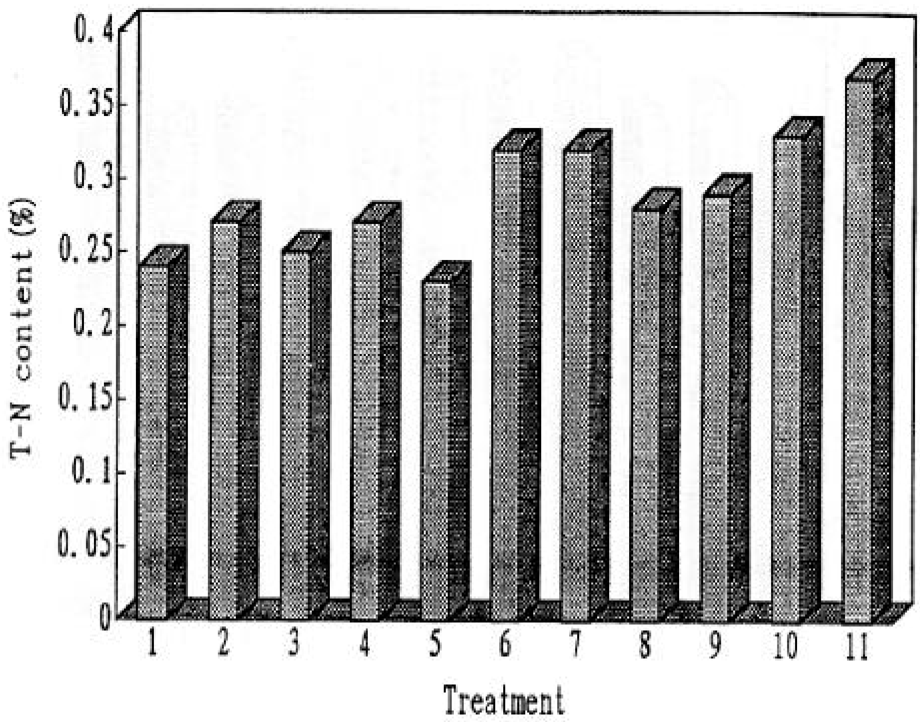


Fig. 5. Effect of animal manure application on change in T-N content of tomato plants.

1 ; control, 2 ; CF 20Kg/10a, 3 ; SM 2ton/10a, 4 ; SM 4ton/10a,
5 ; SM 8ton/10a, 6 ; FM 2ton/10a, 7 ; FM 4ton/10a, 8 ; FM 8ton/10a,
9 ; CM 2ton/10a, 10 ; CM 4ton/10a, 11 ; CM 8ton/10a

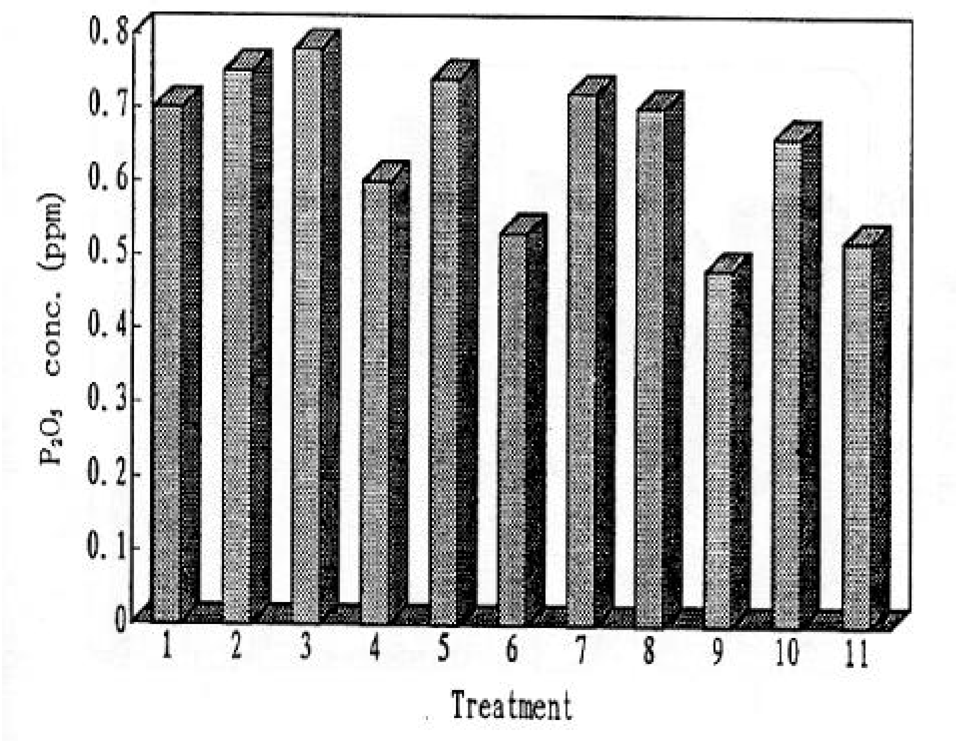


Fig. 6. Effect of animal manure application on P_2O_5 content of tomato plants.

1 ; control, 2 ; CF 20Kg/10a, 3 ; SM 2ton/10a, 4 ; SM 4ton/10a,
5 ; SM 8ton/10a, 6 ; FM 2ton/10a, 7 ; FM 4ton/10a, 8 ; FM 8ton/10a,
9 ; CM 2ton/10a, 10 ; CM 4ton/10a, 11 ; CM 8ton/10a

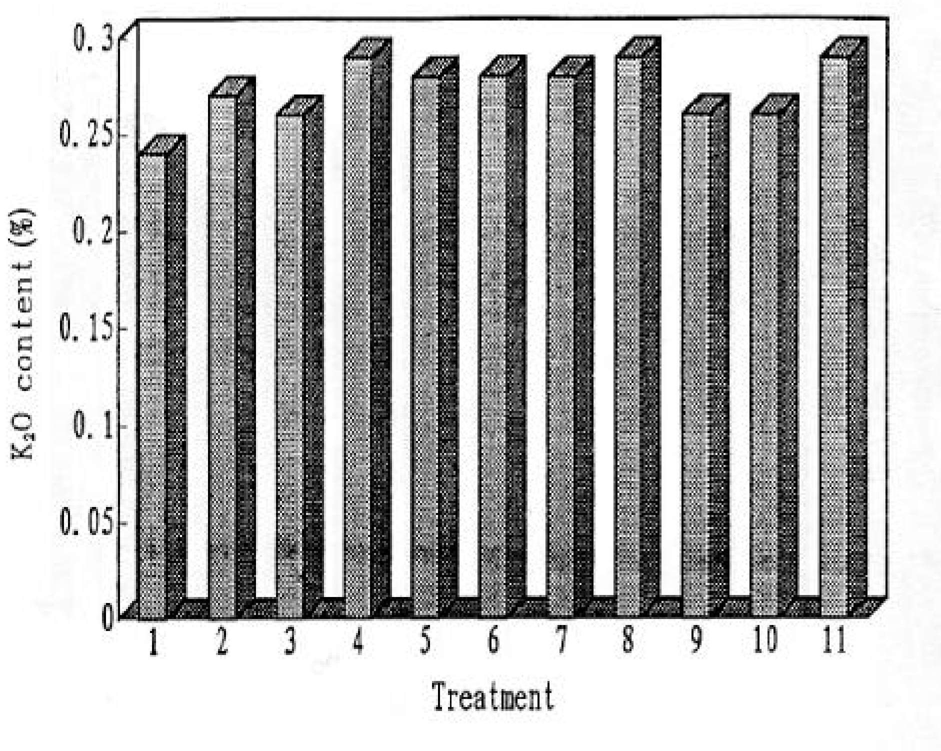


Fig. 7. Effect of animal manure application on K_2O content of tomato plants.

1 ; control, 2 ; CF 20Kg/10a, 3 ; SM 2ton/10a, 4 ; SM 4ton/10a,
5 ; SM 8ton/10a, 6 ; FM 2ton/10a, 7 ; FM 4ton/10a, 8 ; FM 8ton/10a,
9 ; CM 2ton/10a, 10 ; CM 4ton/10a, 11 ; CM 8ton/10a

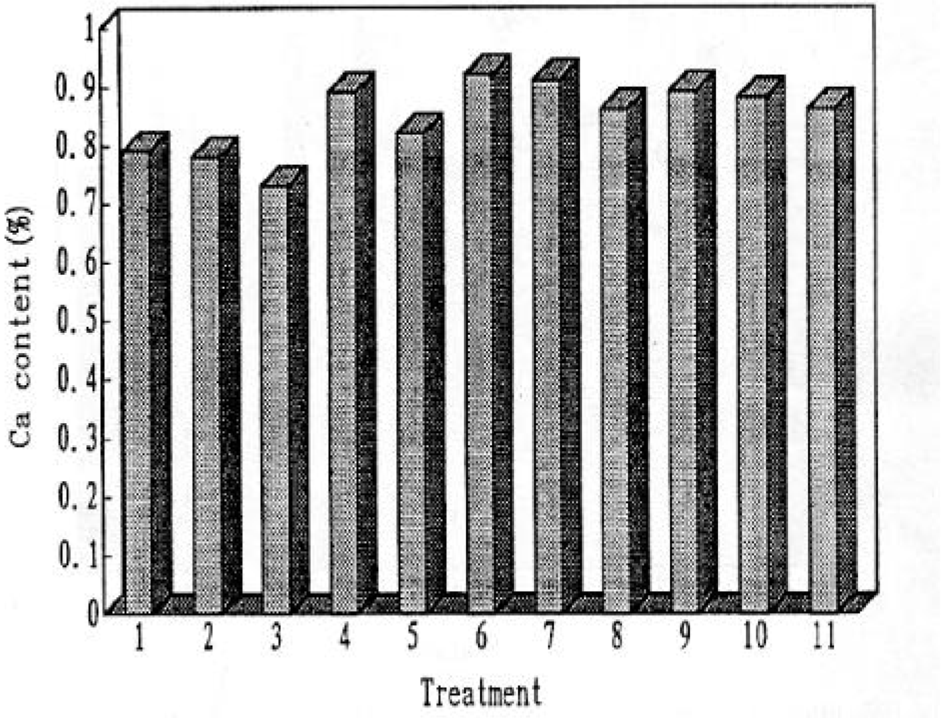


Fig. 8. Effect of animal manure application on Ca content of tomato plants.

1 ; control, 2 ; CF 20Kg/10a, 3 ; SM 2ton/10a, 4 ; SM 4ton/10a,

5 ; SM 8ton/10a, 6 ; FM 2ton/10a, 7 ; FM 4ton/10a, 8 ; FM 8ton/10a,

9 ; CM 2ton/10a, 10 ; CM 4ton/10a, 11 ; CM 8ton/10a

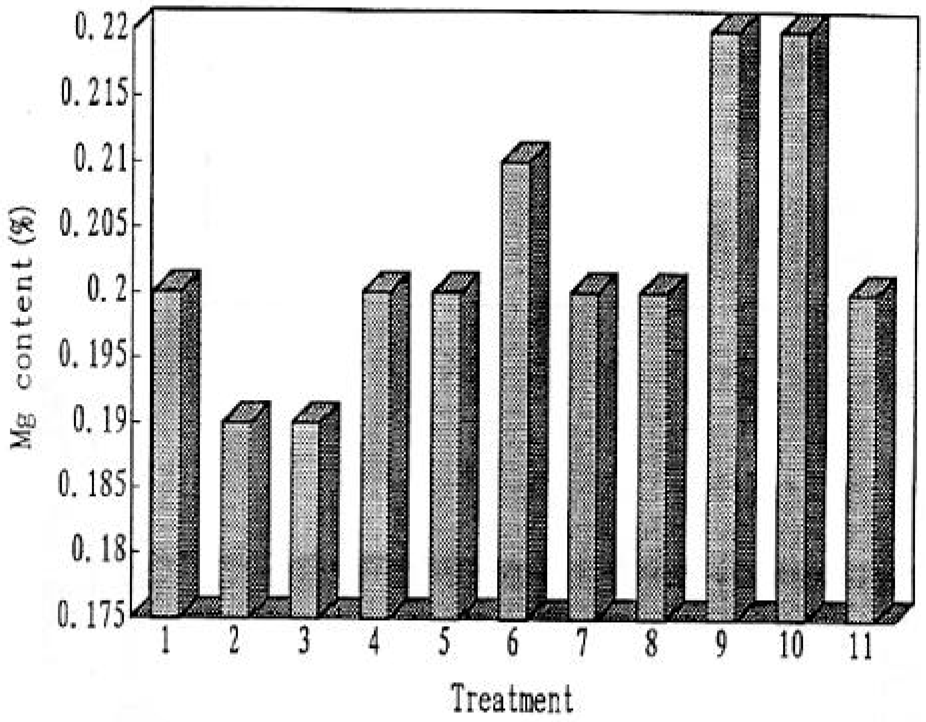


Fig. 9. Effect of animal manure application on Mg content of tomato plants.

1 ; control, 2 ; CF 20Kg/10a, 3 ; SM 2ton/10a, 4 ; SM 4ton/10a,
5 ; SM 8ton/10a, 6 ; FM 2ton/10a, 7 ; FM 4ton/10a, 8 ; FM 8ton/10a,
9 ; CM 2ton/10a, 10 ; CM 4ton/10a, 11 ; CM 8ton/10a

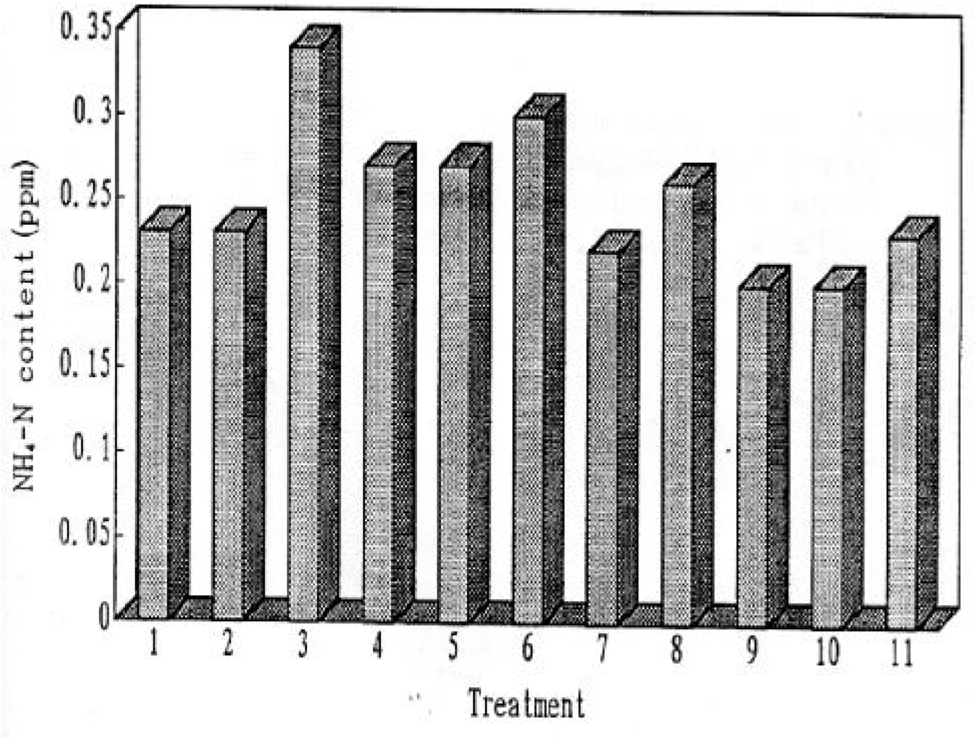


Fig. 10. Effect of animal manure application on NH4-N content of radish.
1 ; control, 2 ; CF 20Kg/10a, 3 ; SM 2ton/10a, 4 ; SM 4ton/10a,
5 ; SM 8ton/10a, 6 ; FM 2ton/10a, 7 ; FM 4ton/10a, 8 ; FM 8ton/10a,
9 ; CM 2ton/10a, 10 ; CM 4ton/10a, 11 ; CM 8ton/10a

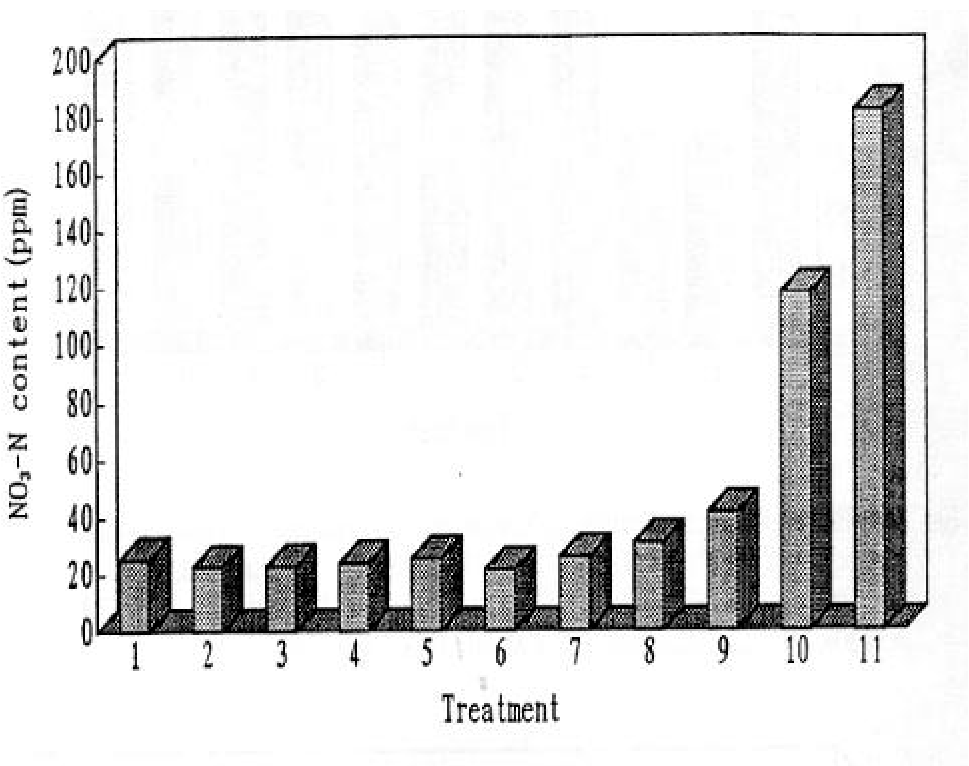


Fig. 11. Effect of animal manure application on NO_3^--N content of radish.
1 ; control, 2 ; CF 20Kg/10a, 3 ; SM 2ton/10a, 4 ; SM 4ton/10a,
5 ; SM 8ton/10a, 6 ; FM 2ton/10a, 7 ; FM 4ton/10a, 8 ; FM 8ton/10a,
9 ; CM 2ton/10a, 10 ; CM 4ton/10a, 11 ; CM 8ton/10a

3. 환경스트레스에 대한 내성 비교

표 20, 21 은 토마토와 열무에 산성강우를 농도별로 처리하여 생장량 감소에 대한 영향을 측정한 결과이다. 토마토와 열무 두작물은 pH 2.5까지는 수회살포하여도 가시적 피해는 찾아보기 어려웠다. 따라서 실제 자연강우에서는 나타나는 현상이 아닌 pH 2.0의 용액을 처리하였던바 두종류의 작물 모두 심한 가시피해를 보였다. 그러나 토마토는 10일간 처리에서도 산성강우에 가시적 피해는 보였지만 식물체의 생체중 감소에는 크지 않은 것으로 나타났다. 열무의 경우는 pH 2.0처리구에서 4일간 처리로 생체중의 감소가 초래됨을 관찰할 수 있었다. 그러나 두 작물에 있어 돈분 시용량에 따른 산성강우 피해경감 효과는 뚜렷이 나타나지 않았다.

표 20. 돈분시비량 및 산성강우 농도에 따를 토마토의 생체중 변화

Treatment	Fresh weight(g/plant)		
	pH 6.0	pH 3.0	pH 2.0
Unfertilized	1.42±0.10	1.22±0.12	1.21±0.09
CF	17.88±0.68	19.90±1.83	17.19±1.96
SM 2 ton/10a	12.66±0.43	11.38±0.72	11.01±0.44
SM 4 ton/10a	11.76±0.39	13.80±0.31	11.36±0.48
SM 8 ton/10a	13.12±0.52	11.75±0.88	12.65±0.84

*산성강우는 10일간 처리함

*CF: Chemical fertilizer, 풍농 복합비료(9-14-12)를 80 Kg/10a 처리함

표 21. 돈분 시비량 및 산성강우 농도에 따른 열무의 생체중 변화

Treatment	Fresh weight(g/plant)		
	pH 6.0	pH 3.0	pH 2.0
Unfertilized	2.30±0.13	2.24±0.12	2.32±0.15
CF	10.84±0.71	10.32±0.54	9.67±0.63
SM 2 ton/10a	8.20±0.80	7.65±0.49	6.82±0.34
SM 4 ton/10a	7.73±0.34	7.68±0.49	6.49±0.62
SM 8 ton/10a	8.82±0.31	8.10±0.31	7.29±0.55

*산성강우는 4일간 처리함

*CF: Chemical fertilizer, 풍농복합비료(9-14-12)를 80 Kg/10a 처리함, SM: Swine manure

고추에서는 생체중의 변화는 pH 3.0용액 살포에서 전체적으로 생체중의 감소가 일어났으며 pH 2.0 용액 살포에서는 30%정도의 생체중 감소가 일어났다(표 22). 특히 엽록소의 측정 결과 무비구와 화학비료 시용구에서는 pH 2.0의 용액 처리로 30% 정도가 감소된 것에 비하여 돈분구에서는 20% 미만이 감소된 것으로 나타났다(표 23).

표 22. 돈분시비량 및 산성강우 농도에 따른 고추의 생체중 변화

Treatment	Fresh weight(g/plant)		
	pH 6.0	pH 3.0	pH 2.0
Unfertilized	0.79±0.08	0.63±0.05	0.66±0.62
CF	5.91±0.44	4.67±0.47	3.87±0.24
SM 2 ton/10a	4.01±0.18	3.68±0.27	3.49±0.25
SM 4 ton/10a	5.48±0.66	4.29±0.28	3.28±0.15
SM 8 ton/10a	5.91±0.44	4.89±0.28	3.93±0.22

*산성강우는 4일간 처리함, *CF : Chemical fertilizer, 풍농복합비료(9-14-12)를 80 Kg/10a 처리함, SM : Swine manure

표 23. 돈분시비량에 따른 고추의 산성강우 피해경감

Treatment	Chlorophyll content(μg/cm2)		
	pH 6.0	pH 3.0	pH 2.0
Unfertilized	23.17±1.57	21.83±3.45	16.60±1.56
CF	45.47±2.97	40.87±1.17	33.97±1.18
SM 2 ton/10a	38.53±0.56	34.73±0.88	31.90±2.87
SM 4 ton/10a	36.17±0.19	32.77±1.37	32.90±1.14
SM 8 ton/10a	33.27±0.36	32.60±0.85	28.30±1.33

*산성강우는 4일간 처리함

*CF: Chemical fertilizer(9-14-12) 80Kg/10a, SM: Swine manure

표 24는 시중에서 판매되고 있는 미생물제와 천연물 처리제인 키토산을 열무에 토양 처리한 후 pH 2.5용액 살포에 이어 2.0의 용액을 살포한 결과이다. 돈분 처리는 화학비료 재배에 비하여 다소 산성강우의 피해를 경감시키는 경향을 보였다. MVP와 chitomate 역시 약간의 효과가 인정되기는 하였으나 뚜렷한 경향은 나타나지 않았다. 두 약제를 혼합하여 사용하였을 경우 오히려 피해경감의 효과가 없는 것으로 나타났다.

<표 9-7> 돈분 및 MVP, chitomate처리가 열무의 산성강우 피해 경감에 미치는 영향

Treatment	Injury rate(%)			
	Control	MVP	Chitomate	MVP+Chitomate
Unfertilized	28±4.38	28±4.38	40±5.66	36±3.58
CF	68±4.38	56±6.69	44±3.58	48±4.38
SM 2 ton/10a	40±5.66	32±7.16	28±4.38	56±6.69
SM 4 ton/10a	48±4.38	32±4.38	36±3.58	28±4.38
SM 8 ton/10a	40±5.66	40±8.00	36±3.58	60±5.66

*pH 2.5 일주일에 3번 씩 3주간에 이어 pH 2.0에 5일간 처리함

*CF : Chemical fertilizer(9-14-12) 80Kg/10a, SM : Swine manure

토마토에서는 열무에서와 달리 화학비료구에 비하여 돈분 시용구에서 가시피해가 많았으며 (**표** 25), MVP**와** chitomate**의 처리효과도 인정되지 않았다**.

표 25. **돈분 및** MVP, chitomate**처리가 토마토 산성강우 피해 경감에 미치는 영향**

Treatment	Injury rate(%)			
	Control	MVP	Chitomate	MVP+Chitomate
Unfertilized	20±5.66	32±4.38	32±4.38	32±4.38
CF	40±5.66	60±5.66	48±4.38	52±4.38
SM 2 ton/10a	44±3.58	44±6.69	52±4.38	56±6.69
SM 4 ton/10a	68±4.38	44±3.58	36±3.58	60±5.66
SM 8 ton/10a	40±0.00	56±3.58	56±3.58	60±5.66

*pH 2.5 **일주일에** 3**번 씩** 3**주간에 이어** pH 2.0**에** 5**일간 처리함**

*CF : Chemical fertilizer(9-14-12) 80Kg/10a, SM : Swine manure

표 26. 돈분시비량 및 MVP, Chitomate처리가 열무의 산성강우 피해 경감에 미치는 영향

Treatment	Untreated-control	Fresh weight(g/plant)			
		Control	MVP	Chitomate	MVP+Chitomate
Unfertilized	2.18±0.32	1.30±0.06	3.78±0.43	3.64±0.52	1.66±0.19
CF	12.80±1.42	7.92±0.57	10.58±0.45	9.38±1.34	7.82±1.23
SM 2 ton/10a	7.20±0.86	7.28±0.64	7.80±1.16	6.62±0.57	6.48±0.23
SM 4 ton/10a	6.98±0.93	6.34±0.43	7.00±0.61	7.60±0.69	7.44±0.94
SM 8 ton/10a	9.68±1.15	6.28±0.55	6.84±0.54	6.60±0.61	5.82±0.51

*pH 2.5용액을 일주일에 3번 씩 3주간처리하고 다시 pH 2.0용액에 5일간 처리함

*CF : Chemical fertilizer(9-14-12) 80Kg/10a, SM : Swine manure

*MVP 1000 배액, Chitomate 100 배액을 50 mL씩 생육초기에 1회 토양관주함

표 26은 열무의 생체중을 측정한 결과로 돈분 시비만으로는 산성강우의 피해를 경감시켜줄 수 없었으며, MVP 및 chitomate는 화학비료구에서 피해경감 효과를 보였고 돈분처리구에서는 산성강우에 의한 생체중의 감소를 방지하는데 별다른 영향을 미치지 않았다. 그러나 열무에서 엽록소 함량을 측정한 결과 MVP와 chitomate의 토양처리는 산성강우에 의한 엽록소의 감소를 막아주는데 효과가 있었다(표 27).

표 27. 돈분시비량 및 MVP, Chitomate처리가 산성강우에 의한 열무의 엽록소 함량 변화에 미치는 영향

Treatment	Untreated-control	Chlorophyll content(μg/cm2)			
		Control	MVP	Chitomate	MVP+Chitomate
Unfertilized	28.50±1.84	23.30±0.83	30.17±1.12	27.87±0.97	25.53±1.47
CF	36.90±1.55	31.27±2.34	35.77±0.59	35.43±1.18	30.60±0.87
SM 2 ton/10a	29.33±0.31	26.87±0.76	29.80±0.45	33.10±2.15	29.83±3.77
SM 4 ton/10a	29.07±1.14	28.70±0.68	30.13±3.59	27.43±0.64	26.43±1.09
SM 8 ton/10a	30.53±2.19	27.17±0.67	30.07±2.27	30.43±1.73	24.23±0.44

*pH 2.5용액을 일주일에 3번 씩 3주간처리하고 다시 pH 2.0용액에 5일간 처리함

*CF : Chemical fertilizer(9-14-12) 80 Kg/10a, SM : Swine manure

*MVP 1000 배액, Chitomate 100 배액을 50 mL씩 생육초기에 1회 토양관주함

표 28은 토마토의 지상부 생체중을 측정한 결과로써 가시피해는 발생하였지만 처리기간 동안 생체중의 감소에는 큰 변화가 없었다. 토마토의 경우 엽록소 함량에서는 열무에서와는 달리 비료구에 비하여 돈분 시용구에서 감소량이 큰 것으로 나타났고 MVP 및 chitomate의 산성강우 stress경감에 관한 효과는 미약한 것으로 나타났다(표 29).

표 28. 돈분시비량 및 MVP, Chitomate처리가 토마토의 인공 산성우 피해경감에 미치는 영향

Treatment	Untreated-control	Fresh weight(g/plant)			
		Control	MVP	Chitomate	MVP+Chitomate
Unfertilized	1.52±0.13	1.36±0.10	4.60±0.24	1.76±0.13	2.90±0.46
CF	13.76±0.49	14.34±0.76	17.38±1.06	18.16±0.40	14.34±0.92
SM 2 ton/10a	10.18±0.39	9.16±0.71	9.68±0.47	8.60±0.36	9.58±0.36
SM 4 ton/10a	9.92±0.75	11.50±0.40	11.36±0.47	10.06±0.42	10.54±0.59
SM 8 ton/10a	10.66±0.77	11.78±0.89	8.98±1.21	10.64±1.49	11.60±0.83

*pH 2.5용액을 일주일에 3번 씩 3주간처리하고 다시 pH 2.0용액에 5일간 처리함
*CF : Chemical fertilizer(9-14-12) 80 Kg/10a, SM : Swine manure
*MVP 1000 배액, Chitomate 100 배액을 50 mL씩 생육초기에 1회 토양관주함

표 29. 돈분 시비량 및 MVP, Chitomate처리가 토마토의 산성강우 피해 경감에 미치는 영향

Treatment	Untreated-control	Chlorophyll content(μg/cm2)			
		Control	MVP	Chitomate	MVP+Chitomate
Unfertilized	28.20±0.34	28.03±0.30	28.10±1.94	26.73±1.09	28.20±1.59
CF	31.57±0.47	30.10±2.74	29.53±0.56	28.90±0.49	29.13±2.09
SM 2 ton/10a	30.70±0.34	28.00±0.49	25.90±0.79	27.43±0.97	28.10±1.03
SM 4 ton/10a	31.90±0.63	26.57±1.60	24.80±1.96	23.67±1.40	28.63±0.79
SM 8 ton/10a	31.53±1.30	28.30±0.41	25.07±1.62	26.43±1.39	25.00±0.29

*pH 2.5용액을 일주일에 3번 씩 3주간처리하고 다시 pH 2.0용액에 5일간 처리함

*CF : Chemical fertilizer(9-14-12) 80 Kg/10a, SM : Swine manure

*MVP 1000 배액, Chitomate 100 배액을 50 mL씩 생육초기에 1회 토양관주함

돈분을 일정량 시비하고 MVP와 chitomate의 산성강우의 피해경감 효과를 열무에서 측정하였던 바 두약제 모두 가시피해를 다소 감소시켜 주는 것으로 나타났으나 뚜렷한 효과를 얻기는 어려웠다(표 30).

표 30. MVP 및 Chitomate 처리가 열무의 산성강우 피해 경감에 미치는 효과

Treatment(dilution time)		Injury rate(%)
Control		52±4.38
MVP	1000	32±4.38
	500	32±4.38
	250	44±3.58
Chitomate	200	28±4.38
	100	28±4.38
	50	44±3.58

*pH 2.5 일주일에 3번 씩 3주간에 이어 pH 2.0에 5일간 처리함

*돈분시비 8 ton/10a

토마토에서 돈분 시비량에 따른 오존피해 경감효과를 측정한 결과(표 9-14) 무처리에 비해서는 시비구에서 다소 가시피해율이 경감되는 경향이었으나 화학비료 및 돈분 시용량간에는 별다른 차이를 찾아볼 수 없었다.

표 31. 돈분 시비량에 따른 토마토의 오존 피해경감

Treatment	Injury rate(%)			
	1'st leaf	2'nd leaf	3'rd leaf	4'th leaf
Unfertilized	28	44	48	70
CF	12	12	16	36
SM 2 ton/10a	0	0	16	44
SM 4 ton/10a	8	16	40	60
SM 8 ton/10a	0	12	16	60

*오존처리, 27±2C에서 0.4 ppm에 8시간

*CF: Chemical fertilizer(9-14-12) 80 Kg/10a, SM: Swine manure

표 32는 MVP 및 chitomate처리가 토마토 생육에 미치는 영향을 측정한 결과로 무처리에 비하여 생체중은 다소 높은 것으로 나타났으나 엽록소의 함량에는 별다른 영향을 미치지 않았다. 0.2 ppm의 오존을 9시간 처리한 결과 MVP에서는 피해 경감효과가 없었으나 chitomate 500, 1000배액에서는 비교적 높은 피해경감효과를 인정할 수 있었다(표 33).

표 32. MVP 및 Chitomate 처리가 토마토의 생육에 미치는 영향

Treatment (dilution time)		Stem length(cm)	Leaf number(ea)	Fresh weight(g/plant)	Chlorophyll content(μg/cm)
Control		11.30±0.52	5.80±0.18	2.75±0.14	29.17±0.24
MVP	125	13.80±0.70	6.00±0.28	3.34±0.22	30.40±1.95
	250	13.20±1.22	5.60±0.22	3.30±0.66	29.07±1.09
	500	13.30±0.36	6.00±0.28	3.18±0.21	31.27±1.22
	1000	14.10±0.26	6.00±0.00	3.82±0.27	28.47±1.31
Chitomate	50	12.90±0.55	5.80±0.33	3.48±0.35	30.00±2.09
	100	15.40±1.18	5.60±0.22	3.28±0.38	29.73±0.29
	250	14.80±1.37	6.20±0.18	3.18±0.25	31.97±0.91
	500	14.10±1.29	5.90±0.22	3.72±0.70	32.50±0.65
	1000	14.60±1.13	6.60±0.22	3.68±0.13	31.37±0.29
Chitomate 500 + MVP 1000		13.80±0.36	6.00±0.00	3.25±0.12	30.77±0.41

지금까지의 결과를 종합해볼 때 돈분을 시용한 작물은 화학비료를 주로 사용하여 재배하는 작물에 비하여 고추에서는 산성강우의 피해를 경감시킬 수 있었으나 토마토와 열무에서는 별다른 효과를 찾아볼 수 없었다. 미생물제인 MVP 및 천연물질인 chitomate의 토양처리는 작물의 생육을 약간 증진시키는 것으로 나타났으며 열무에서 산성강우의 피해를 다소 감소시킬 수 있었으나 토마토에서는 산성강우에 대한 내성증진 효과가 나타나지 않았다. 산성강우에 대한 반응과는 달리 chitomate처리는 토마토에서 오존에 의한 가시피해를 경감시켰다.

표 33. MVP및 Chitomate 처리가 토마토의 오존 피해경감에 미치는 영향

Treatment (dilution time)	Injury rate(%)				
	1'st leaf	2'nd leaf	3'rd leaf	4'th leaf	5'th leaf
Control	24±3.58	44±3.58	24±6.69	12±7.16	28±12.13
MVP 125	16±6.69	52±4.38	60±8.00	68±8.13	84±14.31
250	12±4.38	44±6.69	68±7.16	72±9.73	76±13.15
500	4±3.58	24±6.69	32±9.13	56±8.76	64±15.38
1000	20±5.66	28±9.73	32±8.13	24±8.76	40±10.79
Chitomate 50	16±3.58	32±9.12	24±8.76	24±9.15	52±19.27
100	4±3.58	28±4.38	32±9.12	16±9.31	36±17.34
250	8±7.16	36±6.69	28±7.16	20±8.00	52±20.08
500	0±0.00	20±5.66	0±0.00	28±9.59	52±20.08
1000	4±3.58	12±7.16	12±7.16	12±7.16	24±17.34
MVP 1000 + Chitomate 500	4±3.58	40±0.00	48±9.13	56±6.69	52±12.13

*오존처리, 27±2C에서 0.2ppm에 9시간 처리

*돈분처리 8 ton/10a

第 4 節 結 論

발효된 돈분, 계분 및 우분을 pot와 노지포장에 각각 2, 4, 8 ton/10a 처리하여 작물의 생육정도를 조사하고 미생물제의 생육촉진효과 및 퇴비시용량에 따른 토양성분의 변화를 측정, 그리고 돈분의 시용량을 달리하고 MVP 및 chitomate를 토양 처리하여 재배한 작물의 산성강우 및 오존가스에 대한 내성반응을 측정하였던 바 다음과 같은 결과를 얻었다.

화분재배 실험에서는 부숙퇴비 처리의 경우 돈분과 우분은 8 ton 시용에서도 관행구인 화학비료처리구에 비하여 생육이 떨어졌으며 계분은 4 ton의 시용에서 관행구와 비슷한 생육정도를 보였다.

비가림재배와 노지재배의 비교에서는 비가림재배에서 다소 생육이 좋았으나 큰 유의차는 없었다.

토마토 재배에 있어서 미생물제인 균강과 MVP부숙제를 혼합해 주었을 경우 크게 생장이 증가하지는 않았다. 완전 부숙 퇴비의 경우에는 그 효과가 적은것으로 판단된다.

토양의 미생물 조사에서는 계분 및 돈분과 계분 혼합구에서 그 수가 증가하였으며 노지재배에 비하여 비가림 재배에서 미생물 수가 많았고 균강과 MVP부숙제 처리구에서 그 수가 많았다.

Plot 실험에서 토마토의 경우는 우분 4, 8ton/10a 처리구에서 관행 처리구보다도 생육이 좋았으며 오이의 경우에도 같은 결과를 보였다.

토양 분석에서 관행구의 pH는 6.96으로 약간 낮은 편이었으며 각각의 부숙퇴비 시용구에서도 유기물함량 뿐만아니라 T-N, P_2O_5, K_2O, Ca, Mg 등의 함량도 다소 높은 경향을 나타내었다.

Pot 실험의 오이 수확량 비교시 계분 8 ton/10a 처리구에서 가장 높았으며 무처리구에 비해서 균강과 MVP부숙체 처리구에서 다소 수확량이 높았으나 큰 유의차는 없었다. 토마토 수확량에 있어서도 계분 8 ton/10a 처리구에서 가장 높았으며 비가림재배

와 노지재배에 따른 수확량의 차이는 노지재배의 경우가 다소높은 것으로 나타났다. 위 결과는 plot 실험과는 다른데 그 이유는 우분의 부숙정도가 다르기 때문이며 계분이 보관기간 동안 질소분의 유실이 많았던 데에 기인하는 것으로 판단된다.

Plot 실험의 토마토 잎 분석에서는 T-N 함량의 경우 우분에서 타처리구에 비하여 높았으며 P_2O_5 함량의 경우는 무처리구, 관행처리구 및 돈분 2ton/10a 처리구에서 높았다. K_2O, Ca 함량은 각각의 처리구에 따른 큰 유의차는 없었으나 무처리구와 관행처리구에 비하여 타처리구에서 약간 높았다.

Plot 실험에서 열무 분석의 경우 NH_4-N 함량은 각 처리에 따라 큰 차이는 없었으나 NO_3-N 함량은 완숙되지 않은 우분 처리구에서 월등히 높았다.

고추에서는 화학비료 시비구에 비하여 돈분시비 구에서 산성강우에 강한 내성을 보였다. 그러나 열무와 토마토에서는 내성증대 경향을 찾아볼 수 없었다.

미생물제인 MVP와 천연물질인 chitomate는 작물의 생육을 증진시켰으며, 열무의 산성강우 피해를 경감시켰으나 토마토에서는 내성증진 효과가 나타나지않았다.

토마토의 경우 돈분시비와 화학비료시비는 작물의 오존피해 경감에 별다른 차이를 보이지 않았으나, chitomate처리는 MVP에 비하여 토마토의 오존가스 피해를 크게 감소시킬 수 있었다.

引用文獻

1. 김종숙. 1993. 韓國에서의 環境保全形 持續農業의 發展方向. 環境保全形 持續農業과 環 境保全形 消費形態로의 轉換을 위한 討論會

2. 朴永大 외 3인. 1992. 有機農業에 關한 硏究. 農村振興廳.

3. 서종혁 외 3인. 1992. 有機農産物의 生産 및 流通實態와 長期發展 方向. 韓國農村經濟硏究所.

4. 孫尙穆. 1994. 有機農業으로 生産된 農産物의 品質現況. 有機農業의 現況 및 發展方向에 關한 심포지움. pp 249-276. 農村進興聽 農業技術硏究所.

5. 尹世永. 1994. 流通中인 微生物濟의 特性과 效果. 有機農業의 現況 및 發展方向에 關한 심포지움. pp 167-202. 農村進興聽 農業技術硏究所.

6. 李文弘. 1994. 持續的 農業을 위한 病害蟲 綜合管理. 有機農業의 現況 및 發展方向에 關한 심포지움. pp 231-248. 農村進興聽 農業技術硏究所.

7. 李宗植, 金福永. 1994. 酸性雨가 植生에 미치는 影響. Korean J. Environ. Agri.346-358

8. 鄭眞永. 1994. 韓國의 有機農業 發展過程. 有機農業의 現況 및 發展方向에 關한 심포지움. pp 43-55. 農村進興聽 農業技術硏究所.

9. 鄭眞永 외 5인. 1992. 有機農業百科. 韓國有機農業協會.

10. 來米速光. 1986. 現代の 自然農法. 弘生書林

11. 木村友昭他. 1994. 自然農法におげる微生物資料の利用. pp 820-824. 農業および園藝.

12. 本間善久. 1989. 拮抗微生物(細菌, 房線菌) 利用による病害防除. pp 152-158. 農業および 園藝.

13. 新田恒雄. 1989. 有機物試用による微生物的地力の增進.pp 235-239. 有機農業を科學する. 農業ぉよび園藝.

14. 態澤喜久雄. 1989. "有機農業" と現代農業. pp 89-103. 農業および園藝.

15. Joanne Rebbeck and Eileen Brrennan. 1984. The effect of simulated acid rain

and ozone on the yield and quality of glasshouse-grown alfafa. Environment pollution. 7-16

16. K. Mengel, E. A. Kirkby. 1978. Principles of plant Nutrition . International Potash Institute.

17. V. Rheinbaben W. 1979. Abbau der organichen substanz von siedlungsabf llen bei verschiedenen temperaturen im laborversuch, Mll und Abfall, 2 : 25-31

18. Richard Wiles et al. 1989. Alternative agriculture. National research council.

19. **농촌진흥청**, **토양화학분석법**, 1989.

제 1 분야	영농/작목 기술개발

제 4장 사료작물 작부체계에서의 Biomass 생산력 및 질소 경제성 비교

충북대학교 농업과학연구소

연구책임자 : 정 승 근

연 구 원 : 이 철 원

연 구 원 : 안 장 헌

연 구 원 : 김 주 읍

연 구 원 : 박 상 일

연 구 원 : 손 석 룡

연 구 원 : 송 범 헌

第 1 節 緖 說

현재의 농업은 化學肥料와 病蟲害방지를 위한 농약의 대량사용과 같은 生産材의 大量投入을 요구하는 작물의 連作을 위주로 하고 있다. 이러한 재배방법은 전반적인 生産力의 증가를 가져왔으나 過剩生産에 따른 시장에서의 가격저하로 재배자의 이득은 損益分岐點을 상회하기 어려운 실정이다. 또한 집약적인 재배는 土壤流失을 촉진하며 지표수와 지하수의 汚染을 초래할 가능성이 높다. 생산재의 투입을 증가하여 수량성을 높이는 집약적인 재배방법을 사용하여 온 선진국의 농업은 병충해와 雜草問題, 土壤流失, 環境汚染, 經濟的인 負擔이 가중되고 있다. 그러나 식량증산의 필요성은 더운 높아지고 있는 실정이다. 그러므로 資源의 枯渴과 環境汚染의 위험이 없이 생산성과 재배자의 이득을 높일 수 있는 持續農業體系의 연구는 시급한 실정이다.
따라서 화학비료와 농약과 같은 고에너지 투입에 의존하는 정도를 저하시킬 수 있는 지속적이고 종합적인 재배방법을 도입해야 한다는 필요성이 점점 더 널리 인식되고 있다. 이와같은 생산방법은 수량성을 유지하면서도 생산재의 비용을 줄이고, 재배자의 이익을 높이며, 재배자의 이익을 높이고, 생태학적인 문제점을 감소시킬 것으로 기대된다.

또한 우리 나라와 같이 좁은 국토와 경지를 효율적으로 이용하기 위하여는 생산성이 높은 作付體系의 설정이 절실하다. 농업의 궁극적인 목표는 安定的인 食糧 供給과 環境 生態界의 保存에 있으므로 環境農業을 기본으로 하는 생산 체계의 설정과 보급이 선행되고 농가 소득 증대가 뒤따라줌으로서 균형있는 사회발전이 이루어져야 할 것이다.

한편, 窒素는 작물의 생육에 가장 중요한 성분의 하나 이지만 질소비료의 생산은 많은 에너지를 필요로 하고, 과잉의 窒素施肥는 작물의 불필요한 생장을 초래할 뿐만 아니라 환경오염의 중요한 원인이 되고 있다. 따라서 效率的인 질소시비는 작물의 합리적인 생산뿐만 아니라 환경보호라는 측면에서 중요한 과제가 되고 있다. 그러므로

작물의 작부체계와 함께 질소이용효율이라는 면에서 窒素의 經濟性에 대한 보다 정밀한 검토가 요구되고 있다.

질소비료의 생산과 공급비용이 증가함에 따라서 두과식물이 아닌 다른 화본과 작물의 窒素利用 效率은 그 중요성이 점점 높아지고 있다. 작물이나 품종의 질소이용효율은 질소시비량에 대한 반응뿐만 아니라 질소의 吸收力와 吸收된 窒素 利用效率의 차이에 따라서 영향을 받는다(Smith, 1934; Stringfield 와 Salter, 1934). 작물의 수량을 결정하는데 필요한 질소의 흡수와 이용효율은 질소의 吸收, 轉流, 同化 및 식물체 내에서의 窒素再分配의 과정과 관련되어 있다. 질소의 이용효율은 토양의 단위 可用窒素量에 대한 식물체의 생산량이라고 할 수 있다. 단위면적당 식물체의 건물중을 Dw이라 하고, 이용된 질소의 양을 N라고 하면 窒素效率은 Dw/N라 할 수 있다(Moll 등, 1982). 즉 흡수된 단위 질소에 대한 건물생산량을 질소이용효율이라고 할 수 있는 것이다. 질소이용효율은 두 개의 성분으로 나눌 수 있다. 하나는 질소의 吸收效率이고, 또 다른 하나는 흡수된 질소을 이용하여 건물을 생산한 利用效率이다. 질소의 흡수효율은 Nt/Ns인데, 이 식에서 Ns는 토양의 질소함량이다. 이용효율은 Dw/Nt이다. 옥수수에서 질소시비량이 많았을 때 수량증가는 질소이용효율과 관계가 없었다고한다(Anderson 등, 1985; Muruli 와 Paulsen, 1981). Moll 등(1982) 은 옥수수의 질소이용효율은 교잡종과 질소수준간에 상호작용이 있다고 보고하였다. 수수에서도 품종간의 질소이용효율은 차이가 있었는데, 질소이용효율은 질소시비수준이 낮을 때 높고, 관개는 품종과 질소이용효율의 관계에 큰 영향을 미치지 않았다(Zweifel 등, 1987). 질소의 이용효율은 일정 수준까지는 질소흡수량이 증가하면 높아지지만, 질소시비량이 더 이상 증가하면 질소이용효율이 낮아진다. 질소이용효율은 질소의 전류속도와 밀접한 관계가 있다(Park 과 Mok, 1975)

벼에서는 질소비료의 증비에 따른 수량의 증가가 질소이용효율, 질소의 흡수효율, 흡수된 질소의 이용효율 및 종실생산에 대한 질소의 효율 등에 의하여 결정된다(Park 과 Mok, 1975)). 벼의 질소이용효율은 일반적으로 30∼40%이며, 최고의 재배기술가 환

경조절조건에서만 60∼65%의 효율을 보이고 있다.

禾穀類에서는 대부분의 질소가 出穗前에 흡수된다(Austin 등, 1977; Fawcett, 1980; Murata 와 Matsushima, 1975). Canvin(1976)은 수확기 종실의 질소함량비율을 收穫窒素指數라고 하였으며, Austin 등(1977)은 질소수확지수(Nitrogen Harvest Index)라고 불렀다. 根界의 질소는 식물체의 窒素配分에 영향이 적기 때문에 질소수확지수의 계산에는 일반적으로 지상부의 질소만을 포함한다(Fawcett, 1980; Mcneal 등, 1966). 질소수확지수는 작물의 종류나 품종에 따라서 다른데(Beech 와 Norman, 1968; Cox 와 Frey, 1978; Halloran, 1981; Wiggans 와 Frey, 1956), 봄밀에서는 57∼75%(권 등, 1987), 듀럼밀에서는 57∼86%(Desai 와 Bhatia, 1978), *A. sterilis* L.에서는 25∼51%, 그리고 귀리에서는 42∼67%로 보고되고 있다(Fawcett 와 Frey, 1983).

窒素收穫指數는 질소 利用效率과 종실 단백질수량과 관계가 있으나, 종실의 단백질함량과는 관계가 적다(Fawcett 와 Frey, 1983; Cox 와 Frey, 1978; Stringfield 와 Salter, 1934; Welch 와 Yong, 1980). Fawcett 와 Frey(1983)는 귀리의 질소수확지수가 토양의 질수수준에 대한 수량의 반응과 관계가 있다고 하였다. 질소수확지수는 환경요인에 의하여 영향을 받는다. 질소의 轉流效率은 질소 수준이 높을 때 낮아지며(Fawcett 와 Frey, 1983; Welch 와 Yong, 1980), 灌漑와 기상조건은 질소수확지수의 변화를 초래한다(Spratt 와 Gasser, 1970). 귀리에서 질소수확지수는 평균수량 및 환경에 따른 수량성의 반응과는 정의 상관이 있었지만, 평균 藁重과는 부의 상관이 있었다(Rattunde 와 Frey, 1986).

본 연구에서는 토지이용의 효율성을 제고하기 위한 작부체계를 검토하고, 값싼 조사료의 공급방안을 제시하며, 토지생산성을 유지하면서 생산에 투여되는 무기성분중에서 가장 중요한 질소의 효율을 분석하므로서 生産材의 投入을 最小化하면서도 持續的인 作物 生産力을 維持하고, 동시에 環境汚染을 最小化할 수 있는 가능성을 검토하고자 싸일레지용 옥수수와 北方型 牧草를 導入한 作付體系下에서의 단위면적당 乾物生産量을 비교하여 합리적이고 효율적인 사료 작물의 생산과 공급방안을 제시하고, 窒素肥

料의 利用效率을 측정함으로서 사료작물의 질소이용에 대한 經濟性을 分析하고자 하였다.

第 2 節 材料 및 方法

1. 사료작물의 Biomass 生産性 檢定

공시작물은 옥수수, 귀리, 유채, 이탈리안라이그래스, 티모시, 톨페스큐 및 케터키블루그래스이었는데, 옥수수를 1995년 5월 30일파종하였으며, 나머지 作物들은 옥수수를 수확한 후 1995년 9월 8일에 파종하였다. 파종량은 옥수수는 2.5kg/10a였으며, 기타 목초는 2kg/10a였다. 귀리와 유채는 20cm 간격으로 조파하였으며, 다른 목초는 種子를 고운 흙과 섞어서 시험구내에 균일하게 산파하고 鎭壓하였다. 시비량은 N-P-K = 30-30-40 kg/10a이었는데 질소는 파종전에 50%를 기비로 하고 9월 하순에 나머지 50%를 추비로 주었으며, 인산과 칼리는 전량을 기비로 시용하였다. 시험구는 난괴법 배치 3반복으로 配置하였고, 주요조사항목은 초장, 건물중이었다.

2. 사료작물의 窒素利用率과 질소 經濟性에 대한 시험

공시작물은 귀리와 유채였으며, 1994년 8월 27일 충북대학교 농과대학 실험농장에서 실시하였다. 질소수준은 0, 10, 20, 30 kg/10a의 4수준이었는데, 질소의 50%, 인산 30gk/10 및 칼리 40kg/10a는 파종전에 基肥로 시용하였으며, 질소의 50%는 1차예취 후에 추비로 시용하였다. 시험구 배치는 분할구배치법 3반복으로 으로 하였으며, 주요 조사 항목은 초장, 생체중, 건물중, 건물율, 식물체의 질소함량, 질소 이용률 이었다. 統計 分析은 PC용 SAS를 이용하여 분산분석을 하였다.

3. 질소 시비량에 따른 귀리와 유채의 Biomass生産性 檢定

공시 작물은 귀리와 유채였으며, 1995년 9월 12일 충북대학교 농과대학 실험농장의 포장에 파종하였다. 파종은 휴폭을 20 cm로 하여 10a당 귀리는 10kg, 그리고 유채는 3 kg을 조파하였다. 유채는 균일하게 파종하기 위하여 시험구당 파종량을 일정량의 흙과 섞은 후에 파종하였다. 질소 수준은 10a당 0, 5, 10, 20, 40kg의 5 수준이었는데 질소의

50%, 인산 30kg/10a 및 칼리 40kg/10a는 파종전에 기비로 시용하였으며, 질소의 50%는 1차 예취 후에 덧거름으로 시용하였다. 시험구의 면적은 3 m x 3 m로 한 시험구에 15열이 있었으며, 시험구 배치는 분할구 배치 3반복으로 하였다.

주요 조사 항목은 초장, 건물중, 식물체의 질소 함량, 질소 이용율, 엽색도, 귀리의 재생정도 등이었다. 건물중은 시험구별로 1kg을 취하여 건조기에서 건조하였으며, 질소 함량은 캘달분석법, 엽색도는 엽색도측정기(model : Minolta SPAD 502)로 측정하였다. 귀리의 재생도는 1차예취는 10월 19일에 실시하고 11월 2일과 11월 19일의 2회, 2차 예취는 10월 26일에 하고 11월 9일에, 그리고 3차 예취는 11월 2일에 하고 11월 16일에 초장을 조사하였다. 통계 분석은 PC용 SAS 프로그램을 이용하여 통계분석을 실시하였다.

4.전작물의 종류와 질소시비량이 옥수수의 생육과 수량에 미치는 영향

옥수수에 대한 시험은 수원19호를 공시하여 1996년 5월 8일에 파종하였다. 전년도에 귀리와 유채를 재배하였던 시험구를 그대로 유지하여 로타리로 토양을 정지한 후에 60 cm x 25 cm의 재식거리로 종자를 3 4립씩 파종하고, 발아한 다음 2 3엽기에 솎아주어 10a당 6,700주의 재식밀도가 유지되도록 하였다. 시비량은 질소-인산-칼리 = 18-15-15 kg/10a이었는데, 질소의 1/2과 인산 및 칼리는 기비로 시요하였고, 질소의 나머지 1/2은 6 7엽기에 추비로 시용하였다. 시험구배치는 전작물의 시험구를 그대로 이용하여 전작물의 종류를 주구로 하고, 전작물에 시용한 질소시비량을 세구로 한 분할구배치 3반복이었다.

수확은 1996년 9월 2일에 중앙 2열을 수확하여 수량조사를 하였다. 조사는 간엽과 이삭을 분리하여 생체중을 칭량하고, 다시 간엽 1kg과 이삭 5개씩을 시료로 취하여 90oC건조기에서 건조한 후 수량구성요소와 건물중을 칭량하였다. 실험결과는 PC용 SAS 프로그램을 이용하여 분석하였다.

第 3 節 結果 및 考察

1. 사료 작물의 Biomass 생산성 검정

가. 싸일리지 옥수수의 수량

표 1은 싸일리지용 옥수수 수원 19호의 收穫期의 생태적 특성을 나타낸 것이다. 초장은 250cm, 경장은 218cm, 옥수수 종실이 달리는 위치는 지상으로 부터 97cm이었으며, 잎수는 10.5개이었다.

Table 1. Agronomic characteristics of silage corn at harvesting time.

Plant height (cm)	Culm length (cm)	Ear height (cm)	No. of leaves
250	218	97	10.5

싸일리지 옥수수의 수량성을 나타낸 것은 그림 1 에서 보는 바와 같다.

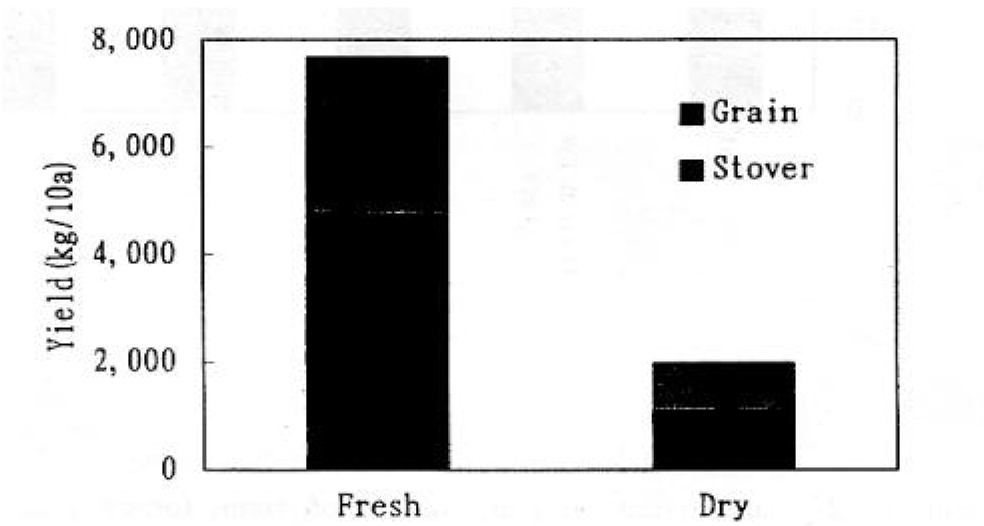


Fig. 1. Yield on fresh and dry matter weight of silage corn 1995.

이삭과 莖葉을 모두 합한 10a당 생체 수량은 7,669kg이었으며, 이중 종실이 차지하는 비율은 38%, 경엽 비율은 62%이었다. 옥수수의 건물생산량은 10a당 1,984kg으로 이중 종실이 차지하는 비율은 46%, 경엽 비율은 54%로서 옥수수 生産에서 종실이 차지하는 비중이 생체중에 비하여 높았다. 옥수수의 건물 생산량은 옥수수 종실이 완전히 成熟한 시기가 장 많은 것으로 알려져있는데 이는 총 건물중에서 옥수수 종실이 차지하는 건물 비중이 높기 때문이다.

나. 추파 사료작물의 생육과 예취 수량

그림 2는 공시 사료작물의 초장을 나타낸 것이다. 귀리의 草長이 가장 크고 아음이 이탈리안라이그래스, 유채 순이었으며 캔터키 불루그래스, 톨훼스큐, 티모시는 초장이 매우 작았으며 생장량도 적었다. 초장이 비교적 크고 생장량이 많은 귀리 이탈리안라이그래스,유채의 10a당 건물중을 나타낸 것은 그림 3과 같다. 건물 생장량은 귀리가 가장 컸고, 다음이 유채, 이탈리안라이그래스이었다. 이들은 中部地方의 추파 집약초지작물로 유리한 초종으로 판단되었다.

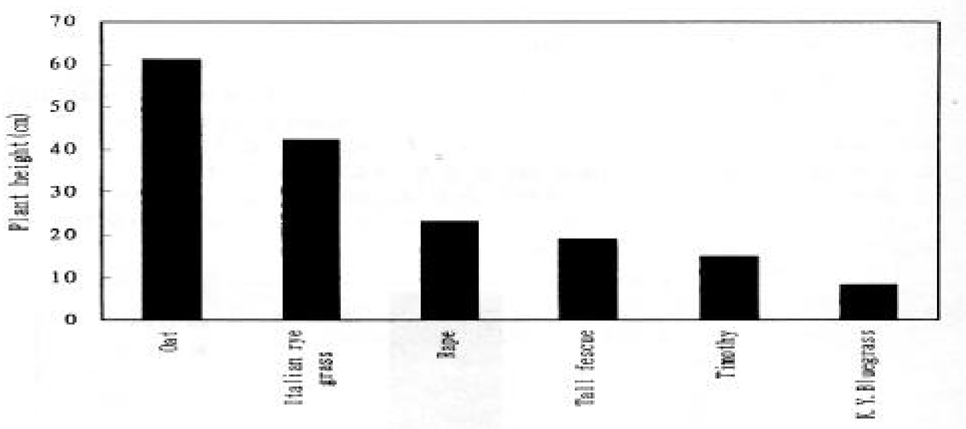


Fig. 2. Comparison on plant height of some forage crops cultivated at 3 months after seeding in Cheongju area.

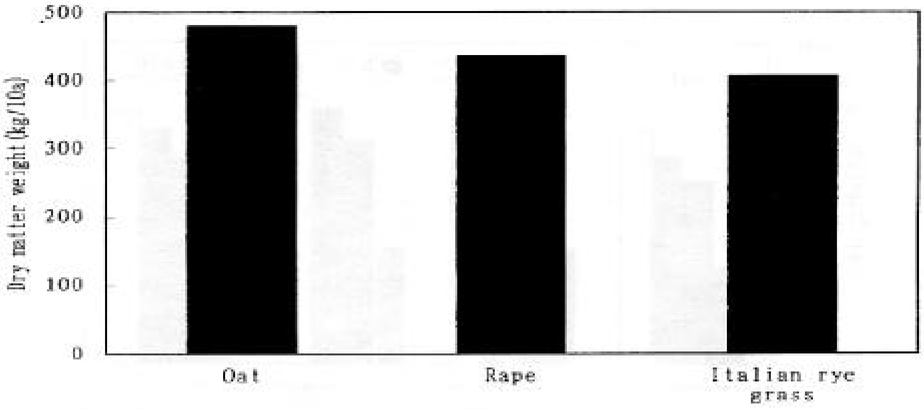


Fig. 3. Dry matter wight of 3 forage crops harvested at 3 months after seeding in Cheongju area.

2. 사료 작물의 窒素 利用率과 窒素 經濟性 比較

가. 초장, 생초량 및 건물 수량

그림 4는 예취 시기별 질소 시비량에 따른 귀리와 유채의 초장의 變化를 나타낸 것이다. 귀리의 초장은 11월 20일에 가장 크고 이 시기가 지나면 저온에 의하여 잎의 선단부가 마르기 시작하여 작아지는 것으로 나타났으며, 질소 시용량에 따라서는 시비량이 많아질수록 直線的으로 증가하였다. 유채도 귀리와 同一한 경향이었으나 동일 질소 시비구내에서는 대체로 11월 10일 이후에는 초장의 증가폭이 크지 않은 것으로 나타났다.

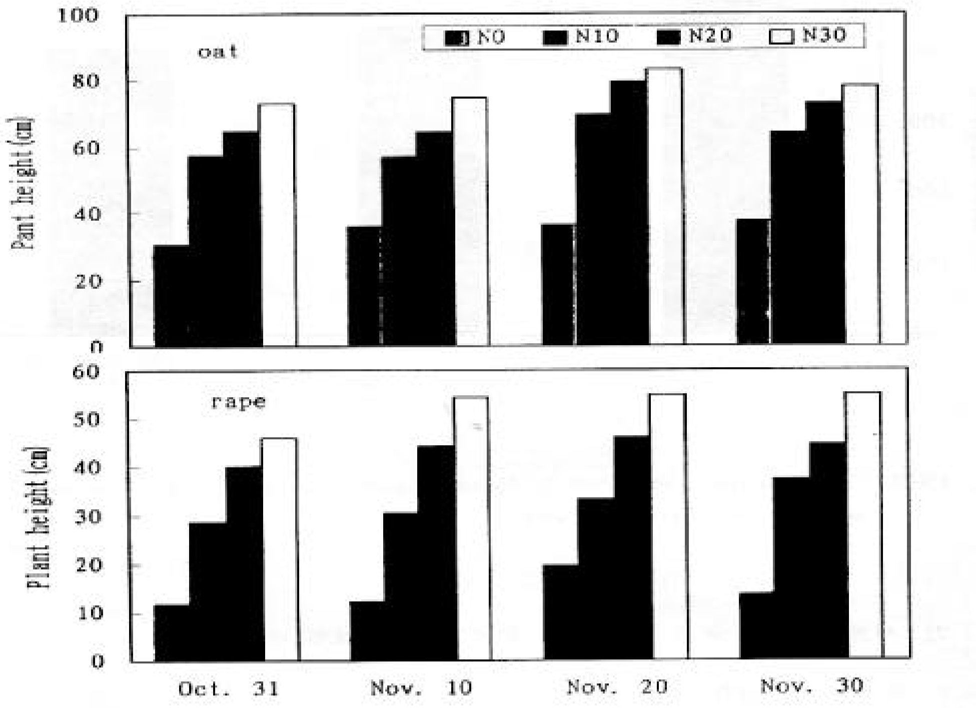


Fig 4. Plant height of oat and rape cultivated under different N levels.

그림 5는 귀리, 유채, 귀리와 유채의 混合 파종구의 생육시기와 질소 시비량에 따른 생초 수량을 나타낸 것이다. 귀리의 생초량은 질소 시비량이 많을 수록 많았으며, 刈取時期別로는 11월 20일에 가장 많았다. 이시기의 생초 수량은 질소 30kg구가 6,241kg, 질소 20kg구가 5,313kg, 질소 10kg구는 3,964kg이었다. 유채, 귀리-유채의 혼합파종구도 비슷한 경향이었다.

그림 6은 예취시기와 질소 시비량에 따른 공시 초종의 건물생산량을 나타낸 것이다. 각 초종 모두 11월 30일 예취하였을 때 가장 많았으며 질소 시비량에 따라서는 귀리는 질소 20kg과 30kg구는 같았으나 유채는 질소시비량이 증가할수록 顯著히 增加하였으며, 귀리와 유채 혼합 파종구도 유채와 같은 경향이었다.

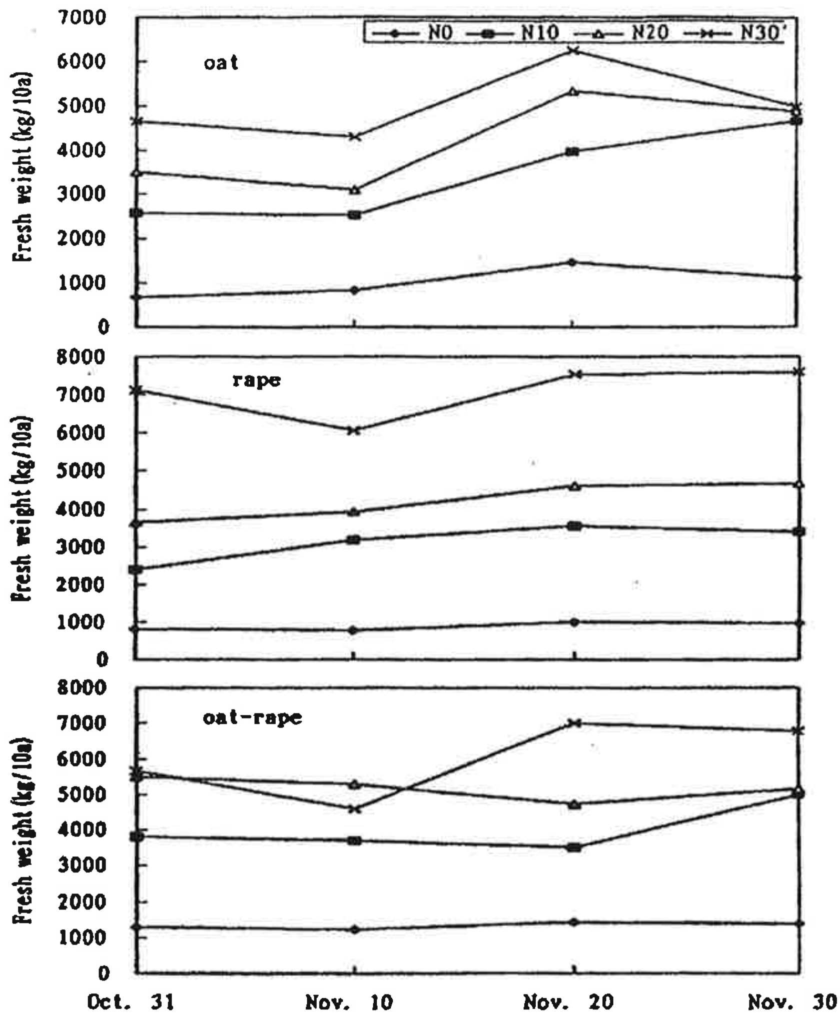


Fig. 5. Fresh weight of oat and rape cultivated with either single or mixed cropping under different N levels.

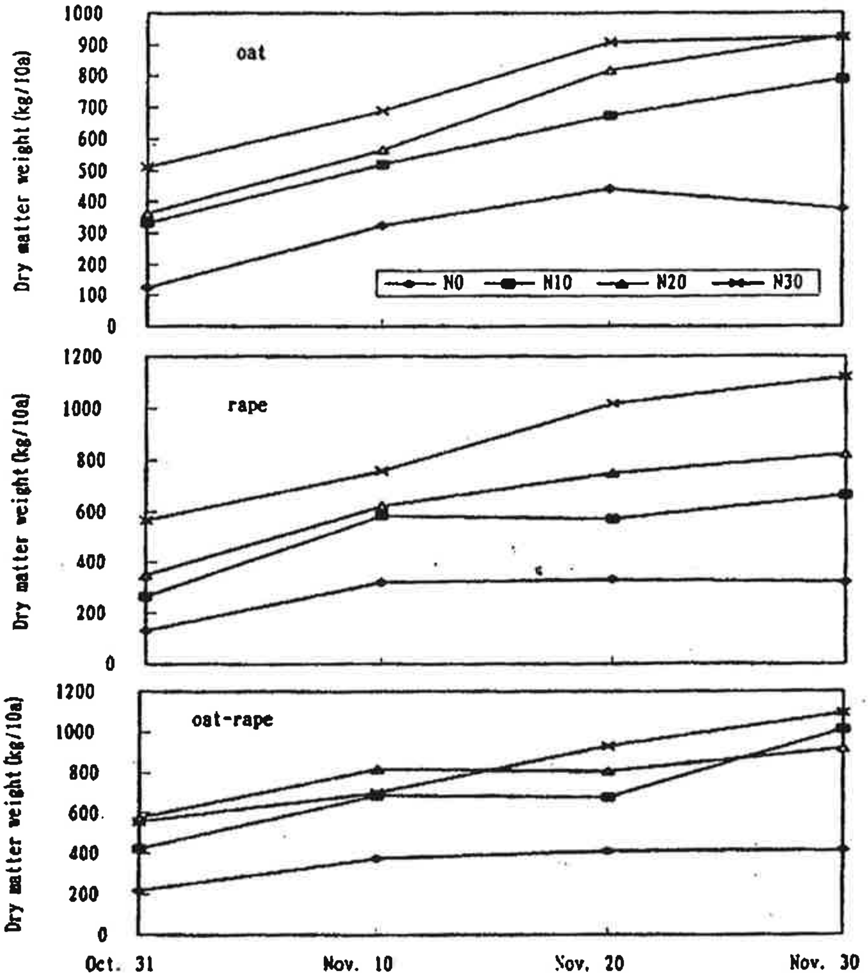


Fig. 6. Dry matter weight of oat and rape cultivated with either single or mixed cropping under different N levels.

그림 7은 공시 초종의 건물율을 나타낸 것이다. 건물비율은 생초량에 대한 건물량의 비율을 표시한 것으로서 무비구는 생초 수량이 낮고, 식물체내 水分 함량이 낮았으나 질소 시비구는 건물 比率이 현저히 낮아졌으며, 예취시기가 늦을수록 건물 비율도 낮아지는 것으로 나타났다. 수분 함량이 비교적 높은 귀리와 유채는 신선 목초로서 낙농 및 비육우의 초겨울 조사료로서 사료가치가 높을 것으로 판단되었다.

생초 및 건물 수량이 가장 많았던 11월 30일 예취구의 초종별 생초 및 건물중과 건물율에 대한 통계분석 결과를 보며 표 2와 같다. 10a당 생초 수량은 귀리가 3,894kg, 유채가 4,157kg, 귀리와 유채의 혼합초지는 4,579kg으로 나타났으나 작물간에는 有意한 차이가 인정되지않으며 질소 시용 수준간에는 질소 시용량이 증가할수록 고도의 유의한 차이를 나타내었다. 건물중 및 건물비율도 생초수량과 동일한 결과를 나타내었다.

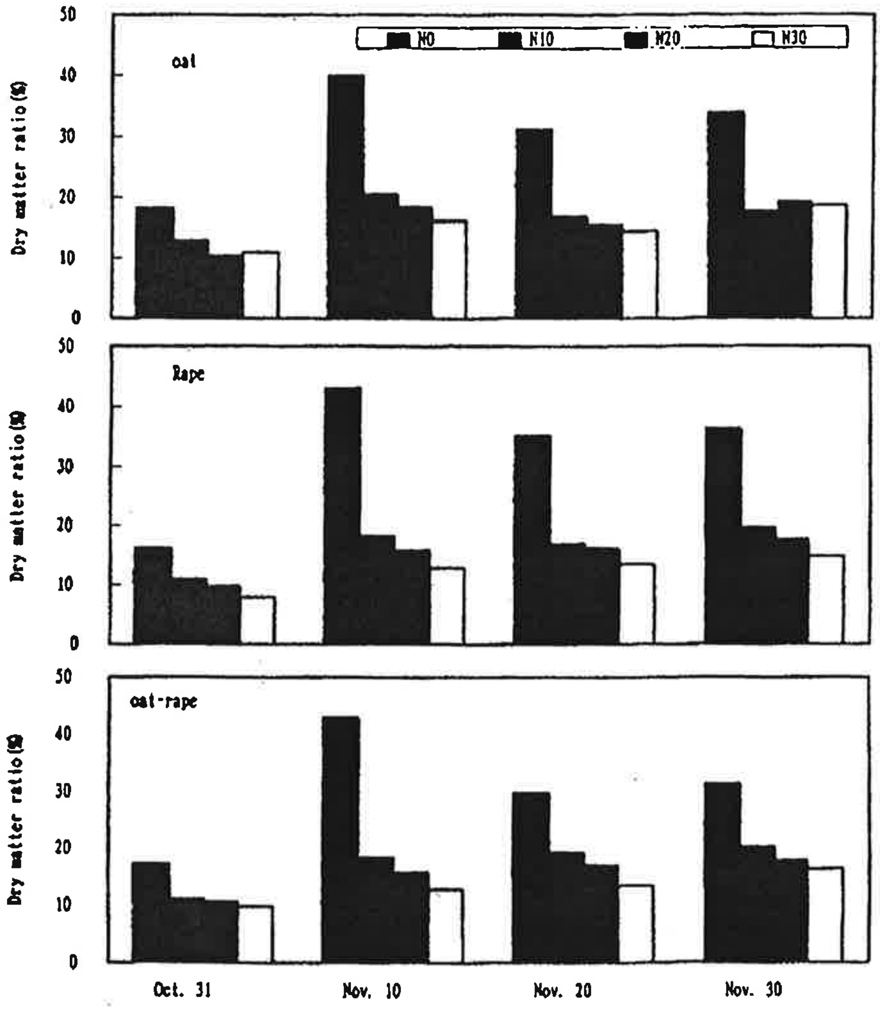


Fig. 7. Dry matter ratio of oat rape cultivated with either single or mixed cropping under different N levels.

Table 2. Yield of the forage crops cultivated with single(oat, rape) and mixed(oat-rape) cropping at 3 months after seeding as affected by N fertilization

Crop	N rate (kg/10a)	Fresh wt. (kg/10a)	Dry wt. (kg/10a)	Dry matter ratio(%)
	0	1,120	377	33.8
	10	4,631	791	17.7
Oat	20	4,848	927	19.2
	30	4,976	924	18.6
	Mean	3,894	755	22.3
	0	972	321	36.3
	10	3,384	662	19.6
Rape	20	4,672	821	17.8
	30	7,601	1,119	14.9
	Mean	4,157	731	22.1
	0	1,373	419	31.4
	10	4,991	1,024	20.3
Oat-Rape	20	5,168	920	17.8
	30	6,785	1,096	16.5
	Mean	4,579	863	
F value	Crop(C)	1.59ns	3.48ns	0.28ns
	Nitrogen(N)	49.5**	44.4**	73.8**
	C x N	2.38ns	2.38ns	1.44ns

*,** significant at $P<0.05$, $P<0.01$, respectively ; ns=$P>0.10$.

나. 주요 無機成分 含量과 吸收量

표 3은 질소 시용 수준을 달리하여 귀리와 유채를 單作과 混作으로 3개월 재배한 후 수확하여 분석한 주요 무기성분을 보여준다. 작물 생장에 가장 크게 영향을 미치는 질소 함량을 질소시용수준간 平均値로 작물 및 재배방법간에 비교하여 보면 통계적인 유의성은 없었으나 두과작물인 유채가 건물중비 2.35%로 가장 높았으며, 화본과 작물인 귀리가 건물중비 2.05%로 혼작(귀리-유채)시의 1.95%보다 약간 높은 경향이었으며, 통계적으로도 1% 수준에서 고도의 유의성을 보였다. 그러나 작물 및 재배방법과 질소 수준간의 相互關係는 유의성을 보이지 않았다.

인산 함량을 질소시용수준간 평균치로 작물 및 재배방법간에 비교하여 보면 화본과 작물인 귀리가 건물중비 0.63%로 유채의 0.33%보다 약 2배 높았으며, 혼작시의 0.58%보다 높았다. 통계적으로도 高度의 有意性을 보였다. 질소시용수준간 인산함량은 통계적으로 높은 유의성을 보였으나 이러한 유의성의 차이는 주로 무질소구와 질소처리구간의 차이이지 작물 및 재배방법과 질소수준간의 相互作用은 보이지 않았다.

식물체내 칼리함량은 인산함량보다 약 6 8배 높은 함량을 보였으나 작물 및 재배방법간의 경향은 비슷하였으며, 질소시용수준이 많을수록 칼리의 含量은 增加하는 경향이었고, 통계적으로도 작물과 질소 처리간 모두 고도의 유의한 차이를 나타내었다.

칼슘 함량을 질소시용수준간 평균치로 작물 및 재배방법간에 비교하여 보면, 유채가 귀리보다 2배 이상 높은 칼슘함량을 보였으며 , 질소처리수준간에는 질소시용량이 증가할수록 감소하는 경향으로 무질소구에서 가장 높은 칼슘함량을 보였다. 統計的으로도 작물 및 재배방법간에는 1% 수준에서, 질소처리수준간에는 5% 수준에서 유의성이 인정되었으며, 작물재배방법과 질소처리 수준간의 상호작용도 1% 수준에서 유의한 차이가 인정되었다. 동일한 2가 양인온인 마그네슘 함량도 그 함량은 적지만 칼슘함량과 비슷한 경향을 나타내었다.

표 4는 질소시용수준을 달리하여 귀리와 유채를 단작과 혼작으로 3개월동안 재배한

후 주요 무기성분을 분석하여 단위면적당 흡수량으로 算出한 성적이다. 단위면적당 질소흡수량을 작물 및 재배방법간에 비교하여 보면 유채가 질소시용수준간 평균치로 10a당 18.7Kg으로 귀리의 16.6Kg과 귀리-유채 혼작구의 17.8Kg보다 높은 질소흡수량을 보였다. 귀리의 경우 질소시용량 10a당 20Kg까지는 질소의 흡수량이 증가하였으나 그 이상의 질소 시용시는 오히려 減少하였다. 그러나 유채와 혼작시의 질소 흡수량은 최대 질소시용수준인 10a당 30Kg까지 질소 시용량이 많을수록 계속 증가하여 질소의 요구량이 작물에 따라 다름을 보여 주었다. 통계적으로는 작물재배방법간의 질소 흡수량과 作物과 窒素 시용수준간의 질소 흡수량에 대한 상호작용은 유의한 차이가 없었으나 질소 시용량수준간에는 1%수준에서 고도의 유의성이 인정되었다.

단위면적당 인산흡수량을 질소시용수준간 평균치로 작물 및 재배방법간에 비교하여 보면 귀리가 10a당 4.8Kg으로 유채의 단위 면적당 2.6Kg보다 현저히 높았으며, 귀리-유채 혼작구도 5.0Kg으로 높았다. 질소시용수준간 인산흡수량은 높은 유의성이 인정되었는데, 이는 주로 무질소구와 질소시용구간의 차이이지 질소처리수준내에서는 뚜렷한 차이를 볼 수 없었다. 질소 흡수량과 마찬가지로 작물 및 栽培方法과 질소수준간의 상호작용은 보이지 않았다.

칼리흡수량은 인산흡수량보다 약 5 9배까지 높은 흡수량을 보였으나 작물 및 재배방법간의 칼리 흡수량의 경향은 비슷하였으며, 그러나 인산 흡수량과는 달리 칼리 흡수량은 질소시용수준이 많을수록 계속 증가하는 경향이었고, 작물과 질소처리간 모두 !% 수준의 높은 유의성이 인정되었다.

질소시용수준간 평균치로 칼슘 흡수량을 작물 및 재배방법간에 비교하여 보면 유채가 10a당 9.3Kg으로 귀리의 10a당 4.7Kg보다 약 2배 정도 높은 칼슘 흡수량을 보였다. 질소처리수준간의 칼슘흡수량은 귀리-유채 혼작구의 경우 질소시용량이 증가할수록 계속 증가하는 경향이었으며, 귀리의 경우에는 질소시용 10a당 20Kg까지는 증가하나 그 이상의 질소시용구에서는 오히려 칼슘 흡수량이 減少하였다. 통계적으로도 작물 및 재배방법간 및 질소시용수준간에 1% 水準에서 고도의 유의성이 인정되었으며, 작물

재배방법과 질소처리수준간의 상호작용도 5% 수준에서 유의차가 인정되었다. 同一한 2가 양이온인 마그네슘의 10aekd 흡수량도 그 흡수량은 적지만 칼슘 함량과 비슷한 경향이었다. 그러나 마그네슘 흡수량은 칼슘 흡수량과는 달리 작물과 재배방법간 모두 질소 시용량이 많아질수록 계속 增加하는 것으로 나타났다.

다. 작물의 窒素吸收 效率

그림 8,9,10 11 은 작물의 질소 흡수능력을 평가해 보기 위하여 파종후 60일부터 90일까지 10일간격으로 시료를 채취 분석후 아래 公式에 의거 산출한 작물의 질소흡수효율이다.

$$\text{작물의 질소흡수효율}(\%) = \frac{(\text{질소시용구의 N 흡수량}) - (\text{무질소구의 N 흡수량})}{(\text{N 시용량})} \times 100$$

算出된 작물의 질소흡수효율을 작물별 재배방법별로 비교해 보면, 질소의 건물생산효율과는 달리 유채가 귀리보다 높는 것으로 나타났으며, 질소시용량별로 비교해 볼때는 전반적으로 질소시용량이 적을 때 작물의 질소흡수효율도 높은 것으로 나타났다. 귀리의 경우 한 調査時期를 제외하고는 10a당 10Kg의 질소시용구에서 가장 높은 질소흡수효율을 보였는데, 재배시기별로는 파종후 80일(11월 20일) 이후에 높은 것으로 나타났다. 유채의 경우에는 질소시용량이 적을 때 질소흡수효율은 높은 傾向을 보이며, 전반적으로 약60%에서 95%사이에서 재배시기가 경과함에 따라 증가하는 추세를 보였다. 귀리와 유채의 혼작시는 질소시용량과 재배기간간에 일정한 경향없이 약 45%에서 약 95사이의 질소흡수효율을 보였다.

Table 3. Mineral content of forage crops cultivated with single(oat, rape) and mixed(oat-rape) cropping at 3 months after seeding as affected by N fertilization

Crop	N rate (kg/10a)	Concentration(%)				
		N	P	K	Ca	Mg
Oat	0	1.10	0.56	2.57	0.58	0.11
	10	1.87	0.69	3.81	0.61	0.09
	20	2.63	0.66	4.43	0.66	0.10
	30	2.58	0.60	4.67	0.62	0.11
	Mean	2.05	0.63	3.87	0.62	0.11
Rape	0	1.71	0.26	1.74	1.64	0.19
	10	2.17	0.35	2.78	1.27	0.14
	20	2.35	0.36	3.05	1.26	0.14
	30	3.17	0.36	3.12	1.21	0.13
	Mean.	2.35	0.33	2.67	1.34	0.15
Oat-Rape	0	1.36	0.56	2.50	0.85	0.13
	10	2.06	0.61	3.55	0.84	0.10
	20	1.88	0.65	3.67	0.69	0.10
	30	2.51	0.51	4.21	0.84	0.11
	Mean .	1.95	0.58	3.48	0.81	0.11
F value	Crop(C)	1.88ns	68.0**	23.0**	131.8**	46.9**
	Nitrogen(N)	10.4**	4.23**	26.5**	3.20*	14.2**
	C x N	0.78ns	1.02ns	0.61ns	3.73**	3.62*

*,** significant at $P<0.05$, $P<0.01$, respectively ; ns=$P>0.10$

Table 4. Nutrition accumulation per 10a of forage crops cultivated with single(oat,

rape) and mixed(oat-rape) cropping at 3 months after seeding as affected by N fertilization.

Crop	N rate (kg/10a)	Nutrition uptake(kg/10a)				
		N	P	K	Ca	Mg
Oat	0	4.1	2.1	9.7	2.2	0.42
	10	14.7	5.5	30.5	4.8	0.74
	20	23.9	6.0	41.1	6.2	0.96
	30	23.8	5.6	43.1	5.7	1.03
	Mean	16.6	4.8	31.1	4.7	0.79
Rape	0	5.4	0.8	5.7	5.2	0.60
	10	14.3	2.3	18.3	8.4	0.91
	20	19.2	3.0	25.6	10.3	1.12
	30	35.9	4.1	35.2	13.5	1.42
	Mean.	18.7	2.6	21.2	9.3	1.01
Oat-Rape	0	5.7	2.4	10.5	3.5	0.52
	10	20.8	6.1	34.9	8.3	0.96
	20	16.7	5.9	33.9	6.2	0.87
	30	28.0	5.6	46.7	9.2	1.18
	Mean .	17.8	5.0	31.5	6.8	0.88
F value	Crop(C)	0.40ns	40.8**	7.60**	43.9**	5.27*
	Nitrogen(N)	27.7**	41.3**	33.3**	36.4**	26.2**
	C x N	1.88ns	2.19ns	0.73ns	3.92*	0.87ns

*,** significant at $P<0.05$, $P<0.01$, respectively ; ns=$P>0.10$

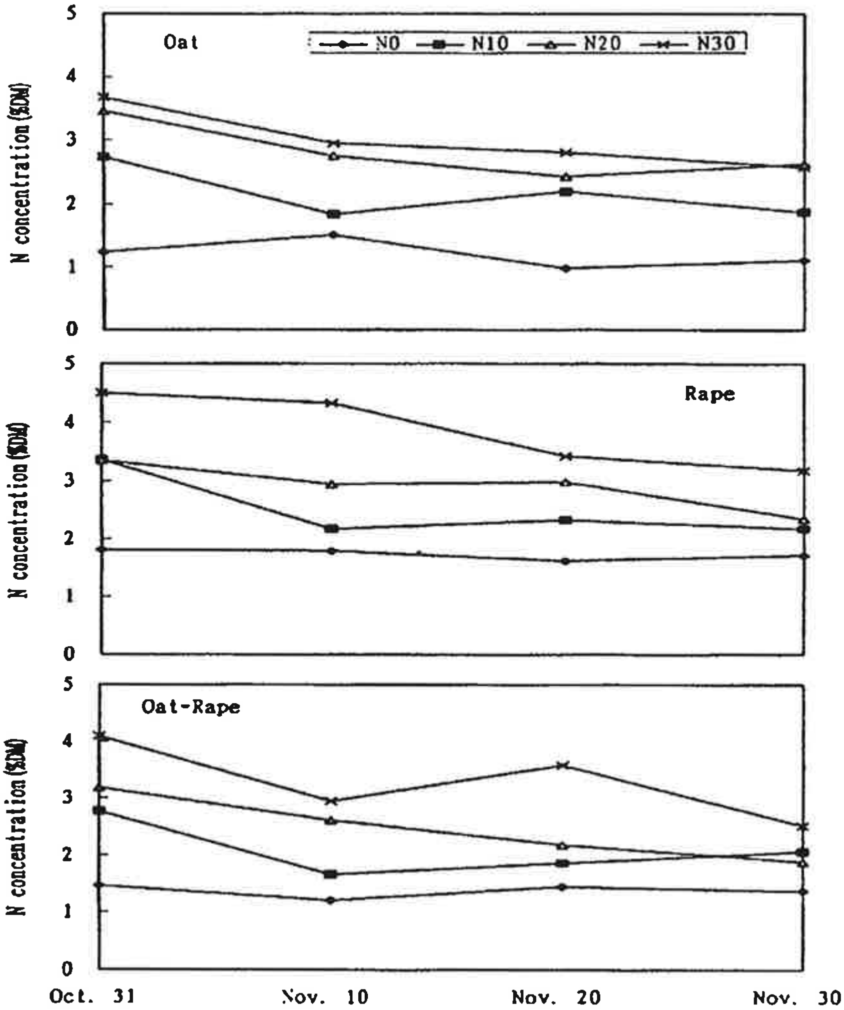


Fig 8. Nitrogen concentration of oat and rape cultivated with eithr single or mixed cropping under different N levels.

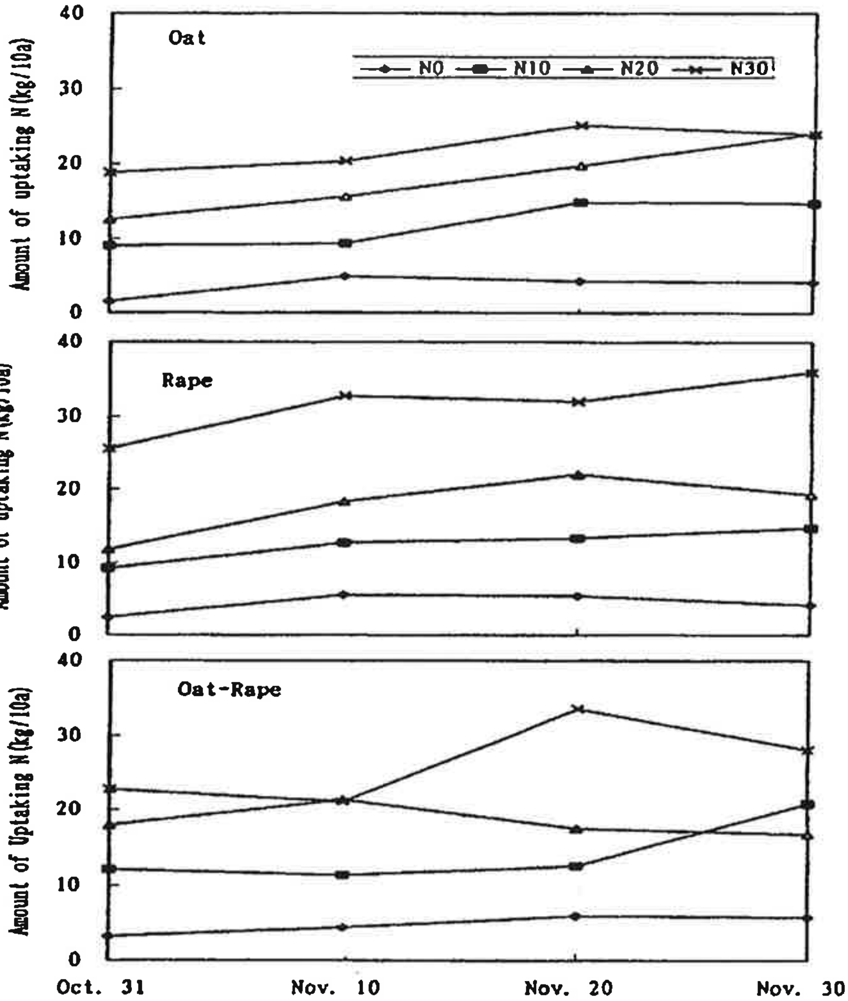


Fig 9. Amount of nitrogen of oat and rape cultivated with eithr single or mixed cropping under different N levels.

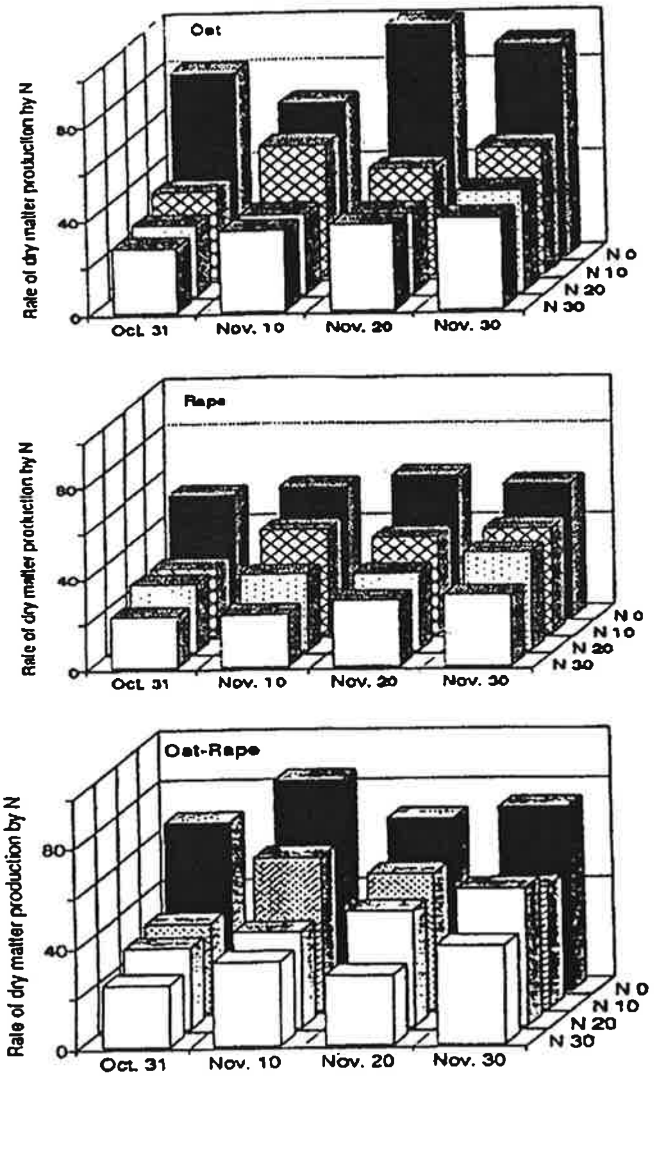


Fig 10. Rate of dry matter production by N of oat and rape cultivated with eithr single or mixed cropping under different N levels.

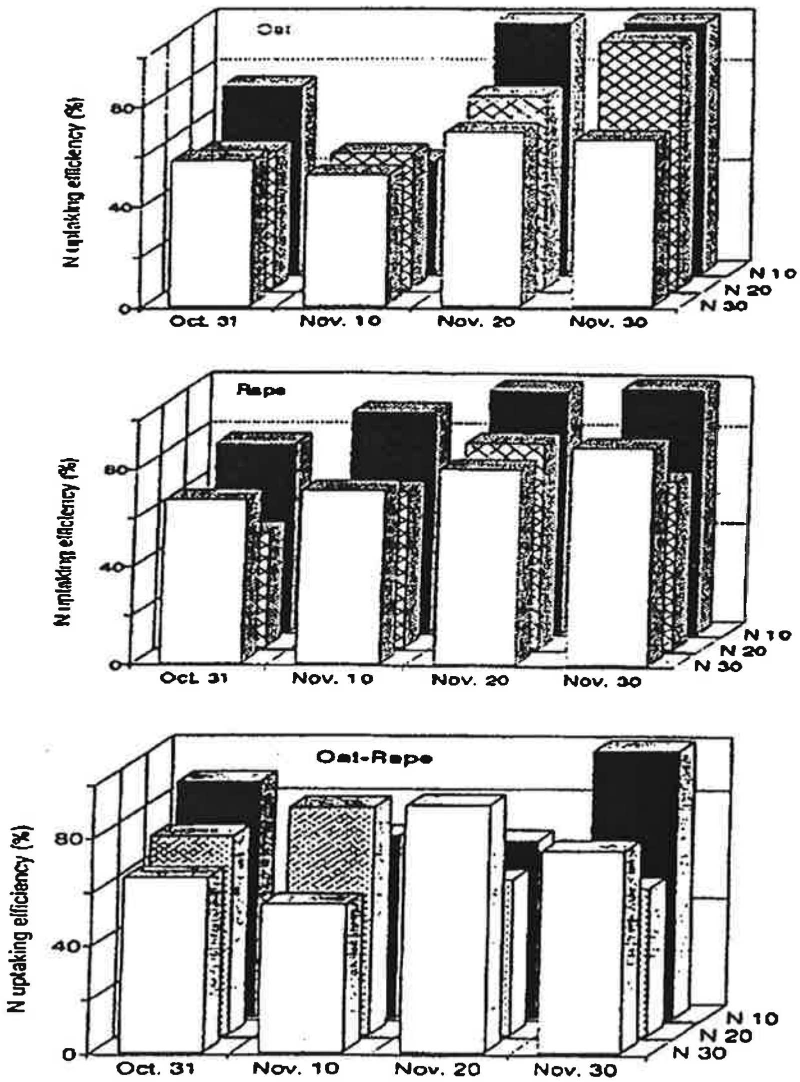


Fig 11. Nitrogen uptaking efficiency of oat and rape cultivated with eithr single or mixed cropping under different N levels.

3. 질소 시비량에 따른 귀리와 유채의 Biomass生産性 檢定

가. 초장

귀리와 유채의 시기별 초장변화는 각각 그림 1과 그림 2에서 보는 바와 같다. 귀리의 초장은 파종 45일후인 10월 26일 부터 11월 9일 사이에 빠르게 생장하는 것으로 나타났고, 유채는 파종후 60일 이후에는 생장이 완만한 것으로 나타났다.

귀리의 초장은 질소 시비량이 많을수록 증가하였는데 질소 40kg 시용구의 초장은 66cm로서 파종 60일후인 11월 9일에 최고치를 보였다. 그러나 질소 40kg 시용구를 제외한 시험구의 초장은 파종후 74일 후인 11월 23일에 최고치를 보아는 것으로 나타났으며, 파종후 88일 후인 12월 7일에는 기온이 낮아짐으로서 초장이 감소하는 것으로 나타났다.

유채의 초장은 질소 20kg과 질소 40kg 시용구에서는 33cm로 가장 큰 것으로 나타났으며 질소 시용량과 생육 시기에 따른 초장의 변화는 귀리와 비슷한 경향을 보였다.

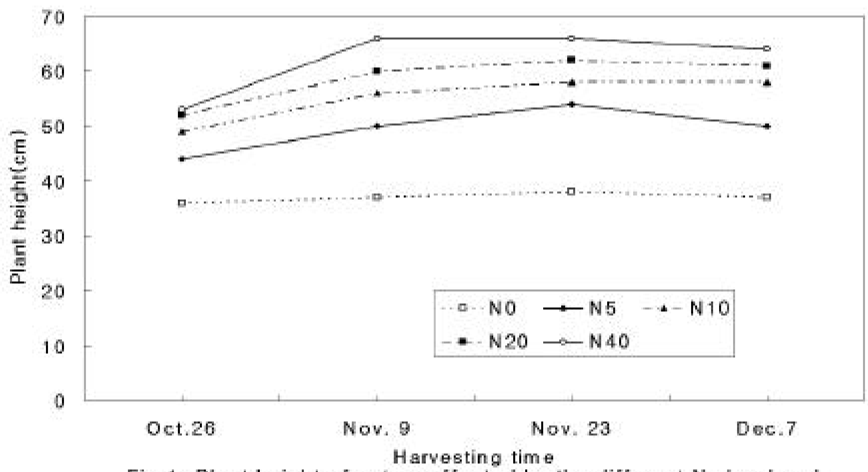


Fig.1. Plant height of oat as affected by the different N-level and harvesting time.

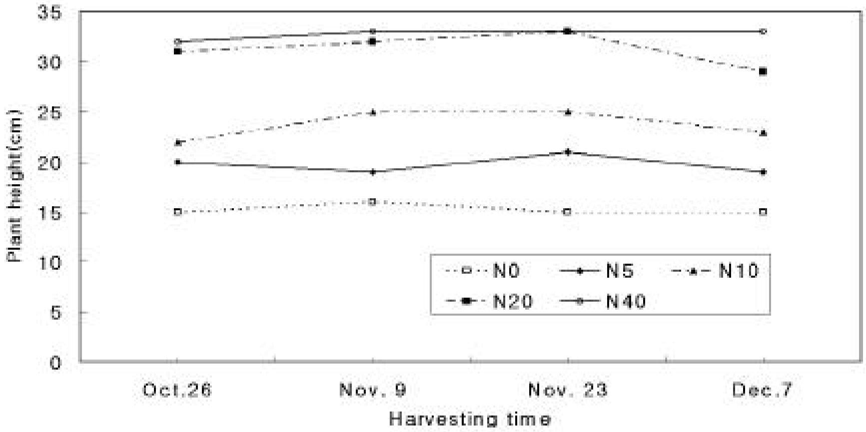


Fig.2. Plant height of rape as affected by the different N- level and harvesting time.

나. 건물 생산성

그림 3과 그림 4는 각각 귀리와 유채의 질소 수준과 생육 시기에 따른 건물 생산성을 나타낸 것이다. 귀리의 건물중은 파종후 88일후인 11월 23일경에 최고치를 보였다. 10a당 무질소구의 건물 생산량은 229kg, 질소 5kg구는 354kg, 질소 10kg구는 403kg, 질소 20kg구는 508kg, 질소 40kg구는 508kg이었다. 파종후 102일후인 12월 7일경에는 기온의 하강으로 건물 생산성은 감소하는 것으로 나타났다.

유채의 건물 생산성도 귀리와 비슷하였는데, 10a당 무질소구의 건물 생산량은 180kg, 질소 5kg구는 308kg, 질소 10kg구는 465kg, 질소 20kg구는 527kg, 질소 40kg구는 576kg이었다.

질소의 시비량의 증가에 따른 건물생산량의 증가 정도는 유채가 귀리에 비하여 큰 것으로 나타남으로서 중부 지방에서 풋베기 목초로서 중부지방에서 유채의 이용 가치가 높을것으로 판단되었다.

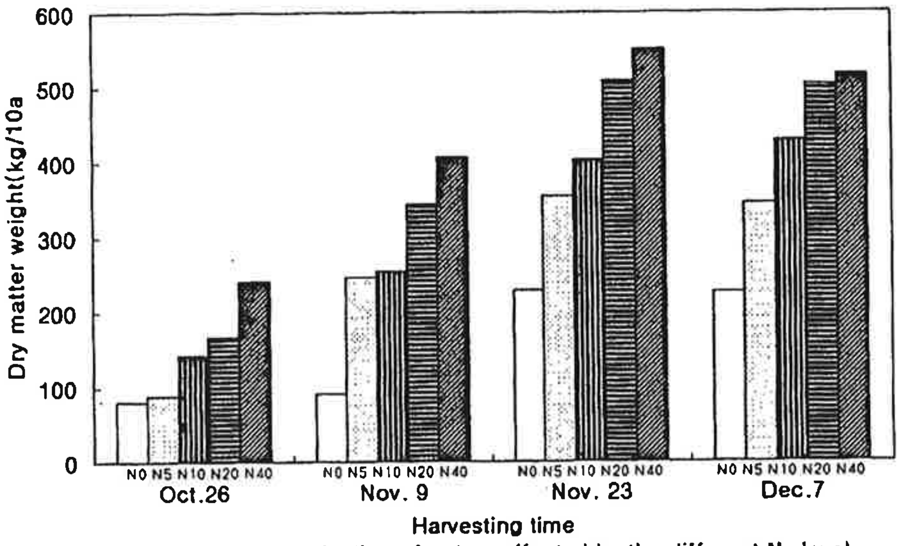


Fig.3. Dry matter production of oat as affected by the different N-level and harvesting time.

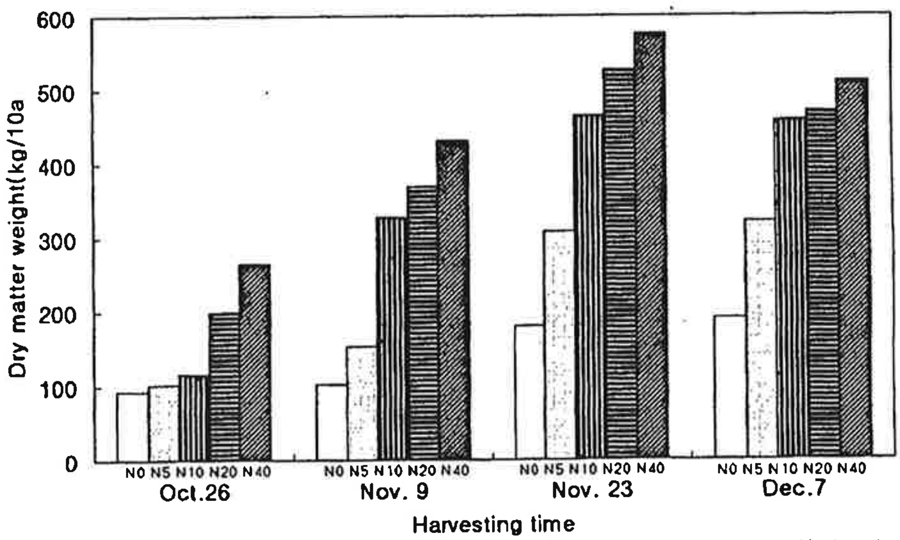


Fig.4 Dry matter production of rape as affected by the different N-level and harvesting time.

다. 엽색도의 변화

그림 5는 공시 초종들의 파종 8주후의 질소 시비량에 따른 잎의 엽록소 함량을 엽색도로서 나타낸 것이다. 귀리의 엽색도가 유채의 엽색도보다 컸으며, 질소 시비량이 많을수록 엽색도가 거의 직선적으로 증가하는 것으로 나타났다. 각 질소 시비량에 따른 공시 초종의 엽색도를 조사한 결과를 보면 무질소구의 엽색도가 귀리, 32 유채, 28 이었고, 질소 5kg 구는 각각 42, 33, 질소 10kg 구는 49, 42, 질소 20kg 구는 57, 46이었으며, 질소 40kg 구는 57과 53으로 나타났다.

라. 식물체의 질소 함량

그림 6과 그림 7은 각각 귀리와 유채의 질소 수준과 생육 시기에 따른 식물체의 질소 함량은 나타낸 것이다. 귀리의 질소 함량은 파종후 45일 후인 10월 26일에 예취한 시료의 질소 농도가 가장 높았고, 생육시기가 진행될수록 점차 그 농도가 낮아지는 것으로 나타났다. 파종 45일후의 귀리의 질소 농도는 무질소구가 2.1%, 질소 5kg 구는 3.7%, 질소 10 kg구는 3.8%, 질소 20kg 구는 4.8%, 질소 40kg 구는 4.9%로서 유의한 차이를 보였으며, 건물 생산성이 가장 높았던 11월 23일에 예취한 시료의 질소 함량도 질소 시용 수준간에 유의한 차이를 보였는데, 무질소구는 1.2%이었고, 질소 5kg 구는 2.0%, 질소 10 kg구는 2.3%, 질소 20kg 구는 3.2%, 질소 40kg 구는 3.9%로 나타났다.

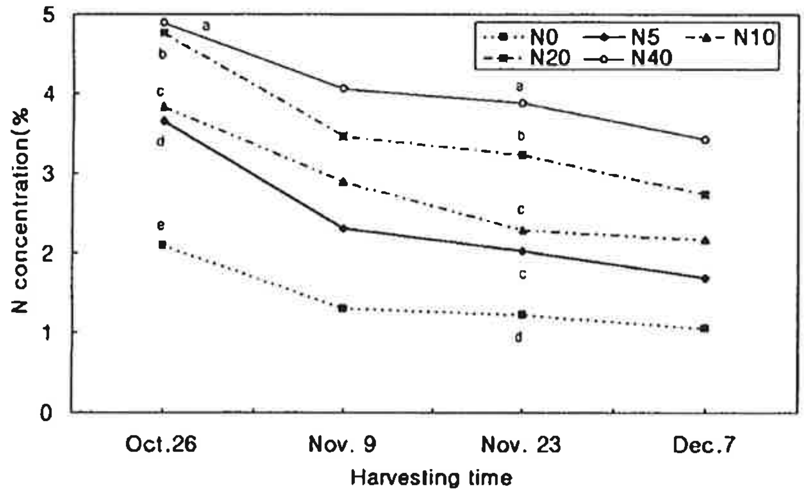


Fig.6. Nitrogen concentration of oat plant as affected by the different N-level and harveting time(The same letters in the spot are not significantly different at 5% level by DMRT).

유채의 경우도 귀리와 비슷한 경향을 보였는데 건물 생산성이 가장 높았던 11월 23일 예취구의 질소 함량은 무질소구는 1.3%이었고, 질소 5kg 구는 2.4%, 질소 10 kg구는 2.3%, 질소 20kg 구는 2.4%, 질소 40kg 구는 3.1%로 나타났다.

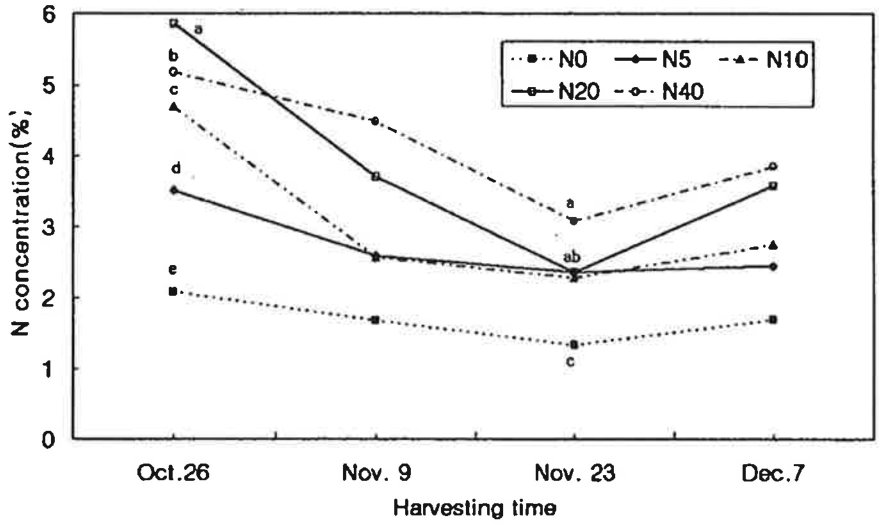


Fig. 7. Nitrogen concentration of rape plant as affected by the diferent N-level and harvesting time(The same letters in the spot are not significantly different at 5% level by DMRT).

마. 작물의 窒素吸收 效率

그림 8은 귀리의 질소 흡수능력을 평가해 보기 위하여 파종후 60일부터 90일까지 10일간격으로 시료를 채취 분석후 아래 公式에 의하여 산출한 질소 흡수 효율이다.

$$\text{작물의 질소흡수효율(\%)} = \frac{\text{(질소시용구의 N 흡수량) - (무질소구의 N 흡수량)}}{\text{(N 시용량)}} \times 100$$

귀리의 질소 흡수 효율은 질소 시용량으로 비교해 볼때는 전반적으로 질소시용량이 적을 때 작물의 질소흡수효율도 높은 것으로 나타났다. 수확 시기에 따른 질소의 흡수 효율을 보면 파종후 건물생산량이 가장 많았던 11월 23일(파종후 88일)에 질소의 흡수율이 가장 높았다. 이 시기의 질소 시용량에 따른 흡수율은 처리간에 유의한 차이를 보였는데, 질소 5kg 구는 98%, 질소 10 kg구는 64%, 질소 20kg 구는 72%, 질소 40kg 구는 46%로서 질소 40kg 시용구가 가장 낮았다.

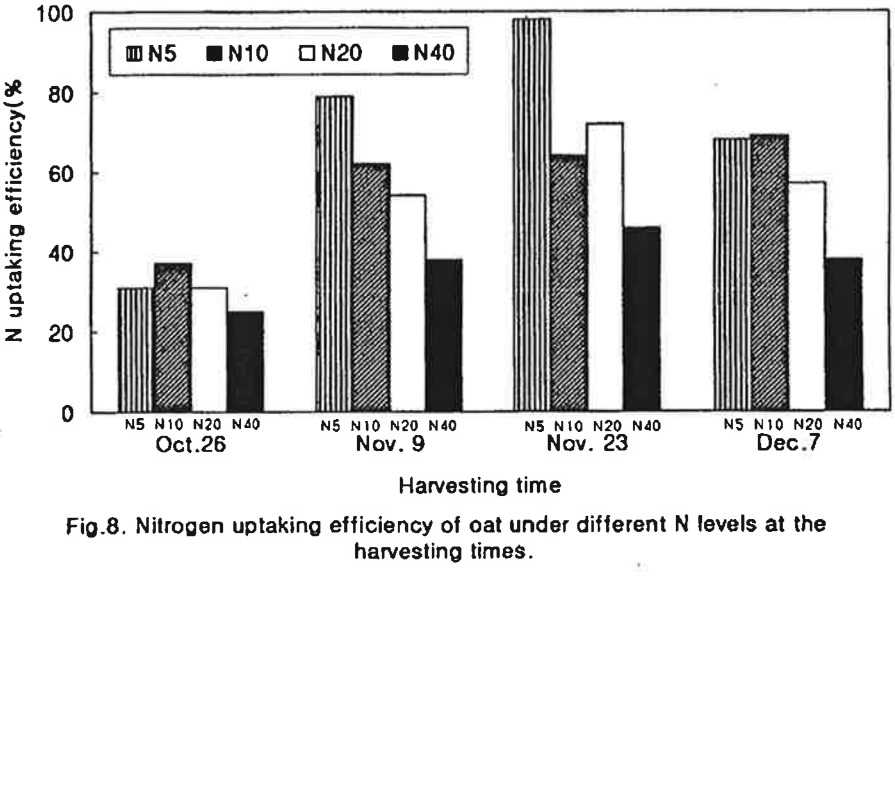


Fig.8. Nitrogen uptaking efficiency of oat under different N levels at the harvesting times.

그림 9는 유채의 질소 흡수 효율을 나타낸 것인데 대체로 귀리와 비슷한 경향을 나타내었다. 질소 시용 수준에 따른 유채의 질소 효율은 전반적으로 질소시용량이 적을 때 작물의 질소흡수효율도 높은 것으로 나타났다. 수확 시기에 따른 질소의 흡수효율을 보면 귀리와는 달리 파종후 102일후(12월 7일)에 질소 흡수율이 가장 높았다. 이 때의 질소 흡수율은 질소 시용량에 따른 흡수율은 처리간에 유의한 차이를 보였는데, 질소 5kg 구는 93%, 질소 10 kg구는 93%, 질소 20kg 구는 68%, 질소 40kg 구는 41%로서 식물체내의 질소 농도가 높은 것으로 미루어 보아 늦게 까지 질소의 흡수가 이루어지는 것으로 판단되었다.

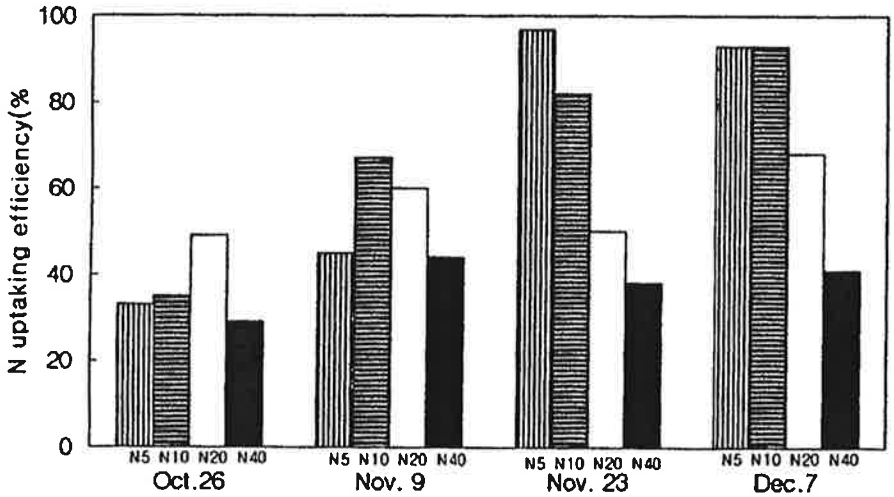


Fig.9. Nitrogen uptaking efficiency of rape under different N levels at different harveating time.

바. 질소 경제성

귀리의 시용 질소 양과 흡수한 질소 양에 대한 건물 생산에 대한 경제성을 나타낸 것이다. 시용된 질소량에 대한 건물 생산성은 질소의 시용량이 많아질수록 감소하는 경향이었으나 식물체가 흡수한 질소량에 대한 건물 생산성은 질소 10kg 구가 가장 많은 것으로 나타났다.

한편 그림 11은 유채에 대한 질소의 경제성을 나타낸 것인데 시용량이 증가할수록 건물 생산성은 감소하는 경향이었으며, 흡수한 질소량에 대한 건물 생산성은 질소 20kg 수준까지는 완만한 감소를 보였으나, 질소 40kg 수준에서는 급격히 떨어지는 것으로 나타났다. 양 초종의 질소 경제성을 흡수된 질소양에 대하여 비교하여 보면 단위 질소 흡수량에 대한 건물생산성은 유채가 귀리
보다 높은 것으로 나타났다.

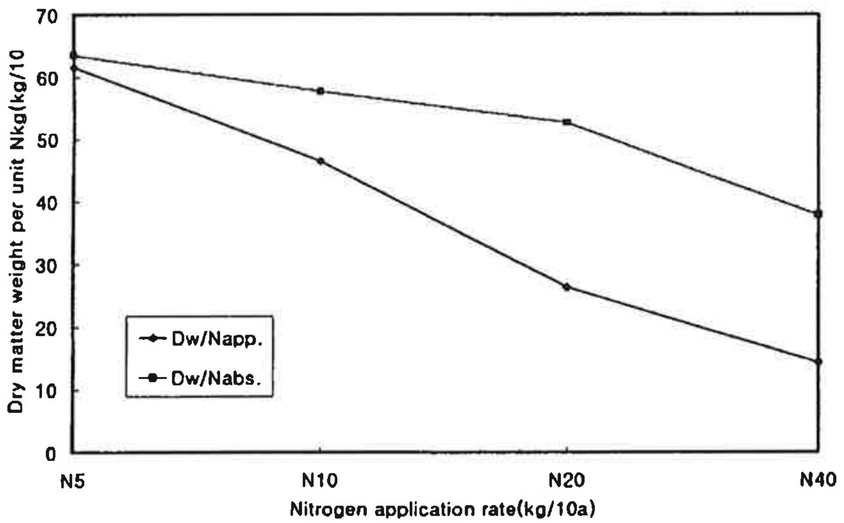


Fig.11. Dry matter production to the unit application rate(Dw/Napp) into soil and unit N absorbed rate(Dw/Nabs) by rape plant.

사. 귀리의 재생정도

그림 12는 귀리의 예취후 2주일이 경과한 다음에 예취 시기별로 식물체의 재생율을 초장으로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 질소 시비량이 많을수록 초장이 유의하게 큰 것으로 나타났고, 예취 시기 별로 보면 파종후 40일 경에 1차 예취하는 것이 생초량이 가장 많을 것으로 판단되었다. 이 시기의 재생 정도를 질소 시비량별로 살펴보면 무질소구가 15cm, 질소 5kg 구는 20cm, 질소 10 kg구는 22cm, 질소 20kg 구는 31cm, 질소 40kg 구는 32cm로 나타났다. 한편 예취 시기가 늦은 11월 2에는 생장량이 매우 작아서 풋베기 후 재생 정도를 높여서 사료의 생산량을 높히기 위하여는 늦어도 10월 중순까지는 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

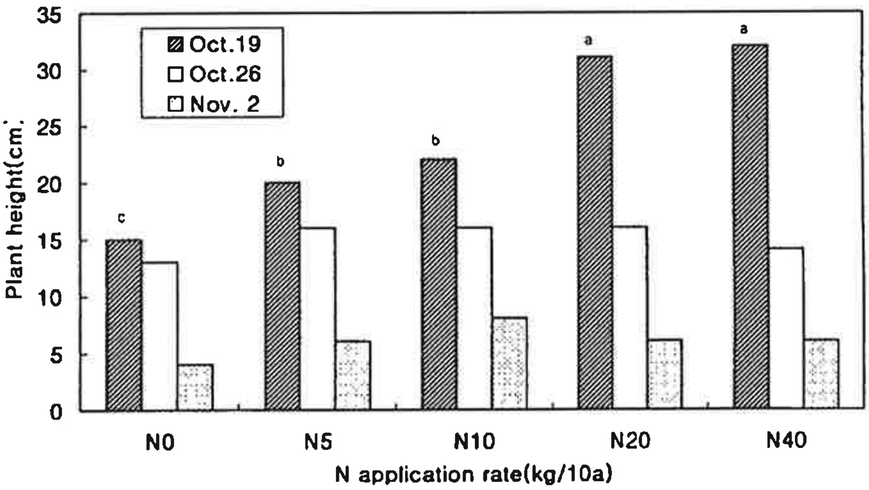


Fig.12. Regrowth of oat and rape as affected by the different N-level at 2 weeks after the different harvesting time(The same letres on the bar are not significantly different at 5% level by DMRT).

4. 전작물의 종류와 질소시비량이 옥수수의 생육과 수량에 미치는 영향

옥수수의 생장은 전작물의 종류에 따라서 차이가 있었으나 질소의 시비량에 따른 차이는 인정되지않았다. 귀리를 재배하고 옥수수를 재배하였을 때의 간장은 222 256cm였으나, 유채를 재배하고 옥수수를 재배하였을 때는 간장이 214 225cm였다(표 5).

Table 5. Effects of previous crop and nitrogen level on the growth and yield of corn in forage production system.

Previous crop	Nitrogen level(kg/10a)	Plant height	Ear height	Stalk weight	Ear weight	Ear ratio	Total dm weight	Kernel yield
		-- cm --		--- kg/10a --		- % -	-- kg/10a --	
Oat	0	225	102	1653	1241	42.7	1786	859
	5	222	107	1909	1221	42.5	1883	797
	10	250	113	2064	1500	42.2	1918	847
	20	256	119	2697	1702	43.8	2050	963
	40	244	116	1820	1425	44.3	2147	927
	Average	239	111	2029	1418	43.1	1957	878
Rape	0	225	100	1764	1411	44.0	1751	884
	5	214	92	2142	1602	42.8	1769	751
	10	223	97	1576	1465	43.2	1795	824
	20	220	91	1789	1345	43.1	1927	971
	40	215	98	1478	1420	45.0	1954	934
	Average	219	96	1750	1449	43.7	1839	873

착수고도 간장과 마찬가지로 귀리를 재배하고 옥수수를 재배하였을 때에 비하여 유채를 재배하였을 때는 평균 15cm가 낮아서 전작물의 종류에 따라서 옥수수의 생육이 영향을 받는 것으로 나타났다. 이러한 차이는 같은 시기에 파종하였어도 유채의 생육이 귀리에 비하여 더 늦게까지 지속되어 총건물수량과 질소의 이용량이 많았기 때문인 것으로 판단된다.

그러나 단위면적당 옥수수의 생간엽중, 생이삭중, 생체수량, 총건물중 및 종실수량은 전작물의 종류나 전작물에 시용한 질소의 시비량에 따른 차이가 없었다. 옥수수의 간장이나 생육이 전작물의 종류에 따라서 영향을 받았지만 수량이 처리간에 차이를 보이지않는 것은 옥수수의 추비시기와 관련이 있는 것으로 생각된다. 옥수수는 질소의 양에 비교적 예민한 작물이기 때문에 前作物에 시용한 질소량의 차이가 초기 생육에 영향을 주었을 것으로 생각된다. 그러나 추비시기에 옥수수는 이미 유수분화기가 시작되기 때문에 간장과 착수고가 잠재적으로 결정되고, 그 후의 영양생장과 생식생장은 추비로 시용한 질소를 이용할 수 있기 때문에 생체중이나 수량에는 크게 영향을 주지 않았을 것이다.

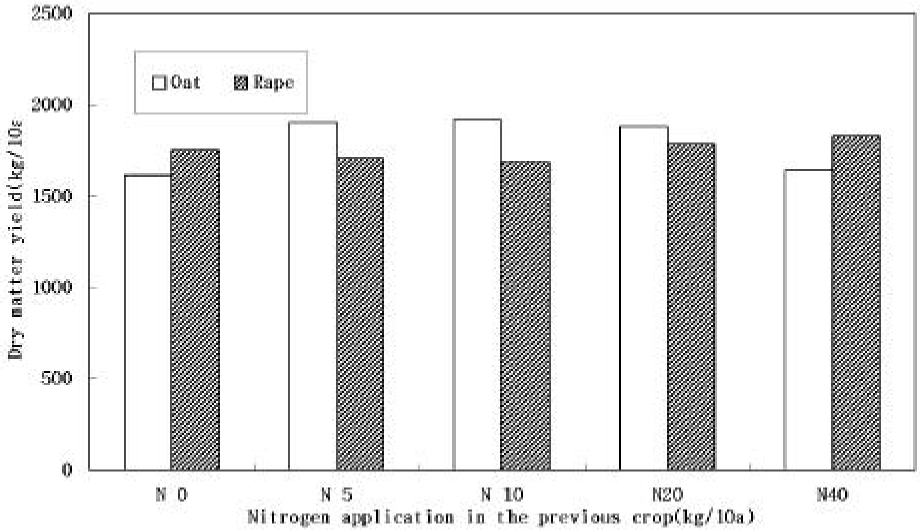


Fig. 13. Effect of nitrogen application in the previous crop on corn dry matter yield.

이러한 결과는 질소를 추비 하기 직전인 6월 5일에 조사한 옥수수의 엽색도를 보면 분명하다. 귀리 후작지에서 옥수수 잎의 엽색도는 무질소구에서 30이었으나 전작물에 시용한 질소량이 5kg/10a에서 40kg/10a로 많아지면서 31, 36, 39, 및 40으로 증가하였다(그림 14). 이러한 경향은 유채 후작지에서도 같았다. 즉 유채 후작지에서의 옥수수 엽색도는 물질소구에서 32였으나 질소량이 증가할수록 엽색도가 35, 36, 36, 40으로 증가하였다. 그러나 이러한 엽색도의 차이는 추비후에는 전작물에 시용한 질소에 시비량에 따른 차이가 관찰되지 않았다.

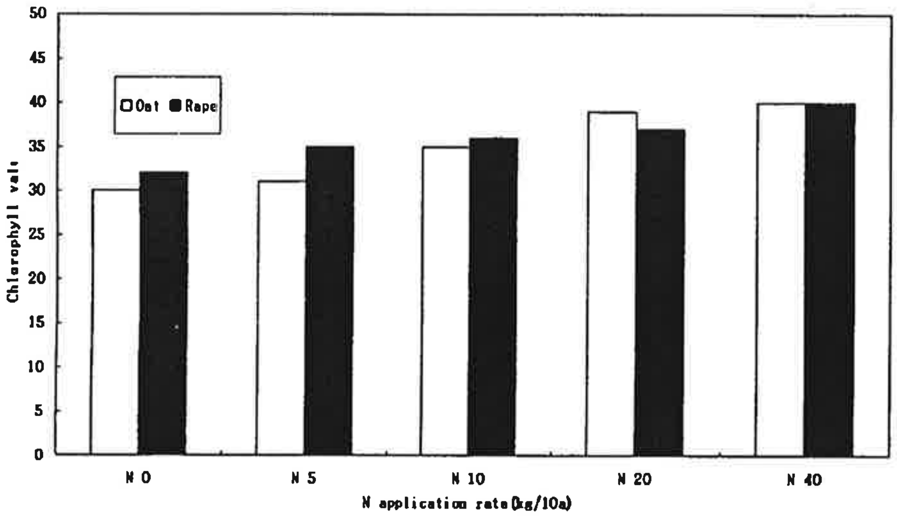


Fig. 14. Chlorophyll value of corn leaves on June 5 as affected by the nitrogen application level in the previous crops.

작부체계상에서 옥수수의 前作物로 재배한 작물의 종류와 질소의 시비량이 옥수수의 초기생육에 다소의 영향을 미치기 때문에 토양의 비옥도에 따라서 전작물의 시비량과 옥수수재배시에 기비로 시용하는 질소의 양에 대한 보다 세밀한 검토가 이루어져야

할 것으로 생각된다.

옥수수의 생장특성과 수량특성간의 상관관계를 분석한 결과는 표 2와 같다. 간장은 착수고, 생체수량, 이삭비율 및 이삭의 길이와 고도로 유의한 정의 상관이 있으며, 착수고는 생이삭수량,생체수량, 이삭길이, 이삭의 열수 및 열당립수와 정의 상관이 있었다. 그러나 간장이나 착수고는 건물수량이나 종실수량과는 유의한 상관을 보이지 않았다. 이러한 결과는 전작으로 재배한 귀리와 유채의 질소시비량이 옥수수의 초기 생육에 영향을 주었기 때문에 옥수수의 생장을 대표할 수 있는 간장이나 착수고가 생체수량이나 이삭의 크기와 유의한 상관을 보였지만, 옥수수의 추비이후의 생장에 의하여 결정된 건물수량이나 다른 수량구성요소와는 상관이 나타나지 않은 것으로 판단된다. 초기에 나타났던 전작물의 질소시비량 효과가 옥수수의 후기 생육에 크게 영향을 미치지않았기 때문에 처리간의 수량차이가 없었고, 따라서 수량과 수량구성요소간의 관계도 유의하지 않았던 것이라 생각된다.

Table 6. Correlation coefficients among growth and yield characters in corn

Characters	Ear height	Stalk weight	Ear weight	Fresh Weight	Ear ratio	DM yield	Grain yield	Ear length	Row no.	Kernel no.
Culm height	0.473	0.999**	0.478	0.950**	0.702*	0.168	0.069	0.710*	0.151	0.375
Ear height		0.472	0.999**	0.723*	0.288	- 0.213	0.203	0.743*	0.858*	0.706*
Stlak wt.			0.475	0.950**	- 0.703*	0.168	0.066	0.707*	0.149	0.371
Ear wt.				0.727*	0.282	- 0.212	0.198	0.742*	0.855*	0.704*
Fresh wt.					- 0.449	0.056	0.122	0.817*	0.421	0.540
Ear ratio						- 0.374	0.163	- 0.126	0.523	0.194
DM yield							0.200	- 0.139	- 0.499	- 0.148
Grain yield								0.442	0.027	0.195
Earlength									0.597	0.778**
Row no.										0.787**

第 4 節 結 論

飼料作物 作付體系에서 건물 생산성과 질소 이용 효율을 조사하기 위하여 전작으로 옥수수를 재배하고 후작으로 몇가지 牧草를 播種하여 시험한 결과 및 전작으로 추파 귀리와 유채를 재배하고 후작으로 춘파 옥수수를 재배하여 건물 생산성을 시험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

옥수수의 10a당 生體 數量은 7,669kg, 건물수량은 1,984kg이었으며, 건물중에서 종실이 차지하는 비중은 46%, 경엽비율은 54%이었다.

중부지방의 추파 集約 牧草로 적당한 것은 귀리, 유채, 이탈리안라이그래스이었으며, 그 건물 生産量은 각각 480kg, 436kg, 405kg이었다. 귀리와 유채의 초장은 중부지방에서 11월 20일에 가장 크게 자라는 것으로 나타났고, 질소시비량이 증가함에 따라 直線的인 增加를 하였다. 목초의 乾物 생산량은 질소 시비량이 많을수록 많았으며, 수확기별로는 11월 30일 刈取區가 가장 많았다. 목초의 체내 窒素 濃度는 수확시기가 늦을수록, 질소의 시비량이 많을수록 높았고, 초종별로는 유채가 귀리보다 높은 것으로 나타났다. 목초의 주요 無機成分含量을 보면 귀리는 인산과 칼리의 흡수량이 많았고, 유채는 칼슘과 마그네슘의 吸收量이 많았다.

單位 窒素에 의한 목초의 건물생산량을 비교하여 본 결과 질소 시비량이 많아질수록 질소의 건물 생산량은 낮아졌는데, 귀리가 유채에 비하여 질소의 乾物 生産性이 높은 것으로 나타났다. 귀리와 유채의 초장은 질소시비량이 많을수록 증가하여 질소 40kg/10a 시용에서 파종 60일 후에 귀리는 66cm, 그리고 유채는 33cm로 가장 컸다. 귀리의 건물중은 파종 88일 후인 11월 23일에 최고에 달했으며, 무질소구의 229kg/10a에 비하여 질소 20kg과 40kg 시용구에서는 508kg/10a로 122%가 증가하였다. 유채의 건물생산성도 귀리와 비슷하였는데, 유채의 건물중은 무질소구의 180kg/10a에 비하여 질소 40kg/10a 시용구에서는 576kg/10a로 320%가 증가하였다. 따라서 질소의 시비량 증가에 따른 건물생산량의 증가가 귀리보다 유채가 컸다.

귀리와 유채의 엽색도는 질소시비량이 증가할수록 거의 직선적으로 증가하였는데, 무질소구의 엽색도 32와 28에 비하여, 질소 40kg/10a구에서는 57과 53으로 증가하였다.

귀리와 유채의 질소함량은 질소시비량에 증가할수록 높아졌으며, 파종후 45 52일경에 가장 높았다가 그 후 생육이 진전되면서 감소하였다. 건물생산량이 가장 높았을 때 귀리와 유채의 질소함량은 무질소구에서 각각 1.2%와 1.3%, 그리고 40kg/10a 시용구에서는 각각 3.9%와 3.1%였다.

귀리와 유채의 질소 흡수효율은 질소시용량이 적을 때에 높았으며, 시기별로는 건물생산량이 가장 많은 시기에 높았다. 건물생산량이 가장 많은 시기의 귀리와 유채의 질소 흡수효율은 질소 5kg/10a 시용구에서는 각각 98%와 93%였으며, 40gk/10a 시용구에서는 각각 46%와 41%였다.

단위 질소량에 대한 건물생산성도 질소 흡수효율과 같이 질소시비량이 증가할수록 감소하였는데, 귀리의 질소경제성은 질소 10kg/10a에서 가장 높았으나, 유채의 질소경제성은 질소 20kg/10a에서 가장 높았다.

초장으로 판단한 귀리의 재생력은 질소시비량이 증가할수록 높았으며, 파종 40일에 예취하는 것이 생초량이 가장 많았다.

옥수수의 추비직전 엽색도는 전작물에 시용한 질소시비량이 많을수록 높았는데, 무질소구에서는 30 32였고, 질소 40kg/10a 시용구에서는 40이었다.

옥수수의 간장과 착수고는 전작물의 종류에 따라서 차이를 보였으나, 생체수량이나 건물수량은 전작물의 종류나, 전작물에 시용한 질소시비량에 영향을 받지않았다. 옥수수의 건물수량은 전작물에 시용한 질소시비량 관계없이 귀리 후작에서는 총건물중이 1786 2147kg/10였으며, 유채 후작에서는 1751 1954kg/10a였다.

옥수수의 간장과 착수고는 생체수량과 유의한 상관이 있었으나, 건물수량이나 종실중과는 유의한 상관이 인정되지 않았다.

引用文獻

1. Anderson, E. L., E. J. Kamprath, R. H. Moll. 1985. Prolificacy and N fertilizer effects on yield and N utilization in maize. Crop Sci. 25:598∼602.

2. Austin, R. B., M. A. Ford, J. A. Edrich, and R. D. Blackwell. 1977. The nitrogen economy of winter wheat. J. AGric. Sci. 88:159∼167.

3. Beech, D. F. and M. J. T. Norman. 1968. A preliminary assessment of the adaptation of semi-dwarf wheat varieties to the Ord River Valley. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 8:349∼357.

4. Canvin, D. T. 1976. Interrelationships between carbohydrate and nitrogen metabolism. p. 172∼195. In Genetic improvement of seed proteins. National Academy of Science, Washington, DC.

5. Cox, T. S. and K. J. Frey. 1978. Nitrogen harvest index in oats. Agron. Abstr. American Society of Agronomy, Madison, WI. p.50.

6. Desai, R. M. and C R. Bhatia. 1978. Nitrogen uptake and nitrogen harvest index in durum wheat cultivars varying in their grain protein concentration. Euphytica 27:561∼566.

7. Fawcett, J. A. 1980. Nitrogen harvest index variation within two Avena species. M.S. thesis. Iowa State Univ., Ames (OCLC6827928).

8. Fawcett, J. A., and K. J. Frey. 1982. Nitrogen harvest index variation in Avena sativa and A. sterilis. Proc. Iowa Acad. Sci. 89:155∼159.

9. Fawcett, J. A., and K. J. Frey. 1983. Association among nitrogen harvest index and other traits within two Avena species. Proc. Iowa Acad. Sci. 90(4):150∼153.

10. Halloran, G. M. 1981. Cultivar differences in nitrogen translocation in wheat. Aust. J. Agric. Res. 32:535∼544.

11. 권순기, 김충수, 이인덕, 조동삼. 1987. 최신사료작물. 선진문화사.

12. 김동암. 1984. 사료작물, 그 특성과 재배방법. 선진문화사.

13. 이호진,. 1992. 사료작물학. 향문사.

14. Loeffer, C. M. and R. H. Busch. 1982. Selection for grain proteins, grain yield, and nitrogen partitioning efficiency in hard red spring wheat. Crop Sci. 22:591∽595.

15. Maurice E. Heath, Darrel S. Metcalfe & Robert F.Barnes. Forages 3rd ed. The Iowa State University Press/Ames, Iowa, U.S.A.

16. McNeal, F. H., M. A. Berg and C. A. Watson. 1966. Nitrogen and dry matter in five spring wheat varieties at successive stages of development. Agron. J. 58:605∽608.

17. Moll, R. H., E. J. Kamprath and W. A. Jackson. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. Agron. J. 74:562∽564.

18. Murata, Y., and S. Matsushima. 1975. Rice. p.73∽99. In L. T. Evans (ed.) Crop physiology. Cambridge University Press, London.

19. Muruli, B. I. and G. M. Paulsen. 1981. Improvement of nitrogen use efficiency and its relationship to other traits in maize. Maydicca 26:63∽73.

20. Park, H. 1974. Relationship among grain yield, nitrogen efficiency and nitrogen uptake amount in rice plant. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 7:147∽154.

21. Park, H. 1975. Concepts concerning various nitrogen efficiencies and their interrelation in rice plant. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 8:69∽80.

22. Park, H. and S. K. Mok. 1975. Nitrogen efficiency and its relation to various physiological characteristics among rice varieties. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 8(2):105∽111.

23. Rattunde, H. F. and K. J. Frey. 1986. Nitrogen harvest index in oats: its repeatability and association with adatation. Crop Sci. 26:606∽610.

24. Smith, D. 1975. Forage management in th north 4th ed. Kendal/Hunt publishing Co. U.S.A.

25. Smith, N. 1934. Response of inbred lines and crosses in maize to variations on

nitrogen and phosphorus supplied as nutrients. J. Am. Soc. Agron. 26:785∼804.
26. Spratt, E. D. and J. K. R. Gasser. 1970. Effects of fertilizer-nitrogen and water supply ondistribution of dry matter and nitrogen between the different parts of wheat. Can. J. Plant Sci. 50:613 625.
27. Stringfield, G. H. and R. M. Salter. 1934. Differential response of corn varieties to fertility levels and to seasons. J. Agric. Res. 49:991∼1000.
28. Welch, R. W. and Y. Y. Yong. 1980. The effects of variety and nitrogen fertilizer on protein production in oats. J. Sci. Food Agric. 31:541∼548.
29. Wiggans, S. C. and K. J. Frey. 1956. Nitrogen uptake in oats. Proc. Iowa Acad. Sci. 63:266∼273.
30. Zweifel, T. R., J. W. Maranwille, W. M. Ross and R. B. Clark. 1987. Nitrogen fertility and irrigation on grain sorghum nitrogen efficiency. Crop Sci. 28:419∼422.

제 2 분야	환경보전 기술개발

제 5 장 토양오염방지 기술개발

서 울 대 학 교 농화학과
연구책임자 : 류 순 호
연 구 원 : 한 광 현
연 구 원 : 최 우 정

제 1 절 서 론

농업을 통하여 우리가 필요로하는 물질을 수확할 때 그와 함께 토양으로부터 식물 양분이 제거되는 것이므로 그대로는 토양의 비옥도를 유지하기 어렵다. 그러므로 과거에는 휴한, 작물의 윤작, 두과작물의 재배, 퇴비의 시용에 의한 양분공급으로 토지의 생산성을 지속적으로 유지하였던 것이다. 그러나 현재 우리의 농업은 비료, 농약 등 화학물질을 손쉽게 그리고 값싸게 구입할 수 있게 됨으로써 집약적인 토양이용과 물질 생산성의 극대화에 치중한 생산 체계로 변모하였으며, 이러한 현재의 농업은 다음과 같은 심각한 문제들을 유발하게 되었다.

첫째, 단일품목경작으로 인해 토양의 생산성을 유지시키는 작물의 윤작이 이루어지지 않게 되고, 토양의 작물생산성을 유지하기 위해 점점 화학비료와 농약의 사용량을 증가시켜야 했다.

둘째, 더우기 토양으로부터 일반적으로 작물의 생육에 필요한 영양분을 착취하는 경작방법이었고, 적절한 토양보존 방법을 강구하지 않아 급기야 과다한 토양의 침식과 토양생산성의 저하를 초래하였다.

셋째, 이와 같은 농업형태와 관련된 또 다른 문제는 화학비료와 농약을 과다하게 처리함으로써 지하수와 주변하천 및 호수를 비롯한 환경을 오염시킨다는 것이다.

넷째, 따라서 농업이 환경과 식량의 안정성과 품질에 미치는 부작용에 대한 일반인의 관심이 고조되었고, 이러한 농업생산체계가 장기간 지속할 수 있을 것인가에 대한 의구심을 낳게 되었다.

실제로 지난 20여년 동안 농약, 비료 등 농업화학물질의 이용량은 2-3배의 증가를 보였으며, 화학비료의 경우, '85-'92년에는 약 1,600 천톤으로 약 950 Kg/ha에 달하고 있다. 이러한 화학비료의 과다한 시용은 토양 중 양분의 불균형과 과잉성분으로 인한 환경오염 문제를 유발할 수 있으며, 특히 질소질 비료의 과다 시비로 인한 지하수와 지표수의 오염 위험이 증가되고 있다.

토양에 시용되는 화학비료의 성분은 식물이 쉽게 흡수할 수 있는 형태이지만, 시용량 전부가 작물에 흡수, 이용되는 것은 아니며, 반드시 손실이 있게 마련이다. 특히 시

용량이 과다하거나 시용시기가 적절하지 못할 때 더욱 이러한 손실이 심하게 된다. 작물에 흡수, 이용되지 못하고 손실이 될 때 그 손실의 유형은 토양에 축적, 대기로의 손실, 혹은 근권 밖으로 이동하는 용탈 등이다.

식물에 의하여 흡수, 이용되는 질소의 형태는 무기태인 암모니아태 혹은 질산태이다. 토양 조건에 따라서 암모니아태는 공기 중으로 휘산되기 쉽고, 질산태 질소는 용탈되기 쉬운 형태로서 지하수 오염의 문제가 되는 성분이다. 질산태의 질소는 토양이 환원되면 탈질작용에 의하여 대기 중으로 손실되기도 한다. 칼리는 토양에 흡착되어 용탈되기 어렵지만 토양의 흡착 한계를 벗어나면 물론 용탈이 된다.

인산은 공기 중으로 휘산이 되지 않을 뿐만 아니라, 물에 녹아서 토양에서 용탈되는 성분도 아니다. 따라서 과잉으로 시용된 인산은 쉽게 토양에서 고정되어 축적된다. 그러나 이 고정된 인산도 토양이 침식될 때 미세한 토양 입자와 함께 이동하여 부영양화작용에 의하여 지표수 또는 해양을 오염하는 물질로 작용하게 된다. 토양이 산성이면 식물생육에 불리한 여러 현상이 나타나게 된다. 산성 토양에서 인산은 식물이 흡수할 수 없는 형태로 고정되고 비료로 시용된 인산의 이용율이 떨어진다. 토양 검정에서는 으레히 토양의 pH를 측정하고 유효인산의 함량을 측정하여 석회와 인산의 시용량을 추천하게 된다. 과거의 우리나라 토양은 산도가 강했을 뿐 아니라 인산 함량이 극히 낮아 정부에서도 인산의 시용을 적극 권장하였던 것이다.

이러한 질산태 질소와 인에 의한 수질 오염은 결국 농어촌의 식수원인 지하수를 오염을 가중 시키게 되며 이를 식수로 이용하는 주민의 건강에 위해성을 가져오게 되는 것이다. 그리고, 생산된 농산물의 가식부에 질산태 질소의 과다한 집적을 초래하여 식품을 질을 악화시킬 우려가 있다. 사람이 질산태 질소를 과다하게 섭취하게 되면 특히 어린아이에게 청색증를 유발하게 되며, 체내에서 발암성 물질인 nitrosoamine으로 변환될 가능성도 높은 것이다.

그러나 토양에 과다 집적된 농업화학물질이 주변 수질환경으로 이동, 오염을 유발하는 과정은 그리 간단하지 않으며 매우 복잡하고 동적인 현상이다.

질산태 질소에 의한 오염은 식물이 흡수하는 양 이상의 질소원이 토양에 주어질 때 발생한다. 토양에 투여된 질소는 상호 동적인 관계에 있는 유기태 질소 풀이나 무기태

질소 풀에 속하게 되고, 식물은 주로 무기태의 질소를 흡수한다. 이 후 토양에 남아 있는 질소는 미생물에 의한 무기화, 부동화, 질산화, 탈질화 및 화학탈질, 휘발, 용탈 등의 복잡한 과정을 거쳐 주변 지표수나 지하수에 전달된다. 이러한 과정에 영향을 미치는 요인으로는 토양특성, 재배작물, 재배방법, 담수여부, 무기화-부동화에 관계되는 미생물의 활동도(MIT), 주변지형 등이 있다. 인의 경우에는 토양에서 주로 무기태로 존재하나 인산질 비료의 제재형태, 토양의 광물학적 특성과 칼슘, 철, 알루미늄 등의 무기물 등과 관계되는 침전, 고정으로 인해 가용태가 적고 이동성이 낮다. 그러므로 인에 의한 주변 수질의 오염은 주로 토양침식이나 강우와 관련된 표면유출에 의해 이루어 진다. 그러나 토양의 광물학적인 특성에 의해 용탈량이 충분히 커질 수 있다. 이 밖에 토양에 존재하는 유기물, MIT, 흡착 등에 의해 인의 동태는 매우 다양하게 나타난다. 그리고 토양 내 인의 과다한 집적은 인산질 비료의 제조시에 불순물로 포함된 여러 중금속들에 의한 오염도 더불어 야기할 수 있다. 잔류농약 역시 농약 살포 후 잔존하는 농약이 강우에 의한 표면 유출, 토양 안에서의 생분해, 흡착, 용탈 등의 과정들을 거쳐 지표수 및 지하수에 도달하게 된다.

이상과 같이, 여러 농업화학물질들은 서로 연관성을 가지고 토양 생태계 안에서 지속적으로 유지, 반복됨으로써 주변환경의 오염을 가중시키게 되는 것이다. 그러므로 이러한 각 물질의 순환기작과 상호 연관성을 파악하고 환경에 미치는 영향을 분석하는 것이 적절한 오염방지 대책을 세우는 데 있어서 필수 적이다.

토양에 축적된 농업화학물질에 의해 유발되는 환경오염은 여타 산업활동에서 배출되는 공장폐수, 생활하수 등과 같은 점오염원의 성격이 아니라 복잡한 수문학적인 과정과 그 배출단위와 량을 명확히 규정할 수 없는 비점오염원의 성격을 갖는다. 비점오염원에 의한 환경오염 특성은 다음과 같다.

가. 비점오염은 점오염보다 그 오염의 정도는 낮지만 그 절대량에 있어서는 커서 대규모의 수량을 갖는 강, 호수 등의 주요 오염원으로 간주되고 있다.

나. 그러므로, 비점오염의 억제를 위한 노력 없이는 하천이나 강, 호수, 하구등의 수질 개선이 어려운 것으로 알려져 있다.

다. 비점오염의 관리는 오염원들이 특정지점으로 국한되지 않고 광범위한 지역에

걸쳐 존재하여 수문순환과정 등 복잡한 자연현상이 수반되기 때문에 사회적, 기술적으로 복잡하고 쉽지 않다.

라. 점오염의 경우와 같이 제한된 유출구로부터 하수처리장 등과 같은 오염부하량의 집중처리에 의한 조절방법이 불가능하다

마. 비점오염은 주로 토양을 매개로 한 표면유출이나 지하침투를 통하여 복잡한 수문학적인 순환과정이 수반된다.

바. 비점오염의 양상은 주변 지형, 지질, 기후 및 토양특성, 수문학적인 특성 그리고 영농형태 및 토지이용방법에 따라 크게 차이를 보인다.

사. 비점오염원의 효율적인 관리를 위해서는 위와 같은 다양한 변화요인들을 포괄적으로 수용하여 전반적인 관리대책을 세우는 것이 매우 중요하다.

미국에서 조사된 바에 의하면 비점오염원에 의한 주변환경에 미치는 영향은 실로 심각한 수준이며(표 1), 이를 적절히 조절하지 않고서는 건전한 수질환경의 유지가 어려움를 잘 알 수 있다. 우리나라의 경우는 비교적 부정확한 소규모 컬럼실험을 통하여 추정된 오염물질 부하량을 산정하고 있다.(표2)

표1. 미국의 지표수에 있어서 대표적인 환경 오염원

하 천	%	호 소	%
농 업	61	농 업	57
도 시	16	수문학적인 변형	40

<US EPA, 1992>

그 결과에 의하면 토지에 의하여 배출되는 오염물질의 양이 다른 구성 요소에 비하여 결코 무시할 양이 아니며 주의를 기울여야 함을 잘 보여주고 있다. 특히 질소의 경우는 인구와 가축에 비하여 월등히 높은 수준이며 인은 인구와 가축에 비하여 낮은 수준이나 이는 이 실험이 표면유출을 고려하지 않은 결과이라 여겨진다. 토양 침식과 표면유출에 의한 인의 환경영향을 고려한다면 토양에 의하여 매개된 환경오염정도 역시 다른 구성요소보다 월등하리라 생각된다.

표 2. 한강 경안천의 오염물질 배출 부하량

		BOD (Kg/일)	T-N (Kg/일)	T-P (Kg/일)
유역 내로 배출되는 오염물질 총 배출량		8,922	4,769	483
발생원	인구	3,801	419.5	77.6
	가축	2,749	950.4	283.4
	토지	1,655	2,674	48.8

<국립환경원보, 1992>

이상에서 보는 바와 같이 토양의 농업화학물질에 의한 오염과 주변 환경에 미치는 영향을 정확히 파악하고 적절한 대처방안을 세우는 것은 쉬운 일이 아니며 장기적이고 지속적인 관찰, 조사 및 분석과 아울러 토양 내에서 진행되는 농업화학물질의 순환, 변환, 이동 과정을 면밀히 기술하여 주변환경에 미치는 영향을 극소화 하도록 하여야 할 것이다. 이를 위하여 본 연구과제에서는 토양오염의 실태와 조사 분석(1년차)를 통하여 질산태 질소, 인 등의 농경지 토양에서의 축적 정도와 주변 토양으로의 확산정도를 조사하고, 주변 지표수 및 지하수에 미치는 영향을 분석하며, 토양 중 농업화학물질의 순환 기작의 분석(2년차)을 통하여 여러 농업화학물질들이 토양 생태계 안에서 서로 연관성을 가지고 지속적으로 유지, 반복됨으로써 주변 환경 오염을 가중시키는 각 물질의 순환기작과 연관성 및 환경에 미치는 영향을 분석하고, 이상의 연구결과를 통하여 지속적인 토양오염방지 대책수립의 일환으로 소규모 포장실험과 기존의 모형을 검토하여 토양관리 모형을 위한 기초자료를 수집했다(3년차).

제 2 절 재료 및 방법

1. 연구유역개황

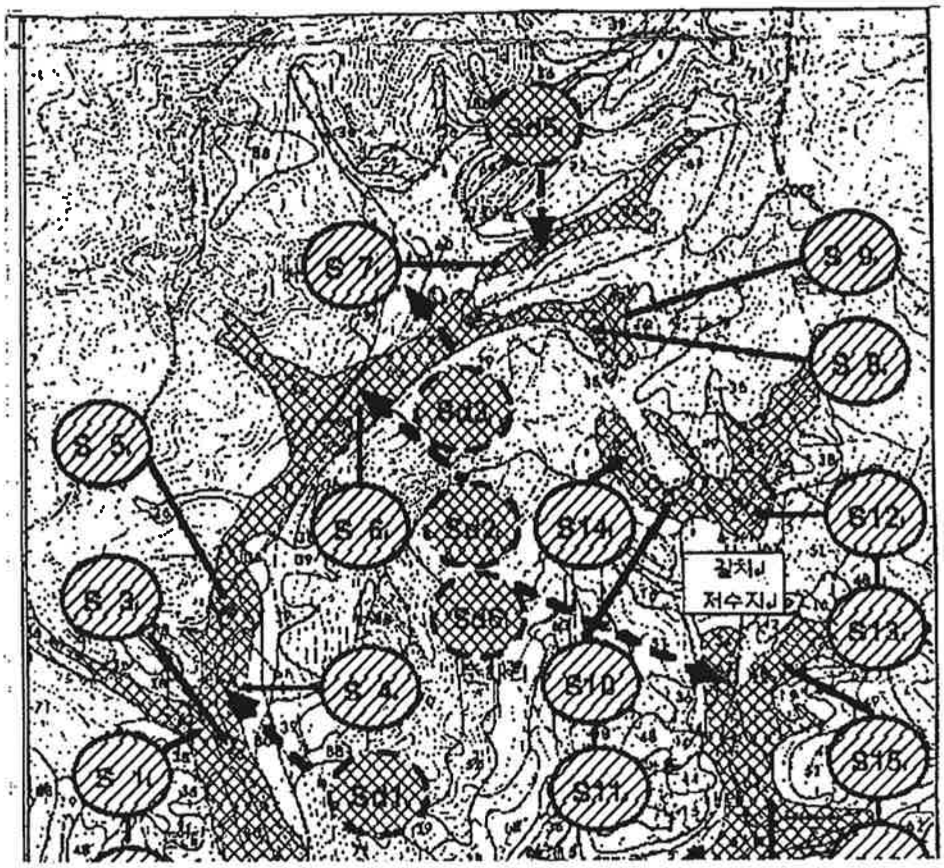
본 연구의 대상유역은 경기도 군포시 속달동에 위치한 반월저수지의 상부유역으로 1986년 이래 서울대 농생대 농공학과에서 수문관측을 실시해오고 있으며, 비교적 장기간의 정교한 수문조사자료를 보유하고 있으므로 본 연구의 대상 유역으로 선정하여 연구를 진행하였다. 반월 저수지 유역은 경기도 서남쪽 지역인 안산, 군포, 안양시의 경계점에 위치한 수리산 남쪽 기슭의 유역 면적 약 12km2 로부터 배수되는 곳이다.

반월 저수지 유역의 토지이용상태는 77%가 산림이며, 약 18%가 농경지이고 기타도로, 자연부락 등이 산재해 있다. 유역 상류 부분은 개발제한구역으로 토지의 형질이 비교적 잘 보전되고 있으며, 개발제한구역 이외의 지역에서는 고속도로 건설, 도시확장 등으로 빠르게 변모하고 있는 지역이다. 대상 유역은 안산-금정간 전철과 안산-신갈 고속도로, 서해안고속도로 등이 위치하거나 현재 건설 중에 있다. 수원으로부터는 약 8Km에 위치하고 있다.

2. 연구지역의 토양특성과 시료채취

질산태질소, 인 등의 농경지 토양에서의 축적정도와 주변 토양으로의 확산정도를 조사하기위해 연구지역에서 토양시료를 채취하여 분석하였다. 연구지역의 농경지는 대략 5개의 토양통으로 이루어 져 있고 시료의 채취는 토양통별로 composite sampling을 하여 대표적인 성질을 나타내도록 하였다. 비료를 처리한 직후의 6 지점을 따로 채취하여 분석하였다. 연구지역의 개황적인 토양분포와 시료채취지점은 그림 1과 같다.

토양에 처리된 영농자재가 주변 지표수에 미치는 영향을 파악하기 위하여 토지이용형태 및 지형을 고려하여 11개 지점에 대하여 주기적으로 시료를 채취 분석했으며, 그 위치는 그림 2와 같다.



토양부호	토양통	성 질
12	사촌	사양토, 7-15% 경사
60	월곡	사양토, 2-7% 경사
61	월곡	사양토, 7-15% 경사
62	은곡	양토, 2-7% 경사
63	은곡	양토, 7-15% 경사
67	지산	양토, 2-7% 경사
68	지산	양토, 7-15% 경사
80	풍천	자갈이 있는 양토, 2-7% 경사

S2, S11, S12, S15, S17, S19 는 비료를 처리한 직후의 토양을 시료 채취

그림 1. 연구지역의 토양개황 및 시료 채취 지점

자료출처 : 환경농업의 현장애로 기술개발. 최종연구보고서 / 농림부

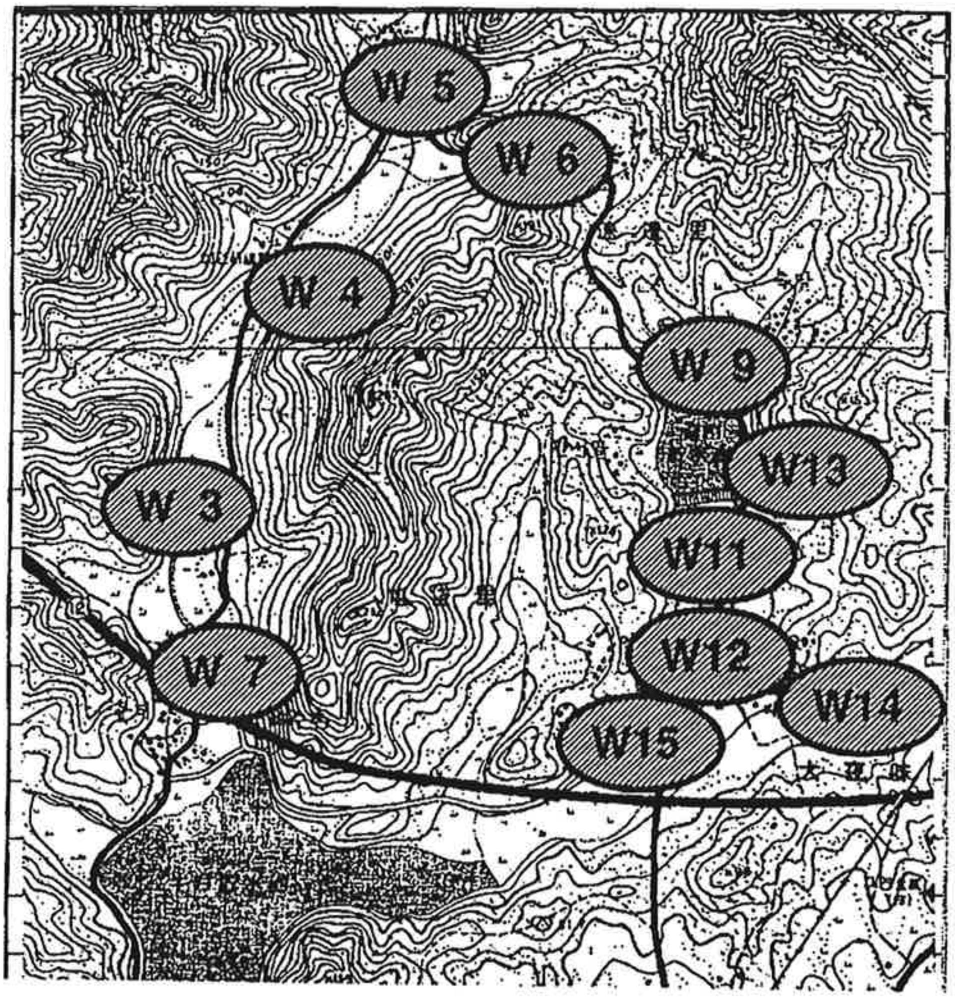


그림 2. 연구지역의 수질시료 채취 지점

3. 연구지역내 시험 농경지의 선정

토양중 농업화학물질의 순환기작을 파악을 통하여 주변 환경에 영향을 주는 각 물질의 순환기작과 연관성 및 환경에 미치는 영향을 분석하기위해 연구지역내 시험 농경지를 선정하여 토양 및 수질 시료를 채취하여 분석하였다.

가. 시험농경지의 개황

경기도 반월시 반월저수지와 갈치저수지 유역 소재 농가포장 3곳을 설정하였으며 그 지점은 그림3과 같다. 시범 농경지의 영농형태는 A지역의 경우는 상류에 소규모 마을이 있고 소규모로 오리나 닭 등을 기르고 있는 비교적 순수 영농지역에 가까운 형태의 농업을 하고 있는 지역이다. B지역은 갈치저수지에서 나오는 축산폐수와 인근 주거 단지에서 유입되는 생활하수가 합류하는 하천수를 농수로 사용하는 지역이다. C의 경우는 갈치저수지 상류에 있는 축산 단지 내에서 갈치저수지로 유입되는 폐수를 저수지 하류에서 관개하여 농수로 사용하고 있어 축산폐수가 다량유입되고 있는 지역이다. A지역과 C지역의 경우 낮은 하천수위 때문에 농수를 강우와 인공 펌핑에 의존하고 있다.

시범농지의 시비량은 관행적으로 마지기당 기비로 복합비료(21-17-17)를 1포(20kg)를 주고 있으며 이앙후 추비로 요소 1/2포(20kg)을 주고 있다. 그러나 농민들은 관행적으로 1마지기를 150평내지 200평으로 간주하고 있어서 단위면적당 시비량은 농가마다 다소간의 차이가 있었다. 그외 규산질 비료나 석회질 비료는 시비하지않고 있었다. 200평을 1마지기로 기준하여 질소 인산 가리의 10α당 투입량은 13, 5.1, 5.1kg이다.

선정된 시범농경지에서 토양의 경우 담수하기전 단면을 조사하여 깊이별로 일반 분석할 시료를 채취하였고 이앙후 수확기 까지 월 1회 깊이별로 채취하였다. 수질 시료는 포장 내의 표면수와 관개수로 사용하는 포장 바로 옆의 하천수를 같은 시기에 채취하였고 갈수기에 논의 표면수가 없는 경우에는 채취하지 못한 경우가 있다.

수확량 산출을 위해 10월 중순경 수확직전 $1m^2$내의 작물을 수확하여 조곡만을 건조하여 수확량을 산출하였다.

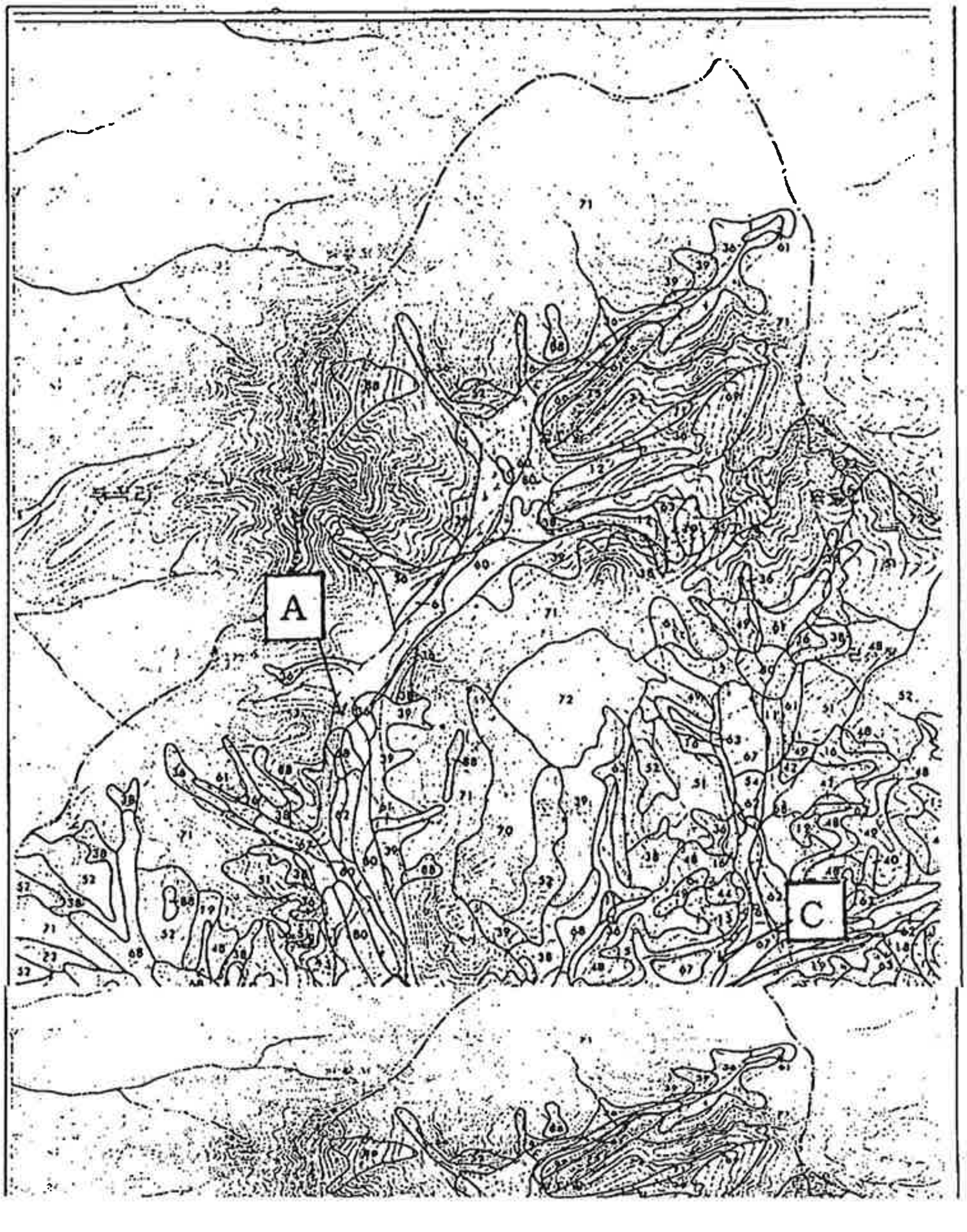


그림3. 시범농경지 지점

4. 소규모 포장실험연구

농경지 토양에서 오염물질의 토양중 행동과 밀접한 관련이 있는 토양수분 프로파일 작성을 위해 서울대학교 부속농장에 소규모 포장 실험을 수행하였다.

토양수분 프로파일을 작성하기 위해 토양의 각 층위마다 TDR(Time Domain Reflectmeter)를 설치하여 주기적으로 깊이별 토양수분함량을 측정하였으며 지하수위도 함께 측정하였다.

5. 토양 및 수질시료 분석방법

1) 토양시료 분석방법

(가) 입경분석

입경분석은 pipette 법으로 하였다. 105-110℃에서 24시간 건조시킨 토양 시료 10 g을 250 ml flask 에 취하고, 과산화수소(30%) 10 20 ml 가하여 24시간 처리하여 유기물을 분해시켰다. 분산제인 5% Sodium hexametaphosphate 용액 10ml를 가한 후, 시료를 교반 cup으로 옮겨 적당량의 물을 가하고 10분간 교반시켰다. 분산된 시료를 침강실린더로 옮긴 후 증류수를 가하여 전 용적이 1 L가 되도록 하였다. Hand stirrer로 현탁액을 상하로 흔들어 균일상이 되도록 1분간 교반시킨 후 정치하였다. 계산된 시간 마다 실린더의 수면 아래 10 cm 깊이에 삽입한 pipette로써 일정량(25ml)의 현탁액을 취하여 건조 후 정량하여 (실트+점토함량)과 점토함량을 각각 구하였다. 모래함량은 100-(점토함량+실트함량) (%)으로 계산하였으며, 입경구분은 미국 농무성법에 따랐다.

(나) 유기물함량

유기물 함량은 Walkeley-Black 법으로 정량하였다. 풍건 세토를 30mesh 체를 통과시켜 통과한 것 0.5g을 500ml 삼각flask에 취하고 1 N-$K_2Cr_2O_7$ 용액 10ml과 진한 황산 20ml를 차례로 가하였다. 서서히 흔들어 준 후 30분간 산화

되게 방치하였다. 증류수 200ml를 가하고 0.02M orthopenanthroline을 지시약으로 하여 남아있는 $K_2Cr_2O_7$ 용액을 0.5N-$FeSO_4$로 역적정하여 유기물 함량을 구하였다.

(다) 전질소(T-N) 함량

Micro Kjeldahl법으로 정량하였다. 0.5mm 체를 통과한 풍건 시료 1g을 micro Kjeldahl flask에 취하고 1.1g의 K_2SO_4 혼합촉매와 진한 황산 5ml를 차례로 가한 후 약 4 시간동안 가열 분해시켰다. 분해액을 증류수로 희석한 후 10ml 정도를 질소증류장치의 플라스크에 취하고 질소 증류하여 질소함량을 구하였다.

(라) pH

토양의 pH는 풍건시료 5g을 100ml flask에 취하여 증류수 25ml를 가하고 때때로 유리봉으로 저어주면서 30분간 방치한 후 pH meter 로 측정하였다.

(마) 유효인산

Bray No.1 법

풍건 토양 2.85 g을 100 ml 삼각 flask 에 취하여 Bray No.1 침출액 (0.025N HCl + 0.03 N NH_4F) 20 ml을 가하고 1분간 흔든다음 여과하였다. 50ml용량 flask에 여액을 1-5 ml 취하고 발색시약 5ml 가하고, 증류수를 표선까지 채워서 혼합하여 발색시킨 후 620 nm에서 흡광도를 측정하였다.

(바) 양이온 치환용량(Cation Exchange Capacity)

양이온 치환용량은 초산 암모니아법(1N CH_3COONH_4, pH=7.0)으로 정량하였다. 양이온치환용량 분석용 침출관(column)에 2mm체를 통과한 풍건 세토

5g을 취하고 100ml의 1N CH_3COONH_4용액으로 시료를 NH_4^+로 포화시킨 다음 Isopropyl alcohol 100 ml로 흡착되지 않은 NH_4^+의 세척 제거하고, 10% acidic NaCl 용액 100ml로써 흡착된 NH_4^+를 치환하고 이 용액 10ml의 NH_4^+를 kjeldahl 증류하여 0.01N H_2SO_4 용액으로 적정하여 정량하였다. 따로 증류수를 써서 같은 조건에서 바탕시험을 행하고, 다음 식으로 CEC를 계산하였다.

CEC(me /100 g) = (T - B) x H_2SO_4 규정농도(0.01) x 100/(취한 시료의 g수)

여기에서 T와 B는 본시험과 바탕시험의 적정에 소비된 0.01N H_2SO_4의 양(ml)이다.

(사) 치환성 양이온

치환성 양이온 K, Na, Ca 및 Mg은 CEC를 정량할 때 1N CH_3COONH_4 용액으로 치환된 용액의 것을 원자흡광광도계로 분석하여 정량하였다.

2) 수질 시료의 분석방법

(가) 총인

시료 50ml(인으로서 0.06mg 이하 함유)를 분해병에 넣고 과황산칼륨용액 (4W/V%) 10ml를 넣어 마개를 닫고 섞은 다음 고압증기멸균기에 넣어 가열하였다. 약 120℃가 될 때부터 30분간 가열분해를 계속하고 분해병을 꺼내 방냉한 다음, 전처리한 시료의 상등액 25ml를 취하여 마개있는 시험관에 넣고 몰리브덴산 암모늄·아스코르빈산혼액 2ml를 넣어 흔들어 섞은 다음 20- 40℃에서 15분간 방치하였다. 이용액의 일부를 층장 10mm 흡수셀에 옮겨 검액으로하고 따로 물 50ml를 취하여 시료의 시험방법에 따라 시험하여 바탕시험액으로 하였다. 바탕시험액을 대조액으로 하여 800mm에서 검액의 흡광도를 측정하고 미리 작성한 검량선으로 부터 총인의 양을 구하여 다음식에서 농도

(mg/l)를 산출하였다.

$$총인(mg\ P/l) = a \times \frac{60}{25} \times \frac{1,000}{50}$$

a : 검량선으로 부터 구한 인의 양(mg)

(나) 암모니아성 질소

시료가 탁하거나 착색물질등의 방해물질이 함유되어 있는 경우에는 다음과 같이 증류하여 그 유출액으로 시험하였다. 시료 적당량(암모니아성 질소로서 0.03mg 이상 함유량)을 취하여 수산화나트륨용액(4W/V%) 또는 황산(1+35)으로 중화하고 증류플라스크에 옮긴다음 산화마그네슘 0.3g과 비등석 수 개를 넣고 물을 넣어 액량을 약 350ml로 하였다. 수기는 200ml 용량의 메스실린더에 0.05N 황산용액 50ml를 넣고 증류장치(그림-3)를 조립한 다음 가열하여 5-7ml/min의 유출속도로 증류하였다. 수기의 액량이 약 150ml가 되면 증류를 중지하고 냉각관을 증류플라스크와 분리하여 냉각관의 내부를 소량의 물로 씻어서 수기에 합하고 물을 넣어 200ml로 하였다. 시료를 증류하여 유출되는 암모니아를 황산용액에 흡수시키고 수산화나트륨용액으로 잔류하는 황산을 적정하여 암모니아성질소를 정량하였다.

(다) 총질소

무기질소의 환원

시료 적당량(0.7-10mg N 함유)을 취하여 1l 증류플라스크에 넣고 물을 넣어 350ml로 한다. 비등석 수개, 데발다합금 분말 3g과 수산화나트륨 용액(30W/V%) 10ml 넣어 증류장치를 조립하고 냉각관의 끝을 미리 0.05 N의 황산 50ml를 넣어 둔 200ml 메스실린더 수기에 연결하여 매분 5-7ml의 유출속도로 증류하였다. 수기의 유출액량이 약 180ml가 되면 증류를 끝내고 냉각관의 안쪽을 소량의 물로 수회 씻어서 수기에 합하고

표선을 채웠다.(A액)

유기질소의 분해

앞에서 증류하고 남은 증류플라스크의 내용물과 증류플라스크를 물로 씻은액 전량을 조심하여 적당한 용량의 킬달플라스크에 옮기고 총질소시험용 분해촉진제 2g 넣고 플라스크의 목부분에 남아있는 잔류물을 소량의 물로 씻어 넣은 플라스크의 내벽을 따라 황산 5-10ml를 넣었다. 다음에 과산화수소수 1ml를 주의하여 넣고 석면상에서 가열하여 백연이 발생하고 내용물이 투명해질 때까지 분해를 계속하였다. 방냉한 다음 물 약 100ml를 넣어 석출된 결정성 물질을 가열 용해하여 분해액을 증류플라스크에 옮기고 소량의 물로 킬달플라스크를 수회 씻어서 합한다음, 물을 넣어 액량을 약 350ml로 하고 증류장치를 조립하여 냉각관의 끝을 미리 0.05 N-황산 50ml를 넣어둔 200ml 메스실린더 수기에 연결하였다. 증류플라스크의 상부로부터 수산화나트륨 용액(50 W/V%) 40ml를 넣고 증류플라스크를 가열하여 매분 5-7ml의 유출속도로 증류하였다. 수기의 유출액량이 약 180ml가 되면 증류를 끝내고 냉각관의 안쪽을 소량의 물로 수회 씻어서 수기에 합하고 물을 넣어 표선을 채웠다.(B액)

앞에서 얻어진 A, B액의 일부 또는 전량을 취하여 증류장치에서 증류하고, 따로 시료와 같은 양의 물을 취하여 1l 증류플라스크에 넣고 시료의 전처리 같은 조작을 하여 바탕시험액으로 하였다. 바탕시험을 대조액으로 하여 각각 A, B액중의 총질소 농도를 구하고 두 값을 합하여 시료의 총질소 농도(mg/l)로 하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 토양오염실태 조사분석

가. 연구지역 토양의 토양통별 물리-화학적 특성

연구지역의 토양은 대개 5개의 토양통(사촌, 월곡, 은곡, 지산, 풍천)으로 이루어져 있으며 문헌에서 조사된 주요 물리, 화학적 특성은 표4 8과 같다. 전술한 바와 같이 토양 내에서 농업화학물질이 이동, 변환하는 과정은 토양의 특성에 의존하는 바가 크며, 농업화학물질의 이동은 주로 토양수의 이동과 함께 진행하며 이것은 토양의 물리적 성질에 의해 좌우 된다. 토양의 화학적 성질은 질소와 인의 변환과 관되는 미생물과 식물의 활동도에 영향을 미치게 된다.

이들 5개 토양통의 토양배수 및 투수성은 표3과 같다.

표 3. 주요 토양통의 배수및 투수 특성

토양통	배수 및 투수 특성
사촌	배수가 약간 불량하고, 투수성은 약간 빠르며, 유거는 평탄한 논뚝을 만들어서 느리다.
월곡	배수는 약간 불량하고, 유거는 보통이며, 투수성은 약간 빠르다.
은곡	배수는 약간 불량하고, 투수성은 약간 빠르고 유거는 느리다.
지산	배수는 약간 불량하고, 투수성은 보통 내지 약간 느리다. 유거는 전지역이 계단식단구일 경우 조절된다.
풍천	토양배수는 불량하고, 투수성은 약간 빠르며, 유거는 보통 내지 느리다.

(자료: 농업기술연구소, 원색도감 한국의 답토양, 1984)

표 4. 사촌통의 물리, 화학적 성질

토 층		표토1(Ap1g)	표토2(Ap2g)	표토3(Ap3g)	심토(B)	기층(Cg)
토 심 (cm)		0- 6	6- 15	15- 30	30- 66	66- 130
함수량 (%)		1.8	0.9	1.3	1.4	0.9
입경 (%)	조 사	3.0	3.2	3.6	5.8	4.8
	중 사	9.7	8.9	11.0	16.3	16.1
	세 사	19.8	19.1	22.9	28.5	30.7
	미 사	42.3	45.2	41.2	32.7	33.8
	점 토	25.2	23.6	21.2	16.7	14.6
	토 성	양토	양토	양토	양토	양토
수분 장력 (%)	1/10 기압	-	-	-	-	-
	1/3 기압	40.4	36.5	30.4	22.6	20.2
	15 기압	13.8	14.3	13.0	9.2	7.8

토 층		표토1(Ap1g)	표토2(Ap2g)	표토3(Ap3g)	심토(B)	기층(Cg)
토양 반응	H_2O (1:1)	4.9	5.0	5.5	6.2	6.8
	1N KCl	3.9	3.9	4.4	4.9	5.2
유 기 물 (%)		3.80	3.20	2.60	0.80	0.60
유리산화철 (%)		0.88	0.88	1.20	1.37	1.17
염 기 치 환 용 량 (me/100g)		12.0	11.8	9.8	7.0	7.1
치환성 양이온 (me/100g)	Ca	3.85	4.25	4.75	4.75	5.65
	Mg	1.05	0.80	1.25	0.70	1.20
	Na	1.00	0.10	0.10	0.65	0.75
	K	0.33	0.20	0.18	0.20	0.22
	계	6.23	5.35	6.28	6.30	7.82
염기포화도 (%)		51.9	45.3	65.4	87.1	110.1
유 효 인 산 (ppm)		147	122	44	-	-

(자료: 농업기술연구소, 원색도감 한국의 답토양, 1984)

표 5. 월곡통의 물리, 화학적 성질

토 층		표토1(Ap1)	표토2(Ap2)	심토1(B1)	심토(B2)	기층(C)
토 심 (cm)		0- 14	14- 26	26- 50	50- 70	70- 110
함수량 (%)		9.5	8.5	24.1	57.5	72.9
입경 (%)	조 사	18.3	15.9	11.5	11.6	34.7
	중 사	14.2	13.8	8.9	15.3	27.0
	세 사	22.6	24.6	20.7	30.5	18.7
	미 사	35.3	35.3	48.5	36.5	16.5
	점 토	9.6	10.4	10.4	6.1	3.1
	토 성	사양토	사양토	양토	사양토	조사양토
가 비 중 (g/cc)		1.29	-	1.53	-	-
수분 장력 (%)	1/10 기압	35.9	26.2	28.2	26.9	15.3
	1/3 기압	23.8	18.4	20.8	16.7	11.0
	15 기압	8.6	7.0	7.2	6.4	5.2
토 층		표토1(Ap1)	표토2(Ap2)	심토1(B1)	심토(B2)	기층(C)
토양 반응	H_2O (1:1)	6.0	6.1	6.5	6.8	7.0
	1N KCl	4.9	4.8	5.1	5.4	5.7
유 기 물 (%)		2.70	1.40	1.02	0.60	0.34
염 기 치 환 용 량 (me/100g)		9.60	8.30	8.20	7.50	6.20
치환성 양이온 (me/100g)	Ca	7.26	6.38	6.25	6.01	4.25
	Mg	1.40	1.28	1.30	1.20	0.88
	Na	0.13	0.10	0.08	0.10	0.10
	K	0.23	0.18	0.15	0.13	0.13
	계	9.02	7.94	7.78	7.44	5.36
염기포화도 (%)		93.9	95.6	94.8	99.2	86.4

(자료: 농업기술연구소, 원색도감 한국의 답토양, 1984)

표 6. 은곡통의 물리, 화학적 성질

토 층		표토1(Ap1)	표토2(Ap2)	심토1(B1)	심토(B2)	기층(C)
토 심 (cm)		0- 12	12- 33	33- 48	48- 62	62- 120
입경 (%)	조 사	11.1	12.7	13.6	17.5	16.3
	중 사	14.2	16.0	18.3	21.2	19.2
	세 사	21.0	19.5	21.2	19.8	19.4
	미 사	30.5	25.3	42.8	18.1	20.4
	점 토	17.2	17.5	14.1	12.4	14.7
	토 성	사양토	사양토	사양토	사양토	사양토
수분 장력 (%)	1/10 기압	36.0	27.9	23.0	19.0	18.9
	1/3 기압	26.9	23.2	18.5	15.8	16.3
	15 기압	9.8	9.4	8.6	7.3	8.2

토 층		표토1(Ap1)	표토2(Ap2)	심토1(B1)	심토(B2)	기층(C)
토양 반응	H_2O (1:1)	5.1	5.6	6.0	6.1	6.2
	1N KCl	3.9	1.37	0.51	0.40	0.73
유 기 물 (%)		2.03	1.37	0.51	0.40	0.73
활 성 철 (%)		0.41	0.53	1.31	0.97	0.50
염 기 치 환 용 량 (me/100g)		6.20	5.45	4.00	3.60	3.85
치환성 양이온 (me/100g)	Ca	1.75	2.00	1.63	1.50	1.63
	Mg	0.73	1.01	0.88	0.79	0.69
	Na	0.18	0.10	0.10	0.28	0.23
	K	0.13	0.09	0.08	0.13	0.13
	계	2.79	3.20	2.69	2.70	2.68
염기포화도 (%)		45.0	58.6	67.2	75.0	69.6
유 효 인 산 (ppm)		140	48	10	12	5
유 효 규 산 (ppm)		40	51	86	66	83

표 7. 지산통의 물리, 화학적 성질

토 층		표토1(Ap1g)	표토2(Ap2g)	심토1(B2g)	심토2(B3g)	기층(Cg)
토 심 (cm)		0- 12	12- 30	30- 65	65- 100	100- 170
함수량 (%)		2.1	3.6	2.7	1.9	1.7
입경 (%)	조 사	8.4	8.1	9.5	8.9	8.8
	중 사	7.0	8.7	8.6	8.2	1.4
	세 사	16.3	17.1	16.8	16.3	21.0
	미 사	45.3	41.5	44.8	41.9	47.5
	점 토	23.0	24.6	20.3	24.7	21.3
	토 성	양토	양토	양토	양토	양토
수분 장력 (%)	1/10 기압	48.9	40.7	37.0	40.5	37.9
	1/3 기압	44.4	36.3	33.9	37.9	33.0
	15 기압	28.6	18.9	11.6	14.5	10.3

토 층		표토1(Ap1g)	표토2(Ap2g)	심토1(B2g)	심토(B3g)	기층(Cg)
토양 반응	H_2O (1:1)	5.1	5.7	6.5	6.4	5.3
	1N KCl	4.0	4.5	5.1	5.0	3.9
유 기 물 (%)		3.24	2.46	0.88	1.03	1.08
염 기 치 환 용 량 (me/100g)		9.50	8.20	7.70	9.50	9.50
치환성 양이온 (me/100g)	Ca	2.95	4.30	4.05	5.34	3.70
	Mg	2.05	3.00	2.70	3.78	2.80
	Na	0.28	0.20	0.33	0.16	0.20
	K	0.13	0.13	0.10	0.12	0.10
	계	5.41	7.63	7.18	9.40	6.80
염기포화도 (%)		56.9	93.0	90.6	98.9	68.7

(자료: 농업기술연구소, 원색도감 한국의 답토양, 1984)

표 8. 풍천통의 물리화학적 성질

토 층		표토(Ap)	심토1(B1)	심토2(B2)	기층(C)
토 심 (cm)		0- 15	15- 35	35- 70	70- 100
함수량 (%)		38.3	61.3	73.8	80.7
입경 (%)	조 사	21.5	16.9	12.5	15.8
	중 사	9.9	9.6	10.4	9.7
	세 사	15.0	19.9	21.7	19.0
	미 사	40.7	39.1	40.9	39.4
	점 토	12.9	14.5	14.5	16.1
	토 성	양토	양토	양토	양토
수분 장력 (%)	1/10 기압	31.4	23.9	24.7	24.3
	1/3 기압	18.3	17.5	17.8	17.8
	15 기압	8.7	8.0	11.8	8.3

토 층		표토1(Ap)	심토1(B1)	심토2(B2)	기층(C)
토양 반응	H_2O (1:1)	5.0	6.2	6.7	7.0
	1N KCl	3.8	4.7	5.2	5.1
유 기 물 (%)		2.60	0.72	0.61	0.51
염 기 치 환 용 량 (me/100g)		9.90	10.30	9.90	10.70
치환성 양이온 (me/100g)	Ca	5.00	9.75	11.50	10.80
	Mg	0.75	1.62	2.37	2.25
	Na	0.05	0.32	0.10	0.10
	K	0.30	0.15	0.12	0.15
	계	6.1	11.84	14.09	13.3
염기포화도 (%)		61.6	115.0	142.0	125.2

(자료: 농업기술연구소, 원색도감 한국의 전토양, 1984)

그러나 위의 자료는 우리나라 토양통의 대표지역만의 분석치이므로 반드시 연구지역의 토양특성과 일치한다고는 볼 수 없다. 특히 표토의 경우는 재배작물 및 토양관리의 방법, 지형 및 기후의 특성, 객토의 여부에 따라 크게 영향을 받는다. 연구지역의 토양통 및 지형을 고려하여 채취한 시료의 물리, 화학적 성질은 표 9, 10과 같다.

표 9. 토양 시료의 Texture

SAMPLE	Texture			
	Clay(%)	Silt(%)	Sand(%)	Classification
S1	24.36	38.87	37.67	Loam
S2	21.09	35.97	42.94	Loam
S3	26.55	37.54	35.91	Loam
S4	20.04	23.93	56.02	Sandy Clay Loam
S5	21.55	37.28	41.18	Loam
S6	23.78	30.32	45.89	Loam
S7	18.17	32.53	49.30	Loam
S8	21.26	27.64	51.10	Sandy Clay Loam
S9	22.07	37.27	40.66	Loam
S10	21.91	36.97	41.11	Loam
S11	20.75	30.72	48.53	Loam
S12	24.53	36.12	39.31	Loam
S13	18.95	21.72	59.33	Sandy Loam
S14	17.41	20.30	62.29	Sandy Loam
S16	19.31	26.12	54.57	Sandy Loam
S17	20.16	28.30	51.54	Loam
S18	22.66	23.46	53.88	Sandy Clay Loam
S19	22.36	32.54	45.11	Loam
S20	22.88	31.61	45.51	Loam

표 10. **토양 시료의** pH, **유기물함량**, CEC, **치환성양이온**

SAMPLE	pH	OM(%)	CEC (me/100g)	Exchegable Cation (me/100g)			
				Ca	K	Mg	Na
S1	5.0	4.8	10.95	5.03	0.28	0.69	0.38
S2	5.5	4.2	10.05	5.68	0.34	0.68	0.37
S3	5.0	4.5	10.59	5.19	0.27	0.73	0.34
S4	4.9	3.8	8.49	4.22	0.19	0.55	0.28
S5	5.2	5.4	10.99	5.84	0.16	0.72	0.36
S6	5.2	4.6	11.49	5.19	0.20	0.69	0.40
S7	5.0	4.8	14.19	4.06	0.21	0.55	0.32
S8	5.4	4.9	12.21	6.00	0.31	1.03	0.44
S9	4.8	5.1	12.51	5.52	0.16	1.12	0.65
S10	5.5	2.6	11.37	6.17	0.27	1.37	0.36
S11	5.0	2.5	10.57	4.22	0.17	1.00	0.34
S12	5.4	3.6	10.91	5.19	0.31	0.99	0.33
S13	5.1	2.9	11.41	4.22	0.37	0.82	0.34
S14	6.1	1.3	8.75	8.92	0.23	1.42	0.38
S16	4.8	2.8	10.45	4.22	0.34	0.92	0.25
S17	5.9	3.6	12.07	6.49	0.40	1.07	0.29
S18	5.5	4.4	12.09	6.17	0.38	1.03	0.32
S19	5.5	3.0	11.43	4.87	0.33	0.83	0.28
S20	5.2	2.9	11.71	4.87	0.28	1.07	0.28

나. 농경지 토양의 유효인산, 총질소 농도 분포

연구지역 농경지 토양의 유효인산과 총질소의 농도분포는 표-11과 같다.

표 11. 농경지 토양의 유효인산, 총질소 농도 분포

sample	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
* Available P_2O_5 (ppm)	69.2	87.1*	56.9	89.5*	82.3*	82.3*	72.6*	93.2*	50.8	19.8
Total N (%)	0.05	0.10	0.18	0.11	0.24	0.09	0.14	0.21	0.07	0.04
sample	S11	S12	S13	S14	S16	S17	S18	S19	S20	
Available P_2O_5 (ppm)	22.5	69.0	72.6*	28.6	99.2*	59.3	56.1	53.2	44.8	
Total N (%)	0.09	0.11	0.12	0.02	0.10	0.11	0.11	0.05	0.07	

*Lancaster법 유효인산으로 100 ppm을 상회할 것으로 여겨지는 수치들

표 11에서 보듯이 농경지의 인은 상당한 수준으로 축적되어 있음을 알 수 있다. 농촌진흥청의 농토배양 10개년 사업에 의하여 조사된 '60년대로부터 '80년대까지의 토양의 화학적 성질변화(표-12)와 비교하여 볼 때 6개 지점이 110 ppm(Lancaster) 이상의 유효인산 집적을 보이고 있다. 이것은 Lancaster/Bray No 1 17.63/12.53(임선욱 등, 1993)의 상호관계를 이용하여 개략적으로 비교한 결과이다. 그리고 토양검정 결과, 논토양의 경우 유효인산 함량이 100 ppm(Lancaster) 이하일 때 인산을 시용하도록 권장하고 있는 사실을 고려할 경우에는 총 14개 지점 중 8개 지점이 이미 100 ppm을 상회하고 있어 더이상 인산 비료를 시용하지 않아도 될 수준이다. 이러한 인산의 과다한 집적은 필요 없는 비료에 대한 농임의 손실이며, 토양 중 양분의 불균형 및 환경오염

의 문제를 유발하게 된다. 총질소의 농도는 앞으로의 연구단계에서 토양 깊이 별로 변화하는 양태와 시기 별로 변화하는 질산태 질소와 암모니아성 질소의 동태를 파악함로써 보다 명확하게 주변환경에 미치는 영향을 분석할 수 있을 것으로 여겨진다.

표 12. 논토양의 화학적 성질의 변화

년 도	pH (1:5)	유기물 (%)	유효인산 (ppm)	치환성 양이온(me/100g)		
				K	Ca	Mg
1964- 68	5.5	2.6	60	0.23	4.5	1.8
1969- 79	5.9	2.4	88	0.31	4.4	1.7
1980- 88	5.7	2.3	107	0.27	3.8	1.4

(자료 : 농촌진흥청, 농토배양 10개년 종합보고서, 1989)

연구지역의 치환성 양이온은 Mg의 경우 전국 평균치보다 다소 낮은 수준을 보이고 있으나, K는 다른 지역과 마찬가지로 집적된 양상을 보이며 Ca는 전국 평균치보다 월등히 높은 수준으로 전지역에 걸쳐 집적되어 있음을 알 수 있다.

다. 주변 수질의 질소와 인의 변화

연구지역 지표수의 각 시료체취 지점에 대한 총인, 암모니아성 질소, 질산태 질소, 유기태 질소, 총질소의 변화는 표 13 17**과 같다.**

표 13. **수질시료의 총인 농도의 변화**(ppm)

SITE	1차 (5/18)	2차 (5/23)	3차 (6/9)	4차 (6/16)	5차 (7/7)	6차 (7/21)	7차 (8/11)	8차 (9/23)
	0.04		0.03	0.04	0.03	0.05	0.04	0.04
W3	0.23		0.06	0.49	0.09	0.05	0.06	0.06
W4	0.17		0.36	0.08	0.11	0.03	0.05	0.05
W5	0.80		0.32	0.19	0.12	0.36	0.19	0.19
W6	0.05		0.04	0.03	0.03	0.09	0.04	0.04
W7		5.80	5.14	6.58	6.97	0.45	0.35	0.35
W9		0.15	0.44	0.11	0.05	0.05	0.06	0.06
W11		0.09	0.08	0.11	0.08	0.08	0.07	0.07
W12		0.22	0.28	0.21	0.13	1.43	0.73	0.73
W13		1.59	0.72	1.52	0.41	0.34	0.20	0.20
W14		1.05	1.18	0.76	1.30	0.24	0.26	0.26
W15								

표 14. **수질시료의 암모니아성 질소의 변화**(ppm)

SITE	1차 (5/18)	2차 (5/23)	3차 (6/9)	4차 (6/16)	5차 (7/7)	6차 (7/21)	7차 (8/11)	8차 (9/23)
W3	0.03		0.04	0.07	0.03	0.10	0.01	0.01
W4	0.02		0.05	0.09	0.04	0.12	ND	0.01
W5	0.03		0.02	0.04	0.03	0.12	0.01	0.04
W6	0.50		ND	0.17	0.04	0.12	ND	0.09
W7	0.05		0.07	0.07	0.01	0.17	0.01	0.01
W9		3.22	3.28	3.72	3.50	0.42	0.14	0.73
W11		0.06	0.19	0.11	0.03	0.11	0.01	0.01
W12		0.04	0.08	0.10	0.04	0.13	0.01	ND
W13		0.12	0.20	0.20	0.18	0.14	0.11	0.09
W14		1.32	0.92	1.92	1.51	0.08	0.03	1.19
W15		1.06	1.50	1.92	1.51	0.04	0.01	0.01

표 15. **수질시료의 질산성 질소의 변화**(ppm)

SITE	1차 (5/18)	2차 (5/23)	3차 (6/9)	4차 (6/16)	5차 (7/7)	6차 (7/21)	7차 (8/11)	8차 (9/23)
W3	0.35		0.27	0.27	0.31	0.34	0.18	0.11
W4	0.31		0.31	0.32	0.25	0.29	0.18	0.11
W5	0.03		0.28	0.28	0.38	0.41	0.14	0.09
W6	0.03		0.46	0.28	0.12	0.16	0.32	0.29
W7	0.32		0.19	0.28	0.25	0.31	0.70	0.06
W9		0.45	0.18	0.49	0.39	4.42	0.53	0.21
W11		0.18	0.25	0.40	0.60	0.63	0.17	0.10
W12		0.35	0.36	0.29	0.35	0.39	0.34	0.14
W13		0.22	0.13	0.10	0.31	0.50	0.17	0.13
W14		0.18	0.27	0.22	0.55	2.06	0.52	0.21
W15		0.34	0.08	0.24	0.53	2.04	0.64	1.43

표 16. 수질시료의 유기태 질소의 변화(ppm)

SITE	1차 (5/18)	2차 (5/23)	3차 (6/9)	4차 (6/16)	5차 (7/7)	6차 (7/21)	7차 (8/11)	8차 (9/23)
W3	0.22		0.06	ND	ND	ND	0.02	0.02
W4	0.40		0.03	ND	ND	0.01	0.01	0.02
W5	0.13		0.02	ND	0.02	0.02	ND	0.02
W6	0.14		0.07	0.01	0.03	0.03	ND	0.01
W7	0.15		0.04	0.01	ND	0.05	0.01	0.04
W9		1.89	0.21	0.07	0.32	0.08	0.08	0.21
W11		0.20	0.10	0.03	0.02	0.01	0.02	0.03
W12		0.14	0.12	0.02	0.02	ND	0.01	0.10
W13		0.04	0.10	0.05	0.14	0.06	0.03	0.06
W14		0.43	0.14	0.03	0.15	0.03	0.03	0.07
W15		0.45	0.17	0.03	0.01	0.11	0.03	0.07

표 17. 수질시료의 총질소의 변화(ppm)

SITE	1차 (5/18)	2차 (5/23)	3차 (6/9)	4차 (6/16)	5차 (7/7)	6차 (7/21)	7차 (8/11)	8차 (9/23)
W3	0.60		0.37	0.34	0.34	0.44	0.21	0.14
W4	0.73		0.39	0.41	0.29	0.42	0.19	0.14
W5	0.19		0.32	0.32	0.43	0.55	0.15	0.15
W6	0.67		0.53	0.46	0.19	0.31	0.32	0.39
W7	0.52		0.30	0.36	0.26	0.53	0.72	0.11
W9		5.26	3.67	4.28	4.21	4.92	0.75	1.15
W11		0.44	0.54	0.54	0.65	0.75	0.20	0.14
W12		0.53	0.56	0.41	0.41	0.52	0.36	0.24
W13		0.38	0.43	0.35	0.63	0.70	0.31	0.28
W14		1.93	1.33	2.17	2.21	2.17	0.58	1.37
W15		1.85	1.75	2.19	2.05	2.19	0.68	1.51

연구지역을 토지이용형태로 보았을 때 순수농업지역, 축산영농지역, 생활주거지역으로 나눌 수 있다. 지표수의 오염정도(총질소, 암모니아성질소, 총질소)는 축산영농지역(W9, W13), 생활주거지역(W14, 15), 순수농업지역의 순으로 나타나고 있으며 그 농도의 수준은 강우량에 영향을 받는 것으로 보인다.

2. 토양중 농업화학물질의 순환 기작 연구

가. 시범 농경지의 토양특성

시범 농경지의 토양의 층위별 깊이와 입경분포는 표 18과 같다. 시범 농경지의 토양은 대체로 투수성이 양호한 사양토 내지 양질사토로 토양통은 A지역의 경우 월곡통이며 B와 C지역의 경우는 은곡통이다. 따라서 질소나 인의 순환이 빠르게 진행할 수 있는 성질을 가지고 있다. 그러나 실제 A지역의 경우는 3년전 객토를 한곳으로 심토층에서 형태를 식별할 수 있을 정도의 볏짚이 아직 부숙되지 않은 상태로 발견되었고 C지역의 경우는 경사지를 절개하여 절토를 하부에 성토하여 평지로 만들어 농지정리를 한곳으로 실제 정밀토양도상의 토양통과는 다소간의 차이가 있었다.

A지역과 C지역의 경우는 토심이 깊고 지하수위도 비교적 낮은 곳에서 형성되어 70cm이하에서도 지하수위를 확인할 수 없었다. B지역의 경우는 30cm이하에서 지하수위를 확인할수 있었고 30cm이하에서 석력함량이 매우 높았다.

표 18. 시험 농경지 토양의 깊이별 입경분포

	깊이 (cm)	모래(%)	실트(%)	점토(%)	토성
A-1	0 15	71.45	27.53	1.02	양질사토
A-2	15 20	61.29	37.25	1.46	사양토
A-3	20 60	75.15	22.94	1.92	양질사토
A-4	60 75	61.05	37.79	1.16	사양토
A-5	75	64.03	34.79	1.18	사양토
B-1	0 10	62.47	36.14	1.39	사양토
B-2	10 15	62.07	36.65	1.28	사양토
B-3	15 30	93.50	5.93	0.57	사토
B-4	30 35	72.63	26.18	1.18	양질사토
B-5	35	89.18	10.04	0.78	사토
C-1	0 15	60.66	38.07	1.27	사양토
C-2	15 20	73.23	26.04	0.73	양질사토
C-3	20 40	78.45	20.52	1.04	양질사토
C-4	40 70	56.17	41.88	1.96	사양토
C-5	70	70.44	27.59	1.97	사양토

시범 농경지의 토양의 화학적 성질은 표 19와 같다.

표 19. 시험 농경지의 화학적 성질

	pH	유기물 함량 (%)	양이온 교환용량 (cmol/kg)	치환성양이온(cmol/kg)				염기 포화도 (%)
				Na	K	Mg	Ca	
A-1	5.4	0.54	9.80	0.09	0.37	0.12	0.44	10.43
A-2	5.8	0.73	12.12	0.10	0.42	0.17	0.73	11.75
A-3	6.2	0.06	10.08	0.09	0.27	0.29	0.76	14.07
A-4	6.0	3.04	11.08	0.13	0.35	0.24	1.20	17.29
A-5	6.3	0.94	10.40	0.11	0.27	0.19	0.79	13.03
B-1	6.1	2.23	11.84	0.19	0.50	0.17	0.70	13.12
B-2	5.9	2.80	11.32	0.27	0.25	0.20	0.79	13.27
B-3	6.0	0.19	4.76	1.05	0.18	0.09	0.32	34.36
B-4	5.3	1.56	10.24	0.22	0.37	0.19	0.70	14.44
B-5	5.9	0.11	4.72	0.11	0.16	0.10	0.38	15.90
C-1	5.4	1.72	11.60	0.12	0.43	0.21	0.66	12.35
C-2	5.8	1.45	11.56	0.13	0.21	0.28	0.95	13.56
C-3	6.2	1.52	10.16	0.11	0.30	0.29	1.01	16.91
C-4	6.4	0.71	14.92	0.20	0.35	0.27	1.20	13.49
C-5	6.4	0.49	12.32	0.18	0.15	0.19	0.79	10.64

나) 시범 농경지의 질소와 인의 물질 순환에 대한 연구

수도 이양전의 시범 농경지 토양의 화학적 성질은 A지역과 C지역 경우는 우리 나라 일반 논토양의 평균 유기물함량인 2.5%에는 부족한 경우였고 B지역은 비교적 양호하였다. 양이온 교환용량의 경우는 10전후의 값으로 일반 농경지의 값과 유사하였지만 염기포화도는 낮은 편이었다. 특히 치환성 양이온의 경우 Ca함량이 토양도상의 월곡통이나 은곡통의 값에 비하여 매우 낮게 나타났다.

조사지역 토양의 시기별 깊이별 전질소, 암모니아 성질소, 질상성질소의 함량은 표 20, 21, 22과 같다.

표 20. **농경지 토양의 전질소 농도 변화**(%)

	1차 (4/26)	2차 (5/20)	3차 (6/26)	4차 (7/24)	5차 (9/2)
A1	0.038	0.044	0.058	0.078	0.058
A2	0.032	0.011	0.074	0.031	0.047
A3	0.021	0.011	0.044	0.042	0.029
A4	0.101	0.124	0.019	0.016	0.037
A5	0.050	-	-	0.010	0.021
B1	0.134	0.124	0.165	0.200	0.179
B2	0.130	0.021	0.051	0.090	0.066
B3	0.011	0.057	0.062	0.051	0.055
B4	0.055	0.158	0.032	0.068	0.047
B5	0.027	0.013	0.027	0.053	0.037
C1	0.113	0.080	0.104	0.125	0.105
C2	0.086	0.048	0.069	0.105	0.068
C3	0.074	0.050	0.069	0.109	0.060
C4	0.053	0.046	0.022	0.105	0.050
C5	0.027	0.029	0.028	0.047	0.037

※ - : **시료 미채취**

표 21. **농경지 토양의 암모니아성 질소 농도 변화**(mg/kg)

	1차 (4/26)	2차 (5/20)	3차 (6/26)	4차 (7/24)	5차 (9/2)
A1	8.40	14.00	10.08	3.20	7.70
A2	2.80	8.40	7.28	2.00	6.20
A3	4.20	9.80	3.92	1.40	8.70
A4	5.60	23.80	4.20	0.20	3.70
A5	5.60	-	-	ND	5.20
B1	18.20	18.2	19.32	0.60	14.70
B2	11.20	9.80	5.60	0.20	7.20
B3	4.20	9.80	18.20	ND	9.70
B4	5.60	14.00	15.40	0.60	5.20
B5	4.20	5.60	4.20	ND	3.20
C1	5.60	9.80	15.68	0.60	9.70
C2	4.20	4.20	3.92	ND	6.70
C3	4.20	5.60	2.52	ND	3.20
C4	7.00	4.20	3.08	0.40	1.70
C5	8.40	5.60	5.60	0.20	2.70

표 22. 농경지 토양의 질산성 질소 농도 변화(mg/kg)

	1차 (4/26)	2차 (5/20)	3차 (6/26)	4차 (7/24)	5차 (9/2)
A1	9.80	4.20	4.48	8.20	7.70
A2	4.20	5.60	2.52	4.60	6.20
A3	2.80	2.80	2.24	10.00	8.70
A4	21.00	7.00	2.80	7.20	3.70
A5	9.80	-	-	4.80	5.20
B1	ND	7.00	9.80	3.40	14.70
B2	4.20	2.80	0.56	9.40	7.20
B3	1.40	7.00	0.56	13.60	9.70
B4	1.40	7.00	ND	16.00	5.20
B5	1.40	1.40	ND	14.00	3.20
C1	14.00	1.40	5.88	41.00	9.70
C2	9.80	1.40	0.28	14.00	6.70
C3	14.00	1.40	1.68	8.00	3.20
C4	9.80	1.40	0.56	8.40	1.70
C5	5.60	4.20	0.56	8.00	2.70

※ - : 시료 미채취, ND : 불검출

1차 시료 채취기는 담수의 되기 전으로 화학비료의 투여가 있지 않았다.. 2차 시기는 이앙 당일이며 B와 C지역은 이앙직후에 기비를 주었기 때문에 화학비료의 시비는 A지역 만 있었다. 3차시기는 장마가 시작할 시기이며 4차시기는 장마가 끝난 직후 수량이 비교적 풍부한 시기이며 5차시기는 수확을 위한 낙수를 시작할 시기이었다.

A지역의 경우 화학비료 시비후 표토에서 약간의 전질소함량의 증가를 보였고 담수후 암모니아성 질소의 증가와 질산성질소의 감소를 보였다. 이는 일반 논토양의 성질을 그대로 나타내고 있었다. 그러나 장마후 암모니아성질소의 감소와 질산성질소의 증가 경향으로 미루어 보아 상류 수계의 오염원이 영향을 미치는 것으로 사료 된다. 또 장마후 아래로의 질산성질소의 이동 경향이 보였다.

B지역의 경우 담수후 질산성 질소의 증가 경향이 뚜렷히 나타났다. 이는 관개수의 수질이 많은 무기태 질소를 함유하고 있고 표토에서의 빠른 투수속도로 지하수위는 높

지만 표토에서는 산화상태가 유지되고 환원상태가 덜 발달되어 질소의 산화가 일어 나는 것으로 사료되며 장마후 심토에서의 질산성 질소의 증가가 급격히 일어 났다.

C지역은 다른 지역에 비교하여 상대적으로 표토에서 투수속도가 느려기 때문에 장마후 질산성 질소의 아래로의 이동 정도가 약했지만 증가 경향이 보였고 화학비료 시비후의 암모니아성 질소의 증가도 표토에서의 느린 투수정도를 나타내 주었다.
3지역 모두 외부 오염원으로부터 질소 유입이 일어나며 특히 강우가 있고난 후 지표의 유속이 빨라지고 산소 공급이 원활한 시기에 지하로의 질산성질소 이동이 많았다.

농경지 토양의 총인 함량과 유효인산의 함량은 표 23, 24와 같다. 점토함량이 낮은 사질토임에도 불구하고 인산이 높게 집적되어 있었고 총인과 유효인의 함량을 비교해 보면 A의 경우 총인의 함량은 다른 지역에 비하여 높은 함량을 보이지만 오히려 유효인산의 함량은 표토의 경우 가장 함량을 보였다.

특히 모래함량이 높기 때문에 담수후 인산 함량이 심토에서 감소하는 경향은 인산이 토양내에서 쉽게 고정되는 성질을 가지고 있지만 아래로의 용탈이 일어나고 있음을 시사하고 있다. B와 C지역의 경우는 관개수의 오염물질 유입과 빠른 투수성으로 인산 성분의 순환이 활발할 것으로 사료된다.

표 23. **농경지 토양의 총인 농도 변화**(mg/kg)

	1차 (4/26)	2차 (5/20)	3차 (6/26)	4차 (7/24)	5차 (9/2)
A1	1298	969	886	980	1145
A2	741	763	689	721	1145
A3	565	499	717	744	938
A4	660	646	548	752	765
A5	579	-	-	501	822
B1	909	286	829	972	953
B2	770	440	450	547	499
B3	293	440	394	516	546
B4	587	572	436	676	422
B5	110	95	367	395	399
C1	653	198	543	782	722
C2	719	462	379	896	461
C3	990	360	295	896	430
C4	425	345	309	554	323
C5	198	279	309	425	307

※ - : **시료 미채취**

표 24. **농경지 토양의 유효인산**(P_2O_5) **농도 변화**(mg/kg)

	1차 (4/26)	2차 (5/20)	3차 (6/26)	4차 (7/24)	5차 (9/2)
A1	31.27	58.84	30.56	85.70	51.16
A2	50.62	20.10	50.83	38.13	90.05
A3	29.41	27.92	20.57	46.06	62.49
A4	69.61	78.91	30.71	32.26	23.79
A5	33.13	-	-	25.83	32.28
B1	93.80	71.84	92.58	121.92	133.66
B2	68.49	20.90	19.66	70.12	50.97
B3	7.44	30.23	23.75	49.75	63.24
B4	25.68	54.02	22.69	117.00	21.33
B5	13.03	19.29	19.66	22.55	27.19
C1	51.37	45.66	25.56	47.29	52.29
C2	142.93	23.47	16.49	177.96	26.24
C3	291.08	10.29	6.05	166.21	14.23
C4	12.66	4.34	6.35	66.70	4.91
C5	31.64	6.43	17.40	76.00	10.57

토양검정시 Bray-1법에의한 유효인산함량은 45mg/kg이상일 경우 풍부한 판단하게 되는데 작물이 많은 인산 요구량을 요구하는 시기인 이앙후 초기에서만 표토에서 기준치 보다 약간 낮은 값을 유지하고 있으나 전체적으로 수확 후에도 인산 축적정도가 심하게 나타나고 있다.

수질시료의 총질소 함량과 암모니아성 질소와 질산성 질소의 함량 변화는 표 25, 26, 27과 같고 총인과 수용성 인의 함량은 표 28, 29와 같다.

순수한 자연의 물에는 항상 여러 물질이 녹아 있어서 이것을 농작물에 공급하면 녹아 있는 어떤 물질은 양분이 된다. 이를 양분의 천연공급량이라 한다. 그러나 지역에 따라서는 농업용수에 지나치게 많은 물질이 녹아 있거나 부유물이 섞여 있어 작물의 생육에 피해를 직접 또는 간접으로 끼치게 된다.

화학비료시비 시기 직후에는 논물의 무기태 질소 농도가 관개수인 하천수보다 높게 나타나지만 연중 하천수의 무기태 질소농도가 높게 나타나고 있다.

이앙 직후부터 장마가 오기전 까지 갈수기에 있어서 하천수의 총질소 농도는 수도작용수기준인 1ppm을 상회하고 있다.

표 25. 수질시료의 총질소의 변화(mg/kg)

		1차 (5/20)	2차 (6/26)	3차 (7/24)	4차 (9/2)	5차 (10/7)
A	논물	-	1.15	0.60	-	-
	하천수	2.60	3.08	2.43	1.68	0.80
B	논물	-	-	3.83	9.58	-
	하천수	5.78	7.56	6.02	6.33	5.73
C	논물	-	3.26	0.85	2.04	-
	하천수	0.56	3.63	12.37	1.28	6.96

※ - : 시료 미채취

표 26. 수질시료의 암모니아성 질소의 변화

		1차 (5/20)	2차 (6/26)	3차 (7/24)	4차 (9/2)	5차 (10/7)
A	논물	-	1.00	0.60	-	-
	하천수	1.56	0.64	0.4	0.60	ND
B	논물	-	-	1.44	9.00	-
	하천수	5.48	5.52	3.16	5.00	5.60
C	논물	-	3.12	0.72	2.00	-
	하천수	0.52	2.04	6.16	0.88	6.60

※ - : 시료 미채취, ND : 불검출

표 27. 수질시료의 질산성 질소의 변화

		1차 (5/20)	2차 (6/26)	3차 (7/24)	4차 (9/2)	5차 (10/7)
A	논물	-	0.15	ND	-	-
	하천수	1.04	2.44	2.03	1.08	0.80
B	논물	-	-	2.39	0.58	-
	하천수	0.30	2.04	2.86	1.33	0.13
C	논물	-	0.14	0.13	0.04	-
	하천수	0.04	1.59	6.21	0.40	0.36

※ - : 시료 미채취, ND : 불검출

표 28. 수질시료의 수용성인의 변화

		1차 (5/20)	2차 (6/26)	3차 (7/24)	4차 (9/2)	5차 (10/7)
A	논물	-	ND	ND	-	-
	하천수	ND	ND	ND	ND	ND
B	논물	-	-	ND	ND	-
	하천수	ND	ND	ND	ND	0.47
C	논물	-	0.39	ND	ND	-
	하천수	ND	ND	0.49	ND	1.41

※ - : 시료 미채취, ND : 불검출

표 29. 수질시료의 총인 변화

		1차 (5/20)	2차 (6/26)	3차 (7/24)	4차 (9/2)	5차 (10/7)
A	논물	-	0.22	0.04	-	-
	하천수	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01
B	논물	-	-	0.17	0.31	-
	하천수	0.63	0.36	0.27	0.38	0.75
C	논물	-	0.52	0.10	0.38	-
	하천수	0.18	0.23	0.60	0.48	6.77

※ - : 시료 미채취

논벼의 보통 재배에 있어서 10a당 450kg의 수량을 생각하는 경우 질소 12kg, 인산 5Kg, 가리 8kg을 시용한다. 대체로 질소 비료의 시비는 중부지방에서는 밑거름:제1회 덧거름:이식거름의 비율로 50:35:15로 한다. 인산질 비료는 정량을 밑거름으로 시용하며, 가리질 비료는 정량의 반 또는 2/3을 밑거름으로 주고 나머지를 질소비료와 같이 이삭 거름으로 시용하는 것이 보통이다.

시범농지의 시비량은 관행적으로 마지기당 기비로 복합비료(21-17-17)를 1포(20kg)를 주고 있으며 이앙후 추비로 요소 1/2포(20kg)을 주고 있다. 그러나 농민들은 관행적으로 1마지기를 150평내지 200평으로 간주하고 있어서 단위면적당 시비량은 농가마다 다소간의 차이가 있었다. 그외 규산질 비료나 석회질 비료는 시비하지 않고 있었다. 200평을 1마지기로 기준하여 질소 인산 가리의 10α당 투여량은 13, 5.1 5.1kg이다. 즉 150평을 기준으로 하는 경우에는 과잉의 질소질 비료와 인산질 비료가 투여되고 있다.

수도작에 있어서 관개해야 할 수량은 용수량에서 유효강우량을 공제하여 산출된다. 유효강수량은 강우량과 그의 분포애 따라 다르며 호우의 빈도가 클수록 유효 강우량은 적어진다. 벼농사기간의 평균 유효강수량은 수원지방에서는 약 76%라고 한다. 이와 같은 조건을 참작하여 논벼에 있어서 관개해야 할 수량을 계산하면 1,070mm이다. 이러한 강우와 관개로 인하여 부여되는 양분의 천연공급량은 10a당 3요소를 5kg내외로 받고 있다. 그러나 관개수가 오염되면 오히려 피해를 받게 되므로 유의 해야한다.

B와 C 지역의 경우는 오염된 관개수의 평균 농도를 토대로 부하되는 질소량을 산출해보면 4.69, 6.28Kg정도의 부하를 받고 있다. 실제 수확량과비교해 보면 B와 C 지역

의 수량이 A지역보다 떨어지고 있다.

표 30. 단위면적당 생산량

	A 지역	B 지역	C 지역
수확량(kg/10a)	507	445	490

B와 C지역의 수량성이 A지역 보다 떨어지는 원인의 한가지는 관개수의 과잉 질소 부하가 수량에 영향을 주고 있음을 예상할 수 있다. 뿐만아니라 이런 정량적인 수량뿐만 아니라 육안으로도 품질의 저급화 현상이 보였다. 김등(1993)의 논문에서도 오염된 관개수로인한 미질의 저하를 보고하고 있고 이러한 품질 저하의 개선 방법으로 우선적으로 질소질 비료의 감비를 강조하였다. 또한 이등(1987)은 축산 폐수의 피해에 때한 수도의 품질 개선의 방법으로 토양개량제 시용의 효과를 보고하였다.

일반적으로 추천시비량의 결정은 많이 사용되고 있는 화학비료의 이용효율과 양분의 천연 공급량을 기준으로 성정되게 되는데 쌀 150kg을 생산하는데 필료한 질소 인산 가리의 양은 각각 3.5, 1.2 3.0kg정도이며 천연으로 공급되는 양은 대략 2.3, 3.0, 1.5 정도 된다.

이번 연구지역의 수량을 고려하여 작물체로의 이행한 정도는 질소, 인산, 가리가 각각 10, 3, 3kg정도로 나머지는 토양중 잔류하거나 지표수나 지하수를 따라 이동하게 되며 질소의 경우는 탈질등을 통해 공기중으로 손질 된다.

질소의 경우 요소태로 투입된 경우 초기에는 요소태 자체로의 이동과 가수분해되어 암모니아태 질소로 변환되며 이러한 두가지형태의 질소는 토양내에서 이동의 정도는 약하고 산화된 형태인 질산태 질소의 경우는 빠른 이동을 보이며 담수조건에서 10%정도의 질소가 탈질로 인한 손실있다고 보고된 경우가 있다. 전체적으로 토양내로 투여된 질소는 시비량과 천연공급량의 합이 20kg 정도이며 이중 50% 정도만이 작물체로 이동하며 10%정도는 탈질로인해 공기중으로 손실되며 나머지 40%정도가 토양에 잔류하거나 수계로 이동하게되는데 시간별 토양중 전질소 함량을 고려할 때 수계로의 이동

이 많을 것으로 사료된다.

인산의 경우 연구지역의 시비형태는 복합비료의 형태로 전량 기비로 투여되는데 우리나라에서 생산되는 복합비료내 인산의 형태는 인산암모늄형태이다. 인산 암모늄은 수용성이 50%이상으로 단비로 많이 사용되는 용성인비에 비하여 물에 대한 용해도가 높아 토양내에서도 상하이동이 비교적 활발하다.

질소와 달리 인산의 경우는 탈질과정과 같은 공기중 손실을 없고 토양에 고정되는 성질이 강하다. 그러나 연구지역의 토양은 대개 점토함량이 낮은 사질토양으로 시비양분의 손실이 많은 지역이다. 인산의 경우도 50%정도 만이 작물체로 이행하고 나머지 50%는 토양에 잔류하거나 수계로 이동헤게되는데 인산의 경우는 시기별 총인산의 함량을 고려할 때 질소와 마찬가지로 수계로의 이동이 많을 것으로 사료되지만 이동 속도는 질소보다 느릴 것으로 사료된다.

본 연구지역의 토양은 점토 함량이 낮은 사질토양으로 시비 양분의 손실이 많을 것으로 예상되며 관개수 오염 또한 심각히 고려해야할 지역이다. 현재의 영농 형태로 수확량의 증가와 더불어 주변 환경 오염 정도의 경감을 위해 점질토양의 객토 또는 토양 개량제의 시용과 관행적으로 투여하고 있는 시비량을 토양검정을 통해 적절히 개선되어야 하지만 특히 B와 C지역은 질소와 인산질 비료의 감비가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

3. 소규모 포장실험 연구

토양중 물질의 행동은 수분의 이동에 큰 영향을 받기 때문에 토양에 투입된 비료등의 영농자재중 식물에 흡수되거나 토양에 흡착되지 못하는 오염물질의 행동을 연구하기위해서는 단순한 칼럼실험보다는 경작중인 농경지토양에서의 깊이에 따른 토양수분 프로파일을 조사하는 것이 더 필요하다. 따라서 본 연구에서는 논토양 조건에서의 토양수분프로파일과 함께 지하수위의 변동도 함께 조사하고자 한다.

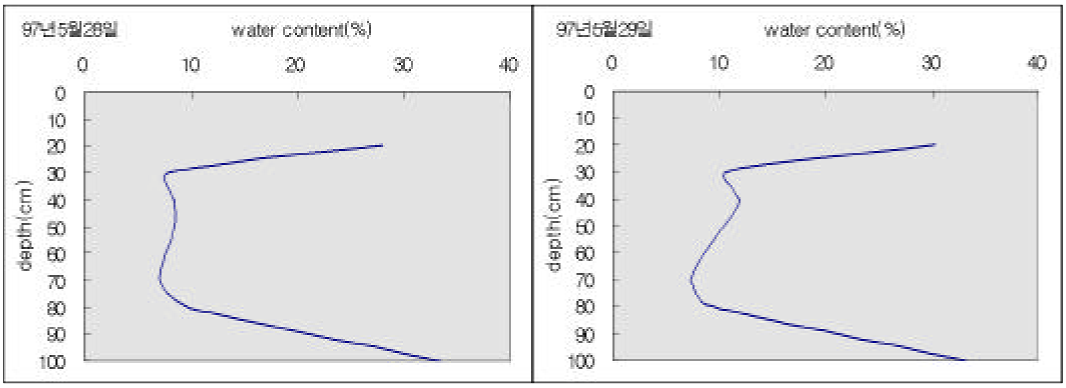
연구포장의 토양은 정밀토양도상에서 강서통으로 분류되고 토성은 대체로 양토로 분류되어있지만 실제 토양을 층위별로 조사한바 0-25cm까지는 양토였고 그 이하는

사질토였다(표 31).

표 31. 연구포장의 토양특성

토양층위	깊이(cm)	뚜께(cm)	토성	용적밀도(g/cm3)
A1	0- 15	15	식양토	1.40
A2	15- 25	10	미사질양토	1.59
B	25- 35	10	거친사양토	1.47
C1	35- 60	25	사토	1.37
C2	60- 90	30	사토	1.42
C3	90- 120	30	사토	1.42

그림 4는 모두 12회에 걸쳐 조사한 토양수분 프로파일이다.



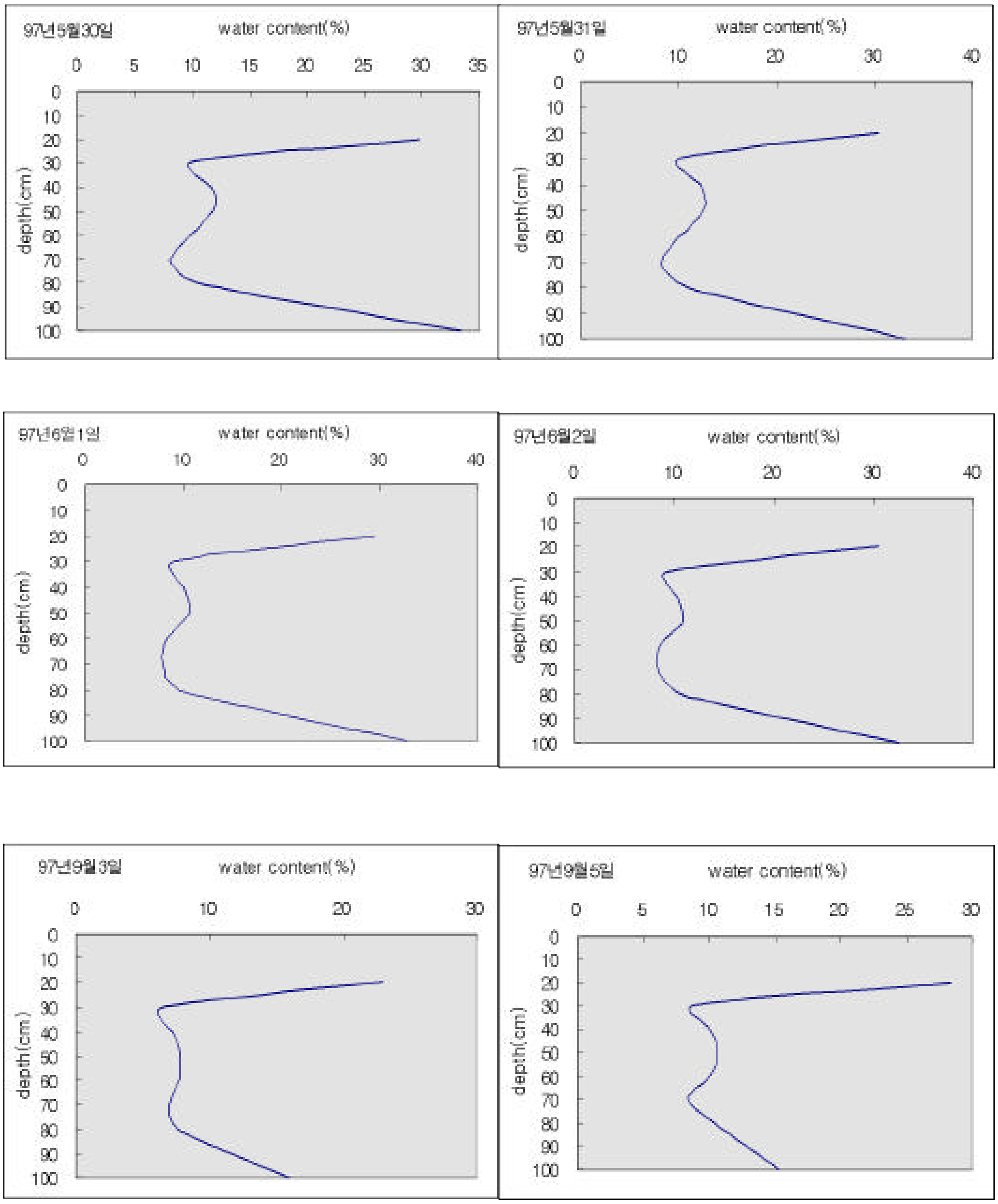


그림4. 토양수분 프로파일

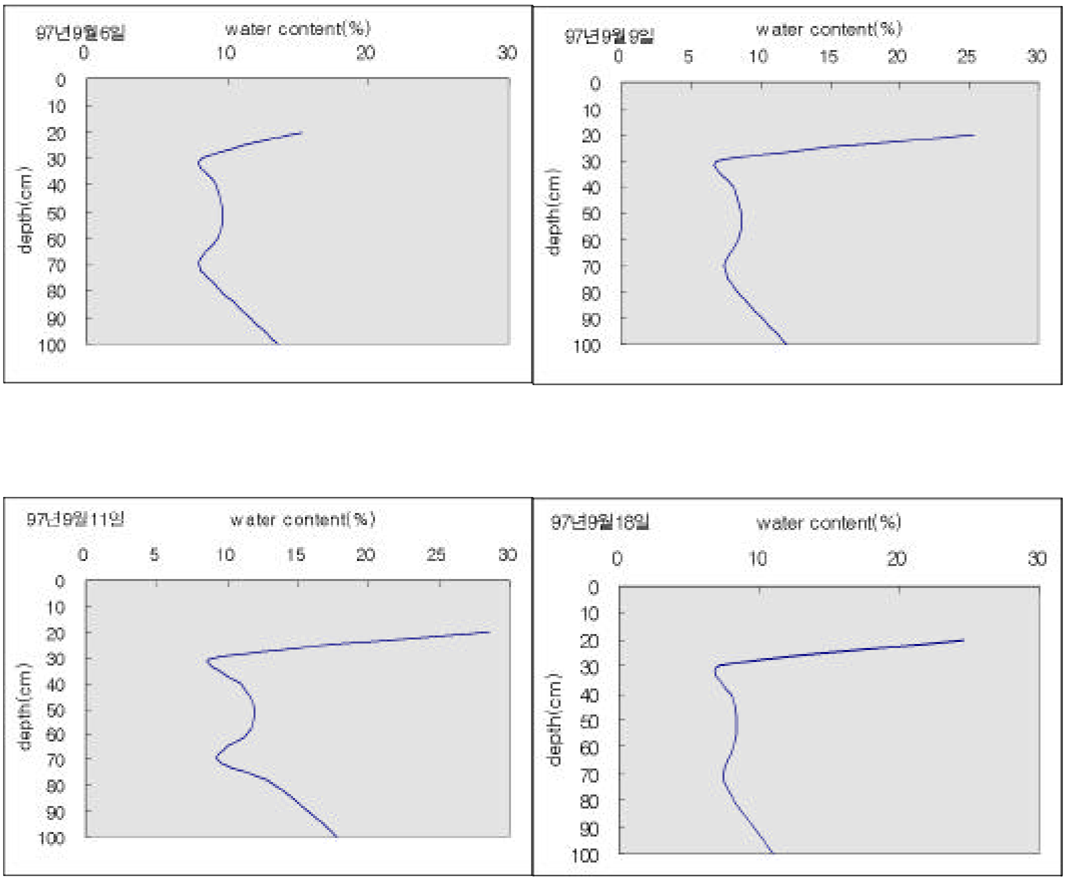


그림 4. **토양수분 프로파일**(**계속**)

그림 4**에 의하면 전반적으로** 20cm**와** 100cm**부근에서 가장 높은 수분함량을 나타냈는데 이는 관개와 강우에 의한 지표로 부터의 수분 공급과 지하수위 변동에 의한 수분의 상향이동에 의한 결과로 판단된다. 관개와 강우가 많았던** 5**월과** 6**월경은** 20cm**와** 100cm**부근에서의 수분함량이** 30%**이상의 수준이지만 관개와 강우가 거의 없었던** 9**월**

경은 20cm부근에서는 30%이하, 100cm부근에서는 20%이하에 불과했다. 특히 100cm 부근의 수분함량은 지하수위와 밀접한 관련을 가지고 있는데 지하수위가 낮아질수로 수분함량이 감소하는 것으로 나타났다(그림 5).

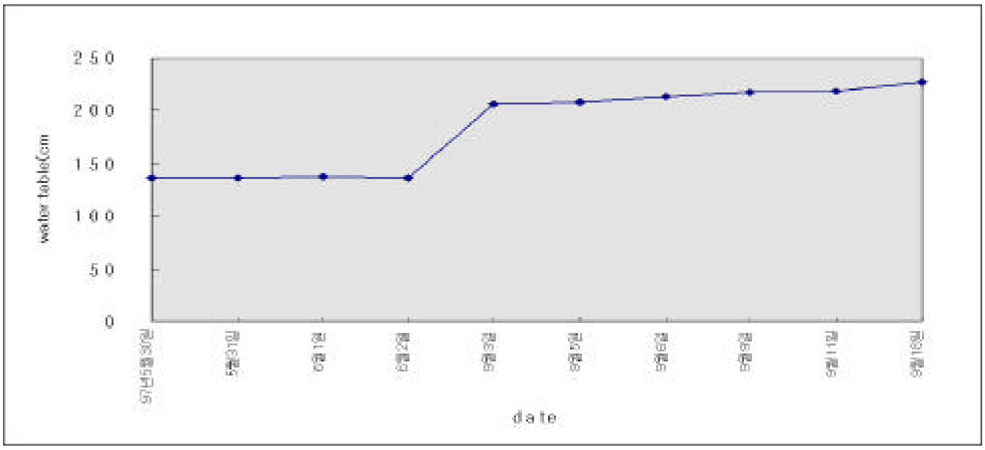


그림 5. 지하수위의 변동

지하수위는 관개와 강우가 집중된 시기에는 130cm 부근까지 상승한 상태를 유지했지만 갈수기에 접어들면서 200cm이하로 하강한 상태를 유지했다.

제 4 절 결 론

그동안 수행되었던 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 토양오염 실태 조사 분석

연구지역 토양은 크게 6개의 토양통으로 분류가능하며, 토양통별로 토양의 물리적 특성과 화학적 특성을 실측한 결과 인이 상당량 축적되었고, Mg의 경우 전국 평균치보다 다소 낮은 수준이었으며, K는 타 지역과 유사하게 집적된 양상이었고, Ca는 전국 평균치보다 월등히 높은 수준으로 전지역에 걸쳐 집적 되었다.

(2) 시범농경지의 질소, 인의 동태특성

시범농경지	질소, 인의 동태특성
A지역	· 화학비료 시비후 표토에서 약간의 전질소함량의 증가 · 담수후 암모니아성 질소의 증가와 질산성질소의 감소 · 장마후 암모니아성질소의 감소와 질산성질소의 증가 경향 - 상류 수계의 오염원이 영향을 미치는 것 · 장마후 아래로의 질산성질소의 이동 경향이 보임
B지역	· 담수후 질산성 질소의 증가 경향 뚜렷 - 관개수의 수질이 많은 무기태 질소를 함유하고 있고 표토에서의 빠른 투수속도로 지하수위는 높지만 표토에서는 산화상태가 유지되고 환원상태가 덜 발달되어 질소의 산화가 일어 나는 것으로 분석됨 · 장마후 심토에서의 질산성 질소의 증가가 급격히 일어났음
C지역	· 장마후 질산성 질소의 아래로의 이동 정도가 약했지만 증가 경향, 화학비료 시비후의 암모니아성 질소의 증가 - 표토에서의 느린 투수정도를 나타냄

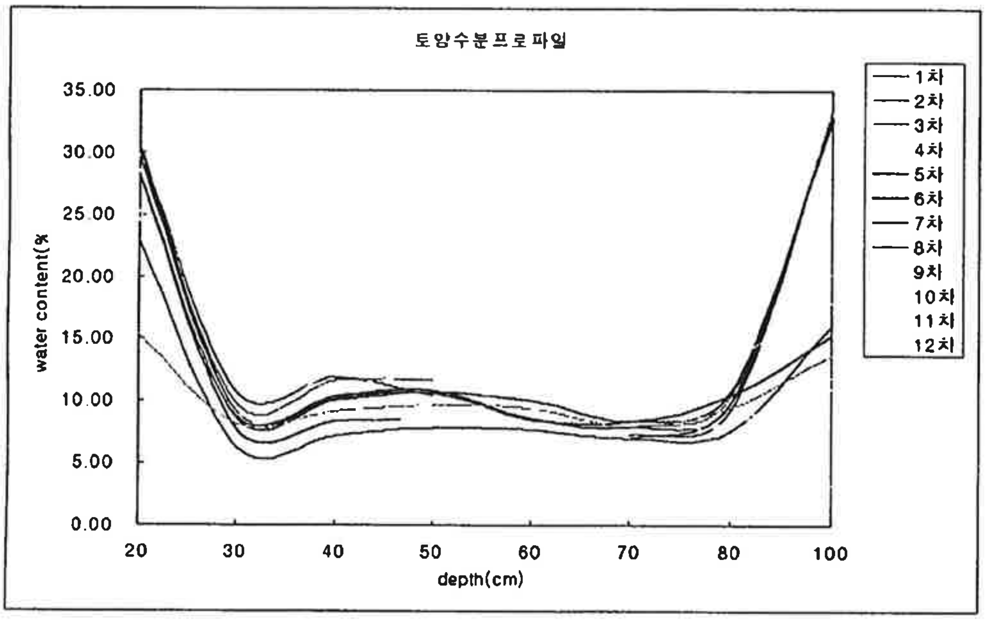
세지역 모두 외부 오염원으로부터 질소 유입이 일어났고, 강우 후 지표의 유속이 빨라지고 산소 공급이 원활한 시기에 질산태 질소의 하향이동이 두드러졌다.

(3) 주변지표수의 오염현황

연구지역은 토지이용형태로 보았을 때 순수농업지역, 축산영농지역, 생활주거지역으로 분류 가능하며, 지표수의 오염정도(총질소, 암모니아성질소, 총질소)는 축산영농지역, 생활주거지역, 순수농업지역의 순서이고, 오염물질의 농도는 강우량에 의해 영향을 받았다.

(4) 토양수분 프로파일 작성을 위한 소규모 포장 연구

연구포장의 토양은 정밀토양도상에서 강서통으로 분류되고 토성은 대체로 양토이었으며, 실제 토양을 층위별로 조사한바 0-25cm까지는 양토였지만 그 이하는 사질토였다.



토양수분프로파일은 계절과 관수에 따른 약간의 변화가 있고전반적으로 20cm와 100cm부근에서 가장 높은 수분함량을 나타냈는데 이는 관개와 강우에 의한 지표로 부터의 수분 공급과 지하수위 변동에 의한 수분의 상향이동에 의한 결과로 판단된다. 관개와 강우가 많았던 5월과 6월경은 20cm와 100cm부근에서의 수분함량이 30%이상의 수준이지만 관개와 강우가 거의 없었던 9월경은 20cm부근에서는 30%이하, 100cm부근에서는 20%이하에 불과했다. 특히 100cm 부근의 수분함량은 지하수위와 밀접한 관련을 가지고 있는데 지하수위가 낮아질수로 수분함량이 감소하는 것으로 나타났다
지하수위는 강우가 집중된 시기에는 130cm 부근까지 상승한 상태를 유지했지만 갈수기에 접어들면서 200cm이하로 하강한 상태를 유지했다.

참고문헌

1. 한국환경농화학회, 1991, 창립 10주년 기념 심포지움 농업환경보전
2. 농업과학공동기기센터, 1994, 농업용수의 수질관리기술
3. 동아기술, 1992, 수질오염·폐기물 공정시험방법
4. 농업기술연구소, 1988, 토양화학분석법
5. 환경처, 1992, 국립환경연구원보
6. 농업기술연구소, 1984, 원색도감 한국의 답토양
7. 농업기술연구소, 1984, 원색도감 한국의 전토양
8. 농촌진흥청, 1989, 농토배양10개년사업종합보고서
9. 한국비료공업협회, 1993, 비료연감
10. 임선욱 등, 1986, 한국농화학회지, 29, 62- 72
11. 김종수외 2인, 1993, 오염 관개수가 벼 생육 및 미질에 미치는 영향, 한토비지 26(2) 132- 137
12. 류관식외 2인, 1991, 관개수에 의한 시비양분의 토양중 이동에 관한 연구Ⅰ, 한토비지, 24(2) 102- 108
13. 류관식외 2인, 1991, 관개수에 의한 시비양분의 토양중 이동에 관한 연구Ⅲ, 한토비지, 27(3) 232- 237
14. 이민효외 3인, 1987, 수도의 축산폐수피해에 대한 물관리 및 개량제 시용효과, 한토비지, 20(2) 123- 129

제 2 분야	환경보전 기술개발

제 6 장 농업유역의 수문·수질 모니터링

서 울 대 학 교 농공학과

연구책임자 : 박 승 우

연 구 원 : 강 문 성

연 구 원 : 박 희 성

연 구 원 : 김 상 민

연 구 원 : 김 철 겸

제 1 절 서 론

농업 유역의 오염물질은 강우-유출과정 중 경지로 부터 지표유출에 용해되거나, 토사에 부착되어 유실 토양과 함께 하천에 유입되어 하류로 운송된다. 이와 같은 오염물질은 생활오수나 공장폐수 등과 같이 일정한 배출구로부터 유출되는 점원 오염 (point source pollution)과 구분하여 비점 (nonpoint source, NPS) 오염이라 한다. 즉, 점원오염은 도시나 공장 등에서 취수한 물을 쓰는 과정에서 오염되어 일정한 배출구를 통하여 하천으로 유입되는데 반하여, 비점오염은 폭우로 인한 지표월류나 농경지의 관개 배수시 잉여수 등과 함께 배출되는 것이며, 그 발생원이 불분명하기 때문에 확산오염 (diffusive pollution)이라고도 한다.

농업 비점오염의 주요 물질은 농경지에 살포된 유기물질, 비료, 농약 등으로 이루어진다. 이들 물질은 농약성분을 제외하고는 정성적으로는 하천 수질을 악화시키는 정도의 독성물질은 아니나, 유출과 함께 유역 전체로 부터 배출되므로, 그 총량이 큰 값이므로 강이나 호수, 저수지, 댐, 연안 등의 수체 (water body)에 대한 수질오염의 주요 원인이 되기도 한다 (Park et al., 1994). 또한, 박충현 등 (1996)은 우리나라 하천, 호수 등의 수질오염원으로 농경지를 최우선 순위로 평가하였다. 그밖에도, 강우, 유출과정에서 지면으로 부터 침투수와 함께 지하수를 오염시키게 된다.

농경지 비점오염의 주요 원인 물질인 화학비료와 농약의 사용량은 해마다 증가추세로서, 1994년 현재 연간 약 400kg/ha의 화학비료를 시비하고 있는데, 이 양은 세계 평균 시비량인 99 kg/ha나 미국의 평균시비량 94kg/ha의 4배 이상의 양에 해당한다. 또한, 제초제, 농약 등의 사용량은 성분 기준으로 84년의 290품목 16.7천ton에서 '94년에는 무려 568품목 26.3천ton으로 크게 증가하였다 (농림수산부, 1995).

환경부 (1995)의 비점오염 원단위 추정결과는 T-N의 경우 도시지역은 7.67kg/ha, 논에서는 2.2kg/ha, 밭은 0.9kg/ha 등으로 발표하였다. 이와 같은 원단위 부하량으로 부터 전국의 T-N 부하량 전망에서는 2001년을 기준하여 생활배수에 의한 일 추정량은 367톤, 축산배수량은 97톤 등이며, 비점오염원에서는 일 95톤 등으로 예상하고 있다 (박충현 등, 1996)

그러나, 유역 규모에서의 비점오염량은 오염원에서 배출되는 양 중 운송과정에서 퇴적이나 그밖의 생화학적 요인에 의하여 소모되어 실제로 하천에 도달하는 양이 작으므로, 유역 규모에 있어서의 오염물질 부하량에 대한 연구가 필요하다. 또한, 현재까지는 원단위 부하량을 기준하여 측정값과의 비율을 유달율 등의 개념을 적용하는 경우가 많으나, 보다 체계적인 자료의 구축과 유역에서의 물질순환 등에 대한 기작을 검토하는 일도 중요하다고 할 수 있다.

이와같은 농경지에서의 비점오염 억제를 위해서는 발생된 오염수를 집단적이고, 공학적으로 수처리하기가 불가능하므로, 경운법, 윤작 등 환경적 경종법을 적용하거나, 혹은 테라스의 설치 등과 같이 오염발생 지역 혹은 그 가까이에서 발생을 억제하거나, 줄이는 것이 효과적이다.

그런데, 농업생산성을 무시하고, 오염발생을 조절하는 것은 어려운 과제이므로, 오염배출량을 가능한 수준이하로 내리고, 생산성을 지속적으로 유지하는 소위 환경적으로 안전한 지속 가능한 농업 (environmental-sound, sustainable agriculture)을 지향하는 방향을 모색하여야 한다. 이와같은 농업생산성과 환경보전을 고려하면서, 경제적으로 실행가능한 방안을 최적관리기법 (Best management practice, BMP)라고 한다 (Park 등, 1994).

BMP는 비점오염에 따른 수질오염에 대한 사회적 관심이 높아지기 전에 토양보전법으로 소개된 영농관리법이나 농업토목공학적 방법 등과 그 개념 및 내용이 유사하다. 과거에는 토양유실량을 허용수준 (tolerance level) 이하로 줄이는 것이 경지의 생산성을 지속적으로 유지하는 데 중요하듯이, 비점오염량을 줄이기 위한 BMP의 적용이 실시되어야 할 것이다.

이를 위해서는 비점오염을 실측하는 노력과 함께, 적절한 모델링을 통하여, 비점오염 발생원과 그 정도를 파악하는 것이 필요하다. 특히, 비점오염 모델의 개발이나 기존 모델의 적용 등을 통하여, 미계측 유역에서 비점오염량을 추정할 수 있는 것이 중요하다. 이상과 같은 노력을 바탕으로, 효과적인 BMP를 실시하는 등의 수질 개선을 위한 노력이 이루어져야 할 것이다.

본 연구의 목적은 환경보전형 지속적 농업을 위하여 기상 및 수문·수질 모니터링을

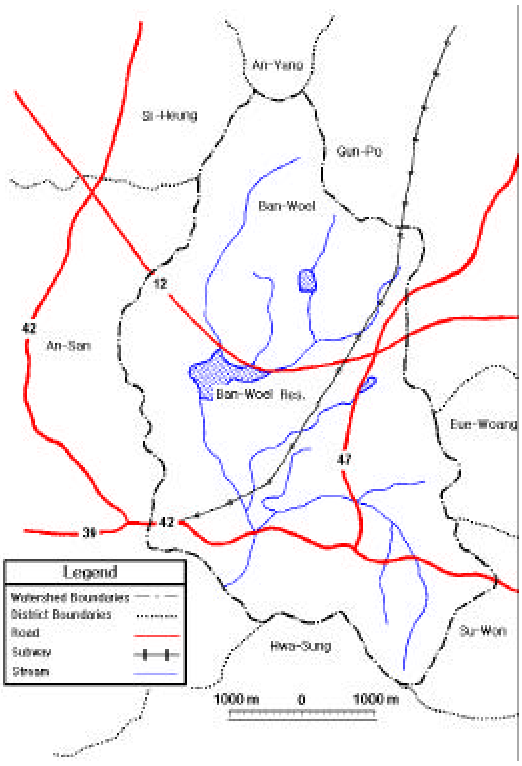
실시하고, 토지이용과 기타 원단위에 따른 수질환경의 시간적·공간적 변화를 계량화하며,유역에서의 비점오염의 순환기작에 관한 체계적인 자료를 구축하며, 비점원오염부하량의 추정 및 폭우사상에 대한 순환기작을 종합적이고 체계적으로 고찰, 분석하여 물리적 인자들간의 상호관련성을 구명하고, 농업유역의 비점오염모형을 시험유역에 적용하여 그 결과를 고찰하고, 포장 및 유역규모의 비점원오염의 최적관리대안을 구성하고 그 저감효과를 평가, 분석하여 비점원오염의 저감대책을 강구함으로서 환경농업의 현장 모니터링, 모델링 기술을 개발하는 데 있다.

제 2 절 유역 수문 및 수질 모니터링

1. 시험유역의 개요

본 연구의 시험유역으로는 경기도 안산시 반월동에 위치한 반월저수지의 상류 유역을 선정하였다. 본 시험유역인 반월 저수지 유역은 1986년 이래 서울대 농생대 농공학과에서 수문관측을 실시해오고 있으며, 비교적 장기간의 정교한 수문조사자료를 보유하고 있다.

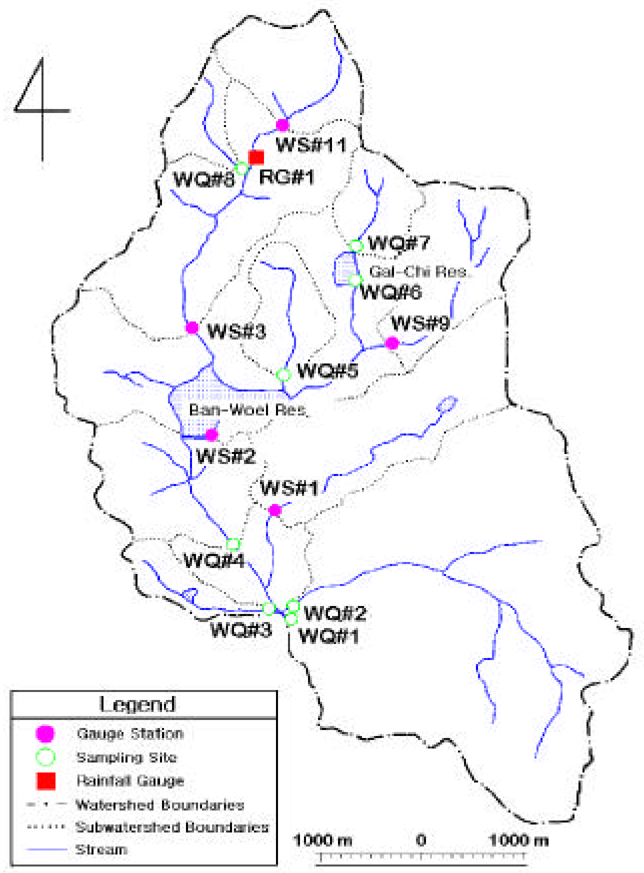
반월 저수지 유역의 위치는 <그림2-1>에서와 같이 경기도 서남쪽 지역인 안산, 군포, 안양시의 경계점에 위치한 수리산 남쪽기슭의 유역 면적 약 12km2로부터 배수되는 곳이다. 시험유역의 유역 경계는 <그림2-2>와 같다.



<그림2-1> 시험 유역의 위치도

반월 저수지 유역의 토지이용상태는 77%가 산림이며, 약 18%가 논·밭 등의 농경지, 그리고 기타 도로, 자연부락 등이 산재해 있다. 유역 상류 부분은 개발제한구역으로 토지의 형질이 비교적 잘 보전되고 있으나, 하류 부분에서는 고속도로 건설, 도시확장 등으로 빠르게 변모하고 있는 지역이다.

대상 유역은 안산-금정간 전철과 안산-신갈 고속도로, 서해안고속도로 등이 위치하거나 현재 건설 중에 있다. 수원으로 부터 약 8km에 위치하고, 교통이 편리하여 반월 저수지는 낚시 등 친수성 여가활동으로 이용되고 있으며, 유역내 사찰, 교회 등 종교단체 시설이 들어서고 이로 인한 종교활동 등과 함께 유동 인구가 많은 특징을 보이고 있다.



<그림2-2> 시험 유역의 수문·수질 계측망

2. 수문 계측망

가. 수문 관측점

반월저수지 유역의 수문계측망은 <그림2-2>에서와 같이, 자기수위계 5점 (WS#1, 2, 3, 9, 11), 자기강우계 1점 (RG#1)으로 구성하였으며, 토지이용상태, 영농형태 등에 따른 농업비점오염의 부하량을 측정하기 위해 각각의 세부 유역을 선정하여 산림유역, 산간지 유역, 농경지 유역, 집단 취락지 유역 등으로 구분하고 그 수문조사를 실시하였다.

<그림2-2>에서는 각 수위측정 지점을 표시하고 있는데, 반월저수지 지점은 WS#2, 인접 평탄지 유역으로 농경지의 구성비가 52%로 상대적으로 높은 WS#1, 경지가 12% 이내인 반면 산림지가 87%를 차지하는 중산간지 유역으로 WS#3이 있으며, 산림지 유역은 98%가 산림지로 구성된 WS#11, 취락지의 비율이 4%이고, 집단 취락이 위치한 유역을 WS#9 등으로 표시하였다. 이들 유역의 번호는 기존의 관측자료와의 일관성을 위하여 사용한 것이다.

나. 수위 측정

수문 관측점의 수위는 자기수위계의 수위기록지를 판독하여 시간별 수위를 구하고, 이를 평균하여 일수위를 구하였다. 수위관측시 자기수위지의 보정을 위해 기록지 설치와 수거시 수위를 표척을 이용해서 읽고, 이 값과 수위기록지의 값을 비교, 보정을 실시하였다.

<그림2-3> <그림2-8>은 WS#1, WS#2, WS#3, WS#9, WS#11, PF(통관) 지점의 수위측점 전경을 보여주고 있다.

<그림2-3> WS#1의 수위관측점 전경

<그림2-4> WS#2의 수위관측점 전경

<그림2-5> WS#3의 수위관측점 전경

<그림2-6> WS#9의 수위관측점 전경

<그림2-7> WS#11의 수위관측점 전경

<그림2-8> PF(통관)의 수위관측점 전경

다. 유량 측정

수문 관측점의 수위-유량관계는 WS#1, 3, 9 등은 하천 단면을 수개의 구간으로 구분하여 각각 1점법과 2점법에 의한 유속을 측정하고, 그 결과로부터 수위에 대한 유량을 정하여, 수위-유량관계를 얻었다. 그런데, WS#11의 경우는 직하방에 설치된 낙차공의 수위-유량관계와 유속측정의 결과를 보정하여 구하였다.

일유량은 일 수위로부터 수위-유량관계를 적용하여 구하였다.

라. 저수량 측정

반월저수지의 저수량은 WS#2지점의 자기 수위계로 부터 일 평균 수위를 구하여, 수위-내용적 곡선으로 부터 저수량을 구하였다.

3. 수질 계측망

가. 수질조사점

반월 유역의 수질 조사점은 <그림2-2>에서와 같이, 유량-수질 측점인 WS#1, 2, 3, 9, 11 등의 5개 지점과 수질측점 WQ#1 8 등의 8개 지점으로 총 13개 지점으로 구성하였다.

유량-수질 측점 (WS점)은 앞서 고찰한 수위 관측점과 동일한 지점을 선정하였는데,

수질 분석을 통하여 얻은 정성적인 자료를 바탕으로 해당 유역의 오염 부하량을 결정할 수 있도록 하였다. 특히, 반월저수지의 수질 조사점 WS#2는 저수지의 수질 상태를 측정하므로써, 오염물질의 저류량을 추정할 수 있도록 하였다. 저수지의 저류량과 단위체적당의 오염 물질 농도로부터 저수지 전체의 오염물질의 양을 결정할 수 있기 때문이다.

수질 측점 (WQ점)에서는 별도의 유황조사는 실시하지 않고, 수질 조사만을 시행하도록 하였으며, 토지이용상태 등과 축산 농가, 취락 등의 분포를 고려하여 설정하여 유역에서의 수질을 파악할 수 있도록 하였다.

나. 수질표본의 채취

수질 표본의 채취는 월2회를 기준으로 결빙기 후인 3월 11월 기간동안에 대략 2주에 1회씩 실시하였다.

수질 표본은 비강우시에 2l 용기를 이용하여 2병씩 수작업으로 시료를 채취하였으며, 실험실에 운반 후 즉시 냉장상태로 보관한 다음 수질 분석을 실시하였다. 이와 같은 수작업 방법에 의한 수질 표본은 대상 유역의 유량이 많지 않은 상태이기 때문에 자료의 정도를 높이기 위한 것이다. 강우시에는 자동채수기(Automatic Water Sampler)를 이용하여 단위 시간별로 수질표본을 채취하였다.

다. 수질분석방법

수질 표본의 분석은 pH, DO, 수온 등은 현장에서 측정하였으며, 부유물질, TN, TP 등의 영양물질, 기타 수질 항목 등은 <표2-1>의 방법을 이용하여 수질 표본으로부터 실험실에서 정량분석을 실시하였다. <표2-1>에서와 같이 수질분석 항목은 총 9성분으로 하였다.

<표2-1> 수질 분석 방법

구 분	성 분	분 석 방 법	비 고
수온	수온	Electron thermometer	현장시험
pH	pH	pH meter	현장시험
DO	DO	DO meter,	현장시험
SS	SS	Method of weight analysis of Standard method	실험실 분석
N	NO_3-N NH_4-N T-N	Ion chromatograph Kjeldahl method Kjeldahl distillation	실험실 분석
P	PO_4-P T-P	Ion chromatograph Ascorbicacid reduction method	실험실 분석

1) T-N의 분석

가) 무기질소의 환원

시료 적당량을 취하여 1ℓ증류플라스크에 넣고 물을 넣어 350㎖로 한다. 비등석 수 개, 데발다합금 분말 3g과 수산화나트륨 용액 (30W/V%) 10㎖ 넣어서 증류장치를 조립하고 냉각관의 끝을 미리 0.05N의 황산 50㎖를 넣어 둔 200㎖ 메스실린더 수기에 연결하여 증류하였다. 증류를 끝내고 냉각관의 안쪽을 물로 씻어서 수기에 합하고 표선을 채웠다. (A액)

나) 유기질소의 분해

증류하고 남은 내용물과 증류플라스크를 물로 씻은 액 전량을 조심하여 킬달플라스크에 옮기고 총질소시험용 분해촉진제 2g을 넣고 플라스크의 내벽을 따라 황산 5~10㎖를 넣었다. 다음에 과산화수소수 1㎖를 넣고 가열하여 백연이 발생하고 내용물이 투명해질 때까지 분해를 계속하였다. 방냉한 다음 물 약 100㎖를 넣어 석출된 결정성 물질을 가열 용해하여 분해액을 증류플라스크에 옮기고 물로 킬달플라스크를 씻어서 합한 다음, 물을 넣어 액량을 약 350㎖로 하고 냉각관의 끝을 미리 0.05 N의 황산 50㎖를 넣어 둔 200㎖ 메스실린더 수기에 연결하였다. 증류플라스크에 수산화나트륨 용액 (50W/V%) 40㎖를 넣고 가열하여 증류하였다. 수기의 유출액량이 약 180㎖가 되면 증류를 끝내고 냉각관을 씻어서 수기에 합하고 물을 넣어 표선을 채웠다. (B액)

앞에서 얻어진 A, B액의 일부 또는 전량을 취하여 증류장치에서 증류하고, 시료와 같은 양의 물을 취하여 1ℓ 증류플라스크에 넣고 시료의 전처리 같은 조작을 하여 바탕시험액으로 하였다. 바탕시험을 대조액으로 하여 각각 A, B액 중의 총질소 농도를 구하고 두 값을 합하여 시료의 총질소 농도 (mg/ℓ)로 하였다.

2) T-P의 분석

시료에 과황산칼륨용액 (4W/V%) 10㎖를 넣어 섞은 다음 고압증기멸균기에 넣어 가열하였다. 30분간 가열분해를 계속하고 방냉한 다음, 전처리한 상등액 25㎖를 취하여 시험관에 넣고 몰리브덴산 암모늄·아스코르빈산혼액 2㎖를 넣어 섞은 다음 20~40℃에서 15분간 방치하였다. 이용액의 일부를 층장 10mm 흡수셀에 옮겨 검액으로 하고 물 50

㎖를 취하여 시료의 시험방법에 따라 시험하여 바탕시험액으로 하였다. 바탕시험액을 대조액으로 하여 흡광도를 측정하고 미리 작성한 검량선으로 부터 총인의 양을 구하여 농도 (mg/ ℓ)를 산출하였다.

4. 유역의 지형과 토지이용 조사

유역의 수문, 수질 특성에 영향을 주는 인자를 파악하기 위해, 1/25,000 지형도와 정밀토양도, 그리고 현지답사 등을 통하여, 유역 경계를 구하고, 각 측점별 지형, 형상, 토지이용 등의 유역 지상인자를 조사하였으며, 인구와 경작면적, 가축사육두수 등의 자료를 수집하였다. 시험유역의 조사 결과는 다음과 같다.

가. 지형・형상

유역의 지상인자로써 유역면적, 형상계수, 기울기 등 지상인자를 조사하였으며, 그 결과는 <표2- 2>와 같다.

<표2- 2>에서와 같이 유역 면적은 WS#11의 126ha로부터, WS#2저수지의 1220ha의 범위를 보였으며, 평균은 454ha였다. WS#11는 수리산 계곡에 위치하여, 평균경사가 36%인 급경사 유역을 보여주며, WS#1은 평균 2%로써 비교적 완만한 경사를 나타낸다. 한편, WS#9는 거주지역 하류부로서 평균 경사는 7%이다.

유역의 형상을 나타내는 형상계수는 WS#1의 경우 0.19로 비교적 긴 유역 형상을 나타낸 반면 WS#2는 0.53으로써 타원형에 가까운 형상을 보여 주는 등 유역은 다양한 지형과 형상을 갖고 있다.

<표2-2> 반월유역의 지상인자

구 분	유역명	면 적 (㎢)	유 역 지 상 인 자						비 고
			형상계수	유로장 (㎞)	최 대 기복량 (m)	기복량 비	하천평균 경 사 (㎜/m)	하 천 빈 도 (개/㎢)	
평탄지	WS#1	2.75	0.19	3.83	81.4	0.021	13.77	0.364	반월저수지
중산간지	WS#2	12.20	0.53	4.80	439.8	0.092	17.42	1.64	
중산간지	WS#3	4.80	0.32	3.85	435.7	0.113	31.40	1.45	
취락지	WS#9	1.67	0.34	2.23	154.0	0.069	39.01	11.98	
산간계곡지	WS#11	1.26	0.70	1.00	356.0	0.360	17.80	1.43	
평 균		4.54	0.42	3.14	293.4	0.131	23.88	3.37	

나. 토지이용

반월유역의 각 유역별 산림, 경지, 기타 등의 토지이용상태의 구성은 <표2-3>에서와 같다.

WS#11은 96%의 산림지로써, 계곡 상류부의 약간의 경지를 제외하고는 수생상태가 양호한 산림으로 구성되었다. WS#9는 대야미 주거지역 하단부로써 주로 주거지로 구성되며, 기타는 경지, 산림 등의 토지이용을 나타내고 있다. 한편, 반월저수지 유역은 산림 87%, 경지 12% 등으로 전국 평균에 비하여 산림 구성비가 높은 특징을 보였다.

<표2-3> 반월유역의 토지이용 현황

구 분	유역명	토 지 이 용, %				비 고
		논	밭	산림	기타	
평 탄 지	WS#1	30	22	40	8	반월저수지
중산간지	WS#2	12	6	77	5	
중산간지	WS#3	7	5	87	1	
취 락 지	WS#9	22	17	57	4	
산간계곡지	WS#11	2	2	96	0	
평 균		14.6	10.4	71.4	3.6	

다. 수문학적 토양군

수문학적 토양군은 토양의 배수상태에 따른 구분방법으로 <표2-4>의 기준을 적용하여, 대상 유역의 토양 상태를 나타내는 방법이다. <표2-4>는 미국 SCS 수문학적 토양군의 분류기준에 따라 정밀토양통의 해설을 참조하여 구분한 것이다.

<표2-4> SCS의 수문학적 토양군 분류 기준

토양군	토 양 명	토양의 성질
A	Fba, Fbb, Afc, Lta, Ltb, Rea, Rsa, Mab, Mac, Mja, Mla, Mlb, Mma, Mmb, Msa, Msb, Mub, Mva, Mvb	낮은 유출율(Low runoff potential) 침투율이 대단히 크며 자갈이 있는 부양질 배수 매우 양호(high infiltration rate)
B	Afa, Apb, Apc, Apg, Anb, Anc, And, Lpa, Lpb, Raa, Rab, Rac, Rad, Rea, Rlb, Rsb, Rsc, Rva, Rvb, Rvc, Rvd, Maa, Mua	침투율이 대체로 크고(Moderate infiltration rate) 돌 및 자갈이 섞인 사질토 배수 대체로 양호
C	Fma, Fmb, Fmc, Fmk, Afb, Apa, Apd, Ana, Rxa	침투율이 대체로 적은 세사질토양층 배수 대체로 불량
D	Fta, Fmd, Fml, Lf, Ro	높은 유출율(High runoff potential) 침투율이 대단히 작은 점토질 토양 거의 불투수성, 배수 대단히 불량

유역별 수문학적 토양군의 분포는 <표2-5>와 같다. <표2-5>에서와 같이, 반월유역의 토양군은 A, B, C가 각각 80.9, 18.6, 0.5%를 나타내고 있어, 유역내의 토양이 침투율이 높아 배수가 매우 양호 혹은 양호 상태를 갖는 것을 알 수 있다.

<표2-5> **반월유역의 수문학적 토양군의 분포**

수문학적 토양군	면 적 비, %				
	WS#1	WS#3	WS#9	WS#11	평 균
A	77.3	73.2	85.0	88.0	80.9
B	22.7	24.7	15.0	12.0	18.6
C	0.0	2.1	0.0	0.0	0.5
D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

5. 인구와 가축사육 현황

<표2- 6>**은 반월저수지 수문·수질 측점의 인구와 가축사육현황을 나타낸 것이다.** **유역내에 거주하는 인구는 유역면적이** 1,220 ha**인** WS#2**측점이** 3,397**명으로 가장 많이 차지하고 있으나, 인구밀도는 유역면적이** 167 ha**인** WS#9**측점이** 2,710**명으로 높게 나타났다. 이들로 부터 배출되는 생활오수가 하천으로 유입되고 있어, 반월천 상류 지천에서는 심한 오염을 나타내고 있다.**

시험유역의 총 축산농가는 99농가이며, 주요 소유역별 가축사육 현황은 <표 2-6>과 같다. 총 99농가에서 축산을 경영하고 있으며, 한우 37두, 유우 763두, 육우 57두 등이고, 돼지 1,560두, 사슴 300마리 등을 사육하고 있었다. 이와 같은 축산 시설 중 대부분은 별도의 오수처리장을 설치하지 못한 실정으로, 축산 오수의 일부가 용출되어 배수구거를 통해 소하천으로 유입되고 있는 실정이었다. 이로 인하여, 유역의 상류부에 위치한 갈치저수지의 경우는 심한 착색을 이루고 있는 상태이며, 하류 반월천 상류의 오염원의 하나가 되고 있는 실정이었다.

<표2-6> **인구 및 가축사육현황**

측점	인구	한우	유우	육우	돼지	사슴	가금
WS#1	1,137	23	70	20	1,340	14	115
WS#2	3,397	11	558	21	160	149	190
WS#3	150	1	0	0	0	137	15
WS#9	2,710	2	135	16	0	0	0
WS#11	0	0	0	0	0	0	0
합계	7,394	37	763	57	1,560	300	320

제 3 절 시험유역의 수문조사 결과

1. 기상과 강수

반월저수지 유역의 기상자료는 8km 동쪽에 위치한 수원측후소의 자료를 적용하도록 하였다. <표3-1>은 수원측후소의 '95 '97년의 월별 주요 기상요소의 평균값을 나타내고 있다.

<표3-1> 수원측후소의 월별 기상 자료 ('95.1 '95.12)

월별	평균기온 (℃)	강수량 (㎜)	월강수일수	상대습도 (%)	증발량 (㎜)	태양복사열 (MJ/㎡)	풍속 (10m)	비 고
1	-2.4	13.4	9	57	34.9	8.24	1.5	
2	0.0	11.2	3	63	44.2	11.96	1.3	
3	5.8	46.2	13	64	52.2	10.85	1.9	
4	10.7	33.7	9	55	72.6	15.72	2.0	
5	16.6	59.0	9	60	94.3	16.82	1.7	
6	21.5	67.7	8	67	100.4	16.07	1.5	
7	24.8	372.9	18	77	82.7	12.82	1.6	
8	26.4	967.9	17	80	82.6	12.17	1.5	
9	20.0	24.2	11	75	75.9	12.91	1.1	
10	15.1	29.2	8	75	50.9	10.58	0.9	
11	5.6	24.8	8	70	46.6	6.93	1.2	
12	-1.5	3.1	8	69	27.3	5.63	1.2	

반월저수지 유역의 강수량은 <그림2-2>에 나타낸 RG#1의 측정자료를 적용하고, 수원측후소의 강수량과 상관관계를 이용하여 결측기간의 자료를 보정하도록 하였다. 반월저수지 유역의 일 강수량과 수원측후소의 일 강수량간에는 다음과 같은 관계를 나타냈다. (<그림3-1> 참조)

$$R_B = 0.61 + 0.83 R_s \qquad (3\text{-}1)$$

여기서, RB = 반월저수지 유역의 일강수량 (mm), RS = 수원측후소의 일강수량이다.

식 (3- 1)의 상관계수 R^2의 값은 0.79였다.

<그림3- 1>은 반월지점과 수원측후소의 일별 강수량을 비교한 것이다. <그림3- 1>에서와 같이 두 측점의 일 강수량은 그 양이 일치되지는 않으며, 회귀방정식을 중심으로 산포되었음을 나타낸다.

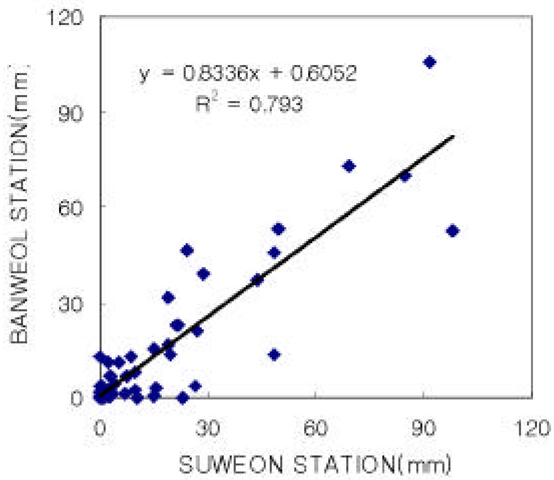
한편, 식 (3- 1)의 회귀식의 계수 0.83은 '86 '87의 강수량에 대하여 산정한 상관계수 0.82와 거의 유사한 값을 보였다. 이와 같이, 반월 지점의 일 강수량은 수원의 85% 내외의 값으로 약간 작은 값을 나타냈다. 특히, '95년의 경우에는 150mm 이상의 호우사상이 3회였는데, 이 때의 반월 지점의 강수량은 100mm 이하로서, 이들 두 지점간의 차이가 큰 경우가 있었다.

<표3- 1> 계속 ('96.1. '96.12.)

월별	평균기온 (℃)	강수량 (㎜)	월강수일수	상대습도 (%)	증발량 (㎜)	태양복사열 (MJ/㎡)	풍속 (10m)	비 고
1	-2.2	20.4	7	66	27.6	7.47	1.5	
2	-2.0	4.1	4	63	43.3	9.01	1.7	
3	4.5	100.8	10	71	58.5	9.36	1.8	
4	9.7	51.1	6	65	115.1	12.80	2.0	
5	17.6	26.5	8	70	140.6	13.53	1.5	
6	22.3	286.4	15	81	100.0	9.33	1.4	
7	25.1	241.1	15	80	119.6	14.25	1.5	
8	26.5	77.5	9	78	120.8	13.77	1.3	
9	21.7	9.2	5	74	98.4	14.41	1.1	
10	14.0	70.0	6	73	53.4	10.06	1.0	
11	6.4	49.0	13	71	44.4	7.41	1.7	
12	1.1	16.0	5	62	40.5	6.77	1.5	

<표3-1> 계속 ('97. 1- '97. 9)

월별	평균기온 (℃)	강수량 (㎜)	월강수일수	상대습도 (%)	증발량 (㎜)	태양복사열 (MJ/㎡)	풍속 (10m)	비 고
1	-3.2	14.4	11	52	42.6	6.99	1.7	
2	0.3	41.4	9	57	54.3	9.84	1.7	
3	5.9	30.4	6	62	81.1	12.69	1.9	
4	12.0	60.7	8	57	121.2	14.69	2.0	
5	16.9	260.3	16	69	124.2	12.85	1.8	
6	22.8	150.4	10	68	157.7	15.89	1.5	
7	25.9	331.7	12	80	144.0	13.17	1.7	
8	26.6	299.2	14	78	165.1	14.19	1.9	
9	20.2	59.1	8	69	100.3	7.05	1.6	
10								
11								
12								



<그림3-1> 수원측후소-반월유역 일강수량 관계

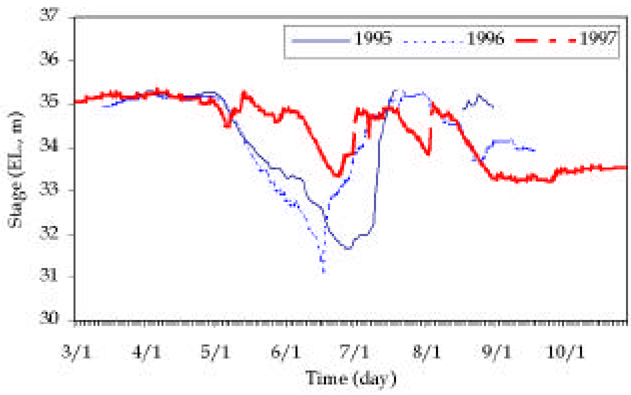
2. 수위

반월저수지 유역별 일별 수위는 측점별 자기수위계로 부터 자료를 구득하여 자기기

록지를 판독하여 구하였다.

반월저수지 유역별 일별 수위는 부록Ⅰ에서와 같았다. 부록Ⅰ에서 수위 자료가 기록되지 않은 일자는 결측자료로써, 폭우로 인하여 자기 수위기록지가 훼손되거나, 혹은 계기의 고장으로 기인한 것이었다.

한편, '95 '97년의 반월저수지 수위는 <그림 3-2>에서와 같으며, 4, 5월 경의 만수위 이상의 값을 보인 이유는 이앙기의 물관리를 위하여 여수토에 모래가마니를 쌓아 임시 승상을 시킨 결과이다.



<그림3-2> 반월저수지 수위 변화

'97년의 이앙기에 저수지 수위가 감소하다 만수위 이상으로 증가한 이유는 '97년 5월 초순경 일주일간 170mm의 폭우에 기인한 것이다.

<그림3-3>은 반월저수지의 물넘이 전경을 보여주고 있다.

<그림3-3> 반월저수지 여수토 승상 전경

3. 수위-유량관계

반월저수지 유역의 수문계측망에 대한 수위-유량관계를 회귀식으로 표시한 결과는 유역별로 각각 <표3-1>과 같았다.

한편, 반월저수지의 저류량은 수위로부터 수위-내용적 관계를 이용하여 일 저류량을 구하였다.

<표3-1> 반월유역의 수위-유량 관계

Station	Rating curve		R2	비 고
WS#1	$Q= 0.0402\ h^{0.5785}$	(h<0.08)	0.992	
	$Q= 6.7529\ h^{2.5123}$	(h>0.08)	0.997	
WS#3	$Q=19.4313\ h^{3.3409}$		0.982	
WS#9	$Q= 5.8125\ h^{1.6720}$		0.920	
WS#11	$Q=5.7305\ h^{1.5} + 1.6429\ h^{2.5}$		0.935	

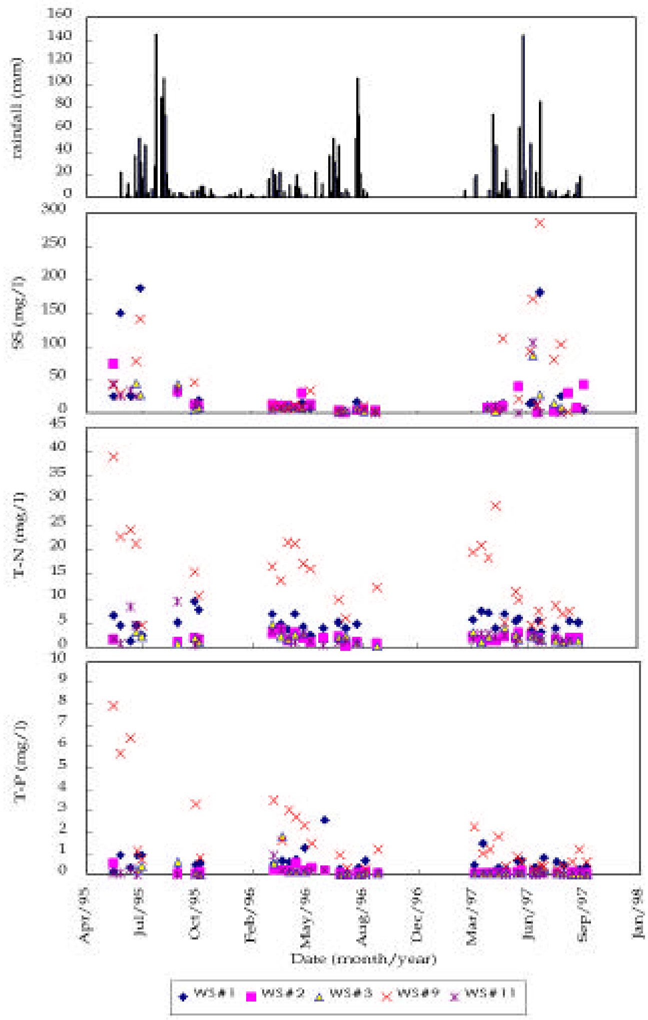
* Q : Discharge (m^3/s), h : Stage (m)

제 4 절 시험유역의 수질과 오염 부하량

1. 수질

시험유역의 측점별 수질분석은 '95년 5월에서 부터 '97년 10월 기간에 걸쳐 수행하였다. 시험유역의 수질측점에서 표본채취일별 pH, 용존산소, 부유물질, 영양물질 등의 강수량에 따른 측점별 시기별 분석 결과는 <그림4-1>에 나타내었다. 측점별 수질분석결과의 통계치는 <표4-1>에서와 같았다. 측점별로는 WS#9에서 가장 높은 부유물과 영양물질 등의 농도를 나타내고 있으며, WS#11에서 최소값을 보여준다.

유역의 수질항목별 시기별 변화를 고찰하면 다음과 같다.



<그림4-1> SS, 총질소, 총인의 농도 변화

<표4-1> **시험유역의 측점별 수질분석 결과**

유역명	측정기간 (측점수)	구분	pH	DO	SS	T-N	T-P
				mg/ℓ			
WS#1	95/5 97/10 (35)	Max./Min.	9.73/5.40	13.25/3.62	188.33/1.20	9.32/1.44	2.55/0.11
		Mean	7.20	7.80	30.73	5.04	0.57
		STD	0.84	3.24	51.26	1.69	0.46
WS#2	95/5 97/10 (29)	Max./Min.	9.64/6.20	12.05/3.64	73.33/0.70	3.61/0.30	0.53/0.03
		Mean	8.14	8.04	15.87	1.90	0.14
		STD	1.12	2.63	16.67	0.72	0.12
WS#3	95/5 97/10 (31)	Max./Min.	9.10/5.74	11.50/4.10	87.00/1.20	4.90/0.42	1.82/0.00
		Mean	7.15	7.70	15.48	2.05	0.17
		STD	0.78	2.06	20.14	0.95	0.33
WS#9	95/5 97/10 (32)	Max./Min.	8.12/4.95	7.20/1.21	285.10/1.30	38.98/4.52	7.95/0.26
		Mean	7.07	3.59	48.00	14.68	1.74
		STD	0.64	1.83	63.58	8.11	1.85
WS#11	95/5 97/10 (35)	Max./Min.	8.96/5.41	10.68/4.20	105.40/0.60	9.46/0.64	0.96/0.01
		Mean	6.96	7.77	14.73	2.38	0.10
		STD	0.73	1.91	21.26	1.99	0.16

가. pH

수질샘플의 pH는 <표4-1>에서와 같이 6.50 9.57의 분포를 나타냈으며, 유역별, 시기별로 차이를 보였다. <표4-2>는 시험유역의 시기별 pH를 나타내고 있다. <표4-2>에서 보듯이 생육기인 5 9월은 대체로 낮은 값인 반면에, 10월부터 이듬해 4월까지는 높은 값을 보였으나 뚜렷한 경향을 나타내지는 않았다.

유역별 pH의 변화는 WS#1, 3, 9 등에서 평균 7.20, 7.15, 7.07 등으로 중성을 보였으며, WS#11의 경우는 평균 6.96으로서 기타 유역에 비하여 약간 낮았으며, WS#2인 반월저수지는 8.14로 높은 값을 보였다. 유역별, 시기별로 pH값의 변화가 큰 곳은 WS#2, WS#1 등의 순이었으며, WS#9, 11 등에서는 변동이 상대적으로 작았다.

나. 용존산소

용존산소 (dissolved oxygen, DO) 농도는 ‘96년 4월 ’97년 10월 기간 중에 현장측정을 실시하였으며, 그 결과는 <표4-3>에서와 같다. 측정기간중의 WS#1, 2, 3, 11 등의 유역에서의 하천의 DO 평균 농도는 7.70 8.04mg/l의 비슷한 값을 보였으며, 주거지 유역인 WS#9에서는 3.59mg/l로 가장 낮은 값을 보였다.

DO농도의 시기별 변화가 큰 곳은 반월저수지 지점인 WS#2 지점으로 표준편차가 3.24mg/l를 나타낸 반면, 기타 유역에서는 1.83 2.63mg/l의 범위를 보였다. 이와 같은 결과는 저수지에서는 용존산소량이 계절에 따라 변화가 큰 것을 보여준다.

WS#9은 주거지의 생활오수가 유입되므로 1.21 7.20mg/l의 범위로서 기타 유역이나 저수지의 용존산소량보다 훨씬 낮은 값을 보였으며, 반월저수지 유역의 주요 오염 부하원이 되는 것으로 나타났다.

<표4-2> **시험유역의 측점별** pH

날짜	WS#1	WS#2	WS#3	WS#9	WS#11
95/05/30	6.70	6.80	-	6.80	6.60
95/06/12	6.90	-	-	7.30	6.50
95/06/29	7.10	-	-	7.20	6.50
95/07/11	6.50	-	6.40	6.30	6.60
95/07/19	7.10	-	7.00	7.00	-
95/09/22	7.20	7.70	7.00	-	7.00
95/10/24	6.20	6.50	6.60	6.30	6.50
95/11/01	6.20	6.40	6.60	6.50	6.30
96/04/10	8.18	7.30	8.77	7.37	7.32
96/04/24	8.86	9.23	7.58	7.91	7.49
96/05/08	8.07	9.57	7.30	7.54	7.23
96/05/22	6.78	9.19	-	7.41	7.37
96/06/14	7.13	7.62	-	7.61	7.30
96/07/12	7.46	9.48	6.35	7.49	6.70
96/07/24	6.84	8.64	6.54	7.27	6.47
96/08/14	7.14	9.64	7.15	7.33	7.21
96/08/28	6.98	6.20	6.68	7.22	6.86
96/09/19	6.90	9.40	7.97	7.17	6.45
97/03/13	8.06	9.00	8.32	7.46	6.87
97/03/28	7.91	8.57	7.28	7.05	6.76
97/04/10	9.73	8.92	9.10	7.52	8.96
97/04/24	8.50	8.93	7.07	7.62	8.60
97/05/08	6.89	7.00	6.47	7.11	7.36
97/06/04	7.07	8.81	7.96	7.39	7.75
97/06/26	6.95	7.28	6.87	4.95	6.34
97/07/09	7.13	9.52	7.74	7.35	7.76
97/07/15	7.11		7.09	7.60	6.98
97/08/08	5.40	6.35	5.74	6.25	5.41
97/08/21	7.80	8.90	7.85	8.12	7.83
97/10/01	6.07	7.88	6.53	6.41	5.94
97/10/16	6.71	7.22	6.43	6.00	6.24
97/10/29	6.67	7.63	6.58	6.67	6.41
평 균	7.20	8.14	7.15	7.07	6.96
표준편차	0.84	1.12	0.78	0.64	0.73

< 표4-3> 시험유역의 측점별 용존산소 (DO) 농도 Unit: mg/ℓ

날짜	WS#1	WS#2	WS#3	WS#9	WS#11
96/04/10	12.97	11.73	11.50	3.54	10.63
96/04/24	13.10	10.37	9.78	6.30	9.64
96/05/08	10.98	12.05	9.26	2.05	8.62
96/05/22	5.93	5.64	-	1.47	5.54
96/06/14	11.11	4.64	-	2.43	8.30
96/07/12	13.25	9.67	9.11	2.49	9.40
96/07/24	5.71	8.75	8.14	6.04	9.46
96/08/14	5.10	10.07	5.06	1.65	6.06
96/08/28	7.21	7.10	8.70	6.66	9.11
96/09/19	6.27	9.30	10.07	1.21	7.92
97/03/13	10.45	11.90	9.34	2.95	10.68
97/03/28	12.32	11.21	9.30	3.29	9.65
97/04/10	7.60	8.44	6.73	1.88	7.54
97/04/24	12.47	9.73	8.60	1.82	8.25
97/05/08	6.27	4.57	7.25	6.51	7.73
97/06/04	6.13	6.35	7.03	3.06	6.32
97/06/26	5.30	3.64	5.70	7.20	6.08
97/07/09	4.39	7.50	5.25	4.12	5.64
97/07/15	4.40		5.15	4.75	5.74
97/08/08	3.62	4.48	4.10	3.28	4.42
97/08/21	3.70	3.90	4.25	2.75	4.20
97/10/01	4.82	6.84	6.52	3.07	6.61
97/10/16	7.01	7.45	8.78	1.81	8.50
97/10/29	7.20	9.60	9.87	5.75	10.50
평 균	7.80	8.04	7.70	3.59	7.77
표준편차	3.24	2.63	2.06	1.83	1.91

다. 부유물 농도

측점별 부유물질 농도는 < 표4-4> 와 같다. 대상측점에서의 부유물 농도는 유량이 많을수록 증가하는데, WS#9 측점에서 '96년 9월 중순에는 1.3mg/l인 반면, 51mm의 홍수시 ('97년 7월 15일)는 부유물농도가 285.1mg/l로 무려 219배 이상의 증가를 보였으며,

WS#3, WS#9, WS#11 등에서는 72 176배의 범위를 보였다. 이와 같은 결과는 폭우시 토양 유실량과 관계가 큰 것에 기인하는데, 농경지 면적 비율이 높은 WS#1의 경우는 표토 유실로 인한 부유물의 증가가 큰 반면에, 임상 상태가 양호한 기타 유역에서는 표토유실량이 크지 않기에 증감율이 심하지 않은 것으로 관찰되었다. WS#1 측점을 제외한 경우, 부유물 농도는 WS#9에서 평균 48mg/l로 WS#3이나 WS#11의 14.73 15.48mg/l내외의 값에 대하여 약 3배 정도 큰값을 보이는데, 이는 WS#9의 경우, 유역내의 취락지역으로부터 생활오수가 처리되지 않고 방류되는 까닭에 부유물 농도가 높은데 기인하였다.

라. 총질소 (T-N) 농도

<표4-5>는 유역별 총질소 (T-N) 농도 측정 결과이다. WS#1지점에서는 T-N은 평균 5.04 mg/l, WS#2의 경우는 1.9mg/l, WS#3에서는 2.05mg/l, WS#9는 14.68mg/l, WS#11에서는 2.38 mg/l 등의 변화를 보였다.

유역내에서의 계절별 TN농도의 변화는 우기인 7월경에 비교적 낮은 값을 보이고 있으며, 10월부터 이듬해 5월까지의 갈수기에는 증가하는 경향을 나타냈다. 계절별 변화폭은 WS#1은 1.44 9.32mg/l로서 약 6배 정도의 차이를 나타냈으며, WS#2는 0.3 3.61mg/l로서 약 12배, WS#3는 0.42 4.9mg/l로서 약 11배, WS#9는 4.52 38.98mg/l로서 9배 정도이고, WS#11에서는 0.64 9.46mg/l로서 약 15배 정도의 변화를 나타냈다. 이상의 변화는 주거지의 경우, 생활오수 유입으로 상대적으로 일정한 값을 나타내나, 우기에는 유출량과 혼합되어 농도의 변화폭이 큰 상태를 보여주는 것으로 사료되었다. 기타 유역에서는 연중 비교적 일정한 값을 보이고 있었다.

한편, WS#11 지점은 수리산 계곡 부분으로 대부분 2mg/l의 T-N농도를 나타냈으나, 행락철인 봄과 여름에는 최고 19.42mg/l까지 높은 값을 나타내기도 하였는데, 이는 측점 직상류부분에 유락지가 새로 건립되어 하천에 직접 폐기물을 방류한데 따른 결과로 보인다. 이와 같이 소유역의 수질은 대부분 생활오수나 축산오수 등을 직접 하천에 방류하는 경우, 즉각적인 수질오염으로 나타나는 것을 보여주며, 유역의 최적관리를 실시할 경우, 하천수에 폐수가 직접 방류되는 것을 방지하는 장치를 고려해야 함을 알 수 있다.

마. 총인 (T-P) 농도

총인(T-P)의 농도는 <펴4-6>에서와 같이, 유역별로 대략 0.1 7.95mg/l의 범위로 전반적으로 높은 값을 나타냈다. WS#1의 경우는 평균 0.57mg/l, WS#2는 0.14mg/l, WS#3은 0.17mg/l, WS#9에서는 1.74mg/l, WS#11는 0.1mg/l 등의 값을 나타냈다. 즉, 산간지 유역인 WS#11의 TP농도와 취락지 유역인 WS#9과의 평균값은 약 17배의 농도 차이를 나타내고 있다. 이와 같이, 총인의 농도는 취락지에서의 생활오수에 의한 TP의 배출량이 가장 높은 농도를 차지하고 있으며, 총질소(T-N)에서와 같이 유역의 주요 오염 부하원이 되고 있음을 알 수 있었다.

<표4-3> **시험유역의 측점별 부유물질 (SS) 농도** Unit: mg/ℓ

날짜	WS#1	WS#2	WS#3	WS#9	WS#11
95/05/30	25.00	73.33	-	42.86	45.00
95/06/12	150.00	-	-	30.00	25.00
95/06/29	25.00	-	-	34.55	34.55
95/07/11	-	-	43.33	78.57	25.71
95/07/19	188.33	-	28.33	141.67	-
95/09/22	30.00	31.67	41.67	-	36.67
95/10/24	8.65	12.50	4.00	47.50	12.74
95/11/01	19.05	10.00	7.69	15.00	14.74
96/03/13	13.14	12.67	6.47	10.10	4.95
96/03/29	13.70	11.46	5.64	11.36	7.33
96/04/10	10.00	10.34	10.00	5.80	8.30
96/04/24	7.29	9.40	7.10	12.08	6.46
96/05/08	15.26	28.70	7.40	10.90	9.20
96/05/22	8.30	12.50	-	33.50	10.10
96/06/14					
96/07/12	1.40	3.20	1.80	4.60	1.00
96/07/24	1.20	0.80	3.80	2.60	1.20
96/08/14	17.40	5.20	7.40		4.60
96/08/28	8.60	7.00	1.20	11.40	4.20
96/09/19	4.80	4.00	1.80	1.30	0.70
97/03/13					
97/03/28					
97/04/10	11.60	8.00	6.80	7.20	5.90
97/04/24	2.60	7.90	1.50	3.60	9.60
97/05/08	15.00	10.20		111.40	6.40
97/06/04		40.40		20.80	0.70
97/06/26	15.80			93.90	
97/07/01	17.20		87.00	171.30	105.40
97/07/09		0.70		12.60	10.20
97/07/15	181.80		28.00	285.10	1.00
97/08/08	10.90	2.50	14.70	79.50	
97/08/21	24.30		9.50	103.40	0.60
97/09/03		29.70		2.60	
97/09/18		7.50			
97/10/01	3.50	41.20		6.70	5.50
평 균	30.73	15.87	15.48	48.00	14.73
표준편차	51.26	16.67	20.14	63.58	21.26

<표4-4> **시험유역의 측점별 총질소(T-N) 농도** Unit: mg/ℓ

날짜	WS#1	WS#2	WS#3	WS#9	WS#11
95/05/30	6.68	1.80	-	38.98	1.64
95/06/12	4.52	-	-	22.51	0.88
95/06/29	1.44	-	-	24.08	8.44
95/07/11	4.62	-	3.24	21.35	4.64
95/07/19	2.68	-	2.32	4.52	-
95/09/22	5.28	1.24	0.88	-	9.46
95/10/24	9.32	1.92	1.98	15.56	0.64
95/11/01	7.60	1.64	1.24	10.48	1.84
96/03/13	6.97	2.89	4.90	16.66	3.37
96/03/29	4.82	3.61	2.27	13.63	3.67
96/04/10	3.86	1.31	1.58	21.44	2.05
96/04/24	6.97	3.25	2.62	21.28	1.15
96/05/08	4.17	2.13	2.89	17.11	2.85
96/05/22	2.56	1.28		16.12	1.48
96/06/14	4.12	1.88			0.64
96/07/12	5.14	2.37	1.94	9.66	1.19
96/07/24	4.12	0.30	2.17	6.05	1.35
96/08/14	4.80	1.26	0.98		0.88
96/08/28					
96/09/19		0.76	0.42	12.39	
97/03/13	5.59	2.30	3.02	19.42	19.42
97/03/28	7.49	1.55	1.11	20.79	2.97
97/04/10	7.10	1.33	2.35	18.48	2.77
97/04/24	4.04	1.41		28.87	2.41
97/05/08	6.76	2.25	3.89	5.26	2.72
97/05/28	5.46	2.03	2.66	11.42	0.74
97/06/04	5.91	3.08	1.58	9.62	1.97
97/06/26	3.37	2.23	2.34	4.61	
97/07/01	2.93		2.35		2.27
97/07/09	5.33	1.88	1.99	7.46	1.33
97/07/15	3.19		1.74	5.17	1.36
97/08/08	4.02	1.61	1.29	8.51	2.21
97/08/21			1.05	6.80	1.50
97/09/03	5.33	1.99	1.39	7.59	1.33
97/09/18	5.12	2.07	1.29		
평 균	5.04	1.90	2.05	14.68	2.38
표준편차	1.69	0.72	0.95	8.11	1.99

<표4-5> **시험유역의 측점별 총인(T-P) 농도** Unit: mg/ℓ

날짜	WS#1	WS#2	WS#3	WS#9	WS#11
95/05/30	0.16	0.52	-	7.95	0.08
95/06/12	0.90	-	-	5.68	0.05
95/06/29	0.34	-	-	6.41	0.27
95/07/11	0.95	-	0.20	1.14	0.03
95/07/19	0.93	-	0.37	0.71	-
95/09/22	0.21	0.05	0.58	-	0.02
95/10/24	0.46	0.08	0.08	3.28	0.02
95/11/01	0.52	0.11	0.02	0.79	0.03
96/03/13	0.52	0.18	0.56	3.53	0.96
96/03/29	0.66	0.20	1.82	1.60	0.23
96/04/10	0.57	0.19	0.14	3.06	0.15
96/04/24	0.75	0.53	0.15	2.69	0.14
96/05/08	1.28	0.22	0.15	2.34	0.14
96/05/22	0.32	0.31		1.49	0.23
96/06/14	2.55	0.21			0.17
96/07/12	0.24	0.04	0.02	0.94	0.02
96/07/24	0.15	0.03	0.04	0.36	0.03
96/08/14	0.32	0.04	0.03		0.03
96/08/28	0.69	0.10	0.04	0.26	0.01
96/09/19	0.13	0.06	0.07	1.21	0.05
97/03/13	0.43	0.09	0.04	2.24	0.05
97/03/28	1.48		0.07	1.01	0.07
97/04/10	0.12	0.05	0.05	1.22	0.04
97/04/24	0.35	0.09	0.04	1.80	0.05
97/05/08	0.28	0.09	0.04	0.40	0.01
97/05/28	0.66	0.10	0.06	0.86	0.08
97/06/04	0.63	0.19	0.06	0.58	0.06
97/06/26	0.35	0.10	0.17	0.27	0.05
97/07/01	0.35		0.05		0.03
97/07/09	0.21	0.06	0.12	0.45	0.07
97/07/15	0.80		0.28	0.37	0.03
97/08/08	0.57	0.09	0.04	0.26	0.05
97/08/21	0.49		0.03	0.40	0.03
97/09/03		0.12	0.03	0.58	0.03
97/09/18	0.26	0.08	0.00	1.18	0.03
97/10/01	0.38	0.06	0.01	0.61	0.02
평 균	0.57	0.14	0.17	1.74	0.10
표준편차	0.46	0.12	0.33	1.85	0.16

2. 유사량

가. 유량-부유물농도의 관계

<표4-4>에서 살펴본 바와 같이 시험유역의 부유물 농도는 시기별로 차이를 보였는데, 그 원인은 폭우에 의한 유출 때문이었다. 시험유역의 유량과 부유물 농도의 관계는 회귀분석을 시도하였다. 유량-부유물 농도의 관계를 전대수지에 표시하여 본 결과, 부유물 농도는 유량과 지수적 증가를 나타내고 있었기 때문에 식 (4-1)을 기본 모델로 하여 측점별 상수와 지수를 구하였다.

$$S = c\,Q^{e_1} \qquad (4\text{-}1)$$

여기서, S = 부유물 농도 (mg/l), Q = 유량 (m^3/s), 그리고 c와 e1 = 상수와 지수이다.

회귀분석 결과는 <표4-7>에 표기한 바와 같이 유량이 증가함에 따라 부유물 농도가 증가하는 경향을 나타내었다. 회귀계수 R^2의 값은 WS#1, 3에서 각각 0.53, 0.43이었으며, 기타 유역의 경우는 0.64의 값을 나타냈다.

<표4-7> 유역별 유량-부유물 농도 관계식

유 역 별	부유물 농도 회귀식	R2	비 고
WS#1	$S = 50.735\,Q^{0.368}$	0.529	
WS#9	$S = 94.743\,Q^{0.477}$	0.434	
WS#3, WS#11	$S = 19.511\,Q^{0.341}$	0.639	

나. 유역별 유사량

유역별 유량-유사농도 관계와 일 유량의 '95년 자료를 이용하여, 유역별 유사량을 추정하였으며, 그 결과는 <표4-8>에서와 같았다.

<표4-8>에서와 같이, 유역의 일평균 부유물질 부하량은 측정기간 중 WS#1에서는 0.32톤, WS#2는 20톤, WS#3는 0.08톤, WS#9는 0.42톤, WS#11는 0.1톤 등의 범위를 보였다, 여기서, 부유물 농도의 경우 WS#9 유역의 값이 가장 큰 것에 반하여, 총 부유물량은 WS#1의 경우가 보다 더 많았다. 그러나, WS#9의 부하량이 유역 면적에 비하여 상대적으로 큰 값을 보였는데, 그 이유는 생활오수의 유입으로 인한 결과였다. 이

와 같은 경향은 부유물질의 부하량은 단순히 정성적으로 규정할 수 없고, 정량적으로 정의해야 하는 것을 알 수 있다. 또한, 유역 면적이 큰 경우 부유물질 부하량은 부유물 농도가 낮더라도 하천유량이 크기 때문에 큰 값을 나타내었다.

3. 총질소 (TN) 부하량

유역별 TN의 농도는 <표4-5>에서와 같이 측정 시기별로 변화하였는데, 각각의 측점에서의 유량에 따른 TN농도 변화를 도시한 결과, 유량의 변화와 TN의 농도는 뚜렷한 경향이 없었으며, 선형과 지수함수로써 표시하도록 하는 회귀분석을 시도하였으나, 상관성이 나타나지 않았다.

<표4-8> 측점별 유량-유사량, T-N, T-P 관계

유역명	유량측정 일수	유량		구 분	평균농도 (㎎/ℓ)	물질량	
		일평균 (10^3㎥/day)	총용량 (10^3㎥)			일평균 (㎏/day)	총 량 (㎏)
				T-N	5.30	90.63	10,604
WS#1	117	17.10	2,000.69	T-P	0.63	10.77	1,260
				SS	18.89	323.02	37,793
				T-N	2.20	2,754.71	355,357
WS#2	129	1252.14	161,526.26	T-P	0.23	287.99	37,151
				SS	16.23	20,322.26	2,621,571
				T-N	2.39	11.70	1,603
WS#3	137	4.90	670.61	T-P	0.41	2.00	275
				SS	16.16	79.10	10,837
				T-N	18.97	219.40	21,939
WS#9	100	12.85	1,156.54	T-P	3.27	37.82	3,781
				SS	36.45	421.56	42,156
				T-N	2.27	11.93	1,348
WS#11	113	5.25	593.81	T-P	0.18	0.95	106.89
				SS	18.52	97.32	10,997

이상에서와 같이, 각 유역별로 총질소의 오염부하량은 유량과 관련성이 없으므로 총질소의 오염 부하량은 평균 농도를 기준하여 일 유량과의 적으로 추정하도록 하였다. 유역별 평균 TN농도로는 WS#1은 5.30mg/l ,WS#2, 3, 9에서는 각각 2.20, 2.39, 18.97mg/l를 적용하였고, WS#11에서는 8mg/l이상의 농도를 제외하였을 때의 평균값인 0.18mg/l를 사용하였다.

유역별 총질소농도의 평균값과 일 유출량으로부터 구한 오염부하량은 <표4- 8>에서와 같이, 하천의 경우 WS#1, 3, 9, 11에서 각각 10.6, 1.6, 21.9, 1.3 톤이었다. <표4- 8>에서와 같이, 총질소 부하량은 농도 차이에도 불구하고 유역면적이 클수록 유량이 많으므로 부하량의 값이 큰 것을 알수 있었다. 이와 같은 경향은 농업유역의 수질오염은 산재된 취락으로 부터의 생활오수도 중요하겠으나, 전체 유역으로부터 유출되는 영양물질에 의한 기여가 큰 것임을 시사해주는 것이다.

4. 총인 (TP) 부하량

총인의 농도변화는 총질소와 마찬가지로 유량과 상관성이 인정되지 않았다. 따라서 총인 부하량을 구하기 위하여는 제한적이지만, 유역별 총인의 평균농도를 적용하도록 하여, WS#1, 3, 9, 11에서는 각각 0.63, 0.41, 3.27, 0.18mg/ℓ를 적용하였고, 저수지의 경우는 WS#2의 총인 평균농도인 0.23mg/ℓ를 적용하였다. 유역별 일유량과 총인의 평균농도로부터 부하량을 추정한 결과는 <표4- 8>에 나타냈다. 총인의 양은 WS#1에서 1.3톤, WS#2에서 37톤, WS#3에서 0.3톤, WS#9에서 0.4톤, WS#11에서 0.1톤 등이었다. WS#2의 저수지의 경우를 제외하면, WS#1, WS#9, WS#3, WS#11 등의 순으로 총인 부하량이 많았다.

이상에서와 같이, 유역의 비점오염 부하량은 집단취락지에서 처리되지 않은 생활오수로 인한 오염부하량이 매우 높음을 알 수 있었으며, 유량 측정 기간 중의 실제 오염량을 정량적으로 정의할 수 있었다. 이와 같은 오염부하량과 함께, 인접 배후지 등으로부터 오염물질이 저수지에 유입되고, 이로 인하여 저수지의 수질 악화의 원인이 되고 있음을 알 수 있었다.

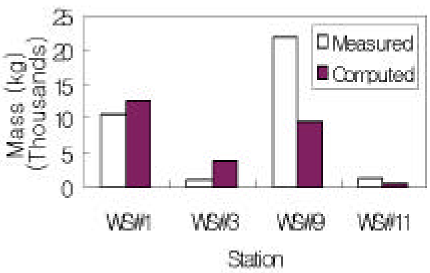
5. **오염발생부하량**

오염발생부하량의 원단위는 장정렬 (1994)**이 제시한 값을 사용하였다. 이 값을 이용하여 측점별 원단위 오염발생부하량을 계산하였으며, 그 결과는** <**표**4-9>**에 나타내었다.** WS#2**측점은 축산분뇨에 의한 총질소부하량이** 30**톤, 총인부하량은** 1.8**톤을 차지하고 있으며, 주거지역인** WS#9 **측점에서는 생활계 하수의 비율이 다른 측점보다 높게 나타났다.**

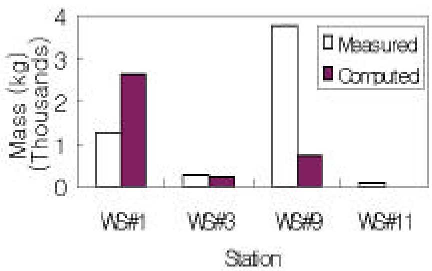
<**그림**4-2>**와** <**그림**4-3>**은 원단위에 의해 계산된 측점별 원단위 오염발생부하량과 실측 오염원 부하량을 나타내고 있다.** WS#9**는 다른 측점에 비해 실측 오염원 부하량이 크게 나타나고 있다. 이것은 전철역과 아파트 단지 등** WS#9 **유역의 급속한 변화로 생활계 하수의 유출이 많아진 결과로 보인다.**

<**표**4-9> **측점별 원단위 부하량**

구 분	T-N (kg)					T-N (kg)				
	WS#1	WS#2	WS#3	WS#9	WS#11	WS#1	WS#2	WS#3	WS#9	WS#11
토지이용	2,142	8,382	3,357	1,028	683	166	329	89	65	8
생활계하수	1,330	4,382	206	2,710	0	186	614	29	379	0
축산분뇨	9,106	30,070	367	5,754	0	2,296	1,869	124	288	0
계	12,578	42,834	3,929	9,492	683	2,649	2,811	243	732	8



<**그림**4-2> T-N **실측치와 계산치의 비교**



<**그림**4-3> T-P **실측치와 계산치의 비교**

6. **반월천 오염도**

가. 구간별 오염정도

수질 분석자료를 이용하여 반월유역의 하천 구간별 수질 상황을 추정하였으며, 이를 도식적으로 나타낸 결과는 <**그림**4-4>, <**그림**4-5> **에서와 같았다.**

<**그림**4-4> **는** 1995**년** 10**월** 24**일의 수질측점별** TN**농도를 기준하여, 각 하천 구간별 수질을 구분한 결과이다.** TN**농도를** 1mg/l**이하,** 1 2mg/l, 2 10mg/l, 10mg/l **이상 등으로 구분할 때, 각 하천 구간별 오염 정도를 나타낼 수 있었다.** <**그림**4-4> **에서와 같이, 반월천 상류구간에서는 산간지 등에서 유입되는 하천수의 수질의** TN**농도가 가장 낮았으며,** WS#9**의 상류지역과 인접지역의 가축사육수가 많은 곳에서의 수질오염이 심한 상태임을 나타내고 있다.**

<**그림**4-5> **는 수질측점별** TP**농도를 기준으로 오염정도를 표시한 결과이다.** TP**농도의 구분은 임의로** 0.1mg/l **이하,** 0.1 0.4mg/l, 0.4 1.0mg/l, 1.0mg/l **이상 등으로** 4**구분하여, 각 지천별 수질 상태를 나타낸 결과이다.** TP**농도의 분포는 산간지 계곡으로 부터 유입수량이 가장 낮은 값을 보이고 있으며, 취락지를 통과하는 하천 구간이 오염정도가 높았다.**

<**그림**4-4> **와** <**그림**4-5> **를 비교하면, 반월저수지 상류 구간에서의 오염 정도는 유사한 경향을 나타내고 있으나,** TP**농도의 경우, 저수지 하류구간에서는 비교적 낮은 값을 나타내는데 반하여,** TN**농도는 그렇지 않은 결과를 보이고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 비교 결과는** 10**월 하순의 수질 상태를 비교기준으로 하여 대상 하천 구간의** TP**농도 정도가** TN **농도의 정도에 비하여 상대적으로 낮은 값을 보이는 것을 의미한다.**

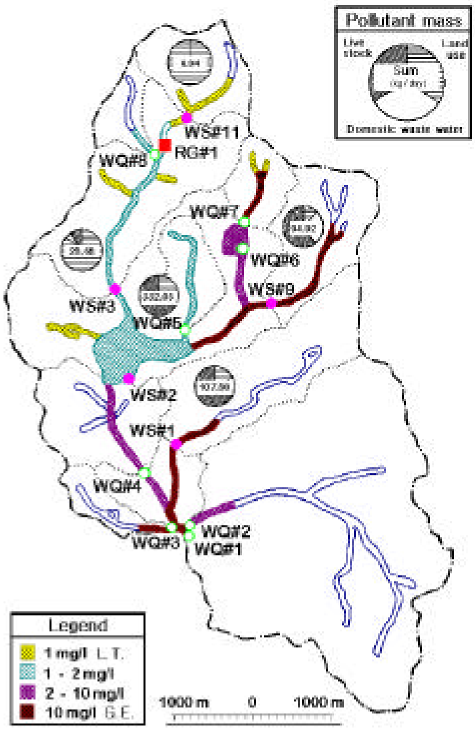
나. 오염원과의 관계

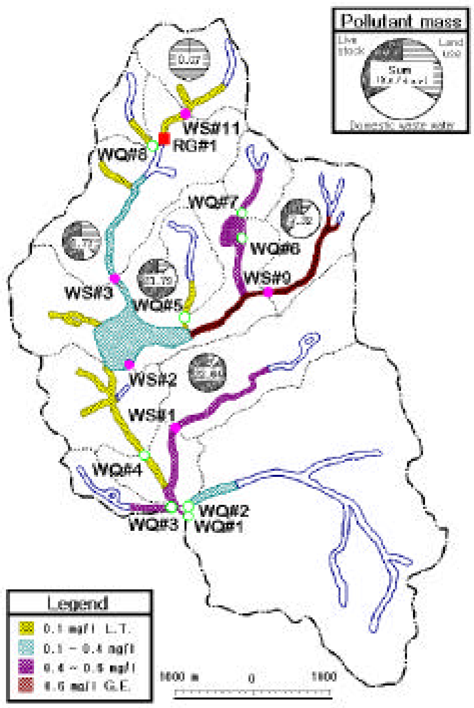
<**그림**4-4> **과** <**그림**4-5> **에서는 하천구간 오염정도와 관련하여 유역내 인구와 축산 현황 등과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다. 이와 같이 상류지역의 하천 수질 오염으로 하류구간에서의 수질 오염 정도가 결정되는 것을 보여준다.**

총질소는 WS#2**측점인 반월저수지 유역의 원단위 부하량이** 332kg/day**로서 가장 큰 부**

하량을 보였고, 축산계 오염원의 비율이 높게 차지하고 있었다. 산림지역인 WS#11지점은 오염부하량이 6.04kg/day의 값을 보였고 오염부하 정도도 낮게 나타났다. 또한, 축산에 의한 오염부하량의 비율이 높은 WS#9와 WS#1 측점의 T-N 농도가 높은 수질 상태를 나타내었다.

총인은 토지이용에 의한 오염원이 배출되는 WS#11 측점이 낮은 농도를 보였고, 축산계 오염원의 비율이 높은 WS#1 지점이 높은 오염정도를 나타냈다. WS#9 측점의 원단위 오염부하량 값이 WS#1 측점보다 작음에도 불구하고, WS#9 측점의 T-P 농도가 높은 값을 보이는 것은 WS#9 측점이 급속한 취락지의 발달로 인해 생활계 오수가 무분별하게 방류되기 때문인 것으로 판단된다.





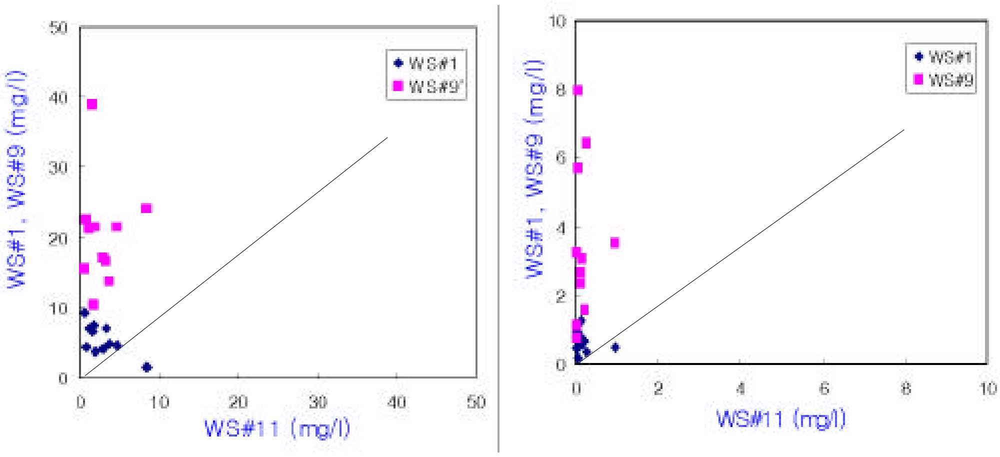
<그림4-1> 반월유역의 총질소(T-N) 상황도 <그림4-2> 반월유역의 총인(T-P)상황도

7. **토지이용에 따른 오염부하량**

가. 토지이용에 따른 오염부하

<그림4-6>은 토지이용상태에 따른 총질소, 총인의 오염부하를 비교한 것이다. 즉, 토지이용상태에 의한 오염부하를 비교하기 위하여 산림지의 농도에 대한 평탄지와 취락지의 농도를 1:1로 나타낸 것이다. 산림지인 WS#11 측점에 비해 평탄지인 WS#1 측점과 취락지역인 WS#9 측점의 총질소, 총인의 오염부하가 뚜렷이 높은 경향을 보였다.

농업비점오염은 그 배출 기작의 특성이 점원오염과는 달리, 수처리장을 이용한 공학적인 처리가 불가능하거나 비경제적이다. 따라서 수질목표를 산림지인 WS#11 측점의 농도로 설정할 경우, 수질에 영향을 미치는 여러 가지 기작을 조절하는 유역의 최적관리기법 (Best Management Practice, BMP)에 의하여, 오염원 혹은 그 인접지역에서의 오염발생을 억제하거나, 효과적인 관리를 통해서 줄여나가야 할 것이다.



(a) T-N (b) T-P

<그림4-6> 산림지에 대한 평탄지, 취락지의 오염부하 비교

나. 비부하량

비부하량은 단위면적당 부하량을 의미한다. 단위면적당 오염부하량은 각 측점 소유역의 일별 오염부하량을 해당 유역면적으로 나누어 계산하였으며, 그 결과는 <표4-10>에 나타내었다. <표4-10>에서와 같이, 산림지의 T-N의 일별 비부하량은 0.095 kg/ha/day으로 낮은 반면에 취락지인 WS#9 측점은 1.314kg/ha/day로 상대적으로 높은 값을 나타내었다. T-P의 경우 역시, 산림지인 WS#11이 0.008kg/ha/day로 낮았고, 취락지인 WS#9 측점이 0.226kg/ha/day으로 높은 값을 보였다. 따라서, 시험유역에서의 토지이용상태에 따른 비부하량은 취락지역이 산림지역인 14배, 평탄지의 4배로서 토지이용에 따른 비점오염부하량은 취락지의 생활오수가 주 오염원임을 알 수 있다.

<표4-10> 단위면적당 오염부하량

토지이용	T-N (kg/ha/day)	T-P(kg/ha/day)
산림지(WS#11)	0.095	0.008
평탄지(WS#1)	0.330	0.039
취락지(WS#9)	1.314	0.226

제 5 절 유역 비점오염 모형의 적용

1. 비점오염모형

농경지 또는 농업 유역에서의 강우에 의한 유출, 토양유실, 영양물질, 혹은 농약 등의 비점오염 물질의 손실을 추정할 수 있는 소위 비점오염 모형에는 CREAMS, EPIC, WEPP, AGNPS 등 여러가지가 있다. 이들 비점오염 모형은 그 적용 대상 면적에 따라서 포장규모 모형 (field scaled model)과 유역 모형 (watershed model), 혹은 포장-유역 등에 별도 모델을 마련한 혼합형 모형 (mixed model) 등으로 구분할 수 있다. 또한, 적용사상에 따라 폭우사상 모형 (storm-event model), 장기간의 일 강수량 자료를 이용하여 연속적으로 추정하는 연속적 모형 (continuous model), 연강수량 혹은 강우인자 값으로 부터 연평균 오염부하량을 추정할 수 있는 연평균 모형 (annual average model) 등의 구분이 가능할 것이다. 그밖에도, 모형의 매개변수의 속성에 따라 매개변수 모형 (parametic model), 경험계수에 의한 모형 (calibration model) 혹은 박스 모형 (black box model) 등의 구분을 하거나, 대상 지역의 공간적 분포를 고려하는 방법에 따라 분포형 혹은 그리드형 모형 (distributed or cell model), 총괄형 모형 (lumped model) 등의 구분이 가능하다. 그밖에도 미국 EPA 및 관련 기관에서 개발된 유역 비점오염모형 등이 있다.

2. 농업비점오염모형 AGNPS

가. 모형의 개요

미국 미네소다 주에서는 농업유역의 비점오염의 추정을 목적으로 소위 농업비점오염모형 AGNPS (agricultural nonpoint source pollution model)를 개발하였는데, 이는 통일된 방법을 이용하여 농업비점오염의 발생원과 이의 억제를 위한 BMP를 적용하기 위한 목적으로 개발되었다. AGNPS모형은 폭우사상에 대한 유출과 첨두유량, 토양유실, 총질소, 총인, 화학적 산소요구량 (Chemical Oxygen Demand, COD) 등을 추정할 수 있도록 하였으며, 각각의 관계식과 모형 등의 상세한 내용은 김-박 (1995)에서와 같다.

AGNPS모형은 유역을 셀 (cell)이라고 부르는 정방형 격자로 구분하고, 각 셀에 대한 지형, 토양, 토지이용 및 식생, 테라스 등 농지보전법, 비료 시비량과 유효량, COD, 기타 갈리 침식량 혹은 축산 또는 그밖의 점원 오염량 등을 입력하여, 직접유출량을 구하고, 토양 유실량을 계산하며, 하류 구간으로의 유사와 물질이동을 추정하여 유역 출구에서의 비점오염량을 정하는 것이다.

AGNPS 모형을 선정한 주요 이유는 반월 시험유역의 규모와 지형과 토지이용 특징 등을 감안한 것인데, 여타의 비점오염 모형이 포장 규모 모형이 많아 이들의 적용이 어려운 까닭이다. 또한, 대유역 모형과는 달리 폭우사상별 적용이 시험유역의 자료량을 고려할 때 더 적합한 데 그 이유가 있는 것이다. 물론, 자료 기반이 구축됨에 따라 다양한 형태의 비점오염 모형의 적용이 가능할 것이며, 이를 위한 지속적인 검토도 필요한 것이 사실이다.

나. 모형의 입력자료

AGNPS모형은 폭우사상별 분포형 모형으로 입력자료는 유역의 셀의 크기와 수, 폭우사상의 강우량과 강우에너지 등으로 구성되는 유역-폭우사상 입력자료와 셀 특성인자로 대별된다.

셀 인자는 셀 간의 배수상황을 나타내는 매개변수들과 유출곡선번호 (curve number, CN), 그리고 토양유실추정식의 인자인 경사장, 경사도, 토양인자, 작물경종계수, 침식조절인자 등의 매개변수와 시비량과 시비잔량을 나타내는 변수, 그리고 갈리침식, 축산 등의 점원오염원에 관한 변수, 테라스 등 보전구조물에 대한 매개변수 등으로 구성된다. <표5-1>은 AGNPS모형의 셀인자 입력자료 등의 내용을 정리하였다.

<표5-1> AGNPS모형의 입력변수

No	Iterms	Contents
1	Watershed Input	Watershed identification
2		Cell area (acres)
3		Total number of cells
4		Precipitation (inches)
5		Energy-intensity value
1	Cell Parameter	Cell number
2		Number of the cell into which it drains
3		SCS curve number
4		Average land slope (%)
5		Slope shape factor (uniform, convex, or concave)
6		Average field slope length (feet)
7		Average channel slope (%)
8		Average channel side slope (%)
9		Mannings roughness coeffiecient for the channel
10		Soil erodibility factor (K) from USLE
11		Cropping factor (C) from USLE
12		Practice factor (P) from USLE
13		Surface condition constant (factor based on land use)
14		Aspect (one of 8 directions)
15		Soil texture (sand, silt, clay, peat)
16		Fertilization level (zero, low, medium, high)
17		Incorporation factor (% fertilizer left in top 1cm of soil)
18		Point source indicator
19		Gully source level (estimate of amount, tons, or gully erosion in a cell)
20		Chemical oxygen demand factor
21		Impoundment factor
22		Channel indicator

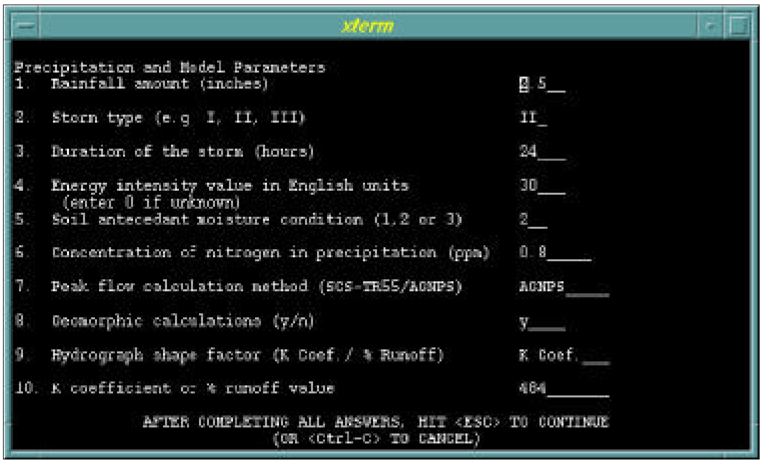
다. GIS-AGNPS의 입출력 시스템

농업비점원오염의 특성상 각종 자료들이 지역적으로 변화하므로 이를 공간적으로 표시하는 것은 비점원오염을 계획하고 관리 및 평가하는 데 크게 도움을 줄 수 있으며, 특정 비점원 오염 분제지점을 파악하는 능력을 향상시킬 수 있다. 한편, 모형의 개발

자 및 사용자에게는 모형에 의한 결과를 화면출력을 통해서 활인함으로서 모형을 통한 분석작업 및 모형결과의 평가 등에 도움을 줄 수 있다.

GIS-AGNPS의 결과출력을 처리할 수 있도록 시스템을 구축하였으며, 그 입력화면은 <그림5-1>과 같다. <그림5-1>에 의해 출력화일명 등을 입력하여 해당하는 결과의 텍스트 및 지도 출력을 실시하도록 하였다.

시스템을 통한 AGNPS모형에 의한 결과의 출력은 유역 매개변수 및 유역출구에서의 모형의 결과값과 각 셀의 유출, 유사 및 수질량으로 구분되어 출력되는 데 유역 출구에서의 깁 등은 텍스트 형식으로 나타내고 각각의 셀에서의 모형의 결과는 공간적인 분포특성을 가지므로 수치지도로 출력하였다.



<그림5-1> AGNPS 모형의 입력자료 구성 예

3. 시험유역의 GIS 자료 구축

가. 구축 범위 및 방법

시험유역의 지형자료의 축척은 1:25,000으로 하였다. 본 연구에서 구축한 자료의 범위는 <표5-2>와 같이 좌상단 E 126o 52' 30", N 37o 22' 30" 에서 우하 단 E 126o 57' 30", N 37o 17' 30"으로 하였다.

주제도 작성은 국립지리원의 1:25,000 지형도와 농촌진흥청의 정밀토양도를 이용하여

등고선, 유역경계, 토지이용, 하천 및 토양경계에 대해 트레이싱 도면을 작성하고 이를 래스터 스캐닝과 벡터변환 및 벡터에디팅하였다.

작성된 벡터형태의 수치지도를 GRASS형태로 변환하고 GRASS 벡터 파일들의 자료 수정 및 속성 입력을 실시한 후에 래서터도로 변한하여 5개 기본도와 10개 주제도를 작성하였다.

<표5-2> 시험유역의 Coverage of digital map

Points	Longitude/Latitude	UTM
Northwest	E 126o 52' 30" /N37o 22' 30"	688130.49909510/4138179.24848807
Northeast	E 126o 52' 30" /N37o 22' 30"	680751.98674492/4138016.31603917
Southeast	E 126o 52' 30" /N37o 17' 30"	680951.86954993/4128770.77924600
Southwest	E 126o 52' 30" /N37o 22' 30"	688338.55071422/4128933.58133387

나. 주제도

1) 토지이용도

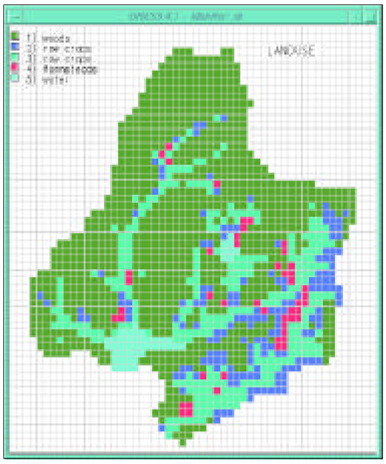
시험유역의 토지이용도는 <표5-3>과 같이 5개 속성값을 가지며 <그림5-2>과 같다. <그림5-2>은 시험유역인 반월유역에 대해 구축한 토지이용도로서 임야, 밭, 논, 주거지 및 수면으로 구분된 토지이용상태를 나타내고 있다.

가) USLE C 및 USLE P 인자도

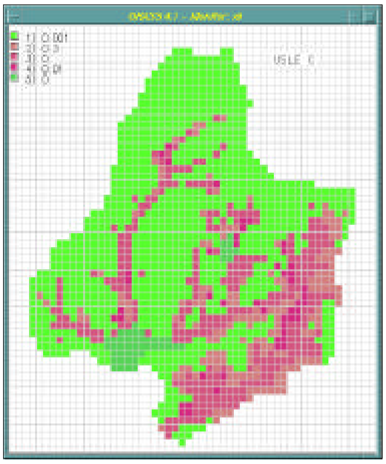
USLE의 C인자도 및 P인자도는 토지이용도로 부터 분류하여 작성하였는데 속성값으로서는 Wischimeir 등 (1978), 농촌진흥청, 김 등 (1994)의 연구결과를 참조하여 C 값은 임야 0.001, 밭 0.03, 주거지 0.01 그리고, 논과 수면은 0.0으로 정하였다. P 값은 임야와 밭은 보전농법이 실시되지 않은 값인 1.0으로 하였으며, 논은 0.2 그리고 수면은 0.0으로 정하였는데 <표5-3>과 <그림5-2>와 같다.

<표5-3> **포장관리상태와 관련된** Map layers

Landuses of Watershed	Layers of map				
	Landuse	USLE C	USLE P	Management	Nutrient
Forests	Forests	0.001	1.0	Very sparse	None
Upland	Upland	0.03	1.0	Straight row	None
Paddy	Paddy	0.00	0.2	Contoured and terraced	Low
Farmsteads	Farmsteads	0.01	1.0	Contoured	None
Water	Water	0.00	0.0	Impervious	None



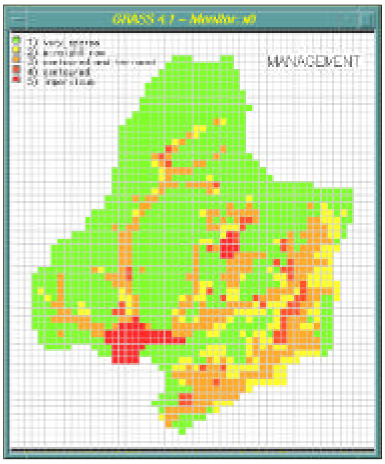
<그림5-2> **시험유역의 토지이용상태**



<그림5-3> USLE**의** C **인자도**

나) 포장관리상태도

포장관리상태도는 SCS의 분류에 의해 구분된 시험유역의 포장관리 상태를 <표5- 3>과 같이 임야는 드문 식생상태, 밭은 상하경, 논은 등고선대상재배 그리고, 수면은 불투수상태로 하였으며 <그림5- 4>와 같다.



<그림5- 4> 포장관리상태도

다) 시비수준도

시험유역의 시비수준은 현지조사와 AGNPS모형 사용자지침서에 의해 논의 경우 저수준(총인 50Kg/ha, 총질소 20kg/ha)으로, 그 외의 경우는 무사용으로 구분하였다.

2) 토양도

시험유역의 토양도는 농촌진흥청의 정밀토양도로부터 작성하였다. 속성값으로는 토양통부호를 가지고 있다. 시험유역의 토양은 GcB(감천통)으로 부터 Hr(황룡통)까지의 총 85 종류이다.

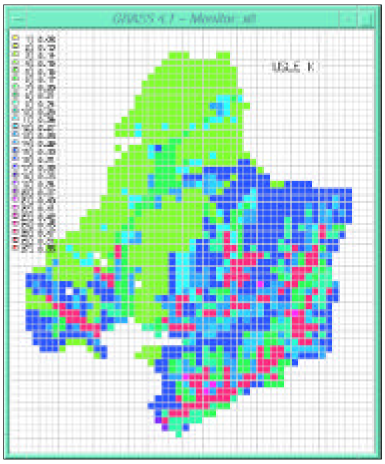
가) USLE의 K인자도

USLE의 K인자도는 토양도의 토양부호와 정밀토양통설명서를 이용하여 구하였다. USLE의 K인자값은 0.1에서 0.55의 범위를 보였으며, USLE K 인자도는 <그림5- 5>와

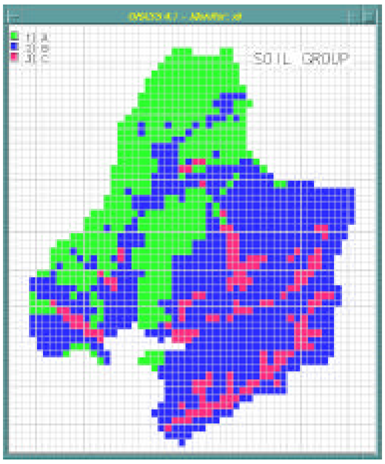
같다.

나) 수문학적 토양군도

토양의 수문학적 토양군도는 토양투수성에 따라 구분되는데 농촌진흥청의 정밀토양자료에 의하면 매우양호에서 매우불량의 8가지 투수순준으로 구분된다. 본 연구에서는 토양의 투수수준중 매우양호를 A토양군으로, 약간양호와 양호를 B토양군, 약간불량과 불량을 C토양군 그리고, 매우불량을 D토양군으로 분류하였다. <그림5-6>은 시험유역의 수문학적 토양군도를 나타낸다.



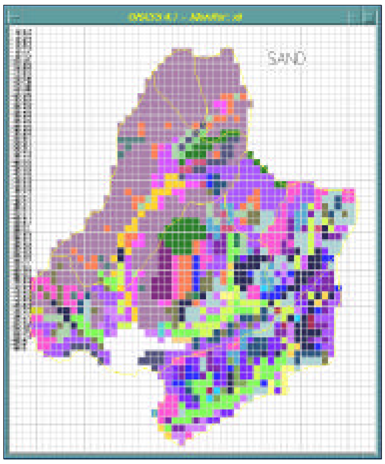
<그림5-5> USLE의 K 인자도



<그림5-6> 수문학적 토양군도

다) 모래함량도 및 점토함량도

시험유역의 토양에 따른 모래성분함량 및 점토성분함량은 정밀토양통설명서에 의해 구하였고, 시험유역에 대해 구축한 모래성분함량도의 수치지도는 <그림5-7>에 나타내었다.



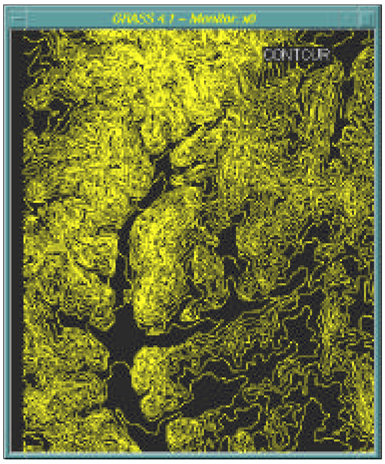
<그림5- 7> 시험유역의 모래함량도

3) **하천도**

시험유역의 하천도는 구간별 평균하천경사의 속성값을 가지고 있다.

4) **등고선도**

시험유역의 등고선은 축척 1:25,000 지형도에서 표고 10m 간격의 등고선을 입력하였으며, 유역의 최저 표고는 20m, 최고 표고는 250m로 <그림5- 8>과 같다.



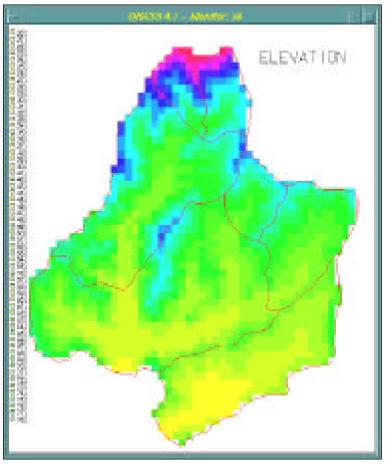
<그림5- 8> 시험유역의 등고선도

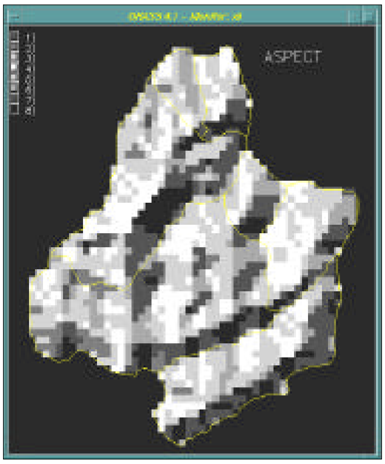
5) 수치표고도

유역의 각 지점별 수치표고는 등고선도를 이용하여 GRASS 프로그램(r.surf.contour)에 의해 작성되었다. 시험유역에서 작성된 1m 단위의 수치표고도는 <그림5-9>와 같다.

6) 경사방향도

경사방향도는 수치표고도를 입력하여 GRASS 프로그램으로 경사방향을 작성하여 이를 하천도를 참고하여 실제 유역의 흐름경사방향으로 수정하였으며, <그림5-10>과 같다. <그림5-10>은 경사방향이 유역의 좌상부분일 경우 밝은 색으로 표시되며 우하부분의 경사방향일 경우 어두운 색으로 나타나고 있다.





<그림5-9> 시험유역의 수치표고도 <그림5-10> 시험유역의 수치 경사방향도

4. AGNPS 모형의 적용 결과

가. 폭우사상의 선정

AGNPS모형의 적용을 위한 소유역은 WS#1, 3, 9, 11, 12 등 5개 유역으로 하였다. 각 유역별로 폭우 사상 13개를 선정하여, 각 사상별 유출량, 첨두유량, 유사량, 총질소와 총인 등의 양을 구하여 이에 대한 모형의 적용을 시도하였다.

폭우사상별 유출량은 기저유출량을 제외한 직접유출량을 적용하였는데, 이는 AGNPS모형의 대상이 되는 유출량에 해당되기 때문이다. 각 사상별 유사량, 총질소와 총인 등의 값은 유량과 농도의 적으로부터 산정하였다.

한편, AGNPS모형의 적용을 위해서는 폭우사상에 대한 토양유실량 식의 강우인자 값이 필요한데, 이는 자기우량지로 부터 강우에너지를 구하고, 30분 최대 강우강도를 곱하여, 강우인자 관계식으로 부터 계산하여 적용하였다.

나. 유출량과 첨두유량

AGNPS모형으로 부터 유역별 유출량과 첨두유량의 추정치와 실측치를 비교하였으며, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 유출량

AGNPS모형에서 유출량은 SCS 유출곡선번호법을 적용하는데, WS#3와 WS#9에 대한 폭우사상별 유출량의 추정치와 실측치를 비교한 결과는 <표5-4>에서와 같다. <표5-4>에서와 같이, 추정치는 WS#3의 경우 평균 17.50mm로서 실측치 18.71mm보다 약 7%정도 작은 값이었으나, WS#9의 경우, 추정치는 평균 19.38mm, 실측치 17.50mm로 추정치가 약간 큰값을 보였다. 그러나, 대체적으로 추정치와 실측치가 높은 상관성을 보였으며, 잔차평균오차가 3 7.6mm정도로 근사한 결과를 얻을 수 있었다.

<표5-4> **폭우사상별 유출량 비교**

Storm event	Rainfall (mm)	Runoff discharge, mm			
		WS#3		WS#9	
		Cbs.	Sim.	Cbs.	Sim.
4/22/93	24.0	0.95	0.01	N/A	-
5/12/93	32.5	2.55	0.06	0.18	0.10
6/01/93	65.5	7.51	6.52	7.95	7.02
6/12/93	50.0	4.77	2.23	7.56	2.50
7/08/93	41.5	6.25	0.77	2.96	0.92
7/11/93	91.0	38.96	35.07	31.43	36.40
7/13/93	97.5	54.78	54.85	55.04	56.26
7/17/93	96.5	N/A	-	52.06	55.39
7/24/93	32.0	N/A	-	6.33	0.08
7/29/93	117.5	50.28	55.15	33.92	56.86
8/13/93	29.0	2.31	0.02	1.05	0.02
9/16/93	71.0	N/A	-	11.07	9.02
9/20/93	34.0	N/A	-	0.74	8.03
Total	782.0	168.36	154.68	210.02	232.60
Average	60.2	18.71	17.19	17.50	19.38
RMSE			3.14		7.59

2) **첨두유량**

AGNPS의 첨두유량은 폭우사상별 강우의 시간적 분포를 고려하지 않은 경험식으로 부터 추정되는데, 초기의 적용결과 실측치와 큰 차이를 나타내어 보정이 필요하였다. 보정결과로 부터 얻은 첨두유량식을 적용하여 WS#3, #9유역에 대하여 첨두유량의 추정치와 실측치를 비교한 결과는 <표5-5>에서와 같았다.

<표5-5>에서와 같이 첨두유량의 추정결과는 WS#3의 경우 평균 4.51㎥/s로서 실측치 5.58㎥/s 보다 작은 값을 나타낸 반면, WS#9에서는 추정치가 2.61㎥/s로서 실측치 1.68㎥/s보다 큰값을 나타냈다. 이와 같은 경향은 유출량의 추정결과와 유사한 경향이었으며, 유역의 수문특성을 나타내는 CN값의 오차와 함께, 강우강도의 변화를 고려하

지 않은 구조적 단점을 감안할 때, 적용성이 있는 것으로 생각되었다.

<표5-5> 폭우사상별 첨두유량 비교

Storm event	Rainfall (mm)	Peak runoff rate, m³/s			
		WS#3		WS#9	
		Cbs.	Sim.	Obs.	Sim.
4/22/93	24.0	0.14	0.00	N/A	-
5/12/93	32.5	0.16	0.03	0.06	0.02
6/01/93	65.5	0.36	1.96	0.34	1.11
6/12/93	50.0	1.40	0.73	1.40	0.43
7/08/93	41.5	1.12	0.27	0.49	0.17
7/11/93	91.0	11.19	9.31	5.30	4.94
7/13/93	97.5	24.73	14.09	5.92	7.34
7/17/93	96.5	N/A	-	2.95	7.23
7/24/93	32.0	N/A	-	0.23	0.02
7/29/93	117.5	10.15	14.16	1.99	7.41
8/13/93	29.0	1.10	0.01	0.34	0.01
9/16/93	71.0	N/A	-	1.09	1.39
9/20/93	34.0	N/A	-	0.07	1.25
Total	782.0	50.25	40.56	20.19	31.32
Average	60.2	5.58	4.51	1.68	2.61
RMSE			3.91		2.10

다. 유사량

AGNPS모형을 이용하여 WS#1, 3, 9, 11, 12등 5개 소유역에 대한 폭우사상별 유사량을 추정한 결과는 <표5-6>에서와 같았다. <표5-6>에서와 같이, 유사량 추정치는 각 유역에서 일반적으로 실측치 보다 큰값을 얻었는데, WS#1의 경우는 평균 5.9ton, WS#3는 평균 6.16ton, WS#9은 4.68ton, WS#11과 12에서는 각각 0.40ton과 1.78ton등으로 실측치 평균 4.93, 3.12, 2.79, 0.17, 0.57ton보다 20 310% 범위의 차이를 나타냈다. 유사량의 차이는 대체로 토양유실인자 등의 추정에서 오는 것과 모형의 구조적 차이에서 오는 것으로 판단되는데, 폭우사상에 대한 적용 결과의 통상적인 범위 정도로 생각

되었다. 특히, 적용대상유역의 경우 산림지의 구성비가 높은데 반하여, 이들 지역에 대한 작물경종계수 등 매개변수의 추정에 대한 자료가 부족한 것이 현실임을 감안할 때, 오차의 범위가 큰 것으로 단정짓기는 어려운 것도 사실이라 생각되었다.

<표5-6> 폭우사상별 유사량 비교

Storm event	Sediment yields, tons									
	WS#1		WS#3		WS#9		WS#11		WS#12	
	Cbs.	Sim.	Cbs.	Sim.	Cbs.	Sim.	Cbs.	Sim.	Obs.	Sim.
4/22/93	0.01	0.01	0.04	0.01	N/A	-	0.00	0.10	0.00	0.03
5/12/93	0.07	0.16	0.11	0.09	0.01	0.17	N/A	-	N/A	-
6/01/93	1.52	3.97	0.45	4.41	0.49	3.29	0.02	0.14	N/A	-
6/12/93	0.90	2.31	0.41	2.45	1.06	1.78	0.02	0.20	0.03	1.23
7/08/93	2.11	1.03	0.51	1.13	0.20	0.93	0.00	0.08	0.09	0.49
7/11/93	12.39	18.78	6.38	16.18	6.18	9.29	0.30	2.67	0.98	7.92
7/13/93	18.69	13.59	12.44	15.20	11.16	11.06	0.71	0.27	1.85	1.63
7/17/93	11.11	13.35	N/A	-	6.61	10.95	0.38	0.23	1.20	1.38
7/24/93	0.11	0.14	N/A	-	0.33	0.14	N/A	-	N/A	-
7/29/93	15.70	14.97	7.56	15.92	5.36	11.20	0.43	0.69	1.40	4.34
8/13/93	0.00	0.01	0.19	0.01	0.08	0.04	0.01	0.00	0.00	0.01
9/16/93	0.82	4.40	N/A	-	1.27	3.79	0.03	0.08	0.11	0.45
9/20/93	0.60	4.03	N/A	-	0.73	3.56	0.02	0.05	0.05	0.27
Total	64.02	76.75	28.08	55.40	33.48	56.20	1.92	4.42	5.71	17.75
Average	4.93	5.90	3.12	6.16	2.79	4.68	0.17	0.40	0.57	1.72
RMSE		2.86		4.64		2.68		0.74		2.42

라. 영양물질

1) 총질소

반월유역에 대한 AGNPS모형에 의한 총질소 농도의 추정결과는 <표5-7>에서와 같았다. <표5-7>에서와 같이 WS#1유역의 경우 추정치의 평균 7.8mg/l로서 실측치 4.9mg/l보다 큰 값이었고, WS#3에서도 2.3mg/l로서 실측치 1.8mg/l보다 큰값을 보였다. 반면에 WS#9, 11, 12등에서는 추정치가 각각 5.4mg/l, 1.2mg/l, 1.1mg/l등으로 실측치 13.0mg/l, 2.3mg/l, 1.2mg/l 등보다 큰값을 나타냈다. 이상과 같은 추정 오차는 여러가지 요인이 있을 것이나, 평탄지 유역 등에서의 생활오수 등 점원오염이나, 논에서의 물질 순환 기작 등에서 기인하는 차이, 혹은 모형의 특성상에서 나타나는 것 등으로 생각되었다. 따라서, 이와 같은 조건에 대한 자료의 구축, 다양한 폭우사상에 대한 적용 등 지속적인 연구가 필요하다고 생각되었다.

(나) 총인

시험유역의 AGNPS모형에 의한 추정 T-P농도와 측정 T-P농도의 비교는 <표5-7>에 나타나있다. WS#1유역의 경우, 모형에 의한 모의발생치가 평균 1.4mg/l로 측정치 2.0mg/l보다 작은 값을 나타내었으며 WS#3유역은 모의발생 T-P농도의 평균이 0.3mg/l, 측정 T-P평균 1.0mg/l, WS#9유역은 모의발생 평균이 1.0mg/l, 측정평균이 2.6mg/l, WS#11 유역과 WS#12 유역은 모의발생 T-P농도의 평균이 0.1mg/l로서 측정 T-P농도의 평균인 1.2mg/l 와 1.7mg/l 보다 상당히 작은 값을 나타내었다. T-P의 경우 AGNPS모형의 모의발생치와 측정치가 유역에 따라 차이를 보였는데, 이는 T-N에서와 같이 시비투여 및 축산폐수, 생활오수 등의 유입에 기인된 것으로 생각된다.

<표5-7> **폭우사상별 총질소, 총인의 비교**

Storm event	Compo-nents	Nutrients concentration, mg/l									
		WS#1		WS#3		WS#9		WS#11		WS#12	
		Cbs.	Sim.	Obs.	Sim.	Cbs.	Sim.	Cbs.	Sim.	Cbs.	Sim.
5/17/93	T-N	8.7	16.41	3.3	4.23	N/A	-	2.7	1.67	0.4	1.52
	T-P	0.4	3.09	0.0	0.65	N/A	-	0.0	0.14	0.8	0.11
5/22/93	T-N	5.8	14.20	1.2	3.00	19.0	11.25	1.9	1.58	0.7	1.44
	T-P	0.9	2.66	2.2	0.41	2.4	1.07	1.7	0.13	2.6	0.10
6/01/93	T-N	4.9	3.17	0.8	1.45	11.9	2.68	4.0	0.96	2.1	0.93
	T-P	0.5	0.52	1.0	0.17	2.9	0.42	1.0	0.07	1.1	0.06
6/12/93	T-N	4.5	5.00	2.3	2.00	18.3	4.19	N/A	-	0.8	1.02
	T-P	6.4	0.87	0.0	0.27	4.1	0.71	N/A	-	4.0	0.07
6/27/93	T-N	5.5	6.44	2.1	1.13	13.4	6.28	N/A	-	0.7	1.10
	T-P	2.0	1.13	1.2	0.06	2.0	1.10	N/A	-	0.0	0.06
7/08/93	T-N	3.2	6.97	1.6	2.72	N/A	-	2.4	1.24	1.6	1.13
	T-P	2.0	1.26	2.4	0.41	N/A	-	3.0	0.11	2.0	0.09
7/13/93	T-N	3.6	5.04	1.9	1.85	11.3	4.07	1.7	1.00	1.4	0.96
	T-P	1.3	1.00	0.7	0.27	2.6	0.78	1.2	0.08	0.5	0.07
7/29/93	T-N	3.1	5.08	1.4	1.86	4.1	4.10	1.2	1.00	1.7	0.96
	T-P	2.5	1.01	0.6	0.28	1.8	0.79	0.0	0.08	2.5	0.07
Total	T-N	39.3	62.3	14.6	18.2	78.0	32.6	13.9	7.5	9.4	9.1
	T-P	16.0	11.5	8.1	2.5	15.8	5.9	6.9	0.61	13.5	0.63
Average	T-N	4.9	7.8	1.8	2.3	13.0	5.4	2.3	1.2	1.2	1.1
	T-P	2.0	1.4	1.0	0.3	2.6	1.0	1.2	0.1	1.7	0.1
RMSE	T-N		4.4		0.1		8.6		1.4		0.7
	T-P		2.4		1.1		2.0		1.5		2.0

제 6 절 환경보전형 지속농업을 위한 최적관리방안

지속농업(Sustainable Agriculture)의 개념은 1972년 스웨덴의 스톡홀름에서 열린 '인간과 환경에 관한 UN회의'에서 탄생한 생태보존적 개발(Eco Development)과 지속가능개발(Sustainable Development)의 개념에서 비롯되었다 (박, 1994).

환경보전적 지속적 농업은 자연 생태계와 조화를 이루어 자원의 재생산과 재이용을 가능케하고, 화학비료와 농약의 저투입을 통한 자연자원과 환경을 보전하여 장기적, 안정적 생산성과 수익성을 확보하기 위한 농업체계이다.

환경보전형 지속농업의 수단으로는 화학비료와 농약 등의 저투입과 유기농법, 경운법과 윤작 등의 환경적 경종법이 이용된다. 따라서, 오염배출량을 가능한 수준이하고 내리고, 생산성을 지속적으로 유지하는 환경적으로 안전한 지속 가능한 농업을 지향하는 방안을 모색하여야 하며, 농업생산성과 환경보전을 포함하면서, 경제적으로 실행가능한 최적관리방안이 고려되어야 할 것이다.

농경지의 비점오염 부하량을 줄이기 위한 보전영농법이나 공학적 방법 등의 최적관리기법은 지표유출을 줄이고, 토양 유실량을 억제하는 데 활용되고 있다. 그러나, 궁극적으로는 농경지로부터 비료, 농약 등 영양물질과 오염물질을 적게 시용하고, 이들이 토양에 축적되거나, 지하수 오염을 방지하기 위해서는 유역전체에서의 비점오염을 관리하는 종합관리(integrated management)가 중요하다.

농경지에서의 오염물질은 밭의 경우 토양유실량이 많고, 논에서는 비료나 농약의 시용후 홍수가 발생하면 하천으로의 유입이 초래된다. 따라서 최적관리기법의 적용을 통한 농업비점오염을 줄이는 것이 필요할 것이다.

따라서, 본 절에서는 환경농업의 효과를 고찰하기 위하여, 앞에서 적용한 농업 비점오염모형인 AGNPS 모형을 이용하여 농업 비점원오염의 최적관리대안에 대해 평가하고, 포장규모의 농업비점오염모형인 CREAMS모형을 이용하여 BMP에 따른 오염부하량 저감방안의 효과를 영양물질 농도, 시비량, 관개량 등에 의한 시나리오별로 분석하

므로서 환경보전형 농업기술 개발을 위한 지표를 제공하였다.

1. 유역규모의 농업 비점원 오염 저감방안

가. AGNPS 모형의 민감도 분석

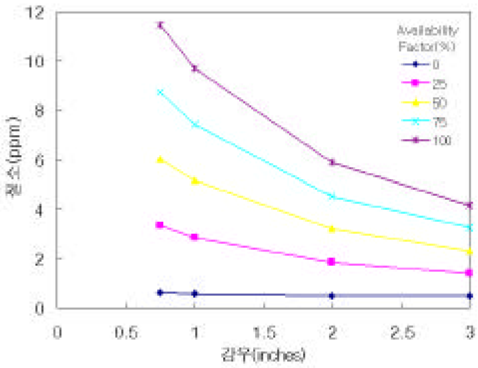
농업비점오염 모형인 AGNPS모형의 응용성을 평가하기 위하여, 격자 크기의 변화에 따른 입력변수의 민감도를 분석하였다. 격자의 크기는 최대 400%까지 변화를 시키면서 모형을 구동하였다. 모형의 구동 결과, 유출량 및 용해된 영양물질량은 동일한 값을 나타냈으며, 첨두유출량은 최대 4%의 차이를 보였고, 유사량 및 토립자의 영양물질은 30%까지 편차를 나타냈다.

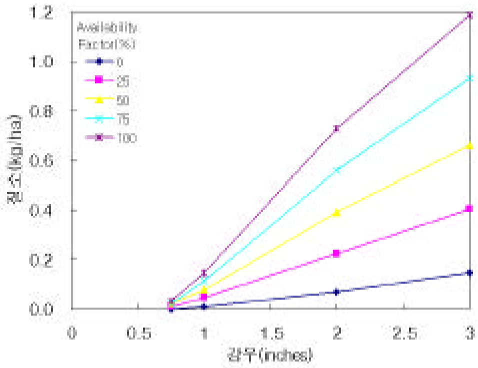
한편, 논에 대한 질소 시비에 따른 유출을 AGNPS 모형으로 계산하여 민감도를 분석하였다. 입력자료의 구성은 면적 0.05 에이커의 1 개 셀로 구성하였으며, 논으로 가정하여 CN을 78로 하였고, 유사의 유출이 없도록 USLE식에 관련된 입력값을 조정하므로서 AGNPS 모형의 침식과 유사운송 부모형은 출력 결과에 영향을 주지 못하도록 제어하였다. 따라서, 출력결과에 주로 영향을 미치는 인자는 강우량과 시비량, Availability Factor, 영양물질에 대한 토양의 성질 등으로 판단된다.

입력 자료로서 강우의 질소농도는 1.8 mg/l로 가정하였고, 토양은 점토질(clay)로서 토양수의 질소농도(Pore Water N Concetration)는 5mg/l, 유출에 대한 질소의 추출계수(N Extraction Coefficient for Runoff)는 0.057, Leaching에 대한 질소의 추출계수(N Extraction Coerricient for Leaching)는 0.15로 가정하였다.

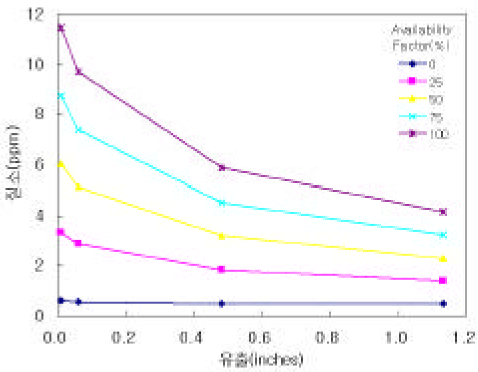
기타의 토성관련 입력 자료는 시험조작결과 출력에 대하여 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었으므로 고려하지 않았다.

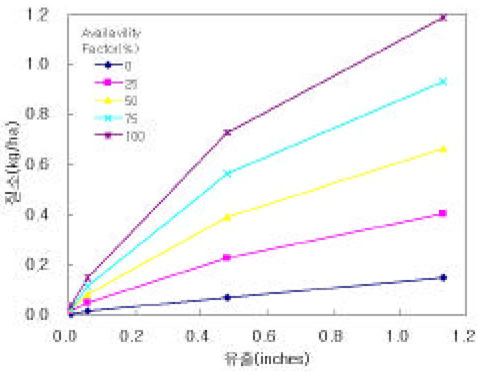
강우의 기준 입력값은 1 inch, 질소 시비량의 기준 입력값은 56 ㎏/㏊로 하였고, Availability Factor 0, 25, 75, 100 % 에 대하여 적용하였으며, 강우와 시비량의 변화에 따른 모의 결과는 <그림6-1> <그림6-6>에 나타내었다.



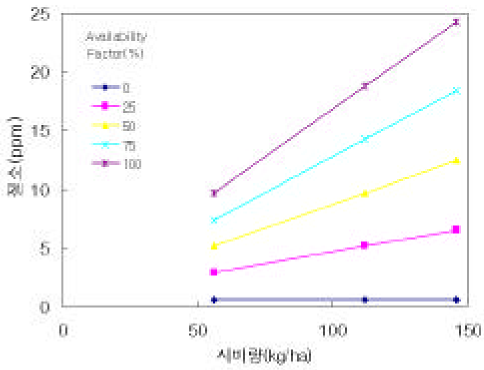


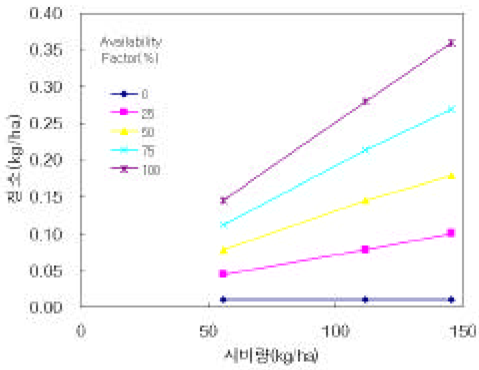
<그림6- 1> 강우에 따른 질소오염부하 <그림6- 2> 강우에 따른 질소오염배출부하
량





<그림6- 3> 유출에 따른 질소오염배출부하 <그림6- 4> 유출에 따른 질소오염배출부하
량





<그림6-5> 시비량에 따른 질소오염배출부하 <그림6-6> 시비량에따른 질소오염배출부하

강우에 따른 질소오염배출부하는 강우가 많을수록 감소하는 지수관계를 보였으며, availability factor가 클수록 증가하는 경향을 보였다. 반면에, 질소오염부하량의 배출량은 강우가 클수록 증가하였고, availability factor가 클수록 증가하였다.

유출에 따른 질소의 오염배출은 강수와 같은 경향을 보였다.

시비량에 따른 질소오염배출부하와 부하량은 시비량의 증가와 더불어 선형적으로 많아지는 경향을 보였고, availability factor가 클수록 증가하였다.

나. AGNPS 모형을 이용한 관리대안

농업 비점원오염 관리대안은 유역내의 논의 영농방법과 밭에 대한 보전농법 실시방법및 초지조성에 의해서 <표6-1>과 같이 4개 관리대안으로 구성하였다. <표6-1>의 관리 대안은 밭의 상하경(Small grains, Straight row, SS), 밭의 등고선재배법(Small grains, Contoured, SC), 밭의 등고선대상재배법 (Small grains, contoured and Terraced, ST) 그리고, 밭의 초지조성(Pasture, Contoured, PC)으로 구분하였다.

한편, <표6-1>과 같이 구성한 각각의 관리대안들에 대해 모형을 적용하여 그 결과에 대해 비교분석함으로서 최적관리대안을 제시하도록 하였다.

최적관리대안(Best Management Practices, BMP)들에 대한 모형을 통한 비교평가를 위하여 관리대안에 따른 모형 매개변수의 변화는 USLE C인자, P인자에 대해 실시하였다. 본 연구에서 행한 각각의 관리대안의 매개변수값은 AGNPS 모형 사용자지침서, 정 등 및 김 등(1994)의 연구결과를 참조하여 정하였으며, 그 결과는 <표6-1>과 같다.

모형의 매개변수에 있어서 USLE C인자의 경우 밭작물에 대해서 0.03, 초지는 0.003으로 하였으며 논을 담수상태로 보고 0.0으로 하였다. USLE P인자는 상하경법의 경우 1.0, 등고선재배법은 0.6, 등고선대상재배법은 0.2로 하였다.

<표6-1> 관리방안의 분류

BMP	Cover conditions	Practices
SS	Small grains	Straight row
SC	Small grains	Contoured
ST	Small grains	Contoured and terraced
PC	Pasture	Contoured

다. AGNPS 모형을 이용한 관리대안 평가

최적관리대안의 평가를 위한 대상유역 WS#1로 하였으며, 대상강우는 1993년 7월 29일 강우사상으로 하였다. 대상강우의 선행함수조건은 AMCII이고, 강우량은 117.5mm, 강우에너지는 79.6이며, 대상강우에 의한 WS#1 유역에서의 측정유출량은 59.28mm, 토양유실량은 15.7톤이었다.

대상강우에 대한 관리대안별 유출량, 토양유실량의 분석결과는 <표6-2>과 같다. 한편, 관리대안에 따른 유역내의 유출량의 변화는 SS의 경우 59.28mm, SC의 경우 56.94mm, ST의 경우 56.05mm 그리고, PC는 54.24mm로 측정유출량 59.28mm에 비해 감소하였다.

토양유실량의 경우는 SS의 경우 14.35ton, SC의 경우 13.75ton, ST의 경우 13.14ton 그리고, PC는 13.70ton으로 측정 토양유실량 15.70ton 보다 감소하는 경향을 보였다.

<표6-2> 최적관리대안의 평가 결과

BMP	Parameter values of BMP		Results of BMP	
	C	P	Runoff, mm	Sediment yields, ton
Observed	0.01	1.0	59.28	15.70
SS	0.03	1.0	57.83	14.35
SC	0.03	0.6	56.94	13.75
ST	0.03	0.2	56.05	13.14
PC	0.003	0.6	54.24	13.70

라. AGNPS 모형을 이용한 산지개간 영향평가

1) 개간방법

우리나라는 국토의 63.4%가 산지이므로 가경면적이 적으며 이로 인한 경지규모의 소규모 및 농업영세성 등의 문제를 초래하고 있다. 한편, 근래에 경지의 도시개발 등으로 경지면적의 감소를 초래하고 있으며, 이로 인한 경지확보를 위하여 산지개간 등의 필요성이 대두되고 있다.

산지의 개간에 있어서 고려해야 할 사항으로는 기술적 요인, 경제적 요인, 사회적 용인 등이 있으며, 기술적 요인으로는 기상, 토양, 표고, 경사 등의 조건을 고려해야 한다. 본 연구에서는 산지개간의 방법으로 <6-3>과 같이 세가지 방법에 대해 분석을 실시하였는데, 기계경운이 가능한 경사도 10o 이내의 산지를 밭으로 개간하는 경우 (Type-A)와 논으로 개간하는 경우 (Type-B) 그리고, 초지로 개간하는 경우(Type-3)에 대해 고찰하였다.

산지개간의 영향에 대한 분석은 1993년 7월 29일 강우사상에 대해 실시하였으며, 시험유역인 WS#1의 산지개간 대상지역(경사도 10o 이내의 산지)의 면적은 27ha로서 유역면적의 10%이었다.

<표 6-3> 산지개간 방법

Type	Landuse
Type-A	Forest (less than 10o slope) to upland
Type-B	Forest (less than 10o slope) to paddy field
Type-C	Forest (less than 10o slope) to pasture

2) **방법별 평가**

산지개간방법에 따른 모형의 매개변수와 이들 매개변수를 사용한 Agnps**모형의 적용 결과는** <**표**6-4>**와 같다**. <**표**6-4>**에서 개간방법별 유출량의 변화는 산지를 밭으로 개간하였을 경우** 59.80mm, **논으로 개간하였을 경우** 61.53mm **그리고**, **초지로 개간하였을 경우** 60.71mm**이었다**. **이는** 1994**년** 7**월** 29**일 강우에 대해서 현재의 개간이 실시되지 않은 토지이용상태에서의 유출량** 59.28mm**와 비교할 때 밭으로의 개간의 경우** 0.9%, **논으로의 개간의 경우** 3.8% **그리고**, **초지로의 개간의 경우** 2.4%**의 유출량이 증가하였다**.

<**표** 6-4> **산지개발 영향평가 결과**

Type	USLE factors		Results of reclamation	
	C	P	Runoff, mm	Sediment, tons
Observed	0.001	1.0	59.28	15.70
Type-A	0.03	0.2	59.80	16.30
Type-B	0.0	0.2	61.53	14.90
Type-c	0.003	1.0	60.71	16.10

한편, **토양유실량의 변화는 산지를 밭으로 개간하였을 경우** 18.30ton, **논으로 개간하였을 경우** 14.90ton **그리고**, **초지로 개간하였을 경우** 16.10ton**이었다**. **이를 현재의 토**

지이용상태에서의 토양유실량 15.70ton과 비교할 때, 밭으로의 개간의 경우 3.8%, 초지로의 개간의 경우 5.1%의 토양유실량이 증가하였으며 한편, 논으로 개간할 경우 2.5%의 토양유실량 감소 효과가 발생하였다.

2. 포장규모의 농업 비점원 오염 저감방안

논에서의 비점원오염의 저감효과를 분석하기 위하여, 포장단위의 물수지 및 물질순환을 고려하여 포장규모 모형인 CREAMS(Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems)모형을 수정하여 적용하였다.

가. CREAMS 모형을 이용한 저감효과 대안

논에서의 BMP에 따른 농업비점오염의 배출부하 저감효과를 분석하기 위하여 관리대안을 구성하였으며 <표6-5>에서와 같다. <표6-5>에서 보듯이 최적관리방안의 시나리오는 관개수 농도, 시비량, 관개량, 관개단위 등으로 구성하여 배출부하량을 모의하도록 하였다.

시나리오별 기준값은 CREAMS모형의 검증에 사용된 입력자료를 사용하였고, 각각의 관리대안은 기준값에 백분율을 적용하여 구성하였다.

관개수의 농도는 기준값이 1.8 ppm이고, 기준치의 백분율에 근거하여 1.1, 0.4 ppm의 경우로 구성하였고(1-a, 1-b, 1-c), 시비량에 따른 관리방안은 기준값이 292 kg/ha에 대해 234, 175 kg/ha의 경우로(2-a, 2-b, 2-c), 관개량에 대한 배출부하량의 모의발생은 관개량이 838 mm인 기준에 대해 781, 648 mm의 경우로(3-a, 3-b, 3-c), 을 정하고, 관개단위는 1일 관개를 기준으로 하여 2, 3, 4일(4-a, 4-b, 4-c, 4-d)에 대한 배출부하량을 모의하도록 구성하였다.

<표6-5> 최적관리방안 대안

Scenario		Categories	Description
1	a*	1.8 ppm	관개수 농도에 따른 배출부하량 모의발생
	b	1.1 ppm	
	c	0.4 ppm	
2	a*	292 kg/ha	시비량에 따른 배출부하량 모의발생
	b	234 kg/ha	
	c	175 kg/ha	
3	a*	838 ㎜	관개량에 따른 배출부하량 모의발생
	b	781 ㎜	
	c	648 ㎜	
4	a*	1일단위	관개단위에 따른 배출부하량 모의발생
	b	2일단위	
	c	3일단위	
	d	4일단위	

*1-a, 2-a, 3-a, 4-a : Pre-BMP Conditions

나. CREAMS 모형을 이용한 저감효과 분석

논에서의 비점원오염부하량 저감효과를 분석하기 위하여, 앞서 제시한 시나리오별 관리대안에 대하여 CREAMS모형을 이용하여 배출부하량을 모의하여 평가하였으며, 그 결과는 <표6-6>에 나타내었다.

시나리오별 배출부하량의 저감효과를 분석한 결과, 관개수 농도에 따른 배출부하량의 경우에, 유출은 변화가 없었으며, 총질소는 기준값으로 설정한 1-a경우가 10.78 kg/ha, 1-b가 6.62 kg/ha, 1-c가 2.46 kg/ha의 값을 보임으로서, 각각 39%, 77%의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 총인에 대해서는 변동이 없었다.

시비량에 따른 배출부하량의 모의 결과, 유출과 총인은 변화가 없었으며, 총질소는 기준값으로 설정한 2-a경우가 10.78 kg/ha, 2-b가 10.74 kg/ha, 2-c가 10.70 kg/ha 등의 값을 보여 저감효과는 0.4%와 0.7%의 낮게 나타났다.

관개량에 따른 배출부하량의 저감효과를 평가한 결과, 유출은 기준값에서 543 mm였고, 3-b, 3-c에 대해서는 446, 303 mm의 값을 보임으로서 감소하였다. 총질소는 기준값인 3-a경우의 배출부하량에 대해 3-b가 8.38 kg/ha로서 22%의 저감효과를, 3-c가 5.50 kg/ha의 값을 보임으로서 49%의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 총인은 3-b와 3-c의 저감효과가 기준값에 대하여 각각 21, 54%의 저감효과가 있었다.

관개단위에 대한 시나리오의 관리대안에 대한 배출부하량의 최적관리방안 평가는 기준일인 1일 단위 관개에 대해 4-b, 4-c, 4-d는 유출량은 변화가 없었고, 총질소는 저감효과가 거의 없었다. 총인은 1일 단위 관개와 2일 단위 관개에는 저감효가 없었으며, 3일 단위 관개는 2.4%, 4일 관개 단위는 6.6%로 나타났다.

이상의 시나리오별 배출부하량의 최적관리방안의 평가 결과로 볼 때, 영양물질 배출부하량은 관개수의 농도변화에 따른 저감효과가 가장 크고, 시비량과 관개단위에 따른 저감효과는 작은 것으로 판명되었다. 따라서, 유역의 최적관리기법을 적용하여 관개수의 영양물질 농도를 낮추도록 하는 방안을 강구해야 하지만, 현실적으로 관개수의 영양물질 농도를 낮추기는 어렵기 때문에 최적 관개량을 통해 영양물질 배출량을 조절하는 것이 바람직 하다고 사려된다.

<표6-6> **최적관리방안 평가 결과**

Simulation scenarioa			Runoff (mm)	Total N (kg/ha)	Total P (kg/ha)
1	a*	1.8 ppm	543	10.78	1.68
	b	1.1 ppm	543	6.62	1.68
	Percentage reductionb			39	0
	c	0.4 ppm	543	2.46	1.68
	Percentage reduction			77	0
2	a*	292 kg/ha	543	10.78	1.68
	b	-40%	543	10.74	1.68
	Percentage reduction			0.4	0
	c	-80%	543	10.70	1.68
	Percentage reduction			0.7	0
3	a*	863 mm	543	10.78	1.68
	b	765 mm	446	8.38	1.33
	Percentage reduction			22	21
	c	508 mm	303	5.50	0.78
	Percentage reduction			49	54
4	a*	1일단위	543	10.78	1.68
	b	2일단위	543	11.10	1.68
	Percentage reduction			0	0
	c	3일단위	543	10.67	1.64
	Percentage reduction			1	2.4
	d	4일단위	543	11.74	1.57
	Percentage reduction			0	6.6

*1-a, 2-a, 3-a, 4-a : Pre-BMP Conditions
aScenario 1 : 관개수 농도에 따른 배출부하량 모의발생
Scenario 2 : 시비량에 따른 배출부하량 모의발생
Scenario 3 : 관개량에 따른 배출부하량 모의발생
Scenario 4 : 관개단위에 따른 배출부하량 모의발생
bBased on the pre-BMP results

3. 논에 대한 BMP의 유역에의 적용 효과

포장 단위 논에 대한 BMP적용의 효과를 유역에 확대하여 고찰하기 위하여 포장규모 비점원오염 모형인 CREAMS 모형을 수정하여 모의한 비점원오염 배출량을 고려하여 유역규모 비점오염모형인 AGNPS 모형을 유역 전체에 적용하였다.

가. Availibility factor의 선정

AGNPS 모형 입력 매개 변수중의 하나인 Availability factor의 논에 대한 추정치를 결정하기 위하여 포장단위의 수질 모의 모형인 CREAMS의 장기 모의 발생을 토대로 AGNPS 모형의 입력 값(CN 과 시비수준)을 선정하고 이에 따라 요구되는 Availability factor의 값을 구하였다.

Availibility factor는 시비후 표면에 남아있는 영양물질의 정도를 백분율 (1에서 100까지의 정수)로 나타낸 값으로서 모형에서 추천하고 있는 값은 <표6-7>에서와 같다.

<표6-7> Availability Factors (SOURCE : Williams(1983))

Tillage Practice	Availability Factor(%)
Large Offset Disk	40
Moldboard Plow	10
Lister	20
Chisel Plow	67
Disk	50
Field Cultivator	70
Row Cultivator	50
Anhydrous Applicator	85
Rod Weeder	95
Planter	85
Smooth	100

논에 대한 CN과 Availibility factor를 선정하기 위하여 AGNPS 모형을 CREAMS 모

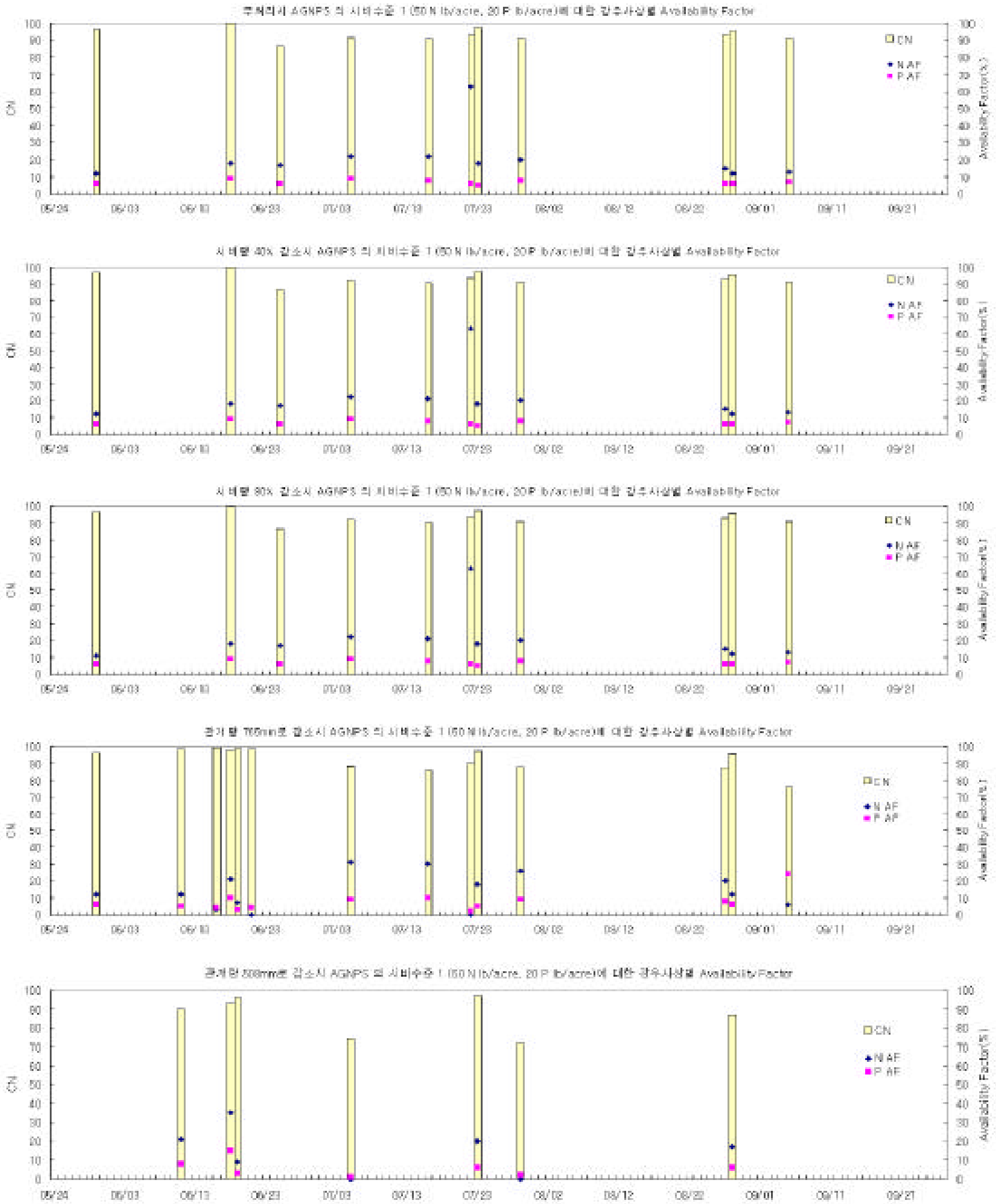
형에 적용한 조건과 같은 단일 셀에 대하여 토양에 대한 매개변수를 유사하게 주고 CN 을 조정하여 수문조건을 동일하게 하였다. 이 때 구한 CN을 바탕으로 시비량과 Availability Factor를 조정하여 영양물질의 배출 부하량이 동일하게 되는 시비량과 Availability Factor를 구하여 유역의 논에 대한 적용값으로 결정하였다. 논에 대한 시비수준이 높을 경우, Availability Factor의 값이 낮은 값으로 나타났고, 따라서 적절하게 조절할 수 있는 범위가 감소하였으며, 시비수준이 낮을 경우, Availability Factor의 조정범위가 넓게 나타났다. 따라서, 시비수준은 AGNPS의 기본 옵션으로 있는 1 수준, 즉, 50 N lb/acre(57 N kg/ha)와 20 P lb/acre(23 P kg/ha)를 적용하였다. <그림 6-7>은 무처리시 (292kg/ha, 863mm), 시비량을 40, 80% 감소시켰을 때, 관개량을 감소했을 때의 시비수준에 대한 Availibility factor의 변화를 나타내고 있으며, 이에 따른 최적의 CN과 Availability Factor 값은 <표6-8>에 나타낸 바와 같았다.

CREAMS 모형의 결과를 유역에 적용하기 위하여 조정한 매개변수는 CN과 시비량, Availability Factor의 세가지이며, 결정된 값들은 수정된 GRASS-AGNPS 호환 모형에 의하여 논에 대한 AGNPS 입력자료로 사용되었다. 이렇게 결정된 매개 변수를 사용할 경우 논에 대한 AGNPS의 거동은 셀단위에서 CREAMS 모형과 유사하게 되며, 이에 따른 논에 대한 BMP 적용이 유역 전체의 배출부하량의 거동에 어떠한 효과를 보이는지 고찰하도록 하였다.

<표6-8> **강우사상별 최적** CN**과** Availibility factor

(AGNPS **시비수준** 1 : 57 N kg/ha, 20 P kg/ha) **단위**: %

Storm Date	무처리 292kg/ha, 863㎜			시비량 조절 -40 %			시비량 조절 -80 %			관개량 조절 765 ㎜			관개량 조절 508 ㎜		
	CN	AF		CN	AF		CN	AF		CN	AF		CN	AF	
		TN	TP		TN	TP		TN	TP		TN	TP		TN	TP
05/30/96	96.700	12	6	96.700	12	6	96.700	11	6	95.816	12	6			
06/11/96										98.578	12	5	90.113	21	8
06/16/96										99.173	3	4			
06/18/96*	100.000	18	9	100.000	18	9	100.000	18	9	98.216	21	10	92.958	35	15
06/19/96										99.002	7	3	95.787	9	3
06/21/96										98.248	0	4			
06/25/96	86.519	17	6	86.519	17	6	86.519	17	6						
07/05/96	91.720	22	9	91.720	22	9	91.720	22	9	88.256	31	9	74.513	0	1
07/16/96	90.529	22	8	90.529	21	8	90.529	21	8	85.833	30	10			
07/22/96	93.260	63	6	93.260	63	6	93.260	63	6	89.975	0	2			
07/23/96*	97.432	18	5	97.432	18	5	97.432	18	5	97.432	18	5	97.231	20	6
07/29/96	91.079	20	8	91.079	20	8	91.079	20	8	88.017	26	9	71.717	0	2
08/27/96	92.969	15	6	92.969	15	6	92.969	15	6	87.190	20	8			
08/28/96	95.632	12	6	95.632	12	6	95.632	12	6	95.632	12	6	86.820	17	6
09/05/96	90.966	13	7	90.966	13	7	90.966	13	7	75.744	6	24			



< **그림**6- 7> **강우사상별** CN**과** Availibility factor

나. 논에 대한 BMP효과의 유역 적용

유출이 큰 두개의 강우사상을 선정(6.18, 7.23)하여 유역내의 논에 대한 유출특성이 CREAMS 모형의 특성을 갖도록 AGNPS모형의 매개 변수를 수정하여 반월의 WS#1 유역에 적용하여 보았다.

시험유역의 WS#1 측점의 토지이용구성비는 대략 논 35%, 밭 30%, 산림 30%, 주거 5% 로 이루어져 있으며, 토지 이용 구성비에서의 논에 대한 비율이 높아짐에 따른 부하량 변화을 관찰하기 위하여 일부의 산림을 논으로 가정하여 논의 비율을 45%, 55%로 높여 적용하여 보았으며, 그 결과는 <표6- 9>에 나타내었다.

<표8- 9>에서 보듯이, 논에 대한 BMP의 적용 결과 선정된 강우사상(153.7mm, 42.7 mm)에 대해 하나의 셀에서는 무처리에 대해 시비량을 40, 80% 감소시켰을 때 배출부하량에는 변화가 없었으며, 관개량을 765mm, 508mm로 조정함에 따라 총질소는 각각 0.08, 0.20 kg/ha 감소하였고, 총인은 변화를 보이지 않았다.

시험유역의 토지이용에 대한 논의 구성비를 45%, 55%로 증가시켰을 때의 영양물질 배출 부하량은 모든 시나리오에 대해 0.00 0.01kg/ha의 범위를 보여 그 차이가 거의 없었다.

즉, 유역전체에 대한 BMP의 적용결과는 인에 대해서는 배출부하량이 발생하지 않았기 때문에 적용 결과에 대한 효과는 알 수 없었지만 그 양이 대단히 작음을 알 수는 있었다. 질소의 경우는 관개량 조절시 약간의 변화를 보였지만 총인에서와 같이 유역전체의 배출부하량에 큰 영향을 미치지는 못하였다.

이상에서와 같이, 논에 대한 표준시비 및 관개량은 유역 전체에서 볼 때 오염원으로서 배출부하량에 기여하는 바가 크지 않는 것으로 판단되었다.

<표6-9> **논에서의 BMP효과의 유역 적용 결과** Unit: kg/ha

Treatments		Date	Rainfall (㎝)	Runoff (㎝)	A Paddy Cell		AGNPS					
							Paddy 35%		Paddy 45%		Paddy 55%	
					TN	TP	TN	TP	TN	TP	TN	TP
무처리		06/18/96	15.37	9.73	3.12	0.54	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00
		07/23/96	4.27	1.50	0.97	0.12	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
시비량 조절	-40%	06/18/96	15.37	9.73	3.12	0.54	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00
		07/23/96	4.27	1.50	0.97	0.12	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
	-80%	06/18/96	15.37	9.73	3.12	0.54	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00
		07/23/96	4.27	1.50	0.97	0.12	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
관개량 조절	765㎜	06/18/96	15.37	9.53	3.04	0.52	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00
		07/23/96	4.27	1.50	0.97	0.12	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
	508㎜	06/18/96	15.37	8.99	2.92	0.46	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
		07/23/96	4.27	1.47	1.06	0.12	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00

제 7 절 요약 및 결론

환경보전형 지속적 농업을 위하여 기상 및 수문·수질 모니터링을 실시하고, 수질환경의 시간적·공간적 변화를 계량화하며,유역에서의 비점오염의 순환기작에 관한 체계적인 자료를 구축하며, 비점원오염부하량의 추정 및 폭우사상에 대한 순환기작을 종합적이고 체계적으로 고찰, 분석하여 물리적 인자들간의 상호관련성을 구명하고, 농업비점모형을 시험유역에 적용하고 그 적용성을 고찰하였고, 시험유역의 비점원오염의 최적관리대안을 구성하고 그 저감효과를 평가, 분석하였다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 반월저수지 유역을 대상으로 수문, 수질, 토양오염 실태 파악을 위한 계측망을 구성하고, 유역의 토지이용상태 등의 특성에 따른 오염 부하량을 계량화하도록 하였다.

(2) 시험유역의 지상인자, 토지이용상황 등의 수문특성인자을 파악하고, 생활용수 사용상황, 축산현황 등 수질 오염에 영향을 주는 인자 등을 조사하였다.

(3) 시험유역의 기상, 수문자료를 조사 분석하였으며, 각 수문 측점별 수위-유량관계와 저수지의 수위-내용적 곡선 등을 조사하였다.

(4) 수질 샘플의 수질 분석 결과, 측점별 평균은 pH가 6.96 8.14의 범위를 보였고, DO농도는 3.95 8.04mg/l의 범위를 보여 취락지인 WS#9 측점이 가장 낮고, WS#2 측점인 반월저수지가 가장 높은 농도를 나타냈다. 부유물 농도의 측점별 평균값은 14.73 48.00mg/l의 범위로서 유출량과 밀접한 관계를 보였다. 총질소와 총인의 측점별 평균농도는 각각 1.99 14.68mg/l, 0.10 1.74의 범위로서 취락지역으로 부터 생활오수 등이 유입되는 유역에서의 수질 오염이 심하였으며, 이들 농도는 유량과 상관성이 없었다.

(5) 회귀분석을 실시하여 유량-부유물 농도 관계식을 구성하였으며, 부유물과 총질소, 총인 등의 농도와 일유량으로 부터 유역별 비점오염 부하량을 추정한 결과 유사량은 일평균 79 323kg이었고, 총질소는 12 219kg, 총인은 0.8 38kg의 범위를 나타냈는

데, 취락지역으로 부터의 일평균 부하량이 가장 많아 반월저수지의 주요 오염원은 생활오수인 것으로 나타났다.

(6) 시험 유역의 반월천 구간별 수질 오염정도를 TN, TP 농도를 기준으로 구분하였으며, 상류구간에 거주 인구와 가축사육두수에 따라 그 구간에 수질오염이 심한 것을 알 수 있었다.

(7) 토지이용에 따른 오염부하를 비교한 결과 취락지의 영양물질 농도가 산림지나 평탄지에 비해 뚜렷이 높은 경향을 보였으며, 토지이용에 따른 비부하량은 취락지가 산림지역의 14배, 평탄지의 4배로서 취락지의 생활오수가 주 오염원으로 작용하였다.

(8) 농업비점오염모형 AGNPS를 반월유역에 적용하였으며, 폭우사상별 유출량, 첨두유량, 유사량, 총질소와 총인 등을 추정하고 측정치와 비교하였다. AGNPS의 적용결과는 유출량, 첨두유량 등에서는 실측치와 유사한 값을 모의발생하였으나, 유사량, 총질소, 총인 등 비점오염량은 차이를 나타내서 유역 특성에 맞는 수정이 필요하였다.

(9) AGNPS모형의 입력자료인 격자 크기를 400%까지 변화시킨 결과, 첨주유출량은 4%, 유사량 및 토립자의 영양물질은 30%까지 편차를 보였고, 유출량 및 용해된 영양물질량은 동일한 값을 나타냈다. AGNPS모형의 민감도 분석 결과, 강우, 유출 그리고 시비량에 따른 질소오염배출부하량은 availability factor가 클수록 증가하였다.

(10) 농업 비점원 오염의 관리대안을 4개의 경우로 구성하여 최적관리방안을 평가한 결과, 유역내의 유출량의 변화는 SS의 경우 59.28mm, SC의 경우 56.94mm, ST의 경우 56.05mm 그리고, PC는 54.24mm로 측정유출량 59.28mm에 비해 감소하였고, 토양유실량의 경우는 SS의 경우 14.35ton, SC의 경우 13.75ton, ST의 경우 13.14ton 그리고, PC는 13.70ton으로 측정 토양유실량 15.70ton 보다 감소하는 경향을 보였다.

(11) AGNPS 모형을 이용하여 3가지 형태의 산지개간 방법을 설정하고 각 방법별 평가를 실시하였으며, 밭으로의 개간의 경우 0.9%, 논으로의 개간의 경우 3.8% 그리고, 초지로의 개간의 경우 2.4%의 유출량이 증가하였고, 토양유실량은 밭으로의 개간의 경우 3.8%, 초지로의 개간의 경우 5.1%의 토양유실량이 증가하였으며, 논으로 개간할 경

우 2.5%의 토양유실량 감소 효과가 발생하였다.

(12) 논에서의 비점원오염의 저감효과를 분석하기 위하여, 포장단위의 물수지 및 물질순환을 고려하여 포장규모 모형인 CREAMS모형을 수정하여 적용하였고, 관개수농도, 시비량, 관개량, 관개단위 등에 따른 시나리오별 관리대안 설정하여 그 저감효과를 분석한 결과, 영양물질 배출부하량은 관개수의 농도변화에 따른 저감효과가 가장 크고, 시비량과 관개단위에 따른 저감효과는 작은 것으로 판명되었다. 그러나, 현실적으로 관개수의 영양물질 농도를 낮추기는 어렵기 때문에 최적 관개량을 통해 영양물질 배출량을 조절하는 것이 바람직 할 것이다.

(13) 논에 대한 BMP를 유역전체에 적용하여 그 저감효과를 고찰한 결과, 시비량에 따른 효과는 없었고, 관개량의 조절의 경우에는 약간의 저감효과가 있었으나, 논에 대한 표준시비 및 관개량은 유역 전체에서 볼 때 오염원으로서 배출부하량에 기여하는 바가 크지 않는 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. Beasley, D.B., W.G. Knisel, and A.P. Rice, 1989. Proceedings of the CREAMS/GLEAMS symposium. Publication No.4, Agricultural Engineering Departmetn, University of Gerorgia-Coastal Plain Experiment Station, Tifton, GA

2. Genshichi Wada, Sadao Shoji and Tadahiko Mae, 1986. Relationship between Nitrogen Absorption and Growth and Yield of Rice Plants, JARQ 20(2), pp. 135-107

3. Knisel, W.G., ed., 1980. CREAMS : A field-scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems, Conservation Report No. 26. USDA-SEA, Washington, D.C.

4. Novotny, V. and H. Olem, 1994. Water Quality Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution. Van Nostrand Reinhold.

5. Park, S. W., S. Mostaghimi, R. A. Cooke, and P. W. McClellan, 1994. BMP Impacts on Watershed Runoff, Sediment, and Nutrient Yields, American Water Resources Association, 30 (6). pp. 1011-1023.

6. Reyers, M.R., R.L. Bengtson, J.L. fouss, and J.S. Rogers, 1993. GLEAMS hydrology submodel modified for shallow water table condition. Trans. of the ASAE, Vol. 36, No. 6, pp. 1771~1778.

7. Sadao Shoji, Ho Ando and Genshichi Wada, 1986. Fate of Nitrogen in Paddy Fields and Nitrogen Absorption by Rice Plants, JARQ 20(2), pp. 127-134

8. Satoru Motomura, 1983. Hydrological Relationship of Paddy Soils, Advanced Rice Cultivation, Irrigation and Drainage Technology in Japan, pp. 78-91

9. Sigekazu Yamamuro, 1986. Behavior of Nitrogen in Paddy Soils, JARQ 20(2), pp. 100-107

10. Sweeten, J. M. and D. L. Reddell, 1978. Nonpoint sources : State-of-art Overview, Trans. of ASAE 21(3) : 474-433.

11. Takuya Marumoto, 1986. Microbial Nitrogen Fixation and Its Availability to Rice Plants as Revealed with the Use of 15N in Japan, JARQ 20(2), pp. 108-114

12. Toshio Murakami, 1983. The Role of Water in Rice Cultivation, Advanced Rice Cultivation, Irrigation and Drainage Technology in Japan, pp. 68-69

13. Toshiya Furuki, 1983. Water Movement and Requirements in Paddyfields, Advanced Rice Cultivation, Irrigation and Drainage Technology in Japan, pp. 126-139

14. Vladimir Novotny, Harvey Olem, 1994. Water Quality. Van Nostrand Reinhold

15. Williams, J. R. , P. T. Dyke and C. A. Jones, 1983. EPIC: A Model for Assessing the Effects of Erosion on Soil Productivity. In Analysis of Ecological Systems: State-of-the Art in Ecological Modeling. Eds. W. K. Laurenroth et al., Elsevier, Amsterdam, pp. 553-572.

16. Williams, J.R., C.A. Jones and P.T. Dyke, 1988. The EPIC model. In EPIC, The Erosion Productivity Index Calculator, Vol. 1, Model Document, Temple, TX: USDA-ARS

17. Yasuhumi Mori, 1990. A Model for Changes in the Surface Water Nitrogen Concentration in Paddy Fields, Trans. JSIDRE, pp. 15-25. (in Japanese)

18. Yasuhumi Mori, 1991. Modeling for Changes in Surface Water Phosphorus Concentration in Paddy Fields, Trans. JSIDRE, pp. 45-53. (in Japanese)

19. Yasuhumi Mori, 1991. Modeling for Simulating Phosphorus Percolated Outflow in Paddy Fields, Trans. JSIDRE, pp. 39-46. (in Japanese)

20. Yoon, K.S., K.H. Yoo, C.W. Wood, and M. Hall, 1994. Application of GLEAMS to predict nutrient loss from land application of poultry litter. Trans. of the ASAE,

Vol. 37, No. 2, pp. 439~452.

21. Young, R., C. A. Onstad, D. D. Bosch and W. P. Anderson, 1987. AGNPS: Agricultural Non-Point Source Pollution Model: A Watershed Analysis Tool. USDA-Agricultural Research Service. Conservation Research Report 35., U. S. Department of Agriculture, Washington, D. C.

22. 국립환경연구원, 1987. 폐수배출시설 표준원단위 조사연구 (Ⅰ), 국립환경연구원보, Vol (9).

23. 국립환경연구원, 1988. 폐수배출시설 표준원단위 조사연구 (Ⅱ), 국립환경연구원보, Vol (10).

24. 국립환경연구원, 1989. 폐수배출시설 표준원단위 조사연구 (Ⅲ), 국립환경연구원보, Vol (11).

25. 김병진, 1993. 기상현상을 고려한 관개용 저수지의 최적 조작 모형, 서울대학교 대학원 박사학위논문

26. 김복영, 조재규, 1995. 벼 재배에서 방류수에 의한 영양염류의 유실, 한국관개배수 2(2), pp. 150-156

27.김성준, 1987. 수원지방 답의 유효우량산정을 위한 전산모형개발 및 이용성 검토, 서울대학교 대학원 석사학위논문.

28. 김진택, 1995. 농업 비점원 오염모형을 위한 지리자원정보시스템 호환모형의 개발 및 적용, 서울대학교 박사학위논문.

29. 김진택, 1995. 농업 비점원 오염모형을 위한 지리자원정보시스템 호환모형의 개발 및 적용, 서울대학교 대학원 박사학위논문.

30. 김진택, 박승우, 1994. 경사지의 경종에 따른 유출 및 토양유실에 관한 연구, 한국농공학회지, 36 (1), pp. 73-82.

31. 김한태, 권순국, 1993, 농촌유역에서의 수질오염 특성에 관한 연구, 한국환경농학회지 12(2), pp. 129-143

32. 농림부, 1996. 농업생태환경 모니터링 및 종합적 환경관리 시스템 개발 (Ⅰ), 서울대학교 농업생명과학대학 부속 농업개발연구소.

33. 농림부, 1996. 성주지구 성주농조 집중용수관리 시스템 (Ⅰ), 서울대학교 농업생명과학대학 부속 농업개발연구소.

34. 농림부, 1996. 환경농업의 현장애로 기술개발 (Ⅱ), 서울대학교 농업생명과학대학

35. 농림수산부, 1995. 환경농업의 현장애로 기술개발 (Ⅰ), 서울대학교 농업생명과학대학.

36. 농수산부 농업진흥공사, 1985. 작물 소비수량 산정방법의 정립, 서울대학교 농업생명과학대학 부속 농업개발연구소.

37. 박승우, 1996. 영농방식에 따른 농업비점오염 부하량 조사분석, 농업과학공동기기센타.

38. 박충현, 박희경, 현인환, 1996. 21세기 물 수요를 대비한 종합수질 관리방안, '96 세계 물의 날 기념 심포지엄, pp. 71-119.

39. 신동석, 1990. 논에서의 질소 및 인의 농도와 유출입, 서울대학교 대학원 석사학위논문.

40. 이민택, 1989. 일별 답포장 물관리를 위한 전산 모형 개발, 서울대학교 대학원 석사학위논문.

41. 이종식, 김복영, 우기대, 1994, 수원지방 강우의 성분조성과 작물에 미치는 영향, 한국환경농학회지 13(1), pp. 31-38

42. 장정렬, 1994. 농촌유역 수질관리모형의 개발에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위 논문.

43. 정상옥, 1995. 농업용 화학물질 이동 추정모형의 발달 -GLEAMS 모형을 중심으로, 한국관개배수지 제2권 제1호, pp. 10-19.

44. 정하우 등, 1986. 저수지 물관리 연구 (Ⅰ), 농림부, 농어촌진흥공사.

45. 홍성구, 권순국, 1989, 농경지로부터의 오염물질 유출부하특성, 한국농공학회지

31(3), pp. 92- 102

46. **환경부**, 1995. 21**세기 환경비전**.

부 록 Ⅰ. 측점별 수위자료

부록 Ⅰ-1. WS#1 일별 수위 자료 (1995)

일	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1				0.07	0.08	0.12	0.48					
2				0.09	0.10	0.11	0.22					
3				0.10	0.04	0.27	0.21					
4				0.10	0.02	0.12	0.18					
5				0.10	0.03	0.09	0.14					
6				0.11	0.01	0.08	0.10					
7				0.09	0.03	0.08	0.12					
8				0.09	0.01	0.08	0.39					
9				0.10	0.00	0.08	0.45					
10				0.09	0.11	0.11	0.87					
11				0.10	0.06	0.09	0.67					
12				0.11	0.04	0.09	0.45					
13				0.11	0.04	0.08	0.44					
14				0.09	0.12	0.12	0.43					
15				0.10	0.06	0.13	0.50					
16				0.10	0.08	0.13	0.58					
17				0.10	0.10	0.15	0.35					
18				0.10	0.10	0.14	0.27					
19				0.10	0.11	0.19	0.58					
20				0.09	0.25	0.12	0.46					
21				0.15	0.18	0.13	0.36					
22				0.12	0.15	0.15	0.31					
23				0.09	0.16	0.16						
24				0.08	0.14	0.12						
25				0.08	0.12	0.12						
26				0.08	0.11	0.14						
27				0.08	0.12	0.16						
28			0.11	0.08	0.11	0.16						
29			0.10	0.07	0.12	0.15						
30			0.09	0.08	0.12	0.17						
31			0.09		0.13							

적 요(Remarks)		
갈 수 위 평 균 수 위 지 정 홍 수 위	저 수 위 최 저 수 위	평 수 위 최 고 수 위

부록 Ⅰ-2. WS#1 일별 수위 자료 (1996)

일	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1				0.03	0.04	0.02	0.08	0.08	0.19			
2				0.02	0.02	0.02	0.06	0.10	0.19			
3				0.02	0.02	0.02	0.02	0.10	0.19			
4				0.01	0.02	0.00	0.26	0.11	0.18			
5				0.01	0.02	0.02	0.25	0.11	0.18			
6				0.02	0.02	0.03	0.11	0.09	0.16			
7				0.02	0.02	0.02	0.08	0.08	0.17			
8				0.02	0.02	0.02	0.05	0.08	0.19			
9				0.02	0.02	0.02	0.04	0.06	0.21			
10				0.01	0.02	0.07	0.03	0.06	0.19			
11				0.02	0.02	0.05	0.03	0.08	0.20			
12				0.02	0.01	0.05	0.03	0.08	0.19			
13				0.01	0.00	0.08	0.03	0.08	0.18			
14				0.01	0.00	0.07	0.04	0.08	0.18			
15				0.01	0.00	0.05	0.31	0.14	0.19			
16				0.02	0.02	0.06	0.16	0.15	0.19			
17				0.03	0.02	0.08	0.12	0.16	0.22			
18				0.03	0.02	0.07	0.08	0.16	0.21			
19				0.02	0.02	0.07	0.06	0.16				
20				0.02	0.02	0.06	0.08	0.15				
21				0.01	0.02	0.08	0.49	0.15				
22				0.01	0.02	0.08	0.30	0.16				
23				0.01	0.04	0.08	0.16	0.16				
24				0.02	0.04	0.08	0.13	0.17				
25				0.02	0.02	0.06	0.11	0.19				
26				0.02	0.02	0.05	0.18	0.30				
27				0.01	0.04	0.04	0.11	0.37				
28				0.02	0.04	0.02	0.31	0.28				
29			0.04	0.02	0.02	0.04	0.14	0.23				
30			0.06	0.03	0.02	0.05	0.09	0.22				
31			0.04		0.02		0.08	0.20				

적 요(Remarks)		
갈 수 위	저 수 위	평 수 위
평 균 수 위	최 저 수 위	최 고 수 위
지 정 홍 수 위		

부록 Ⅰ-3. WS#1 일별 수위 자료 (1997)

일	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1			0.09	0.07	0.02	0.05						
2			0.08	0.13	0.01	0.05						
3			0.09	0.07	0.02	0.05						
4			0.08	0.07	0.02	0.06						
5			0.07	0.06	0.01	0.09						
6			0.08	0.04	0.01	0.07						
7			0.10	0.04	0.31	0.06						
8			0.09	0.04	0.26	0.06						
9			0.08	0.05	0.12	0.03						
10			0.09	0.06	0.08	0.02						
11			0.08	0.05	0.04							
12			0.10	0.05	0.33							
13			0.09	0.05	0.57							
14			0.10	0.05	0.27							
15			0.09	0.04	0.17							
16			0.08	0.05	0.10							
17			0.07	0.05	0.08							
18			0.07	0.05	0.06							
19			0.07	0.04	0.08							
20			0.07	0.04	0.07							
21			0.06	0.04	0.05							
22			0.06	0.04	0.03							
23			0.06	0.04	0.09							
24			0.06	0.03	0.14							
25			0.06	0.02	0.09							
26			0.07	0.01	0.04							
27			0.06	0.01	0.04							
28			0.06	0.01	0.02							
29			0.08	0.05	0.00							
30			0.16	0.03	0.05							
31			0.08		0.05							

적 요(Remarks)

갈 수 위 평 균 수 위 지정홍수위	저 수 위 최 저 수 위	평 수 위 최 고 수 위

부록 Ⅰ-4. WS#2 일별 수위 자료 (1995)

일	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1				35.30	35.26	33.33	31.86	-				
2				35.30	35.22	33.29	31.92	-				
3				35.30	35.19	33.31	31.98	-				
4				35.30	35.12	33.35	32.00	-				
5				35.27	35.09	33.33	32.00	-				
6				35.25	34.96	33.30	32.00	-				
7				35.25	34.85	33.29	32.03	-				
8				35.25	34.72	33.24	32.10	-				
9				35.25	34.60	33.13	32.24	-				
10				35.22	34.53	32.97	32.80	-				
11				35.20	34.42	32.85	33.55	-				
12				35.17	34.33	32.78	34.15	-				
13				35.15	34.26	32.72	34.40	-				
14				35.15	34.20	32.70	34.60	-				
15				35.15	34.14	32.67	34.75	-				
16				35.14	34.08	32.65	35.00	-				
17				35.11	34.03	32.57	35.20	34.92				
18				35.10	33.97	32.36	35.30	34.87				
19				35.10	33.90	32.17	35.30	34.96				
20				35.10	33.83	32.05	-	35.10				
21				35.09	33.78	31.99	-	34.99				
22				35.15	33.72	31.94	-	34.99				
23				35.24	33.67	31.88	-	35.07				
24				35.25	33.63	31.83	-	35.24				
25				35.25	33.55	31.78	-	35.15				
26				35.26	33.50	31.73	-	35.12				
27				35.28	33.55	31.65	-	35.07				
28			35.28	35.28	33.49	31.69	-	35.02				
29			35.25	35.28	33.55	31.67	-	34.97				
30			35.25	35.28	33.47	31.78	-	34.97				
31			35.13		33.40		-	34.92				

적 요(Remarks)		
갈 수 위 평 균 수 위 지 정 홍 수 위	저 수 위 최 저 수 위	평 수 위 최 고 수 위

부록 Ⅰ-5. WS#2 일별 수위 자료 (1996)

일	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1				35.24	35.19	32.82	33.87	35.14	34.15			
2				35.24	35.14	32.77	33.96	35.09	34.15			
3				35.24	35.11	32.71	33.99	35.03	34.14			
4				35.24	35.09	32.66	34.04	34.97	34.14			
5				35.23	35.03	32.74	34.37	34.92	34.14			
6				35.22	34.95	32.65	34.54	34.85	34.14			
7				35.19	34.83	32.53	34.64	34.78	34.14			
8				35.19	34.74	32.43	34.70	34.70	34.06			
9				35.15	34.62	32.35	34.74	34.61	34.01			
10				35.17	34.53	32.31	34.74	34.58	34.00			
11				35.19	34.45	32.12	34.77	34.56	33.97			
12				35.19	34.35	32.01	34.78	34.56	33.98			
13			34.94	35.19	34.24	31.95	34.80	34.55	33.99			
14			34.94	35.19	34.12	31.86	34.83	34.54	34.00			
15			34.94	35.19	33.98	31.68	34.89	34.53	34.00			
16			34.97	35.19	33.84	31.41	35.07	34.47	33.98			
17			35.00	35.19	33.74	31.16	35.09	34.36	33.96			
18			35.03	35.19	33.66	32.16	35.08	34.23	33.94			
19			35.04	35.19	33.60	32.68	35.00	34.09				
20			35.04	35.19	33.55	32.81	34.97	33.95				
21			35.07	35.19	33.51	32.89	35.07	33.79				
22			35.09	35.19	33.47	32.94	35.27	33.73				
23			35.12	35.19	33.44	32.94	35.23	33.74				
24			35.14	35.19	33.36	32.98	35.20	33.73				
25			35.14	35.19	33.26	33.11	35.19	33.70				
26			35.14	35.19	33.21	33.18	35.19	33.76				
27			35.14	35.19	33.13	33.23	35.19	33.89				
28			35.14	35.19	33.04	33.29	35.24	33.99				
29			35.17	35.19	33.00	33.43	35.22	34.03				
30			35.22	35.19	32.96	33.71	35.22	34.12				
31			35.24		32.92		35.19	34.14				

적 요(Remarks)		
갈 수 위 평 균 수 위 지 정 홍 수 위	저 수 위 최 저 수 위	평 수 위 최 고 수 위

부록 Ⅰ-6. WS#2 일별 수위 자료 (1997)

일	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1			35.05	35.19	35.00	34.85	34.59	33.88	33.28	33.47		
2			35.05	35.22	34.94	34.86	34.84	33.82	33.31	33.42		
3			35.05	35.22	34.87	34.85	34.81	33.97	33.34	33.43		
4			35.06	35.24	34.76	34.85	34.77	35.00	33.31	33.44		
5			35.07	35.28	34.64	34.82	34.82	34.90	33.30	33.44		
6			35.12	35.31	34.50	34.79	34.81	34.85	33.30	33.45		
7			35.12	35.28	34.47	34.73	34.22	34.79	33.31	33.46		
8			35.14	35.27	34.74	34.68	34.73	34.73	33.26	33.48		
9			35.14	35.27	34.79	34.62	34.72	34.73	33.23	33.50		
10			35.16	35.27	34.83	34.51	34.67	34.75	33.22	33.51		
11			35.16	35.19	34.83	34.43	34.69	34.75	33.24	33.51		
12			35.17	35.18	34.83	34.33	34.72	34.70	33.24	33.51		
13			35.20	35.17	35.19	34.20	34.70	34.67	33.26	33.52		
14			35.20	35.15	35.22	34.10	34.87	34.62	33.26	33.53		
15			35.21	35.15	35.15	33.99	34.92	34.52	33.28	33.53		
16			35.22	35.14	35.13	33.89	34.89	34.42	33.30	33.53		
17			35.20	35.15	35.07	33.79	34.86	34.32	33.31	33.50		
18			35.21	35.14	35.00	33.68	34.84	34.19	33.32	33.50		
19			35.24	35.13	34.96	33.57	34.83	34.10	33.26	33.50		
20			35.19	35.12	34.93	33.51	34.79	34.06	33.24	33.50		
21			35.15	35.13	34.88	33.44	34.65	34.00	33.23	33.50		
22			35.16	35.13	34.83	33.35	34.57	33.91	33.23	33.51		
23			35.15	35.13	34.78	33.36	34.47	33.83	33.23	33.52		
24			35.16	35.11	34.77	33.36	34.39	33.72	33.22	33.52		
25			35.16	35.04	34.78	33.40	34.40	33.64	33.22	33.54		
26			35.15	35.03	34.77	33.68	34.37	33.58	33.29	33.54		
27			35.16	35.02	34.68	33.79	34.30	33.51	33.40	33.53		
28			35.21	35.04	34.59	33.82	34.23	33.42	33.43	33.55		
29			35.20	35.07	34.62	33.84	34.19	33.34	33.44			
30			35.19	35.04	34.71	33.85	34.07	33.29	33.46			
31			35.17		34.82		33.96	33.28				

적 요(Remarks)		
갈 수 위	저 수 위	평 수 위
평 균 수 위	최 저 수 위	최 고 수 위
지 정 홍 수 위		

부록 Ⅰ-7. WS#3 일별 수위 자료 (1995)

일	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1				0.06		0.03	0.14		0.10			
2				0.06	0.08	0.06	0.15		0.10			
3				0.06	0.06	0.13	0.15		0.09			
4				0.06	0.06	0.13	0.13		0.08			
5				0.06	0.06	0.13	0.13		0.06			
6				0.06	0.06	0.13	0.08		0.06			
7				0.06	0.06	0.11	0.06		0.06			
8				0.06	0.06	0.09	0.12		0.06			
9				0.06	0.06	0.06	0.20		0.06			
10				0.05	0.08	0.06	0.45		0.06			
11				0.06	0.08	0.06			0.05			
12				0.06	0.08	0.06			0.04			
13				0.06	0.08	0.06			0.04			
14				0.06	0.08	0.06			0.05			
15				0.06	0.07	0.06			0.05			
16				0.06	0.06	0.06			0.04			
17				0.06	0.06	0.06		0.03	0.03			
18				0.06	0.06	0.07		0.05	0.03			
19				0.06	0.06	0.07		0.19	0.03			
20					0.02	0.06		0.35	0.03			
21					0.02	0.06	0.15	0.26	0.03			
22					0.02	0.06	0.12	0.23				
23					0.02	0.06	0.10	0.33				
24					0.05	0.06	0.28	0.51				
25					0.03	0.06	0.09	0.36				
26					0.00	0.06	0.07	0.36				
27					0.01	0.06	0.06	0.37				
28			0.08		0.04	0.06	0.06	0.18				
29			0.08		0.05	0.06		0.13				
30			0.07		0.02	0.06		0.14				
31			0.06		0.02			0.12				

적 요(Remarks)		
갈 수 위	저 수 위	평 수 위
평 균 수 위	최 저 수 위	최 고 수 위
지 정 홍 수 위		

부록 Ⅰ-8. WS#3 일별 수위 자료 (1996)

일	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1				0.04	0.00	0.00	0.05	0.13	0.10			
2				0.03	0.00	0.00	0.05	0.12	0.10			
3				0.03	0.00	0.00	0.05	0.07	0.10			
4				0.02	0.00	0.01	0.05	0.03	0.10			
5				0.02	0.00	0.02	0.05	0.05	0.10			
6				0.02	0.00	0.02	0.05	0.06	0.10			
7				0.02	0.00	0.02	0.05	0.06	0.10			
8				0.02	0.00	0.02	0.05	0.10	0.10			
9				0.02	0.00	0.04	0.05	0.11	0.10			
10				0.00	0.00	0.05	0.05	0.08	0.10			
11				0.00	0.00	0.05	0.05	0.06	0.10			
12				0.00	0.00	0.05	0.05	0.03	0.10			
13			0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.03	0.10			
14			0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.04	0.10			
15			0.00	0.00	0.00	0.05	0.11	0.05	0.10			
16			0.03	0.00	0.00	0.05	0.09	0.06	0.10			
17			0.05	0.02	0.00	0.05	0.08	0.06	0.10			
18			0.03	0.02	0.00	0.05	0.06	0.06	0.10			
19			0.03	0.02	0.00	0.05	0.06	0.06				
20			0.02	0.02	0.00	0.05	0.05	0.06				
21			0.04	0.02	0.00	0.05	0.24	0.05				
22			0.04	0.02	0.00	0.05	0.27	0.05				
23			0.03	0.01	0.00	0.05	0.21	0.06				
24			0.03	0.00	0.00	0.05	0.19	0.06				
25			0.03	0.00	0.00	0.05	0.16	0.06				
26			0.03	0.00	0.00	0.05	0.13	0.07				
27			0.02	0.00	0.00	0.05	0.12	0.12				
28			0.02	0.00	0.00	0.05	0.15	0.14				
29			0.02	0.00	0.00	0.05	0.14	0.12				
30			0.06	0.00	0.00	0.05	0.13	0.10				
31			0.05		0.00		0.13	0.10				

적 요(Remarks)

갈 수 위	저 수 위	평 수 위
평 균 수 위	최 저 수 위	최 고 수 위
지 정 홍 수 위		

부록 Ⅰ-9. WS#3 일별 수위 자료 (1997)

일	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1			0.13	0.02	0.01							
2			0.10	0.03	0.02							
3			0.09	0.03	0.01							
4			0.08	0.04	0.01							
5			0.08	0.05	0.01							
6			0.10	0.05	0.01							
7			0.10	0.06	0.07							
8			0.10	0.06	0.09							
9			0.09	0.07	0.06							
10			0.08	0.08	0.03							
11			0.08	0.07	0.01							
12			0.08	0.05	0.04							
13			0.07	0.05	0.13							
14			0.06	0.04	0.08							
15			0.06	0.04	0.04							
16			0.05	0.05	0.04							
17			0.06	0.05	0.04							
18			0.05	0.05	0.04							
19			0.05	0.04	0.04							
20			0.05	0.04	0.04							
21			0.04	0.03	0.04							
22			0.04	0.03	0.04							
23			0.04	0.03	0.04							
24			0.03	0.03	0.04							
25			0.04	0.01	0.04							
26			0.03	0.01	0.04							
27			0.03	0.01								
28			0.03	0.01								
29			0.01	0.01								
30			0.01	0.01								
31			0.01									

적 요(Remarks)		
갈 수 위 평 균 수 위 지 정 홍 수 위	저 수 위 최 저 수 위	평 수 위 최 고 수 위

부록 Ⅰ-10. WS#9 일별 수위 자료 (1995)

일	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1					0.08	0.03	0.27					
2					0.20	0.02	0.10					
3					0.01	0.18	0.12					
4				0.03	0.03	0.04	0.08					
5				0.03	0.03	0.02	0.06					
6				0.03	0.03	0.03	0.12					
7				0.02	0.03	0.02	0.03					
8				0.03	0.03	0.03	0.32					
9				0.03	0.03	0.02	0.35					
10				0.03	0.03	0.02	0.59					
11				0.03	0.03	0.02	0.52					
12				0.02	0.03	0.02						
13				0.03	0.08	0.02						
14				0.03	0.11	0.03	0.49					
15				0.02	0.11	0.03	0.20					
16				0.03	0.11	0.03						
17				0.03	0.11	0.03						
18				0.20	0.11	0.07						
19				0.03		0.06						
20				0.03		0.07						
21				0.03		0.10						
22				0.02		0.06						
23				0.01		0.07						
24				0.03		0.11						
25				0.03		0.09						
26				0.03		0.14						
27				0.03		0.08						
28				0.05		0.05						
29				0.02		0.03						
30				0.03	0.02	0.13						
31					0.03							

적 요(Remarks)

갈 수 위	**저 수 위**	**평 수 위**
평 균 수 위	**최 저 수 위**	**최 고 수 위**
지 정 홍 수 위		

부록 Ⅰ-11. WS#9 일별 수위 자료 (1996)

일	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1				.06	.06	.06	.07	.10				
2				.06	.06	.06	.06	.10				
3				.05	.06	.06	.06	.09				
4				.04	.06	.04	.17	.08				
5				.03	.06	.06	.14	.08				
6				.03	.06	.06	.08	.08				
7				.03	.06	.06	.08	.10				
8				.03	.06	.05	.07	.10				
9				.03	.06	.04	.07	.10				
10				.03	.06	.11	.07	.09				
11				.03	.06	.07	.06	.11				
12				.03	.06	.04	.06	.11				
13			.00	.03	.06	.06	.06	.10				
14			.01	.03	.06	.05	.06	.10				
15			.02	.03	.06	.04	.17	.10				
16			.04	.03	.06	.05	.10	.09				
17			.04	.05	.06	.25	.10	.09				
18			.03	.03	.06	.27	.08	.08				
19			.03	.03	.06	.08	.07	.08				
20			.03	.03	.06	.07	.07	.08				
21			.03	.03	.06	.06	.28	.08				
22			.03	.03	.06	.06	.21	.09				
23			.01	.03	.06	.05	.14	.10				
24			.03	.03	.03	.08	.13	.09				
25			.03	.03	.03	.06	.10	.09				
26			.03	.03	.04	.06	.12	.17				
27			.03	.05	.05	.06	.15	.22				
28			.03	.06	.05	.06	.21					
29			.05	.06	.05	.15	.14					
30			.08	.06	.06	.09	.12					
31			.06		.06		.10					

적 요(Remarks)		
갈 수 위 평 균 수 위 지 정 홍 수 위	저 수 위 최 저 수 위	평 수 위 최 고 수 위

부록 Ⅰ-12. WS#9 일별 수위 자료 (1997)

일	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1			0.07	0.04	0.01	0.05						
2			0.05	0.08	0.00	0.04						
3			0.05	0.04	0.01	0.06						
4			0.04	0.04	0.01	0.04						
5			0.04	0.03	0.00	0.04						
6			0.11	0.09	0.02	0.02						
7			0.07	0.04	0.19	0.02						
8			0.06	0.05	0.16	0.02						
9			0.04	0.05	0.05	0.02						
10			0.04	0.05	0.03	0.02						
11			0.06	0.04	0.02							
12			0.05	0.04	0.15							
13			0.06	0.04	0.31							
14			0.07	0.04	0.15							
15			0.06	0.03	0.09							
16			0.06	0.03	0.05							
17			0.06	0.04	0.03							
18			0.07	0.03	0.02							
19			0.07	0.03	0.01							
20			0.07	0.04	0.02							
21			0.07	0.03	0.02							
22			0.07	0.02	0.00							
23			0.07	0.04	0.06							
24			0.07	0.03	0.04							
25			0.07	0.01	0.02							
26			0.07	0.01	0.01							
27			0.06	0.01	0.00							
28			0.06	0.01	0.01							
29			0.04	0.01	0.05							
30			0.03	0.01	0.01							
31			0.04		0.17							

적 요(Remarks)

갈 수 위 평 균 수 위 지 정 홍 수 위	저 수 위 최 저 수 위	평 수 위 최 고 수 위

부록 Ⅰ-13. WS#11 일별 수위 자료 (1995)

일	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1					0.03	0.03		0.07				
2					0.03	0.03		0.05				
3						0.03		0.04				
4						0.03		0.03				
5				0.02		0.03		0.04				
6				0.03		0.03		0.05				
7				0.03		0.03	0.03	0.05				
8				0.03		0.03	0.09	0.05				
9				0.03	0.03	0.03	0.17	0.05				
10				0.03	0.03	0.03	0.44	0.05				
11				0.03	0.03	0.03		0.04				
12				0.03	0.03	0.03		0.04				
13				0.03	0.03	0.03		0.05				
14				0.03	0.03	0.03		0.05				
15				0.03	0.03	0.03		0.05				
16				0.03	0.03	0.03		0.04				
17				0.03	0.03	0.03		0.03				
18				0.03	0.03	0.03						
19				0.03	0.03	0.03						
20				0.03	0.03	0.03						
21				0.03	0.03	0.03	0.20					
22				0.03	0.03	0.03	0.18					
23				0.03	0.03	0.03	0.15					
24				0.03	0.03	0.03	0.13					
25				0.03	0.03	0.03	0.13					
26				0.03	0.03	0.03	0.11					
27				0.03	0.03	0.03	0.12					
28				0.03	0.03	0.03	0.11					
29				0.03	0.03	0.03	0.10					
30				0.03	0.03	0.03	0.08					
31					0.03		0.08					

적 요(Remarks)		
갈 수 위	저 수 위	평 수 위
평 균 수 위	최 저 수 위	최 고 수 위
지 정 홍 수 위		

부록 Ⅰ-14. WS#11 일별 수위 자료 (1996)

일	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1				0.03	0.03	0.01	0.02	0.00	0.00			
2				0.03	0.02	0.01	0.02	0.00	0.00			
3				0.03	0.02	0.01	0.02	0.00	0.00			
4				0.03	0.02	0.01	0.10	0.00	0.00			
5				0.02	0.03	0.02	0.24	0.00	0.00			
6				0.02	0.03	0.02	0.16	0.00	0.00			
7				0.03	0.03	0.02	0.08	0.00	0.00			
8				0.03	0.03	0.02	0.03	0.00	0.00			
9				0.03	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00			
10				0.03	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00			
11				0.02	0.03	0.02	0.02	0.00	0.00			
12				0.03	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00			
13				0.03	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00			
14				0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00			
15				0.03	0.03	0.02	0.10	0.00	0.00			
16				0.03	0.02	0.02	0.08	0.00	0.00			
17				0.02	0.02	0.29	0.08	0.00	0.00			
18				0.02	0.02	0.28	0.08	0.00	0.00			
19				0.03	0.02	0.12	0.08	0.00				
20				0.03	0.03	0.06	0.08	0.00				
21				0.03	0.03	0.03	0.08	0.00				
22				0.03	0.02	0.02	0.08	0.00				
23				0.03	0.01	0.02	0.08	0.00				
24				0.02	0.02	0.02	0.08	0.00				
25				0.02	0.02	0.02	0.03	0.00				
26				0.02	0.02	0.02	0.00	0.00				
27				0.03	0.02	0.02	0.00	0.00				
28				0.03	0.01	0.02	0.10	0.00				
29			0.02	0.03	0.00	0.02	0.13	0.00				
30			0.04	0.03	0.01	0.02	0.06	0.00				
31			0.03		0.01		0.01	0.00				

적 요(Remarks)

갈 수 위	저 수 위	평 수 위
평 균 수 위	최 저 수 위	최 고 수 위
지 정 홍 수 위		

부록 Ⅰ-15. WS#11 **일별 수위 자료** (1997)

일	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1			0.31	0.02	0.03	0.04						
2			0.27	0.02	0.03	0.03						
3			0.26	0.03	0.01	0.03						
4			0.25	0.03	0.01	0.03						
5			0.25	0.03	0.02	0.03						
6			0.30	0.03	0.02	0.02						
7			0.28	0.04	0.11	0.03						
8			0.25	0.02	0.24	0.03						
9			0.23	0.03	0.16	0.04						
10			0.21	0.03	0.09	0.04						
11			0.15	0.03	0.03							
12			0.14	0.02	0.06							
13			0.10	0.03	0.30							
14			0.08	0.03	0.10							
15			0.07	0.03	0.08							
16			0.05	0.04	0.06							
17			0.06	0.03	0.05							
18			0.06	0.03	0.03							
19			0.06	0.02	0.03							
20			0.06	0.03	0.03							
21			0.06	0.02	0.03							
22			0.06	0.03	0.03							
23			0.05	0.03	0.03							
24			0.06	0.03	0.03							
25			0.05	0.03	0.03							
26			0.06	0.03	0.03							
27			0.06	0.03	0.03							
28			0.06	0.03	0.03							
29			0.04	0.03	0.03							
30			0.03	0.03	0.07							
31			0.03		0.08							

적 요(Remarks)		
갈 수 위 평 균 수 위 지 정 홍 수 위	저 수 위 최 저 수 위	평 수 위 최 고 수 위

제 2 분야	환경보전 기술개발

제 7 장 축산폐수방류가 마을배수의 수질오염에 미치는 영향분석 및 대책

서울대학교 동물자원과학과
연구책임자 : 최 홍 림
연 구 원 : 한 수 연

第 1 節 緒 說

과거의 소규모 축산시설에서 발생되는 가축분뇨는 대부분 주변 농경지에 비료원으로 유효하게 이용되어 왔으며, 축산농가와 耕種농가가 분리된농업형태를 발전시켜온 상황에서는 가축분뇨가 더 이상 유효 비료원이 아닌 정화처리 대상으로 취급되어지고 있다. 이에 따라 가축분뇨를 정화처리 하기 위해서는 상당한 재정적 투자와 관리의 효율성이 전제되어 실제 축산농가 현장에 이러한 정화시설을 설치하는 것은 매우 어려운 실정이다. 그러나 최근에는 米作의 대체농업 不在下에서 법규제 규모 이하의 소규모 경축복합농가에서 사육두수를 점차 늘이는 경향을 나타내고 있으며, 이로 인해 발생되는 가축분뇨수는 주로 경제적인 이유로 무단방류되어 기초정주권역의 환경오염이 가중되고 있다. 특히 정화처리 시설의 관리가 이루어지지 않아 축산농가 주변의 하천으로 유입되는 가축분뇨수는 수질오염 및 토양오염의 원인이 되고 있는 상황이다.

우리나라의 양축농가의 정화시설 설치 및 배출기준에 관한 규제는 91년 3월 8일자로 제정된 「오수.분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률」(이하 축산폐수규제법)의 시행규칙이 1991년 3월 8일 제정되어, 1993년 12월 27일 1차 개정되었으며, 1994년 11월 14일 동 법률의 시행령이 표 1과 같이 나타내었다.

<표1> 오수 · 분뇨 및 축산폐수처리에 관한 법률시행령(안) (1994. 4. 28)

축 종	허 가 대 상	신 고 대 상
축 우	사육시설면적 1,000m2	사육시설면적 300∼900m2
	환산두수 75두 이상	사육두수 25∼75두
양 돈	사육시설면적 1,000m2	사육시설면적 250∼750m2
	환산두수 750두 이상	180∼750두 이상

주) 소의 두당 12m2의 면적, 돼지의 경우 1.4m2의 면적점유를 가정함.

우리나라는 허가대상과 신고대상으로 구분하여 사육두수와 축사면적으로 규제하는 방법을 채택하고 있어 영세축산농가는 소규모 경축겸업 농가로 인정되어 법적 규제도

받지않아 관리대책이 미흡한 실정이다. 그리고기존에 설치된 시설에 대해서도 관리미숙과 저효율등의 문제점이 노출되어 있으며, 가축분뇨수가 수질오염에 미치는 영향과 수질오염도를 측정하는 조사방법 및 해석방법 등의 재평가가 필요하다. 또한 가축분뇨수의 무단방류로 인한 하천 및 湖昭의 수질오염에 미치는 영향은 큰 것으로 생각되며, 이에 가축분뇨수는 보다 안전하고, 효율적으로 처리되어야 하며 농가소득을 높일 수 있는 재순환에 관한 연구가 활발하게 진행되어야 한다. 유럽국가별 가축사육규제 상황은 표 2에 나타내었으며, 법규제대상 가축분뇨수 정화시설 설치 농가규모 및 배출기준에 관한 개정법을 표 3에 나타내었다.

가축분뇨수는 고농도 유기물로서 비료와 사료성분으로 조성되어 있으며 악취나 다량의 함수량등을 제거할 경우 귀중한 유효자원으로 활용할 수 있다. 또한 농작물의 생산을 증진시키기 위해 사용된 화학비료로 산성화된 토지의 지력을 증진시킬 수 있어서 농작물의 발육과 성장에 있어 병해충 대한 저항력 온도저하에 따른 생태계의 파괴를 예방하는데 크게 기여하고 있다.

표 2. EU 국가별 가축사육규제 상황 (사육두수/ha당)

국 가 별	소	돼 지	닭
영 국	0.7	0.43	6.4
서 독	4.5	9	-
네덜란드	2.4	7.1	48
덴마아크	2.3	1.7	2.0

(참고) 대한수의사회지. 배상호. 1996. 31권. 3호.

그러나 가축분뇨수중 특히 돈사와 牛房 및 착유실에서 배출되는 슬러리, 소 운동장에서 雨水時 씻겨내려오는 가축糞이 수질오염을 일으키는 주된 원인이 되고 있다.

표 3. 규제대상 가축분뇨수 정화시설 설치 농가규모 및 배출기준 신구대비표[34]

구 분		구 법	개 정 법
허가대상 (기업축산)	○ 돼지 사육시설 ○ 소 · 말 사육시설	면적 1,400m^2(100두) 이상 면적 1,200m^2(120두) 이상 - 수질보전 특별대책지역은 상기규모의 ½	면적 1,000m^2(750두) 이상 면적 900m^2(75두) 이상 - 수질보전 특별대책지역등에서 상기규모의 ½
	○ 배출수 기준	BOD 50 150ppm	BOD 50 150ppm
신고대상 (전업축산)	○ 돼지 사육시설 ○ 소 · 말 사육시설 ○ 닭 · 오리 · 양 사육시설	면적 250m^2(200두) 이상 1,400m^2 미만 면적 350m^2(30두) 이상 1,200m^2 미만 면적 500m^2(5,000두) 이상	면적 250m^2이상 1,000m^2(750두) 미만 면적 350m^2이상 900m^2(75두) 미만 면적 500m^2이상 - 돼지 · 소 · 말은 수질 보전 특별대책지역에서 ½면적
	○ 배출수 기준	BOD 1,500ppm	BOD 500ppm이하
간이정화조 (분업규모)	○ 돼지 사육시설 ○ 소 · 말 사육시설 ○ 닭 · 오리 · 양 사육시설		면적 70m^2(50두)이상 250m^2(200두)미만 면적 120m^2(10두)이상 350m^2(30두)미만 면적 150m^2(1,500두)이상 500m^2(5,000두)미만
	○ 배출수 기준		BOD 1,500ppm이하

※ **일본 : 돼지** 50m^2, **소** 200m^2, **말** 500m^2 **이상 축사시설에 대하여** BOD 160ppm**으로 배출수 규제**

대만 : 돼지 200두(280㎡), 소 50두(600㎡), 가금류 5,000두(500㎡)이상 사육규모에 대하여 BOD 400ppm 이하로 규제

가축분뇨수에 의한 수질오염은 유기물질에 의한 오염과 장내 배출 미생물에 의한 오염이 병행하여 발생하여 복잡한 양상을 보이고 있다. 특히 미생물에 의한 오염발생은 악취발생과 더불어 水因性 병원균의 전염 가능성을 갖고 있다는 점에서 관련연구의 중요성이 대두되고 있다. 또한 분변유래 미생물과 같은 여러 오염경로를 통해 하천으로 유입된 병원균 및 수질 오염과 회복은 복합적인 기작에 의하여 이루어진다.

분변 유래 미생물과 같은 여러 오염경로를 통해 하천에 유입된 병원균 및 수질 오염과 회복은 복합적인 기작에 의하여 이루어진다. 수질오염에 따라 미생물群의 구성, 種의 수, 미생물 균체량, 호흡량, 유기물 분해활성 등의 변화를 가져와 유기물의 오염외에 특수한 수질오염에 대해서도 미생물은 민감한 반응을 나타낸다. 그러므로 독소를 가지는 대장균의 조사나 가축분뇨수의 오염 지표로 분변미생물의 이용이 가능하고, 항생제에 저항성을 가지는 대장균이 병원균에게도 동일한 저항성을 전달할 수 있다는 점에서는 저항성 대장균에 대한 시험이 필요하다. 본 조사연구의 對象池인 갈치저수지는 행정구역상 경기도 군포시 대야미동에 위치하여 8.42 km2 유역의 관개 용수원으로서 뿐만 아니라 양어 및 낚시터 등 休養池로 이용되어 마을주민들의 부수입원이 되기도 하였다. 그러나 가파른 구릉지에 마을을 이루고 있는 신고규모 또는 그 이하의 소규모 젖소사육농가(乳牛 240두, 韓牛 5두-1995년 자료) 12호에서 무단방류하는 축산분뇨수 및 생활하수가 상당한 유속으로 갈치저수지로 유입되어 현재는 양어, 낚시는 차치하고 관개용수로의 사용도 어려울 정도로 심하게 오염되어 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 가축분뇨수 유입지점을 중심으로 하천의 流下에따라 시료를 채취하여 수행하였으며 세부목적은 다음과 같다.

가축분뇨수가 하천에 유입됨으로 인한 오염도를 측정하기 위하여 수질오염 측정항목중 BOD5, COD, SS 및 영양염류 등을 분석하였다.

오염원을 판단하기 위한 분원성 지표미생물로 TC(Total Coliform Group)**과** FC(Fecal Coliform Group) **그리고** FS(Fecal Streptococcus Group)**을 선정하여 미생물의 분포비를 조사하여** FC/FS**비를 측정하였다**.

각각의 분원성 지표미생물과 유기성 오염물질과의 상관관계를 평가하여 병원균의 오염여부와 발생오염원 및 유출경로를 파악하고자 한다.

第 2 節 材料 및 方法

1. 조사대상 및 시기

연구대상 수역은 경기도 군포시 대야미동에 위치한 반월시험유역중 시험대상지 WS#7로 분류된 갈치저수지 인근 유역으로 시기는 7 11월중 월별 1회씩, 총 5차에 걸쳐 조사하였다. 시료 채취지점은 하천본류를 따라 S1(저수발원지), S2(농가하수유입전), S3(가축분뇨수 유입지점), S4(합류후 100m), S5(저수지유입수로)와 S6(저수지내)로 총 6개 지점이었다(그림 1).

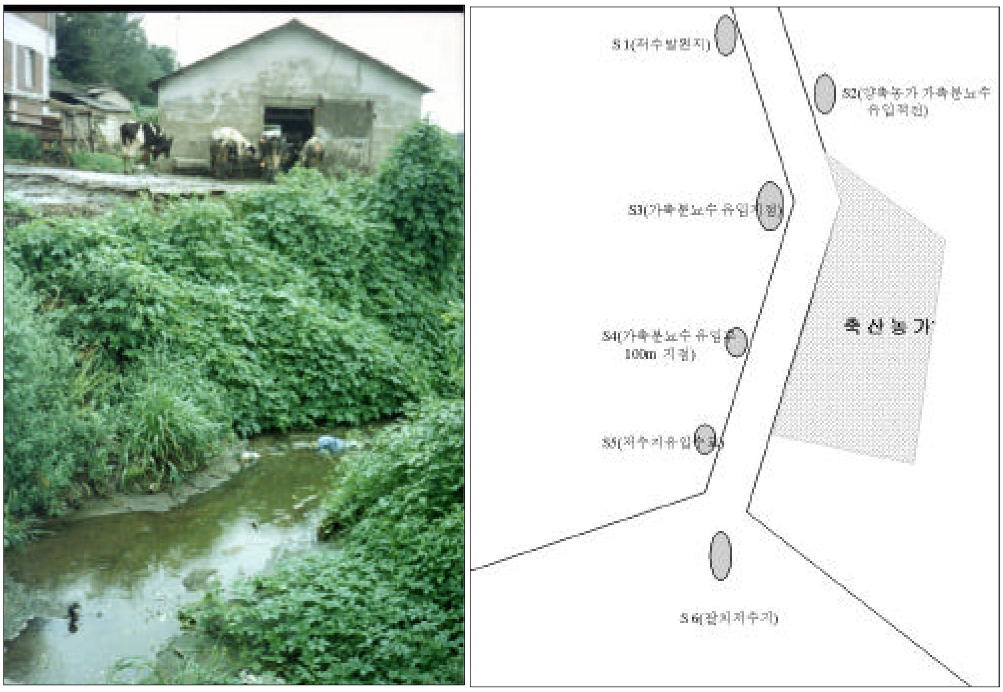


그림 1. 가축분뇨수 유입지점과 조사지점

2. 시료 채취

이화학실험을 위한 시료는 깨끗이 세척건조한 1000ml 유리병을 사용하였으며, 미생물학적 실험을 위한 시료는 고압증기 멸균한 200ml 유리병에 채취하였다. 채취한 시료는 Ice Box에 넣어 실험실로 운송 즉시 실험하였다.

3. 실험방법

가. 이화학적 실험

하천수중 용존산소(DO)와 수질온도는 현장에서 직접 DO Meter로 측정하였으며, 생물화학적산소요구량(BOD) 및 화학적산소요구량(COD)과 수소이온농도(pH), 부유물질(SS), 총질소(Total-Nitrogen), 총인(Total -Phosphorus) 은 공정시험법에 준하여 측정하였다(표 4).

나. 미생물 실험

지표미생물의 조사는 하천수를 무균적으로 각각 200ml씩 채수하여 대장균군(TC), 분원성대장균군(FC) 및 분원성연쇄상구균(FS)등을 Standard Method에 준하여 시험하고 균의 수는 MPN(Most probable Number)계산법에 따라 시험하였다. 미생물 실험배지는 표 5와 같으며 Difco 또는 BGLB의 합성배지를 사용하였다.

대장균군수(Total Coliform Group : TC)시험은 추정시험을 생략하고 직접 BGLB Broth에 접종, 35±0.5℃, 48±3시간 배양하였다. 분원성대장균군수(Fecal Coliform Group : FC) 시험은 BGLB Broth에서 양성을 나타낸 시험관을 EC Medium에 이식하여 44.5±0.2℃의 수욕조에서 24±2시간 배양하였다.

표 4. **수질의 화학적 분석방법**

항　　목	분　석　방　법
pH	pH meter (ANALAB 88 ATC)
BOD	Sample → 5day Incubation
COD	$K_2Cr_2O_7$ Method
SS	Gravimetric method
T-N	UV Spectrophotometer Method
NH_3-N	Indophenol Method - Spectrophotometer
NO_3^--N	filtering → Ion Chromatography
NO_2^--N	filtering → Ion Chromatography
T-P	$K_2S_2O_8$ Method → Spectrophotometer
PO_4^{3-}-P	filtering → Ion Chromatography

표 5. **지표미생물에 이용한 배지**(MPN **방법**)

	Presumptive test	Confirmed test	Complete test	Temperature (℃)	Time (hr)
Total Coliform	Lactose Broth	BGLB	EMB agar	35±0.5	48
Fecal Coliform group	Lactose Broth	EC medium		45±0.5	24
Fecal Streptococcus group	Azide Dextrose Broth	PSE agar		35±0.5	48

분원성연쇄상구균수(Fecal Streptococcal Group : FS)**는** Azide Dextrose Broth**를 추정시험에**, Ethyl Violet Azide Broth**를 추정시험에 사용하였으며**, **각각** 35±0.5℃**에서** 48±3**시간 배양하였다**. **이와같이 시험하여 양성 시험관수를 계수** MPN Index(**최적확수**)**로 나타냈다**.

第 3 節 結果 및 考察

1. 수질환경현황

시험대상지인 WS#7로 분류된 갈치저수지 인근유역은 하천 발원지로부터 대상유역의 지형상황을 보면 전반적으로 하천을 따라 농경지가 발달되어 있으며, 유역전반에 걸쳐 소규모 낙농가가 산재해 있는 전형적인 耕畜複合 농촌지역의 특성을 가졌다. 가축사육현황을 보면 韓牛 5두, 乳牛 240두 등으로 특히 사육농가 대부분이 乳牛를 중점적으로 사육하고 있으며 또한 모든 농가가 법규제 규모 이하의 영세농으로 구성되어 있었다. 조사대상 수역의 경축농가에서는 가축분뇨수를 대부분 무단방류로 처리하고 있으며, 일반 생활하수는 정화 시설을 설치하였지만 사용되지 못하고 있는 실정이었다. 이로 인한 기초정주권역의 환경오염이 가속화되고 있으며, 특히 가축분뇨수의 유입으로 인해 갈치저수지는 양어 및 농업관개용수로의 사용이 어려울 정도로 극심한 오염양상을 보였다.

2. 하천의 오염도 조사 및 오염부하량 산출

표 6은 지점 S1, S2, S3, S4, S5 및 S6에 있어서 시료채취일에 따른 水溫(℃), 수소이온농도(pH)와 용존산소량(DO)를 나타낸 것이다. 저수발원지(S1)와 농가하수유입전지점(S2)에서 수소이온농도(pH)는 4.92와 6.43으로 점차 증가되면서, 가축분뇨수 유입지점(S3)점에서는 평균 7.67로 나타났다. 이러한 결과는 축산농가의 배출수 pH 수준인 9.0 9.3과 비교해 볼 때하천에 혼입되는 가축분뇨수가 하천을 약알칼리화하는 원인인 것으로 생각된다.

가축분뇨수 합류후 100m지점(S4)부터는 pH값이 약간의 감소를 나타내는데 이는 가축분뇨수가 수로에 유입되면서 가축분뇨의 scum 형성으로 가축분뇨의 합류가 비교적 느리게 이루어진다고 판단된다. 월별변화를 보면 특히 강우량이 적은 9월의 경우는

표 6. **시료채취 지점의 수온, 수소이온농도와 용존산소량**

Sampling Site	Month	Temperature (℃)	pH	DO
S 1	7	23.5	6.29	9.1
	8	23.3	6.32	9.4
	9	20.3	6.48	9.9
	10	19.1	5.82	8.9
	11	12.2	6.16	9.6
	Mean	19.7	4.92	9.4
S 2	7	19.3	6.42	7.9
	8	22.1	6.53	7.1
	9	19.4	6.54	7.9
	10	17.8	6.27	7.0
	11	12.6	6.40	8.3
	Mean	18.2	6.43	7.6
S 3	7	20.3	7.13	5.1
	8	19.5	7.56	3.5
	9	18.6	8.17	2.9
	10	19.3	7.80	1.4
	11	13.0	7.69	3.3
	Mean	18.1	7.67	3.0
S 4	7	19.8	6.69	7.6
	8	22.3	6.86	0.7
	9	18.4	7.01	3.2
	10	20.0	6.90	1.0
	11	12.7	7.01	7.0
	Mean	18.6	6.89	3.9
S 5	7	20.2	6.31	4.0
	8	22.5	6.90	3.3
	9	18.6	7.07	3.4
	10	21.9	6.95	3.1
	11	13.3	6.95	3.7
	Mean	19.3	6.84	3.5
S 6	7	23.1	6.75	3.6
	8	19.2	6.78	3.4
	9	20.1	6.82	3.4
	10	19.0	6.40	3.3
	11	13.2	7.05	3.6
	Mean	18.9	6.76	3.5

가축분뇨수 유입수로 지점(S3)에서 pH가 8.17로 나타나 강우에 따른 수질오염정도를 확인할 수 있다.

또한 저수발원지(S1)과 농가하수가 유입되는 지점(S2)에서는 용존산소농도가 각각 9.4와 7.6을 나타내어 가축분뇨수 유입지점(S3)의 용존산소농도 3.0과 비교해 볼 때 가축분뇨수의 유입에 따라 약 약 2배정도의 감소를 나타내었다. 가축분뇨수가 유입된 후 저수지까지의 수로에서 용존산소농도는 모두 4.0이하의 수치를 나타내어 가축분뇨수 합류가 저수지내의 생태계와 수생식물의 형성에 크게 기여할 것으로 추측할 수 있다. 결과적으로 가축분뇨수의 지속적인 무단방류로 인한 농가의 소규모 하천은 물론 갈치저수지의 수질오염에도 상당한 악영향을 끼치고 있는 것으로 생각할 수 있다.

실험설계에 있어 지형적인 특성을 고려하여 최초 저수지의 발원지를 기준으로 수질오염에 영향을 미치는 장소를 중점적으로 저수지에 유입되는 수질표본을 채취 후 4℃에 냉장 보관하여 분석을 수행하였다. 갈치저수지인근 유역 수계의 수질시험에서 유기물질 분석결과 BOD5는 표 7에 나타내었다.

각 조사지점별 오염도의 변화양상을 보면, BOD5의 경우 가축분뇨수 유입지점(S3)의 가축분뇨수 유입은 지점 S1과 S2와 합류되어 평균 195.11㎎/ℓ로 급격하게 증가하였으며, 가축분뇨수 합류 후 100m지점인 S4에 있어서는 37.16㎎/ℓ로 감소를 보였다. 조사지점별 오염부하량은 가축분뇨수 유입수로 지점인 S3에서 COD의 경우 408.6㎎/ℓ, SS 79.5㎎/ℓ으로 모두 최대치를 나타냈으며, 가축분뇨수중 소에 의한 오염물질 원단위 BOD 640㎎/ℓ, COD 3,500㎎/ℓ, SS 3,500㎎/ℓ로 나타남을 비교해 볼 때 하천에 인접한 젖소사육 농가로부터의 가축분뇨수 무단방류가 커다란 영향을 미친 것으로 판단되었다.

표 7. 가축분뇨수 유입에 따른 BOD_5의 변화

Month	BOD5 concentration (㎎/ℓ)					
	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 6
7	4.85	8.85	23.66	21.42	13.65	7.33
8	8.83	6.26	249.23	41.14	25.51	10.16
9	0.72	1.31	328.19	62.46	58.19	7.13
10	5.39	4.09	317.83	49.17	17.93	9.32
11	1.94	2.72	56.66	11.63	10.86	34.79
Mean	4.35	4.65	195.11	37.16	25.23	13.75

정동일 등[30]은 팔당호 유역에서 발생되는 총 BOD량은 약 486ton/day로 이 중 북한강 유역이 22.4%, 남한강 유역이 66.0%, 그리고 경안천 유역이 11.6%를 차지하고 있다. 이를 발생원별로 보면 인구에 의해 89.1ton/day, 토지에 의해 44.6ton/day 가축에 의해 352.12ton/day가 발생되고 있어 전체 발생량 중 약 72%가 가축에 의해 발생되고 있음을 알 수 있다. 가축에 의한 BOD 발생량 중 43.2%가 소에 의해 발생되고 있으며, 돼지 및 닭에 의해서는 각각 24.2%, 32.6%가 발생되고 있으며, 가축에 의한 BOD 발생량을 유역별로 보면 북한강 유역 21.1%, 남한강 유역 65.3%, 경안천 13.6%를 차지하고 있는데 특히 경안천은 유역면적이 팔당호 전체 유역의 약 2%정도 밖에 되지 않음을 감안하면 가축에 의한 BOD 발생량이 매우 많은 것으로 보고하고 있다.

갈치저수지 인근유역에서 각 지점에서 채취된 시료를 분석한 결과 수질의 일반지표 항목인 COD 농도의 변화는 표 8에 나타내었다.

표 8. 가축분뇨수 유입에 따른 COD의 변화

Month	COD concentration (㎎/ℓ)					
	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 6
7	12	33	137	69	65	52
8	61	64	557	142	71	108
9	36	33	671	111	145	55
10	51	68	511	128	144	153
11	8	18	167	40	25	38
Mean	33.6	43.2	408.6	98	90	81.2

수질의 유기오염 지표항목인 COD는 가축분뇨수 유입지점(S3)에서 408.6㎎/ℓ를 나타내었고, 저수지 발원지로부터 갈치저수지까지 유입되는 수로가 경축농가를 지나면서 BOD5의 농도가 가장 높았던 지점인 가축분뇨수 유입지점(S3)에서 COD 값이 병행하여 증가하는 유사한 결과를 나타내었다. 또한 가축분뇨수 유입지점(S3)에서는 가축분뇨수가 저수지를 급격히 오염시켜 河床에 scum형성과 악취발생을 나타내었다. 이는 시료채취장소 S3에 위치한 축우농가에서 무단방류되는 가축분뇨수 때문으로 판단되며 이들 경축농가들은 대부분이 가축분뇨수 처리시설을 설치하지 않았으며, 설치하였더라도 운영미숙이나 처리시스템의 낮은 처리효율로 오염물질이 과부하되므로써 적절한 처리가 이루어지지 못한 상태로 가축분뇨수가 방류되고 있기 때문이다.

인근 영세 축산농가에서 방류되는 가축분뇨수가 갈치저수지 오염에 대한 주된 오염원으로 판단하여 그 영향을 판단하기 위한 지표항목으로 Suspended Solid(SS)의 분석결과는 표 9에 나타내었다.

가축분뇨수가 유입된 지점(S3)에서 75.9㎎/ℓ을 나타내었으며, 특히 저수지내 지점(S6)은 25.44㎎/ℓ를 나타내어 가축분뇨수 유입지점에서의 SS값의 약 33.5%수준으로 나타내었다. 또한 저수지내 지점(S6)에서 월별변화를 비교해 보면 11월에 분석된 SS의 농도는 70.3㎎/ℓ를 나타내었다. 시간이 경과됨에 따라 가축분뇨수의 유입이 저수지의 오염을 악화시키는데 크게 영향을 미친다고 생각된다.

표 9. 가축분뇨수 유입에 따른 SS의 변화

Month	SS concentration (㎎/ℓ)					
	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 6
7	3.0	3.6	58.5	18.6	14.8	13.0
8	1.2	1.2	88.0	15.8	14.6	15.6
9	1.6	1.2	90.5	21.3	17.8	10.7
10	2.4	2.3	104.5	15.0	11.0	17.6
11	1.5	2.6	56.0	13.2	12.8	70.3
Mean	1.94	2.18	79.5	16.78	14.2	25.44

영양염류인 Nitrogen과 Phophorus에 관한 분석결과는 표 10에 나타내었다. 가축분뇨수가 유입된 지점(S3)에서 총질소의 양은 33.86㎎/ℓ로 저수발원지인 지점(S1)보다 약 16배정도 증가되어 가축분뇨수의 유입은 하천 수질에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이는 처리되지 않은 가축분내의 질소가 직접 유입됨으로 인해 높은 증가율을 나타내는 것으로 알 수 있다. 그 이유는 河床과 인근 耕作地의 토양에서 용탈되는 질소성분이 처리되지 않은 상태로 하천에 유입되어서 저수지 유입수로의 오염을 가중시키며, 또한 착유등의 기타 세척수가 합류되어 나타나는 현상이라고 판단된다. 특히 NH_3-N의 경우 가축분뇨수 유입수로 지점(S3)에서 20.37㎎/ℓ를 나타내며 이 결과는 경축농가의 정화처리되지 않은 생활하수와 가축분뇨수 무단방류의 영향이 큰 것으로 생각되며, NO_3^--N와 NO_2^--N의 경우에는 저수지 유입수로지점(S5)에서 각각 1.11㎎/ℓ와 0.07㎎/ℓ로 나타나 가축분뇨수 유입지점(S3)에서 유입된 가축분뇨수의 유기성 질소가 질산화 과정을 거치면서 산화분해되어 질산성 질소로 轉變되어 상당량으로 증가되는 결과를 나타낸다고 판단된다.

Nitrogen의 농도가 가축의 장내로부터 배출되는 질소성분이 다량인 것으로 생각되며, 이 결과로 생활하수에 의한 저수지수질의 오염이라기 보다는 가축분뇨수로 인한

오염이 더 큰 기여를 한다고 사료된다.

저수지 발원지(S1)와 농가하수 유입지점(S2)을 지날 때까지 많은 양이 검출되지 않던 암모니아태 질소(NH_3-N)가 축우농가가 밀집해 있는 가축분뇨수 유입지점(S3)과 가축분뇨수 합류 후 100m 지점(S4)에서 각각 20.37㎎/ℓ, 16.85㎎/ℓ로 상당량 검출되었다. 이 결과로 갈치저수지 수질오염의 주된 원인은 경축농가에서 무단방류하는 가축분뇨수임을 밝힐 수 있다. 전반적으로 NO_2-N의 농도는 높지 않은 것으로 나타나고 있으며, 이는 미생물의 생육적온을 감안하여 볼 때, 시료채취일의 낮은 水溫으로 인하여 미생물의 산화작용으로 질산염으로 환원이 잘 일어나지 않은 것으로 생각되었다. 그리고 NO_3-N은 농경지의 자연발생원 또는 연소등에 의한 자연적으로 고정된 양이 가축분뇨수가 유입되면서 공급된 NH3-N이 nitrification되어 농도가 높아지는 것으로 설명할 수 있다. 갈치저수지 인근유역의 농가에서 사육하는 축종은 주로 우유 생산을 목적으로 농가소득을 증대시키는 乳牛를 사육하고 있었다. 일반적으로 乳牛 사육농가에서는 특히 각종 질병의 예방측면에서 착유시 청결을 중요시하며, 이에 발생되는 축사세척수의 사용량이 일반 축종(肉牛, 鷄 등)에 비하여 많으므로 갈치저수지로 유입되는 오염물질의 양을 증가시키는 요소로 작용하고 있는 것으로 생각된다. 가축분뇨수 유입전과 유입후 저수지까지의 먼거리는 전반적인 분석항목에서 유기성 오염물질과 영양염류의 농도는 낮은 것으로 분석되었으며, 그 이유는 水系의 形成圈의 형태로 판단하여 볼 때 주변에 양축농가가 존재하지 않는 지역은 오염물질이 적은 것으로 생각된다. 따라서 가축분뇨수 유입지점(S3)을 지나면서 유입된 오염물질을 희석시키는 결과를 가져오는 것으로 판단된다.

표 10. 가축분뇨수 유입에 따른 Nitrogen과 Phosphorus 변화

Sampling Site	Month	Nutrient Salts (㎎/ℓ)					
		Total-N	NH_3-N	NO_3^--N	NO_2^--N	Total-P	PO_4^--P
S 1	7	2.13	0.29	0.03	0	0.08	0
	8	2.43	4.23	0.27	0.01	0.07	0.19
	9	1.46	5.04	0.32	0.03	0.14	0.47
	10	1.36	3.15	0.53	0.08	0.04	0.01
	11	2.76	2.06	0	0	0.08	0
	Mean	2.03	2.95	0.23	0.02	0.08	0.13
S 2	7	2.78	2.54	0.09	0.03	0.22	1.08
	8	2.57	12.68	0.28	0.06	0.26	2.16
	9	1.16	5.23	0.36	0.07	0.18	0.83
	10	1.88	3.52	0.32	0.08	0.11	1.65
	11	3.95	2.76	0.09	0.09	0.17	1.06
	Mean	2.47	5.35	0.23	0.07	0.19	1.36
S 3	7	28.64	14.07	0.24	0.02	5.56	2.88
	8	26.44	27.36	1.22	0.09	8.08	5.72
	9	33.37	32.42	1.43	0	7.78	4.53
	10	35.33	17.15	0.84	0	8.02	3.46
	11	45.50	10.83	0.35	0.04	5.21	1.37
	Mean	33.86	20.37	0.82	0.07	6.91	3.59
S 4	7	2.82	12.76	0.35	0.03	3.78	1.62
	8	3.54	23.53	1.46	0	3.80	4.76
	9	24.20	27.96	1.13	0	5.42	2.27
	10	28.56	10.43	1.64	0	2.28	1.36
	11	35.44	9.61	0.76	0	3.48	0.91
	Mean	18.91	16.85	0.78	0.01	3.75	2.18
S 5	7	1.42	10.59	0.39	0.03	3.49	0
	8	2.76	16.01	1.71	0.06	4.40	0
	9	25.66	8.67	1.05	0.07	5.60	0.66
	10	20.30	4.83	0.74	0.08	2.49	0.25
	11	24.50	3.52	1.67	0.09	3.33	0.08
	Mean	14.93	8.72	1.11	0.07	3.86	0.20
S 6	7	1.07	1.02	2.34	0	1.06	0.04
	8	1.41	6.10	1.93	0.11	0.99	0.19
	9	5.03	3.25	0.79	0	0.62	1.01
	10	5.66	2.33	0.96	0	0.69	0.52
	11	5.15	1.59	1.76	0.04	1.25	0.08
	Mean	3.66	2.86	1.56	0.03	0.92	0.37

유기성 오염물질 및 영양염류에 관한 지표항목을 분석한 결과는 시료채취지점별 월별변화를 비교해 보면 9 10월에 높은 오염도를 나타내었다. 대표적으로 BOD_5와 NH_3-N 농도변화를 보면 지점 가축분뇨수 유입지점(S3), 가축분뇨수 합류후 100m지점(S4) 및 저수지유입수로(S5)의 경우는 월별 변화 양상을 비슷하게 나타내어 가축분뇨수의 유입이 시작됨과 동시에 하천수로의 오염을 병행하고 있음을 알 수 있었다.

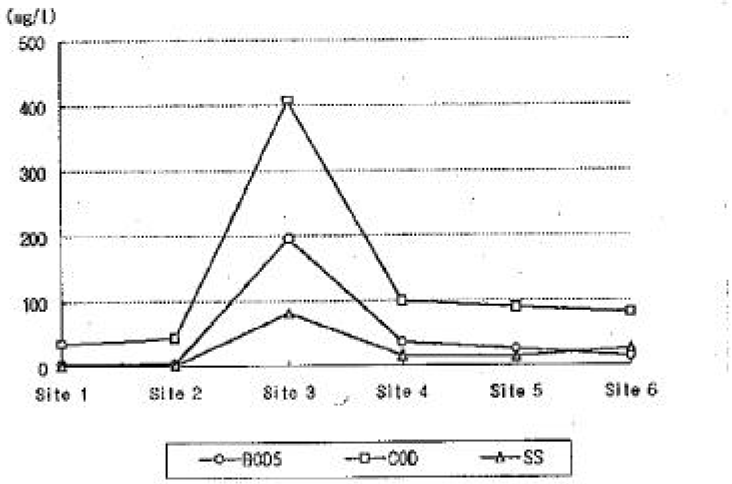


그림 2. 시료채취지점별 유기성 오염물질(BOD_5, COD, SS)의 농도변화

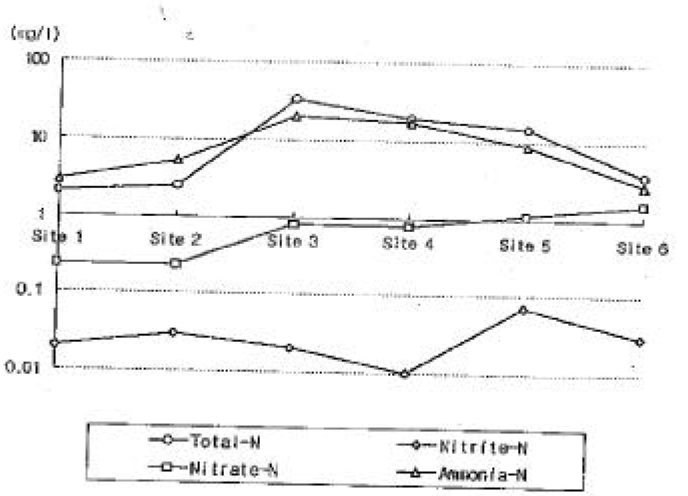


그림 3. **시료채취 지점별** T-N, NH_3-N, NO_3^--N, NO_2^--N**의 농도변화**

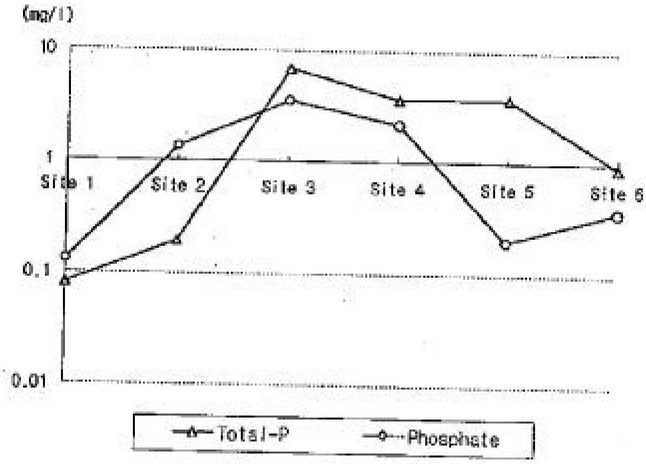


그림 4. **시료채취 지점별** T-P, PO_4^{3-}-P**의 농도변화**

가축분뇨수 유입지점을 중심으로 조사된 시료채취지점별 BOD5와 COD 그리고 SS의 농도변화는 그림 2에 나타내었으며, Nitrogen과 Phosphorus에 대한 농도변화는 그림 3과 그림 4에 각각 나타내었다.

乳牛사육농가에서 법규제를 받지 않은 채 무단방류된 가축분뇨수는 갈치저수지 인근유역의 관개용수까지 오염시키는 실정에 이르고 있다. 이에 가축분뇨수가 수질오염에 지배적인 역할을 한다고 판단된다. 우리나라 소하천의 경우, 저수지 수로의 특성상 유속이 빠르고, 유량이 적은 경우에 상류에서의 오염이 하류지역에 직접적으로 영향을 미치고 있어, 축산이 수질오염에 크게 기여한다는 사실을 뒷받침하는 결과라고 본다.

3. 지표미생물의 조사

수질의 지표 미생물 조사는 그 목적이 溫血동물의 배설물에 의하여 미생물학적으로 어느정도 오염되어 있는가를 측정하여 건강상의 위험도를 파악하는데 있다. 그러므로 지표미생물은 병원성과 상관관계를 가져야 하며, 병원성 미생물이 오염되었을 때는 반드시 지표 미생물도 오염되어 있어어야 한다. 그리고 병원성 미생물보다 많은 수로 지표미생물이 오염되어야 하는 조건을 만족하여야 한다. 지표미생물은 병원성 미생물보다 저항성이 강하여, 오염상태가 오래 지속되어야 하는 특성을 가지고 있다. 또한 병원성 미생물보다 조사하기 편리하고 그 시험방법이 표준화될 수 있도록 하여야 한다. 따라서 이와같은 조건의 지표미생물을 조사함으로써 병원성 미생물의 오염 가능성을 파악할 수 있다. 지표미생물은 일반세균수, 대장균군, 분원성 대장균군, 분원성 연쇄상균군등이 있어 溫血동물의 활동에 의하여 오염되는 미생물군이다.

하천의 자정작용에 의하여 유입된 오염물질은 분해를 받게되며, 오염된 미생물도 사멸하기 시작한다. 생활하수와 같은 미생물의 오염원이 있는 수역에서는 지표미생물의 오염도가 높으며 유기물질의 오염과 아울러 일반세균수도 높게 나타나고 있다. 그러나 지표미생물의 오염도는 하천의 흐름에 따라 감소하게 되는데 Total Coliform, Fecal Coliform 및 Fecal Streptococci는 비슷한 감소경향을 보이고 있다.

4. 지표미생물의 분포조사 및 TC/FC비와 FC/FS비

지표미생물의 오염도 조사는 19세기 말경 위생학적 측면에서 Von Fritsch가 Klebsiella를 조사하며 시작하였다. 초기의 지표미생물 조사는 단지 병원균의 오염 여부를 판단하는 지표로만 이용되어 왔지만 이에 관한 연구가 연속됨에 따라 지표미생물을 조사하므로서 오염원을 규명하고 오염정도를 파악하는 지표로 이용하게 되었다. 예를들면 항생제 저항성을 나타내는 대장균의 조사나 가축분뇨수의 오염 지표로 이용되는 FC/FS Ratio, Rhodococcus, Lactobacillus 등의 새로운 연구가 많아졌다. 또한 열 오염지역에서의 고온균의 증식 여부나 중금속오염 지역에서의 Metal Resistant Bacteria의 연구등이 새로운 지표 미생물의 연구대상이 되었다. 이밖에도 많은 지표미생물이 있으나 가장 보편적인 것은 일반세균수(Total Viable Bacterial Count : PC), 대장균군수(Total Coliform Group : TC), 분원성 대장균군수(Fecal Coliform Group : FC) 및 분원성 연쇄상구균(Fecal Streptococcal Group : FS)의 4 종류가 있으며 이들은 그 조사방법도 간단하고 편리하여 Standard Methods 로 공인되고 있다.

TC/FC비는 자연계에서 증식하는 비분원성 대장균군(Non-Fecal Coli form Group)과 FC와 비교하는 지표로 이용되는 것으로 수치의 역수가 FC의 오염을 나타낸다. TC/FC비는 오염원이 분원성인지 비분원성인지를 규명하는 방법으로 연구되고 있으며, FC/FS비는 오염원이 Human Source인지 Animal Source인지를 구별하는 방법으로 연구되고 있다. FC/FS비가 4이상인 경우는 주된 오염원이 생활하수이며 0.7이하인 경우는 가축분뇨수가 주오염원으로 간주된다. 그러므로 유역의 미생물학적 오염도를 위해서는 TC와 함께 FC도 반드시 실시하여야 하며 나아가 FS시험을 실시함으로써 FC/FS비를 구하여 오염도뿐만아니라 오염원을 분석할 필요가 있다. 김동군(1981)등은 도시하수의 TC/FC비가 가축분뇨수보다 높게 나타난 것은 전처리전 원하수가 자연수계를 거쳐 왔기 때문으로 사료된다고 보고하고 있다. 즉 TC/FC비는 자연계에서 증식하는

Non-Fecal Coliform과의 비교 지표로서 이용되고 있으며 오염이 심한 지역일수록 낮은 수치를 나타내고 있다. 본 연구에서 선정한 지표미생물 TC와 FC 그리고 FS와 오염물질간의 상관관계를 구명하기 위한 조사지점별 Fecal Coliform과 Fecal Streptococcal Group의 분포는 표 11에 나타내었다.

지표미생물의 분포를 보면 TC 및 FC의 경우 가축분뇨수 유입지점(S3)에서는 각각 8.46, 6.51(이상 Log MPN/100㎖)을 나타내었고 저수지 유입수로 지점(S5)에서는 각각 4.73과 3.40을 나타내어 가축분뇨수유입후 시간 경과에 따른 지표미생물의 생육밀도가 적은 것을 확인할 수 있었으며, 저수발원지(S1)에서의 3.82와 3.03을 나타내어 가축분뇨수가 유입되면서 TC와 FC의 경우 모두 약 45%의 지표미생물의 밀도가 증가하고 있음을 나타내었다. 특히 가축분뇨수 유입지점(S3)에서는 가축분에 기인한 분원성 지표미생물의 증식은 확인할 수 있었다.

김형석(1972)등20)은 한강에 있어서 Fecal Coliform Group(FC)과 Fecal Streptococci Group(FS)의 위생화학적 고찰에서 하계의 한강수역에서 FC와 FS의 분포비를 조사한 바 있으며, 그 결과 제1한강교와 제2한강교수역은 각각 4.6과 3.6이고 뚝섬수역은 0.2라고 보고하였다. 한강원수 및 池川水의 대장균군과 오염도와 그 지표성에 관한 연구가 보고된 바 있다.

하천의 미생물학적인 오염은 병원균의 오염가능성을 갖고 있다는 점에서 그 오염원과 오염도의 조사 및 오염결과의 분석에 중요성 대두된다. 병원균은 가축의 장내 배출 미생물이 여러 오염경로를 통하여 하천에 유입되는데 주요 오염원으로는 도시생활하수, 농촌생활하수, 가축분뇨수, 제지공장폐수, 제당공장폐수, 육류가공폐수, 하천변유원지(Varness 등, 1978)등이 있다고 보고되고 있다. 이와같이 병원균의 오염원은 양상이 다양하며 오염될 수 있는 병원균의 종류도 많다. 현재 가장 많이 이용되고 있는 지표미생물로는 대장균군(Total Coliform), 분원성대장균군(Fecal Coliform), 분원성연쇄상구균(Fecal Streptococcus)등이 있는데 *E. Coli*는 훌륭한 지표균으로서 *E. Coli*의 MPN수와 *Salmonella*균의 존재 사이에는 높은 상관관계를 나타내고 있다. 또한 항생제에 저

항성을 가지는 대장균이 병원균에게도 동일한 저항성을 전달할 수 있다는 점에서 저항성 대장균의 시험도 이루어지고 있으며 실제 하천수에서 대장균군의 약 60%가 항생제 저항균이라는 보고도 있다(Cooke 등, 1976)[5].

이외에도 *Klebsiella*는 온혈동물의 장내에 있으며 병원성 *K. Pneumoniae* 균주의 약 85%가 분원성 대장균군 시험에서 양성이므로 분원성 대장균군 시험에 양성인 *Klebsiella*도 지표균이 될 수 있다. 또한 잔류염소에 대해 저항성이 큰 효모나 Acid-Fast Organism이 염소소독의 지표균으로 제안되기도 하며 가축분뇨수 오염의 지표로는 *Rhodococcus coprophilus*가 제안되었다(Al-Diwany 등 1972)[1]. 이밖에도 분원성대장균군과 분원성 연쇄상구균의 비가 있으며, *Clostridium Perfringens*, *Salmonella*, *Cyanophage* 등이 있다. 그리고 수계에 서식하는 조개류, 파충류, 곤충류의 생체에 분포하는 지표미생물을 조사하여 수질의 미생물학적 오염도를 분석하기도 한다. 일반적으로 대장균군수는 상수의 수질을 측정하는데 반하여 분원성대장균군수는 자연수의 수질을 측정하는데 좋은 지표로 보고 있다(Bonde 등, 1977)[3].

표 11. **조사지점별** Fecal Coliform**과** Fecal Streptococci**의 분포**

Sampling Site	Month	Indicator Bacteria (MPN/100㎖)							
		TC	Log	FC	Log	FS	Log	TC/FC	FC/FS
S 1	7	4.9×102	2.69	2.7×102	2.43	0.6×102	1.79	18.1	4.5
	8	2.0×104	4.30	3.1×103	3.49	5.4×102	2.73	6.5	5.7
	9	3.7×103	3.57	3.2×102	2.51	1.2×103	3.08	11.6	2.7
	10	9.4×103	3.97	1.2×103	3.08	2.6×102	2.41	9.8	4.6
	11	3.9×104	4.59	4.6×103	3.66	1.2×103	3.08	8.5	3.8
	Mean	1.5×104	3.82	1.9×103	3.03	6.5×102	2.62	10.5	4.3
S 2	7	5.4×102	3.73	4.2×102	2.62	0.8×102	1.90	12.8	5.3
	8	3.1×104	4.49	2.4×103	3.38	4.7×102	2.67	12.9	5.1
	9	6.1×104	4.79	4.6×103	3.66	1.1×103	3.04	13.3	4.2
	10	4.7×104	4.67	5.8×103	3.76	1.2×103	3.08	8.1	4.8
	11	2.6×104	4.41	2.3×103	3.36	4.7×102	2.67	11.3	4.9
	Mean	3.3×104	4.22	2.6×103	3.28	6.4×102	2.67	11.0	4.9
S 3	7	3.5×105	5.54	3.3×105	5.52	1.7×104	4.23	10.6	1.9
	8	6.4×106	6.80	0.7×106	5.85	4.7×105	5.67	9.1	1.5
	9	1.2×108	8.08	1.2×107	7.08	1.3×107	7.11	10.0	0.9
	10	8.5×108	9.93	1.4×108	8.15	1.9×104	4.28	6.1	0.7
	11	9.2×106	6.96	0.9×106	5.95	5.6×105	5.75	10.2	1.6
	Mean	1.9×108	7.46	3.1×108	6.51	2.8×106	5.41	9.2	1.3
S 4	7	1.1×105	5.04	7.9×103	3.90	2.2×103	3.34	13.9	3.6
	8	8.0×105	5.90	4.4×104	4.64	1.7×104	4.23	18.2	2.6
	9	5.3×106	6.72	3.2×105	5.51	1.1×105	5.04	16.6	2.9
	10	7.2×105	5.86	3.9×104	4.59	1.9×104	4.28	18.5	2.1
	11	5.7×106	6.76	3.7×105	5.57	1.1×105	5.04	15.4	3.4
	Mean	2.5×106	6.06	1.6×105	4.84	5.2×104	4.39	16.5	2.9
S 5	7	9.2×103	3.96	3.6×102	2.56	1.1×102	2.04	25.6	3.3
	8	2.7×105	5.43	1.3×104	4.11	0.7×104	3.85	20.8	1.9
	9	3.3×104	4.52	2.1×103	3.32	1.0×103	3.00	15.7	2.1
	10	2.4×105	5.38	1.1×104	4.04	3.1×103	3.49	21.8	3.5
	11	2.2×104	4.34	0.9×103	2.95	2.8×102	2.45	24.4	3.2
	Mean	1.1×105	4.73	5.5×103	3.40	2.3×103	2.97	21.7	2.8
S 6	7	7.8×103	3.89	5.2×102	2.72	1.2×102	2.08	15.0	4.3
	8	3.3×104	4.52	3.2×103	3.51	0.8×103	2.90	10.3	4.0
	9	2.4×104	4.38	1.6×103	3.20	4.2×102	2.62	15.0	3.8
	10	2.2×104	4.34	2.7×103	3.43	0.8×103	2.90	8.2	3.4
	11	1.2×104	4.08	1.1×103	3.04	2.3×102	2.36	10.9	4.8
	Mean	2.0×104	4.33	1.8×103	3.18	4.7×102	2.57	11.9	4.1

가축의 분원성 오염원을 구별하는 지표로서의 FC/FS비는 가축분뇨수 유입지점(S3)에서 1.3을 보였고, 유입후 100m지점(S4)에서는 2.9를 보여 가축분뇨수가 유입되는 지점에서의 현저한 차이를 볼 수 있는데 이는 동물의 장으로부터 배설된 후 FS의 사멸속도가 FC의 사멸속도보다 빠르기 때문으로 생각되며, Enterococcus Group의 비율이 상승하고 Streptococcus의 비율이 감소한 것은 자연계에서의 생존율의 차이로 판단되었다(그림 5). 미생물의 유래를 간접평가할 수 있는 FC/FS비는 S3지점에서 1.3을 나타내어 가축분뇨수에 기인한 오염으로 평가되는 0.7과 비교한다면 다소 높은 결과를 보였다. 그러나 생활하수인 경우 FC/FS비인 4.0과 비교할 때, 가축분뇨수의 유입이 주원인이고 또한 생활하수 및 인분(人糞)의 복합적인 방출로 오염이 일어나고 있음을 시사하고 있다.

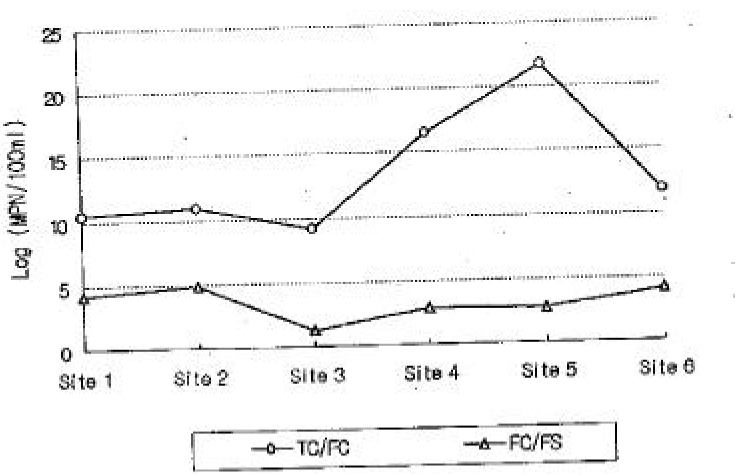
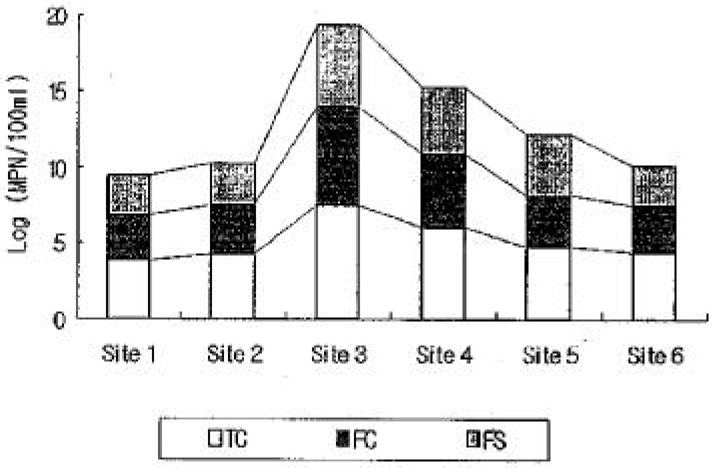


그림 5. 시료채취 지점별 TC/FC와 FC/FS ratio

지표미생물로는 일반세균수(Total Viable Bacteria Count : PC) 대장균군수(Total Coliform group : TC), 분원성 대장균군수(Fecal group : FC) 및 분원성 연쇄상구균(Fecal Streptococcal group : FS) 등이 널리 이용되고 있으며, 이 밖에도 *Rhodococcus*(Duncan 등, 1981)[7], *Klebsiella*(Bagley 등, 1977)[2], *Bifidobacterium* 및 FC/ FS비(Hollon 등, 1982: Qragui 등, 1983: Tilton 등, 1967)[10, 12, 15]등이 가축분뇨수에 의한 오염지표로 연구되어 오고 있다(Geldreich 등, 1969)[9].

이 밖에도 *Rhodococcus*(Duncan 등, 1981)[7], *Klebsiella*(Bagley 등, 1977)[2], *Bifidobacterium* 및 FC/ FS비(Hollon 등, 1982: Qragui 등, 1983: Tilton 등, 1967)[10, 12, 15]등이 가축분뇨수에 의한 오염지표로 연구되어 오고 있다(Geldreich 등, 1969)[9].

그림 6. 시료채취 지점별 지표미생물의 분포상태



최초저수지 발원지로부터 가축분뇨수의 유입에 따른 오염도 조사에서 지표미생물의 분포를 나타내었다(그림 6). 그러나 3가지 지표미생물(TC, FC, FS)의 종류별 구성비는 큰 차이가 없었으나, 지표미생물의 오염도는 일반적으로 하천의 흐름에 따라 감소하게 되는데 경축농가의 가축분뇨수 유입 후 지점에서는 TC, FC 및 FS는 비슷한 감소경향을 보이고 있다.

유기성 오염물질과 분원성 지표미생물과의 상관관계를 구명하기 위하여, 일반 오염 지표항목인 COD, SS, 영양염류와 TC, FC와의 상관관계을 분석하였다. TC의 경우 COD, SS 및 NH_3-N에서 상관분석 결과(Microsoft Excel Ver. 7.0) R^2값은 각각 0.837, 0.556과 0.941로 나타나 높은 상관관계를 가지며, NO_2-N는 0.026으로 낮은 상관관계를 보였다. FC의 경우도 COD, SS 및 NH_3-N는 상관분석 결과 0.827, 0.544 그리고 0.947로 TC의 결과와 유사한 상관관계를 보이며, NO_2-N과도 0.034로 낮은 상관성을 나타내었다.

일반적으로 사용되는 분뇨에 의한 오염지표인 지표 미생물의 배출량은 소의 경우 분원성 대장균군(Fecal Coliform group: FC)이 5.4×10^9/두/일, 분원성 연쇄상구균(Fecal Streptococcal group : FS)이 31×10^9두/일이고, 유기성 오염물질의 지표인 BOD(Biochemical Oxygen Demand)배출량은 640g/두/일이다. 또한 돼지의 경우는 각각 FC는 8.9×10^9두/일, BOD는 125두/일 정도로 보고되고 있다(서윤수 등, 1981)[25].

가축분뇨수가 하천수질에 미치는 영향에 관한 연구로서 Sewell 등(1975)[14]은 소사육목장으로부터 하천하류 60m지점의 BOD 및 NO_3^--N의 오염도를 조사한 바 있고, Robbin 등(1971)[13]은 487m에서의 분원성 대장균군(Fecal Coliform : FC)의 높은 오염도를 보고한 바 있으며, Hollon등[10]은 100m 및 500m에서 BOD등 7개 항목의 현저한 증가와 1,200m에서의 폐수 배출전 수준으로의 감소를 보고한 바 있다.

류재근 등(1986)[21, 22]은 비가 오기 전의 시험결과로 가축분뇨수 유입후 200m지점까지 0.4이하를, 비 온 직후 시험결과는 2,000m지점까지 0.7이하를 보여 각각 가축분뇨수에 의한 오염으로 예측되었다. 그러나 두 시험결과가 차이를 보인 것은 먼저 비 온 직후의 경우 가축분뇨수가 다량으로 하천에 유입되고, 유속의 증가로 체류시간의 단축과 水溫의 감소에도 영향을 미치는 것으로 사료되며 이는 20℃이하에서 높은 농도의 유기물은 *E. Coli* 및 FS의 재증식을 일으키고, 반면 26℃ 30℃에서의 가장 빠른 사멸속도를 보인 Evison의 시험과 일치된 결과로 보인다. 또한 오염원으로부터 멀어질수록

FC/FS비가 커지는 것은 Mefeters 등의 Memberane Chamber를 이용한 지표미생물 및 병원성 장내세균(Enteric pathogen)의 생존율 비교시험결과와 같이 동물의 장으로부터 배설된 후 FS의 사멸속도가 FC의 그것보다 빠르기 때문으로 보고하였다. 또한 오염원으로부터 멀어질수록 Enterococcus group의 비율이 상승하고 S. bovis의 비율이 감소한 것은 역시 자연계에서의 생존율의 차이로 보고하였으며, 높은 농도의 FC는 분변에 의한 오염으로, FC/ FS비 0.7이하 및 S. bovis의 검출은 가축분뇨수에 의한 오염으로 예측되며 Klein11) 및 Wilkowske등17)의 보고에 의하면 Group D Streptococcus(*S. Bovis, S. equinus, Enterococcus*)은 인간의 심근경색증(Endocarditis)와 *S. bovis*는 결장(colon)의 석회증(Calcinoma)과 상관성을 나타낸 바 있어 병원성 미생물의 오염가능성이 큰 것으로 밝히고 있다. 그러므로 수질의 오염에 따라 미생물군의 구성이 달라질 뿐 아니라 종의 수도 변화한다. 또한 유기물의 오염은 미생물 균체량, 호흡량, 유기물 분해활성등의 변화를 가져오는데 이러한 유기물의 오염외에 특수한 수질오염에 대해서도 미생물은 민감하게 반응한다. 화학물질의 오염으로 세균중에 Chromagen의 비율이 감소하며(Cherry 등, 1977)4), 발전소 냉각수의 방류와 열오염지역에서는 Thermus aguaticus나 Naegieria fowleri와 같은 고온균이 증식한다(Degryse 등, 1978)6). 이상과 같이 실험대상 지역인 갈치저수지 인근 유역의 微生物床의 년간 변화는 채수지점과 채수시 기상학적 조건에 따라 크게 변화하는 것으로 나타났다.

따라서 차후에 수행되어야 할 연구로는 미생물상의 분포 및 변화에 영향을 주는 인자들을 고려한 종합적인 연구와 가축분뇨수가 저수지에 유입된 이후에 저수지에서 일어나는 오염 발생 기작 및 자정능력 평가등이 필요한 것으로 생각된다.

第 4 節 結 論

경기도 군포시 대야미동에 위치한 갈치저수지를 대상으로 가축분뇨수의 무단방류가 저수지의 수질에 미치는 영향을 평가하기 위하여 현장조사 및 실험분석으로 환경위생학적 조사, 하천오염 부하량 및 지표미생물의 분포비를 조사한 결과는 다음과 같다.

조사지점별 유기물질 오염부하량은 가축분뇨수유입수로 지점인 S3에서 BOD_5의 경우 195.11㎎/ℓ, COD 408.6㎎/ℓ, SS 79.5㎎/ℓ으로 모두 최대치를 나타냈고. 이러한 결과는 하천에 인접한 젖소사육 농가로부터의 가축분뇨수의 무단방류가 수질오염의 원인임을 밝혀주는 결과로 판단된다.

영양염류는 NH_3-N의 경우 S3에서 20.37㎎/ℓ를 나타내었다. 이 결과는 하천이 젖소사육지역으로 들어오기전의 지점인 S1에서 나타난 20.37㎎/ℓ를와 비교한다면 약 7배의 증가를 보였으며 가축분뇨수가 포함되어 있는 암모니아성 질소로 판단된다. 그리고 NO_3-N와 NO_2-N의 경우는 저수지 유입수로인 S5에서 각각 1.11㎎/ℓ와 0.07㎎/ℓ로 가장 높게 나타났다. 이는 S3(가축분뇨수 유입지점)에서 유입된 가축분뇨수가 하천을 따라 유하하면서 암모니아성 질소에서 질산성 질소로 질산화 과정을 통하여 전변되어 나타난 결과로 생각된다.

수질오염의 지표미생물인 Total Coliform Group(TC) 및 Fecal Coliform Group(FC)과 FS(Fecal Streptococcus Group)의 분포는 가축분뇨수 유입지점(S3)에서 각각 8.46, 6.51, 5.41(Log MPN 100㎖)을 나타내었다. 저수지 유입수로(S5)에서는 4.73, 3.40, 2.97(Log MPN 100㎖)로 측정되어 지표미생물이 하천을 따른 이동과정중에 약 50%정도 사멸되었음을 나타내고 있다. 또한 TC/FC 비를 보면 시료채취 지점에 따라 약 9 22의 범위로 큰 차이는 없었으나, FC/FS 비는 1.3 4.9의 범위로 분석되어 가축분뇨수의 무단방류로 인한 오염이 심각하게 일어나고 있음을 잘 나타내고 있다.

미생물의 유래를 간접평가할 수 있는 FC/FS비는 S3지점에서 1.3을 나타내어 가축분뇨수에 기인한 오염으로 평가되는 0.7과 비교한다면 다소 높은 결과를 보였다. 그러

나 생활하수인 경우 FC/FS비인 4.0과 비교할 때, 가축분뇨수의 유입이 주원인이고 또한 생활하수 및 인분(人糞)의 복합적인 방출로 오염이 일어나고 있음을 시사하고 있다.

유기성 오염물질과 분원성 지표미생물과의 상관관계를 구명하기 위하여, 일반 오염 지표항목인 COD, SS, 영양염류와 TC, FC와의 상관관계을 분석하였다. TC의 경우 COD, SS 및 NH_3-N에서 상관분석 결과(Microsoft Excel Version 7.0) R^2값은 각각 0.837, 0.556과 0.941로 나타나 높은 상관관계를 가지며, NO_2-N는 0.026으로 낮은 상관관계를 보였다. FC의 경우도 COD, SS 및 NH_3-N는 상관분석 결과 0.827, 0.544 그리고 0.947로 TC의 결과와 유사한 상관관계를 보이며, NO_2-N과도 0.034로 낮은 상관성을 나타내었다.

실험대상 지역인 갈치저수지 인근 유역의 미생물상(미생물상)의 년간 변화는 채수지점과 채수시 기상학적 조건에 따라 크게 변화하는 것으로 나타났다. 따라서 차후에 수행되어야 할 연구로는 미생물상의 분포 및 변화에 영향을 주는 인자들로 확산ㆍ용존산소농도ㆍ온도ㆍ광투과도ㆍ유속ㆍ하상구조 등을 이용한 종합적인 연구와 가축분뇨수가 저수지에 유입된 이후에 저수지에서 일어나는 오염 발생 기작 및 자정능력 평가등이 필요한 것으로 생각된다.

參考文獻

1. Al-Diwany et al. 1972. Ecological studies nocardioforms and other actinimycetes.

2. Bagley, S. T., et al. 1977. Significance of fecal coliform positive klebsiella. Applied and environmental Microbiology. 33:1141-1148.

3. Bonde, G. J., 1977. Bacteria indication of water pollution Academic Press, New York.

4. Cherry, D. S. et al. Recovery of aquatic bacterial populations in a stream after cessation of chemical pollution. Water Air Soil Poll. 7:95.

5. Cooke, M. D. 1976. Antibiotic resistence in conliform and fecal coliform bacteria from natural waters effluents. Newzealand J. Marine and Freshwater Research. 10: 391

6. Degryse, E. et al. 1978. A comparative Analysis of extreame thermophilic bacteria belonging to the genus thermus. Arch. Microbiol. 117:189.

7. Duncan, M. D., et al. 1981. Occurrence of Rhodococcus coprophilus and associated actinomycetes in feces, sewage and freshwater. Applied and Environmental Microbiology. 42:1037-1042.

8. Feachem, R., 1975. An Improved role for fecal coliform to fecal streptococci ratios in the differentiation between human and non-human pollution sources. Water Res. 9:689.

9. Geldreich, E. E., et al. 1969. Concepts of fecal streptococci in stream pollution. JWPCF. 41:336-352.

10. Hollon, B. F., et al. 1982. Water quality in a stream receiving dairy feedlot effluent. J. Environ Quali. 11:5-9.

11. Klein, R. S., et al. 1977. Association of streptococcus bovis with carcinoma of

the colon. N. Engl. J. Med. 297:800-802.

12. Qragui, J. I., et al. 1981. A selective medium for the enumeration of streptococcus bovis by membrane filtration. J. Applied bacteriology. 51:85-93.

13. Robbins, J. W., et al. 1971. Quality of effluent from animal production sites. In proc. Int. Symp. on Livestock wastes. colombus Ohio. 166-169.

14. Sewell, J. I. 1975. Animal waste management facilities and system. Univ of tennessee Agri. Exp. Stn. Bull. no. 548. Knoxville.

15. Tilton, R. C., et al., 1967. The characterization of fecal streptococci. An attempt to differentiate between animal and human sources of contramination. J. of Milk and Food Tech. 30:1-6.

16. Varness, K. J. et al. 1978. Effects of dispersed recreational activities on the microbiological quality of forest surface water. Appli. Envir. Microbiol. 36.

17. Wilkowske. C. J. 1982. Enterococcal endocarditis. Maylin. proc. 57:101-105.

18. 김동군외 3인. 1981. 수질오염에 따른 지표미생물 분포비에 관한 조사연구. 국립환경연구소보 3:143-148.

19. 김정현외 2인. 1986. 수질지표로서의 대장균군과 Coprostanol과의 비교시험연구. 한국수질보전학회. 2(1):71-78.

20. 김형석. 1972. 한강에 있어서 Fecal Coliform과 Fecal Streptococci의 위생화학적 고찰. 한국육수학회지. 5(1-2):43-46.

21. 류재근 외 4인. 1986. 축산폐수가 하천오염에 미치는 영향에 관한 연구(상). -세균학적 조사를 중심으로- 대한수의사회지. 22(3):169-175.

22. 류재근 외 4인. 1986. 축산폐수가 하천오염에 미치는 영향에 관한 연구(하). -세균학적 조사를 중심으로- 대한수의사회지. 22(4):238-244.

23. 박봉택외 5인. 1985. 한강원수 및 지천수의 대장균군과 오염도와 그 지표성에 관한 연구. 서울특별시보건환경연구소보. 21:151-156.

24. 배상호. 1996. 가축분뇨의 자원화를 위한 시책방안. 대한수의사회지 31(3):185-191.

25. 서윤수외 4인. 1981. 배출시설 규제방안의 적정화를 위한 연구. 국립환경연구소보. 3:127-142.

26. 서윤수외 24인. 1980. 수질오염도 정밀조사를 위한 방법론적인 연구. 국립환경연구소보. 3:143-192.

27. 서윤수외 6인. 1981. 호소수의 부영양화에 관한 조사연구. 국립환경연구소보. 3:149-159.

28. 심응기외 2인. 1983. 전국주요하천 기초조사(Ⅲ). 국립환경연구소보. 5:177-179.

29. 이영옥. 1993. 수심이 얕은 담수계에서의 분변오염지표 세균(장내세균)의 검출에 관한 연구. 한국육수학회지. 26(4):321-333.

30. 전해정외 1인. 1991. 분변성 연쇄상구균을 중심으로한 낙동강 수계의 오염원 분석. 한국육수학회지. 7(2):257-265.

31. 한상욱외 1인. 1986. 도시하천의 수질특성에 관한 연구. 한국육수학회지. 19(1-2) : 63-78.

32. 홍정선외 12인. 1990. 소규모 축산폐수 처리시스템 개발에 관한 연구. 국립환경연구원보. 12:115-124.

33. 강원대학교 한강생태연구소. 1985. 소양호의 미생물 분포상. 117-131.

34. 수질환경개론. 동화기술

35. 환경청 1983. 환경오염공정시험법(수질분야)

36. 정동일 외 3인. 1990. 수질환경기준 달성 최적화 방안에 관한 연구(Ⅱ). 국립환경연구원보. 12:125-149.

제 3 분야	종합방제 기술개발

제 8 장 환경조화형 해충관리체계 및 전략개발

서울대학교 농생물학과
연구책임자 : 이 준 호
연 구 원 : 박 홍 현
연 구 원 : 김 광 호

第 1 節 緖 說

지속농업에서 해충방제의 의미는 환경조화적인 해충관리라는 말로 표현될수 있는데 이를 위해서는 해충이 서식하는 수도포장을 하나의 생태계로 파악하여 그 생태계의 구성요소인 작물및 해충, 기타 생물적, 물리화학적 요인들간의 상호작용의 실체를 명확히 파악하여 그에 상응한 일련의 조치들을 관리수단으로 도입시켜야 할 것이다.

우리나라에서 수도해충에 관한 연구는 작물보호라는 관점에서 출발하여 주로 몇가지 주요 문제해충들에 대한 개체군동태학적 연구와 살충제를 이용한 약제 방제법 개발이 주가 되어 왔으나, 거시적 안목으로 수도해충상을 군집 생태학적 관점에서 이해하고, 종합적 해충관리개념의 실제 적용을 위한 노력도 꾸준히 있어왔다(이와 현 1984, 엄 1991, 배 등 1994). 수도포장에서 농약의 사용을 줄이고 천적의 효과를 극대화시키기 위한 연구는 1970년대부터 생물학적 방제에 이용 가능성이 있는 논거미에 대한 연구가 이루어졌는데, 논거미의 분류, 생태 및 지역에 따른 거미상등이 연구되었고(백과 김 1973, 최와 남 1976, 백과 남 1979, 송과 이 1994, 임과 김 1996), 최근들어 윤(1997)은 벼생육시기별로 조사하여 보고한 바 있다. 이러한 천적연구를 포함해서 최근들어서는 논생태계에 서식하는 전체 절지동물들을 복합적으로 고려한 군집에 대한 연구들이 벼해충종합관리의 일환으로 추진되어 기능군별 발생밀도, 발생패턴 및 상호작용, 이앙방법과 약제처리차이에 의한 절지동물 군집특성의 변화에 대해 논의되고 있다(송과 최 1993, 이 등 1997, 윤 1997, 박과 이 1997).

한편, 농촌환경에 대한 농민 대상 설문조사(백 등 1996)에 의하면 농촌환경은 서서히 오염되어 가고 있다는 사람들이 95.8%로서 거의 대부분이 농촌환경이 오염된 것을 생각하고 있으며, 오염원으로서 쓰레기, 축산폐기물, 생활하수, 농약등을 들고 있고, 가장 심각하게 문제가 되는 것은 수질 오염이라고 보고하였는데, 수질오염이 논생태계내의 해충, 천적상에 어떤 영향을 미치는지에 관한 연구는 찾기 힘는 실정이다. 따라서 본연구는 벼해충종합관리 및 환경보전형 농법개발을 위한 기초자료를 제공하고자 수도

포장인근 취락지에서 생활오수나 축산폐수의 방류로 인해 농업용수 수질이 악화되고 있는 경기도 반월지역에서 농업용수의 수질오염 정도(맑은물, 생활하수, 축산폐수)가 논생태계내 절지동물군집구조에 미치는 영향을 조사하였다. 그리고 설문 및 인지도 조사를 통하여 이 지역 농민들의 해충관리양식 및 해충발생에 적절히 대응해 나가고 있는가를 조사하였다. 이러한 연구들을 통해서 해충방제에 대한 체계적인 대안이 없이 관행적인 방제에 의존하는 소규모 농가 수도작을 대상으로 병해충 종합관리 프로그램을 개발하고자 한다.

第 2 節 材料 및 方法

1. 조사지 개요

본 연구는 1994년부터 1997년까지 행정구역상으로 군포시 속달동, 둔대동(경기도 반월지역)에 위치하는 그림 1의 수도포장 세곳(맑은물, 생활하수, 축산폐수 조사구)에서 수행되었다. 이들 수도포장에서 재배된 벼품종은 동일하게 '추청벼'였으며 매년 5월 20일경에 재식밀도 30 x 15cm(22주/m²)로 어린모 기계이앙을 하였다. 조사구의 수도포장들은 농업용수를 인근 유역에서 인공펌핑에 의존했는데, 이들 유역에 대한 수질분석은 1995년 5월에서 1996년 6월까지 조사한 농림부(1996)자료를 인용하였다.

속달동 수도포장은 유역수질(표 1)이 오염등급분류 판정기준(백 등 1996)의 양호(Acceptable)에 해당되는 농업용수를 사용하였고(맑은물 조사구), 병ㆍ해충의 관리를 관행방제에 의존해 살충제를 평균적으로 2회/년 살포하였는데, 벼물바구미(*Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel) 방제를 위하여 생육초기인 5월하순경에 피레스로이드계 살충제를 1kg/10a 수준으로 처리하였고, 멸구류(planthoppers) 방제를 위하여 생육중기인 8월중순에 카바메이트계 살충제를 150ℓ/10a 수준으로 살포하였다. 수도포장의 크기는 약 900평 이었다.

Table 1. Analysis of water quality on each watershed

Watershed name	pH	DO	SS	Total Nitrogen	Total Phosphorus
				㎎/ℓ	
Sokdal-dong	6.40/8.77*	9.26/11.50	4.00/43.33	0.88/4.90	0.02/1.82
Dundae-dong	6.33/7.91	1.47/6.30	5.80/141.67	4.52/38.98	0.71/7.95

* Minimum/Maximum

둔대동 수도포장 두곳(생활하수, 축산폐수 조사구)은 인근 취락지의 생활오수가 주요 오염원인 유역에서 농업용수를 공급하였는데 유역수질(표 1)은 보통(slightly polluted)로 조사되었다. 생활하수 조사구는 유역과 인접해 있고 인공펌핑에 의해 용수를 사용하였다. 축산폐수 조사구에는 마을 축산농가에서 배출된 축산폐수가 이곳에서 관개된 용수와 섞여서 유입되었다. 두곳 포장에서 병해충은 무방제로 살충제, 살균제의 사용이 전혀 없었고, 크기는 900평씩이었다. 속달동, 둔대동 수도포장 세곳의 시비량은 관행적으로 200평당 기비로 복합비료(21-17-17)를 20kg 주고 있었으며, 이앙후 추비로 요소 20kg을 주었다.

Fig. 1 The Views of Clean water Plot(left), Life sewage Plot(middle), Animal sewage plot(right).

2. 절지동물 채집ㆍ동정 및 분석

농업용수 수질에 따른 논생태계내 절지동물군집을 연구하기위해 벼 한주당 밀도를 표본단위로 설정하였다. 조사는 벼 생육초기부터 망사(높이 1m, 직경 50cm)를 사용하여 벼 한주를 완전히 씌운후 밑둥을 절단하는 방법을 사용했고, 포장당 10반복을 2주간격으로 실시하였다.

채집된 절지동물들은 실내로 운반하여 75% 에틸알코올로 액침표본을 만들어 보관했고, 기능군별(해충군, 천적군, 비해충군)로 구분하여 대분류한 후, 주요해충과 천적은 가능한 속, 종수준까지 동정하였다. 분류된 절지동물은 벼생육시기에 따라 생육초기(5월20일 7월25일),생육중기(7월26일 8월30일),생육후기(9월1일 9월30일)로 대별하여 분석하였다.

3. 설문조사

수도해충발생현황, 농약살포횟수, 병해충별 농약살포기준, 19가지 병해충에 대한 인지도 파악을 위한 설문서를 작성하였다. 설문서의 조사지역은 경기 군포시 28농가(둔대동 17, 속달동 11)를 대상으로 하였다. 설문서는 개개 농가를 직접방문하여 청문, 완성하였는데 조사에 응한 농민의 연령분포는 41세에서 50세 미만이 2명, 50세에서 60세미만이 6명, 60세에서 70세미만이 9명, 70세이상이 11명으로 구성을 보였고, 평균연령은 64세 정도 였으며, 성별로 구성은 남자 26명, 여자 2명이었다.

농민의 수도작 경작규모의 분포는 300에서 1000평미만이 5명, 1000에서 3000평미만이 9명, 3000평이상이 14명이었고, 평균 경작규모는 2700평 정도였다.

第 3 節 結果 및 考察

1. 절지동물 발생소장

1994년부터 1997년까지 4년동안 조사한 경기도 반월지역 수도포장내(맑은물, 생활하수, 축산폐수 조사구)에 서식하는 절지동물의 주당 서식밀도를 기능군별(해충군, 천적군, 비해충군)로 정리한 자료(부록 I)를 분석한결과, 수도포장의 주당 평균 절지동물 밀도는 해에 따라 차이를 보이는데, 이는 각 해에 따른 기후조건 차이 및 외래해충의 비래량 차이에서 기인된 것으로 생각된다. 94년에는 낮은밀도를 보였고, 95년, 96년에는 최근의 연구들(이 등 1997, 박과 이 1997)과 주당 평균밀도 수준이 비슷하게 나타나고 있었는데, 해충 발생량은 과거에 비하면 경기도지역에서 격감하고 있었다. 95, 96년의 밀도에서 주요 분류군은 해충군으로서 매미목의 진딧물류, 비해충군의 톡토기류의 밀도가 증가한 결과였다. 엄등(1991)은 벼를 기주로 서식하는 140여종의 해충중에서 벼에 경제적으로 피해를 주는 주요해충을 20여종 들었는데, 본 연구에서 밀도가 높게 조사된 진딧물류는 주요해충의 범주에는 속하지 않는다. 절지동물을 기능군별로 분석한 결과, 년도에 따라 조금씩 차이를 보이지만, '해충군〉비해충군〉천적군'의 밀도순위를 나타내, 송과 최(1993)의 진주지역, 윤(1997)의 전국 8개지역에서의 결과와 일치했다.

농업용수 수질저하에 따른 조사구별 밀도는 인접유역에서 생활오수가 유입되는 생활하수구가 다른 조사구들에 비해 높게 나타났고, 다른 분류군에서는 비슷한 밀도를 보이지만 해충군의 진딧물류가 주된 밀도를 형성하였고, 벼 생육초기에 주당 밀도가 집중되고 있어서 편차가 매우 컸다.

경기도 반월지역 수도포장들에서 발생밀도가 높았던것들을 기능군별로 보면 해충군에는 진딧물류(Aphids), 벼멸구(*N. lugens*), 흰등멸구(*S. furcifer* (Horvath)), 애멸구(*L. striatellus*), 벼물바구미(*L. oryzophilus*), 천적군에는 거미목

(Araneae), 비해충군에는 톡토기류(Collembola)와 깔다구과(Chironomidae)성충, 파리류(Diptera)등을 들수 있었다. 이런 결과는 경기도 지역에서의 연구들 (이 등 1997, 박과 이 1997)의 연구와도 일치하고, 논생태계내 절지동물군집이 그리 많지 않은 종들에 의해서 우점되고 있다는 것을 보여준다.

그림 2는 생육시기별로 밀도를 나타낸것이다. 변동패턴이 일정한 경향성이 없고 연도에 따라 차이를 보였다. 94년에는 초,중,후기가 거의 같은 밀도수준인데, 95년에는 초기에 생활하수구에서 밀도가 높고, 96년에는 전체 조사구에서 후기로 갈수록 증가하는 경향이었다. 다른 조사구와는 달리 생활하수 조사구에서는 밀도의 편차가 상당히 컸다. 한편, 박과 이(1997)는 경기도 발안지역소재 논생태계내 절지동물 모니터링연구에서 농약이 전혀 살포되지 않아 인위적인 외부간섭이 없는 수도포장의 경우 이앙후 경과일수를 기준으로 이앙초기에 최고밀도를 이루고 이앙후 80일까지 밀도가 감소하는 경향을, 80일 이후에는 밀도가 일정한 수준을 유지하며 안정화되며, 조사구내 평균 밀도의 편차가 생육초기보다 생육후기로 갈수록 적다고 보고했다.

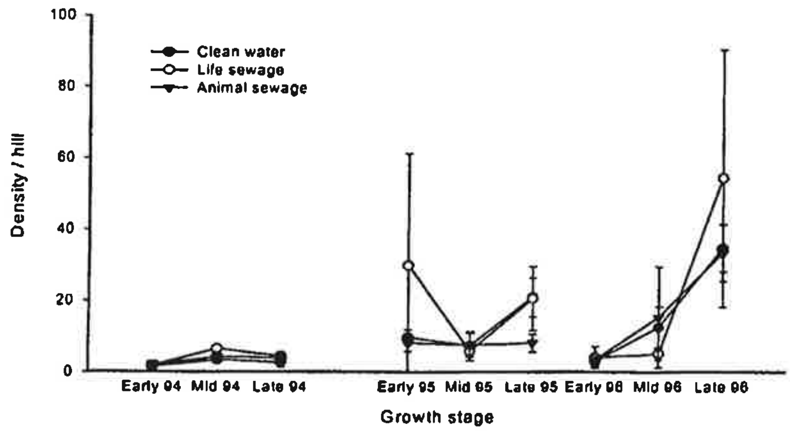


Fig. 2. Changes in the densities(No./hill) of arthropods in the rice fields with different irrigating water quality at Banwol, Kyonggi-do, in 1994, 1995, 1996.

Table 3. List of dominant taxa* at the early growth stage of rice plant with different irrigating water quality at Banwol Kyonngi-do. from 1994 to 1996

	Plot	Fuctional group		
		Pests	Natural Enemies	Non-Pests
1994	CW	*Laodelphax striatellus* 13.79(0.20)**	Araneae 39.31(0.57)	Chironomidae 27.59(0.40) Diptera 8.97(0.13)
	LS	Chrysomelidae 11.4 (0.2) *Nilaparvata lugens* 5.7 (0.1)	Araneae 30.11(0.53) Hymenoptera 5.68(0.10)	Diptera 18.75(0.33) Chironomidae 17.05(0.30)
	AS	*Sogatella furcifer* 9.22(0.20) Chrysomelidae 7.83(0.17) Hemiptera 5.99(0.13)	Araneae 41.47(0.90)	Chironomidae 9.22(0.20)
1995	CW	Aphids 11.50(1.10)	Araneae 22.30(2.13)	Chironomidae 41.81(4.00) Diptera 9.06(0.87) Formicidae 6.97(0.67)
	LS	Aphids 77.13(22.93)		
	AS	Aphids 32.10(2.60) *Lissorhoptrus oryzophilus* 10.29(0.83)		Chironomidae 32.51(2.63) Diptera 6.17(0.50)
1996	CW	Aphids 46.22(1.38) *Lissorhoptrus oryzophilus* 10.92(0.33) Thysanoptera 10.08(0.30)		Chironomidae 8.40(0.25) Diptera 5.04(0.15)
	LS	Aphids 11.11(0.45) Other moths 11.11(0.45) *Lissorhoptrus oryzophilus* 11.11 (0.45)		Collembola 19.14(0.78) Diptera 16.67(0.68) Chironomidae 14.81(0.60)
	AS	Aphids 26.36(0.85) *Lissorhoptrus oryzophilus* 10.08(0.33) Thysanoptera 5.43(0.18)		Diptera 27.13(0.88) Chironomidae 17.83(0.58)

*The taxon whose denisity occupied over 5% of total density in each experimental field was regarded as dominant.

표 3은 생육초기에 전체밀도의 5%이상을 차지하는 우점군을 정리한 것이다. 이앙초기 해충으로는 진딧물(Aphids)과 벼물바구미(*L. oryzophilus*)가 뚜렷하게 나타났고, 그외 분류군은 연도에 따라 우점순위가 바뀌고 있었다. 천적군인 거미목은 최고 40%정도의 점유율을 나타냈으나 해충군, 비해충군에 대해 이앙초기에는 낮은 점유율을 보였다. 비해충군으로는 깔다구류와 파리목이 우점을 이루었고, 생활하수 조사구에서는 톡토기류도 차지했다. 윤(1997)은 전국 8개지역 논생태계내 절지동물 군집연구에서 벼의 생육과 절지동물 군집은 밀접한 연관이 있고, 초기 논생태계내의 군집은 천이의 초기단계로서 중요성을 가지고 있는데, 지역, 연도 차이없이 깔다구과(Chironomidae)가 36.4% ~ 95.8% 우점군을 차지한다고 하였다. 박과 이(1997)도 생육초기에는 절지동물 군집이 깔다구과에 의해 점유된다는 결과를 보고했다.

표 4는 중기의 우점군을 정리한것인데, 해충군과 천적군의 우점이 생육초기에 비해 높아졌고, 비해충군은 낮아졌다. 해충군에는 벼멸구(*N. lugens*), 흰등멸구(*S. furcifer*), 애멸구(*L. striatellus*) 등이 우점을 이루었고, 천적군에서는 거미목의 점유율이 50%까지 높아졌지만 주당 밀도는 높지 않았다. 박과 이(1997)는 생육중기 논생태계는 비래성해충인 멸구과(Delphacidae), 매미충과(Cicadellidae)가 상대적인 밀도 우위를 차지하고 있고, 거미목의 밀도가 높아져 이들간의 밀도변화패턴이 관련되어 있다는 가능성을 제기하였고, Heong 등(1990)의 연구에서는 주요 우점군거미류들과 멸구, 매미충간에 높은 양의 상관관계를 보였다.

표 5는 후기의 우점군을 정리한것인데, 중기와 비교해서 분류군들은 비슷하였다. 비해충군에서 톡토기류가 높은 밀도를 기록하였다. 후기의 논생태계는 벼가 초·중기의 생장을 멈춘 쇠퇴기에 해당하는데, 윤(1997)은 경기도 지역에서 멸구류, 깔다구류, 거미목등이 우점을 차지한다고 보고했다.

Table 4. List of dominant taxa* at the mid growth stage of rice plant with different irrigating water quality at Banwol Kyonngi-do, from 1994 to 1996

Plot		Fuctional group		
		Pests	Natural Enemies	Non-Pests
1994	CW	*Laodelphax striatellus* 53.64(1.77)**	Araneae 27.27(0.90)	Formicidae 6.97(0.23)
	LS	*Laodelphax striatellus* 31.30(2.00)	Araneae 50.08(3.20)	
	AS	Hemiptera 7.16(0.30)	Araneae 53.22(2.23) Staphylinidae 12.65(0.53) Carabidae 9.55(0.40)	
1995	CW	*Sogatella furcifer* 29.95(2.17) *Nilaparvata lugens* 15.21(1.10)	Araneae 21.20(1.53)	Diptera 6.91(0.50) Chironomidae 5.07(0.37)
	LS	*Nilaparvata lugens* 13.87(0.80) *Sogatella furcifer* 8.09(0.47)	Araneae 16.18(0.93)	Diptera 11.56(0.67) Formicidae 9.25(0.53)
	AS	*Lissorhoptrus oryzophilus* 37.50 (2.80) *Sogatella furcifer* 11.61 (0.87) Chrysomelidae 8.48(0.63) *Nilaparvata lugens* 6.25(0.47)	Araneae 20.54(1.53)	
1996	CW	Other weevils 8.56(1.07)	Araneae 12.83(1.60)	Collembola 46.79(5.83) Diptera 7.22(0.90)
	LS	*Lissorhoptrus oryzophilus* 8.67 (0.43)	Araneae 26.00(1.30) Carabidae 7.33(0.37)	Diptera 20.67(1.03)
	AS	Aphids 25.76(3.93) *Laodelphax striatellus* 5.46(0.83)	Araneae 8.52(1.30)	Collembola 41.05(6.27) Formicidae 6.55(1.00)

*The taxon whose denisity occupied over 5% of total density in each experimental field was regarded as dominant.

** %(density/hill)

Table 5. List of dominant taxa* at the late growth stage of rice plant with different irrigating water quality at Banwol Kyonngi-do, from 1994 to 1996

Plot		Fuctional group		
		Pests	Natural Enemies	Non-Pests
1994	CW	*Laodelphax striatellus* 6.38(0.17)** *Nilaparvata lugens* 6.19(0.17)	Araneae 46.34(1.24)	Collembola 16.32(0.44) Formicidae 6.75(0.18)
	LS	Chrysomelidae 5.45 (0.24)	Araneae 61.14(2.64)	Collembola 10.09(0.44)
	AS		Araneae 60.72(2.35)	Collembola 18.86(0.73)
1995	CW	*Nilaparvata lugens* 21.13(4.40) *Laodelphax striatellus* 17.05(3.55) *Sogatella furcifer* 10.08(2.10)	Araneae 13.21(2.75)	Diptera 20.17(4.20)
	LS	*Nilaparvata lugens* 20.98(4.30) *Sogatella furcifer* 17.32(3.55) *Laodelphax striatellus* 7.8(1.60)	Araneae 9.76(2.00)	Diptera 15.83(3.45) Chironomidae 8.78(1.80)
	AS	*Nephotettix cincticeps* 16.05(1.30) Aphids 12.35(1.00) *Nilaparvata lugens* 9.88(0.80) Orthoptera 8.64(0.70) *Laodelphax striatellus* 5.56(0.45)	Araneae 7.41(0.60)	Chironomidae 14.20(1.15) Diptera 9.26(0.75)
1996	CW	Aphids 45.60(15.80) *Sogatella furcifer* 10.39(3.60)		Collembola 28.57(9.90)
	LS	Aphids 34.56(18.75)	Araneae 5.25(2.85)	Collembola 54.75(29.70)
	AS	Aphids 45.41(15.10)		Collembola 38.05(12.65)

2. 거미군집분석

표 6은 수도포장에서 서식하는 거미밀도이다. 맑은물 조사구에서 서식밀도가 생활하수, 축산폐수 조사구에비해 2 3배를 나타냈고, 종수는 15종, 14종, 10종 순이었다. 거미류는 생활습성에 따라 크게 배회성 거미류(hunting spider)와 조망성 거미류(webbing spider)로 나뉘며 조망성 거미류는 다시 수직그물생활거미류(orb webbing spider)와 수평그물생활거미류(space webbing spider)로 나눌수 있는데 배회성거미류의 밀도는 세곳의 포장에서 비슷한데 반해, 수직그물생활, 수평그물생활 거미류밀도는 맑은물 조사구에서 다른조사구에 비해 높은 밀도를 보였다.

주요 우점종은 맑은물 조사구에는 게거미과(Thomicidae)의 일종, 갈거미과(Tetragnathidae)의 턱거미(*P. clercki*), 꼬마거미과(Theridiidae)의 일종, 애접시거미과(Erigonidae)의 등줄애접시거미(*U. insecticeps*)였다. 생활하수 조사구에는 염낭거미과(Clubionidae)의 일종, 깡충거미과(Salticidae)의 수검은깡충거미(*M. magister*), 꼬마거미과(Theridiidae)의 일종이었으며, 축산폐수 조사구에는 염낭거미과(Clubionidae)의 일종, 깡충거미과(Salticidae)의 일종, 꼬마거미과(Theridiidae)의 일종이었다. 오염된 물이 유입되는 생활하수 조사구와 축산폐수 조사구에서 거미우점군이 유사함을 보였다.

논거미 군집구조에 대한 연구는 논생태계의 다른 절지동물에 비해서 상대적으로 많이 이루어 졌다. (백과 김 1973, 최와 남궁 1976, 윤과 남궁 1979, 송과 최 1993, 송과 이 1994, 임과 김 1996, 윤 1997, 이 등 1997). 거미군집의 종구성은 지역에 따라 다르게 나타나고 있으나 일반적으로 배회성 거미류로는 늑대거미과(Lycosidae), 염낭거미과(Clubionidae), 깡충거미과(Salticidae), 조망성거미류로는 갈거미과(Tetragnathidae), 애접시거미과(Erigonidae), 접시거미과(Linyphiidae), 꼬마거미과(Theridiidae), 호랑거미과(Argiopidae)등이 우세과로 발견되는데(송과 최 1993, 송과 이 1994, 임과 김 1996, 윤 1997, 이 등 1997), 본 연구에서도 비슷한 유형으로 나타났다.

Table 6. Densities(No./hill) of spiders in the rice fields with different irrigating water quality at at Banwol, Kyonngi-do, 1995

Type	Family	Species	CW	LS	AS
Hunting	Clubionidae	*Clubiona kurilensis* Westring	0	0.17±0.24	0
		C. lutescens Westring	0.11±0.16	0.39±0.28	0
		Clubionidae SL*	0.67±0.64	0.56±0.42	0.67±0.47
	Lycosidae	*Pirata subpiraticus* Bös. et Str.	0	0	0.17±0.24
	Salticidae	*Marpissa magister* (Karsch)	0.28±0.21	0.61±0.55	0.33±0.47
		Salticidae SL	0.17±0.24	0.28±0.21	0.83±1.18
	Thomicidae	Thomicidae SL	1.28±1.58	0.56±0.42	0.11±0.16
	Subtotal		**2.50±2.86**	**2.56±1.81**	**2.11±1.64**
Orb Webbing	Araneide	Araneidae SL	0.50±0.71	0.11±0.16	0.11±0.16
		Neoscona doenitzi Bös. et Str.	0.17±0.24	0	0
	Tetragnathidae	*Pachygnatha clercki* Sundevall	1.94±1.93	0.17±0.24	0.39±0.28
		Tetragnata praedonia L.Koch	0.11±0.16	0	0
	Subtotal		**2.72±1.78**	**0.28±0.21**	**0.50±0.41**
Space Webbing	Theridiidae	*Coleosoma octomaculatum*	0	0.17±0.24	0
		Enoplognatha japonica	0.17±0.24	0.17±0.24	0
		Theridiidae SL	1.94±1.46	0.67±0.47	0.56±0.57
	Erigonidae	Erigonidae SL	0.78±0.87	0.50±0.14	0.22±0.31
		Gnathonarium	0.17±0.24	0.17±0.24	0
		Ummeliata angulituberis Oi	0.50±0.71	0.39±0.08	0.33±0.47
		Ummeliata insecticeps	1.06±1.06	0	0
	Subtotal		**4.61±4.30**	**2.06±0.34**	**1.11±1.34**
Total			**9.83±7.58**	**4.89±2.11**	**3.72±2.51**

*Spiderling

CW : Rice field was irrigated with clean water,

LS : Rice field was irrigated with life sewage,

AS : Rice field was irrigated with animal sewage.

그림 3은 생육시기별 거미의 밀도변화를 나타낸 것이다. 초기에는 세 조사구가 비슷한밀도를 형성하는데 반해 중ㆍ후기로 갈수록 맑은물 조사구와 생활하수, 축산폐수 조사구들간에 밀도차이가 크게 나타나고 있는데, 박과 이(1997)는 10년동안 살충제 살포가 없었던 수도포장의 거미류의 밀도가 초기에는 매우 낮지만 벼 생육중기에 급격하게 밀도가 증가했고, 이들의 밀도가 후기까지 지속적으로 유지되었다는 결과를 보고하였는데, 본 연구에서 생활하수, 축산폐수 조사구에서 거미밀도가 중기에 급격한 증가를 찾아볼 수 없어 농업용수 수질저하가 거미군집의 밀도형성에 부정적인 영향에 대해 유추해볼 수 있다.

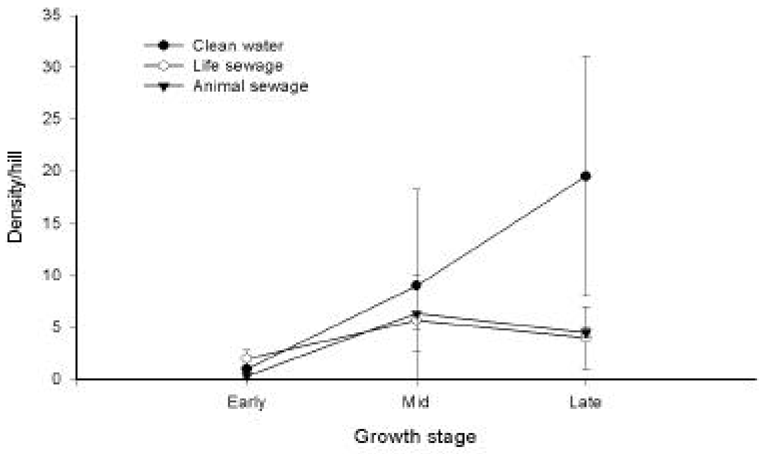


Fig. 3. Changes in the densities(No./hill) of spider in the rice fields with different irringating water quality at Banwol, Kyonggi-do, 1995.

Table 7. List of dominant species* at each growth stage of rice plant with different irrigating water quality at Banwol, Kyonngi-do, 1995

Plot	Early growth stage	Mid growth stage	Late growth stage
CW	*P. clercki* 66.67(0.67) *G. mentatum* 33.33(0.33)	*P. clercki* 51.85(4.67) Erigonidae SL** 25.93(2.33) *U. insecticeps* 7.41(0.67)	Erigonidae SL 17.95(3.50) Thomicidae SL 17.95(3.50) *U. insecticeps* 12.82(2.50) *G. mentatum* 10.26(2.00) Clubionidae SL 10.26(2.00) Araneidae SL 7.69(1.50) *U. angulituberis* 7.69(1.50)
LS	Erigonidae SL 50.00(1.00) *G. mentatum* 33.33(0.67) *U. angulituberis* 16.67(0.33)	*P. subpiraticus* 23.53(1.33) Erigonidae SL 17.65(1.00) *C. lutescens* 11.76(0.67) Clubionidae SL 11.76(0.67) Thomicidae SL 11.76(0.87) Salticidae SL 5.88(0.33) Araneidae SL 5.88(0.33) *G. mentatum* 5.88(0.33)	Clubionidae SL 25.00(1.00) Thomicidae SL 25.00(1.00) *C. kurilensis* 12.50(0.5) *C. lutescens* 12.50(0.5) *P. subpiraticus* 12.50(0.5) Salticidae SL 12.50(0.5) *P. clercki* 12.50(0.5) *C. octomaculatum* 12.50(0.5) *E. japonica* 12.50(0.5) *G. mentatum* 12.50(0.5) *U. angulituberis* 12.50(0.5)
AS	Erigonidae SL 100.00(0.33)	Erigonidae SL 21.05(1.33) *P. subpiraticus* 15.79(1.00) Clubionidae SL 15.79(1.00) *U. angulituberis* 15.79(1.00) *P. clercki* 10.53(0.67) *G. mentatum* 10.53(0.67) Thomicidae SL 5.26(0.33)	Salticidae SL 55.56(2.5) Clubionidae SL 22.22(1.00) *M. magister* 11.11(0.5) *P. clercki* 11.11(0.5)

*The species whose denisity occupied over 5% of total density in each experimental field was regarded as dominant.

표 7은 생육시기별로 거미군집의 전체밀도에서 5%이상을 차지하는 우점종들을 정리한 것이다. 우점종수는 맑은물, 생활하수 조사구에서는 초、중、후기로 갈수록 종수가 늘어나는 반면, 축산폐수에서는 후기에는 종수가 줄어들었다. 초기에 맑은물 조사구에는 조망성거미류인 갈거미과(Tetragnathidae)와 애접시거미과(Erigonidae)가 우점을 이루었고, 생활하수, 축산폐수 조사구에는 애접시거미과(Erigonidae)가 우점을 이루어 다른패턴을 보였다. 한편, 윤(1997)은 경기도 화성지역에서 생육초기에 거미류의 종수가 3 6종, 배회성 거미류인 늑대거미과(Lycosidae)의 황산적거미(*P. subpiraticus*)가 우점종이라고 보고하였는데, 본 연구에서는 이들을 생활하수 조사구에서 생육중기와 후기에 찾아볼 수 있었다. 외국에서 비래하는 해충이 성공적으로 정착해서 밀도증가가 급격히 나타나는 시기가 벼 생육중기로(엄 등 1991), 지금까지의 연구들에서 주요 비래해충인 멸구류와 매미충류의 밀도증가와 논거미의 밀도증가 패턴이 높은 양의 상관을 보였는데(송과 최 1993, 송과 이 1994, 박과 이 1997), 맑은물 조사구에는 초기와 생활습성이 동일한 조망성 거미류 3종이 다른 조사구들에 비해 높은 밀도를 나타내며 우점을 이루었으나, 생활하수, 축산폐수 조사구에서는 7 8종으로 우점종이 늘어난 반면 각 우점종들의 주당밀도는 매우 낮았다. 배회성 거미류인 늑대거미과(Lycosidae)의 황산적거미(*P. subpiraticus*), 염낭거미과(Clubionidae), 깡충거미과(Salticidae), 게거미과(Thomicidae)가 우점군에 추가 되었다. 벼 생육후기에 맑은물, 생활하수, 축산폐수 조사구 각각 7종, 11종, 4종이 우점을 차지했고, 조망성 거미류와 배회성 거미류가 혼재되어 있었다.

3. **주요해충 발생소장**

그림 4**는** 1994**년부터** 1997**년까지 주기적으로 조사한 벼멸구의 발생소장이다**. **경기도 반월지역에서 그들의 밀도는 거의** 0**에 가깝다**. 1995**년도에 두 번 정점을 보였으나**, **주당** 10**마리미만의 낮은 밀도를 기록하였고**, **전국적으로 벼멸구 비래가 많았던** 1997**년에도 낮은 밀도를 기록하였다**.

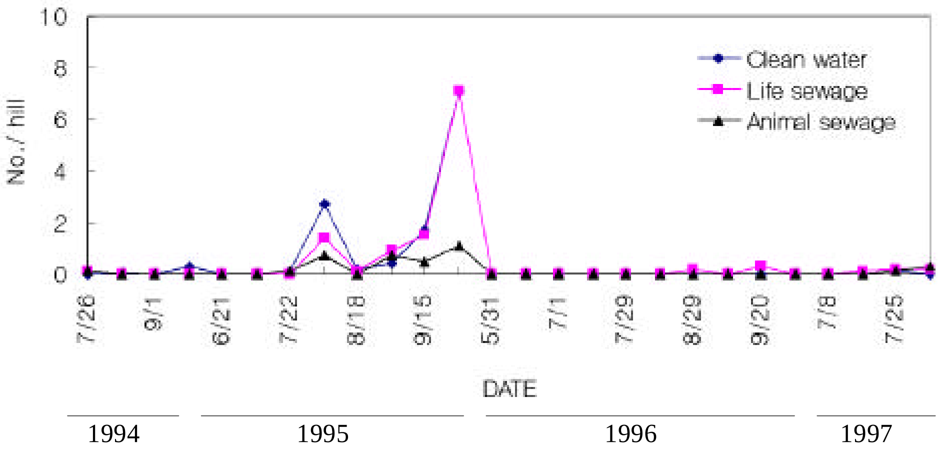


Fig. 4. Density fluctuation of *Nilaparvata lugens* in the Banwol, Kyonggi Province, from 1994 to 1997.

그림 5**는** 1994**년부터** 1997**년까지 주기적으로 조사한 흰등멸구의 발생소장이다**. **경기도 반월지역에서 그들의 밀도는 벼멸구보다는 밀도가 높게 나타나고 있었다**. 1995**년**, 1996**년도 걸쳐 밀도상승이 조금 있었으나**, **주당** 10**마리 미만의 낮은 밀도를 기록하였다**.

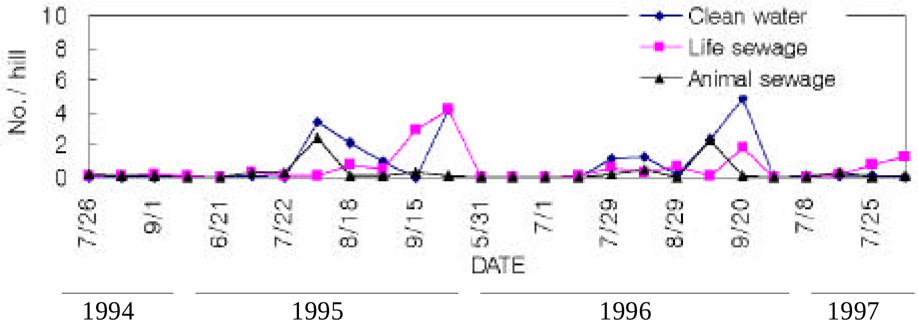


Fig. 5. Density fluctuation of *Sogatella furcifera* in the Banwol, Kyonggi Province, from 1994 to 1997.

그림 6은 1994년부터 1997년까지 주기적으로 조사한 벼물바구미의 발생소장이다. 벼물바구미는 1988년도에 우리나라에 침입한 이후 전국적으로 확산되어 있어 역시 반월지역에서도 이앙후 출현하였다. 벼물바구미의 밀도는 주로 축산폐수지역에서 높게 나타나고 있는 것이 특징이었는데, 경제적 피해수준인 주당 0.5마리 이상을 유지하는 경우가 많았고 식흔도 흔히 발견할 수 있었다.

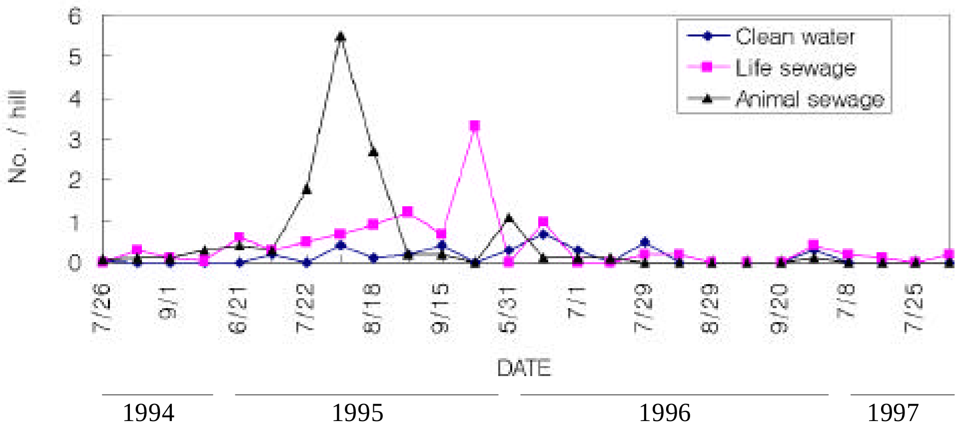


Fig. 6. Density fluctuation of rice water weevil in the Banwol, Kyonggi Province, from 1994 to 1997.

4. 설문조사

경기도 반월지역 농가별로 조사한 수도작 관리현황, 병,해충 구별정도, 농약살포현황 등을 설문한 결과를 분석하였다. 벼를 재배한 경력은 최저 20년에서 최고 60년까지였으며, 평균 46년 으로 노령화되어 있었고, 동일한 재배방식인 중모 기계이앙을 사용하였다. 표 8은 벼를 재배하는데 농약은 1년에 몇회정도 살포하는가라는 설문 결과이다. 3 - 4회가 15명(53.6%)로 가장 많았고, 2회가 8명(28.6%), 1회이하가 3명(10.7%)으로 나타났으며 7 - 8회도 1명, 잘모르겠다는 무응답도 1명 있었다.

표 8. 벼재배 하는데 필요한 농약살포횟수

항 목	농 가 수	농가수 비율(%)
3 - 4 회	15	53.6
2 회	8	28.6
1회 이하	3	10.7
7 - 8 회	1	3.6
잘모르겠다	1	3.6
합 계	28	100

최근 가장 문제가 되는 병해충은 어떤 것들이 있는가라는 설문에 표 9와 같이 문제가 되는게 별로 없다라고 7명(25%)이 응답했고, 문제가 되는 병해충이 있다는 응답한 사람은 21(75%)명 이었다. 문제가 된다고 대답한 사람들중에 해충에서는 벼물바구미 7명(25%), 이화명충 4명(14%), 혹명나방 4명(14%), 벼멸구 2명(7%) 순이었고, 병에서는 도열병 7명(25%), 문고병 3명(11%), 흰잎마름병 2명(7%), 세균성벼알마름병 1명(4%)순이었다.

1회 농약살포시의 농약대, 장비운용비 및 기타 비용을 포함하여 비용은 얼마정도인가 라는 설문에 표 10 에서와 같이 10 - 15만원미만이 13명(46.4%), 5 - 10만원미만이 9명(32.1%), 5만원 미만이 3명(10.7%), 잘모르겠다 3명(10.7%)으로 나타났다.

표 9. 최근에 가장 문제시 되는 되는 병해충

항 목	농 가 수	농가수 비율(%)
벼물바구미	7	25
이화명충	4	14
혹명나방	4	14
벼멸구	2	7
도열병	7	25
문고병	3	3
흰잎마름병	2	2
세균성알마름병	1	1
잡초	1	1

표 10. 1회 농약살포시의 농약대, 장비운용비 및 기타 비용을 포함한 비용

항 목	농 가 수	농가수 비율(%)
5만원미만	3	10.7
5만원이상 - 10만원미만	9	32.1
10만원미만 - 15만원 이상	13	46.4
잘모르겠다	3	10.7

현재 농약 살포 횟수가 많다고 생각하면 어느 약제를 줄여야 하는가라는 설문에는 약 50%의 농민들이 줄일약제가 있다고 대답했는데 표 11에서는 줄일수 있는 약제는 살충제 7명(58.3%), 제초제 2명(16.7%), 기타의견 2명(16.7%), 살균제 1명(8.3%)으로 나타나 살충제가 압도적으로 높게 나타나 해충관리에 지나치게 농약이 살포되고 있다는 것을 보여주었다.

표 11. 살포횟수를 줄여야 하는 약제 항목

항 목	농 가 수	농가수 비율(%)
줄일 약제가 없다	16	57.1
줄일 약제가 있다	12	42.9
살충제	7	22.2
제초제	2	3.7
기 타	2	
살균제	1	

현재 농약살포와 관련되어 가장 문제가 된다고 생각하는가라는 설문에 표 12 에서

와 같이 농약살포시 받을 수 있는 건강손실이 17명(61%), 방제, 노동력 부족 16(57%), 환경오염, 공해 10명(36%), 소비자가 싫어한다 7명(25%), 농약가격이 4명(14%)으로 나타나 건강 및 환경이 중요한 농촌문제로 부각되었음을 보여주고 있었다.

표 12. 농약살포와 관련된 문제점

항 목	농 가 수	농가수 비율(%)
농약살포시 받을 수 있는 건강손실	17	61
방제, 노동력 부족	16	57
환경오염, 공해	10	36
소비자가 싫어한다	7	25
농약가격	4	14

5. 병, 해충 인지도 조사

표 13은 1차년도 설문조사(1995)와 2차년도 인지도조사(1996)를 비교한 표이다. 2차년도 인지도 조사는 병, 해충의 사진자료 그림 4 를 가지고 현장에서 직접 인지여부를 파악했다. 병의 경우에 있어서 도열병은 1차년도에는 설문대상 농민전체가 인지한다고 대답했으나, 실제 조사한결과 50%정도만이 확실히 인지하고 있었고, 문고병은 80%정도였다. 해충의 경우 반월지역에서 많이 발생하는 흰등멸구(농림부, 1996)의 경우는 1차년도에는 86%가 인지한다고 대답했으나, 실제 사진으로 대조한 결과 20%만이 인지하고 있어 설문과는 상이한 결과를 보여주었다. 대신 생육초기 주요경계해충인 벼물바구미의 경우는 다른 항목들에 비해서 높은 60%가 인지하고 있었다.

논생태계에서 주요 천적인 침노린재와 기생벌의 경우는 인지도가 매우 낮았고, 천적과 해충을 혼동하여 해충이라고 대답한 농민도 상당수에 달했고, 천적 중에서 소금쟁이는 90%가 확실히 인지하고 있었다.

표 13. 병, 해충, 천적 인지도 조사

항　　목	1차년도 설문조사(%)	2차년도 인지 여부(%)
잎도열병	100	50
문고병	100	80
벼멸구	93	30
흰등멸구	86	20
애멸구	43	10
혹명나방	68	20
이화명나방	86	40
멸강나방	39	10
벼 잎벌레	43	10
벼물바구미	86	60
벼줄기굴파리	50	20
끝동매미충	46	40
여치	-*	20
벼 애나방	-	10
극락꼬마밤나방	-	5
기생벌	-	5
침노린재	-	20
진딧물	-	20
소금쟁이	-	90

* : 1차년도에는 조사항목에서 누락됨


잎도열병


문고병


벼멸구

Fig. 7. Photographs of pathogens and insect pest.

이화명나방

끝동매미충

바구미

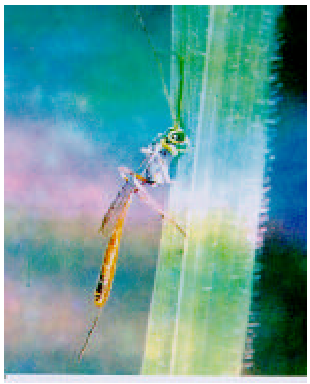
소금쟁이

벼줄기굴파리

벼잎벌레

여치

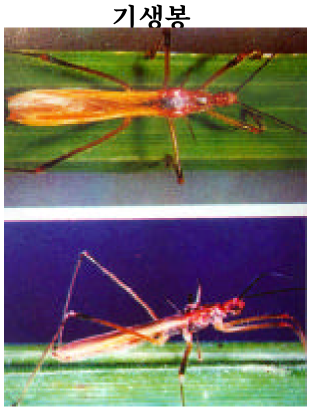
벼애나방



기생봉

극락꼬마밤나방

진딧물



침노린재

Fig. 7. Photographs of pathogens and insect pests.

6. 소규모 농가용 해충 관리 방안 제시

경기도 반월지역에서 지난 4년간의 조사 및 연구 자료를 토대로 이 지역에서 환경보전을 도모하면서, 경제적으로 해충을 관리하는 방안을 제시하고자 한다. 엄등(1991)은 해충의 종합관리는 해충의 밀도를 피해허용수준이하로 유지시키는 것으로 방제수단을 종합적으로 이용하고 자연적 사망요인을 최대한으로 이용하여 자연계의 해충밀도 억제효과를 높이고 해충밀도가 경제적인 피해수준을 넘을 우려가 있을 때에는 해충의 자연적 밀도억제요인에 대한 영향이 가장 적은 수단을 부작용이 가장 적은 시기에 알맞게 쓰는 것이라 했다. 그래서 먼저 선결되어야 할것이 해충별 피해허용수준의 결정이다. 피해허용수준은 작물의 생육과 관련하여 발생해충의 밀도에 대하여 시기적으로 결정되어야 하며 주요해충마다 설정되어야 한다.

실제 수도해충의 종합방제시 동원될 수 있는 방제수단은 해충발생이 심한지역에서 해충발생최성기를 피하여 재배하거나 내충성품종을 재배하는 방법과 이들이 발생한 후 농약살포를 통한 방제방법을 들 수 있다. 경기도 반월지역에서는 그간의 형태가 전자보다는 후자에 가깝다고 할 수있다. 그리고 농약의 살포시에는 농약안전사용기준에 의거해서 시기, 횟수 등을 조절하여야 하며 최소한의 살포로 최대효과를 얻기 위해서는 무분별한 살포를 피하고 적기, 적량의 개념으로 요방제수준에서 하여야 하며 혼합사용을 줄어야 한다. 이러한 점에서 반월지역의 농약살포는 3-4회가 가장 많아 필요이상의 농약이 살포되고 있는데, 해충발생을 보더라도 1-2회로 줄이는 것이 바람직 하다.

반월지역에서 벼 생육시기별로 나누어서 문제시 되고 있는 해충을 살펴보면 본답초기에는 벼물바구미를 들 수 있다. 벼물바구미는 성충이 벼잎의 엽육을 가해하여 피해를 주며 특히 이앙초기에 다발생되면 식해에 의해 벼포기 전체가 주저 앉아 결주가 생기기도 한다. 유충은 땅속에서 뿌리를 갉아먹거나 절단하므로 분얼이 적어져 경수가 감소될 뿐만아니라 생육이 불량하여 벼포기 전체가 누렇게 변하는등 벼생육초기에 치명적인 피해를 줄 뿐만 아니라 후기 생육에 까지 영향을 끼쳐 수량이 크게 감수되게 된다. 이 지역에서 높은 밀도를 기록하지는 않았지만 지속적으로 발생이 되었고 피해

허용 수준인 주당 0.5마리를 넘어서고 있어서 방제가 요구된다.

방제대책으로는 이 지역에서 어린모 기계이앙재배를 하기 때문에 가장 간편하고 편리한 방법으로 추천되는 파종전에 약제를 종자분의 처리하는 것으로 다른 방제법에 비해 약제 처리시간과 약제 투입량을 줄일 수 있어 경제적이면서도 환경에 미치는 영향도 크게 감소시킬수 있다. 뿐만 아니라 약성분이 종자내로 침투되어 이앙직후나 어린 새싹이 나올 때부터 약효를 발휘하여 월동처로 논으로 이동해오는 성충의 피해를 바로 막을수 있다. 또한 약효 지속기간이 길어서 후기에 이동해오는 벼물바구미 까지도 방제할 수있다는 잇점이 있다. 한편 최근에는 살균·살충 호합 종자분의제가 개발되어 단 1회의 종자분의 처리로써 키다리병, 도열병, 깨씨무늬병 등을 함께 방제할 수 있다. 따라서 종자전염성병 방제를 위한 종자소독의 생략은 물론 본답초기 병해충인 잎도열병, 애멸구, 잎굴파리, 벼잎벌레, 벼물바구미 등을 동시에 방제할 수 있어 방제횟수, 노동력, 사용약량을 줄이는 생력방제수단으로도 이용되고 있다. 만일, 종자분의 처리가 이루어지지 않았을 때는 육묘상자에 입제노약을 골고루 처리하여 이앙하는 육묘상 처리나 이앙후 10 - 15일경에 논에 물을 대고 직접 입제를 살포하는 수면처리등을 사용해서 벼물바구미를 방제할 수 있다.

본답중기에는 벼멸구, 흰등멸구, 혹명나방 등이 주요 해충이나 이 지역은 비래해충이 대발생하지 않고, 특히 벼멸구의 밀도는 아주 낮은 실정이어서 방제가 요구되지는 않는다. 흰등멸구의 경우는 벼멸구보다는 밀도가 높게 나타나지만 최고밀도가 그동안 10마리 미만의 낮은 밀도를 보여서 방제로 주목받지 못한다.

그러나, 이 지역은 해충발생이 낮은 천혜의 장점이 있지만, 자연발생적 밀도억제자인 거미류의 밀도가 다른 지역에 비해서 상당히 낮은 편에 속해, 천적을 보호하는 농법으로 전환이 이루어져야만 장기적으로 해충문제에서 벗어날 수 있으리라 본다.

第 4 節 要約 및 結論

농업용수의 수질이 수도포장내 절지동물 군집구조에 미치는 영향을 조사하고자 1994년부터 1997년까지 경기도 반월지역 소재 수도포장(맑은물, 생활하수, 축산폐수 조사구)에서 조사를 수행하였다. 논생태계내의 밀도와 기능들을 요약하면, 절지동물의 발생밀도는 생활하수 조사구에서 높게 나타났고, 주로 진딧물류와 톡토기류가 밀도의 주를 이루었다. 기능군별 점유밀도는 해충군> 비해충군> 천적군 순으로 나타났고, 해충군의 우점종은 진딧물류(Aphids), 멸구과(Delphacidae), 매미충과(Cicadelidae), 벼물바구미(*L. oryzophilus*), 천적군에서는 거미목(Araneae), 비해충군에서는 톡토기목(Collembola), 깔다구과(Chironomidae), 파리목(Diptera)이 우점을 이루었다.

국내에서 벼에 경제적으로 피해를 입히는 주요해충들(멸구과, 매미충과, 벼물바구미)의 밀도는 조사기간동안 매우 낮은 밀도였고, 농업용수의 수질에 따른 발생차이도 뚜렷하지 않았다. 생육초기에는 주로 해충, 생육중기에는 해충과 천적, 후기에는 해충, 천적, 비해충군이 비슷한 점유율을 보였다. 천적군에 속하는 거미류의 발생밀도는 맑은물 조사구에서 가장 높게 나타났고, 생육중, 후기를 거치면서 밀도가 급증하였는데 반해, 수질이 저하된 용수가 유입되는 생활하수, 축산폐수 조사구에서는 밀도가 낮아 이들 수도포장들의 밀도변동은 이전의 거미군집에 대한 연구들과는 다른 패턴을 나타낸다는 것이 확인되었다. 논거미군집내 우점종들의 구성은 생활하수와 축산폐수조사구에서는 유사하였고, 맑은물조사구에서는 다른 두조사구와는 다른 종들로 구성되어 있었다.

농생태계 내에서 해충의 합리적 관리를 위해서는 해충발생의 원인을 구명하여 필요한 억제수단을 합리적으로 도입하여야 하며, 이를 위해서는 해충발생의 장(場)인 농생태계의 특성을 토대로 해충과 작물, 천적류, 기상조건, 관리방법 등과의 관계를 명백히 하여 해충밀도를 경제적 피해수준이하로 억제해야 하며, 이때 방제 수단의 도입은 환경에 대한 부작용이 가장 적은 방향으로 활용하도록 해야 할 것이다(현 1994).

이러한 현실에서 환경조화형 해충군관리에 우선적으로 수립해야 되는 것은 해충의 정확한 발생예찰과 더불어 이 지역에서 농생태계를 구성하고 있는 해충류, 비해충류,

천적류들의 상호관련성이 논생태계의 절지동물군집을 어떤 방향으로 이끌어 나아갈지에 대한 종합적 해석 또한 중요한 연구과제 중의 하나이다. 설문조사에서도 나타났듯이 농민스스로가 병, 해충에 대한 정확한 정보를 바탕으로 해충문제를 바라보는 인식의 전환이 이루어져야 농약살포횟수, 살포량등의 경감을 통해 환경을 살리는 지속적 농업에 접근할수 있을 것이다 .

경기도 반월지역의 경우에는 도시화되는 단계에 있는 소규모 농가들로 경작자 대부분의 연령이 노령화되어 있고, 경작지로 유입되는 생활폐수나 축산폐수등에 의해서 오염이 진행되어가고 있는 단계에 놓여있어 환경보전형 농업을 위해서는 체계적인 연구가 집중되어야 한다.

이들 지역에서 해충발생밀도는 전반적으로 낮은 수준이어서, 집중적으로 방제를 해야할 필요성은 없지만, 벼물바구미는 피해허용수준인 0.5마리를 넘어서고 있기 때문에 이앙전이나 이앙후에 방제가 요구되고 되며, 논생태계내에서 해충군의 밀도증가를 막는 억제자의 역할을 담당하는 천적인 거미류의 밀도가 상대적으로 다른 지역에 비해 낮아 비래해충 및 다른 2차해충에 의한 피해가 예상되는곳이다.

본 연구를 통해 반월지역은 논생태계내의 생물량이 상당히 낮은수준이었고, 그들의 직접적인 원인이 수질오염인지는 아직 명확하지는 않지만, 본연구의 결과에도 나타났듯이 수질이 악화될수록 천적류의 밀도가 낮아지는 논생태계내 생물상의 변화가 목격되는데, 이는 앞으로의 농법이 환경을 보전하는 방향으로 바뀌어야만 지속농업을 달성할 수 있다는 것을 암시해 주고 있다.

參考文獻

농림부. 1996. 환경농업의 현장애로 기술개발. 209p.

박홍현, 이준호. 1997. 경기도 발안지역 수도포장에서의 살충제 처리에 따른 절지동물 군집 모니터링. 서울대농학연구지 22 : 9- 18.

배윤환, 이준호, 현재선. 1994. 본논초기 해충군과 비래성 멸구류의 밀도억제를 위한 살충제의 체계적 처리에 관한 연구. 한응곤지 33:270- 280.

백갑용, 김진식. 1973. 대구의 논거미상과 그 계절적 변동에 관한 조사. 한식보호지 12:125- 130.

백운하, 남궁준. 1979. 한국산 논거미의 연구. 서울대학교 출판부. 101p.

백청오, 강상구, 이광식. 1996. 우리나라 농업용수 수질오염 현황과 개선대책. 한국환경농학회지. 15(4):506- 519.

송유한, 이영걸. 1994. 진주와 남해지역의 논거미상에 관한 연구. 한국환경농학회지 13:98- 110.

송유한, 최병렬. 1993. 논과 그 주변에서 서식하는 절지동물 군집구조의 계절적 변동에 관한 연구. 경상대 논문집(생농계편) 32:171- 188.

엄기백 1991. 흰등멸구와 벼멸구의 발생생태특성과 피해에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문 81p.

엄기백, 최귀문, 현재선. 1991. 수도해충의 종합적방제. 송정 현재선 교수 정년퇴임 기념 응용곤충학논총. 서울대학교 농과대학 농생물학과 동창회. 천풍전산인쇄사. pp.16- 65.

윤종철. 1997. 논생태계내 절지동물 군집구조와 그 변화패턴. 서울대학교 대학원 박사학위논문. 105p.

윤주경, 남궁준. 1979. 광주지방 논거미의 분포(I). 한식보호지 18:237- 141.

이준호, 현재선. 1984. 벼멸구의 생육에 미치는 벼의 생육단계의 영향. 한식보호지

23:49- 55.

이준호, 김광호, 임언택. 1997. **파종방법을 달리한 수원 및 이천지역 소규모 수도포장에서의 절지동물 군집. 한응곤지** 36(1):55- 66.

임문순, 김승태. 1996. **주요작물의 해충에 대한 천적거미류의 생태에 관한 연구** I. **논과 논둑의 거미상과 군집구조연구. 건국대 생명과학지** 3:37- 72.

최성식, 남궁준. 1976. **논에 서식하는 거미의 조사**(I). **한식보호지** 15:89- 93.

Cheng, J. A. and J. Holt. 1990. A Systems Analysis Approach to Brown Planthopper Control on Rice in Chejiang Province, China. I. Simulation of Outbreaks. Journal of Applied Ecology 27 : 85 99.

Cheng, J. A., G. A. Norton and J. Holt. 1990. A Systems Analysis Approach to Brown Planthopper Control on Rice in Chejiang Province, China. II. Investigation of Control Strategies, Journal of Applied Ecology 27 : 85 99.

Heong, K. L., Aquino, G. B. and A. T. Barrion. 1990. Dynamics of major predator and prey species in rice fields. IRRN 15:22- 23.

Heong, K. L. 1988. A Simulation Approach to Evaluating insecticides for Brown Planthopper control. Res. Popul. Ecol. 30 : 165 176

SAS institute. 1987. SAS/STAT guide for personal computer. ver. 6ed. SAS institute Inc. Cary, NC.

Way, M.J. and K. L. Heong. 1994. The role of biodiversity in the dynamics and management of insect pests of tropical irrigated rice- a review. Bulletin of Entomological Research. 84 : 567 - 587.

부록 I. 반월지역 수도내 곤충상 조사 자료

(1994 - 1997)

표 1. 1994년 경기도 반월지역 맑은물유입 벼포장의 곤충상 (마리/주)

구분		조사일			
		7/26	8/11	9/1	9/15
해충류	벼멸구	0.03	0.07	0.03	0.30
	흰등멸구	0.03	0.03	0.00	0.03
	애멸구	0.20	1.77	0.07	0.27
	번개매미충	0.00	0.00	0.00	0.00
	끝동매미충	0.00	0.07	0.00	0.03
	딱정벌레류 (식식성)	0.03	0.03	0.07	0.17
	메뚜기류	0.00	0.00	0.00	0.00
	진딧물류	0.00	0.00	0.03	0.00
	노린재류 (식식성)	0.00	0.07	0.10	0.07
	응애류	0.00	0.00	0.00	0.00
	나방류	0.00	0.00	0.00	0.00
	벼물바구미	0.03	0.00	0.00	0.00
천적류	거미류	0.57	0.90	0.70	1.77
	기생봉류	0.00	0.00	0.00	0.00
	무당벌레	0.00	0.00	0.07	0.00
	잠자리류	0.00	0.00	0.00	0.00
	소금쟁이	0.03	0.00	0.00	0.10
	개미류	0.00	0.00	0.00	0.00
	반날개류	0.00	0.03	0.00	0.00
	노린재류 (포식성)	0.00	0.00	0.00	0.03
비해충류	모기붙이류	0.40	0.03	0.03	0.00
	파리류	0.13	0.00	0.00	0.03
	톡토기류	0.00	0.07	0.00	0.87
	기타	0.00	0.23	0.13	0.23

표 2. 1994년 경기도 반월지역 생활폐수유입 벼포장의 곤충상 (마리/주)

구분		조사일			
		7/26	8/11	9/1	9/15
해충류	벼멸구	0.10	0.03	0.00	0.00
	흰등멸구	0.07	0.10	0.23	0.07
	애멸구	0.00	2.00	0.20	0.07
	번개매미충	0.00	0.00	0.00	0.00
	끝동매미충	0.07	0.13	0.23	0.03
	딱정벌레류 (식식성)	0.20	0.17	0.20	0.27
	메뚜기류	0.00	0.00	0.00	0.00
	진딧물류	0.00	0.00	0.00	0.00
	노린재류 (식식성)	0.03	0.03	0.07	0.00
	응애류	0.00	0.00	0.00	0.00
	나방류	0.03	0.07	0.00	0.03
	벼물바구미	0.00	0.30	0.10	0.03
천적류	거미류	0.53	3.20	3.07	2.20
	기생봉류	0.10	0.00	0.03	0.00
	무당벌레	0.00	0.00	0.00	0.00
	잠자리류	0.00	0.00	0.00	0.00
	소금쟁이	0.00	0.03	0.00	0.00
	개미류	0.00	0.03	0.03	0.00
	반날개류	0.00	0.00	0.00	0.40
	노린재류 (포식성)	0.00	0.00	0.00	0.10
비해충류	모기붙이류	0.30	0.17	0.03	0.00
	파리류	0.33	0.00	0.03	0.00
	톡토기류	0.00	0.00	0.00	0.00
	기타	0.00	0.13	0.10	0.03

표 3. 1994년 경기도 반월지역 축산폐수유입 벼포장의 곤충상 (마리/주)

구 분		조 사 일			
		7/26	8/11	9/1	9/15
해충류	벼멸구	0.10	0.00	0.00	0.00
	흰등멸구	0.20	0.07	0.10	0.00
	애멸구	0.07	0.17	0.10	0.00
	번개매미충	0.00	0.00	0.00	0.00
	끝동매미충	0.07	0.03	0.13	0.03
	딱정벌레류 (식식성)	0.17	0.20	0.07	0.20
	메뚜기류	0.00	0.00	0.00	0.03
	진딧물류	0.00	0.00	0.00	0.00
	노린재류 (식식성)	0.13	0.03	0.00	0.20
	응애류	0.00	0.03	0.13	0.10
	나방류	0.03	0.03	0.03	0.00
	벼물바구미	0.07	0.10	0.10	0.03
천적류	거미류	0.90	2.23	2.80	1.90
	기생봉류	0.03	0.03	0.00	0.00
	무당벌레	0.00	0.00	0.00	0.03
	잠자리류	0.00	0.00	0.00	0.00
	소금쟁이	0.03	0.00	0.00	0.00
	개미류	0.00	0.00	0.00	0.00
	반날개류	0.00	0.53	0.20	0.13
	노린재류 (포식성)	0.00	0.00	0.00	0.03
비해충류	모기붙이류	0.20	0.07	0.07	0.00
	파리류	0.10	0.03	0.00	0.03
	톡토기류	0.00	0.00	1.33	0.13
	기타	0.07	0.00	0.07	0.00

표 4. 1995년 경기도 반월지역 맑은물유입 벼포장의 곤충상 (마리/주)

구 분		조 사 일							
		6/ 21	7/ 6	7/ 22	8/ 3	8/ 18	8/ 31	9/ 15	9/ 29
해충류	벼멸구	0.0	0.0	0.1	2.7	0.2	0.4	1.7	7.1
	흰등멸구	0.0	0.1	0.0	3.4	2.1	1.0	0.0	4.2
	애멸구	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	4.9	2.2
	번개매미충	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	끝동매미충	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.2
	딱정벌레류 (식식성)	0.0	0.5	0.0	0.3	0.2	0.0	1.5	0.1
	메뚜기류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
	진딧물류	0.0	3.3	0.0	0.0	0.3	0.2	0.5	1.4
	노린재류 (식식성)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.9
	응애류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
	나방류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	0.3
	벼물바구미	0.0	0.2	0.0	0.4	0.1	0.2	0.4	0.0
천적류	거미류	0.2	0.3	5.9	2.8	1.2	0.6	2.2	3.3
	기생봉류	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2
	무당벌레	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
	잠자리류	0.0	0.7	0.0	0.6	0.0	0.3	0.5	0.1
	소금쟁이	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	개미류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
	반날개류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
	노린재류(포식성)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
비해충류	모기붙이류	5.4	5.1	1.8	0.7	0.2	0.2	0.3	3.5
	파리류	1.2	1.4	0.1	0.8	0.3	0.4	2.8	5.6
	톡토기류	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1
	기타	1.4	0.6	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1

표 5. 1995년 경기도 반월지역 생활폐수유입 벼포장의 곤충상 (마리/주)

구 분		조사일 6/ 21	7/ 6	7/ 22	8/ 3	8/ 18	8/ 31	9/ 15	9/ 29
해충류	벼멸구	0.0	0.0	0.0	1.4	0.1	0.9	1.5	7.1
	흰등멸구	0.0	0.3	0.1	0.1	0.8	0.5	2.9	4.2
	애멸구	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.2	1.0	2.2
	번개매미충	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
	끝동매미충	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.9	0.2
	딱정벌레류 (식식성)	0.6	0.4	0.0	0.1	0.3	0.2	0.0	0.1
	메뚜기류	0.0	0.0	0.1	0.4	0.0	0.3	0.1	0.0
	진딧물류	68.8	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.3	1.4
	노린재류 (식식성)	0.0	4.4	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0	0.9
	응애류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
	나방류	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	1.3	0.3
	벼물바구미	0.6	0.3	0.1	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0
천적류	거미류	0.6	0.3	0.5	0.7	0.9	1.2	0.7	3.3
	기생봉류	1.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2
	무당벌레	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	잠자리류	0.0	0.7	0.4	0.1	0.0	0.0	0.3	0.1
	소금쟁이	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	개미류	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.6	0.1	0.0
	반날개류	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
	노린재류 (포식성)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
비해충류	모기붙이류	2.0	2.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.1	3.5
	파리류	0.2	1.0	0.9	0.7	0.3	1.0	1.3	5.6
	톡토기류	0.2	0.0	1.3	0.8	0.0	0.0	0.5	0.1
	기타	0.0	0.5	1.0	0.4	0.1	1.1	0.3	0.1

표 6. 1995년 경기도 반월지역 축산폐수유입 벼포장의 곤충상 (마리/주)

구 분		6/ 21	7/ 6	7/ 22	8/ 3	8/ 18	8/ 31	9/ 15	9/ 29
해충류	벼멸구	0.0	0.0	0.1	0.7	0.0	0.7	0.5	1.1
	흰등멸구	0.0	0.3	0.3	2.4	0.1	0.1	0.3	0.1
	애멸구	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.4
	번개매미충	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	끝동매미충	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.6	2.0
	딱정벌레류 (식식성)	0.0	0.4	0.3	0.8	0.6	0.5	0.2	0.3
	메뚜기류	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.3	0.8	0.6
	진딧물류	3.0	4.4	0.4	0.0	0.3	0.0	0.3	1.7
	노린재류 (식식성)	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1
	응애류	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.3	0.6
	나방류	0.0	0.1	0.5	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1
	벼물바구미	0.4	0.3	1.8	5.5	2.7	0.2	0.2	0.0
천적류	거미류	0.2	0.0	0.4	1.6	0.5	2.5	0.7	0.5
	기생봉류	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
	무당벌레	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0
	잠자리류	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1
	소금쟁이	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	개미류	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
	반날개류	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	노린재류 (포식성)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0
비해충류	모기붙이류	5.4	2.0	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	2.3
	파리류	0.4	1.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.9	0.6
	톡토기류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	기타	1.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.6

표 7. 1996년 경기도 반월지역 맑은물유입 벼포장의 곤충상(평균개체수/주)

분류군		조사시기	5/31	6/14	7/1	7/12	7/27	8/9	8/29	9/6	9/20
해충류	매미목	진딧물류	0.0	3.5	1.5	0.5	0.5	0.2	0.4	13.4	18.2
		끝동매미충	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		매미충	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
		매미충류 약충	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		벼멸구	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		흰등멸구	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.3	0.1	0.0	0.0
		애멸구	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	1.0	0.1	0.0	0.0
		멸구류약충	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.1	2.3	4.9
	노린재목(식식성)		0.0	0.0	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	총채벌레목		0.0	0.0	0.1	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	메뚜기목(식식성)		0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
	나비목	이화명나방	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		혹명나방	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		멸강나방	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		나방류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.2
	딱정벌레목	벼물바구미	0.3	0.7	0.3	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0
		바구미류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	2.1	0.2
		잎벌레 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		잎벌레 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	파리목	깔다구류(유충)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0
		파리류	0.1	0.3	0.2	0.0	2.2	0.4	0.1	2.4	0.9
천적류	노린재목(포식성)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	벌목(기생벌류)		0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
	딱정벌레목	무당벌레과	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		반날개과	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		딱정벌레과	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.1	0.1	0.0	0.3
	메뚜기목(포식성)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0
	사마귀목		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	잠자리목		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	거미목		0.0	0.3	0.2	0.0	0.0	2.1	2.7	0.8	1.6
비해충류	톡토기류		0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	6.0	11.5	18.9	0.9
	깔다구류(성충)		0.0	0.0	0.0	1.0	0.2	0.3	0.3	0.1	0.5
	개미류		0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.9	0.2
합 계			0.4	5.0	2.7	3.8	5.4	12.6	19.4	41.3	28.0

표 8. 1996년 경기도 반월지역 생활폐수유입 벼포장의 곤충상(평균개체수/주)

분류군		조사시기	5/31	6/14	7/1	7/12	7/27	8/9	8/29	9/6	9/20
해충류	매미목	진딧물류	0.1	0.0	1.0	0.7	0.5	0.1	0.0	29.5	8.0
		끝동매미충	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		매미충	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0
		매미충류 약충	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
		벼멸구	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3
		흰등멸구	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.1	0.1	0.0	0.1
		애멸구	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.3	0.0	0.0
		멸구류약충	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.1	1.7
	노린재목(식식성)		0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	총채벌레목		0.1	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	메뚜기목(식식성)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
	나비목	이화명나방	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		혹명나방	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		멸강나방	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		나방류	0.0	0.0	1.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
	딱정벌레목	벼물바구미	0.8	1.0	0.0	0.0	0.2	0.9	0.2	0.0	0.0
		바구미류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
		잎벌레 1	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0
		잎벌레 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	파리목	깔다구류(유충)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
		파리류	0.0	1.3	1.2	0.2	0.4	0.7	2.0	1.8	0.5
천적류	노린재목(포식성)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.2
	벌목(기생벌류)		0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
	딱정벌레목	무당벌레과	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		반날개과	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		딱정벌레과	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.9	0.0	0.3	0.3
	메뚜기목(포식성)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	사마귀목		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	잠자리목		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	거미목		0.0	0.2	0.4	0.0	0.6	2.5	0.8	0.6	5.1
비해충류	톡토기류		0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.4	0.0	57.8	1.6
	깔다구류(성충)		0.0	0.0	0.2	2.2	0.0	0.4	0.1	0.0	0.0
	개미류		0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1
합 계			1.0	2.5	9.0	3.7	3.2	7.2	4.6	90.4	18.1

표 9. 1996년 경기도 반월지역 축산폐수유입 벼포장의 곤충상(평균개체수/주)

분류군			5/31	6/14	7/1	7/12	7/27	8/9	8/29	9/6	9/20
해충류	매미목	진딧물류	0.0	0.1	2.1	1.2	0.3	0.1	11.4	13.4	16.8
		끝동매미충	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		매미충	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.1	0.0	0.0	0.1
		매미충류 약충	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		벼멸구	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		흰등멸구	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5	0.0	0.0	0.1
		애멸구	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	2.4	0.1	0.0	0.3
		멸구류약충	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0
	노린재목(식식성)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
	총채벌레목		0.0	0.0	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	메뚜기목(식식성)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
	나비목	이화명나방	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
		혹명나방	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		멸강나방	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
		나방류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0
	딱정벌레목	벼물바구미	1.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
		바구미류	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	2.1	0.0
		잎벌레 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		잎벌레 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	파리목	깔다구류(유충)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		파리류	0.0	1.8	1.7	0.0	0.8	0.4	0.7	2.4	0.4
천적류	노린재목(포식성)		0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0
	벌목(기생벌류)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
	딱정벌레목	무당벌레과	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		반날개과	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		딱정벌레과	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.4	0.0	0.0
	메뚜기목(포식성)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0
	사마귀목		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	잠자리목		0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	거미목		0.1	0.1	0.0	0.0	0.5	3.1	0.3	0.8	0.3
비해충류	톡토기류		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	18.6	18.9	6.4
	깔다구류(성충)		0.0	0.2	0.0	2.1	0.1	0.4	0.0	0.1	0.0
	개미류		0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	2.6	0.9	0.0
합 계			1.4	2.5	4.1	4.9	2.9	7.8	35.1	41.2	25.3

표 10. 1997년 경기도 반월지역 맑은물유입 벼포장의 곤충상(평균개체수/주)

분류군			6/24	7/8	7/18	7/25	8/28
해충류	매미목	진딧물류	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0
		끝동매미충	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		매미충	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		매미충류 약충	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		벼멸구	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
		흰등멸구	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0
		애멸구	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1
		멸구류약충	0.0	0.2	0.2	1.9	0.1
	노린재목(식식성)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	총채벌레목		0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
	메뚜기목(식식성)		0.0	0.1	0.3	0.2	0.1
	나비목	이화명나방	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		혹명나방	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		멸강나방	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		나방류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	딱정벌레목	벼물바구미	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
		바구미류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		잎벌레 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		잎벌레 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	파리목	깔다구류(유충)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		파리류	1.5	0.3	0.2	0.0	0.0
천적류	노린재목(포식성)		0.0	0.3	0.1	0.3	0.0
	벌목(기생벌류)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	딱정벌레목	무당벌레과	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
		반날개과	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		딱정벌레과	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	메뚜기목(포식성)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
	사마귀목		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	잠자리목		0.0	0.4	0.1	0.1	0.0
	거미목		0.2	0.4	1.0	1.4	0.1
비해충류	톡토기류		0.0	0.3	0.0	0.6	0.0
	깔다구류(성충)		4.3	1.0	0.1	0.0	0.0
	개미류		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
합 계			6.4	3.0	2.0	4.6	0.2

표 11. 1997년 경기도 반월지역 생활폐수유입 벼포장의 곤충상(평균개체수/주)

분류군		조사시기	6/24	7/8	7/18	7/25	8/28
해충류	매미목	진딧물류	0.2	0.2	0.5	0.1	0.5
		끝동매미충	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		매미충	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
		매미충류 약충	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
		벼멸구	0.0	0.0	0.1	0.2	2.2
		흰등멸구	0.0	0.0	0.2	0.8	1.3
		애멸구	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
		멸구류약충	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9
	노린재목(식식성)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	총채벌레목		0.0	0.0	0.2	0.1	0.0
	메뚜기목(식식성)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	나비목	이화명나방	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		혹명나방	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		멸강나방	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
		나방류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
	딱정벌레목	벼물바구미	0.4	0.2	0.1	0.0	0.2
		바구미류	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
		잎벌레 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		잎벌레 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	파리목	깔다구류(유충)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		파리류	3.8	0.7	0.4	0.1	0.5
천적류	노린재목(포식성)		0.0	0.0	0.0	0.2	0.1
	벌목(기생벌류)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
	딱정벌레목	무당벌레과	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		반날개과	0.0	0.0	0.1	0.3	0.4
		딱정벌레과	0.0	0.1	0.3	0.3	0.2
	메뚜기목(포식성)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
	사마귀목		0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
	잠자리목		0.1	0.1	0.0	0.0	0.1
	거미목		0.1	0.3	0.9	1.3	3.8
비해충류	톡토기류		0.0	0.0	0.0	0.6	1.5
	깔다구류(성충)		9.3	4.9	0.1	0.1	0.7
	개미류		0.0	0.0	0.1	0.1	0.3
합 계			13.8	6.4	3.0	3.9	13.0

표 12. 1997년 경기도 반월지역 축산폐수유입 벼포장의 곤충상(평균개체수/주)

분류군		조사시기	6/24	7/8	7/18	7/25	8/28
해충류	매미목	진딧물류	0.7	0.2	0.1	0.0	0.1
		끝동매미충	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
		매미충	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		매미충류 약충	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		벼멸구	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3
		흰등멸구	0.0	0.0	0.3	0.0	0.1
		애멸구	0.0	0.1	0.0	1.0	0.0
		멸구류약충	0.0	0.0	0.5	1.4	0.3
	노린재목(식식성)		0.0	0.3	0.2	0.0	0.0
	총채벌레목		0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
	메뚜기목(식식성)		0.0	0.1	0.3	0.2	0.1
	나비목	이화명나방	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
		혹명나방	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		멸강나방	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0
		나방류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	딱정벌레목	벼물바구미	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
		바구미류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		잎벌레 1	0.0	0.1	0.9	0.0	0.1
		잎벌레 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	파리목	깔다구류(유충)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		파리류	0.4	0.3	0.1	0.2	0.4
천적류	노린재목(포식성)		0.0	0.1	0.1	0.0	0.1
	벌목(기생벌류)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
	딱정벌레목	무당벌레과	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		반날개과	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2
		딱정벌레과	0.0	0.0	0.3	0.0	0.1
	메뚜기목(포식성)		0.0	0.0	0.1	0.0	0.2
	사마귀목		0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
	잠자리목		0.0	0.0	0.1	0.2	0.1
	거미목		0.3	0.9	1.8	1.2	2.5
비해충류	톡토기류		0.0	0.2	0.2	0.0	1.5
	깔다구류(성충)		7.4	4.7	0.7	0.0	0.2
	개미류		0.0	0.4	0.1	0.0	0.0
합 계			8.9	7.3	5.4	3.2	6.0

제 3 분야	종합방제 기술개발

제 9 장 무농약 잡초방제 기술개발

경북대학교 농업과학기술연구소
연구책임자 : 이 시 민

第 1 節 緖 說

최근 환경문제에 대한 사회적 관심이 높고, 농업은 종래처럼 피해자의 입장이 아니라 가해자의 입장에 있다고 지적되도 있다. 그 때문에 새로운 오염방지 기술의 개발과 지속농업형 생산 시스템의 구축 등에 큰 기대를 걸고있다. 이와 같은 상황에 적용 가능한 생산 기술의 하나로 무경운 재배(坂井直樹 등, 1994)의 연구도 수행되도 있다. 또한 방제 작업에 의한 환경오염과 약해 등이 큰 문제로 되고 있으나 이는 관행 방제법의 약제 부착 효율이 낮기 때문에 큰 요인이 되고 있다. 노지야채, 시설야채 재배의 토양 병해충 방제에도 화학적 방제가 주로 이루어지고 있고 이로 인해 도시 근교 야채재배 지역에서는 공해 문제가 대두되어 작업자 및 포장 주변 가축의 중독 사고를 초래할 수 있다. 또한 농산물의 농약잔류성 문제에 대한 소비자의 관심이 집중되어 유기재배, 감농약재배에 의한 농산물이 고상품화 되고 있다. 또한 최근에는 저장 곡물에 대한 살충용 약물의 잔류성이 지적되어 쌀의 유통 단계에서 약물에 의한 방제는 금지되기에 이르렀다.

현재 잡초방제의 경우도 거의 대부분이 제초제에 의존하고 있고, 특히 골프장을 중심으로 농약 사용 제한을 위한 조례 제정도 대두되고 있다. 이와 같은 배경에서 볼 때 농약을 사용하지 않거나 미량소량만 살포하는 병충해 방제법 및 잡초 방제법의 기술 개발이 시급히 요구되고 있다.

농약을 미량소량만 살포하는 병충해 방제법의 개발을 위한 전기적 약제 살포 방법에 관한 연구로서 松尾昌樹 등(1990)은 연무의 확산 및 비속화, 균일부착, 잎뒷면의 부착율 향상을 목적으로 자주식 정전상온연무기의 개발 및 외부환상전극을 이용한 유도대전식 2유체 노즐의 정전살포특성(松尾昌樹, 1987), Electrodyne의 정전살포특성(松尾昌樹 등, 1986a; 松尾昌樹 등1986b)에 관한 연구를 수행하였으며, 津賀辛之介 등(1988a, 1988b, 1988c)은 시설원예의 방제작업 시 작업자가 농약의 피해를 줄이기 위하여 미량소량살포법, 상온연무법에 대해서 정전살포법을 이용하여 실험한 결과 약제 부

착율 및 방제효과가 향상되었다고 보고 하였다. 또한 약물을 이용하지 않는 곡물의 해충 방제법을 개발하기 위해 加藤安郎 등(1987)은 전기적 방제법으로서 고주파 유전가열에 의한 곡물 해충의 방제법에 관한 연구를 수행하였다.

농약을 사용하지 않는 잡초 방제법 개발을 위한 하나의 방법으로 전기적인 잡초 방제법이 주목되도 있다. 전기적 잡초 방제법은 미국, 영국등(Kaufman 과 Schaffner, 1982; Wilson 과 Anderson, 1981; Diprose 와 Benson, 1984) 선진국에서 연구되고 있다. 그러나 제초제를 사용하지 않는 잡초 방제법에 관한 국내에서의 연구는 거의 찾아볼 수 없는 실정이다.

第 2 節 材料 및 方法

4. 실험장치개발

펄스방전에 의한 전기적 잡초방제기술 개발을 위하여 그림 1에서와 같은 회로로 구성되는 소용량의 고전압 펄스방전장치를 제작 하였다.

2. 잡초방제 효과 분석

방제효과 실험은 펄스방전장치의 전압 변화 및 방전화염과 잡초간의 거리 변화 등의 인자에 의한 잡초방제효과를 조사하였다. 또한 방제효과는 대상잡초에 방전을 시킨 후 날자별로 식물의 쇠약 정도를 정상, 약간 마름, 일부 고사, 대부분이 고사, 완전 고사 등 몇 단계의 평점을 설정하여 평가하였다.

방제대상 잡초는 우리나라의 전작물에 많이 생육하는 바랭이 (*Dgitaria Sanguinalis*)를 공시 잡초로 하였으며 농장에서 채취하여 포트에 이식하고, 수일후 초세가 회복된 후에 실험에 사용하였다.

3. 발아억제효과

발아억제 효과는 잡초를 파종전 방전처리와, 파종후 일수별로 방전처리하여 비처리구와 비교하여 발아율을 조사하고, 방제 효과는 대상 잡초에 방전을 시킨후 일수별로 식물의 쇠약 정도를 정상, 약간 마름, 일부 고사, 대부분이 고사, 완전 고사 등 몇 단계의 평점을 설정하여 방전을 시키지 않은 잡초와 비교 평가하였다.

4. 방제효과평가

대상 잡초의 방전 적정 시기 및 방전 회수를 파악하기 위하여 잡초의 생육 단계별로 방제 효과를 평가하였다. 방제 대상 잡초는 우리나라의 전작물에 많이 생육하는 바랭이 (*Dgitaria Sanguinalis*), 피(*Echinochloa Crus-galli*), 명아주(*Chenopodium album* var. centrorubrum) 등을 공시 잡초로 하였고, 공시 잡초는 종자를 포트에 파종하여 사용하였다.

第 3 節 結果 및 考察

1. **고전압 펄스방전장치**

그림1 에서와 같이 승압 트랜스의 교류 전압을 다이오드로 정류해서 콘덴서에 충전하고 스파크 발생장치에서 방전전극과 접속해서 회전단자가 고정단자로부터 떨어지는 사이에 콘덴서에 충전하고 접근하면 방전한다. 이것에 의해 방전전극과 잡초사이에 펄스방전이 발생한다. 실험시에는 접지 단자를 잡초 포트의 저부에 삽입해서 폿트내의 흙을 대지 전위로 하였다. 또한 펄스방전발생을 위한 사용 전압 범위를 20-40 kV까지 조정될수 있도록 하였다.

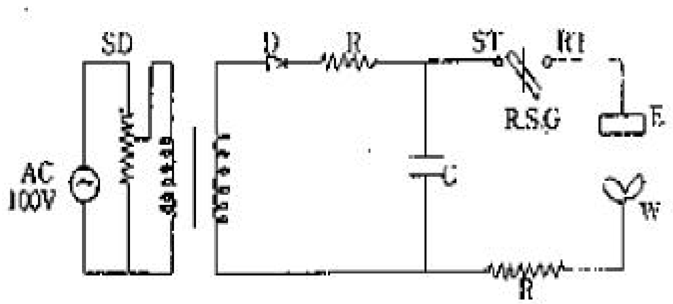


Fig. 1. Electric circuit of experimental apparatus

SD : Slidac, D : Diode, R : Resistor, C : Condencer

R.S.G. : Rotary spark gap, ST : Stationary terminal

RT : Rotor, E : Discharge electrode, W : Weed

2. **발아억제효과 분석**

펄스방전에 의한 전기적인 잡초방제 효과를 분석하기 위하여 공시잡초인 바랭이를 포트에 파종하기전 포트상의 표토위에 종자를 놓고서 방전처리를 한것(A)과, 파종즉시

방전처리를 한것(B), 그리고 파종1일후(C), 파종2일후(D), 파종3일후(E) 방전처리를 하여 파종후 일수 경과별 발아상태를 조사한 결과를 그림 2에 나타내었다. 그림에서와 같이 방전처리를 하지 않은 잡초 종자는 99%의 발아율을 나타냈으나 파종전 방전처리를 한것은 발아율이 30%정도로서 발아률이 가장 낮았고 그 다음이 파종1일후, 파종2일후, 파종3일후, 파종즉시 순으로 나타났다. 또한 방전전압을 1kV에서 3kV로 증가시킴에 따라 발아율이 낮아짐을 알 수 있으나 실험장치의 사용범위 한계상 본 실험에서는 최적치를 파악할 수 없었다.

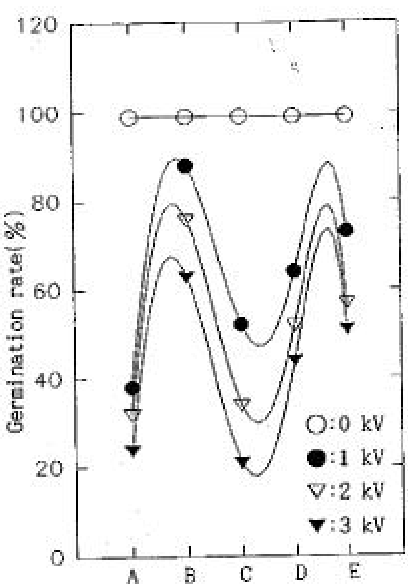


Fig. 2. Germination rates of weeds after discharge treatment(at 1-3kV).

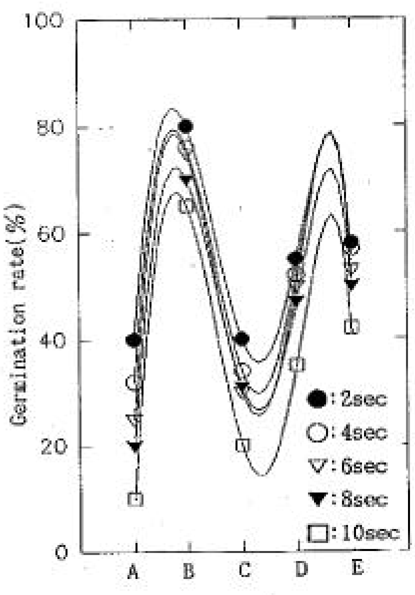


Fig. 3. Germination rates of weeds after discharge treatment(at 2-10sec).

그림 3 은 잡초를 재배한 폿트의 표토에서 방전전극까지의 거리를 1cm, 방전전압을 2kV로 일정하게하고 방전시간을 변화시켰을 때의 발아율을 조사한 것이다. 방전 시간이 2-6초의 경우에는 발아율이 높았으나 10초의 경우에는 발아율이 최대63%, 최소 10%정도로 낮았다.

그림 4는 방전시간을 4초, 방전전압을 2kV로 일정하게 하고 잡초를 재배한 폿트의 표토에서 방전전극까지의 거리를 변화시켰을 때의 발아율을 조사한 결과이다. 방전거리가 1-2cm 경우에는 발아율이 최대 80%, 최소 33%정도로 낮으나 방전거리가 3cm이상일 경우에는 발아율이 최대 99%, 최소 53%로서 발아억제효과가 적음을 알수 있다. 따라서 전기적 잡초방제기는 방전전극을 잡초에 가깝게 하여 방전처리를 하는 메카니즘으로 개발하여야 할 것으로 생각된다.

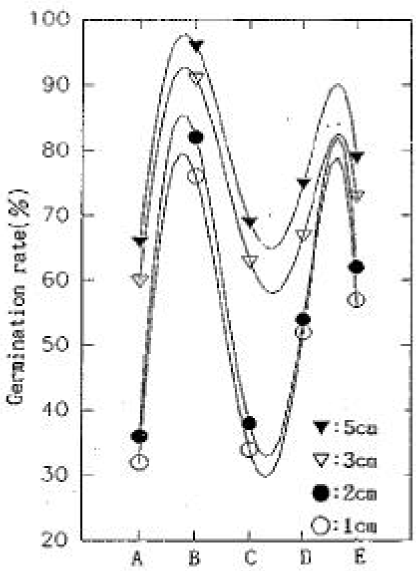


Fig. 4. Germination rates of weeds after discharge treatment(at 1-5cm).

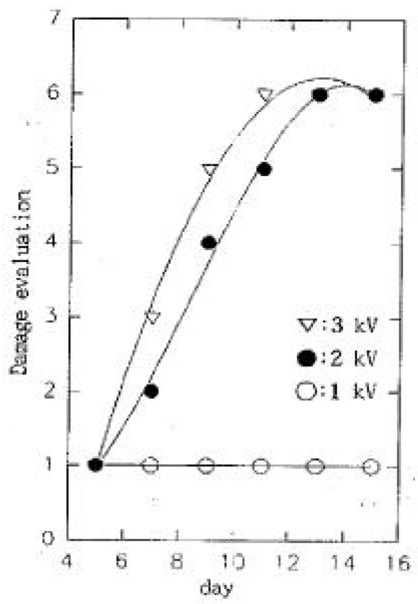


Fig. 5. Damage evaluations of weeds after discharge treatment(at 1-3kV).

3. 잡초방제 효과 분석

펄스방전에 의한 잡초방제 효과를 분석하기 위하여 공시잡초인 바랭이를 포트에 파종하고 1일후 방전처리를 하여 발아한 잡초의 일수경과별 생육상태를 1:정상, 2:약간 마름, 3:중간전도의 마름, 4:일부고사, 5:대부분고사, 6:완전고사로 평점을 설정하고 육안으로 판별하여조사한 결과를 그림 5에 나타내었다. 시험조건은 그림 2에서와 같이 방전시간을 4초로 일정하게하고, 방전전극의 위치를 포트의 표토에서 1cm 위에 놓고서 방전전압을 변화시켰을 때의 결과이다. 그림에서와 같이 방전전압이 1kV인 경우에는 발아후 생육상태가 정상이었으나 2-3kV의 방전전압을 가한 잡초는 발아후 일수가 경과함에 따라 점점 쇄약하여져서 14-15일후에는 고사하였다. 따라서 방전을 받은 잡초 종자는 발아하여도 생육이 정상적이지 못하고 고사됨을 알 수 있었다.

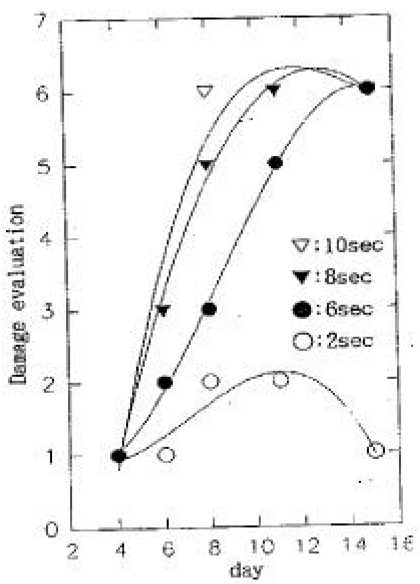


Fig. 6. Damage evaluations of weeds after discharge treatment(at 1-5cm).

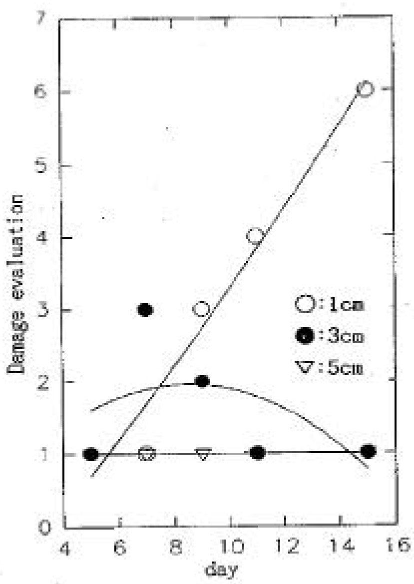


Fig. 7. Damage evaluations of weeds after discharge treatment(at 2-10sec).

또한 그림 6은 파종 2일후 방전처리를 한 경우에 발아된 잡초의 일수 경과별 생육상태를 조사한 것이다시험조건은 잡초를 재배한 폿트의 표토에서 방전전극까지의 거리를 1cm, 방전전압을 2kV로 일정하게하고 방전시간을 변화시켰을 때의 결과이다. 그림에서와 같이 방전처리 시간이 2초인 경우에는 발아된 잡초의 생육상태가 거의 정상적이었으나 6-8초간 방전을 가한 잡초 종자는 발아후 일수가 경과함에 따라 점점 쇄약하여져서 14-15일후에는 고사함을 알 수 있음.

그림 7은 파종전 방전처리를 한 경우에 발아된 잡초의 일수 경과별 생육상태를 조사한 것이다. 시험조건은 방전시간 4초, 방전전압을 2kV로 일정하게 하고 잡초를 재배한 폿트의 표토에서 방전전극까지의 거리를 변화시켰을 때의 발아된 잡초의 생육상태를 조사한 결과이다. 그림에서와 같이 1cm의 거리에서 방전을 받은 잡초는 발아후 일수가 경과함에 따라 점점 쇄약하여져서 14-15일후에는 고사하였으나 3-5cm거리에서 방전을 받은 잡초는 발아후 생육상태가 정상이었음.

4. 잡초의 전기적 방전 특성

잡초가 생육과정중 전기적인 방전을 받게 되면 잡초의 잎이나, 줄기가 절단된다. 그 특성을 잡초의 종류별로 조사한 결과 피나 바랭이와 같은 잡초는 방전시 그림 8(a)에서와 같이 떡잎이 나온 부위(그림의①)가 1차적으로 절단되고 그후, 표토와 접하는 부위(그림의②)의 줄기가 절단되었다. 그러나 명아주의 경우는 그림 8(b)에서와 같이 떡잎이 절단된후에 표토와 접하는 부위(그림의②)의 줄기가 절단되는 경우와 떡잎이 절단되기 전에 표토와 접하는 부위의 줄기가 절단되는 2가지의 경우가 있었다. 또한 그림 8의 사진은 방전처리 전,후의 잡초의 상태를 찍은 것으로서 방전을 받은 잡초는 떡잎부위 혹은 표토와 접하는 줄기부위가 절단됨을 알 수 있다. 한편 잡초가 전기적 방전에 의해 줄기가 절단되기 까지의 방전소요시간은 잡초의 종류에 따라 다르며, 떡잎이 2개나왔을 때를 기준으로 시험한 결과 바랭이 피, 명아주 순으로 방전시간이 길게 나타났다.

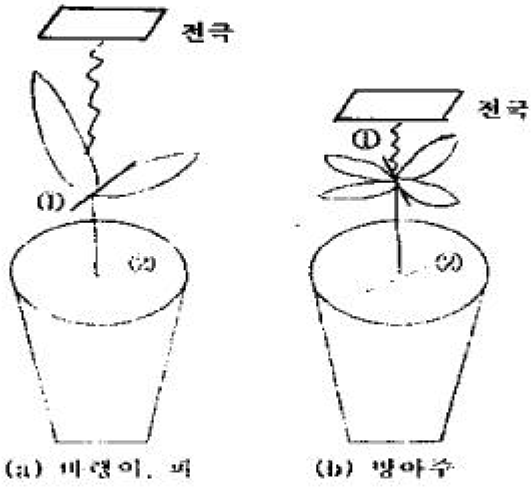


Fig. 8. Destruction parts of the weeds by high voltage spark discharges.

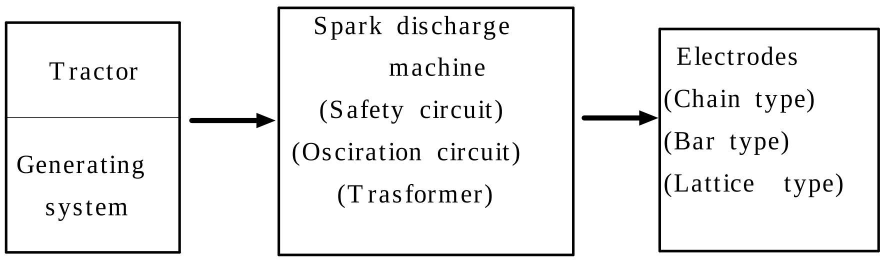
이는 잡초의 수분함량 등 물리적인 특성에 기인하는 것으로 생각된다. 또한 잡초의 초장별 방제효과를 조사한 결과 잡초의 초장이 작을때 일수록 방전에 의한 줄기의 절단이 용이하였고, 한개의 포트내에 키가 서로 다른 잡초가 생육하고 있을 경우에는 키카큰 잡초에만 방전이 계속 일어나고 키가작은 잡초는 방전이 일어나지 않았다. 또한 잡초가 생육하고 있는 포트의 표토위에 돌맹이, 나뭇가지 등이 잡초의 초장보다 높게 나타나 있을 경우에는 돌맹이나 나뭇가지에 방전이 일어나고 잡초의 잎에는 방전이 일어나지 않았다.

5. 농작업기의 방전장치 메카니즘 개발

전기제초기를 포장에서 사용하기 위해서는 전원공급이 필요하며 전원공급 방법은 2가지로 개발될 수 있다. 하나는 트랙터, 경운기 등의 부속 전기제초기로 할 경우 제너레이터를 이용하는 방법이고, 전용전기제초기로 개발할 경우에는 밧데리를 이용하는

방법이다. 부속전기제초기의 경우, 시스템 다이어그램을 나타내면 그림 9와 같다.

트랙터 구동시 제너레이터를 이용하여 방전장치에 전원을 공급한다. 방전장치의 전극은 잡초에 연속적으로 접촉되는 형식으로 체인형, 막대형, 격자형 등의 전극을 제작하여 사용할 수 있었다.



參 考 文 獻

1. 坂井直樹, 米川智司, 木谷收 : 不耕起栽培二酸化炭素發生量의 低減 效果, 일본농업기계학회지, 56(1), 71-78, 1994

2. 松尾昌樹, 盛出, 內野敏剛 : 靜電式常溫煙霧機の走行撒布特性と有孔圓錐電極の開發 일본농업기계학회지, 52(6), 61-66, 1990

3. 松尾昌樹, 內野敏剛, 飯本光雄 : 外部環狀電極を用いた誘導帶電式2流體ノズルの靜電撒布特性, 일본농업기계학회지, 49(5), 459-466, 1987

4. 松尾昌樹, 內野敏剛, 飯本光雄 : エレクトロダインの靜電撒布特性について(1), 일본농업기계학회지, 48(1), 25-31, 1986a

5. 松尾昌樹, 內野敏剛, 飯本光雄 : エレクトロダインの靜電撒布特性について(1), 일본농업기계학회지, 48(3,4), 295-301, 1986b

6. 津賀辛之介, 市來秀之, 梶山道雄 : 施設園藝における靜電撒布法の研究(1), 일본농업기계학회지, 50(1), 61-68, 1988a

7. 津賀辛之介, 市來秀之, 梶山道雄 : 施設園藝における靜電撒布法の研究(1), 일본농업기계학회지, 50(2), 27-35, 1988b

8. 津賀辛之介, 市來秀之, 梶山道雄 : 施設園藝における靜電撒布法の研究(1), 일본농업기계학회지, 50(3), 77-84, 1988c

9. 加藤安郎, 山下律池 : 高周波誘電加熱による穀物害蟲の防除, 일본농업기계학회지, 49(5), 443-450, 1987

10. Kaufman,K.R.,L.W. Schaffner : Energy and economics of electrical weed control., Trans. of the ASAE, 25(2), 297-300, 1982

11. Wilson,R.G., F.N.Anderson : Control of three weed species in sugarbeets with an electrical discharge system, Weed Science,29(1),93-97,1981

12. Diprose, M.F., F.A. Benson : Electrical methods of killing plants, J. agric

Engng Res., 30, 197- 209, 1984

13. **石原昴** : **西ドイツにおける防除技術の研究と應用**(1), **일본농업기계학회지**,49(1,2) 135- 139, 1987

14. **石原 昴** :**西ドイツにおける防除技術の研究と應用**(2), **일본농업기계학회지**,49(4) 395- 400, 1987

15. **松尾昌樹**, **內野敏剛**, **飯本光雄** : **コロナ帶電式**2**流體ノズルおよび直接帶電式回轉圓盤ノズルによる靜電撒布特性**(1), **일본농업기계학회지**, 49(1,2), 55- 61, 1987

16. **松尾昌樹**, **內野敏剛**, **飯本光雄** : **コロナ帶電式**2**流體ノズルおよび直接帶電式回轉圓盤ノズルによる靜電撒布特性**(2), **일본농업기계학회지**, 49(3), 169- 176, 1987

17. **松尾昌樹**, **內野敏剛**, **飯本光雄** : **コロナ帶電式**2**流體ノズルおよび直接帶電式回轉圓盤ノズルによる靜電撒布特性**(3), **일본농업기계학회지**, 49(4), 338- 344, 1987

제 4 분야	농림지 자원 기술개발

제 10 장 산림자원관리 기술개발

서울대학교 산림자원학과
연구책임자 : 이 경 준
연 구 원 : 한 심 희

第 1 節 緖 說

대기환경오염이 산림 쇠퇴에 미치는 영향은 오래 전부터 제기되어 왔으며 국내의 경우 삼림토양은 오염원을 중심으로 시간이 경과함에 따라 토양산성화가 계속 진행되고 있고, 토양중 알루미늄 농도는 토양 산성화와 함께 증가되고 있다고 보고되었다. 또한 일부 공단지역이나 도시림내에서의 삼림이 피해를 입거나 진행중인 것으로 알려져 있다.

대기오염과 산성우로 가장 심각하고 광범위하게 피해가 나타나는 지역은 산림지역으로, 산성우에 의한 삼림 토양의 산성화로 각종 무기염류들이 용탈되어 양분 부족을 유발시키므로서 수목의 생장을 저하시킨다(주 등 1994). 또한 토양 입자와 결합되어 있던 알루미늄이 치환성 알루미늄으로 변화되어 식물 체내에 흡수되어 알루미늄 독성을 일으켜 임목이 고사하게 된다. 이러한 현상은 넓은 면적에서 임목들이 대량으로 고사되어, 삼림을 황폐시키며, 동시에 산성화된 삼림 토양으로부터 알루미늄과 같은 금속이온들을 용탈시켜 하천과 호수를 오염시키므로서 각종 수처 곤충들과 어류들을 감종시키고 있다. 북구와 구미에서는 수천개 호소의 어류가 이미 완전 멸종되었으며 피해 수가 더욱 증가하고 있다.

국내의 경우, 경제 성장 위주의 정책으로 급속한 산업 발달을 이루어 왔으며, 국민의 생활 수준이 향상되면서 생계에 대한 욕구보다 휴양과 여가의 활용에 대한 욕구가 증가되었다. 이러한 욕구는 자동차의 이용을 증가시키므로써 산성우의 원인 물질 중의 하나인 질소산화물의 방출량이 증가되는 원인이 되었다. 또한 중국의 경우, 자국의 경제성장을 위해 저가의 원료인 석탄을 주로 사용하고 있어 다량으로 발생되는 황산화물이 지리적으로 편서풍의 영향을 받고 있는 한국과 일본에 상당한 피해를 주고 있는 것으로 보고되고 있다(조하만 등, 1992).

따라서 본 연구는 대기오염물질 및 산성우에 의해서 야기되는 문제점을 파악하기 위하여 다음과 같은 두가지 측면에서 접근하고자 한다. 하나는 산림 파괴의 주범인 대기오염의 현황을 파악하여 그들이 삼림의 양료동태 및 수목의 생장에 미치는 영향을 조사하므로서 대기오염 및 산성우에 의한 향후 피해 가능성을 예측하는 것이고, 다른 하나는 대기오염과 산성우의 영향으로 수목에서 유출되는 양료 용탈 정도, 용탈된 양료들이 주변환경에 미칠 수 있는 피해를 예측하는 것이다.

산성우와 대기오염물질의 영향으로 수목으로 부터 용탈된 양료가 토양으로 부터 재 흡수되어 보충되지 않는다면 수목에 치명적인 손상을 입히게 된다. 그러나 산성화된 토양에서는 많은 량의 양료 유실로 양료의 재 흡수가 어렵다. 따라서 토양의 산성화와 수목에서의 양료 용탈의 관계를 구명할 필요가 있다. 즉 토양 산성화에 영향을 미치는 인자 중의 하나인 수간류의 특성이 토양 양료 분포에 어떤 영향을 미치고, 수종에 따라 토양의 산성화에 기여하는 정도를 밝히고자 한다.

본 연구의 결과는 대기 오염 및 산성우에 의한 산림의 파괴의 가능성을 예측하여 향후 문제 발생시의 대책을 마련하기 위한 기초 자료를 제공할 수 있으며, 또한 농업의 기본 환경을 구성하는 적절한 삼림의 환경 조건을 제시하여, 보다 안전한 환경 농업 기술 설계에 기여할 것으로 본다.

第 2 節 材料 및 方法

1. 시험유역의 개황

본 시험 유역은 경기도 산림환경연구소의 반월시험지로 시험 유역의 북쪽은 안양시, 남쪽은 군포시, 서쪽은 안산시와 접하고 있다. 이 지역은 개발제한구역으로 산림과 농경지의 훼손이 적고, 자연부락이 산재되어있는 전형적인 농촌 유역으로 95% 이상이 산림지로 구성되어 있다. 제 1 유역 산림지는 대야미역 주변의 주택가를 중심으로 해서 서북방향에 위치하고 있으며 경사도는 13 - 20o 이었고, 제 2 유역 산림지는 갈치저수지를 동쪽, 북쪽, 서쪽방면에서 둘러싸고 있는 지역으로서 경사도는 7 - 17o 이었다. 제 3 유역 산림지는 수리산(474.8m)의 남쪽으로 위치한 반월면 속달리와 둔대리를 둘러싸고 있으며 경사도는 30 - 40c로 급경사였다. 이 지역은 95% 이상이 산림지로 구성되어 있다. 조사구의 1993년 4월 - 1993년 9월의 강우량은 6월 29일의 8.0mm에서 7월 29일 117.5mm의 범위를 보였으며 평균 강우량은 40.1mm 이었다(김, 1995).

2. 식생조사

본 연구를 수행하기 위해서 1995년 4월 28일과 5월 1일 2차에 걸쳐 현지 답사를 하였다. 식생조사를 위해서 각 유역별 조사구에 4곳씩 총 12개의 방형구(10m × 10m)을 설치하였으며, 방형구 설치는 가능한 천연림을 대상으로 하기 위해 경기도 산림환경연구소에서 식재한 낙엽송, 잣나무, 리기테다소나무, 밤나무 시험지는 피했으며 방위와 고도를 고려하였다.

조사내용은 먼저 방형구내의 방위 사면, 토양 산도, 낙엽층의 두께등을 조사했고 식생조사는 수고를 중심으로 해서 5m이상은 상층교목, 5m이하는 하층교목으로 구분하였으며, 상층교목은 각 유역별 10m × 10m의 방형구 4곳을 설치하여 수종, 개체수, 수고, 흉고직경, 피도를 조사하였고 하층교목은 5m × 5m의 방형구를 설치하여 수종, 개체수, 수고, 흉고직경, 피도를 조사하였다. 식생조사는 1995년 5월 27일부터 6월 3일까

지 실시하였다.

각 조사구의 식생조사 결과로 얻어진 자료를 이용하여 각 유역별 수종에 대한 상대밀도, 상대빈도, 상대 피도를 계산하여, 종의 상대적인 중요도를 나타내는 측도로써 Curtis와 McIntosh(1951)의 상대우점치(importance value, IV)를 계산하였다.

3. 산림내 대기오염 현황조사

본 시험지역내에서의 대기오염 현황을 조사하기 위하여 다음과 같이 측정 기구를 설치하였다. 산성우의 측정을 위해서는 1995년과 동일한 방법으로 시험 유역내의 민가를 선정하여 산성우분취기(HORIBA, 일본) 2대를 설치한 후 매 강우시마다 시료를 채취하였고, 강우의 pH, Ca, K, Na, Mg 농도를 측정하여 계절별 추이 및 시간에 따른 산성우의 특성 에 대한 변화 추이를 분석하였다.

SO_2, NOx, NO, O3 등을 산성우와 동일한 방법으로 시험 유역내의 민가를 선정하여 대기오염측정기기(Dasibi, 미국)를 설치한 후 대기오염의 농도를 측정하였다.

수목활력도는 Shigometer(Osmose, 미국)를 이용하여 선정된 공시수종을 대상으로 형성층 전기저항도를 측정하여 수종간 특성을 비교하였다.

4. 입지 환경 조사

가. 무기염 동태

대기오염물질에 의한 무기염의 동태에 미치는 영향을 알아보기 위하여 다음과 같이 공시수종을 선정하였다. 본 시험 유역에서 선정된 공시 수종은 리기다소나무(Pinus rigida M.), 신갈나무(Quercus mongolica F.), 물오리나무(Alnus hirusta (Spach) R.), 튤립나무(Liriodendron tulipifera L.)로 하였으며, 각 수종을 직경이 15cm미만과 15cm 이상으로 구분하여 각 수종별로 5개체씩 총 35개체를 선정하였다. 선정된 대상수종은 각각 수종, 직경, 수고, 수관폭, 경사도, 방향 등을 조사하였으며 표 1과 같이 나타내었다.

Table 1. General characteristics of tree species in Banweol site

Species	Grade	Diameter (cm)	Height (m)	Coverage (cm)	Slope (°)	Direction
Pinus rigida M.	< 15cm	11.7	8.3	160	20	SE
	15cm ≤	19.5	10.4	190	14	SE
Alnus hirusta (Spach) R.	< 15cm	12.6	9.0	128	20	SE
	15cm ≤	23.5	10.8	248	14	SE
Quercus mongolica F.	< 15cm	11.1	8.6	198	8	S
	15cm ≤	24.4	9.3	530	16	SE
Liriodendron tulipifera L.	15cm ≤	34.5	14.4	394	5	SW

나. 수관통과류, 수간류의 측정

수관통과류는 대상지내의 각 수종의 수관 하부에 직경 8cm, 높이 20cm의 폴리에틸렌 병을 지상부에서 70cm 높이에 설치하고 상부에는 깔대기를 설치한 후 탈지면으로 이물질의 유입을 막아 강우시 수관통과류를 채취하였다. 시료 채취 후 수기는 증류수로 세척하여 오염을 방지하였다. 채취된 시료는 강우와 동일한 방법으로 pH, Ca, K, Na, Mg을 측정하였다.

수간류는 일본삼림총합연구소 동북지소에서 실시한 면체망체법을 이용하였다(佐々朋幸 등, 1991). 이 방법은 수간을 타고 흘러내리는 수간류를 가제로 흡수시켜 채취하는 방법으로 공시수종에 상처를 주지 않은 상태에서 시료 채취가 가능하다. 수간류는 초기 강우로 발생된 수간류와 지속적으로 발생된 수간류로 구분하기 위하여 초기 수간류와 후속 수간류로 분리하여 채취하였다. 시료 채취 후 수기는 증류수로 세척하고, 가제를 교환하여 오염을 방지하였다. 채취된 시료는 강우와 동일한 방법으로 pH, Ca, K, Na, Mg의 농도를 측정하였다.

5. 토양조사

가. 토양 특성 조사

토양 시료는 각 공시수종의 수간을 중심으로 10, 100, 200cm 거리에서 유기물층을

제거한 후, A층의 토양을 0 15cm, 15 30cm로 구분하여 채취하였다. 채취된 시료는 즉시 수분율과 유기물함량을 측정하고, 토양을 풍건시킨 후 pH, 양이온치환능력, 치환성양이온(Ca, K, Na, Mg)을 측정하였다(Carter, 1993).

나. 토양 개량 시험

토양개량시험을 위해 토양산성화가 심한 제1유역에 소석회를 구입하여 처리하였다. 석회 시용량은 '95년 토양 분석 결과를 토대로 하여 pH 6.0이상으로 증가시킬 수 있는 량(약 2.0t/ha)을 결정하여 10m × 20m의 면적에 처리하였다. 석회가 처리된 지역의 토양의 특성 변화를 조사하기 위하여 '96년 8월, '97년 4월, 97년 8월에 각각 석회 처리 지역의 토양의 시료를 채취할 예정이다.

第 3 節 結果 및 考察

1. 식생조사

조사구내에서의 총 출현 종수는 32종이었으며 상층교목에서는 17종이, 하층교목에서는 29종이 출현하였다. 각 유역별 특성을 보면 다음과 같다.

제 1 유역 에서의 상층교목의 평균 수고는 8.2 - 9.7m, 평균 흉고직경은 9.7 - 14.0cm, 울폐도는 210 - 305% 이었으며 교목의 총 출현 종수는 7 - 9종 이었다(표 2). 상층교목의 주요 수종(IV >10)으로는 리기다소나무, 신갈나무, 아까시나무, 물오리나무가 있었으며 각각의 상대우점치(importance value, IV)는 34.9%, 14.1%, 12.5%, 15.9% 이었고(표 8), 직경 10cm이상의 리기다소나무가 대부분을 차지하고 있었으나 치수목은 발견되지 않았다(표 5). 하층교목에서의 주요 수종으로는 신갈나무와 진달래로 각각의 상대우점치는 31.5%, 16.8% 이었으며(표 8) 대부분이 직경 3cm이하였으며 중간정도의 직경(6-9cm)을 가진 수종으로는 아까시나무와 산벚나무, 물오리나무가 있었다(표 5). 위의 결과로 볼 때 제 1 유역은 리기다소나무가 조림된 후 그대로 방치되어 신갈나무, 아까시나무, 물오리나무등이 함께 혼효림을 이루고 있는 것으로 판단된다.

제 2 유역에서의 상층교목의 평균 수고는 6.8 - 8.0m, 평균 흉고직경은 9.1 - 12.5cm, 울폐도는 127 - 342% 이었으며 교목의 총 출현 종수는 6 - 9종이었다(표 3). 상층교목의 주요 수종(IV >10)으로는 갈참나무, 상수리나무, 아까시나무가 있었으며 각각의 상대우점치(importance value, IV)는 13.8%, 26.6%, 21.5% 이었고(표 8), 하층교목의 주요 수종으로는 갈참나무와 졸참나무로 각각의 상대우점치는 21.2%, 15.9% 이었다(표 9). 제 2 유역내에서는 참나무류인 상수리나무, 갈참나무, 졸참나무, 신갈나무와 아까시나무가 대부분의 산림을 구성하고 있었으며 리기다소나무는 하나의 방형구에서만 나타났다(표 6) .

제 3 유역에서의 상층교목의 평균 수고는 6.8 - 10.2m, 평균 흉고직경은 6.9 - 11.0cm, 울폐도는 177 - 242% 이었으며 교목의 총 출현 종수는 6 - 11종 이었다(표 4). 상층 교목의 주요 수종(IV >10)으로는 굴참나무, 소나무, 신갈나무가 있었으며 각

각의 상대우점치(importance value, IV)는 24.1%, 14.6%, 16.7% 이었고(표 8), 하층교목의 주요 수종으로는 고광나무, 신갈나무, 진달래로 각각의 상대우점치는 19.5%, 11.1%, 10.9% 이었다(표 9). 제 3 유역도 제 2 유역과 마찬가지로 참나무류인 굴참나무, 신갈나무가 대부분의 산림을 구성하고 있었으며 소나무는 하나의 방형구에서만 출현하였다. 소나무가 출현한 방형구에서는 소나무와 유사한 직경을 가진 굴참나무가 많이 나타났다(표 7). 특히 제 3 유역에서는 다른 유역과는 달리 하층 교목으로 고광나무, 팥배나무, 난티개암나무, 생강나무등이 다수 출현하였으나 대부분 직경이 매우 작은 것으로 나타났다.

Table 2. Description of physical features and the stratum of each plot in # 1 Banwol watershed

Plot Number	1-1	1-2	1-3	1-4
Aspect	SW	E	SE	E
Slope(c)	15	17	20	13
Height of tree layer(m)	9.1	8.2	9.1	9.7
Mean DBH of tree layer(cm)	12.2	9.7	9.9	14.0
Cover of tree layer(%)	210	278	305	227
Height of subtree layer(m)	1.5	1.8	2.2	1.5
Mean DBH of subtree layer(cm)	1.32	2.1	1.6	1.3
Cover of subtree layer(%)	133	164	88	241
Number of woody species	9	8	8	7

Table 3. Description of physical features and the stratum of each plot in # 2

Banwol watershed

Plot Number	2-1	2-2	2-3	2-4
Aspect	S	E	SW	W
Slope(c)	17	17	7	8
Height of tree layer(m)	6.8	7.2	7.2	8.0
Mean DBH of tree layer(cm)	10.0	12.5	9.7	9.1
Cover of tree layer(%)	342	127	223	157
Height of subtree layer(m)	1.8	1.7	2.3	1.8
Mean DBH of subtree layer(cm)	2.3	1.9	2.2	1.6
Cover of subtree layer(%)	220	184	124	186
Number of woody species	6	8	9	9

Table 4. Description of physical features and the stratum of each plot in # 3 Banwol watershed

Plot Number	3-1	3-2	3-3	3-4
Aspect	E	W	SW	N
Slope(c)	30	40	32	35
Height of tree layer(m)	6.8	10.2	10.1	9.7
Mean DBH of tree layer(cm)	6.9	8.6	9.7	11.0
Cover of tree layer(%)	177	205	242	195
Height of subtree layer(m)	1.8	1.3	1.1	1.0
Mean DBH of subtree layer(cm)	1.6	1.2	1.2	1.1
Cover of subtree layer(%)	146	86	117	28
Number of woody species	7	6	10	11

Table 5. Frequency distribution by DBH of major tree species(importance value :IV >10) in # 1 Banweol watershed (unit : No.)

Species / DBH(cm)	<3	3≤ <6	6≤ <9	9≤ <12	12≤ <15	15≤ <18	18≤ <21	21≤ <24	24≤ <27	27≤ <30
Pinus rigida	-	1	4	5	15	7	2	2	-	1
Quercus mongolica	32	4	1	1	1	3	-	-	-	-
Robinia pseudoacacia	6	6	6	2	-	-	-	-	-	-
Alnus japonica	-	2	1	1	4	1	1	-	1	-

Table 6. Frequency distribution by DBH of major tree species(importance value : IV >10) in # 2 Banwol watershed (unit : No.)

Species / DBH(cm)	<3	3≤ <6	6≤ <9	9≤ <12	12≤ <15	15≤ <18	18≤ <21	21≤ <24	24≤ <27	27≤ <30
Quercus aliena	15	7	2	1	1	-	-	-	-	-
Quercus acutissima	4	3	4	3	4	-	1	1	-	-
Robinia pseudoacacia	5	6	6	1	5	2	-	-	-	-
Quercus serrata	9	4	-	-	-	-	-	-	-	-
Pinus rigida	-	-	-	2	3	3	-	-	-	-

Table 7. Frequency distribution by DBH of major tree species(importance value : IV > 10) in # 3 Banwol watershed (unit:No.)

Species / DBH(cm)	<3	3≤ <6	6≤ <9	9≤ <12	12≤ <15	15≤ <18	18≤ <21	21≤ <24	24≤ <27	27≤ <30
Philadelphus schrenkii	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quercus variabilis	1	5	12	4	3	1	1	-	-	-
Pinus densiflora	2	8	8	2	-	-	-	-	-	-
Quercus mongolica	6	3	5	5	5	-	-	-	-	-
Rhododendron mucronulatum	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Table 8. Important value of all overstory tree species in three watersheds in Banweol (unit : %)

Species	Korean name	#1 watershed	#2 watershed	#3 watershed
Quercus aliena	갈참나무	5.5	13.8	3.7
Quercus variabilis	굴참나무	-	4.6	24.1
Juniperus rigida	노간주	-	3.7	-
Acer palmatum	단풍나무	-	-	3.1
Styrax japonicus	때죽나무	-	-	5.7
Pinus rigida	리기다소나무	34.9	8.0	-
Castanea crenata	밤나무	3.1	8.5	8.1
Prunus leveilleana	산벚나무	7.2	2.7	9.9
Quercus acutissima	상수리나무	-	26.6	-
Carpinus cordiata	까치박달나무	-	-	3.6
Pinus densiflora	소나무	4.6	-	14.6
Quercus mongolica	신갈나무	14.1	8.1	16.7
Robinia pseudoacacia	아까시나무	12.5	21.5	-
Alnus hirusta	물오리나무	15.9	2.6	-
Rhus verniciflua	옻나무	-	-	3.5
Quercus serrata	졸참나무	2.4	-	-
Sorbus alnifolia	팥배나무	-	-	6.8

Table 9. Important value of all understory tree species in three watersheds in Banwol (unit : %)

Species	Korean name	#1 watershed	#2 watershed	#3 watershed
Quercus aliena	갈참나무	7.4	21.2	5.7
Philadelphus schrenkii	고광나무	2.6	-	19.5
Quercus variabilis	굴참나무	-	-	2.0
Corylus Heterophylla	난티개암나무	-	4.8	8.5
Juniperus rigida	노간주나무	-	2.2	-
Symplocos chinensis for. pilosa	노린재나무	-	-	4.1
Zelkova serrata	느티나무	-	2.0	1.7
Acer palmatum	단풍나무	-	-	3.2
Sambucus williamsii var. coreana	딱총나무	-	1.7	-
Styrax japonicus	때죽나무	-	-	4.3
Quercus dentata	떡갈나무	-	-	6.9
Castanea crenata	밤나무	9.3	3.1	-
Eleagnus umbellata	보리수나무	-	4.0	-
Rhus chinensis	붉나무	-	3.3	-
Prunus sargentii	산벚나무	5.9	-	1.8
Zanthoxylum schinifolium	산초나무	-	1.6	-
Quercus acutissima	상수리나무	3.5	8.0	-
Lindera obtusiloba	생강나무	-	2.9	4.9
Pinus densiflora	소나무	-	-	3.0
Quercus mongolica	신갈나무	31.5	2.4	11.1
Lespedeza bicolor	싸리나무	-	1.7	2.2
Robinia pseudoacacia	아까시나무	9.4	6.4	-
Rhus verniciflua	옻나무	6.0	-	2.1
Pinus koraiensis	잣나무	-	1.6	-
Quercus serrata	졸참나무	3.8	15.9	-
Rhododendron mucronulatum	진달래	16.8	9.8	10.9
Rosa multiflora	찔레꽃	-	4.4	-
Smilax china	청미래덩굴	1.9	3.3	-
Sorbus alnifolia	팥배나무	2.0	-	8.2

2. 대기오염 현황조사

가. 시험유역의 강우 특성

본 시험 유역에서 강우 시료는 1996년 5월부터 9월까지 총 14회에 걸쳐 채취되었다. 강우의 평균 pH는 4.56이었고, 최대치는 6.73, 최소치는 2.93이었다. 강우의 pH의 범위별 출현빈도는 3.5이하가 6.78%, 3.5 4.0이 21.2%, 4.0 4.5가 17.0%, 4.5 5.0이 10.2%, 5.0 5.5가 15.3%, 5.5 6.0이 17.8%, 6.0 6.5가 6.8%, 6.5이상이 5.08%이었으며, pH 5.6이하의 산성우가 차지하는 비율은 73.7%로 나타났다. 이 결과는 '1995년에 측정된 결과인 평균 pH 5.41과 5.6이하의 산성우가 차지하는 비율인 63.9%보다 매우 낮은 수준이었다. 이러한 결과는 본 시험 유역이 도심에서 상당한 거리에 위치했음에도 불구하고 산성우의 영향을 받고 있다는 것을 보여주고 있으며, 주변 도로에 교통량이 증가하고, 시험 유역을 둘러싸고 있는 도시들과 공단지역, 또는 중국에서의 오염물질이 유입되어 영향을 미치는 것으로 판단된다.

강우의 계절별 특성은 표 10에 나타난 바와 같이 5월부터 7월초까지는 4.60에서 6.21의 비교적 높은 경향을 보이나 7월 중순이후 부터는 4.6이하의 매우 낮은 수준을 보여주며 9월 이후 다시 약간의 상승을 보여주고 있다. 이러한 특성은 강우 중에 함유되어 있는 이온의 농도와 유사한 경향을 보이는데, 5월부터 6월까지의 이온 농도는 높고, 7월, 8월에는 낮으며, 9월에 다시 높은 수준을 보여준다. 강우 내에 함유되어 있는 Ca, K, Na, Mg의 평균 농도는 각각 68.2, 43.3, 52.6, 12.2μequiv./L이었으며, Ca > Na > K > Mg의 순으로 나타났다.

강우의 시간 경과에 따른 변화는 표 11에 나타난 것과 같이 강우 초기인 1mm까지는 pH가 5.03으로 높게 나타났다가 2mm이후에는 5.0이하로 대부분이 산성우를 나타내고 있다. 이러한 결과는 공기 중의 분진 중에 함유되어 있던 Ca, K, Na, Mg 등의 물질이 강우에 씻겨 내려와 초기에 133.4, 61.7, 99.1, 27.7μequiv./L의 높은 농도를 보였으나 시간이 경과됨에 따라 강우와 함께 제거되어 pH가 점차 하락되고 있는 것으로 보인다.

Table 10. Average pH and cation concentrations in precipitation (Unit : μequiv./L)

Date	pH	Ca	K	Na	Mg
May 8	5.50	195.4	196.5	243.9	26.4
Jun. 11	4.60	18.3	29.3	6.3	3.7
Jun. 18	5.05	65.8	36.8	22.6	14.6
Jun. 26	6.21	44.9	45.2	41.5	10.0
Jun. 30	4.85	21.1	33.2	51.4	4.2
Jul. 5	5.23	25.4	27.1	26.1	7.7
Jul. 16	4.55	28.3	22.8	26.3	8.0
Jul. 22	4.44	18.2	16.8	20.7	6.8
Aug. 23	4.51	78.2	55.2	109.8	21.2
Aug. 29	3.89	17.8	21.8	30.0	7.3
Aug. 31	3.39	24.3	27.0	37.0	3.8
Sep. 6	3.35	200.8	50.1	69.4	35.0
Sep. 10	4.29	103.9	18.4	29.3	13.4
Sep. 19	3.61	112.6	26.0	22.3	9.1
Average	4.56	68.2	43.3	52.6	12.2

Table 11. Changes pH and cation concentrations in precipitation depended upon time course.(Unit : μequiv./L)

Time course(mm)	pH	Ca	K	Na	Mg
1	5.03	133.4	61.7	99.1	27.7
2	4.78	50.7	27.2	24.9	9.0
3	4.71	44.7	32.8	23.8	8.4
4	4.58	34.7	29.4	26.9	7.0
5	4.73	29.2	27.6	16.3	4.6
6	4.78	27.0	33.3	45.7	4.7
7	4.42	24.9	22.3	10.0	2.7
8	4.90	26.9	23.7	44.7	5.7
9	4.53	23.6	22.5	8.5	5.2

나. 대기오염물질의 농도

대기오염물질 측정 결과는 표 12에 나타난 바와 같이 본 시험 유역은 O3, SO2의 농도는 매우 낮은 수치를 보여 주고 있으나, NO, NOx는 매우 높은 수치를 나타내고 있다. 특히 대기의 상태가 안정된 상태에 있는 새벽 시간에 농도가 매우 높게 나타났다. 이러한 결과는 주변 도로에 증가되고 있는 차량들에서 배출되는 질소산화물의 영향이 큰 것으로 판단된다.

Table 12. Average, minimum and maximum concentration of air pollutants in Banweol site (Unit : ppm)

Air pollutants	NO	NOx	SO2	O3
Average	0.026	0.063	0.016	0.010
Minimum	0.005	0.010	0.010	0.005
Maximum	0.161	0.225	0.027	0.015

다. 수목활력도

수목활력도는 모든 수종에서 직경이 큰 쪽에서 좋은 수준을 나타내고 있으며, 특히 튤립나무는 매우 좋은 활력을 보여주고 있으나 리기다소나무는 매우 낮은 활력을 보인다. 이러한 활력은 여름에 가장 높게 나타났다.

Table 13. Average cambium electrical resistance of four tree species (Unit : KΩ)

Species	Grade	May	July
Pinus rigida M.	< 15cm	24.2	17.1
	15cm ≤	16.7	11.0
Alnus hirusta (Spach) R.	< 15cm	11.3	8.8
	15cm ≤	9.0	6.8
Quercus mongolica F.	< 15cm	9.7	7.1
	15cm ≤	6.6	4.9
Liriodendron tulipifera L.	15cm ≤	4.1	2.7
Average	< 15cm	15.1	11.0
	15cm ≤	9.1	6.4

Note: Cambium electrical resistance shows negative correlation with tree vitality.

3. 수관통과류의 특성

가. 일반적인 특성

일반적으로 수관통과류의 질에 영향을 미치는 인자로는 강우량, 고도, 오염원의 거리, 임상, 임분 연령, 토양 비옥도 등이 있다. 그러나 본 시험 유역은 고도와 오염원의 거리가 동일하기 때문에 이를 제외한 다른 인자들에 의해 좌우된다고 볼 수 있다.

수관통과류의 평균 pH는 리기다소나무, 물오리나무, 신갈나무, 튤립나무에서 각각 5.11, 5.63, 5.50, 5.57이었다. 수종별 차이는 표 14에서와 같이 활엽수인 물오리나무, 신갈나무, 튤립나무간에는 큰 차이를 보이지 않았으나, 침엽수인 리기다소나무와는 차이를 보이고 있다. 일반적으로 침엽수에서 발생된 수관통과류는 동일지역의 활엽수보다 더 산성을 나타내는 것으로 보고되었다(Parker, 1982).

수관통과류에 함유된 양료의 농도는 K > Na > Ca > Mg의 순으로 나타났으며, 각 양료의 평균 농도는 Ca, K, Na, Mg이 각각 160.8, 258.8, 247.1, 46.8 μequiv./L 이었다. K은 표 2에서 보는 바와 같이 강우에서 유입되는 량이 적다. 그러나 수관통과류에서 K의 농도는 가장 높게 나타난다. 이것은 대부분의 K이 수관에서 용탈 되고 있음을 보여 준다. 수종별 양료 농도는 Ca의 경우, 튤립나무가 가장 낮은 수준의 보여주고 있

으며, 다른 3개 수종은 큰 차이가 없다. K, Mg의 경우, 물오리나무가 가장 높고, 튤립나무가 가장 낮으며, 리기다소나무와 신갈나무는 중간 정도로 수종간 차이를 보이고 있다. Na의 경우, 신갈나무가 가장 높으며, 다른 수종간에는 큰 차이를 보이지 않았다. 특히 튤립나무에서 모든 양료의 농도가 낮았다.

일반적으로 수관통과류의 질에 영향을 미치는 인자는 크게 두 가지로 볼 수 있다. 하나는 잎 표면에 축적된 건성 침적물의 량이며, 다른 하나는 잎이 가지고 있는 완충능력이다. 또한 강우량과 토양의 비옥도에도 영향을 받는다(Leininger과 Winner, 1988). 건성침적물은 잎 표면의 털의 유무에 따라 축적되는 량이 달라진다. 본 연구에 이용된 신갈나무와 물오리나무는 잎 표면에 털이 존재하기 때문에 축적되는 침적물의 량이 많으나, 잎 표면이 매끄러운 튤립나무나 리기다소나무는 침적물의 양이 적어 수관통과류에서의 양료가 적게 나타난다. 또한 잎 표면의 상태는 강우가 축적된 양료와의 이온교환을 통하여 중화되는데 요구되는 잔류 시간에 영향을 미치기 때문에 잎 표면에서의 이온 교환 시간이 짧은 리기다소나무와 튤립나무는 pH도 낮고, 양료의 농도도 낮다 (Cappellato 등,1993).

Table 14. Average pH and cation concentrations in throughfall from four tree species. (Unit : μequiv./L)

나. 수관통과류의 pH와 양료 농도의 계절 변이

Species	pH	Ca	K	Na	Mg
Pinus rigida M.	5.11b	153.6a	265.3ab	244.4ab	45.8b
Alnus hirusta (Spach) R.	5.63a	160.3a	310.7a	222.6b	58.7a
Quercus mongolica F.	5.50a	189.9a	241.5b	283.7a	44.3b
Liriodendron tulipifera L.	5.57a	116.4b	176.1c	227.6ab	29.1c
Average	5.44	160.8	258.8	247.1	46.8

수관통과류의 pH는 표 15에서 보는 바와 같이 모든 수종에서 계절별로 뚜렷한 차

이를 보였다. 수관통과류의 pH는 생장 초기인 5월부터 점차 감소하다가 9월에 다시 증가되는 경향을 보여 주었다. 수관통과류의 계절에 따른 pH의 감소는 표 11에서와 같이 강우의 pH와 매우 높은 상관을 나타낸다. 즉 수관통과류의 질은 주로 잎에 축적된 건성 강하물의 영향을 받기 때문에 강우량과 강우횟수가 많은 6월부터 8월에 잎에 축적된 건성강하물의 감소로 강우의 중화능력이 감소하여 강우의 pH에 따라 수관통과류의 pH가 좌우된다고 볼 수 있다.

수관통과류의 양료 농도는 Ca, Na, Mg의 경우, 생장 초기인 5월과 생장이 거의 끝나가는 9월에 높았으며, 생장이 가장 왕성한 7월에 가장 낮았다. 그러나 K의 경우는 생장이 진행되면서 그 농도가 점점 높아졌다. 일반적으로 K은 수관통과류에서 가장 높은 농도를 차지하나 강우에서 유입되는 량은 적다. 또한 이동성이 높은 K은 잎에서 잔류되는 시간이 짧기 때문에 용탈이 쉽게 일어난다. 따라서 수목의 생장이 지속되면서 잎에 축적된 K의 농도는 점차 증가하게 되며 용탈량도 증가하게 된다. 대부분의 수종에서 양료 농도가 5월에 높은 것은 표 2에서와 같이 강우에 포함된 양료의 농도가 높기 때문이다. 또한 9월에 수관통과류의 양료의 농도가 높았던 것은 생장이 종결됨에 따라 잎의 각피층이 노화되어 양료의 용탈에 영향을 주었을 것으로 판단된. 그러나 생장이 왕성한 7월에는 강우량의 증가로 잎 표면에 잔류하던 건성침적물 세척되어 잎 표면에서의 중화능력이 떨어지므로써 양료의 용탈이 감소된 것으로 보인다.

4. 수간류의 특성

수간류의 평균 pH는 표 16과 같이 수종에 따라 큰 차이를 보여 주었다. 평균 pH는 튤립나무 > 신갈나무 > 물오리나무 > 리기다소나무의 순서이며, 평균 pH는 각각 5.38, 4.93, 4.79, 3.73이었다. 일반적으로 수간류의 pH는 수관통과류보다 낮게 나타나는 것은 즐기를 타고 흐르면서 유입되는 유기산의 영향 때문이다(Edmonds 등, 1991). 그러나 중화작용과 완충작용에 따른 영향도 크다.

Table 16. Average pH and cation concentrations in stemflow from four tree species (Unit : μequiv./L)

Note: Means with different letter differ significantly at $p \le 0.05$.

The letters a, b and c compare species means.

Species	pH	Ca	K	Na	Mg
Pinus rigida M.	3.73d	286.4b	463.0c	381.4a	130.0c
Alnus hirusta (Spach) R.	4.79c	290.1b	621.1b	306.0c	159.5b
Quercus mongolica F.	4.93b	322.3b	637.9b	343.2b	157.9b
Liriodendron tulipifera L.	5.38a	559.0a	2160.8a	401.7a	266.8a

수간류의 양료 농도는 K > Ca > Na > Mg의 순으로 이동성이 강한 K이 가장 높은 농도를 차지하고 있었다. Ca의 농도는 튤립나무에서 가장 높은 556.0μequiv./L를 보였으며, 신갈나무, 물오리나무, 리기다소나무는 각각 322.3, 290.1, 286.4μequiv./L 이었다. K의 경우, 튤립나무가 가장 높은 2160.8μequiv./L이고, 신갈나무와 물오리나무가 각각 637.9, 621.1μequiv./L이고, 리기다소나무가 가장 낮은 463.0μequiv./L이었으며 다른 양료에 비해 상당히 높게 나타났다. Na의 경우는 튤립나무와 리기다소나무가 각각 401.7μequiv./L, 381.4μequiv./L 이었고, 신갈나무가 343.2μequiv./L, 물오리나무가 306.0μequiv./L로 낮은 수준을 보여 주었다. Mg의 경우는 튤립나무가 266.8μequiv./L로 가장 높았고, 물오리나무와 신갈나무가 각각 159.5, 157.9μequiv./L, 리기다소나무가 130.0μequiv./L로 가장 낮은 농도를 보여 주었다. 위와 같이 모든 양료의 농도는 튤립나무에서 가장 높게 나타나고, 리기다소나무에서 낮게 나타났다. 따라서 리기다소나무는 토양의 산성화에 기여하는 수종으로 볼 수 있으며, 완충능력이 부족하기 때문에 리기다소나무에서 발생되는 수간류에 노출된 토양은 산성화가 지속될 것으로 판단된다.

수간류는 발생 당시의 시간이 경과함에 따라 수간에 축적되어 있던 분진이나 이물질이 세척되어 초기 발생시와 시간이 경과된 후에 특성이 다르기 때문에 초기류와 후

속류로 구분되어 연구될 필요가 있다. 수간류의 pH와 양료 농도는 표 17에 나타난 것과 같이 Ca과 Na 농도에서 유의차를 보여주고 있으나, pH, K, Mg에서는 초기류와 후속류간 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 양료 농도는 초기류에서 모두 높았다. 즉 초기 수간류는 줄기나 가지에 축적되었던 물질에 의해 영향을 받아 pH와 양료 농도가 증가하지만 강우가 지속되면서 축적된 물질이 수간류에 씻겨 내려가 점차 감소하게 된다. 초기 수간류의 발생량은 비교적 적기 때문에 단위 부피당 농도가 증가하며 후속 수간류는 희석되어 농도가 낮아진다. 따라서 후속 수간류의 pH와 양료 농도는 초기 수간류보다 낮게 나타난다.

Table 17.Comparison of pH and cation concentrations in initial flush(I) and subsequent flow (S) of stemflow from four tree species. (Unit : μequiv./L)

Species	Time	Characteristics				
		pH	Ca	K	Na	Mg
Pinus rigida M.	I	3.85a	335.3a	481.1a	405.4a	136.8a
	S	3.76a	322.9a	434.0a	378.7a	130.3a
Alnus hirusta (Spach) R.	I	4.83a	325.1a	659.1a	329.8a	168.5a
	S	4.76a	296.3a	624.7a	325.3a	156.5a
Quercus mongolica F.	I	4.90a	338.6a	564.2b	374.3a	158.2a
	S	5.02a	315.1a	737.3a	346.9a	156.7a
Liriodendron tulipifera L.	I	5.39a	593.4a	2278.1a	428.1a	270.8a
	S	5.37a	572.1a	2107.8a	399.8a	261.2a
Average	I	4.65a	356.8a	870.1a	364.2a	172.3a
	S	4.66a	323.8b	801.6a	338.0b	164.5a

Note: Means with different letter differ significantly at $p \leq 0.05$. The letter a and b compare time means. I: initial flush of stemflow, S: subsequent flow of stemflow

수간류의 pH와 양료 농도에 대한 계절 변이는 표 18에서 나타난 바와 같다. 대부분의 수종은 수간류의 pH가 5월부터 7월까지 점차 감소하다가 8월에 높았다. 그러나 튤립나무는 5월부터 8월까지 지속적으로 증가하다가 다른 수종과 마찬가지로 9월에 감소한다.

수간류의 pH는 앞에서도 언급한 바와 같이 강우의 pH의 영향보다 잎에서 발생되는 중화작용과 완충작용에 더 많은 영향을 받는다. 그러나 튤립나무와 같이 중화능력이 우수한 수종은 강우의 pH에 영향을 거의 받지 않아 8월까지 지속적으로 pH가 증가한다. 모든 수종에서 9월에 pH가 하락하는데 이것은 잎과 줄기가 노화되면서 수간류에 유입되는 유기산의 증가 때문인 것으로 판단된다.

수간류의 Ca, Na, Mg의 농도는 7월에 가장 낮은데 이것은 수관통과류와 같이 잎에 축적된 건성침적물의 량이 강우량의 증가와 강우 횟수의 증가로 감소되어 잎 표면에서의 중화능력이 감소되었기 때문이다. 그러나 건성 침적물에서 유입되는 량이 적은 수간류의 K의 농도는 생장이 지속됨에 따라 용탈이 증가되어 농도가 높아진다. 특히 이러한 경향은 튤립나무에서 뚜렷하게 나타났다.

Table 18. Seasonal variation of pH and cation concentrations in stemflow from four tree species. (Unit : μequiv./L)

Characteristics	Speceis	Months				
		May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.
pH	*Pinus rigida* M.	5.15	3.61	3.53	4.29	3.22
	Alnus hirusta (Spach) R.	5.05	4.71	4.49	5.47	4.26
	Quercus mongolica F.	5.17	4.88	4.85	5.31	4.48
	Liriodendron tulipifera L.	5.02	5.29	5.59	5.82	4.90
	Average	5.10	4.62	4.62	5.22	4.22
Ca	*Pinus rigida* M.	505.5	283.1	156.3	424.8	794.6
	Alnus hirusta (Spach) R.	388.2	271.8	179.9	365.8	530.0
	Quercus mongolica F.	500.8	263.2	222.2	421.9	386.7
	Liriodendron tulipifera L.	962.9	476.2	264.7	794.8	778.8
	Average	589.4	323.6	205.8	501.8	622.5
K	*Pinus rigida* M.	174.0	488.6	381.7	479.6	582.3
	Alnus hirusta (Spach) R.	584.8	645.9	629.0	636.1	752.9
	Quercus mongolica F.	702.1	601.7	631.8	806.0	490.3
	Liriodendron tulipifera L.	997.0	1664.5	2531.5	3767.9	2533.0
	Average	614.5	850.2	1043.5	1422.4	1089.7
Na	*Pinus rigida* M.	-	315.3	319.5	584.4	369.1
	Alnus hirusta (Spach) R.	752.1	214.2	175.8	446.6	249.8
	Quercus mongolica F.	689.0	188.0	288.1	539.7	253.2
	Liriodendron tulipifera L.	708.9	241.6	377.2	569.3	312.9
	Average	716.7	239.8	290.2	535.0	296.3
Mg	*Pinus rigida* M.	169.8	157.4	55.2	152.7	224.7
	Alnus hirusta (Spach) R.	171.0	171.9	92.8	183.2	244.8
	Quercus mongolica F.	199.1	143.9	120.1	204.7	145.9
	Liriodendron tulipifera L.	266.0	307.1	230.3	263.5	213.8
	Average	201.5	195.1	124.6	201.0	207.3

5. 강우의 pH와 수관통과류, 수간류의 양료 농도와의 관계

강우의 pH에 따른 수관통과류와 수간류의 상관 관계는 표 19에서와 같이 강우의 pH가 낮을수록 양료의 용탈이 심하게 일어나는 것을 볼 수 있다.

특히 수관통과류의 pH는 강우의 pH와 매우 높은 상관을 보여 주고 있으나 수간류의 pH는 강우의 pH와 전혀 상관을 보이지 않는다. 그러나 수관통과류와 수간류의 양료농도는 모두 강우 pH와 부의 상관을 보이고 있어 강우의 조건에 따라 용탈량이 변화됨을 보여준다. 특히 이러한 경향은 수간류에서 뚜렷하게 나타난다. 즉 강우의 pH가 하락하면 양료의 용탈이 증가된다.

Table 19. Multiple correlation coefficients between pH in precipitation and cation concentrations in throughfall and stemflow from four tree species

Species	Throughfall					Stemflow				
	pH	Ca	K	Na	Mg	pH	Ca	K	Na	Mg
Pinus rigida M.	0.76***	0.13	- 0.16	0.23	0.06	0.07	- 0.31	- 0.34	0.03	- 0.15
Alnus hirusta (Spach) R.	0.67***	- 0.38*	- 0.43*	- 0.04	- 0.52**	0.15	- 0.27	0.08	0.12	0.57**
Quercus mongolica F.	0.65***	- 0.37*	- 0.41*	0.18	- 0.33	0.25	- 0.57***	- 0.52**	- 0.06	- 0.16
Liriodendron tulipifera L.	0.75***	- 0.29	- 0.28	0.15	- 0.25	0.21	- 0.54*	- 0.69**	0.11	- 0.23

Note: *, ** and *** indicate significant level at 0.1, 0.05 and 0.01, respectively

6. 토양

가. 수종별 토양의 특성 차이

산림 식생의 천연 분포는 지역 조건에 의해 결정되나, 수목은 오랫동안 생존하면서 토양의 특성에 영향을 준다. 수종별 토양의 특성은 표 20에 나타난 것과 같다. 튤립나무, 신갈나무, 물오리나무, 리기다소나무의 평균 pH는 각각 4.30, 4.23, 4.03, 4.02로 튤립나무가 가장 높았으며, 물오리나무와 리기다소나무는 낮았다. 토양에서의 양료 농도는 Ca의 경우, 튤립나무, 신갈나무, 물오리나무, 리기다소나무의 순으로 pH와 동일한

경향을 보여주며, 각각의 농도는 0.69. 0.45, 0.29, 0.23 mequiv./100g으로 튤립나무에서 높았다. K의 경우도 마찬가지로 튤립나무, 신갈나무, 물오리나무, 리기다소나무의 순으로 각각의 농도는 0.42, 0.25, 0.24 0.12 mequiv./100g이며, 튤립나무가 다른 수종의 2배 정도 높은 함량을 보이고, 리기다소나무는 매우 낮은 함량을 보여준다. Na의 경우, 수종 차이가 크지 않으나 각각의 함량은 튤립나무, 신갈나무, 신갈나무, 리기다소나무의 농도가 각각 0.13, 0.12, 0.12, 0.11 mequiv./100g로 다른 이온들과 비슷한 경향을 가진다. Mg의 경우, 튤립나무, 신갈나무, 물오리나무, 리기다소나무의 순으로 각각의 농도는 0.51, 0.27, 0.24, 0.18 mequiv./100g로 튤립나무에서 가장 높은 함량을 나타낸다. 이와 같이 모든 양료의 농도가 튤립나무에서 높게 나타나고, 리기다소나무에서 낮게 나타났다. 그러나 K은 Populus tremuloides Michx.에서 더 높았다.

Table 20. Average moisture content(MC), organic matter(OM), pH, cation exchange capacity(CEC) and cation concentraions in soil under four tree species.(Unit : mequiv./100g)
Note: Means with different letter differ significantly at $p \leq 0.05$. The letter a, b and

Species	MC(%)	OM(%)	pH	CEC	Ca	K	Na	Mg
Pinus rigida M.	20.0a	3.91b	4.02c	12.2b	0.23c	0.12c	0.11a	0.18b
Alnus hirusta (Spach) R.	22.9b	4.46a	4.04c	16.0a	0.29c	0.24b	0.12a	0.24b
Quercus mongolica F.	20.6b	3.49c	4.23b	12.6b	0.45b	0.25b	0.12a	0.27b
Liriodendron tulipifera L.	20.6b	4.10ab	4.30a	12.2b	0.69a	0.42a	0.13a	0.51a

c compare species means.

토양 특성이 수종에 따라 다르게 나타나는 것은 수목의 생장 속도에 따른 토양에서의 양료 흡수 능력에 따라 달라지며, 건성침적물, 낙엽, 낙지의 량에 따라 영향을 직접 받는다. 또한 수관통과류와 수간류내의 Ca, Mg의 농도는 토양에서의 양료 농도를 반영한다(MacDonald 등, 1993). 시간이 경과됨에 따른 토양 pH의 감소 정도는 토양 치환화합물의 중화정도에 따라 차이가 나며, 계속적으로 양료를 공급할 경우 토양의 pH가 하락의 정도를 조절하여 산림에서의 지속적인 생산성 유지가 가능하다(Rhoades와 Binkley, 1996).

나. 토양의 깊이에 따른 특성

토양의 깊이별 차이는 표 21 에서와 같이 유기물의 함량, 양이온 치환 능력, Ca, Na의 농도에서 차이를 보여주고 있으며, 기타 특성에서는 차이를 보이지 않는다. 그러나 대부분의 특성이 0 15cm의깊이에서 15 30cm의 깊이보다 높게 나타났다. 특히 튤립나무의 경우, 양료의 농도는 0 15cm에서 매우 높은 것을 볼 수 있다. 대부분의 특성이 0 15cm의 깊이에서 양료 농도가 높은 이유는 수간류의 영향과 토양 층에 따른 중화능력의 차이 따른 것으로 보인다.

Table 21. Comparison of average MC, OM, pH, CEC and cation concentrations in soil at differant depths under four tree species (Unit : mequiv./100g).

Species	Depth	MC(%)	OM(%)	pH	CEC	Ca	K	Na	Mg
Pinus rigida M.	0 15㎝	19.6a	4.15a	3.99b	12.3a	0.27a	0.13a	0.12a	0.21a
	15 30㎝	20.3a	3.68b	4.05a	12.2a	0.20a	0.12a	0.10a	0.14b
Alnus hirusta (Spach) R.	0 15㎝	23.0a	4.83a	4.04a	16.7a	0.37a	0.26a	0.13a	0.25a
	15 30㎝	22.7a	4.09b	4.03a	15.3a	0.20b	0.23a	0.13a	0.22a
Quercus mongolica F.	0 15㎝	21.2a	3.59a	4.23a	13.4a	0.50a	0.20b	0.12a	0.24a
	15 30㎝	20.1a	3.40a	4.23a	11.8a	0.41a	0.30a	0.12a	0.29a
Liriodendron tulipifera L.	0 15㎝	20.9a	4.26a	4.33a	13.7a	0.87a	0.53a	0.13a	0.72a
	15 30㎝	20.3a	3.94a	4.27b	12.8a	0.49b	0.30b	0.11b	0.27a
Average	0 15㎝	20.9a	4.22a	4.15a	14.0a	0.48a	0.29a	0.13a	0.36a
	15 30㎝	21.1a	3.77b	4.14a	13.0b	0.34b	0.23a	0.11b	0.23a

Note: Means with different letter differ significantly at $p \leq 0.05$. The letter a and b compare depth means.

다. 수간으로부터의 거리에 따른 토양의 특성 변화

수간으로부터의 거리에 따른 토양의 특성은 다양한 분포를 나타난다. 토양의 pH는 표 22에서 보는 바와 같이 수간으로부터 가까운 영역에서 낮았으며, 수간으로부터 멀어질수록 토양의 pH는 올라가는 경향을 보여준다. 이러한 경향은 pH가 낮은 수간류의 영향을 받고 있다는 것을 의미한다.

토양의 양료 분포는 수간으로부터의 거리에 따른 차이가 크지는 않았다. Ca과 Mg의 농도는 수간 낮았으나, K과 Na의 농도는 수간 근처에서 높았다. 그러나 수종간에 차이가 있었다. Ca의 농도는 리기다소나무와 물오리나무의 수간 근처에서 높았고, 신갈나무와 튤립나무의 수간 근처에서 낮았다. 물오리나무와 튤립나무의 K 농도는 수간 근처에서 높았으나, 리기다소나무와 신갈나무는 수간 근처에서 낮았다. Na의 경우는 리

기다소나무, 신갈나무, 튤립나무의 수간 근처에서 높은 농도를 보였으나, 물오리나무는 수간 근처에서 낮았다. Mg은 모든 수종의 수간 근처에서 낮았다.

佐々朋幸 등(1993)은 토양의 화학적 특성이 수간을 중심으로 동심원상으로 변화되며, 토양 변화의 과정은 수간류의 pH와 조성 차이로 다르게 나타났다고 주장하였다. 특히 Kalopanax pictus T.와 Juglans mandschuria M.의 토양은 pH가 증가하는 반면, Crytomeria japonica D.의 토양 pH는 감소한다고 하였다. 이와 같이 각 연구의 결과는 본 연구 결과에서와 마찬가지로 수종에 따른 특성을 반영하고 있으며, 각 수종에 따라 발생되는 수간류의 특성이 다르기 때문에 토양에서의 특성도 다르게 나타난 것으로 보여진다.

라. 토양의 pH와 양료 농도간의 상관 관계

토양의 pH는 다른 양이온의 농도와 상관을 나타내는데 표 23과 같이 수종에 따라서 약간의 차이를 보이고 있다. 리기다소나무에서는 토양의 pH와 양료 농도간 상관을 보이지 않았다. 그러나 물오리나무의 경우는 토양의 pH와 K, Mg 농도간에 매우 높은 상관을 보였다. 신갈나무에서는 Ca, Na, Mg과 튤립나무는 CEC, Na에서 토양 pH와 높은 상관을 보였다. 이 결과에서 나타난 바와 같이 토양의 양료 농도는 토양의 pH에 따라 좌우되며, 토양이 산성화되므로써 양료의 이온이 감소될 수 있음을 보여 주었다. Brand 등(1986)의 연구 결과에서는 Picea glauca V.하에서의 토양이 가장 산성화가 빠르게 진행됨을 보여주었다. 즉, 침엽수림에서는 토양이 산성화됨으로써 양료가 유실되어 양료 불균형이 발생되므로 산림의 생산성을 감소시킬 수 있다.

Table 22. Comparison of MC, OM, CEC and cation concentration in soil at different distances from stem base under four tree species, respectively (Unit : mequiv./100g)

Species	Distance (cm)	MC (%)	OM (%)	pH	CEC	Ca	K	Na	Mg
Pinus rigida M.	10	18.8b	3.60b	3.92c	12.7a	0.27a	0.10b	0.15a	0.20a
	100	20.5a	4.07a	4.05b	14.3a	0.19a	0.13ab	0.09b	0.14a
	200	20.7a	3.93a	4.34a	9.6b	0.29a	0.16a	0.10b	0.22a
Alnus hirusta (Spach) R.	10	23.6a	5.47a	3.95b	16.7a	0.33a	0.28a	0.13b	0.24a
	100	22.5a	3.64b	4.03b	18.0a	0.26a	0.19a	0.11b	0.25a
	200	21.2a	3.94b	4.46a	12.1b	0.25a	0.29a	0.19a	0.25a
Quercus mongolica F.	10	20.6a	3.29a	4.19b	12.7a	0.34a	0.23a	0.14a	0.23b
	100	20.7a	3.59a	4.24b	13.3a	0.43a	0.25a	0.11ab	0.23b
	200	21.1a	3.68a	4.41a	13.4a	0.60a	0.25a	0.10b	0.40a
Liriodendron tulipifera L.	10	20.6a	4.08a	4.29c	14.3a	0.50a	0.75a	0.16a	0.34a
	100	20.6a	4.11a	4.33b	13.1a	0.95a	0.27b	0.11b	0.82a
	200	21.2a	4.06a	4.58a	14.0a	0.75a	0.24b	0.11b	0.45a
Average	10	20.9a	4.13a	4.08c	14.4a	0.36a	0.33a	0.14a	0.25a
	100	21.1a	3.92a	4.16b	14.6a	0.43a	0.21b	0.10b	0.36a
	200	21.1a	3.90a	4.45a	12.3b	0.47a	0.23b	0.12ab	0.33a

Note: Means with the same letter are not significantly different($P \leq 0.05$). The letter a, b and c compare distance means.

Table 23. Multiple correlation coefficients between pH and chemical properties in soil under four tree species

Species	CEC	Ca	K	Na	Mg
Pinus rigida M.	0.20	0.13	0.24	0.10	0.13
Alnus hirusta (Spach) R.	-	0.14	0.40**	0.84**	0.12
Quercus mongolica F.	0.15	0.41**	-	0.29*	0.28*
Liriodendron tulipifera L.	0.60***	-	0.21	0.55***	-

*, ** and *** indicate significant level at 0.1, 0.01 and 0.001.

第 4 節 結 論

산성우의 영향은 수목에서 잎의 표면을 손상시킴으로써 양료의 용탈을 증가시키며, 토양의 산성화로 양료를 유실시킴으로써 산림에서의 양료 불균형을 초래한다. 특히 지속적인 산성우의 발생과 토양이 산성화되어 있는 지역에서는 수관에서의 양료 용탈이 증가되어 양료가 고갈됨으로써 치명적인 피해를 줄 수 있다.

본 시험 유역은 산성우의 영향을 받는 지역으로 강우의 평균 pH는 4.56으로 매우 낮고, 5.6이하의 산성우가 차지하는 비율이 74%를 차지하였으며, 토양 pH는 평균 4.15로 매우 낮게 나타나므로써 수목에서의 피해와 토양 산성화의 가능성을 보여 주고 있다.

본 연구 결과에 따르면 수관통과류는 강우의 pH와 깊은 상관을 나타냈으며, 강우의 pH가 하락되면 양료의 용탈이 증가되는 것으로 나타났다.

강우시 발생되는 수관통과류와 수간류의 특성은 수관 하부의 토양의 특성에 영향을 미치게 되는 데 이러한 영향은 토양을 산성화시킬 수도 있으며, 산성화를 지연 또는 방지할 수 있다. 일반적으로 수목에서 발생되는 수간류는 강우의 pH보다 낮게 나타나지만 수관에서의 중화능력과 완충능력에 따라 물오리나무, 신갈나무, 튤립나무와 같이 강우의 pH보다 높게 나타날 수 있다. 특히 튤립나무는 매우 뛰어난 중화능력과 완충능력을 가지기 때문에 수간류의 pH를 거의 수관통과류(pH : 5.57)와 유사한 5.38로 증가되었으며, 수관 하부의 토양에서도 다른 수종에 비해 높은 pH인 4.30를 나타냈다.

수간류는 수관통과류보다 그 량이 매우 적으며, 수관 하부에 미치는 범위 또한 매우 좁다. 그러나 본 연구 결과에서 나타난 바와 같이 수관통과류는 강우의 pH와 매우 깊은 상관을 가지고 있으며, 중화능력과 완충능력이 적기 때문에 강우의 pH가 하락할 경우 잎이나 토양에 직접 영향을 미쳐 큰 피해를 줄 수 있다. 따라서 수관통과류는 발생량이 많고, 영향을 미치는 범위는 넓지만 산성우가 발생률이 매우 높은 지역에서는 토양의 산성화에 영향을 미칠 수 있다.

최근의 지속된 산업시설의 증가와 교통량의 증가로 발생되는 오염물질의 증가는 향

후 국내의 대기조건을 더욱 악화시켜 더 많은 산성우의 발생이 우려되고 있으며, 특히 중국에서 편서풍을 타고 유입되는 오염 물질에 대한 대책이 이루어지지 않은 지금 산성우의 피해는 크게 확산될 것으로 보인다. 또한 산성우는 대도시와 공단 주변에서의 문제 뿐만 아니라 장거리 이동성 오염물질이기 때문에 청정지역에 해당되는 깊은 산림에서의 피해 가능성도 배재할 수 없다. 최근에 문제시되고 있는 대도시 주변과 공단 주변의 산림 피해와 더불어 고산에서의 수목의 피해에 대한 보고는 위와 같은 가능성을 보여 주고 있다. 따라서 대도시 주변과 공단 주변의 산림의 피해를 방지하고 산림의 생산성을 유지하기 위한 장기적인 대책이 필요하다.

引用文献

Brand, D.G., P. Kehoe, and M. Connors. 1986. Coniferous afforestation leads to soil acidification in central Ontario. Can. J. For. Res. 16: 1389-1391.

Cappellato, R., N.E. Peters, and H.L. ragsdale. 1993. Acidic atmospheric deposition and canopy interaction of adjacent deciduous and coniferous forest in the Georgia Piedmont. Can. J. For. Res. 23: 1114-1124.

Carter, M.R. 1993. Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science. pp.141-176.

Edmonds, R.L. T.B. Thomas, and J.J. Rhodes. 1991. Canopy and soil modification of precipitation chemistry in a temperate rain forest. Soil Sci. Soc. Am. J. 55: 1685-1693.

Leininger, T.D. and W.E. Winner. 1988. Throughtfall chemistry beneath Quercus rubra: atmospheric, foliar, and soil chemistry considerations. Can. J. For. Res. 18: 478-482.

MacDonald, N.W., J.A. Witter., A.J. Burton., K.S. Pregitzer, and D.D. Richter. 1993. Relationships among atmospheric deposition, throughfall, and soil properties in oak forest ecosystems. can. J. For. Res. 23: 2348-2357.

Parker, G.G. 1982. Quality, variability and sources of summertime throughfall in two Virginia Piedmont forests. Thesis. University of Virginia, Charlottesville, Virginia.

Rhoades, C. and D. Binkley. 1996. Factors influencing decline in soil pH in Hawaiian Eucalyptus and Albizia plantations. Forest Ecology and Management. 80: 47-56.

佐々朋幸, 高橋忠幸, 長谷川浩一. 1993. 特定樹種の 樹幹流に よる 土壌の酸性化抑制作

用(II) センノキ, オニグルミについて-. 日林地. 75: 321-330.

佐々木朋幸, 後藤和秋, 長谷川 浩一, 池田重人. 1991. 盛岡市周邊の 代表的 森林に おける 林外雨, 林內雨, 樹幹流の 酸性度ならびに その 溶存成分 - 樹種に よる 樹幹流の pH 固有値-. 森林立地. 32(2): 43-58.

조하만, 정순화, 남재철, 최병철, 최영진, 전영신, 이민영, 이선기, 최재선, 이영민. 1992. 산성우에 관한 연구(I)-기상상태에 따른 산성우 분포. 기상연구소. MR 92-4.

주영특, 김영채. 1994. 인공산성우가 삼림토양의 화학적 성질에 미치는 영향. 한국임학회지. 83(3): 280-285.